



Universitatea
Transilvania
din Brașov

TEZĂ DE ABILITARE

**Descriptori morfologici și structurali
ai calității acustice
a lemnului arborilor de molid pe picior**

Domeniul: SILVICULTURĂ

Autor: Conf. dr. ing. Florin DINULICĂ
Universitatea Transilvania din Brașov

BRAȘOV, 2020

CUPRINS

(A) Summary	3
(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	6
(B-i) Realizări științifice și profesionale	6
<i>Potretizarea arborilor de rezonanță: problematizare. Aspecte introductive</i>	6
1 Problematika adresată de autor și contribuțiile acestuia la dezvoltarea ei	6
2 Lucrările științifice ale autorului care fundamentează teza de abilitare	9
Capitol 1. Calitatea acustică a materialului lemnos și indicatorii ei	11
1.1 Variabilele calității instrumentelor muzicale	11
1.2 Atributele muzicale ale calității instrumentelor	15
1.3 Descriptorii acustici ai calității lemnului pentru instrumente muzicale	16
1.3.1 Sunetul în lemn	16
1.3.2 Proprietățile sunetului	18
1.3.3 Emisia sonoră la cordofone	20
1.3.4 Proprietățile care exprimă comportarea lemnului în câmp acustic	20
1.3.5 Factori de variație a proprietăților acustice ale lemnului de molid	25
1.3.6 Relații între proprietățile acustice la lemnul de molid uscat	28
1.3.7 Clasificarea calității acustice	29
1.4 Rezultatele determinărilor acustice experimentale efectuate de autorul tezei	29
1.4.1 Variații ale mărimii însușirilor fizico-acustice la lemnul de molid pe picior	29
1.4.2 Relații între proprietățile fizico-acustice ale lemnului verde de molid	36
Capitol 2. Metoda de lucru la verificarea acustică a arborilor pe picior	39
2.1 Volumul colectivității de selecție	39
2.2 Descriptorii fenotipului	39
2.3 Măsurători acustice la arborii pe picior	41
2.4 Eșantionajul cu probe de creștere în studiul acustic al arborilor	46
2.4.1 Determinarea proprietăților fizice ale lemnului cu ajutorul probelor de creștere	46
2.4.2 Sondarea arhitecturii lemnului cu probe de creștere	51
2.5 Momentul optim pentru efectuarea determinărilor în teren	52

Capitol 3. Markerii morfologici ai lemnului de rezonanță	54
3.1 Conexiuni între fenotip și însușirile acustice ale lemnului	54
3.2 Modele pentru predicția însușirilor acustice ale lemnului cu ajutorul trăsăturilor biometrice și calitative ale arborilor	57
3.2.1 Construirea modelelor	57
3.2.2 Fenotipul ca predictor al performanțelor acustice ale lemnului arborilor	58
3.3 Particularități structurale ale lemnului de rezonanță verificate acustic	59
3.3.1 Inelele anuale la lemnul pentru sunet	59
3.3.2 Lemnul de compresiune de la molid în păduri cu lemn de rezonanță	70
3.3.3 Alburnul la arborii pentru sunet	73
3.4 Ajustarea fenotipului în comunitate	78
3.4.1 Statutul social al arborilor de rezonanță	78
3.4.2 Competiția	81
3.5 Portretul arborilor cu lemn de rezonanță	83
3.5.1 Coroana arborilor de rezonanță	83
3.5.2 Elagajul arborilor de rezonanță	90
3.5.3 Descriptori acustici ai trunchiului	95
3.5.4 Scoarța ca marker	96
3.5 Individualitatea fenotipului arborilor de rezonanță	103
(B-ii) Evoluția carierei academice și planul de dezvoltare a acesteia	106
Capitol 4. Evoluția academică anterioară 2020	106
4.1 Educație	106
4.2 Activitatea didactică	106
4.3 Activitatea de cercetare	111
Capitol 5. Planul de dezvoltare a carierei	114
5.1 Direcții de dezvoltare didactică	114
5.2 Direcții de dezvoltare științifică	115
5.3 Activitatea publicistică	115
(B-iii) Bibliografie	117

(A) SUMMARY

Phenotypic and structural descriptors of the acoustic quality of standing timber. Habilitation thesis

This thesis presents my scientific and didactic achievements as Associate Professor at the Faculty of Silviculture and Forest Engineering in Braşov during the post-doctoral stage, and outlines the main directions which I plan to expand in the near future.

Discussed herein are only the scientific achievements that fall under the topic of the habilitation thesis. My research on the acoustics of standing timber consists in identifying the external and internal physical traits of trees and stands that signal the acoustic properties of timber, specifically its potential in string musical instruments manufacture (Chapter 1).

Following a detailed background description of the vibrational properties of wood (Paragraph 1.1-1.3), which is necessary for foresters, as they are not so familiar with concepts related to acoustics, I present the methodology of organizing and conducting field and lab work to diagnose the acoustic quality of timber in relation with the external traits of trees and the annual ring structure (Chapter 2). I opted for a comprehensive description of tree phenotypes (Paragraph 2.1) using: tree biometrics (height, diameter, slenderness, age), bole shape (ovality of the trunk cross section, root swelling), bark features (thickness, scale morphology, scale colour), bole pruning (lengths of self-pruned sections of the bole), crown metrics (diameter, ovality, slenderness, asymmetry and length of crown sectors), and branch features (diameter and angle of insertion). These are instrumental measurements, designed for fieldwork, for which I provided guidelines (Paragraph 2.2-2.3).

The parent acoustic parameters that can be determined in standing trees are acoustic velocity and density; by using their values, impedance, radiation ratio, and modulus of elasticity can further be derived. The measurements will be referenced in the longitudinal, radial, and tangential direction, which are involved in the acoustic of soundboards (Paragraph 3.2).

Since the tree rings features are still favorites when selecting wood for manufacturing musical instruments, Paragraph 2.3 provide recommendations regarding the sampling with core from standing trees. For the sake of accuracy, the samples should be weighted immediately after harvest and seasoned until equilibrium moisture content is achieved in the environment for the storage and use of musical instruments.

The external phenotype characteristics and the structural traits of standing timber (sapwood metrics and tree ring features) repeatedly underwent acoustic screening using the Fakopp Microsecond Timer tree sonic device, the Arbotom sonic tomograph, and an increment borer for cores 5 mm in diameter. The screening (Chapter 3) was performed with the support of Dr. Voichița Bucur, a world leading expert in acoustics, to whom I remain grateful for her assistance.

The statistical significance tests emphasized the consistent variations of the acoustics among trees (according to their age, social class, and geographic provenance), as well as along and across the tree (Paragraph 1.4). The relations between these acoustics were identified, and the niche of the resonance wood in the spruce trees from the sampled populations was delineated (Paragraph 1.4.2).

The selection of the phenotypic and structural markers of timber with high acoustic value was done using Principal Component Analysis, partial correlation (with the removal of either the influence of tree age, or tree diameter), and simple regression. Mixed models of the measured or calculated acoustics were built using multiple linear regression (Paragraph 3.2).

The result was that the radial acoustic parameters, rather than the longitudinal acoustic parameters, were better explained by the phenotype and wood structure. Bark thickness and redness, branch diameter, crown diameter, sapwood depth, and tree height were the best predictors. The regressions between the acoustics and the phenotypic and structural features (paragraphs 3.1-3.3) allowed for a rendering of the portrait of resonance trees and wood, by comparing them with common spruce trees (Table 1).

Table 1. Discriminating the phenotype of acoustic quality spruce trees*

Tree and wood characteristics**	Resonance spruce***	Common spruce**
Phenotype characteristics		
Tree age (years at breast height)	90-180	120-420
Crown social class	Dominant	From predominant to dominate
Tree height (m)	32-40	26-50.3
Tree slenderness (%)	60-77	39-95
Basal area ovality (%)	0-12	0-15
Root swelling (cm)	≤ 27	≤ 36
Clear wood length (% of tree height)	12-46	1-20
Bark colour on the south-facing side at breast height	Darkred	grey-brown
Crown ratio (%)	46-70	19-90
Crown shape	Column-like (quadric paraboloid)	Paraboloidal, conical, pyramidal
Crown diameter (m)	2.6-8.0	2.3-12.8
Branch diameter (mm)	≤ 45	40-80
Angle of the lowest crown branches (° between bole and branch)	90-120	90-135

Sapwood depth (mm)	37-80	17-60
Wood physical characteristics		
Mean annual ring width of sapwood (mm)	1.2-3.5	0.5-3.4
Ring-to-ring mean width difference in sapwood (mm)	≤ 0.6	0.1-0.8
Mean latewood percentage (%)	20-35	16-43
Compression wood percentage (%)	0-12	0-33
Green wood density ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	850-950	750-1060
Acoustical parameters of standing timber		
Longitudinal velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	≥ 4200	1300-4200
Radial velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1100-1800	960-1200
Longitudinal to radial acoustic velocity ratio	2.7-3.7	0.8-3.0
Longitudinal radiation ($10^{-3}\cdot\text{m}^4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)	4500-6200	1600-4500
Longitudinal impedance ($10^3\cdot\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$)	2900-3900	1000-4550
Longitudinal modulus of elasticity (MPa)	14000-21000	3000-17000
*Trees with dbh ≥ 50 cm overbark, from high value forests; **Only the features of standing trees verified acoustically; *** Wood for manufacturing string instruments.		

The last part of the thesis (Chapter 4-5) presents my chronological academic evolution and the development directions envisioned. Among my most relevant didactic preoccupations will be to involve my students more actively in fundamental research (the study of the properties of forest resources) and applied research (obtaining extracts with medicinal properties from forest resources). I also intend to include resonance sycamore and other valuable deciduous trees under the umbrella of research topics for doctoral students in order to outline a monograph of resonance wood in the Carpathians.

B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

(B-i) Realizări științifice și profesionale

Potretizarea arborilor de rezonanță: problematizare. Aspecte introductive

1. Problematika adresată de autor și contribuțiile acestuia la dezvoltarea ei

Identificarea arborilor de molid pentru construcția instrumentelor muzicale după semnalmente exterioare este o necesitate, dar și o provocare pentru lutieri și pentru personalul silvic care gospodărește aceste păduri. Diagnosticarea calității interioare a lemnului după semnalmentele exterioare ale arborilor, în lipsa unor mijloace tehnice de investigare nedistructivă, este o măsură a profesionalismului achizitorilor de materie primă pentru utilizări superioare. Pentru molidul de rezonanță îndeosebi, încununat pentru cel mai prețios lemn de pe Terra (Schmidt-Vogt 1981), aceasta a rămas o provocare. Unele posibilități trec ca legendă și au plasat subiectul, de-a lungul timpului, în obscur, alimentând misterul care învăluie în bună parte meseria de lutier. Cu timpul unele semnalmente ale arborilor de rezonanță au fost „desconspirate”. Calitatea de marker a acestor trăsături ale arborilor a fost acceptată în baza experienței lutierilor, fără a fi pusă în discuție. Recent, unii markeri, cum sunt forma solzilor conurilor (Fedyukov et al. 2017), lungimea trunchiului elegant (Fedyukov et al. 2018), culoarea și morfologia scoarței (Dinulică et al. 2019), au fost verificați și confirmați acustic.

Este deosebit de benefic metodologic faptul că măsurătorile acustice efectuate la lemnul pe picior sunt relevante pentru lemnul uscat – care se întrebuințează efectiv la confecționarea instrumentelor muzicale (Wessels 2011), prin legătura destul de strânsă între parametrii acustici ai arborilor, ai buștenilor și ai cherestelei debitate din aceștia (Wang et al. 2000, Grabianowski 2006, Wang et al. 2007, Wang și Ross 2008). Aceasta încurajează utilizarea undelor de șoc ca metodă obiectivă de identificare nedistructivă a lemnului apt pentru construcția instrumentelor muzicale.

Se urmărește, de câteva decenii (Haines 1979), dezvoltarea unei baze de date cu măsurători acustice care să ofere suportul pentru o selecție rațională a materiei prime destinate construcției instrumentelor muzicale și să creioneze personalitatea lemnului cu aptitudini muzicale. Este și intenția de a folosi rezultatele acestui demers pentru a căuta materiale care să

substituie lemnul (Schultz 1969), având în vedere reducerea continuă a rezervelor de lemn de rezonanță (Badea 1965).

Problemă adresată 1	Materialul pentru construcția instrumentelor muzicale trebuie să posede anumite calități elastice și vibraționale care să satisfacă amplificarea și propagarea nedistorsionată a sunetului emis de sursele sonore. În cazul cordofonelor, aceste cerințe sunt satisfăcute de lemnul cu densitate redusă, elasticitate și radiație acustică ridicată, inele regulate și lipsit de defecte (Bucur 2002, Spycher et al. 2008). Lemnul de molid este referențial pentru această categorie de materiale (Brémaud 2012a). Nu este, însă, un consens între autori dacă inelele anuale trebuie să fie cât mai înguste sau că lemnul târziu ar trebui să fie cât mai subțire, cu toate că sunt unele indicații rezultate din cercetări (Ghelmeziu și Beldie 1970, Ille 1975, Bucur 1983, Roohnia et al. 2011) și din experiența lutierilor (Gliga et al. 2019) în favoarea structurii fine a lemnului cu calități acustice. Se impune, deci, verificarea calității de marker a variabilelor structurii lemnului în raport cu proprietățile lui acustice – îi vom numi <i>markeri xilologici</i>.
Contribuția autorului	Studiul comparativ al arborilor cu și fără lemn de rezonanță, ale cărui rezultate au fost publicate în jurnalul Bioresources (Dinulică et al. 2015a), a relevat că molidul de rezonanță este un xilotip aparte. Aceste particularități au fost confruntate cu unele proprietăți fizico-acustice (densitatea, viteza de propagare a sunetului, modulul de elasticitate, radiația acustică, impedanța). Au rezultat că (a) lățimea alburnului este unul din cei mai prețioși predictorii ai performanțelor acustice, a cărei relevanță o depășește pe a fenotipicelor exterioare (rezultat în premieră) și (b) valoarea explicativă a inelelor anuale în raport cu însușirile acustice ale lemnului se manifestă numai pentru direcția radială de propagare a sunetului. Aceste rezultate sunt în curs de publicare.
Problemă adresată 2	Lemnul de rezonanță este un nivel de calitate pe care nu îl atinge decât la unii arbori. Se afirmă de pildă (Meyer 1995) că instrumentele create de Guarneri cu o tonalitate extraordinară au fost obținute din lemn de la același arbore. Pentru că lemnul este un material de natură biologică, provenit de la indivizi expuși capriciilor mediului, clădirea unei arhitecturi cu calități acustice are succes numai în anumite condiții de mediu (Zugliani și Dotta 2009a), iar arborii care o posedă capătă în timp un port aparte de ceilalți indivizi ai speciei (Geambașu 1995, Albu 2010). Acești arbori prezintă unele particularități morfologice, care permit recunoașterea lor în picioare. Pentru valoarea lor indicatoare în raport cu

	însușirile vibraționale ale materialului, le putem numi <i>descriptori morfologici</i>. În jurul lor s-a creat mult folclor de la Stradivarius încoace, motiv pentru care se impune verificarea acustică a calității lor de markeri. Portretul „robot” al molidului de rezonanță prezintă un arbore de mari dimensiuni, bine spălat de crăci pe cel puțin 6 m (Hutchins 1978), cu fus drept, cilindric, scoarță subțire, fin crăpată sau netedă (Arganașvili 1988), cu solzi rotunjiți (Pașcovici 1930a), coroană columnară (Zugliani și Dotta, 2009a), simetrică, scurtă și rară (Grapini și Constantinescu 1968), cu ramuri subțiri și frunziș mai deschis decât la molizii obișnuiți și conuri mai lungi și mai subțiri, cu vârful rotunjit sau ascuțit, nu emarginat ca la ceilalți molizi (Grapini și Constantinescu 1968).
<i>Contribuția autorului</i>	Investigațiile comparative efectuate la molid în arborete de elită, ale căror prime rezultate au fost publicate în jurnalul Forests (Dinulică et al. 2019) și ale căror concluzii sunt în curs de publicare în alt jurnal, au relevat un număr de caracteristici fenotipice, de ordin biometric, care pot servi ca predictorii pentru însușirile acustice ale lemnului pe picior. Acestea sunt: grosimea scoarței, diametrul ramurilor de la baza coroanei, diametrul coroanei, gradul de roșu al culorii scoarței pe fața exterioară a solzilor și înălțimea arborelui. Valoarea predictivă a caracteristicilor fenotipice fost explorată cu analiza în componente principale, iar parametrii acustici au fost explicați cu modele linear-mutiple.
Problemă adresată 3	Arborii cu lemn de rezonanță din pădurile actuale nu se mai ridică la nivelul de calitate, aproape ideal, de altă dată (Holz 1967). Regresul calitativ al resurselor de lemn de molid (Rozenberg și Cahalan 1997), care afectează în egală măsură și lemnul de rezonanță, a impus relaxarea periodică a cerințelor impuse materiei prime (Krzysik 1968). Standardul autohton care reglementează sortarea lemnului de rășinoase pentru debitare, încă în vigoare (ASRO 1993), identifică materia primă pentru instrumente muzicale cu lemnul zero-defecte. Beneficiarii sunt constrânși însă să accepte lemn de la arbori lăbărțați și mai puțin elagați. Totuși, unele condiții calitative minimale trebuiesc întrunite. În aceste condiții, <i>sortarea</i> responsabilă și ingenioasă este singura soluție de a răspunde cantitativ cererii de material de calitate pentru fabricanții de instrumente muzicale. O astfel de sortare urmărește optimizarea calității curente a arborilor în raport cu exigențele lutierilor.

<i>Contribuția autorului</i>	Autorul a efectuat împreună cu prof. Albu un studiu amănunțit al calității interioare în relație cu calitatea exterioară a lemnului destinat construcției cordofonelor, la un număr de 10 arbori de probă, care au fost secționați din 2 în 2 m, proveniți din bazinul Lăpușnei (Gurghiu-Mureș). A rezultat (Albu și Dinulică 2014, Albu și Dinulică et al. 2020) că în sortimentul lemnului de rezonanță pot fi înscrise piesele cu: (a) noduri, dacă sunt grupate în verticile distanțate cel puțin la lungimea unui semifabricat – semifabricatul cel mai scurt are 410 mm lungime; (b) lăbărțare în limita a 20 cm/m, cu lungimea mai mică 80 cm, (b) colorații anormale și putregai central, dacă bușteanul este gros, iar lemnul nesănătos este localizat în zona fără valoare acustică și permite debitarea unui număr de semifabricate de calitate superioară, a căror valoare să depășească considerabil pierderile de material. Nu se pot accepta însă curbura cu săgeata mai mare de 2 cm/m și ovalitatea mai mare de 15 %, nu atât pentru efectul depresiv asupra randamentului la debitare, cât pentru lemnul de reacție cu care se însoțesc și care, pe de o parte, periclitează însușile acustice ale materialului, iar pe de altă parte, fiind o sursă de tensiuni interne suplimentare (Mattheck și Kubler 1997), măresc riscul de compromitere a lemnului la debitare și uscare. Cu prilejul acestei cercetări s-au stabilit randamentele (în % din volumul buștenilor respectiv al fusului arborilor originari) diferențiate în semifabricate pentru vioară, violoncel și contrabas, și frecvențele pieselor cu zero-defecte. S-au făcut, de asemenea, recomandări privind admisibilitatea defectelor și diversificarea dimensională a instrumentelor muzicale cu scopul îmbunătățirii randamentului (Albu și Dinulică et al. 2020).
------------------------------	---

2. Lucrările științifice ale autorului care fundamentează teza de abilitare

Materialul publicat de autor după susținerea tezei de doctorat și din care a fost concepută teza de abilitare constă din 4 articole științifice publicate în reviste ISI indexate Web of Science, 4 articole științifice publicate în reviste indexate în baze de date internaționale, o monografie științifică și o carte de cercetare publicate la edituri recunoscute de CNCSIS. Teza conține și rezultate ale cercetărilor autorului care sunt în curs de publicare și în curs de pregătire pentru publicare în două jurnale ISI.

1. **Dinulică F** (2012). *Lemnul de compresiune la brad*. Ed. Ceres, București, 296 p. / ISBN 978-973-40-0981-7.
2. **Dinulică F**, Borz SA, Hălălișan AF (2012). Building a chronology from compression wood yearly records: some methodological coordinates. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, Series II - Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering 5 (54), 21-28.
3. Albu CT, **Dinulică F** (2014). Randamentul la debitarea lemnului de rezonanță în semifabricate pentru instrumente muzicale. *Revista pădurilor* 129 (3-4), 14-24.
4. **Dinulică F**, Albu C, Borz SA, Vasilescu MM, Petrișan C (2015). Specific structural indexes for resonance Norway spruce wood used for violin manufacturing. *Bioresources* 10(4), 7525-7543.
5. **Dinulică F**, Albu CT, Zdrob GS (2015). Ce știm și cât știm cu privire la determinismul molidului de rezonanță? *Revista pădurilor* 130(5-6), 23-40.
6. **Dinulică F**, Albu CT, Vasilescu MM, Stanciu MD (2019). Bark features for identifying resonance spruce standing timber. *Forests* 10:799.
7. Gliga VG, Stanciu MD, Nastac S-M, **Dinulică F**, Câmpean M (2019). Study concerning the natural frequency and damping factor of the top and back plate for different types of violins. *PRO Ligno* 15(4), 67-74.
8. Albu CT, **Dinulică F**, Bartha S, Vasilescu MM, Tereșneu CC, Vlad IA (2020). Musical instrument lumber recovery from Romanian resonance spruces. *Bioresources* 15(1), 967-986.
9. Stanciu MD, Coșereanu C, **Dinulică F**, Bucur V (2020). Effect of wood species on vibration modes of violins plates. *European Journal of Wood and Wood Products* 78, 785–799.
10. **Dinulică F** (2020). *Lemnul de rezonanță din Carpați. O introducere în acustica arborilor pentru sunet*. Ed. Universității Transilvania, 136 p. / ISBN 978-606-19-1278-0



Numai un instrument de calitate superioară [...] poate fi animat de interpret până la vibrațiile prin care să se dea viață compoziției, astfel ca să se dezvăluie auditoriului înțelesul acesteia și să îi trezească emoțiile intense și fermecătoare ale frumuseții muzicii.

Nicolae Ghelmeziu, 1961

Capitol 1. Calitatea acustică a materialului lemnos și indicatorii ei

1.1 Variabilele calității instrumentelor muzicale

Sonoritatea instrumentului muzical atârână de calitatea materialelor folosite (lemn și materiale tehnologice) și calitatea construcției (geometrie, asamblare, păstare) – Figura 1. Este o necesitate îndeplinirea concomitentă a cerințelor de calitate implicate de fiecare din acești factori, lipsurile unuia neputând fi decât cu greu compensate de ceilalți (Ghelmeziu 1961). Dacă toate aceste variabile sunt corespunzătoare, mai rămâne ca instrumentul să fie adaptat anatomiei și tehnicii de execuție a interpretului pentru ca performanțele lui artistice să nu fie îngărdite (Costin 1964).

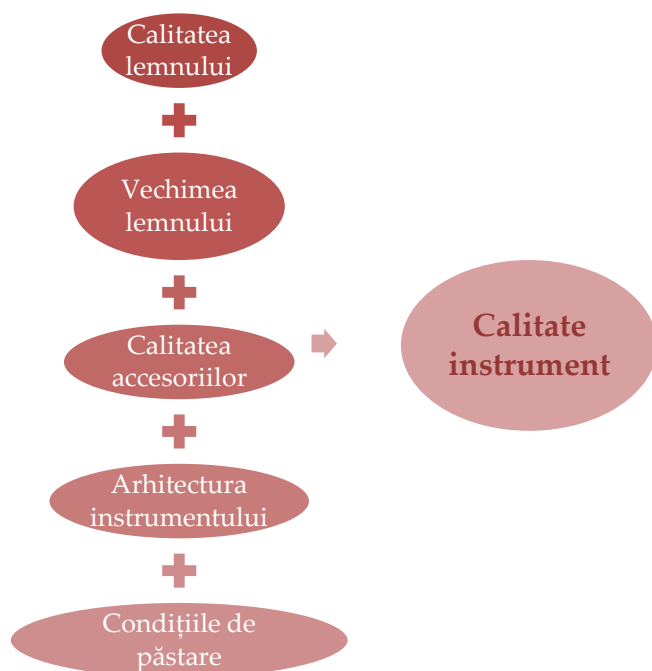


Figura 1. Ecuația calității instrumentelor muzicale

(1) Calitatea materialului lemnos. Elasticitatea și însușirile vibratorii sunt principalele proprietăți care exprimă aptitudinea unui material de a conduce nedistorsionat sunetul. Acestea sunt analizate detaliat în paragraful 1.3 al tezei. La performanțele acustice se adaugă și virtuțile decorative, care primează adeseori la alegerea materialului pentru confecționarea ecliselor și spatelui. Valoarea decorativă nu se datorează atât însușirilor genetice ale speciei lemnului, cât texturilor

imprimare de unele anomalii ale fibrei, între care mai cunoscute în luterie sunt: fibra ondulată (EN. curly grain, wavy grain), inelele alunate, lemnul măzărat, desenul moarat, desenul cu „ochiuri”, (EN. birdseye), desenul matlasat (EN. quilted) „gheara de urs” (EN. bear claw) - Figura 2. Dificultatea punerii în valoare a acestor desene la instrumentele muzicale impune lutierilor multă experiență, ingeniozitate și răbdare (Darnton 2009).



Figura 2. Desene particulare ale lemnului pentru spatele unor viori confecționate de compania Gliga: A – paltin „ochi de pasăre”, B – paltin „în văpaie”, C: paltin „creț” (A, B - foto: F. Dinulică, C: Gliga 2020)

Se pare că este încă o doză mare de folclor în legătură cu opțiunile pentru un lemn sau altul la execuția cutiei sonore a instrumentelor (Darnton 2009). Analizând viorile faimoase din secolele trecute, a fost frapantă constatarea indiferenței lutierilor față de ceea ce înțelegem acum prin calitatea estetică a materiei prime (Darnton 2009). Oare să fie vorba de un progres în timp ? Singurul criteriu de selecție care a supraviețuit istoriei este absența defectelor la lemnul pentru construcția instrumentelor muzicale.

(2) Calitatea accesoriilor. Corzile, lacul, coloranții au o contribuție însemnată la sonoritatea instrumentului.

Lacul nu trebuie să difuzeze în profunzimea lemnului cutiei sonore a instrumentului, altfel sunt afectate însușirile acustice ale materialului (Ile 1975). Determinările experimentale au arătat că lacul îmbunătățește cu 10 % elasticitatea lemnului perpendiculară pe fibre și crește cu 5 % mărimea modulului de alunecare-forfecare, dar nu afectează elasticitatea în lungul fibrei (Caldersmith și Freeman 1990).

Se presupune că unul din secretele sonorității deosebite a viorilor medievale stă în compoziția lacului – sunt încă discuții dacă nu cumva este numai o speculație (Topham și McCormick 2007). Balsamul rășinii de larice de pildă ar avea contribuții deosebite la sonoritatea instrumentului (Ile 1975). Sunt opinii că se acordă o atenție exagerată lacului, în detrimentul calității construcției instrumentului și a materialului folosit (Ile 1975). Într-adevăr, un verniu bun ameliorează sonoritatea unui instrument de construcție acceptabilă, nu însă și a unui instrument cu deficiențe constructive; în schimb, un verniu prost deteriorează sonor chiar și un instrument de construcție impecabilă (Ghelmeziu 1961). Lăcuirea abundentă a plăcilor rezonante amplifică amortizarea (Filipovici 1965).

(3) Calitatea construcției. Este o certitudine faptul că performanțele calitative ale materialelor întrebuințate la confecționarea instrumentelor muzicale nu suplinesc viciile din construcție (Bucur 1983). Un exemplu: viorile cu capacul prea subțire vor emite sunete înfundate, la care predomină armonicile joase, spectrul intensităților mari fiind deplasat către sunetele grave (Ghelmeziu 1961).

Structura de bază a instrumentelor muzicale cu corzi și arcuș sau corzi pentru ciupit cuprinde: (a) o cutie sonoră prevăzută cu orificii, (b) gât pentru tensionarea corzilor, (c) corzi pentru producerea sunetului și (d) accesorii – Figura 3.

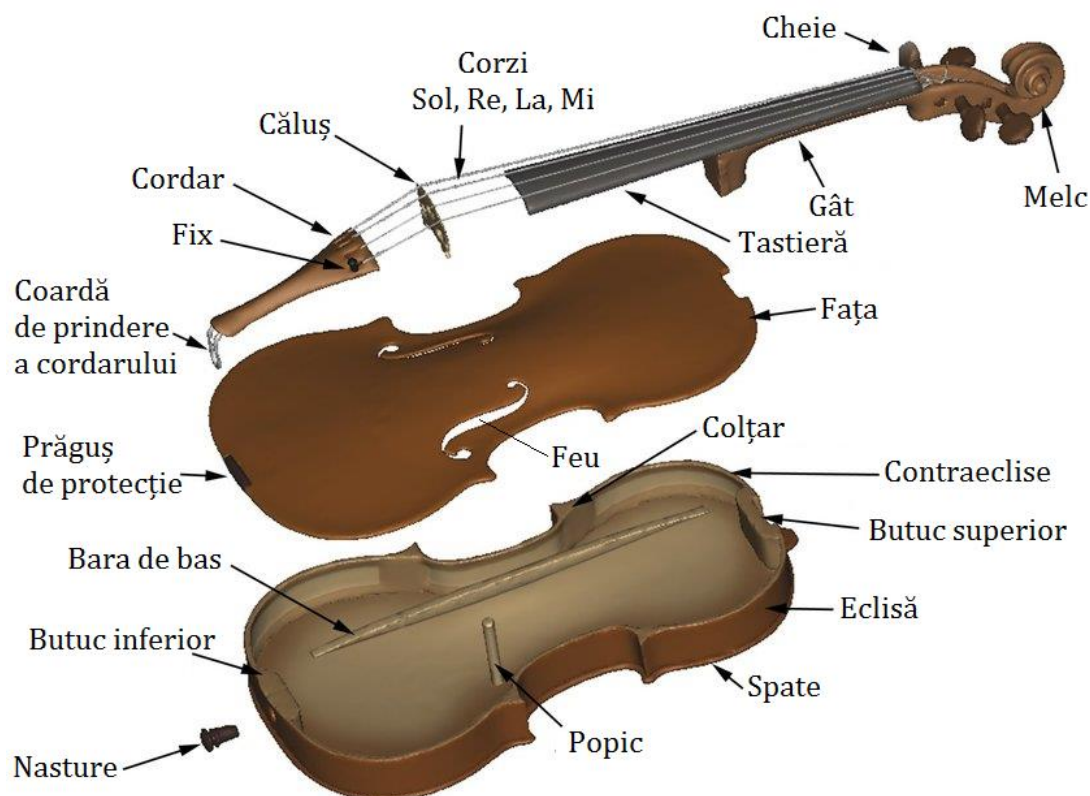


Figura 3. Anatomia unei viori (Pyrkosz 2013, adaptat)

Cutia sonoră a cordofonelor¹ este alcătuită din față (capac, tăblie de rezonanță, rezonanță), fund (spate) și eclise (pereți). Amplifică sunetul produs de corzi. Rama cutiei este formată din eclise, contraeclise, butuc superior și inferior și colțare.

Fața cordofonelor este dintr-o singură bucată sau, mai des, din două bucăți, cu fibrele orientate în lungul viorii (Figura 4). Nu este plană, este boltită. Forma bolții este crucială în sonoritatea instrumentului: bolta joasă dă un sunet tare (Cotta 1978). Adâncimea bolților variază între 10 și 15 mm. Grosimea plăcii nu este constantă: este mai groasă la mijloc, se subțiază spre periferie, iar la margine revine la grosimea de la mijloc (Figura 5).

Geometria spatelui o copiază în linii mari pe cea a feței, cu o întrerupere a conturului în dreptul butucului superior (EN. top end block) și o grosime mai mare a tăbliei (Cotta 1978).

Din punct de vedere geometric, eclisele sunt pereți ondulați, înalți de 30 mm și groși de 1.2 mm. Viorile cu eclise mai late emit sunete dulci, dar dacă eclisele sunt prea late, sunetele devin seci (Bianu 1957).



Figura 4. Detaliul capacului nefinisat al unei viori (Dinulică 2020)

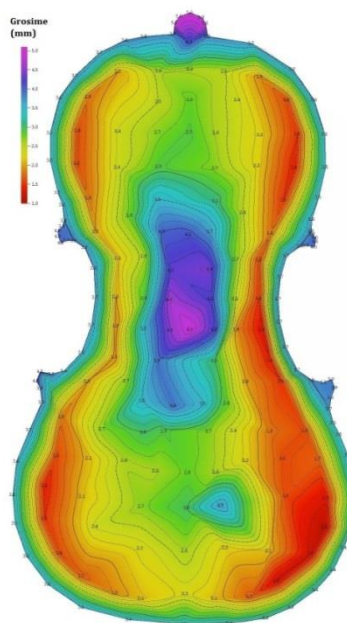


Figura 5. Variația grosimii feței la o vioară făcând abstracție de răsuflătorile acustice (Buen 2008)

Popicul este o bară cilindrică cu diametrul de 5 mm și lungimea de 5.4 cm (Cotta 1978), dimensiuni optimizate în raport cu cerințele obișnuite privind calitatea sunetului. Vioara cu popic subțire va emite un sunet slab, iar cu popic gros, un sunet scurt (Cotta 1978). Dacă popicul este prea lung, sunetele înalte vor fi stridente, iar sunetele joase vor fi înfundate (Cotta 1978). Dacă bara de bas este subdimensionată, sunetele vor fi stinse. Pozițiile barei și a popicului sunt importante în ecuația sonorității instrumentului: dacă popicul se apropie de căluș, sunetele subțiri

¹ În clasificarea cea mai cunoscută, cordofonele sunt instrumentele muzicale cu corzi (McMusic 2020).

devin stridente, iar cele groase, seci; dacă popicul se plasează înaintea călușului, sunetul devine dur (Suominen 1958). Calitatea arhitecturii depinde și de calitatea execuției (Ghelmeziu 1961).

(4) Vechimea instrumentului. Se afirmă că sonoritatea instrumentului se ameliorează pe măsura utilizării (Bucur 1983). Instrumentele muzicale vechi au un timbru profund. În timpul execuției muzicale, instrumentele cu corzi și arcuș sunt supuse mai ales la încovoiere statică și dinamică, care poate atinge 20 % din rezistența la rupere (Bucur 1980), fără a produce deteriorări perceptibile ale structurii lemnului (Bucur și Ghelmeziu 1977). Fața viorilor este supusă, în timpul cântatului, mai ales la solicitări pe direcție tangențială (Bucur și Ghelmeziu 1977). Solicitarea prin cântat modifică nivelul unor însușiri acustice, care se reflectă în regimul timbrului instrumentului – ce evoluează spre niveluri tot mai profunde. Simulările experimentale ale solicitărilor de lungă durată au arătat că vitezele ultrasunetelor în direcție radială și tangențială cresc, iar viteza longitudinală scade până la stabilizare, în timp ce amortizarea crește atât în lungul fibrei cât și în direcție radială (Bucur 1980). Determinările efectuate la eșantioane de molid de vechimi diverse au indicat vârsta de 10 ani pentru cele mai mari valori ale vitezei sunetului și radiației acustice în lungul fibrei, precum și valorile cele mai mici ale impedanței (Barducci și Pasqualini 1948).

În comparație cu lemnul proaspăt uscat de molid, lemnul învechit de molid este mai închis la culoare, mai dens și are un miros de acru, până la 150-200 de ani, sau de vanilină, la vârste mai mari (Pișcic et al. 1971). Mirosul de vanilină al lemnului foarte vechi s-ar datora degradării oxidative în timp a ligninei. Celuloza este componentul chimic cel mai rezistent, iar hemicelulozele, cel mai sensibil la îmbătrânire; modificările sunt percepute în absorbția spectrală a ultravioletelor și în deplasarea spectrului fluorescent către lungimi de undă mai mari – care caracterizează mostrele de lemn îmbătrânit natural (Pișcic et al. 1971).

(5) Condițiile de păstrare. Variabilele climatice ale mediului de păstrare (umiditatea, temperatura, curenții de aer) afectează în timp sonoritatea instrumentelor muzicale și impun păstrarea și îngrijirea lor cu maximum de atenție (Costin 1964). Fiecare punct al plăcilor sonore participă la vibrația instrumentului, așa încât deteriorarea lor, prin crăpare, rupere, desprindere, depreciază calitățile vibratorii și performanțele muzicale (Costin 1964). Aceste neajunsuri pot fi depășite prin adaptarea digitației instrumentistului, care cere un efort deosebit (Costin 1964).

1.2 Atributele muzicale ale calității instrumentelor

Pentru un interpret, criteriile de alegere a instrumentului muzical sunt (Costin 1964): frumusețea sonoră, justețea, posibilitatea de nuanțare, puritatea și egalitatea sonoră.

Frumusețea sonoră este conferită de timbrul și suavitatea instrumentului, dar este și o calitate a interpretării datorată talentului instrumentistului. Frumusețea este caracterizată prin următoarele attribute ale sunetului: dulce, plin, rotund – apte să se împlinească chiar și în paragrafele forte ale bucății muzicale (Costin 1964).

Justețea exprimă redarea fidelă a notației muzicale dintr-o compoziție: ea este o calitate și a instrumentului – mai ales a corzilor, și a instrumentistului.

Nuanțarea este capacitatea instrumentului de a răspunde corespunzător execuției celui mai delicat pianissimo și, în aceeași măsură, a celui mai energic forte (Costin 1964). Dar nuanțarea este și o abilitate a interpretului, o însușire a virtuozității sale; această abilitate conferă colorit interpretării.

Egalitatea este însușirea instrumentului și a instrumentistului de a reda notele în conformitate cu valoarea lor de timp; inegalitatea, adică prelungirea sau scurtarea sunetului, poate fi urmarea unui viciu al instrumentului sau este un semn al lipsei de profesionalism a interpretului (Costin 1964). Instrumentele de calitate emit ușor sunetele, prin aceea că după atacarea unei note, ajung repede la amplitudinea maximă (Lottermoser 1958). O condiție constructivă pentru satisfacerea egalității sunetului este ca grosimea locală a feței să fie proporțională cu energia vibrației în punctul respectiv (Ghelmeziu 1961).

Calitatea instrumentului, virtuozitatea interpretului și muzicalitatea partiturii sunt factorii care propulsează profesional artistul (Costin 1964). Frumusețea sonoră captivează ascultătorii, virtuozitatea probează gradul de însușire de către interpret a tehnicii de execuție, iar muzicalitatea este calitatea partiturii de oferi posibilitatea unei expresii desăvârșite a conținutului ei (Costin 1964). Virtuozitatea este însușirea care caracterizează prin excelență arta muzicală (Costin 1964).

1.3 Descriptorii acustici ai calității lemnului pentru instrumente muzicale

1.3.1 Sunetul în lemn

Sunetele sunt oscilații mecanice, produse de o forță de natură elastică, cu frecvența cuprinsă între 20 și 20000 Hz și durată de cel puțin 0.06 s, care sunt percepute de organul auditiv (Dima et al. 1972, Rossing 2014, Sfetcu 2018). În termeni psihofiziologici, oscilația elastică este stimulul, iar percepția sunetului este senzația (Everest 2001). Oscilațiile mecanice cu frecvența mai mică de 20 Hz se numesc infrasunete, iar cele cu frecvența mai mare de 20000 Hz, ultrasunete (Dima et al. 1972).

Rezonanța este de fapt un stadiu în interacțiunea sunetului cu lemnul, în care frecvențele lor de oscilație ajung să se identifice. La rezonanță, la care energia transferată de excitator este

maximă, amplitudinea undelor crește considerabil și ar putea crește la nesfârșit dacă nu ar exista frecări (Rusu 1985). Dacă un mediu de propagare are o armonică de vibrație apropiată de frecvența excitatorului, primește o cantitate foarte mare de energie și vibrează la această frecvență chiar și după ce excitația s-a atenuat, dacă energia nu a fost între timp convertită în deformații plastice (Rusu 1985).

În mișcarea oscilatorie, energia este proporțională cu pătratul amplitudinii oscilației. Transferul de energie prin unde elastice are loc fără schimb de substanță (Rusu 1985). La propagarea undelor în medii disipative, o parte din energie se transformă în căldură, iar amplitudinea undei (A) scade exponențial după legea:

$$A = A_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (1)$$

în care A_0 este amplitudinea originală, α este o constantă de atenuare, iar x , distanța parcursă de undă (Dima et al. 1982, Everest 2001).

ORIGINEA SUNETULUI ÎN LEMN. Apariția sunetului în lemn se datorează (Schad et al. 1996):

- vibrațiilor transmise din afară, de o sursă de unde sonore;
- impactului lemnului cu un corp, din care rezultă unde elastice de șoc;
- deplasării, în interiorul lemnului și în apropierea unor defecte, a câmpului de tensiuni produse de solicitările dinamice bruște.

Producerea de sunete în urma solicitărilor mecanice poartă numele de *emisie acustică* – o tehnică apreciată la monitorizarea defectelor lemnului pe durata fabricării produselor fără oprirea liniilor de producție (Kawamoto și Williams 2002).

PROPAGAREA SUNETULUI ÎN LEMN. O parte din vibrația sonoră este eliberată în aer, cea mai mare parte este însă interceptată și condusă de fața cutiei sonore a instrumentului (Ille 1975, Figura 6). Fața conduce sunetul în lungul fibrei, dar și tangențial. În lemn, o parte din energia sonoră se pierde prin frecare, și se transformă în căldură, altă parte radiază din cutia sonoră în mediu. Teoretic, la un material perfect elastic care este tensionat ciclic, singura sursă a pierderilor de energie a oscilațiilor pe care le dezvoltă este frecarea externă cu suportul și fluidul în care oscilează (Brancheriau 2010). La materialele solide, frecarea internă este mult mai acerbă și



Figura 6. Arhitectura cutiei sonore la viola Romanov creată de Nicolo Amati în 1677, printre ultimele capodopere ale celebrului lutier, are un farmec deosebit, care se înscrie pe linia instrumentelor de tenor ale școlii cremoneze (Strad 2019)

conduce la transformarea energiei mecanice în căldură.

Lemnul recepționează dar și emite energie sonoră. Fața cutiei sonore asigură 2/3 din radiația emisă de instrumentul muzical (Schelleng 1969).

În pereții celulari, sunetele produc vibrații complexe care, prin frecare internă (EN. *Internal friction*), transformă energia sonoră, o parte din ea devenind căldură. Golurile celulare (lumelele în speță), umplute cu aer, amortizează și ele oscilațiile. La rășinoase, lumelele, mult mai mari în lemnul timpuriu, explică de ce lemnul târziu conduce mai bine sunetul. Undele sonore care traversează lemnul își reduc amplitudinea datorită frecării și, odată cu ea, energia (Figura 7). Deci **lemnul este un mediu de propagare disipativ**: energia mecanică nu se conservă pe durata oscilației. Stingerea oscilațiilor și atenuarea energiei sonore ca urmare a frecării interne în lemn au loc după legea exponențială exprimată de relația (1).

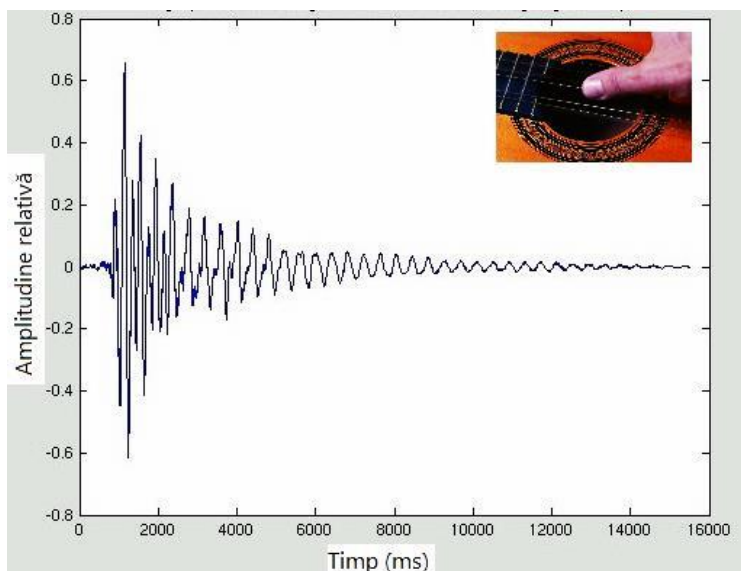


Figura 7. Semnalul sonor obținut după ciupirea unei corzi de chitară (Sanders și Weiss 2020, adaptat)

elasticitatea lemnului lor (Wegst 2006).

1.3.2 Proprietățile sunetului

Înșușirile sunetului rezultate din percepția fiziologică a proprietăților lui sunt înălțimea, intensitatea și timbrul (Dima et al. 1972) – trăsături calitative exprimate de mărimi fizice cuantificabile. Acestea depind de frecvență.

Înălțimea sunetului (EN. *sound pitch*) este calitatea sunetelor de a fi înalte (sin. ridicate, ascuțite, acute) sau joase (sin. grave), după cum frecvența lor este mai mare sau mai mică (Dima et al. 1972). Fiecare corp are frecvența lui proprie (EN. *eigenfrequency*) condiționată de mărimea spațiului care vibrează, de materialul din care este alcătuit și de însușirile mecanice (Wegst et al.

Gradul de disipare a energiei mecanice prin frecare depinde de temperatura și umiditatea lemnului, precum și de natura și conținutul extractibililor în lemn (Wegst 2006). În lemnul de molid, frecarea internă este strâns și negativ legată de modulul de elasticitate specific (MOE/ρ), consecința unghiurilor microfibrilare mici (Brémaud 2012a). În ansamblul speciilor, amortizarea sunetului nu pare însă influențată de densitatea și

2006). La pian de pildă, cutia sonoră vibrează în domeniul de frecvență 28 Hz – 14 kHz, în care oscilațiile sonore cu frecvența mai mare de 3600 Hz sunt considerate sunete înalte (Holz 1967).

Intensitatea este în același timp o proprietate a sunetului, care poartă numele de *nivel de intensitate acustică*, și o senzație fiziologică indicată prin *tăria sunetului*. Intensitatea acustică (I) este proporțională cu pătratul presiunii exercitate de sunet și, prin aceasta, cu viteza undelor acustice (V), cu viteza maximă de oscilație a particulelor mediului ($u_{\max}$) și cu densitatea mediului (Dima et al. 1972):

$$I = \frac{1}{2} \cdot u_{\max} \cdot \rho \cdot V, \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2)$$

Tăria unui sunet (L) se indică prin comparație cu sunetul abia perceptibil (de intensitate $I_0=10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$):

$$L = \log_{10} I / I_0, [B] \quad (3).$$

Timbrul este o altă însușire a sunetului, datorată însoțirii sunetului pur (având frecvența fundamentală) cu armonicile lui. Majoritatea rezonatorilor emit spectre sonore rezultate din suprapunerea sunetului fundamental (EN. *overtone*) cu un număr finit de armonice superioare (EN. *upper partials*). Acestea sunt sunete compuse (Figura 8). Sunetul cu spectre în care frecvența variază continuu se numește zgomot (Dima et al. 1972). Armonicile ($2v$, $3v$, $4v$...) din spectrul sunetului depind de forma cutiei sonore și materialul din care este aceasta confecționată. Viorile de pildă, au spectre sonore cu intensități maxime în zona armonicilor, care le conferă un timbru plăcut, asemănător vocii umane, dar și ferm (sunetele sunt puternice și pline) – Ghelmeziu 1961.

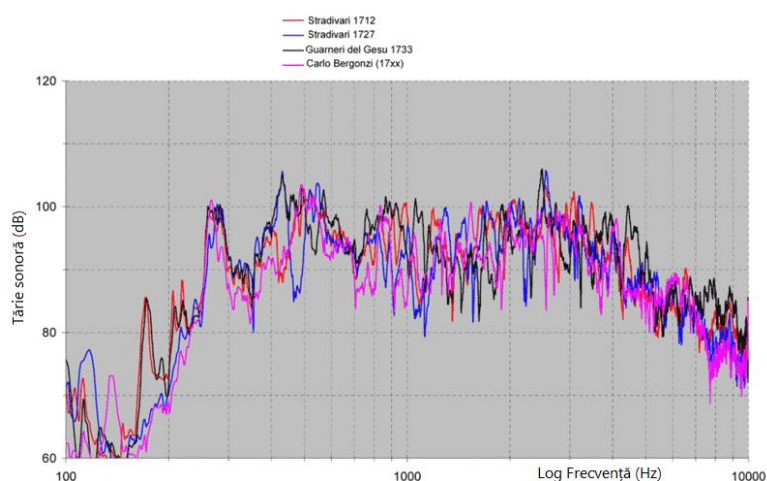


Figura 8. Stânga: spectrul sonor la câteva viori celebre. Dreapta: o vioară Stradivarius la efectuarea unui examen acustic (Schleske 2020)

Căderea curbilor de rezonanță la frecvențe mai mari de 3.5 kHz, tipică viorilor din școlile italiene, explică de ce aceste viori nu emit sunete înalte stridente (Ghelmeziu 1961). Viorile maestro contemporane întăresc sunetele cu frecvență mai mare de 4 kHz, accentuând armonicile înalte.

1.3.3 Emisia sonoră la cordofone

La cordofone, corzile sunt puse în vibrație prin atingere cu arcușul, lovire sau ciupire. Rezonatorul (cutia sonoră) îndeplinește rolul de a amplifica și radia sunetul, transmițându-i mai repede energia în spațiu. Sunetul emis de corzi este preluat de căluș, care îl transmite feței (Costin 1964). Vibrațiile orizontale generate de corzi sunt transformate de căluș în vibrații verticale (Ghelmeziu 1961), care se transmit cutiei sonore. Popicul transferă vibrațiile spatelui instrumentului (Ghelmeziu 1961). Sunetul este reflectat și îmbogățit cu armonice de pereții și spatele cutiei sonore, care îi amplifică energia, apoi eliberat spre auditoriu prin răsuflătorile acustice. Bogăția de armonice conferă culoare sunetului emis (Radu 1985). Prin urmare, eclisele și spatele contribuie la sonoritatea instrumentului muzical. Reflexia sunetului pe suprafețele dense, cum sunt și cele ale cutiei sonore, are loc cu pierderea unei semiunde ($\lambda/2$) sau cu schimbarea fazei cu π radiani (Radu 1985).

Măsurătorile acustice au arătat că lemnul de paltin și cel de molid – materialul tradițional pentru cutia sonoră – au impedanțe foarte apropiate (Wegst 2006).

Este de reținut că nu vibrează numai cutia sonoră, ci și fluidul care o înconjoară. Aerul din interiorul cutiei sonore oscilează cu altă frecvență proprie decât aerul liber, contribuind prin aceasta la modificarea timbrului (Radu 1985). Aerul absoarbe cu predilecție sunetele înalte (Radu 1985).

1.3.4 Proprietățile care exprimă comportarea lemnului în câmp acustic

Însușirile sunetului se reduc la volum, calitate și culoare (Wegst 2006). Acestea sunt determinate de elasticitatea, densitatea și frecarea internă a materialului, proprietăți care condiționează viteza, frecvența caracteristică și intensitatea sunetului. Din aceste proprietăți au fost derivați câțiva parametri acustici – care, împreună, exprimă contribuția lemnului la funcționarea instrumentelor muzicale (Tabelul 2).

Datele din literatură (Schelleng 1982, Obataya et al. 2000, Wegst 2006, Brémaud 2012a) indică pentru lemnul de molid destinat instrumentelor muzicale următoarele niveluri ale însușirilor acustice:

- ✓ viteze de propagare a sunetului, moduli de elasticitate, radiație acustică, eficiență de conversie acustică dintre cele mai mari;
- ✓ rezistivitate acustică moderată, benefică pentru transmisia sunetului în aer;
- ✓ densitate moderată la joasă;
- ✓ frecare internă mică (amortizare redusă);
- ✓ anizotropie accentuată a proprietăților acustice – datorată orientării axiale a cvasitotalității elementelor anatomice care formează arhitectura fibrilară a lemnului de rășinoase.

Lemnul de molid rămâne arhetipal pentru cordofone (Vanin 1953). În primul rând radiația acustică mare – combinația densității mici cu elasticitatea ridicată – distinge lemnul de molid printre materialele folosite la construcția cutiei sonore (Brémaud 2012a); în baza radiației acustice excepționale, comportamentul său acustic a fost caracterizat ca „reactiv” mai curând decât „rezistiv” (Schelleng 1982). Este notabil că lemnul molidului *Picea abies* prezintă amortizare mai mică și tărie sonoră mai mare decât lemnul molidului de Sika (Ege 2013). Viorile necesită oricum fețe cu amplitudini mici ale sunetului la frecvențe mari și amplitudini mari la frecvențe mici (Meinel 1957). Prin atenuarea considerabilă a oscilației sonore la frecvențe mari, lemnul de molid este printre puținele materiale care răspunde cerinței precizate de Meinel.

Tabel 2. Proprietățile care exprimă performanțele acustice ale lemnului de molid uscat* (Dinulică 2020)

Frecvența de rezonanță f_r (EN. resonance frequency)	Semnificație acustică: Este frecvența oscilațiilor sonore la amplitudinea maximă a vibrațiilor (Beldeanu 1999). Semnificație muzicală: Viorile care sună rău, emit, la frecvențe înalte, tonuri scurte, întrerupte și la distanțe mici de instrument (Ile 1975). Determinare: (1) Epruveta din lemn este pusă în vibrație cu ajutorul unui generator de ton și unui excitator electromagnetic. Vibrațiile, longitudinale sau transversale, au frecvența în domeniul audibil (Beldeanu 1999). Frecvența de rezonanță corespunde amplitudinii maxime a oscilațiilor, care se citește la voltmetru. (2) O altă modalitate de a produce vibrații sonore este prin lovirea epruvetei sau lemnului rotund cu un ciocan. Semnalul este înregistrat și supus transformării rapide Fourier (FFT). Cea mai joasă frecvență proprie (naturală, f_n) a corpului pus în vibrație se poate estima cu relația: $f_n = 1.028 \cdot V \cdot H / L^2 \quad (4)$ în care: V este viteza sunetului, H este grosimea epruvetei, iar L, lungimea ei (Schelleng 1982). De aici rezultă că pentru o lungime anume L a plăcii de rezonanță, grosimea ei va fi proporțională cu inversul vitezei sunetului. Mărimi pentru molidul de rezonanță: 134-1180 Hz.
Modulul de elasticitate longitudinal E (EN. Young's modulus of elasticity), MPa	Semnificație: Exprimă rigiditatea materialului. La molid, rigiditatea materialului este de 10-15 ori mai mare în lungul decât în latul fibrei, ceea ce impune debitarea longitudinală a lemnului pentru cordofone. Această diferență de mărime justifică discrepanța între direcțiile longitudinală și transversale cu privire la viteza sunetului (Schelleng 1982). Raportul de anizotropie E_L/E_R determină în mare măsură modul de vibrație a plăcilor de rezonanță la instrumentul finit (Haines 1979). Rigiditatea longitudinală a feței instrumentului crește după lipirea barei de bas (Schelleng 1982). Determinare: E se determină în regim static sau dinamic. Mărimea lui se poate deduce cu ajutorul frecvenței de rezonanță, în baza relației (Brémaud et al. 2012): $\frac{E}{\rho} = \frac{48 \cdot \pi^2 \cdot L^4}{m_n^4 \cdot H^2} \cdot f_{r_n}^2 \quad (5)$ în care termenii au semnificația din relația (4), iar m este o constantă care depinde de ordinul modului de frecvență (pentru modul 1, $m = 4.730$)

Relațiile de calcul**** se prezintă de Spycher et al. (2008).

	Mărimi pentru molidul de rezonanță	Mărimi pentru molidul comun
E_L	10000-18000	9000-11500
E_R	500-1225	380-550
E_T	390-1440	-
E_L/E_R	12.9-40	-
Modulul de elasticitate specific (E'), $\text{MPa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	Semnificație: Determină viteza sunetului și mărimea frecvenței de rezonanță. Calcul: $E' = E/\rho$ Mărimi pentru molidul de rezonanță**: 26...28...36	
Modulul de alunecare G (EN. shear modulus), MPa	Semnificație: Propagarea sunetului în plăcile cutiei sonore implică forfecare (Schelleng 1969). Modulul de alunecare-forfecare este o măsură a rezistenței materialului la răsucire (Haines 1979). Raportul între modulul de elasticitate și modulul de alunecare în regim dinamic determină frecvența de răspuns a cutiei sonore la oscilațiile de încovoiere și exprimă calitatea tonului cutiei de rezonanță de la pian (Obataya et al. 2000). Mărimi pentru molidul de rezonanță: $G_{RL} = 500-700$; $G_{LR} = 1270$; $G_{TL} = 460-770$; $G_{LT} = 1975$; $G_{TR} = 36-72$; $G_{RT} = 5730$; $E_L/G_{RL} = 16-24$; $E_L/G_{RT} = 12-24$. Modulii de alunecare în tabla de rezonanță a viorii sunt nesemnificativi la frecvențe ale sunetului mai mici de 3 Hz (Schelleng 1982).	
Coefficienții Poisson μ	Mărimi pentru molidul de rezonanță: $\mu_{LR} = 0.44-0.45$; $\mu_{LT} = 0.38-0.54$; $\mu_{RT} = 0.47-0.56$; $\mu_{TR} = 0.30$.	
Viteza sunetului V (EN. sound velocity), $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Semnificație acustică: Exprimă iuțimea propagării sunetului în lemn, care este condiționată de elasticitatea și densitatea materialului și depinde de direcția frontului sonor față de geometria structurii lemnului (FPL 1999). Semnificație muzicală: Exprimă claritatea sunetului și ușurința cu care instrumentele cântă (Bucur 1976). Determinare: prin măsurarea timpului de propagare (TOF) pe distanța d sau a frecvenței de rezonanță în modul n :	
	$V = \frac{d}{TOF} \quad (7)$	$V = \frac{2 \cdot L \cdot f_{r_n}}{n} \quad (8)$
	L fiind lungimea bușteanului sau a epruvetei (Legg și Bradley 2016). Mărimi pentru molidul de rezonanță: $V_L = 4800-6300$; $V_R = 900-1600$; $V_L/V_R = 3.5-4.95$; $V_T = 1000-1100$.	
Densitatea ρ (EN. Wood density), $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Mărimi pentru molidul de rezonanță	Mărimi pentru molidul comun
	0.35...0.43...0.49, $W = 10-12 \%$	0.28-0.62, $W = 12 \%$
	Interpretare: Lemnul de molid cu densitatea mai mare de $0.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ are indici acustici inferiori (Krzysik 1968).	
Impedanța z (EN. acoustic impedance), $\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$	Semnificație acustică: Reprezintă rezistență pe care lemnul o opune la propagarea sunetului. Redă dificultatea de transmitere a vibrației de la un mediu la altul (Brémaud 2012b), e.g. de la corzi la cutia sonoră, sau, altfel spus, sprinteneala sunetului în lemn (Beldeanu 1999). Intensitatea sonoră tinde spre zero dacă mediile	

în contact au impedențe foarte diferite (Wegst 2006). Materialele pentru confecționarea corzilor și plăcii sonore trebuie alese așa încât deosebirile lor de impedanță să satisfacă două cerințe conflictuale: pe de o parte, corzile să transmită cutiei sonore energie suficientă pentru ca vibrația să fie perceptibilă, pe de altă parte, vibrația corzilor să nu se stingă rapid și astfel sunetul să devină „surd” (Wegst 2006). Cu majorarea impedanței scade și tăria sunetului – pentru a preveni această pierdere, masa instrumentului trebuie să crească chiar până la dublare, cu efecte nedorite asupra raportului de anizotropie a vitezei sunetului (Schelleng 1982).

Semnificație muzicală: Din perspectiva calității muzicale a instrumentului, impedanța indică sprinteneala, lejeritatea (Bucur 1983).

Calcul:

$$z = V \cdot \rho \quad (9) \quad z = \frac{8}{\sqrt{12}} \cdot \frac{V \cdot \rho}{\sqrt{1-\mu^2}} \cdot h^2 \quad (10)$$

în care h este grosimea plăcii (Meyer 1995).

Mărimi pentru molidul de rezonanță: $z_L = 1.90-2.90 \cdot 10^6 \cdot \text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$

Radiația acustică
 R (EN. radiation
ratio), $\text{m}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Semnificație: Descrie emisia în spațiu de unde sonore, care depinde de amplitudinea vibrației și care asigură instrumentului tăria sonoră. Este și o măsură a atenuării vibrației cutiei sonore în urma radierii sunetului: un sunet tare este produs de un lemn cu radiație mare (Wegst 2006) – cu alte cuvinte, este o măsură a „puterii” acustice a instrumentului (Haines 1979). La creșterea cu 12 % a mărimii radiației acustice, intensitatea sunetului emis de instrument crește cu 1 dB (Schelleng 1982). Amortizarea oscilației sonore este direct proporțională cu radiația acustică (Ege 2009). Pentru maximizarea tăriei sunetului, la construcția instrumentului muzical se va adopta combinația de materiale care să asigure cea mai mare radiație în raport cu pierderea de energie sonoră (Barlow 1997). Fața instrumentului conferă forță sunetului, iar spatele îl stinge – raportul de mărime optim între radiațiile lor acustice fiind de 2:1 (Schelleng 1982); drept urmare, cele două componente ale cutiei muzicale vor fi debitate din specii diferite, specia spatelui având lemnul considerabil mai greu decât specia feței (Schelleng 1982). Din relațiile de calcul a parametrilor acustici, rezultă că instrumentul care radiază sunetul cel mai puternic va avea și o rigiditate corespunzătoare raportată la unitatea de masă, care face ca fața (de numai 2-3 mm grosime) să suporte o solicitare de 70-90 N (adică 7-9 Kg) la cea mică deflexie a corzilor (Wegst 2006).

Calcul**:** $R = V/\rho$ (11)

Mărimi pentru molidul de rezonanță: $R_L = 10.0-15.4$; $R_R = 1.6-4.1$

Mărimi pentru molidul comun: $R_L = 4.7-9.5$

Factorul de
amortizare(EN.
damping factor,
loss factor),
decrementul de
amortizare

Semnificație acustică: Parametrul descrie pierderea de energie mecanică în procesul de propagare a vibrațiilor sonore în lemn care își reduc progresiv amplitudinea (Figura 8).

Semnificație muzicală: Amortizarea asigură stingerea sunetului, deci durata tonului.

Determinare: Factorul de amortizare se determină în relație cu frecvența sau cu timpul, după încetarea excitației mecanice (Brémaud et al. 2012). Relațiile corespunzătoare de calcul sunt:

$$\delta = \frac{\pi \cdot (f_2 - f_1)}{f_r} \quad (12)$$

f_1 și f_2 fiind frecvențele temporale la amplitudinea de 0.707 din amplitudinea maximă, iar f_r este frecvența de rezonanță (Beldeanu 1999). În practică se folosește și mărimea lui trigonometrică: $\tan \delta = \delta/\pi$ (EN. loss tangent).

$$\delta = \frac{1}{n-1} \cdot \log \frac{A_0}{A_n} \quad (13)$$

n fiind numărul de oscilații complete după încetarea excitației, iar A_0 și A_n sunt amplitudinile extreme ale vibrației sonore. Raportul între amplitudinile succesive este constant pe durata stingerii sunetului: $A_1/A_2 = A_2/A_3 = A_3/A_4 = \dots = A_{n-1}/A_n$ (Schelleng 1982). Mărimea decrementului de amortizare calculat cu această relație este dependentă de parametrii excitatorului, motiv pentru care datele pot să nu fie comparabile de la o cercetare la alta (Ross și Pellerin 1994).

Mărimi pentru lemnul comun: Valorile decrementului de amortizare oscilează în intervalul 0.02 (pentru lemnul uscat la temperatura camerei) – 0.1 (pentru lemnul fierbinte și saturat).

Mărimi pentru lemnul de rezonanță uscat : δ_L : 0.018-0.032; $\tan \delta_L$: $5.7 \cdot 10^{-3}$; δ_R : 0.045-0.069; $\tan \delta_R$: 17.2-23.6; $\tan \delta_R / \tan \delta_L$: 1.5-4.

Factorul de calitate al amortizării vibrațiilor Q (EN. Quality factor)	Semnificație acustică: Exprimă însușirea arhitecturii lemnului de a cauza vibrațiilor pierderi de energie cât mai mici (Bucur 1980). Indică, de asemenea, modul în care materialul atinge regimul staționar de vibrație (Bucur 1976). Semnificație muzicală: Explică modul de stingere a sunetului după încetarea excitației sonore.
--	---

$$\text{Calcul: } Q = \pi/\delta \quad (14)$$

Mărimi pentru lemnul de rezonanță: $Q_L = 100-180$; $Q_R = 30-33$; $Q_T = 30-31$.

Eficiența conversiei acustice ACE (EN. figure of merit), $m^4 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$	Semnificație: Acest parametru alături contribuția amortizării la cea a radiației acustice pentru caracterizarea calității acustice a materialului. Indică eficiența conversiei energiei vibratorii în energie sonoră. Amortizarea slabă împreună cu radiația consistentă prelungesc și îmbunătățesc vibrarea cutiei sonore (Roohnia et al., 2011). ACE mai este cunoscută și ca răspuns de vârf (EN. peak response) al materialului.
---	---

$$\text{Calcul: } ACE = \frac{R}{\tan \delta} \quad (15)$$

Mărimi pentru lemnul de rezonanță: 1270-1480.

Emisia acustică H (EN. Emission ratio), $m^4 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$	Calcul: $H = \frac{R}{\delta}$ (16)	
	Mărimi pentru lemnul de rezonanță	Mărimi pentru molidul comun
	H_L 4.3-6.8	3.5-7.2
	H_R 0.2-0.8	0.2-0.6
Tăria sonoră L (EN. loudness ratio), $m^8 \cdot kg^{-2} \cdot s^{-2}$	Calcul: $L = H_L \cdot H_R$ (17)	
	Mărimi pentru lemnul de rezonanță	Mărimi pentru molidul comun
	L 0.87-4.70	0.90-3.22

* Date sunt compilate după: Barducci și Pasqualini 1948, Burger 1953, Schelleng 1969, Ghelmeziu și Beldie 1970, Bucur 1976, Haines 1979, Bucur 1980, Rocaboy și Bucur 1990, Rajčan 1998, Beldeanu 1999, Obataya et al. 2000, Shen 2006, Wegst 2006, Spycher et al. 2008, Brémaud 2012b, Stanciu et al. 2020; ** minim...medie...maxim; *** Indicii L, R și T redau direcțiile de anizotropie în lemn; **** Pentru plăcile de rezonanță, care sunt medii anizotrope, în relațiile de calcul ale mărimilor acustice derivate, modulul de elasticitate Young va fi înlocuit de $\sqrt{E_L \cdot E_R}$, viteza sunetului de $\sqrt{V_L \cdot V_R}$, iar factorul de calitate de $\sqrt{Q_L \cdot Q_R}$ (Meyer 1995, Ege 2003).

Comportarea lemnului în câmp acustic este condiționată de însușirile sale mecano-elastice, care sunt caracterizate de modulii de elasticitate Young, modulii de alunecare (forfecare) în planurile de anizotropie și coeficienții Poisson după aceste planuri de anizotropie (Bucur 1976). Mărimea acestor constante este critică la selecția lemnului de rezonanță.

Unele proprietăți au o greutate mai mare la clasificarea materialului în categoria lemnului de rezonanță. Holz și Schmidt (1968), dar și Macareva (1968) opinau că legătura strânsă cu modulii de elasticitate și cu radiația acustică recomandă densitatea drept criteriu principal la selecția lemnului cu calități acustice. Schelleng (1969), Ghelmeziu și Beldie (1970), Haines (1979) și cercetătorii sovietici (Macareva 1968, Zaițev 1969) accentuează importanța radiației acustice, în timp ce Schelleng (1982) și Ono și Morimoto (1985) clamează importanța factorului de amortizare, iar Obataya et al. (2000), importanța mărimi produsului $\frac{E'_L}{G'_L} \cdot \frac{\tan \delta_R}{\tan \delta_L}$. Haines (1979) desemnează tăria sonoră ca parametrul acustic cel mai important. Parametrii amortizării sunt cruciali la alegerea lemnului pentru instrumente cu corzi de ciupit sau lovit și au o valoare mai redusă în cazul instrumentelor cu arcuș, la care starea de vibrație a corzilor este continuă (Spycher et al 2008). Oricum, singură mărimea vitezei sunetului nu poate servi recunoașterii lemnului de rezonanță nici la lemnul uscat (Spycher et al 2008), cu atât mai mult la cel verde.

1.3.5 Factori de variație a proprietăților acustice ale lemnului de molid

Dispersia spațială foarte mare a mărimii parametrilor acustici reduce până aproape de zero posibilitatea unui semifabricat din lemn cu distribuție omogenă a proprietăților fizico-acustice (Caldersmith și Freeman 1990). Comportarea lemnului în câmp acustic depinde pe de o parte de energia sonoră cu care vine în contact, iar pe de altă parte de statusul proprietăților lui fizico-mecanice (Filipovici 1965). Unii factori de variație a mărimii proprietăților acustice se discută în cele ce urmează.

(1) Ortotropismul lemnului. În mediile elastice cu structură discontinuă, cum este și lemnul, mărimile fizice care le caracterizează au valori diferite în spațiu. Datorită structurii la scară microscopică, lemnul este un material ortotrop; proprietățile lui se manifestă diferit pe direcțiile care îi descriu ortotropismul (axială, longitudinală, radială) – însușire care poartă numele de anizotropie. Se pare că niciun alt material nu prezintă o anizotropie atât de mare cum este cea a lemnului (Kawamoto și Williams 2002).

Există și convingerea că preferința încăpățânată pentru lemn la confecționarea cutiei sonore este de fapt opțiunea maeștrilor interpreți (Schelleng 1969). Materialele care să îl înlocuiască nu pot fi decât ortotropice, întocmai ca lemnul, mai flexibile pe o direcție decât pe cele perpendiculare (la un raport de 14:1) – Schelleng, 1969.

Mărima modulului de elasticitate transversal este $1/20-1/10$ din mărimea lui în lungul fibrei (la cele mai bune viori, rigiditatea este de 10-12 ori mai mare în lungul fibrei - Hutchins 1978); în consecință, viteza sunetului în direcție radială, în lemnul uscat sănătos, este 20-30 % mărimea ei în lungul fibrei (Wegst 2006). La paltin, anizotropia elasticității este mult mai mică (Hutchins 1978). Amortizarea crește în ordinea direcțiilor: axială < radială < tangențială (Ono și Morimoto 1985); amortizarea transversală este de 3-4 ori mai mare decât în lungul fibrei (Schelleng 1969). La Picea, mărimea decrementului de amortizare este de 2.5-3.5 ori mai mare în direcție radială decât în lungul fibrei (Shen 2006).

Variațiile însușirilor acustice ale lemnului în direcție longitudinală cauzează diferențe importante între tronsoanele de lemn poziționate la diferite înălțimi pe trunchi. Variațiile în lungul razei sunt redată de diferențele de la inel la inel, iar variațiile tangențiale, de diferențele de mărime care se înregistrează pe circumferință. La molid, însușirile mecanice ale lemnului se îmbunătățesc cu depărtarea de măduvă, dar descresc cu depărtarea de colet – mai puțin densitatea lemnului verde, care crește în lungul trunchiului. Din determinările efectuate de Lundström și colab. (2007) a rezultat că, la molidul comun cea mai bună calitate elastică a lemnului este localizată în treimea exterioară a razei, în tronsonul de la 3.5 m la 17.5 m. Ille (1975) afirmă, în baza cercetărilor pe care le-a desfășurat, că lemnul matur are o eficiență acustică superioară alburnului.

Anizotropia lemnului influențează decisiv modurile de vibrație a cutiei sonore și, prin aceasta, frecvența de răspuns (Barlow 1997) și conduce la pierderi mari de energie sonoră la frecvențe mari (Obataya et al. 2000). Adoptarea modelului de debitare a buștenilor în semifabricate pentru instrumente muzicale este influențată și de comportamentul acustic anizotrop al lemnului masiv. Elementele de rezonanță debitate radial sunt mai elastice, deci mai potrivite pentru necesitățile acustice, decât cele debitate tangențial (Zaițev 1969).

(2) Umiditatea și temperatura. La lemnul brut de rezonanță depozitat pentru uscare naturală umiditatea coboară la 6 % (Șcitova 1967); lemnul de rezonanță din xiloteca Facultății de Silvicultură din Brașov are umiditatea în jur de 10 % (Dinulică et al. 2019). Calitatea acustică a materialului lemnos se reduce cu umiditatea și temperatura. La umidități mai mari de 8 %, apa acționează plastifiant în lemn: coeziunea intermoleculară scade și crește mișcare moleculelor (Akitsu et al. 1993). Modulii de elasticitate specifici, eficiența conversiei acustice și radiația acustică se micșorează, în timp ce decrementul de amortizare crește cu umiditatea lemnului până la punctul de saturație (Figura 9).

La creșterea umidității de la 7 % la 22 %, radiația acustică scade cu până la 30 % (Macareva 1968). ACE este mai puternic influențată decât radiația acustică de schimbarea

conținutului de apă al lemnului (Figura 9). Amortizarea minimă se înregistrează în jurul umidității lemnului de 6 %, care corespunde unei umidități stabile a aerului de 33 % (Brémaud 2012b). Viteza sunetului scade cu temperatura și umiditatea în măsura în care aceste proprietăți afectează elasticitatea și densitatea (FPL 1999). În lemnul de pin, viteza de propagare a ultrasunetelor scade puternic până la umiditatea de 25 % urmare a modificării elasticității; la umidități mai mari, densitatea lemnului are rolul precumpănitor în micșorarea vitezei (Borovikov 1968). Modificările care survin în elasticitatea și însușirile mecanice ale lemnului ca urmare a creșterii conținutului de apă până la saturația fibrei depind de cuantumul densității lemnului în stare anhidră (Dinwoodie 2000). Deasupra punctului de saturație al fibrei, viteza sunetului se reduce în continuare, în timp ce amortizarea se stabilizează (Beldeanu 1999).

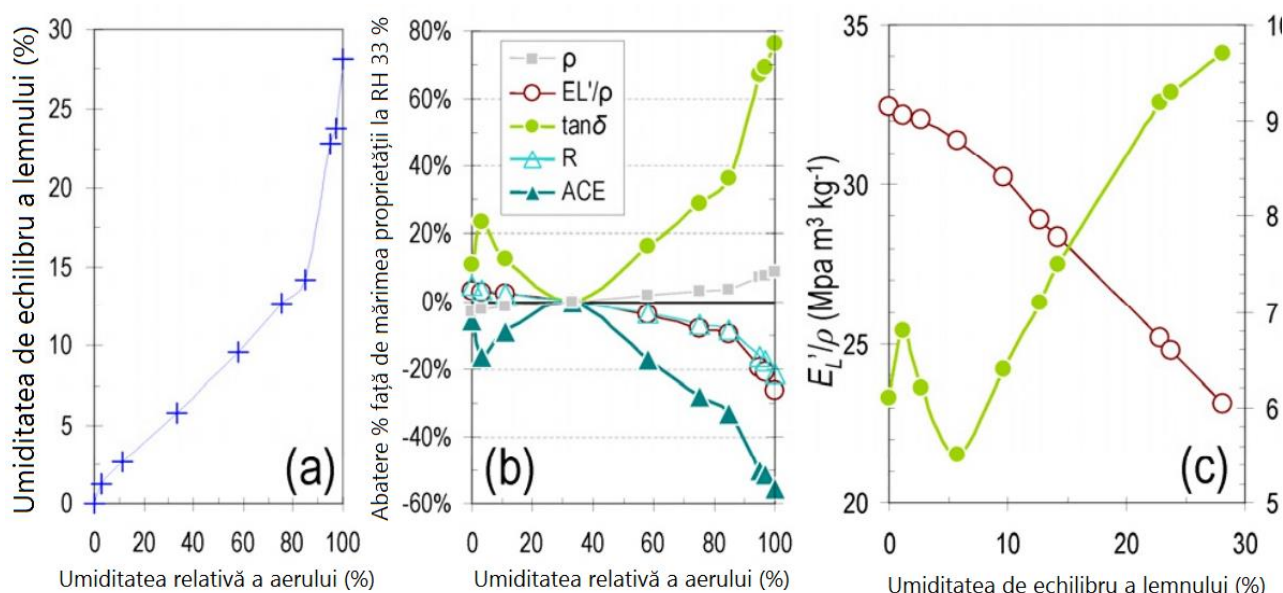


Figura 9. Variația unor parametrii acustici ai lemnului molidului de Sitka cu umiditatea mediului de propagare (Brémaud 2012b)

Cunoașterea răspunsului însușirilor acustice ale lemnului la modificarea umidității este deosebit de importantă la interpretarea datelor rezultate din măsurătorile acustice efectuate la arborii pe picior. Dependența însușirilor acustice de umiditate este mai puternică în direcție perpendiculară pe fibre decât în lungul fibrei (Brémaud 2012b). Până la umiditatea de 15 % frecvența de rezonanță scade linear cu umiditatea, mai repede în direcție radială decât în lungul fibrei (Spycher et al. 2008).

(3) Variații geografice. Proveniența geografică este un factor de variație a mărimii parametrilor acustici. Lemnul de rezonanță din Carpații românești pare a fi mai ușor decât cel din restul Europei (Bucur 1976) și este considerat, oricum, etalon pentru materialul destinat construcției instrumentelor muzicale (Holz 1967). Vanin (1953) citează rezultate ale cercetărilor

sovietice care conchid că lemnul de molid din masivele păduroase europene ale ex-URSS nu se deosebește sub raportul radiației acustice de lemnul de molid din Europa Centrală. În Polonia, instrumentele confecționate din lemn de molid de la altitudini mici au o rezonanță mai slabă decât cele din lemn montan (Krzysik 1968). Cercetările efectuate la paltin în Carpații ucrainieni au constatat reducerea modulului de elasticitate cu altitudinea și stabilitatea altitudinală a radiației acustice (Vintonin 1973).

1.3.6 Relații între proprietățile acustice la lemnul de molid uscat

În literatură sunt semnalate următoarele legături între parametrii acustici ai lemnului de molid condiționat:

- modulul de elasticitate longitudinal este foarte strâns și pozitiv legat ($r = +0.74...0.95$) de mărimea densității; această legătură este descrisă de regresia lineară de forma: $E_L = a \cdot \rho - b$ (Holz și Schmidt 1968, Macareva 1968, Ghelmeziu și Beldie 1970);
- modulul de elasticitate scade cu frecvența oscilației (Holz 1967);
- anizotropia modulului de elasticitate (E_L/E_R) este direct proporțională cu mărimea modulului de alunecare (G_{LT}) (Shen 2006);
- raportul E'_L/G'_{RL} este independent de mărimea densității (Obataya et al. 2000);
- cu cât modulul de alunecare este mai mic, cu atât sunt mai apropiate frecvențele de rezonanță (Haines 1979);
- viteza sunetului crește rapid cu densitatea lemnului (Schelleng 1982) și scade într-o oarecare măsură cu frecvența și amplitudinea vibrației (FPL 1999);
- radiația acustică este invers proporțională cu mărimea densității (Macareva 1968), legătură care, pentru molidul de rezonanță de la noi, este descrisă de regresia: $R = (21.10 \pm 0.48) - 18.58 \cdot \rho$ (Ghelmeziu și Beldie 1970);
- mărimea factorului de amortizare scade cu creșterea densității (Ghelmeziu și Beldie 1970, Holz 1973), dar raportul de anizotropie al lui între direcțiile radială și longitudinală ($\tan \delta_R / \tan \delta_L$) este independent de mărimea densității (Obataya et al. 2000);
- decrementul de amortizare scade cu modulul de elasticitate specific (Obataya et al. 2000, Brémaud 2012b);
- amortizarea crește exponențial cu frecvența de rezonanță (Spycher et al. 2008) numai la frecvențe mai mari de 2000 Hz (Holz 1967; Schelleng 1982, Ono și Morimoto 1985); Schelleng (1982) a identificat cea mai mică valoare a amortizării la 1.5 dB și cea mai mare, la 3 dB;

- valorilor mari ale factorului de calitate le corespund viteze mari ale sunetului (Bucur 1983); factorul de calitate a amortizării crește cu radiația acustică (Barducci și Paqualini 1948);
- eficiența conversiei acustice este corelată pozitiv cu anizotropia elasticității lemnului (Obataya et al. 2000);
- densitatea mică, modulii de elasticitate mari și amortizarea slabă asigură valori mari tăriei sonore (Haines 1979).

1.3.7 Clasificarea calității acustice

Intervalul de variație a mărimii parametrilor acustici a fost împărțit în subclase de valori. O astfel de clasificare este oferită, pentru lemnul de rezonanță din România, de Beldean și Pescăruș (1992). Lemnul de rezonanță din prima clasă de calitate este indicat de valorile mari ale radiației acustice și elasticității, dar mici ale impedanței acustice (Tabelul 3).

Tabel 3. Clasificarea calitativă acustică a lemnului de molid destinat construcției instrumentelor muzicale (Beldean și Pescăruș 1996)

Parametru acustic la $W = 10\%$	Grupe de valori		
	Foarte bune	Bune	Necorespunzătoare
Viteza longitudinală a sunetului, $m \cdot s^{-1}$	> 5250	4800-5250	< 4800
Densitatea lemnului, $g \cdot cm^{-3}$	< 450	451-500	> 500
Radiația acustică, $m^4 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$	> 11.95	10.00-11.95	< 10
Impedanța, $10^6 \cdot N \cdot s \cdot m^{-3}$	< 2.33	2.33-2.50	> 2.50
Factorul de amortizare	0.018-0.019	0.019-0.020	> 0.020

Macareva (1968) propune, pentru lemnul de rezonanță din fosta Uniune Sovietică, următoarele clase de valori ale radiației acustice: ≥ 14 , [13-14] și < 13 . Meyer (1995) consideră că la cea mai slabă clasă de calitate acustică a feței instrumentului, radiația acustică trebuie să fie cel puțin 83 % din mărimea înregistrată la prima clasă de calitate.

Lutierii obișnuiesc să atribuie materialului lemnos una din etichetele de calitate: „bun”, „mediu” sau „mediocru” (Buksnowitz et al. 2007).

1.4 Rezultatele determinărilor acustice experimentale efectuate de autorul tezei

1.4.1 Variații ale mărimii însușirilor fizico-acustice la lemnul de molid pe picior

Cunoașterea gradului de variabilitate a însușirilor acustice a arborilor pentru sunet și a legăturilor între ele este esențială pentru localizarea precisă a nișei lemnului de rezonanță în spațiul resursei lemnoase. Vom prospecta în cele ce urmează această variabilitate la diferite

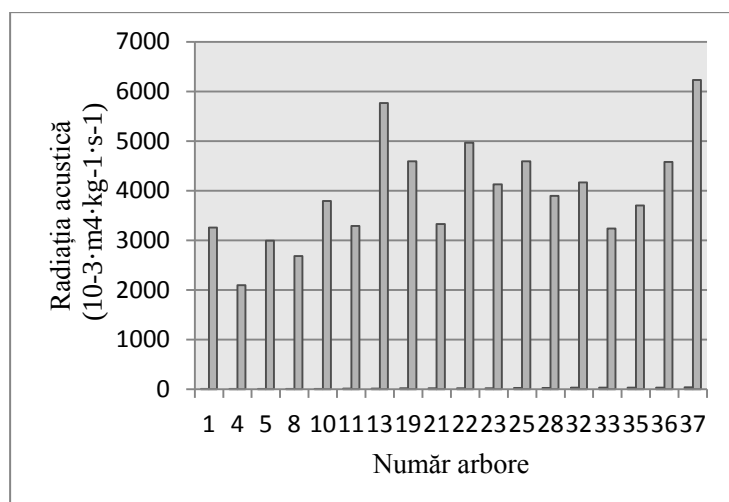


Figura 10. Variația mărimii radiației acustice la molizii din clasa modală de diametre (60-70 cm) – Dinulică 2020

rezoluții, luând în considerare ca efecte: arborele, poziția lui socială și stațiunea (Dinulică 2020).

(1) Variații între arbori

Proprietățile fizico-acustice măsurate prezintă un nivel moderat de variabilitate, al cărei prim factor de variație este arborele însuși (Tabelul 4). Cele mai consistente variații prezintă însușirile acustice determinate în lungul fibrei (Tabelul 4). Drept exemplu, radiația acustică

prezintă un ecart foarte larg, de la simplu la triplu, chiar și la arbori din aceeași clasă de grosime (Figura 10). Acest fapt este încurajator pentru demersul de a asocia fenotipul și xilotipul arborilor cu nivelul calității acustice a lemnului lor. Parametrii acustici în direcție transversală (radială și mai ales tangențială) prezintă stabilitate de la arbore la arbore (Tabelul). Diferențele între arbori cu privire la densitatea lemnului se clarifică numai după uscarea lemnului - densitatea lemnului verde este practic independentă de arbore (Tabelul 4).

Mărimea vitezei sunetului și gradul ei de variabilitate scad de la direcția longitudinală la cea radială și, mai ales, tangențială. Arhitectura lemnului explică, la rășinoase, acest rezultat. Dacă oscilația se transmite în lungul fibrei, elementele anatomice prozenchimatice (alungite), care sunt chiar mai lungi în lemnul de rezonanță decât în lemnul comun (Beldeanu 2006), o favorizează (Figura 11 a,b). Traectoria frontului sonor în lungul fibrei pare a fi tipică fiecărui arbore (după datele din Tabelul 4). La propagarea în direcție radială, frontul sonor traversează, mai greu, straturile alternative de lemn timpuriu și lemn târziu (Figura 11c).

Dintre însușirile fizico-acustice ale lemnului, modulul de elasticitate în lungul fibrei și grosimea creșterilor anuale prezintă cel mai înalt nivel de variabilitate (Tabelul 7). Nu sunt, practic, diferențe între arbori cu privire la contragere și acusticele în direcție radială, nici în privința densității lemnului verde din alburn (Tabelul 7).

Comparând cu datele din literatură (Ghelmeziu și Beldie 1970, Haines 1979, Bucur 1980), s-ar părea că lemnul actual de rezonanță din România nu mai corespunde renumelui pe care îl avea în trecut în legătură cu densitatea lui neîntrecut de mică (Holz 1967, Bucur 1976). Autorul tezei a găsit arbori de molid cu densitatea în secțiunea de bază mai mare de 600 kg·m⁻³ la umiditatea lemnului de 8 %. Cercetătorul american DW Haines (1979) deținea în xiloteca

proprie eşantioane de molid de rezonanță european cu densitatea $0.52-0.56 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Deci, frontiera impusă lemnului pentru instrumente la $0.49 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Tabelul 4) și inspirată de numeroase cercetări nu este chiar atât de rigidă. Mărimile densității și umidității lemnului din alburn, rezultate din cercetările autorului tezei, se înscriu în intervalele de mărime stabilite pentru lemnul verde de molid (Burger 1953). Raportul între viteza longitudinală și viteza radială este sensibil mai mic la lemnul pe picior decât valorile din literatură pentru lemnul uscat (Bucur 1976, Haines 1979), deducându-se de aici că **prin uscare crește anizotropia vitezei**.

Tabel 4. Câmpul de variație a proprietăților fizico-acustice ale lemnului de molid pe picior sănătos* (Dinulică 2020)

Proprietate	Media aritmetică/ Intervalul de încredere	Minimum	Maximum	Coeficient de variație (%)	Normalitatea	Semnificația statistică a diferențelor între arbori**
Umiditatea absolută a lemnului din alburn (%)	122.75/115.75-129.76	56.64	190.60	24.11	Da**	0.01
Viteza sunetului în lungul fibrei ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	3574.45/3395.09-3753.81	2057.26	4660.63	21.35	Nu***	0.01
Viteza radială a sunetului ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1411.48/1344.01-1478.95	1147.63	1778.32	13.48	Nu	0.78
Viteza tangențială a sunetului ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1074.80/1052.03-1097.57	950.20	1205.14	6.26	Da	0.97
Raportul viteza longitudinală/viteza radială	2.58/2.42-2.75	0.84	3.65	25.20	Da	0.18
Raportul viteza radială/viteza tangențială	1.17/1.14-1.18	0.94	1.36	8.42	Da	0.86
Densitatea lemnului verde din alburn (g/cm^3)	0.916/0.894-0.938	0.690	1.118	10.19	Da	0.17
Radiația acustică longitudinală ($10^{-3}\cdot\text{m}^4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)	3830.50/3603.58-4057.42	1619.10	6228.26	25.03	Da	< 0.001
Radiația acustică radială ($10^{-3}\cdot\text{m}^4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)	2619.78/2473.34-2766.21	2102.10	3396.96	12.93	Da	0.77
Impedanța acustică longitudinală ($10^3\cdot\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$)	207.72/3002.85-3412.59	1052.17	4545.60	26.98	Nu	< 0.001
Modulul de elasticitate longitudinal (MPa)	12105/10893.72-13318.20	3547.77	20934.81	41.68	Nu	0.008
Modulul de elasticitate radial (MPa)	1273.70/1123.45-1423.95	754.32	32025.24	27.28	Da	0.22
Contragerea radială a lemnului din alburn (%)	3.99/3.76-4.22	1.07	6.45	24.44	Da	0.97

* Măsurătorile au fost efectuate în sezonul de repaos, la un număr de 32-41 de arbori pe picior și probe recoltate de la aceștia – rezultatele se referă numai la probele fără putregai. ** Probabilitatea de transgresiune din ANOVA sau testul semnelor, după caz. *** Ipoteza normalității nu poate fi respinsă. **** Ipoteza normalității nu poate fi acceptată.

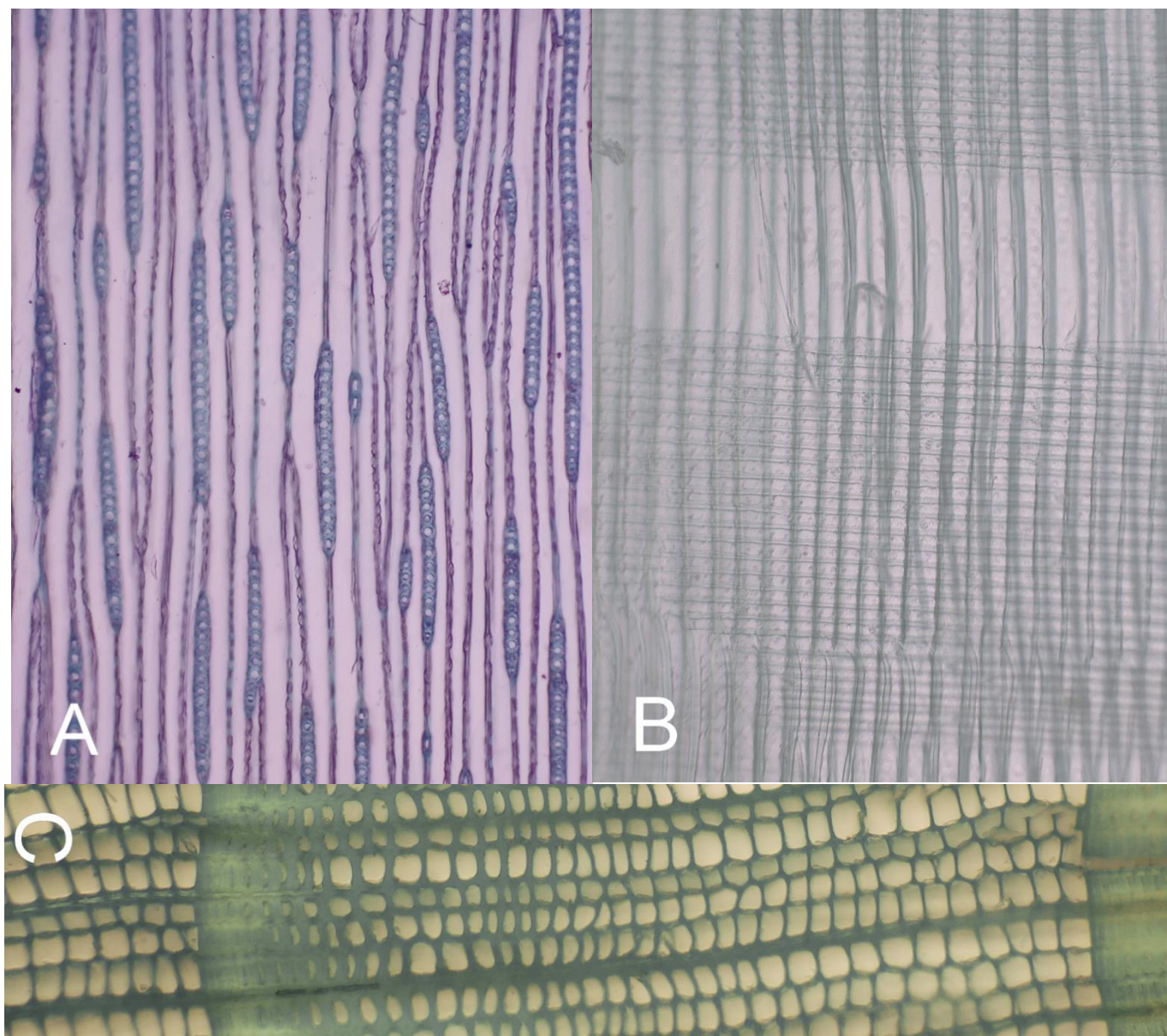


Figura 11. Aspectul microscopic al arhitecturii lemnului la o specie reprezentativă pentru rășinoase (brad) în secțiune tangențială (A, x100), radială (B, x100) și transversală (C, x100) – Dinulică 2012, 2020

(2) Variații în interiorul arborelui

VARIAȚII CIRCUMFERENȚIALE. Așa cum era de așteptat, mărimea proprietăților acustice depinde de poziția în spațiul arborelui. Există suficientă literatură (revăzută de Legg și Bradley, 2016) care documentează variațiile însușirilor fizico-acustice de-a lungul și de-a latul arborelui.

Pentru a identifica variațiile circumferențiale (tangențiale), am referențiat măsurătorile cu *punctele cardinale*. Influența posibilă a poziției eșantionului pe circumferința secțiunii fusului ar putea fi interferată de expoziție, motiv pentru care am făcut apel la analiza de covarianță - în care însușirile acustice sunt variabilele dependente, direcția cardinală de recoltare a probelor, variabila random, iar expoziția, variabila de covariație.

Din compararea rezultatelor ANOVA cu ANCOVA a rezultat că expoziția tinde să estompeze diferențele între punctele cardinale cu privire la mărimea proprietăților lemnului. Variabilele structurale nu depind de poziția cardinală. Singurele proprietăți care variază sensibil de la un punct cardinal la altul sunt densitatea lemnului anhidru ($F = 2.99$, $p =$

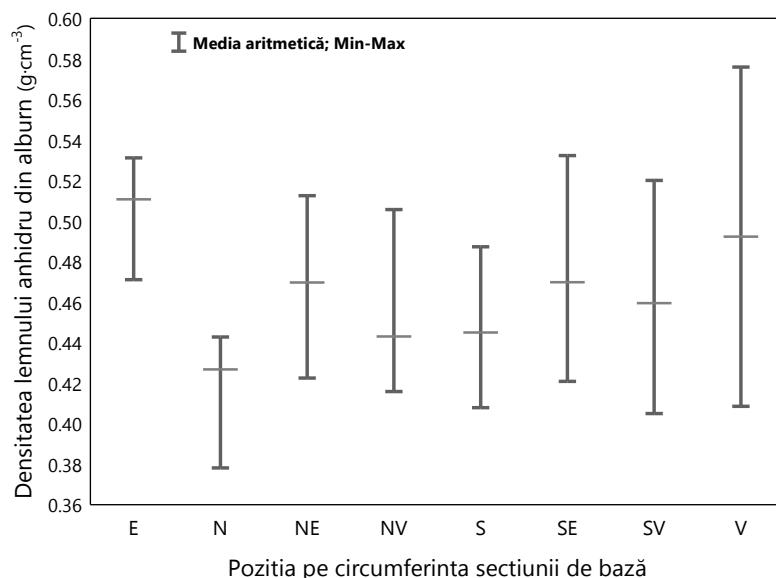


Figura 12. Stratificarea densității lemnului anhidru după poziția eșantionului pe circumferința secțiunii de bază (Dinulică 2020)

0.009), umiditatea ($F = 2.27$, $p = 0.03$), gradul de roșu pe fața exterioară a solzilor ($F = 2.56$, $p = 0.02$), luminozitatea și gradul de galben pe fața interioară a solzilor ($F = 0.54$, $p = 0.02$ respectiv $F = 56.02$, $p < 0.001$). Mediile cele mai mici ale densității sunt pe direcția nordului, iar cele mai mari pe direcția estului (Figura 12). Pe nord este și cel mai mare conținut de apă, iar pe est, printre cele mai scăzute, așa încât densitatea lemnului verde rămâne stabilă pe circumferință ($F = 0.67$, $p = 0.70$). Acest rezultat este remarcabil, având în vedere variabilitatea îngustă a mărimii densității lemnului în populațiile de arbori (Stănescu și Șofletea 1992, Zubizarreta Gerendiain et al. 2009). La duglas, densitatea lemnului este stabilă de-a lungul circumferinței, nu și viteza sunetului sau modulii de elasticitate (Lachennbruch et al. 2010); autorii citați remarcă favorizarea acustică a unor sectoare de pe circumferință.

Diferențele între punctele cardinale cu privire la culoarea scoarței de molid se înregistrează numai la proveniența din Gurghiu și se manifestă printr-o nuanță de roșu mai scăzută pe fața sudică a trunchiului și o nuanță de galben mai intensă pe fața nordică a trunchiului (Dinulică et al. 2019). Vitezele, radiația acustică și impedanța nu variază pr circumferința secțiunii de bază.

VARIAȚII ÎN LUNGUL FUSULUI. Măsurătorile acustice pe care le-am efectuat la rondellele uscate provenite de la arborii de probă din Gurghiu au permis constatarea îmbunătățirii vitezelor de propagare transversală a sunetului cel puțin în primii 6 m de la sol, urmată de o depresie accentuată deasupra secțiunii de la 11.3 m, dar și a creșterii continue a mărimii vitezei tangențiale (Figura 13). Tendința concordă cu evoluția calității structurii inelelor anuale în lungul arborelui, care înregistrează cei mai buni indici între înălțimile de 5 și 9 m (Dinulică 2015a).

Variații cu înălțimea au fost raportate în câteva alte studii, recenzate de Legg și Bradley (2016), care afirmă descreșterea vitezei longitudinale a sunetului în lungul trunchiului. La *Pinus radiata*, Waghorn și colaboratorii (2007) au găsit o îmbunătățire a modului de elasticitate în primii 5 m, urmată de o depreciere până în coroană.

(3) Variații între arborete

Sunt diferențe de calitate acustică a lemnului între arborete din cuprinsul aceluiași bazinet și chiar între suprafețele de probă amplasate în același arboret (Figura 14). Prin urmare, atenția care se acordă de

lutieri provenienței geografice a materiei prime (Darnton 2009) este într-un totu justficată, chiar dacă este privită de profani ca o bizarerie și i se atribuie o aură de mister (Bernabei și Bontadi 2011).

(4) Variații la scară geografică

Cum se știe (Zobel și van Buijtenenen 1989, Dinulică 2012), variabilitatea însușirilor lemnului crește cu scara eșantionului, adică diferențele de mărime a proprietăților lemnului sunt mai mici la scara metapopulațiilor decât la rezoluția arborelui individual. Cu toate acestea, ele sunt suficiente pentru a atrage

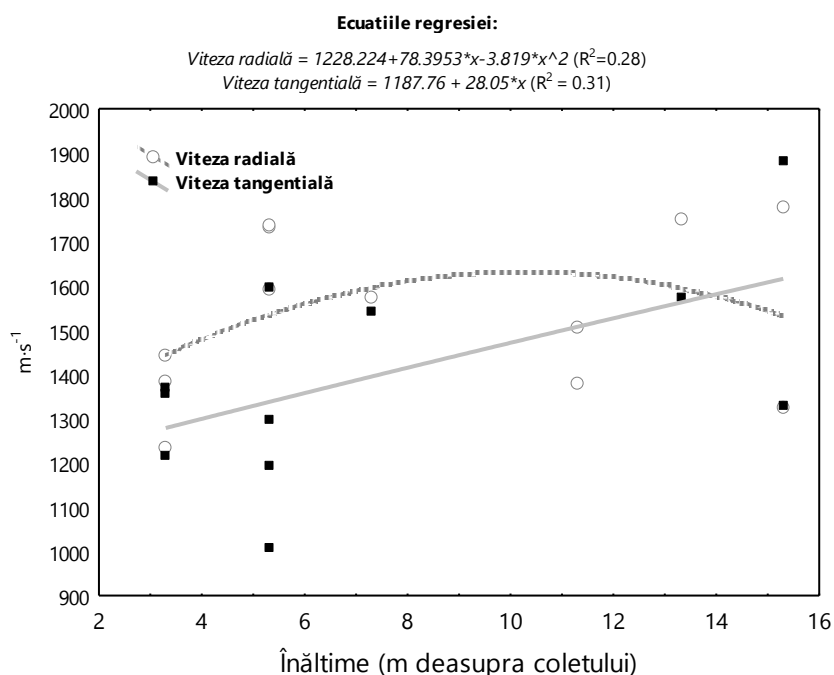


Figura 13. Tendințe cu înălțimea ale vitezei sunetului la arbori de rezonanță de probă (Dinulică 2020)

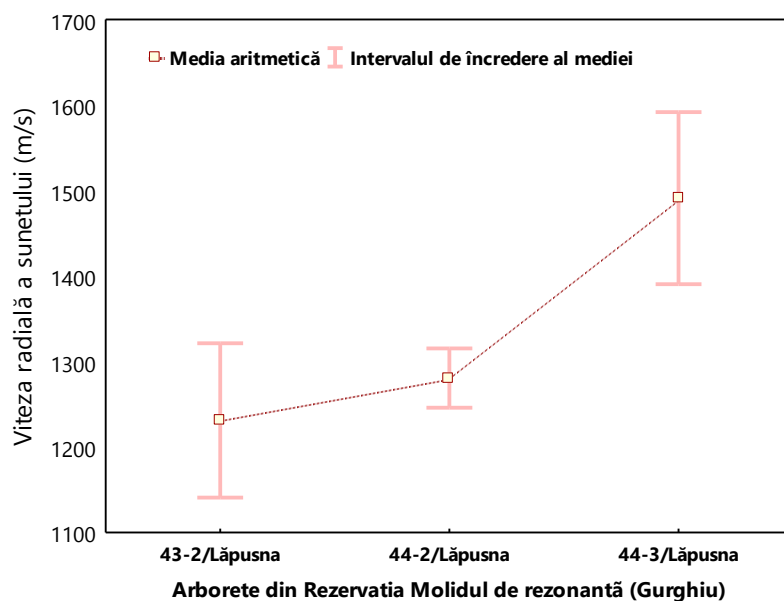


Figura 14. Variația între arboretele rezervației Molidul de Rezonanță din Lăpușna a vitezei radiale a sunetului în secțiunea de bază a arborilor sănătoși (Dinulică 2020)

atenția asupra unor proveniențe geografice mai potrivite pentru scopul în care va fi întrebuințat lemnul. Așa de pildă, lemnul de rezonanță de la molid dar și de la paltin are și o identitate geografică. Diferențele între populații în privința însușirilor acustice ale lemnului sunt reale, dar necesită continuarea investigațiilor.

Am verificat diferențele acustice între două metapopulații de elită de molid, compatibile biometric, dar mult diferite pedoclimatic: Gurghiu-Lăpușna (cunoscută ca rezervor de lemn de rezonanță) respectiv Poiana Brașov (distinctivă ca zveltețe și dimensiuni ale arborilor, fără a fi cunoscută ca furnizor de materie primă pentru construcția instrumentelor muzicale). Determinările acustice efectuate în afara sezonului de vegetație au evidențiat discrepanțe între cele două populații cu privire la viteza de propagare a sunetului în lemn, radiația și mai ales impedanța acustică (Figura 41).

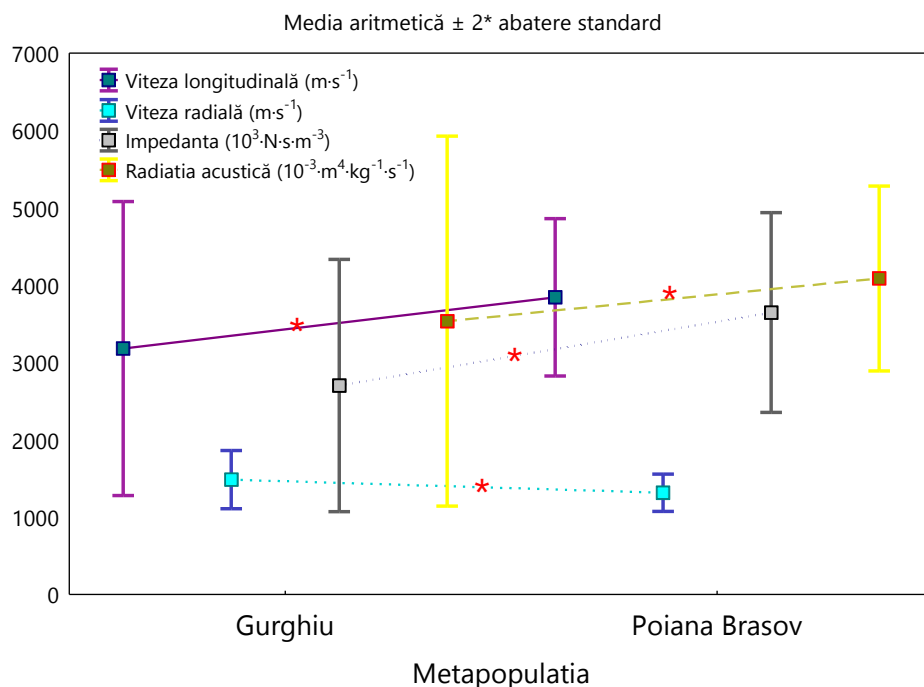


Figura 15. Stratificarea mărimii unor proprietăți acustice ale lemnului în funcție de proveniența geografică a materialului (* marchează confirmarea statistică a diferențelor între proveniențe, pentru $p \leq 0.01$) - Dinulică 2020

Surprinzător, viteza longitudinală a fost în medie cu 662 m/s mai mare, iar radiația acustică cu 550 $10^{-3} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ mai mare la probele recoltate din arboretul fără pretenții acustice, din Poiana Brașov. În schimb, viteza radială a fost cu 170 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ mai mare la probele din Gurghiu și, ceea ce este mai

important pentru calitatea acustică a materialului, impedanța a fost mult mai redusă la probele de la Gurghiu, în medie cu 944 $10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ (Figura 15). Diferențele sunt și în privința raportului între viteza longitudinală și viteza radială, semnificativ mai mare în populația Poiana Brașov (2.99 față de 2.18 în medie, $F = 38.44$, $p < 0.001$) – adică se poate afirma o anizotropie mai mare la lemnul de molid din Postăvaru, care pare a fi astfel apt pentru întrebuințări acustice. Ca urmare, resursa autohtonă de lemn de rezonanță, circumscrisă tradițional Carpaților Orientali de la nord de Miercurea Ciuc (Badea 1965), poate fi extinsă, cu atât mai mult cu cât sunt semnale

de la lutieri privind utilizarea lemnului de molid din munții Sibiului de pildă la debitarea cherestelei de rezonanță (Carpathian Tonewood – comunicare personală). La molizii din metapopulația Gurghiu s-a constatat, de asemenea, o amplitudine mai mare a mărimii proprietăților acustice (Figura 15).

1.4.2 Relații între proprietățile fizico-acustice ale lemnului verde de molid

(1) CORELAȚII ÎNTRE PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE LEMNULUI DE MOLID PE PICIOR. Viteza în direcțiile radială și tangențială variază independent de mărimea vitezei în lungul fibrei (coeficientul de corelație a rangurilor $+0.122$, $p = 0.35$ respectiv $+0.289$, $p = 0.11$). La lemnul uscat, mărimea vitezei radiale este destul de strâns legată de mărimea vitezei tangențiale (coeficientul de corelație a rangurilor $+0.571$, $p = 0.18^2$).

Pentru interesul acustic practic, am calculat rapoartele între viteza longitudinală și cea radială, a cărei valoare medie este 2.6, respectiv viteza radială:viteza tangențială cu valoarea medie 1.2. Densitatea lemnului are o contribuție pozitivă la viteza longitudinală a sunetului (coeficientul de corelație cu densitatea lemnului uscat este 0.657), care este deteriorată probabil de umiditate (coeficientul de corelație cu densitatea lemnului verde 0.207). În contrast, relația este negativă cu viteza radială (Tabelul 5). Rezistența acustică este, din calcul, invers proporțională cu densitatea lemnului verde, dar pe măsură ce lemnul se usucă, numitorul scade și sensul relației se schimbă (Tabelul 5). Radiația acustică variază proporțional cu impedența, legătura fiind destul de strânsă.

Tabel 5. Matricea coeficienților de corelație simplă a rangurilor între proprietățile fizice ale lemnului cu excepția culorii și parametrii acustici. Valorile marcate (*) sunt semnificative ($p < 0.05$) – Dinulică 2020

Proprietăți	V_L	V_R	RL	RR	AIL	AIR	MOEL	MOER
Umiditatea în alburn	NS	NS	-0.242*	NS	+0.247*	NS	NS	NS
Densitatea lemnului verde din inelele periferice	NS	-0.370*	-0.222*	NS	+0.548*	NS	+0.425*	NS
Densitatea lemnului uscat	+0.736*	NS	+0.700*	-0.524*	+0.767*	+0.808*	+0.759*	+0.741*
Densitatea lemnului anhidru din inelele periferice (ρ_0)	NS	NS	NS	NS	NS	+0.432*	NS	NS
Contragerea radială a lemnului din alburn	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	+0.368*

Legătura destul de strânsă a impedenței cu radiația ($r = +0.671^*$) și semnificația calitativ-acustică divergentă a celor două proprietăți, ridică dificultatea poziționării lemnului de rezonanță în această relație. Se pare că **lemnul de rezonanță este un compromis între radiație și**

² Eșantionul pentru care s-a determinat corelația este, se pare, insuficient, de unde și neasigurarea statistică a rezultatului.

impedanță. Nu-i rămâne decât să ocupe cei 54 % din variația radiației care nu poate fi explicată de impedanță (coeficientul de determinare este 0.45). Această nișă este delimitată în figura 42. Pentru diferențierea acustică a lemnului de rezonanță am adaptat valoarea prag din literatură a vitezei sunetului la lemnul verde, folosind rapoartele cunoscute între lemnul verde și lemnul uscat, adică 0.85 (pentru viteza radială: Dinulică et al. 2019) și 0.88 (pentru viteza longitudinală: Bucur 2006). Valoarea prag de $4800 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pentru viteza în lungul fibrei la lemnul de rezonanță uscat (Bucur 1976, 1980) devine astfel $4200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ în lemnul pe picior. Prin intermediul regresiiilor s-a făcut trecerea către valorile prag ale radiației acustice ($4.5 \text{ m}^4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) și impedanței ($3800000 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$), care au fost integrate în *nișa lemnului de rezonanță* (Figura 16).

La arborii măsurați au fost identificate o mulțime de combinații ale vitezei sunetului, radiației acustice și impedanței acustice, care au sugerat posibilitatea unei graduări.

(2) INFLUENȚA UMIDITĂȚII. Umiditatea are un efect depresiv asupra calității acustice a materialului lemnos (Tabelele 4-6). Rezultă că **uscarea duce la îmbunătățirea comportamentului acustic**. Astfel, viteza sunetului în direcție radială este cu cca 200 m/s mai mare, iar viteza în direcție tangențială cu 292 m/s mai mare la lemnul uscat (cu umiditatea de 10 %) decât la lemnul verde de molid, fără ca această creștere să afecteze raportul de mărime între cele două viteze (Tabelele 4-6).

Umiditatea mărește rezistența lemnului la trecerea sunetului (Tabelele 4-6). Lemnul cu densitate mai mică și prezumtiv cu porozitate mai mare, adăpostește o cantitate mai mare de apă (Tabelul 4). Variațiile umidității la arborii pe picior, adică deasupra punctului de saturație a fibrei, nu influențează viteza sunetului (Tabelele 4-6). În alburn, densitatea lemnului anhidru este practic jumătate din densitatea lemnului verde (Tabelul 4).

Conținutul de apă al lemnului variază mult de la un arbore la altul, dar și de la un arboret la altul în aceleași condiții meteo. La aceeași umiditate a aerului și solului și în aceeași perioadă a anului (finele lunii noiembrie 2019),

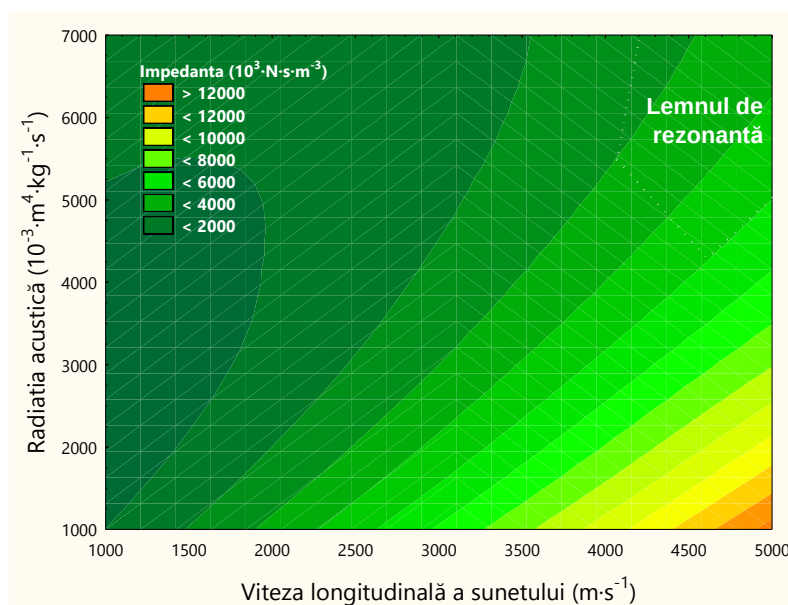


Figura 16. Coreșpondența între mărimile rezistenței acustice, radiației acustice și vitezei longitudinale, în baza regresiei multiple negativ-exponențiale (Dinulică 2020)

umiditatea lemnului în secțiunea de bază a fost în medie cu 14 % mai mare în molidișul de la Poiana Brașov decât în Rezervația Molidul de Rezonanță din Munții Gurghiului. Umiditatea ridicată este în general un handicap la lemnul pentru instrumente muzicale, handicap care se dezvoltă cu ocazia uscării.

Tabel 6. Mărimea proprietăților fizico-acustice la lemnul de molid sănătos uscat natural* (Dinulică 2020)

Proprietate fizică	Media aritmetică/ Intervalul de încredere	Minimum	Maximum	Coeficient de variație (%)	Normalitatea* **	Semnificația statistică a diferențelor între arbori**
Viteza radială a sunetului ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1538.16/1419.69- 1656.63	1234.50	1781.00	12.12	Da	0.08
Viteza tangențială a sunetului ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1367.29/1207.81- 1526.77	1010.00	1885.00	18.36	Da	0.12
Raportul viteza radială/viteza tangențială	1.12/0.97-1.26	0.94	1.34	14.09	Da	0.66
Densitatea lemnului uscat natural ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.570/0.543- 0.597	0.472	0.700	11.28	Da	0.009
Densitatea lemnului anhidru din alburn ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.459/0.446- 0.471	0.340	0.608	11.82	Da	< 0.001

* măsurătorile au fost efectuate la runde prelevate de pe lungimea fusului de la 11 arbori de probă ** probabilitatea de transgresiune din ANOVA sau testul semnelor, după caz; *** Ipoteza normalității nu poate fi respinsă/acceptată

Conținutul de apă al alburnului nu se asociază cu aproape niciuna din trăsăturile măsurate sau evaluate ale arborilor, așa cum a rezultat din testele de semnificație și corelațiile lineare simple (Dinulică 2020).

Capitol 2. Metoda de lucru la verificarea acustică a arborilor pe picior

2.1 Volumul colectivității de selecție

După datele pe care le-am obținut până în prezent cu privire la variația mărimii parametrilor acustici (Dinulică et al. 2019, Dinulică 2020), a reieșit că eșantionul **minim** pentru investigații acustice la lemnul pe picior de molid, calculat cu formula simplificată pentru populații mari, toleranța de 10 % și probabilitatea de transgresiune de 5 % (Giurgiu 1972), trebuie să cuprindă **31 de arbori**. Se aleg arbori cu grosime care să permită debitarea semifabricatelor pentru instrumente muzicale²: în cazul arborilor pentru viori, diametrul de bază **minim** de referință este **40 cm** (Krzysik 1968, Albu 2010). Dacă se urmărește identificarea arborilor pentru sunet, se evită exemplarele bolnave sau cu defecte vizibile care ar periclita înșușirile acustice – cum sunt putregaiul exterior, găurile și galeriile, curburile, aplecarea fusului ș.a. Se practică, deci, un eșantionaj deliberat.

2.2 Descriptorii fenotipului

Sunt o mulțime de caracteristici ale trunchiului și coroanei care pot fi evaluate sau cuantificate. Cele mai multe sunt biometrice. Caracteristicile calitative pot avea valori discrete sau continue după cum se folosesc scări pentru descrierea lor sau aparate de măsură. Exemplul cel mai la îndemână este culoarea scoarței – colorimetria se folosește cu succes și la arborii în picioare (Dinulică et al. 2019). În Tabelul 7 autorul tezei propune o suită de variabile cu care se poate descrie fenotipul arborilor în picioare.

Tabel 7. Descriptori ai fenotipului arborilor de molid: metoda de măsurare/evaluare (Dinulică 2020)

	Descriptor	Determinare
Taxatorici	Înălțimea arborelui (TH), Diametrul de bază (DBH), Diametrul la înălțimea 0.3 m (DS)	Cu instrumente dendrometrice specifice.
	Zveltețea arborelui (SI)	TH*100/DBH.
	Vârsta arborelui la 1.30 m (TA)	Reprezintă numărul de inele anuale de pe o rază completă, obținută cu carote/rondel, sau reconstituită cu ajutorul DBH și seriei medii de creștere a populației (Dinulică et al. 2015a).
Forma fusului	Ovalitatea trunchiului (OV)	Este calculată ca diferență relativă procentuală între diametrele maxim și perpendicular (Singleton et al 2003).
	Lăbărțarea (RS)	DS-DBH .

² Se va ține cont că lemnul pentru sunet este cantonat în treimea mijlocie și exterioară a razei (Dinulică et al. 2015a), iar lemnul fără valoare acustică înscris primii 15 cm interiori ai diametrului (Albu 2010).

Scoarța	Grosimea scoarței (BT)	Măsurată la probele de creștere.
	Morfometria solzilor scoarței	La fiecare solz se pot măsura: lungimea (SL) și lățimea (SW), cu care se calculează indicele SL/SW, de interes pentru molidul de rezonanță (Albu 2010).
	Culoarea scoarței	Se recomandă măsurarea culorii pe ambele fețe ale solzilor. Fața interioară este mai puțin expusă acțiunii mediului și, astfel, mai relevantă (Dinulică et al. 2019). Se poate apela sistemul cromatic CIELab, ale cărui coordonate sunt: L^* - strălucirea culorii (în % de alb), a^* - mărimea nuanței roșu ⁺ /verde ⁻ și b^* - mărimea nuanței galben ⁺ /albastru ⁻ (Hunt 1998).
Elagajul	Lungimile tronsoanelor de elagare naturală a trunchiului (L_1 , L_{2A} , L_{2B})	Cu hipsometrul electronic se măsoară înălțimile care delimitează tronsonanele de elagare a trunchiului – redate în Figura 17: $L_1 = HS1$, $L_{2A} = HS2-HS1$, $L_{2B} = HSC-HS2$.
Coroana	Lungimea coroanei simetrice (L_3), lungimea coroanei asimetrice (L_{AC}), lungimea totală a coroanei (LC), lungimea trunchiului (LT), lungimea relativă a coroanei (PC)	Cu hipsometrul electronic se măsoară înălțimile care marchează dezvoltarea coroanei pe verticală: HLB, HSC și TH (Figura 17), $L_3 = TH-HSC$, $LAC = HSC-HLB$, $LC = HT-HKB$, $LT = HLB$, $PC = LC \cdot 100/HT$.
	Diametrul coroanei (CD)	Se măsoară razele proiecției coroanei la sol în sistemul ortogonal produs de raza cea mai lungă. Diametrul maxim și perpendicular se mediază.
	Crown ovality (CO)	Exprimă asimetria transversală a coroanei și se va calcula ca raport între razele extreme ale proiecției coroanei (r_{max}/r_{min}).
	Zveltețea coroanei (CSI)	LC/CD .
	Asimetria coroanei (CAS)	Valori discrete: 1: Coroană simetrică atât în plan orizontal cât și în plan vertical, 2: Coroană simetrică orizontal, dar asimetrică vertical, 3: Coroană simetrică vertical, dar asimetrică orizontal, 4: Coroană asimetrică în ambele planuri (Albu 2010, Dinulică et al 2015b).
	Diametrul ramurilor (BD)	Se estimează vizual, de la sol (cm). Ramurile de la baza coroanei, de regulă cele mai vârstnice, au o vizibilitate mai bună.
	Unghiul de inserție a ramurilor (BAI)	Se estimează vizual, în sens trigonometric sau invers trigonometric.

DESCRIPTORII SCOARȚEI. Pentru măsurarea solzilor scoarței, trebuie efectuat evident un eșantionaj. Pentru a putea relaționa scoarța cu trăsăturile lemnului probelor de creștere, secțiunea de bază este cea mai indicată. Determinările acustice efectuate de autorul tezei în metapopulația Gurghiu au arătat că *fața sudică a trunchiului* este cea mai indicată pentru recunoașterea molidului de rezonanță (Dinulică et al. 2019). Șase solzi de la fiecare arbore sunt suficienți. Aceștia vor fi prelevați în apropierea punctelor de pe trunchi în care se fac măsurători acustice. Măsurătorile asupra solzilor se pot executa pe teren sau în laborator (Figura 17). Dacă solzii sunt prelevați în sezonul de repaos, au umiditatea de 20-24 % pe teren, sau 11 %, după o condiționare

de cel puțin trei luni în laborator (Dinulică et al 2019). La interpretarea rezultatelor se va ține cont că rezultatele la umidități diferite nu sunt comparabile.

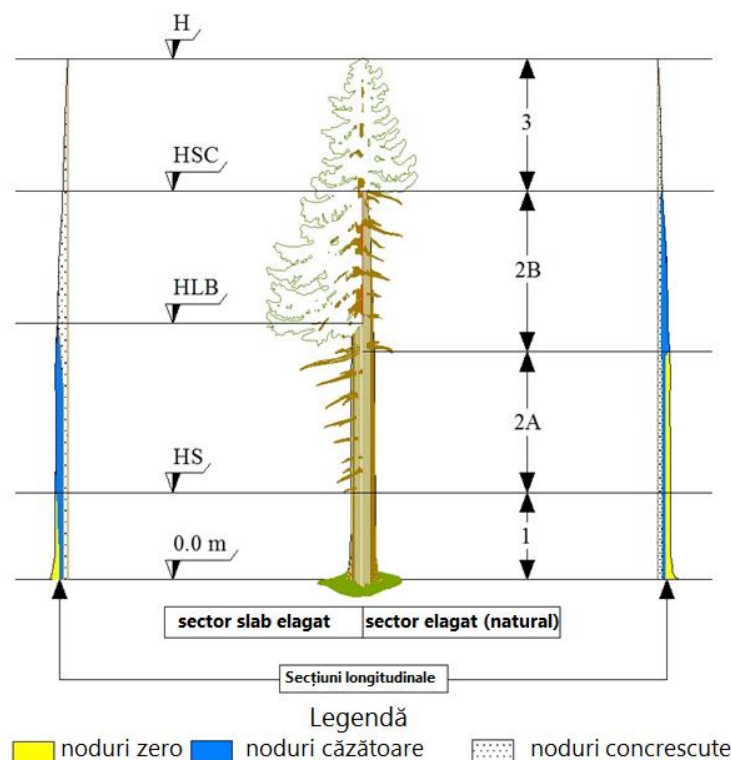


Figura 16. Tronsoanele de elagare naturală a trunchiului (Dinulică 2020):

zona 1: fără noduri aparente, curățat natural de ramuri și cioturi

zona 2A: trunchiul cu ramuri uscate și cioturi

zona 2B: coroana în curs de elagare (coroana asimetrică)

zona 3: coroana simetrică.

Aceste tronsoane sunt delimitate de următoarele înălțimi: HS1 – înălțimea celui mai jos ciot de pe fața slab elagată a trunchiului, HS2 – înălțimea celui mai jos ciot de pe fața bine elagată a trunchiului, HLB – înălțimea celei mai joase ramuri vii, HSC – înălțimea de la care coroana acoperă fusul de jur împrejur.



Figura 17. Instantaneu de la colorimetria in situ a probelor de scoarță

2.3 Măsurători acustice la arborii pe picior

Măsurătorile primare permit determinarea vitezei de propagare a sunetului/ultrasunetelor și a densității lemnului în cele trei direcții care îi exprimă anizotropia: longitudinală (în lungul fibrei), radială (transversal) și tangențială (Figura 18). Cu aceste valori inițiale pot fi derivați următorii parametri: impedanța, radiația acustică și modulul de elasticitate; este imperioasă determinarea umidității lemnului, mai ales că măsurătorile acustice se efectuează la lemn verde (Tabelul 8).

Pentru a ne raporta la determinările dendrometrice, măsurătorile acustice se vor executa în secțiunea de bază a arborelui sau în

apropierea acesteia. Pentru măsurători acustice, autorul tezei recomandă **direcțiile nordului și sudului**, care corespund și preferinței lutierilor pentru direcția de verificare prin șoc a arborilor pentru sunet.

Tabel 8. Proprietăți fizice care exprimă comportamentul acustic al lemnului pe picior

Proprietate/parametru	Determinare
Umiditatea (MC)	Determinată prin cântărirea probelor imediat după recoltare (pe teren) și după uscarea până la starea anhidră (în laborator).
Densitatea	Determinată în stadiile de lemn verde (GD), uscat natural (ADD) și anhidru (ODD).
Viteza sunetului (V_L , V_R , V_T)	TOF/distanța între accelerometri
Impedanța acustică (AI)	$AIL = V_L \cdot GD$, $AIR = V_R \cdot GD$, $AIT = V_T \cdot GD$
Radiația acustică (R)	$RL = V_L / GD$, $RR = V_R / ADD$, $RT = V_T / ADD$
Modulul de elasticitate (MOE)	$MOEL = V_L^2 \cdot GD$, $MOER = V_R^2 \cdot ADD$, $MOET = V_T^2 \cdot ADD$
Contragerea radială (RSK)	Calculată ca diferență relativă procentuală între lungimea probei în stare verde respectiv în stare anhidră.



Figura 18. Măsurarea vitezei sunetului pe direcțiile de anizotropie: longitudinală (stânga), radială (mijloc) și tangențială (dreapta) – Dinulică 2020

MĂSURAREA VITEZEI SUNETULUI. Tehnica de măsurare a vitezei sunetului în lemn se bazează pe producerea undelor de șoc (EN. stress waves). Sunt două procedee ale acestei metode: rezonanța acustică respectiv măsurarea timpului de propagare (TOF: time of flying) a sunetului (Legg și Bradley 2016). La ambele procedee sunetul este emis la lovirea lemnului cu ciocanul. Rezonanța magnetică se practică la arborii doborâți; viteza la acest procedeu se

calculează cu ajutorul frecvenței de rezonanță a semnalului sonor extras cu ajutorul transformatei Fourier rapidă – FFT (Legg și Bradley 2016). Ambele procedee sunt valoroase la diagnosticarea calității acustice a lemnului verde, dar rezonanța acustică este mai puțin fiabilă și poate fi mai puțin precisă (Yin et al. 2011).

TOF se poate măsura la arborii pe picior. Instrumentele măsoară de fapt timpul de propagare a undei de la accelerometrul emițător la cel receptor (Figura 18). TOF este, mai departe, convertit prin calcul în viteza sunetului, cunoscându-se distanța între accelerometrii – care, în cazul determinării sunetului pe direcție radială, se măsoară cu clupa având gradații milimetrice. Autorul a folosit sonometrul Microsecond Timer produs de compania maghiară Fakopp (Fakopp 2019, Figura 19), a cărei acuratețe a fost confirmată de Grabianowski et al. (2006), și tomograful cu unde sonore Arbotom produs de compania germană Rinntech (Rinn 2012, Figura 20).



Figura 19. Piese componente ale sonometrului Fakopp



Figura 20. Tomograful Arbotom la o campanie de lucrări de teren în Rezervația Molidul de Rezonanță din Lăpușna

Pentru măsurarea vitezei sunetului în lungul fibrei, autorul tezei recomandă poziționarea senzorilor la depărtare de cel puțin 50 cm, în dreptul secțiunii de bază. Pentru măsurarea pe direcție tangențială, senzorii vor fi poziționați la distanță de 10-15 cm de-a lungul circumferinței secțiunii de bază (Figura 21).



Figura 21. Dispunerea senzorilor pe circumferința secțiunii de bază la efectuarea unei tomografii (Dinulică et al. 2019)

Tomograful cu unde sonore (EN. sonic tomograph) folosește mai mulți accelerometrii (8 până la 16), care se poziționează pe circumferința secțiunii transversale a trunchiului la distanțe egale, cunoscute (Gilbert și Smiley 2004, Figura 21). Poziția senzorilor trebuie să corespundă cu direcțiile de recoltare a probelor de creștere. Echipamentul măsoară viteza

undelor de la senzorul percutat la fiecare din senzorii care i-au recepționat vibrațiile (Figura 22).

Software-ul asociază mărimea vitezei cu densitatea locală oferind grafic reconstituirea structurii cu tomograme (Figura 23). La același arbore pot fi executate mai multe secțiuni virtuale cu

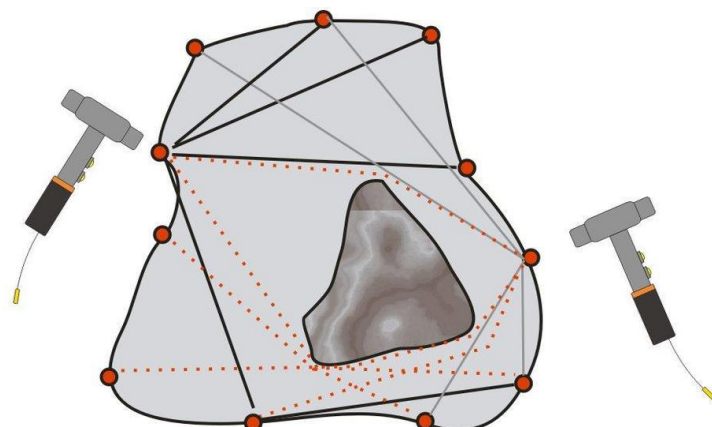


Figura 22. Propagarea undei de șoc de la senzorul percutat spre senzorii vecini la un arbore cu putregai interior (Argus 2020)

ajutorul tomografului, care permit reconstituirea 3D a arhitecturii locale a lemnului pe picior (Wang et al. 2007). Echipamentul este folosit pentru măsurători acustice în plan transversal, dar poate fi adaptat și măsurătorilor în lungul fibrei. Matricele care stau la baza construirii tomogramelor oferă vitezele sunetului pe multe direcții transversale – variind în gama radial-semiradial-semitangențial-tangențial; tomograful este deci un mijloc excelent pentru verificarea anizotropiei în plan transversal a sunetului (i.e. viteza sunetului în funcție de unghiul față de direcția radială).

Tomograful a fost conceput și este apreciat pentru detectarea defectelor interioare (Nicolotti et al. 2003, Brüchert et al. 2013), dar poate fi exploatat și la determinări acustice primare. Consider că, la identificarea arborilor de rezonanță pe picior, tomograful ar fi mai util la

verificarea stării de sănătate a arborilor înaintea determinărilor acustice propriu-zise, pentru care recomand sonometrul – ca instrument mai suplău. Tomogramele pot orienta alegerea direcțiilor cu lemn sănătos pe care să fie executat în continuare studiul acustic (Figura 23).

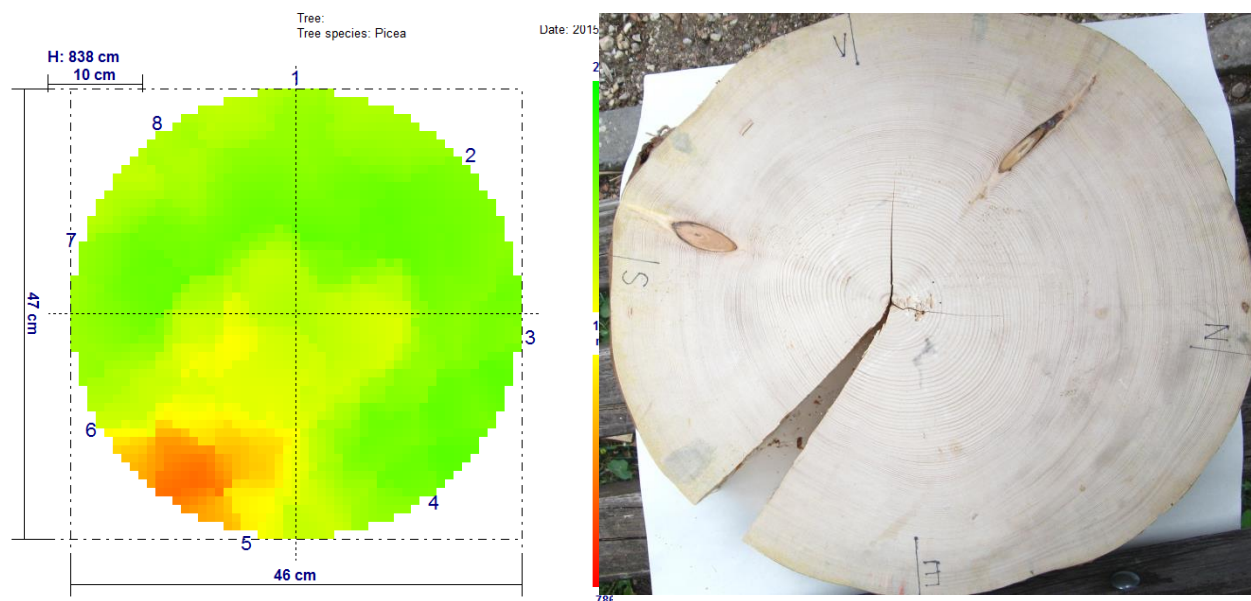


Figura 23. Confruntarea unei tomograme (stânga) cu secțiunea reală a trunchiului unui arbore de probă de rezonanță din metapopulația Gurghiu (dreapta) – Dinulică 2020

Materialele filtrează frecvențele impulsului sonor sau ultrasonic, deci compoziția lui spectrală se modifică în așa fel încât poate servi diagnosticării stării lui fizice (Rusu 1985). Este de altfel principiul pe care sunt construite defectoscoapele. Timbrul sunetului de răspuns al solidului testat acustic este un indiciu cu privire la gradul lui de defecțiune (Rusu 1985). Progresele recente din **imagistica forestieră** permit măsurarea in situ a densității și umidității lemnului cu ajutorul tomografelor portabile cu raze X sau gama (Bucur 2003a), care sunt folosite de pildă la evaluarea stării de sănătate a arborilor pe picior (Habermehl et al. 1999). Tomografia cu unde elastice (sunete și ultrasunete) rămâne principalul mijloc de a explora calitatea acustică a lemnului pe picior și a anticipa, prin intermediul însușirilor acustice, performanțele mecanice ale produselor care vor rezulta (Bucur 2003b).

Metoda undelor de șoc a găsit multe aplicații în industria produselor forestiere: la sortarea furnirelor, detectarea inimii ude, nodurilor aglomerate și putregaiului, la evaluarea stării lemnului în structuri (Gerhards 1982, Ross et al. 1992, Ross și Pellerin 1994, Schad et al. 1996, Gilbert și Smiley 2004). În termeni de rezoluție, metoda este abilă să detecteze particularități ale lemnului pe picior mai mari de 5 cm cu densitate locală care să difere de lemnul înconjurător (Gilbert și Smiley 2004).

2.4 Eșantionajul cu probe de creștere în studiul acustic al arborilor

2.4.1 Determinarea proprietăților fizice ale lemnului cu ajutorul probelor de creștere

(1) Determinarea umidității lemnului pe picior. Pentru determinarea umidității, se vor preleva probele de creștere, care vor fi cântărite imediat după recoltare ($m_{\max}$ din relația 18). Se va întrebuința în acest scop o balanță portabilă cu precizia de cântărire 0.1-1 mg (Figura 24).

Probele vor fi uscate în laborator, cu etuva sau termobalanța (Figura 25), la temperatura de $104 \pm 1^\circ\text{C}$ până la masă constantă și vor fi cântărite din nou (m_0 din relația 18). Diferența relativă procentuală de masă reprezintă umiditatea (absolută) a probei (MC):

$$MC = \frac{m_{\max} - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%] \quad (18).$$

Față de etuve, analizoarele de umiditate de tipul termobalanței **automatizează uscarea** și îi reduc durata; operează cu agent radiativ de uscare și permit monitorizarea atentă a uscării, prin afișarea continuă a masei și umidității momentane a probei. Odată pornită, uscarea este dirijată electronic în direcția satisfacerii criteriului de oprire a uscării, care indică pierderea de masă tolerată (cel puțin 1 mg) în unitatea de timp (cel mult 120 secunde). Deci uscarea se încheie automat. Pentru siguranța îndepărtării complete a apei din structura probelor supuse uscării, acestea vor fi mărunțite (Figura 25).

(2) Determinarea densității lemnului pe picior. Viteza sunetului nu

este îndestulătoare pentru un diagnostic de încredere al nivelului de calitate acustică a arborilor pe picior. Densitatea este o proprietate condițională pentru propagarea sunetului în lemn (Tabelul 2) și se poate determina la lemnul pe picior integral nedistructiv sau cu ajutorul probelor de



Figura 24. Cântărirea unei probe de creștere proaspăt recoltată



Figura 25. Uscarea unor probe de creștere fracționate de la paltin

creștere. Utilizarea probelor de creștere recoltate cu burghiul la determinarea densității este comună încă din anii '60 ai secolului trecut (Cown 2006) și a devenit o metodă standard (Gao et al. 2017).

Pentru calcularea parametrilor acustici derivați din densitatea lemnului autorul tezei recomandă (i) recoltarea unei probe scurte (în lungime de 3-5 cm) de la mijlocul distanței între accelerometrii – pentru acusticele în lungul fibrei și (ii) recoltarea razelor de pe direcția în care s-a măsurat TOF radial. Dacă se fac determinări acustice pe fața nordică și sudică a trunchiului, atunci se vor preleva două probe scurte și una sau două lungi de la fiecare arbore (Dinulică 2020).

Burghiul trebuie orientat față de axul trunchiului și planul secțiunii lui transversale pentru a rezulta probe cu inele poziționate cât se poate de riguros pe direcție radială. Direcția de forare trebuie menținută, iar mărimea forței trebuie aplicată constant pentru a evita ruperea probelor. Dacă se eșantionează lemn tare, se va folosi burghiu cu două filete în partea tăietoare, altfel, burghiu cu trei filete.

METODE DE DETERMINARE A DENSITĂȚII LEMNULUI LA PROBELE DE CREȘTERE. Sunt mai multe posibilități de a cuantifica densitatea lemnului la aceste probe (Tabelul 9). Măsurătorile se vor efectua:

- imediat după recoltare – rezultând densitatea lemnului pe picior (GD) și
- după o perioadă de condiționare de minimum două luni la temperatura de 20 °C și umiditatea relativă a aerului de 50-65 % - rezultând densitatea lemnului uscat natural (ADD) sau
- după uscarea la etuvă/termobalanță, la temperatura de $104 \pm 1^\circ\text{C}$ până la masă constantă (Williamson et al. 2010) – rezultând densitatea lemnului anhidru (ODD).

Dacă măsurătorile asupra vitezei sunetului au fost efectuate la arbori pe picior, este natural să solicităm determinarea densității în aceleași condiții, i.e. pe teren (Figura 24), pentru a calcula parametrii acustici derivați (radiția acustică și ceilalți: Tabelul 8). Altfel, se tolerează (V.Bucur – comunicare personală) alăturarea vitezei lemnului verde la densitatea lemnului uscat pentru a obține parametri acustici cu variabilitate mai mică.

Ce metodă alegem ? Primele trei metode oferă o valoare unică a densității pentru o probă dată. Imagistica electromagnetică oferă mărimile punctuale ale densității în întregul spațiu explorat. Avantajul acesta nu trebuie să descurajeze folosirea metodelor clasice, întrucât mărimea densității la lemnul verde este suficient de stabilă în cuprinsul secțiunii străbătute de frontul sonor pentru a putea fi adoptată ca o constantă la calcularea modulului de elasticitate static (Wielinga et al. 2009). Avantajele metodei electromagnetice pot fi apelate și la determinarea unor însușiri elastice ale lemnului (Gindl et al. 2001, Schimleck et al. 2002).

Tabel 9. Metode de determinare a densității aparente a lemnului la probele de creștere (Dinulică 2020)

1. Gravimetrică-stereometrică



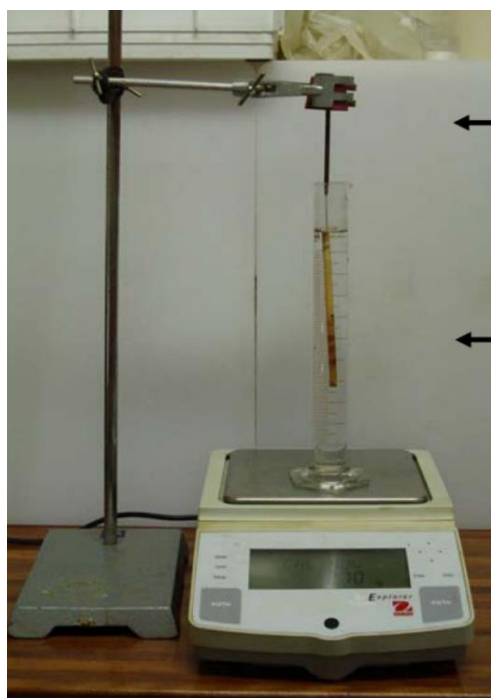
Principiul metodei. Probele se asimilează cilindrului, iar densitatea se calculează ca raport între masă și volum.

Instrumentar: șubler cu precizia la măsurare 0.01-0.1 mm sau aparate optice.

Prescripții metodologice. Diametrul se calculează ca medie a două citiri, efectuate pe direcțiile longitudinală și tangențială la mijlocul lungimii sau și la ambele capete. Recomandarea trebuie urmată întocmai, mai ales dacă se măsoară probe cu lemn uscat, la care secțiunea se ovalizează datorită anizotropiei contragerii (după uscare, probele sunt vizibil mai late decât înalte). La măsurarea lungimii se va evita presarea probei.

Precizia determinării. Volumul calculat supraestimează valoarea reală, datorită neregularității formei suprafeței laterale, mai ales la probele extrase cu burghie uzate sau cu un număr nepotrivit de filete sau la probele care s-au deformat prin uscare. Datorită erorilor de măsurare, metoda gravimetrică nu este recomandată în studiile de variabilitate genetică sau ecologică a densității lemnului (Beldeanu 1999).

2. Hidrostatică



Principiul metodei. Presupune imersia probelor în apă. Metoda impune cântărirea probelor în aer liber (m_1) și după imersia completă în apă (m_2). Pentru probele saturate, Horodnic (1998) oferă următoarea relație de calcul a densității determinate pe principiul hidrostatic (ρ):

$$\rho = 2.8868 \cdot \frac{m_2}{m_1 - m_2} [g \cdot cm^{-3}] \quad (19).$$

Prescripții metodologice. Probele vor fi imersate în apă distilată și cântărirea/citirea volumului se vor face imediat.

Precizia determinării. Probele uscate absorb repede apă, așa încât determinarea volumului va fi afectată de erori mai mari. Acest neajuns poate fi preîntâmpinat izolând probele cu un strat subțire de parafină (Beldeanu 1999).

Audiența metodei. Lutierii apelează frecvent la această metodă pentru determinarea densității lemnului masiv (Darnton 2009).

3. Metoda saturației



Extracția oleorezinelor din probele de la molid cu aparatul Soxhlet



Probe de creștere epuizate de extractibili, ambalate în păpuși din tifon și pregătite pentru fierbere

Istoric. A fost inițiată de Keylwerth (1954) și dezvoltată de Polge (1963).

Principiul metodei. Estimează **densitatea convențională** a lemnului (raportul între masa lemnului uscat și volumul lui la saturație) fără a necesita determinarea volumului. Metoda saturației permite determinarea densității numai prin cântăriri. Se pornește de la raționamentul (Keylwerth 1954, Smith 1954) că volumul lemnului la saturație este compus din volumul substanței lemnoase pure și volumul apei; acestea se pot exprima în funcție de masă și densitate, ajungându-se, din aproape în aproape, la exprimarea volumului probei saturate cu relația:

$$V_{\max} = \frac{m_0}{1.53} + m_{\max} - m_0 \quad (20)$$

care aduce formula de calcul a densității convenționale (ρ_c) la forma (Dumitriu-Tătăranu et al. 1983):

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{m_{\max}}{m_0} - 0.346} \quad (21)$$

în care: $m_{\max}$ este masa probei saturate, iar m_0 este masa probei anhidre.

Prescripții metodologice. Dacă lemnul conține rășină, aceasta trebuie îndepărtată în prealabil determinării efective a densității. Metoda clasică de epuizare a probelor de balsam presupune extracția în aparatul Soxhlet (Keith 1969). Extracția are loc în amestec de benzen și alcool etilic absolut 2:1 (Brémaud 2006) și durează 12 ore pentru fiecare șarjă de probe.

Saturația se obține prin (Dumitriu-Tătăranu et al. 1983):

- imersia probelor în apă distilată în exicator sub vid intermitent sau continuu, la temperatura camerei, timp de cel mult 15 zile sau
- fierberea, uneori sub presiune, în apă distilată până la 48 de ore.

După saturare, probele se supun la vid timp de 1-2 ore, pentru îndepărtarea bulelor de gaz.

Precizia determinării. Eroarea de determinare a densității lemnului de molid prin metoda saturației este 0.5-1 % (Horodnic 1999).

4. Metoda radiativă/Densitometrică

Istoric. Determinarea numerică a densității lemnului cu ajutorul radiației electromagnetice a fost inaugurată de Cameron et al. (1959) cu **beta- densitometria**. Polge (1963) introduce **radiația X** la măsurarea densității.

Principiul metodei. Eșantioanele sunt expuse fasciculului de raze X, beta sau gamma pe direcție radială sau tangențială (Cown și Clement 1983, Malan și Marais 1992, Divós et al. 1996). Radiația este absorbită de material diferențiat în funcție de variațiile locale ale densității lui. Acestea sunt redată fotografic prin radiografii la care se pot distinge cu ușurință zonele de lemn timpuriu și târziu din cuprinsul fiecărui inel anual – și care permit delimitarea lor printr-o operație suplimentară de digitizare. Radiografiile sunt explorate în continuare cu aparatul numit *microdensitometru* sau scanate cu un analizor optic.

Microdensitometrul înregistrează grafic variațiile densității optice (densitatea nuanței de gri din radiografie) sub forma așa numitului **profil densitometric** (Figura 26). Densitatea optică este logaritmul zecimal al opacității unei imagini fotografice și este în relație lineară cu compoziția atomică a materialului și grosimea probei examinate (Mothe et al. 1998).

Metoda densimetrică a fost adaptată de Polge (1966) calibrului probelor de creștere, dar poate fi întrebuințată pentru orice fel de probe stereometrice.

Prescripții metodologice.

Este de dorit ca probele să aibă grosime constantă. Rondelele sunt debitate în eșantioane cu secțiunea 2 x 4.5 mm. Eșantioanele se condiționează până la umiditatea normalizată. Dacă radiografiile sunt explorate optic, rezoluția de scanare trebuie să fie cât mai bună.

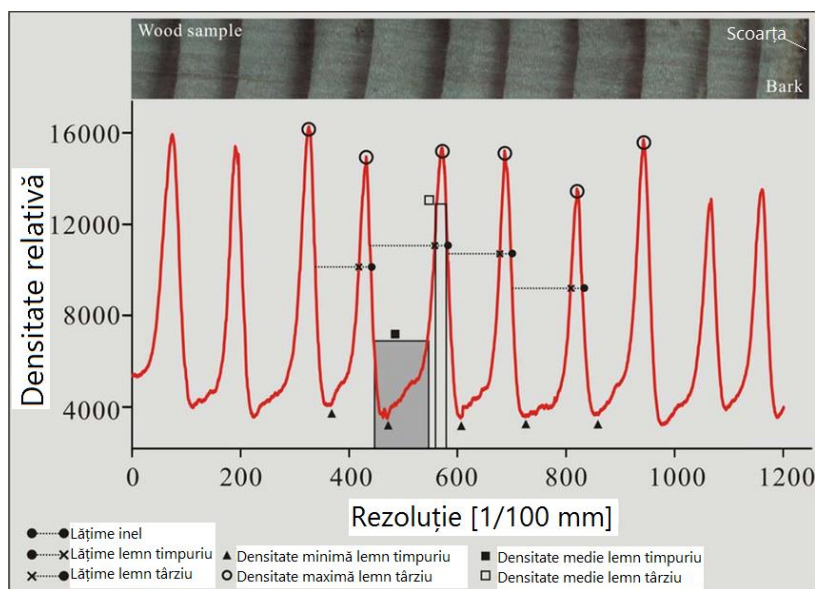


Figura 26. Profil densitometric la un eșantion provenit de o specie de molid (Fan 2009, adaptat)

Precizia determinării. Precizia rezultatelor se verifică prin confruntare cu metoda gravimetrică, care ar putea fi luată ca etalon (Mothe et al. 1998). Dacă sunt diferențe notabile, valorile rezultate din microdensitometrare se corectează. Verificarea este necesară și pentru că alocarea în lemn a elementelor minerale și substanțelor extractibile poate denatura rezultatele. O altă sursă de erori este relația presupusă lineară între densitatea optică și densitatea imaginii.

Avantajele metodei. În 1980, adică la 20 de ani de la lansarea metodei, erau deja 30 de laboratoare dedicate densitometriei în 18 țări din lume (Evertsen 1980). În cele șase decenii de utilizare, metoda a adunat un palmares științific bogat (Cown și Clement 1983). Microdensitometria aduce avantajul reconstituirii mărimii densității în orice punct de pe traiectoria fasciculului radiativ și deci oferă o rezoluție mult mai bună rezultatelor (Wessels et al. 2011). În plus, prin automatizare, oferă o productivitate mare a măsurătorilor.

2.4.2 Sondarea arhitecturii lemnului cu probe de creștere

Inspectarea structurii lemnului cu probe prelevate parțial nedistructiv are o istorie îndelungată și bogată în realizări. Pentru a pune în evidență particularitățile structurii inelelor anuale, probele sunt în continuare examinate optic, electronic sau cu radiație electromagnetică de energie mare (Dinulică 2008). Literatura măsurării inelelor anuale la probele de creștere este foarte generoasă, așa că mă opresc doar pentru câteva recomandări metodologice.

Probele vor fi montate cu adeziv pe suporti din lemn. Suprafața probelor se netezește prin șlefuire (Schollaen et al. 2017) sau tăiere fină cu un dispozitiv de îndreptare (Koutsianitis și Barboutis 2017). Se vor șlefui până la o finețe care să ușureze detectarea inelelor anuale, folosind hârtie de șlefuit cu granulații crescând progresiv până la cel puțin 500. La introducerea inelelor anuale în format digital probele se vor scana la rezoluție cât mai bună, cel puțin 1200 dpi. Căile de măsurare vor fi interdate, la o valoare a coeficientului Gleichläufigkeit de corelație neparametrică de cel puțin 0.60 (Pilcher 1989, Silvestru-Grigore et al. 2018). Rezultatele măsurătorilor se așează în serii de timp, cu care se formează seria medie de creștere. Aceasta servește și determinării vârstei arborilor în secțiunea din care s-au recoltat probe cu raze incomplete – procedeul este prezentat de Dinulică et al. 2015a.

Autorul tezei recomandă îndepărtarea din analiză a probelor și arborilor cu putregai sau roșeață putregăioasă, defecte care modifică regimul sunetului în lemn (Figura 27).

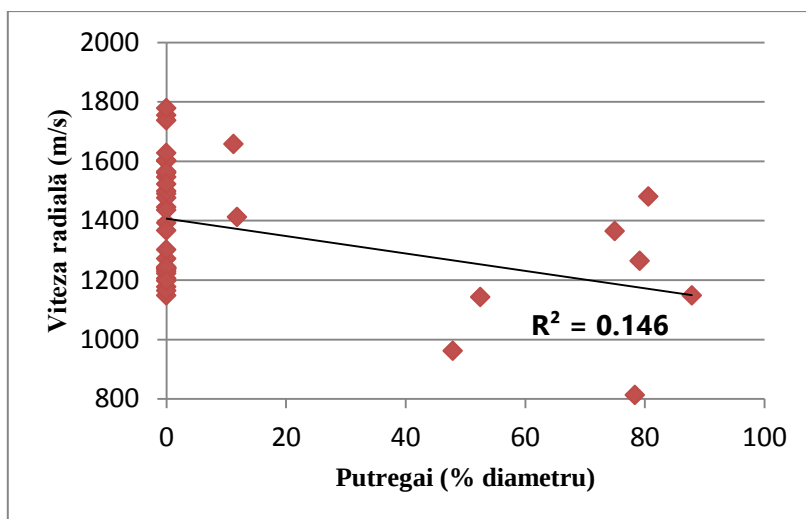


Figura 27. Influența putregaiului asupra vitezei sunetului în direcție radială în secțiunea de bază a arborilor de molid din metapopulațiile Gurghiu și Postăvaru (Dinulică 2020)

Pentru cuantificarea regularității lății inelelor anuale și componentelor lor, autorul tezei recomandă indicii prezentați în tabelul 10.

Tabel 10. Descriptorii regularității inelelor anuale (Dinulică et al 2015a)

Descriptor	Determinare	Interpretare
r Neregularitatea radială a inelelor anuale	$r = \frac{\max(TRW_i) - \min(TRW_i)}{\text{average}(TRW_i)} \cdot 100 [\%]$ $i = 1 \dots n$ n – lungimea seriei de inele.	La epruvete de molid de rezonanță din România: $r = 3 \dots 130 \%$ (Ghelmeziu și Beldie 1972). La lemnul de rezonanță din ex-URSS se impunea ca $r \leq 30 \%$ (Vanin 1953).
ri Indicele de regularitate	$ri = \frac{\max(TRW_i) - \min(TRW_i)}{\max(TRW_i)}$	La viorile Gleissner: $ri \leq 0.7$ (Rocaboy și Bucur 1990).
R Neregularitatea pe circumferință a inelelor	$R_i = \frac{\max(TRW_{ik}) - \min(TRW_{ik})}{\text{average}(TRW_{ik})} \cdot 100 [\%]$ TRW_{ik} – lățimea inelului i pe direcția razei k (N, S, V, E).	Indice propus de autorul tezei (Dinulică 2012).
δ Diferența între inelele consecutive	$\delta_i = TRW_{i+1} - TRW_i $ $i = 1 \dots n - 1$	La lemnul de rezonanță: $\delta_i \leq 0.5$ mm (Albu 2010).

2.4 Momentul optim pentru efectuarea determinărilor în teren

Sunt câteva motive pentru care se recomandă efectuarea lucrărilor de teren în sezonul de repaos:

- ✓ identificarea mai ușoară a arborilor de interes;
- ✓ vizibilitatea mai bună a trăsăturilor arborelui care urmează a fi măsurate;
- ✓ conținutul de apă mai uniform în adâncimea lemnului trunchiului;
- ✓ ralierea la perioada de exploatare a lemnului de rezonanță.

Nu a fost clarificat încă în ce măsură perioada din an afectează mărimea parametrilor acustici la molid. Se știe că viteza longitudinală a sunetului și ultrasunetelor se reduce cu

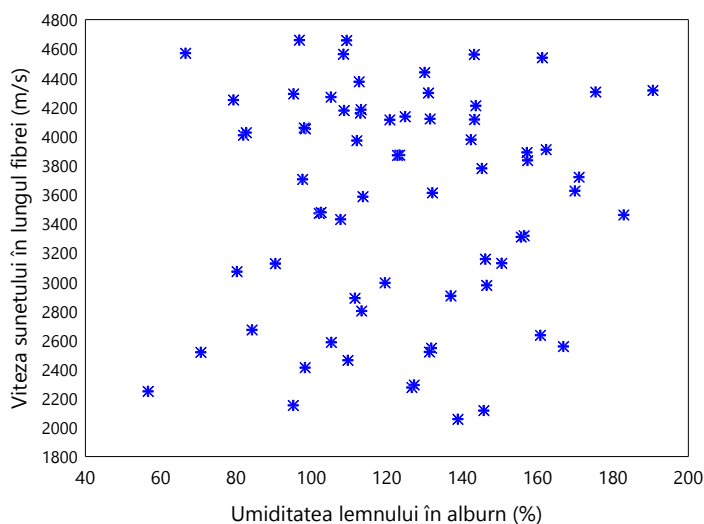


Figura 28. Împrăștierea valorilor vitezei longitudinale a sunetului în secțiunea de bază în funcție de umiditatea lemnului, la 36 de molizi pe picior eșantionați cu probe de creștere în sezonul de repaos (Dinulică 2020)

creșterea umidității sub punctul de saturație al fibrei (Sakai et al. 1990, Hasegawa et al. 2011, Unterwieser și Schickhofer 2011). Am constatat că umiditățile mai mari de 56 % nu afectează viteza sunetului în direcțiile radială și longitudinală (Figura 28); radiația acustică în schimb scade cu umiditatea, datorită efectului variațiilor acesteia din urmă asupra densității lemnului.

Influența umidității asupra însușirilor acustice a arborilor de rezonanță rămâne o problemă deschisă cercetării și care permite **identificarea momentului din an în care însușirile acustice ale lemnului pe picior redau mai fidel mărimea lor după uscare**. Pentru a calibra

parametrii acustici ai lemnului pe picior după umiditatea momentană a lemnului, Chuang și Wang (2001) au repetat măsurătorile la fiecare 45 de zile.

Probele recoltate în perioade de îngheț au lemnul casant – cu precădere în alburn - și, astfel, aceste perioade vor fi evitate. De altfel, nici tomograful sonic nu funcționează corespunzător pe vreme geroasă (Figura 29).



Figura 29. Efectuarea unei tomografii pe vreme de iarnă în Rezervația Molidul de rezonanță din Lăpușna (foto: F. Dinulică)



Capitol 3. Markerii morfologici ai lemnului de rezonanță

3.1 Conexiuni între fenotip și însușirile acustice ale lemnului

Relevanța de marker acustic a însușirilor fizice ale arborilor a fost explorată pentru început cu ajutorul Analizei în Componente Principale (PCA, Figura 30), apoi verificată cu corelații parțiale în care a fost îndepărtată influența vârstei sau a diametrului de bază a arborilor.

Datorită numărului mare de variabile incluse în analiză, am procedat la selecția lor retrogradă, după criteriul contribuției la componentele identificate (contribuție indicată de comunalitatea din PCA). Așa de pildă, s-a constatat că dintre indicatorii regularității inelelor anuale, diferența între inelele consecutive și neregularitatea radială a lățimii lemnului târziu au o participare mai bună la componentele principale. În acest fel, în final au rămas 21 variabile, din analiza cărora s-au desprins două componente principale – identificate cu algoritmul NIPALS furnizat de softul STATISTICA. Aceste componente au o contribuție de 54 % la variabilitatea totală a însușirilor fenotipice și structurale ale arborilor (Figura 30). S-a remarcat că **prima componentă este descrisă de acusticele în direcția radială, iar cealaltă de acusticele în direcția longitudinală**. Deci, anizotropia acusticelor produce o anumită polarizare a însușirilor arborilor.

Prima componentă se identifică în cea mai mare parte cu viteza radială și, la polul opus cu diametrul de bază al arborilor, deci cele două caracteristici sunt divergente. Cea de a doua componentă este orientată în direcția acusticelor longitudinale, divergente cu regularitatea lățimii lemnului târziu și grosimea ramurilor de la baza coroanei. În planul determinat de aceste două

componente s-a remarcat gruparea lăţimii inelelor anuale şi a lemnului târziu cu lăţimea alburnului, strălucirea culorii scoarţei şi parametrii acustici longitudinali (Figura 30).

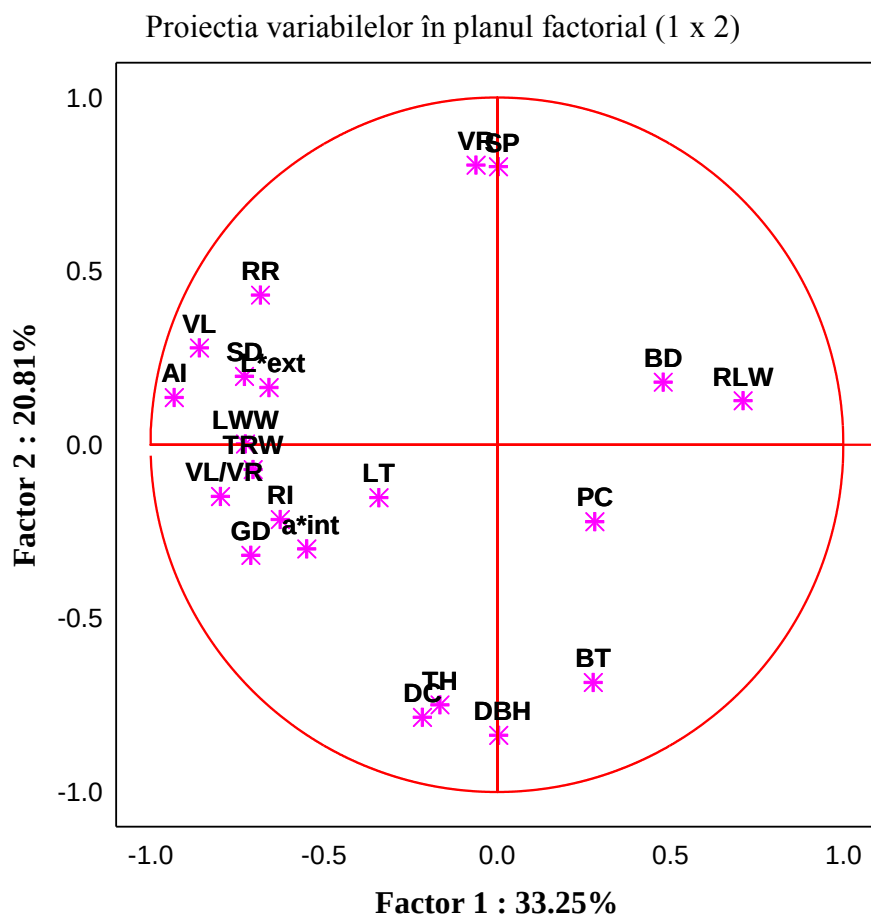


Figura 30. Planul 1-2 din analiza în componente principale a unor variabile implicate în studiul acustic al lemnului de molid pe picior

Variabilele acronimate sunt: a*int – gradul de roşu al culorii de pe faţa interioară a solzilor scoarţei de la 1.30 m, AI – impedanţa acustică longitudinală, BAI – unghiul de inserţie a ramurilor de la baza coroanei, BD – diametrul ramurilor de la baza coroanei, BT – grosimea scoarţei, DBH – diametrul mediu de bază al arborelui, DC – diametrul coroanei, GD – densitatea lemnului verde din alburn, L*ext – strălucirea culorii de pe faţa exterioară a solzilor scoarţei de la 1.30 m LT – lungimea trunchiului, PC – ponderea lungimii coroanei din înălţimea arborilor, LWW – lăţimea medie a lemnului târziu din lăţimea inelului anual, RI – diferenţa medie de lăţime între inelele consecutive, RLW – neregularitatea radială a lăţimii lemnului târziu, RR – radiaţia acustică, SD – lăţimea alburnului, SP – poziţia ierarhică a coroanei conformă clasificării Kraft, TRW – lăţimea medie a inelelor anuale din secţiunea de bază, VL – viteza de propagare a sunetului în direcţie longitudinală, VR – viteza de propagare în direcţie radială, VL/VR raportul vitezelor)

Legăturile între fenotipul arborilor şi însuşirile acustice ale lemnului lor au fost sondate în continuare cu corelaţia simplă lineară. Majoritatea corelaţiilor sunt mediocre, dar unele dintre ele permit distingerea fenotipului arborilor cu lemn de rezonanţă. A rezultat că structura inelelor anuale este relevantă numai în relaţie cu proprietăţile acustice ale lemnului în direcţie radială (Tabelul 11).

Tabel 11. Puterea legăturilor între fenotip și parametrii acustici ai lemnului (Dinulică 2020)

Variabilele arborilor/ lemnului	Caracteristici taxatorice arbore	Forma trunchiului	Elagajul	Grosimea scoarței	Forma și culoarea solzilor scoarței	Biometria coroanei	Inelele anuale	Grosimea alburnului
Viteza longitudinală a sunetului								
Viteza radială a sunetului	*							
V_L / V_R								
Radiația longitudinală								
Impedanța longitudinală								
Corelații neparametrice (legendă)	R = 0-0.299		R = 0.3-0.499		R = 0.5-0.699		R ≥ 0.700	

* Cu excepția vârstei arborilor

Și variabilele elagajului au puțin în comun cu variațiile mărimii acusticelor (Tabelul 11). Mai mult, diferențele cu privire la acustice între fața mai bine elagată și fața mai slab elagată a trunchiului nu sunt semnificative statistic (p din testul neparametric Mann-Whitney $U = 0.73-0.96$).

Arboretele sondate de autorul tezei sunt vârstnice și relativ pluriene până la relativ echine; înălțimea sau diametru lor la momentul măsurătorilor nu redau pozitiv vârsta determinată la înălțimea de 1.30 m. Din acest motiv am preferat îndepărtarea influenței lor din relația fenotipului cu acusticele, prin adoptarea corelației parțiale (Zar 1974).

Cele mai strânse legături cu viteza longitudinală a sunetului aparțin grosimii ramurilor (parțial $r = -0.494$, $p < 0.001$) și grosimii scoarței (parțial $r = -0.479$, $p = 0.004$). Interesante, pentru valoare lor de interpretare, sunt și relațiile pozitive cu lățimea alburnului (parțial $r = +0.369$, $p = 0.02$), gradul de strălucire a culorii pe spatele solzilor (parțial $r = +0.354$, $p = 0.004$) și indicele de zveltețe al arborilor (parțial $r = +0.323$, $p = 0.009$). Surprinzător, viteza longitudinală a sunetului crește cu lățimea inelelor anuale (parțial $r = +0.302$, $p = 0.01$), relație la care cea mai mare contribuție o au arborii din metapopulația Poiana Brașov.

Viteza radială a sunetului relaționează bine cu variabilele dendrometrice. Cea mai strânsă legătură este cu diametrul coroanei. Viteza radială scade și cu grosimea scoarței (parțial $r = -0.504$, $p = 0.06$), cu lățimea inelelor, lățimea lemnului timpuriu și a lemnului târziu și diferența de lățime între inelele consecutive (parțial $r = -0.459...-0.496$, $p \leq 0.01$), cu lungimea coroanei (parțial $r = -0.424$, $p = 0.03$), dar crește cu zveltețea arborilor (parțial $r = +0.438$, $p < 0.001$).

Cea mai strânsă legătură a raportului între cele două viteze este cu înălțimea arborelui. Mărimea raportului crește într-o oarecare măsură cu lățimea alburnului (parțial $r = +0.376$, $p =$

0.03), lăţimea lemnului târziu (parţial $r = +0.292$, $p = 0.03$) şi înălţimea coroanei (parţial $r = +0.270$, $p = 0.04$), şi scade grosimea ramurilor de la baza coroanei (parţial $r = -0.358$, $p = 0.007$).

Cea mai strânsă corelaţie a *radiaţiei acustice longitudinale* este cu grosimea scoarţei (parţial $r = -0.474$, $p = 0.005$). Arborii groşi şi mai vârsnici au valori mai mari ale radiaţiei acustice (R multiplu = 0.424, $p = 0.001$). Lemnul arborilor zvelţi are de asemenea radiaţie acustică mai mare (parţial $r = +0.398$, $p < 0.001$). *Impedanţa acustică longitudinală* relaţionează cu aceleaşi trăsături ale arborilor ca şi radiaţia acustică, dar legăturile sunt mai puternice.

Coeficienţii de corelaţie cu *impedanţa radială* depăşesc în general 0.30 în modul – cele mai strânse legături sunt cu gradul de roşu al scoarţei (parţial $r = +0.610$, $p = 0.003$) şi adâncimea alburnului (parţial $r = +0.593$, $p = 0.006$).

Cea mai strânsă corelaţie a *modului de elasticitate longitudinal* este cu grosimea scoarţei (parţial $r = -0.432$, $p < 0.001$). Mărimea acestui modul creşte cu lăţimea inelelor anuale, lăţimea alburnului şi lăţimea lemnului târziu, dar se reduce cu neregularitatea lăţimii lemnului târziu pe circumferinţă.

Cea mai strânsă corelaţie a *modului de elasticitate radial* este cu gradul de roşu pe faţa solzilor scoarţei (parţial $r = +0.584$, $p = 0.004$). Mărimea acestui modul creşte cu lăţimea alburnului şi lăţimea inelelor anuale, dar se reduce cu neregularitatea lăţimii lemnului târziu pe circumferinţă şi diametrul coroanei (Dinulică et al. rezultate în curs de publicare).

Aceste legături sunt discutate în paragrafele următoare ale tezei de abilitare.

3.2 Modele pentru predicţia însuşirilor acustice ale lemnului cu ajutorul trăsăturilor biometrice şi calitative ale arborilor

Este deosebit de îmbucurătoare posibilitatea reală de a recunoaşte arborii pentru sunet după trăsăturile vizibile. Pornind de la legăturile între parametrii acustici şi caracteristicile fenopului, am construit modele explicative pentru toate proprietăţile acustice pe care le-am luat în studiu (Dinulică et al. 2019, Dinulică 2020).

3.2.1 Construirea modelelor

Pentru explicarea însuşirilor acustice ale lemnului cu ajutorul trăsăturilor arborilor am preferat modelele multifactoriale edificate cu regresii multiple lineare sau curbilinii (Dinulică 2020). La formularea modelelor, predictorii au fost aleşi, după apelarea matricei coeficienţilor de corelaţie, dintre variabilele continue care au arătat corelaţii semnificative ($p \leq 0.05$). Pentru a depăşi nenormalitatea unor variabile şi, astfel a evita transformarea lor, care ar îngreuna interpretarea rezultatelor, recomand verificarea corelaţiilor în versiune neparametrică. Pentru

evitarea multicolinearității, în model vor fi introduse numai variabilele practic independente între ele, adoptându-se ca prag de excludere mărimea corelației de 0.4. Modelele vor fi dezvoltate pas cu pas, prin selecție retrogradă, coeficientul de determinare fiind criteriul de superioritate. În prima fază, în model se introduc toate variabilele independente eligibile, urmând a fi păstrate numai cele care asociază coeficienți de regresie semnificativi.

3.2.2 Fenotipul ca predictor al performanțelor acustice ale lemnului arborilor

Un număr important de caracteristici ale arborelui pot servi ca predictorii ale proprietăților acustice ale lemnului lor. Cele mai bune modele au fost construite cu doar doi sau trei predictorii (Tabelul 12). Caracteristicile scoarței, mai ales grosimea ei, și grosimea ramurilor sunt nelipsite din aceste modele (Tabelul 12). Pentru practicienii care nu dispun de instrumente pretențioase de măsură, posibilitatea de a identifica arborii de valoare acustică după grosimea ramurilor – caracteristică vizibilă – este cât de poate de salutară; nu întâmplător, grosimea ramurilor este printre cele mai importante criterii de clasificare calitativă a arborilor pe picior folosite oriunde în lume (Wessels et al. 2011). Dintre acusticele măsurate, radiația este mai greu de anticipat cu particularitățile morfologice ale arborilor care au fost analizate de autor.

Tabel 12. Modele linear-multiple pentru explicarea unor proprietăți acustice ale lemnului de molid din secțiunea de bază cu ajutorul caracteristicilor fenotipului (Dinulică 2020)

Proprietatea explicată	Predictori	Ecuația modelului	R^2 p
Viteza longitudinală a sunetului (V_L)		$C_L = 5848.88 - 250.02 \times BD - 102.04 \times BT$	0.39 0.004
Viteza radială a sunetului (V_R)		$C_R = 2304.56 - 17.09 \times HT - 32.83 \times CD$	0.52 < 0.001
	Grosimea scoarței (BT),	$C_R = 1546.24 - 29.10 \times BT + 57.93 \times a^*_{ext}$	0.55 < 0.001
V_L / V_R	Grosimea maximă a ramurilor (BD),	$C_L / C_R = -0.220 - 0.137 \times BD + 0.011 \times SW + 0.073 \times TH$	0.48 < 0.001
Radiația acustică longitudinală (RL)	Înălțime arbore (HT), Diametru coroană (CD),	$RL = 6016.88 - 151.79 \times BD - 134.49 \times BT$	0.26 0.008
Impedanța acustică longitudinală (AIL)	Gradul de roșu al culorii pe fața solzilor	$AIL = 5710.92 - 328.23 \times BD - 75.94 \times BT$	0.43 < 0.001
Impedanța acustică radială (AIR)	scoarței (a^*_{ext}), Lățimea alburnului	$AIR = 903.61 - 48.98 \times CD + 69.75 \times a^*_{ext}$	0.55 < 0.001
Modulul de elasticitate longitudinal (MOEL)	(SW),	$MOEL = 26700 - 1730.67 \times BD - 599.11 \times BT$	0.39 < 0.001
Modulul de elasticitate radial (MOER)		$MOER = 1592 - 132.84 \times CD + 138.73 \times a^*_{ext}$	0.57 < 0.001

În figura 31 se poate urmări cum se mulează modelul explicativ linear al vitezei longitudinale a sunetului pe datele experimentale.

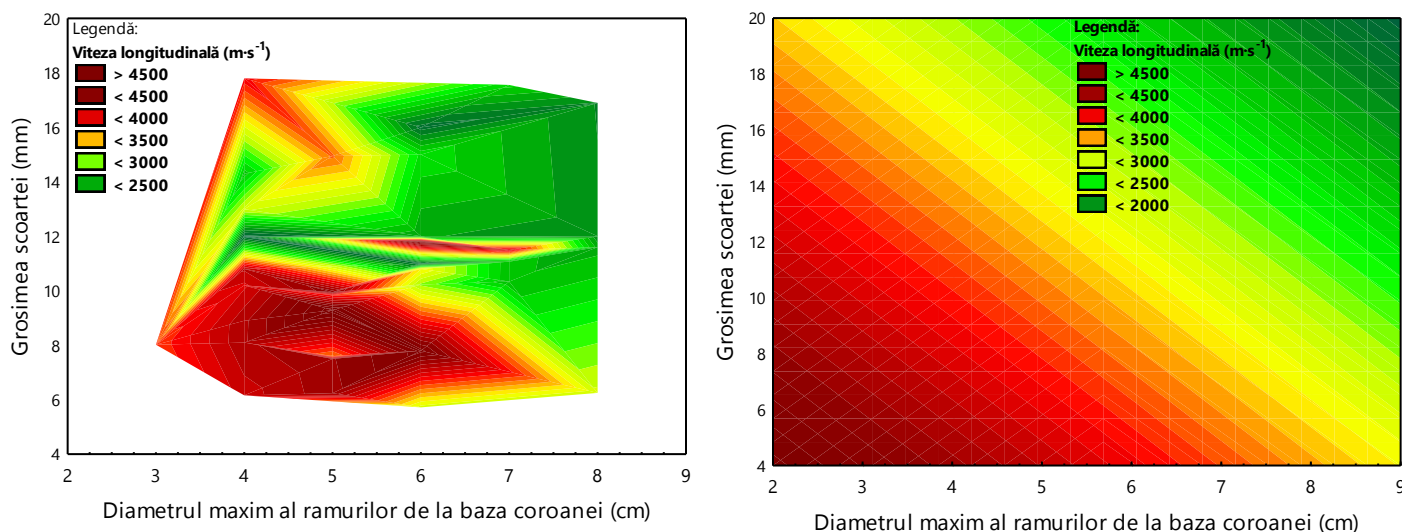


Figura 31. Legătura multiplă între diametrul ramurilor, grosimea scoarței și viteza de propagare a sunetului în lungul fibrei la molid, conform datelor experimentale (stânga) și modelului din Tabelul 12 (dreapta)

3.3 Particularități structurale ale lemnului de rezonanță verificate acustic

Analiza structurii este adesea mijlocul cel mai lesnicios pentru evaluarea aptitudinilor lemnului pentru un mod anume de valorificare și pentru anticiparea comportării lui tehnologice. În cazul construcției instrumentelor muzicale din familia viorii s-a naturalizat necesitatea unei arhitecturi a materialului cu inele înguste și regulate, la care contribuția lemnului târziu este modestă (Beldeanu 1999).

Cercetările efectuate de autorul tezei invită la reevaluarea acestor criterii tradiționale. Regularitatea creșterilor rămâne stringentă (Dinulică et al. 2015a, Dinulică et al. 2019), dar lățimii inelelor anuale și a lemnului târziu li se poate acorda un interval de mărime mai larg, prin deplasarea limitei superioare către valori mai mari (Dinulică 2020). Autorul tezei propune și un *indiciu nou* pentru recunoașterea lemnului de rezonanță la arborii pe picior și anume **lățimea alburnului**. Aceste criterii se discută în paragrafele care urmează.

3.3.1 Inelele anuale la lemnul pentru sunet

Din investigațiile efectuate de autorul tezei (Dinulică 2020) au rezultat următoarele: (i) caracteristicile inelelor anuale se asociază cu parametrii acustici în direcție radială, nu și în direcție longitudinală; (ii) regularitatea inelelor și componentelor lor sunt caracteristicile inelelor cu cea mai mare relevanță acustică; (iii) până la lățimi medii ale inelelor anuale de 2-2.5 mm, mărimea parametrilor acustici crește cu lățimea inelelor.

(1) Screening-ul acustic al inelelor anuale. Autorul tezei a identificat trei mari dificultăți la aprecierea relevanței mărimii inelelor anuale în raport cu valoarea acustică a materialului lemnos: 1) dependența relației structură-proprietăți acustice de vârsta arborilor, 2) instabilitatea spațială a relației și 3) indicațiile contradictorii pe care le oferă structura, datorate anatagonismului între radiație și impedența acustică.

INTERACȚIUNEA VÂRSTEI. Cele mai multe corelații semnificative ale variabilelor inelelor

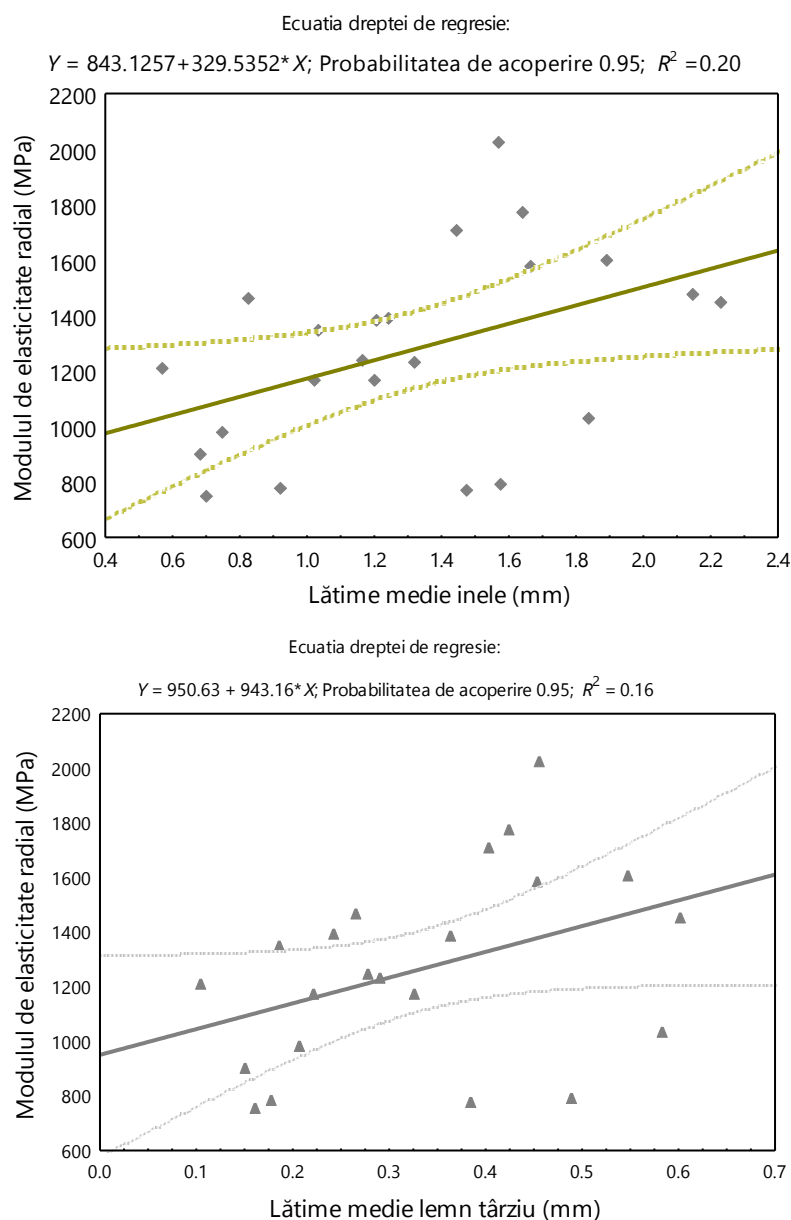


Figura 32. Regresia (și intervalul de încredere) unor variabile ale structurii inelelor anuale cu mărimea modulului de elasticitate radial, măsurate în alburn (Dinulică 2020)

cu parametrii acustici camuflează influența vârstei, așa încât după calcularea corelației parțiale, legăturile pierd din intensitate sau chiar își modifică sensul. Vitezele măsurate, raportul lor de mărime ($V_L:V_R$), radiația acustică și mai ales impedența se micșorează cu vârsta arborilor. Corelațiile care rezistă după neutralizarea influenței vârstei sunt îndeosebi cu proporția lemnului târziu. Lățimea medie a inelelor, lățimea și proporția lemnului târziu au o contribuție pozitivă (Figura 32), iar neregularitatea lățimii lemnului târziu o contribuție negativă la comportarea materialului lemnos în câmp acustic. Lățimea inelelor anuale are o legătură mai strânsă cu parametrii acustici radiali, iar proporția lemnului târziu, cu

parametrii acustici longitudinali (Tabelul 13). Rezultatul incită la o reevaluare a restricțiilor tradiționale impuse lemnului târziu, a cărei mărime poate excede granița de 25 % care i s-a

impus în ultimele decenii, precum și lățimii inelelor anuale. Radiația acustică și viteza radială nu răspund la variațiile structurii inelelor anuale (Tabelul 13). Lemnul de compresiune depreciază radiația acustică transversală (Tabelul 13). Tendințele găsite în relația structurii inelelor anuale cu parametrii acustici (Tabelul 13, Figurile 32-33) nu pot fi extrapolate în afara intervalului de mărime a inelelor anuale pe care l-am analizat. Studiul va trebui extins în populații cu ritm mai alert de creștere.

Tabel 13. Influența vârstei arborilor asupra relației structurii inelelor anuale cu parametrii acustici ai lemnului* (Dinulică 2020)

Caracteristici	Lățime inele	Diferența de lățime între inelele consecutive	Lățime lemn târziu	Neregularitate lățime lemn târziu	% lemn târziu	% lemn de compresiune
Vârsta arborilor	-0.439*	-0.459*	-0.462*	+0.256*	-0.215	+0.080
Viteza longitudinală a sunetului	+0.346 *	NS	+0.378 *	-0.328 *	+0.260 *	-
	NS	NS	+0.311 *	-0.234 *	+0.325 *	
Viteza radială a sunetului	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Raportul viteza longitudinală:viteza radială	+0.346 *	NS	+0.414 *	-0.379 *	+0.313 *	-
	NS	NS	+0.292 *	NS	+0.322 *	
Impedanța longitudinală	+0.421 *	+0.242 *	+0.460 *	+0.368 *	+0.278 *	-
	+0.311 *	NS	+0.411 *	-0.247 *	+0.341 *	
Impedanța radială	+0.487 *	NS	+0.506 *	-0.476 *	NS	NS
	+0.464 *	NS	+0.473 *	-0.396 *	+0.435	NS
Radiația longitudinală	NS	NS	NS	NS	NS	-
	NS	NS	NS	NS	NS	
Radiația radială	NS	NS	NS	NS	NS	+0.441 *
	NS	NS	NS	NS	-0.388 *	-0.456 *
Modulul de elasticitate longitudinal	+0.392 *	NS	+0.427 *	-0.360 *	+0.260 *	-
	+0.272 *	NS	+0.392 *	-0.252 *	+0.369 *	
Modulul de elasticitate radial	+0.505 *	NS	+0.499 *	-0.478 *	NS	NS
	+0.452	NS	+0.424 *	NS	NS	NS

* Coeficientul de corelație simplă/coeficientul de corelație parțială, cu înlăturarea contribuției vârstei arborilor. Valorile marcate (*) sunt semnificative ($p < 0.05$)

Versatilitatea proprietăților vibratorii ale lemnului în relația cu structura acestuia are și o **conotație geografică**, prea puțin cunoscută până acum, care motivează importanța provenienței la alegerea materiei prime pentru confecționarea instrumentelor muzicale (Darnton 2009). Rezultatele cercetărilor pe care le-am desfășurat au arătat că legăturile între variabilele inelelor și proprietățile acustice sunt mai slabe în metapopulația Poiana Brașov decât în cea de la Gurghiu – un exemplu se oferă în Figura 33. Valoarea acustică a lemnului de rezonanță din Carpații românești (Holz 1967), în special la construcția pianelor (Ege 2009), a fost dovedită experimental cu ajutorul constantelor acustice, care îl plasează în fruntea clasamentului proveniențelor geografice (Bucur 1980).

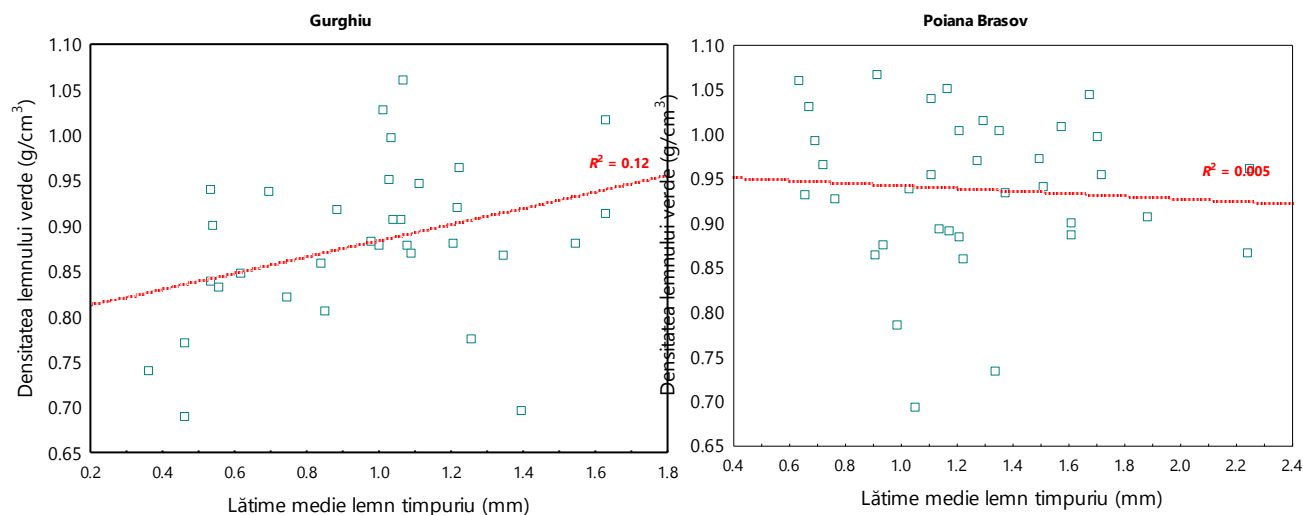


Figura 33. Relația mărimii lemnului timpuriu cu densitatea lemnului pe picior în două populații de molid (Dinulică 2020)

Relevanța de marker acustic a structurii inelelor anuale rămâne o problemă deschisă. Sunt opinii că proprietățile vibraționale ale lemnului sunt determinate mai curând la scara peretelului celular decât la scara macroscopică a inelelor de creștere (Brémaud 2012, Fabisiak și Mania 2016). Din cercetările autorului tezei a rezultat că arborii cu inele ceva mai late, în care lemnul târziu este bine reprezentat, dar nu excesiv, și mai ales regulat ca grosime, sunt avantajați acustic. De altfel și Macareva (1968) și Spycher și colaboratorii (2008) au găsit o radiație acustică mai mare la eșantioanele cu inele mai late, până la lățimi medii de 3 mm.

Nu toți lutierii asociază la molid valoarea acustică cu inele fine; s-a remarcat de altfel că nu puține din viorile cunoscute ale trecutului au fața cu inele de lățime din clasele superioare de valori, de unde s-a dedus că preferința pentru structuri fine este preconcepută (Darnton 2009). Nu așa stau lucrurile la paltin, pentru care finețea creșterilor anuale a rămas o prioritate la alegerea materialului (Darnton 2009).

Mărimea radiației acustice și a elasticității este în mare parte datorată densității lemnului (Macareva 1968). S-a publicat o literatură bogată care ilustrează legătura (negativă) fenotipică și genotipică între vigoarea de creștere și densitatea lemnului de molid (ONF 1996, Rozenberg și Cahalan 1997). Cu toate acestea, nu am găsit o relație clară între lățimea medie a inelelor și densitatea lemnului și am presupus că molidul de rezonanță se sustrage acestei legături (Dinulică et al. 2015a).

Majoritatea legăturilor între variabilele inelelor anuale și acusticele lemnului nu sunt strânse, motiv pentru care opinez că lățimea inelului anual și proporția lemnului târziu ar trebui

să rămână criterii secundare la selecția vizuală a materialului pentru cordofone, predictibilitatea lor fiind mai solidă numai alături de alți descriptori morfologici (Figura 30).

(2) Dinamica radială a structurii inelelor anuale. Quantumul anual al creșterilor radiale poartă în primul rând amprenta vârstei. Variațiile radiale ale caracteristicilor inelelor disting creșterile din tinerețe (care formează așa numitul *lemn juvenil*) de lemnul adult. Separarea acestor zone de creștere se face în funcție de dinamica lății inelelor anuale, ponderii lemnului târziu, lungimii fibrelor, unghiului microfibrilar, densității lemnului ș.a. (Zobel și Sprague 1998, Figura 34). La lemnul pentru sunet, aceste variabile ale structurii au valoare indicatoare asupra calității mecano-acustice a materialului, motiv pentru care evoluția mărimii lor în lungul razei intersează în cel mai înalt la alegerea materialului pentru semifabricate de instrumente.

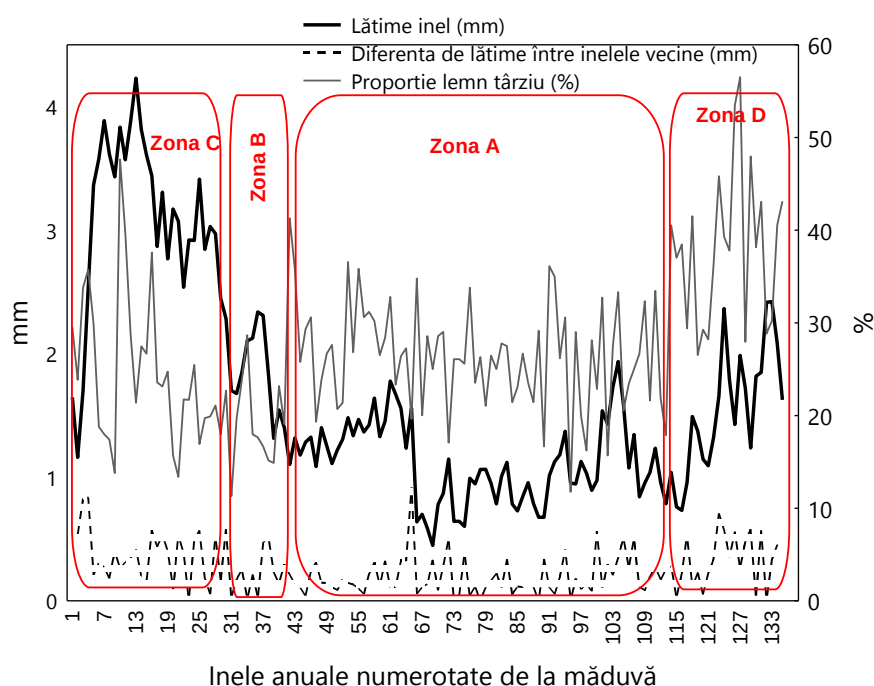


Figura 34. Zonarea transversală a calității structurale a lemnului de molid destinat construcției instrumentelor muzicale (Dinulică et al. 2015a)

Pentru a localiza mai bine calitatea structurală în suprafața secțiunii trunchiului propun un mod **de zonare a secțiunii transversale a trunchiului** în funcție de lățimea inelului, diferența între inelele consecutive și proporția lemnului târziu (Figura 34). Punctele de inflexiune majoră a curbelor marchează granițele zonelor de calitate. Astfel, zona C de calitate corespunde în mare parte lemnului juvenil, iar zona B, tranziției la lemnul adult. **Zonele A și B** formează împreună *sectorul de rezonanță* sau **lemnul pentru sunet** a secțiunii transversale a arborelui. La delimitarea zonelor A și B s-au impus condițiile de calitate structurală impuse lemnului pentru viori (Dinulică et al. 2015a). Lemnul de compresiune încadrează inelele în zona C de calitate și restrânge potențialul pentru instrumente muzicale.

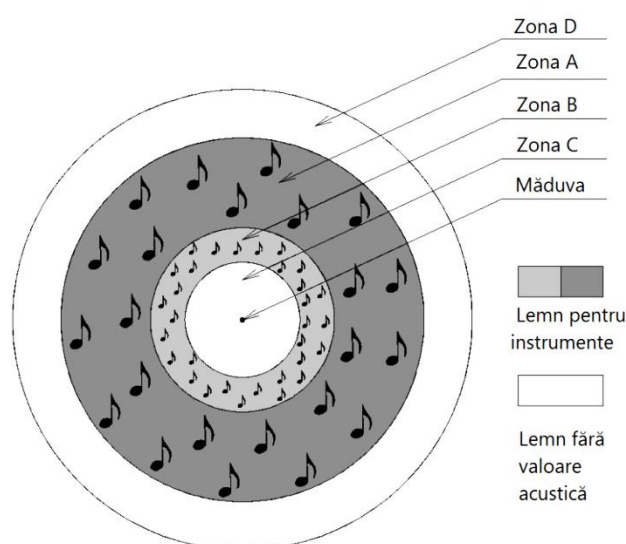


Figura 35. Contribuția zonelor de calitate structurală la suprafața secțiunii transversale a trunchiului arborilor de probă de rezonanță din populația Fâncel-Gurghiu (Dinulică et al. 2015a)

Cele mai multe secțiuni transversale formează trei zone de calitate, care în ordinea de la măduvă spre scoarță sunt C, B, A. Uneori se adaugă, la periferie, zona D odată cu relansarea creșterii radiale și, împreună cu aceasta, mărirea proporției de lemn târziu (Figura 35); zona D apare la arborii cu relaxare a presiunii concurențiale, în urma doborâturilor de vânt sau, mai curând, a extragerilor de masă lemnoasă în cadrul tratamentelor. În arboretele cu lemn de rezonanță din Munții Gurghiuului, înscrise în 1966 într-o serie de gospodărire specială, s-au practicat tăieri de deschidere și lărgire a ochiurilor chiar în jurul arborilor de rezonanță (Albu 2010), care au impulsionat creșterea radială.

Sunt opinii (comunicate personal de doamna Voichița Bucur sau deduse din fotografiile materialului brut afișate pe site-urile furnizorilor de lemn de rezonanță) că arborii de rezonanță au lemnul juvenil mult mai dezvoltat decât la arborii comuni. La molidul comun, trecerea la lemnul adult coincide cu momentul culminării creșterii curente în înălțime, care are loc între 18 și 28 de ani (Kučera 1994). La materialul examinat de autorul tezei, provenit de la arbori groși din păduri cu lemn de rezonanță din Munții Gurghiuului, zona C de calitate structurală – care înscris **lemnul juvenil – cuprinde primele 18-41 de inele anuale (în medie 28)**, care însumează 4-8 cm din rază și care înseamnă 20-40 % din lungimea acesteia. Grapini și Constantinescu (1968) au măsurat o zonă interioară fără aptitudini pentru muzică cu lățimea de 10-15 cm, care însumează 45-60 de inele de lemn juvenil. Zona A de calitate acoperă cea mai mare parte din secțiunea de bază arborilor (Figura 36). Grapini și Constantinescu (1968) au identificat la 45-60 de ani vârsta la care începe formarea lemnului de rezonanță în pădurile noastre; este și vârsta la care arborii își fixează poziția în coronament. La molidul oriental și bradul caucazian, surse de lemn pentru instrumente muzicale în țările ex-URSS, neomogenitatea radială a lățimii traheidelor împinge vârsta de la care se formează lemnul de rezonanță la 70-80 de ani, respectiv 80-90 de ani (Arganașvili 1988).

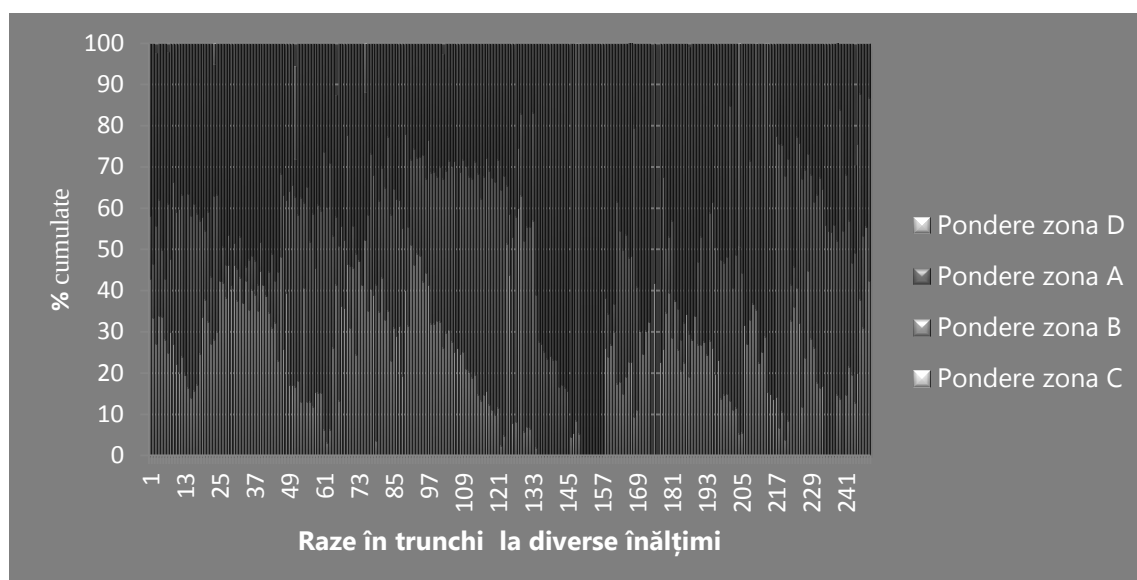


Figura 36. Contribuția zonelor de calitate a structurii lemnului la constituirea secțiunii transversale a trunchiului arborilor de molid din metapopulația Gurghiu (Dinulică 2020)

Stabilitatea de la an la an a creșterii radiale la arborii de rezonanță nu exclude posibilitatea apariției unor inele caracteristice, care au permis identificarea provenienței geografice a materialului și datarea instrumentelor muzicale (Topham și McCormick 2007, Bernabei și Bontadi 2011). Un astfel de studiu a permis de pildă plasarea în timp, în miniglaciațiunea medievală (1645-1715 - minima Maunder), a materialului din viorile lui Stradivarius și a lansat ipoteza, foarte seducătoare, că aceste condiții climatice, grefate pe geomorfologia particulară a stațiunilor de origine, și-au pus amprenta asupra personalității acustice a materialului (Burckle și Grissino-Meyer 2003).

Zonarea secțiunii trunchiului pe care propus-o trebuie însă verificată cu profile densitometrice și completată cu analize de microscopie, pentru a aduce în atenție arhitectura microscopică a lemnului – se pare mai relevantă pentru însușirile acustice ale materialului.

DINAMICA RADIALĂ A INELELOR ANUALE ȘI PROPRIETĂȚILE ACUSTICE ALE LEMNULUI.

Confruntarea acusticelor cu inelele anuale s-a făcut în baza mediei seriei de inele conținute de fiecare probă. Albu (2010) afirmă că modul de oscilație a valorilor pe lungimea seriei sunt indicatoare pentru lemnul de rezonanță, deci studiul acustic trebuie extins la rezoluția inelului anual. Autorul citat a identificat la molizii din Gurghiu două modele de variație radială a creșterii anuale: modelul descrescător, natural, și modelul constant, excepțional ca valoare și ca frecvență. Din analiza pe care autorul tezei a efectuat-o cazurilor particulare (două dintre ele sunt ilustrate în Figura 37) a rezultat că nu lățimea absolută este indiciul cel mai important al arborilor pentru sunet cât regularitatea ei în direcție radială.

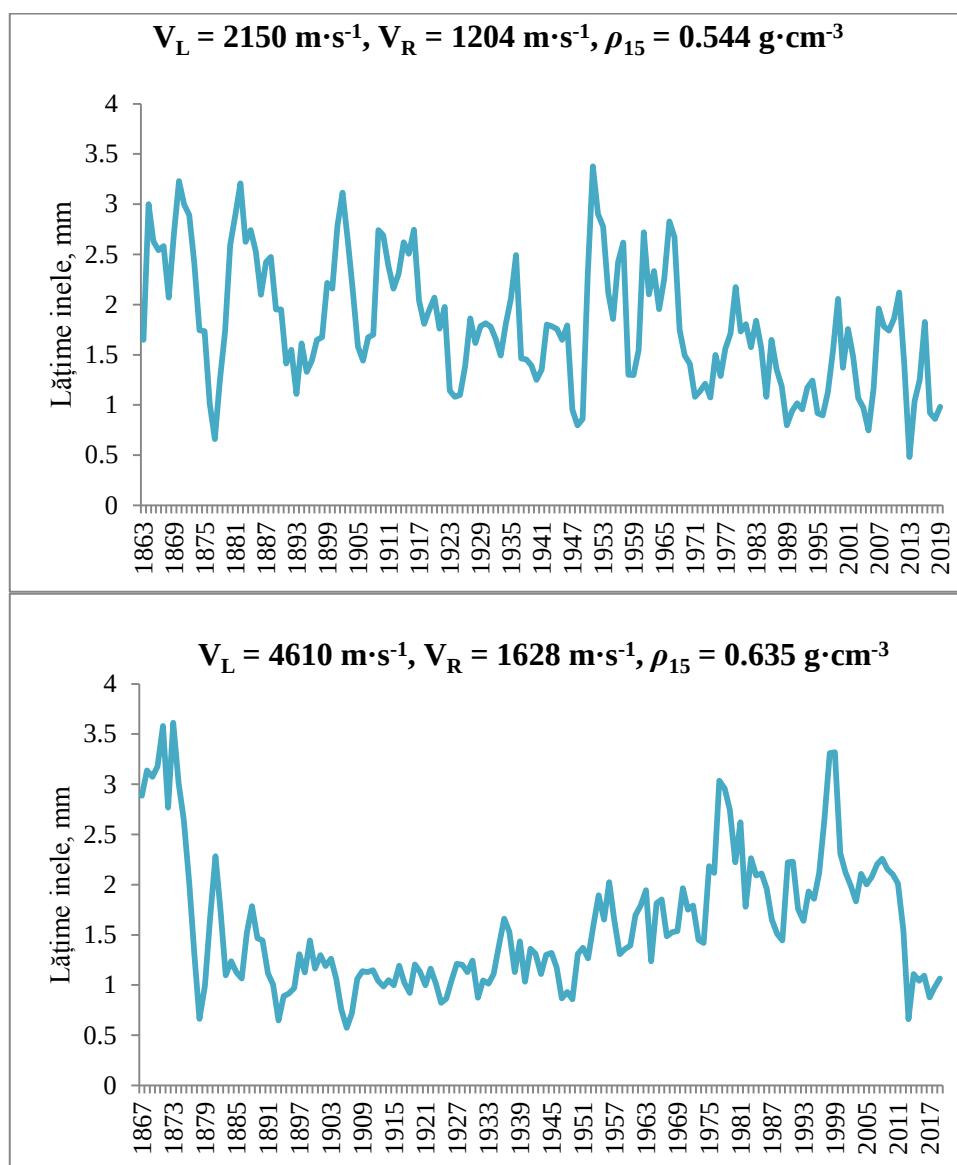


Figura 37. Comparație privind mersul creșterii radiale în secțiunea de bază la doi molizi cu lemn sănătos din aceeași stațiune, de vârstă apropiată (cca 170 ani), dar de condiție acoustică foarte diferită (Dinulică 2020)

Până la dobândirea statutului de rezervație – care a avut la adoptarea amenajamentului din 2002 - molidișurile din Lăpușna au fost subiectul gospodăririi în cadrul unei serii speciale de parcele cu lemn de rezonanță și claviatură, în care s-au practicat tăieri progresive după 1972 (Albu 2010). Acestea, împreună cu doborâturile de vânt, au dat creșterii radiale un imbold puternic chiar și la arborii de rezonanță (Figura 37). La arborii din populația Lăpușna, acest avânt a avut loc începând cu 1974. Totuși, la arborii de valoare acoustică, creșterea radială a păstrat un trend regulat chiar și după relansare, pentru că s-a stabilizat în mare măsură. În acest fel, variația radială a lățimii inelelor anuale de la acești arbori are alura profilului în trepte (Figura 38).

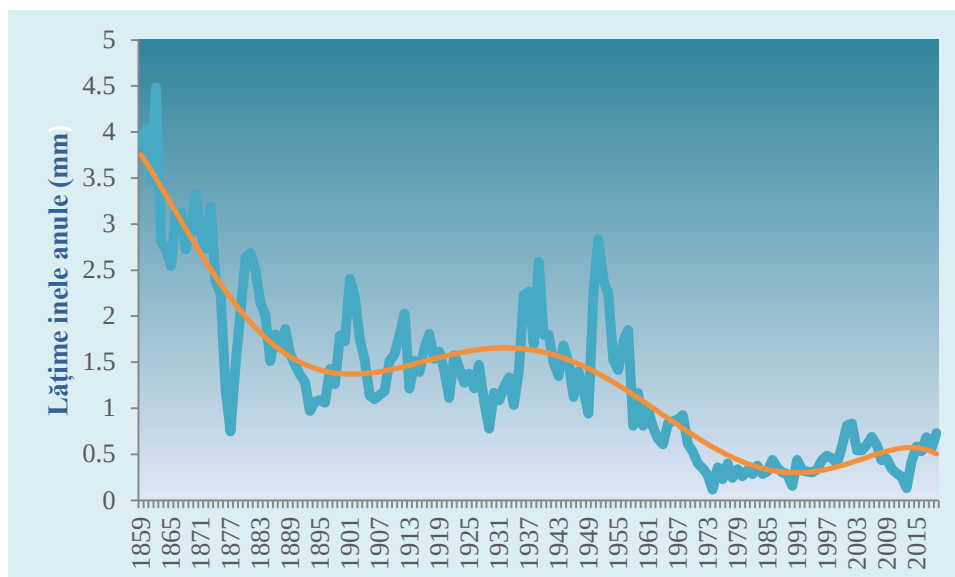


Figura 38. Seria de creştere a arborelui cu radiaţia radială cea mai mare şi impedanţa radială cea mai mică (polinomul de gradul 6 exprimă mai fidel tendinţa lăţimii inelului anual)

(3) Anizotropia structurii inelelor anuale. Studiul inelelor de la runde provenite de la 10 arbori de probă (Dinulică et al. 2015a) a făcut să se remarce că (Figura 39):

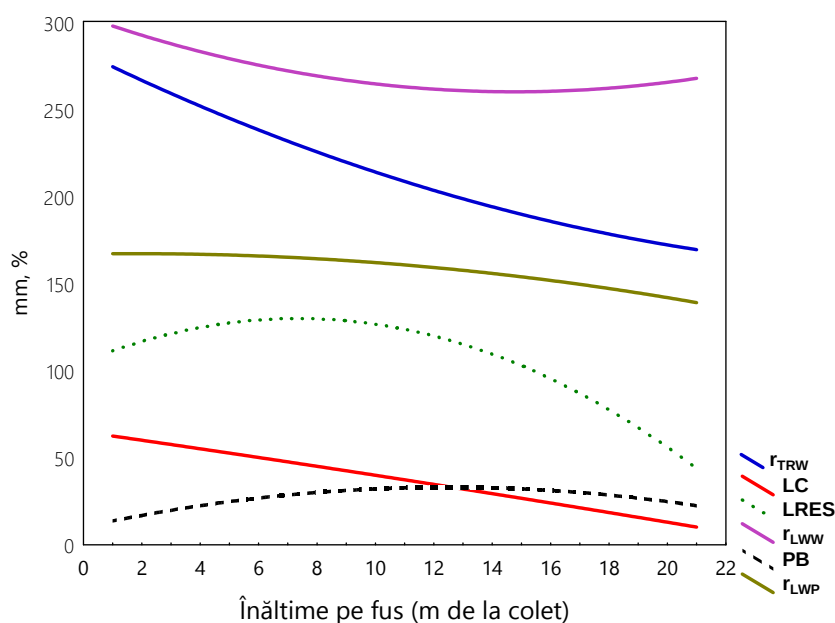


Figura 39. Tendinţe ale structurii lemnului în lungul fusului la molizi de rezonanţă din bazinul Fâncelului – Gurghiu: r_{TRW} – indicele de neregularitate a lăţimii inelelor anuale; LC – lăţimea zonei C de calitate; LRES – lăţimea sectorului de rezonanţă; r_{LWW} – indicele de neregularitate a lăţimii lemnului târziu; PB – proporţia zonei B de calitate (% din rază); r_{LWP} – indicele de neregularitate a proporţiei lemnului târziu (Dinulică et al. 2015a)

✓ la arborii de rezonanţă, sectorul de rezonanţă are cea mai mare extindere în tronsonul trunchiului de la înălţimea de 7 m;

✓ zona A de calitate înregistrează cele mai mari valori la înălţimea de 5 m şi se restrânge considerabil la înălţimi mai mari de 11 m;

✓ până la înălţimea de 21 m, lăţimea inelelor anuale nu variază sensibil cu depărtarea de colet;

✓ frecvenţa apariţiei zonei D de calitate scade treptat până la înălţimea de

13 m, de unde zona D dispăre.

Iablokoff (1963) preciza că la molidul comun tronsonul de înălțimi 8-16 m oferă cea mai bună calitate a structurii lemnului. De altfel, cu depărtarea de colet, creșterile radiale ale molidului par tot mai puțin afectate de climat (Bouriaud et al. 2005). Variații ale structurii lemnului se înregistrează și pe circumferință. Astfel, s-a constatat favorizarea razei SE a secțiunii trunchiului în privința mărimii zonei A de calitate (Dinulică et al. 2015a). Se explică astfel preferința unor lutieri pentru lemnul de pe fața însorită a trunchiului (Schelleng 1982).

(4) Clasificarea calitativă a lemnului de molid cu ajutorul inelelor anuale Din cele prezentate până acum, se poate afirma **individualitatea structurală a lemnului de rezonanță**, pe care autorul tezei o consideră un argument pentru diferențierea molidului de rezonanță într-o unitate taxonomică intraspecifică cu personalitate xilogenetică – și pe care am numit-o *xilotip* (Dinulică et al. 2015a). Desigur, sunt și limitări în eficacitatea individuală a acestor markeri (Brémaud 2012a), care capătă valoare diagnostică mai mult prin sinergie (Brémaud 2012b).

În optica tradițională exista convingerea, susținută de unele dovezi experimentale obținute la semifabricate și epruvete de lemn uscat (Ghelmeziu și Beldie 1970), dependenței însușirilor acustice de structura materialului, relație care a fost transpusă în restricții fizico-structurale impuse materiei prime prin standarde. Astfel, unele caracteristici structurale au devenit criterii de sortare a lemnului candidat pentru instrumente muzicale (Krzysik 1968, Zaitsev 1969, Sonderegger 2008, ASRO 1993).

Pentru fabricații de viori din România, conformația inelelor anuale este principalul indiciu al aptitudinii acustice a materialului lemnos (Albu 2010). La lemnul pentru viori și chitare, de pildă, se preferă inelele cu lățimi în jurul valorii de 1.6 mm (Holz 1973).

Autorul tezei a conceput împreună cu prof. Albu o **scară de clasificare a calității structurii inelelor anuale**, pornind de la experiența lutierilor de la compania Gliga din Reghin (Tabelul 14). Treptele superioare ale scării corespund exigențelor materialului pentru viori. La restricțiile calitative impuse acestuia am adăugat și condiția depășirii lățimii semifabricatului uzual de vioară (13 cm). Dacă această lățime poate fi asigurată în proporție de peste 50 % de zona A, atunci materialul aparține primei clase structural-acustice și permite obținerea viorilor Maestro. Arborii care nu au avut timp să acumuleze o zonă de rezonanță de cel puțin 12 cm, dar care prezintă semnalmente calitativ-structurale evidente încă din tinerețe, au fost înscrși în clasa de calitate 4. Pentru arborii groși cu zona de rezonanță ceva mai scurtă decât lățimea unui semifabricat propunem clasa 5 de calitate. În fine, arborii cu creșteri neregulate sau mari, cu lemn de compresiune ocupând o parte însemnată din lemnul adult sau care nu vor putea să acumuleze lemn de rezonanță pe durata ciclului de producție, nu pot oferi material cu valoare acustică (clasa 6 de calitate).

Tabel 14. Clase de calitate structurală pentru lemnul de molid pe picior destinat construcției instrumentelor muzicale (Dinulică et al. 2019 - modificat)

Clasa de calitate	Criterii de încadrare*
1. Lemn de calitate structurală superioară	Lățimea inelelor = 0.8 - 2.5 mm (media ≥ 1.2 mm)
	Proporția medie a lemnului târziu $\leq 20\%$
	Diferența de lățime între inelele vecine ≤ 0.5 mm
	Indicele de regularitate a inelelor anuale (amplitudine/max) ≤ 0.7 .
2. Lemn de calitate structurală medie	Lățimea sectorului de rezonanță ≥ 130 mm
	Lățimea inelelor = 0.8 - 2.5 mm
	Proporția medie a lemnului târziu $\leq 35\%$
	Diferența de lățime între inelele vecine ≤ 0.6 mm
3. Lemn de calitate structurală slabă	Lățimea sectorului de rezonanță ≥ 130 mm.
	Lățimea inelelor ≤ 3.0 mm (media ≥ 0.5 mm).
	Proporția medie a lemnului târziu $\leq 39\%$.
	Diferența de lățime între inelele vecine ≤ 1.0 mm
4. Lemn cu potențial de rezonanță	Lățimea sectorului de rezonanță ≥ 130 mm
	Satisfacerea cerințelor clasei 2 de calitate, mai puțin condiția impusă lățimii sectorului de rezonanță – care este insuficient pentru un semifabricat de vioară (< 130 mm), dar depășește 50 mm.
	Diametrul mediu de bază al arborelui ≤ 38 cm
5. Lemn parțial utilizabil, de la arbori groși dar cu lățime insuficientă a sectorului de rezonanță	Diametrul mediu de bază al arborelui > 38 cm, vârsta arborelui > 150 ani
	$50 \leq$ lățimea sectorului de rezonanță < 130 mm
6. Lemn fără calități structurale	Lățimea sectorului de rezonanță < 50 mm sau
	Lățimea medie a inelelor anuale ≤ 0.5 mm

* La primele trei clase de calitate se admit cel mult 7 inele anuale care să depășească restricțiile impuse cu cel mult o abatere standard.

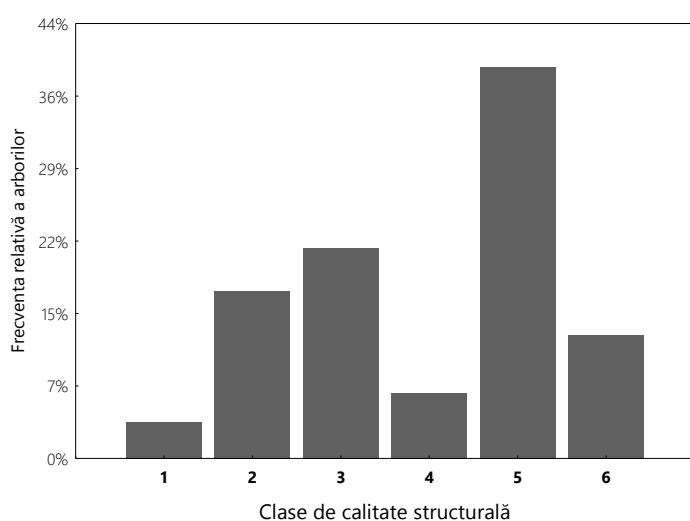


Figura 40. Distribuția arborilor pe clase de calitate structurală în metapopulația Gurghiu (arbori cu diametru de bază ≥ 23 cm)

În arboretele cu lemn de rezonanță din Gurghiu, molizii de clasa 5 de calitate, adică cu inele de rezonanță insuficiente, sunt cei mai numeroși (Figura 40). Primele trei clase însumează peste 40 % din efectiv, iar arborii cu lemn fără calitate structurală reprezintă 12 % din efectiv (Figura 40). Se întărește astfel convingerea că arborii de rezonanță sunt exponenți ai unor populații valoroase în ansamblul lor.

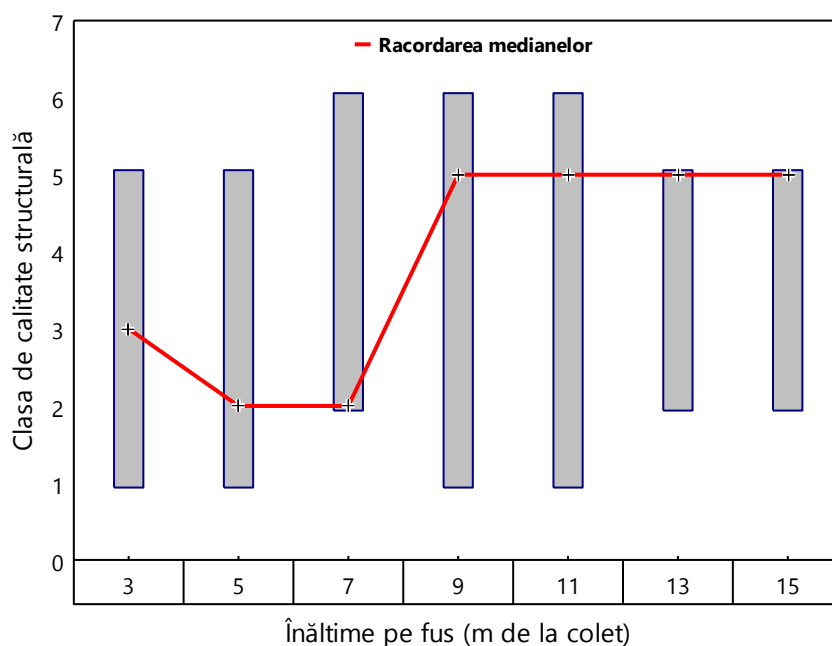


Figura 41. Variația cu înălțimea a clasei de calitate structurală la 10 arbori de probă de molid de rezonanță din metapopulația Gurghiu

Cea mai bună calitate a structurii se înregistrează în tronsonul de înălțimi de la 5 la 7 m (Figura 41). Lungimea medie de fus cu lemn apt structural pentru construcția instrumentelor muzicale este 11 m, care reprezintă circa 35 % din înălțimea arborilor (Dinulică et al. 2015a).

În literatură este semnalată neconcordanța între clasificarea acustică și clasificarea după criterii morfologice și structurale a lemnului de rezonanță (Buknowitz et al. 2007). Consider că subiectul necesită încă investigații înainte de a formula concluzii. Până în prezent am găsit că arborii din clasa 6 de calitate a structurii au cele mai mici valori ale radiației acustice în secțiunea de bază, fără ca acest rezultat să aibă o acoperire statistică corespunzătoare (date nepublicate).

3.3.2 Lemnul de compresiune la molid în păduri cu lemn de rezonanță

Lemnul de compresiune (EN. compression wood) este xilemul secundar de la gimnosperme cu arhitectură particulară (Figura 42), care se distinge de lemnul normal la toate scările de alcătuire a structurii (macroscopică, microscopică și submicroscopică) îndeosebi prin îngroșarea lemnului târziu și a pereților celulari, lărgirea spațiilor intercelulare, scurtarea traheidelor și microfisurarea pereților lor celulari și mărirea unghiului microfibrilelor celulozice din peretele secundar (Kollmann și Côté Jr 1968, Timell 1986, Yoshizawa et al. 1987, Kocoń 1988, Sedghi-Gilani et al. 2005). Se formează în xilemul solicitat continuu, periodic sau repetat la compresiune sau corectează mișcarea tulpinilor sub influența gravitației și luminii (Timell 1986, Dinulică 2012).

Un conținut mare de lemn de compresiune implică inevitabil o frecare internă mai mare și deci o **amortizare mai puternică a vibrației sonore**, precum și o **elasticitate mai slabă** (Norimoto

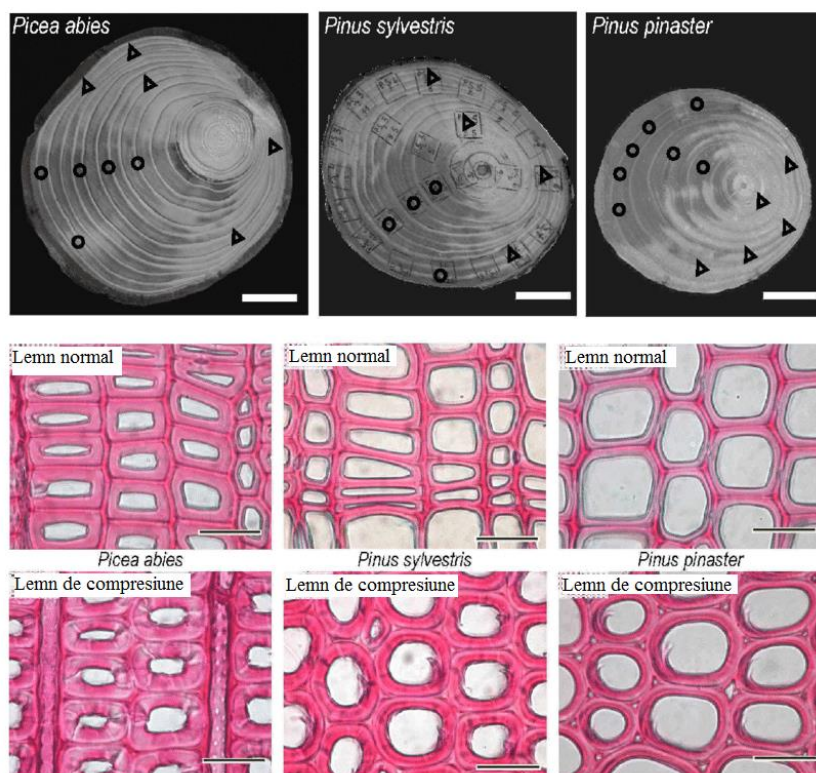


Figura 42. Aspectul macroscopic și microscopic comparativ al lemnului cu structură normală și lemnului de compresiune, în secțiune transversală, la trei specii de rășinoase (Brémaud et al. 2013-adaptat)

et al 1983). Efectul se datorează unghiului microfibrilar și densității neobișnuit de ridicate a pereților celulari ai lemnului de compresiune (Brémaud 2006). La același modul de elasticitate specific (E/ρ), decrementul de amortizare este însă cu circa 34 % mai mic în lemnul de compresiune, probabil datorită ligninei mai condensate a acestuia (Brémaud 2006). În lemnul de compresiune, descreșterea exponențială a

amortizării cu elasticitatea specifică este mai rapidă decât în lemnul normal.

Spre deosebire de brad (*Abies alba* Mill.), unde defectul are o frecvență de apariție și mărime deosebit de ridicate (Dinulică 2012), la molid incidența lemnului de compresiune este modestă. La arborii de molid din Gurghiu pe care i-am eșantionat cu carote și rondele, lemnul de compresiune cuprinde 5.7 % din numărul total de inele măsurate, care înseamnă 8.3 % din lățimea lor cumulată (Dinulică et al. 2015a). Distribuția valorilor mărimii lemnului de compresiune este orientată spre zero (Tabelul 15).

Tabel 15. Câmpul de variație a mărimii lemnului de compresiune la molid, în metapopulația Gurghiu (Dinulică 2020)

Variabilă	N probe	Media aritmetică	Mediana	Minimum	Maximum	Coefficient de variație (%)	Semnificația statistică a diferențelor între arbori*
Proporția lemnului de compresiune (% din raza secțiunii trunchiului**)	280	7.22	0	0	82.73	173.62	0.94

* Probabilitatea de transgresiune din testul Kruskal-Wallis. **Reconstituită cu ajutorul probelor de creștere prelevate de la 1.3, 3.3 și 5.3 m înălțime (Dinulică et al. 2015a).

Defectul a fost identificat la jumătate (141) din numărul total de probe măsurate, extrase de la 101 arbori (reprezentând 67 % din efectivul arborilor eșantionați). Atunci când apare, se

întinde pe 4-23 % din lungimea razei (Q1-Q3), mărimea mediană fiind 11 %. La brad, în populații din jurul Brașovului, defectul a fost identificat la 82 % din cele 526 de probe măsurate, mărimea lui mediană fiind 18 % (Dinulică 2012). La probele de la molid măsurate, inelele cu lemn de compresiune se disting de inelele din lemnul normal mai mult prin lățime, în particular prin lățimea lemnului târziu (Figurile 43-44). Gama valorilor proporției lemnului târziu și timpuriu, precum și a diferenței de lățime între inelele consecutive coincide la cele două tipuri de structură (Dinulică et al. 2015a).

În Tabelul 14 prezentăm o propunere pentru clasificarea calitativă a structurii lemnului de molid destinat instrumentelor muzicale. Frațiuni de lemn de compresiune de diverse mărimi au fost identificate la arbori din toate cele șase clase de calitate definite, însă cu o frecvență și o mărime superioare la

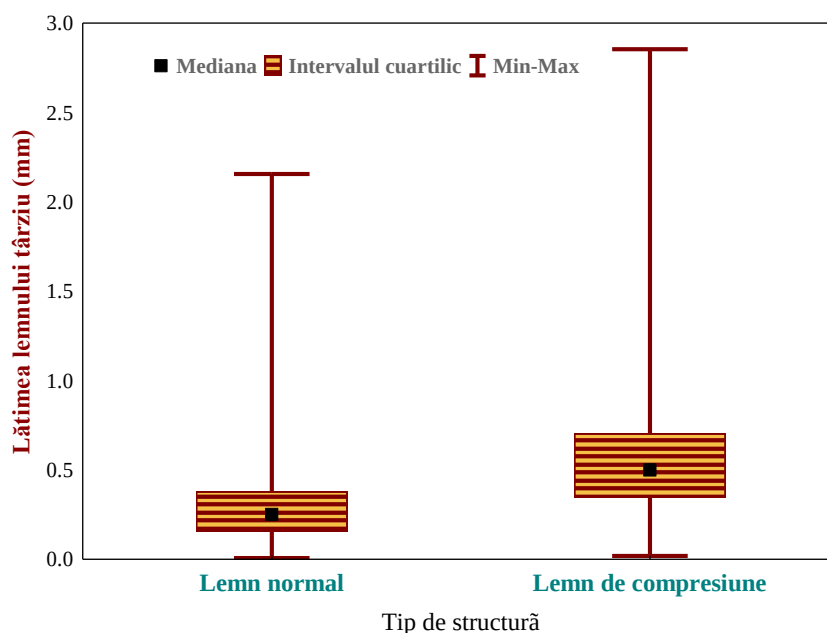


Figura 43. Stratificarea lățimii lemnului târziu în funcție de tipul de structură a lemnului la arbori de molid din arborete cu lemn de rezonanță aparținând metapopulației Gurghiu (Dinulică 2020)

clasele 5 și 6 (Figura 45). La arborii din clasa 5 de calitate a structurii, prezența lemnului de compresiune a fost principalul motiv pentru restrângerea zonei apte pentru rezonanță, defectul ocupând până la 60 % din lungimea razei (Dinulică et al. 2015a). La arborii din clasa a 6-a de calitate, defectul ocupă obișnuit până la 25 % din lungimea razei, dar valorile extreme depășeau uneori 80 % (Figura 45).



Figura 44. Aspectul macroscopic comparativ ale lemnului normal și lemnului de compresiune la o probă de creștere extrasă de la molid (Dinulică 2020)

S-a constatat, de asemenea, reducerea mărimii lemnului de compresiune la trecerea de la secțiunea de bază la înălțimile de 3 și 5 m.

Am verificat statistic dacă mărimea lemnului de compresiune determinată prin măsurători directe asupra probelor de creștere de la molid exercită vreo influență asupra proprietăților

acustice ale lemnului (evident, în direcție radială). Rezultatele nu sunt în general concludente (Figura 46), probabil și pentru faptul că volumul eșantionului care a rămas după îndepărtarea probelor cu putregai nu a corespuns exigențelor statistice. S-a remarcat totuși, că ponderile mai mari de 15 % ale lemnului de compresiune din lungimea razei amplifică rezistivitatea acustică a lemnului din secțiunea de bază (Figura 46).

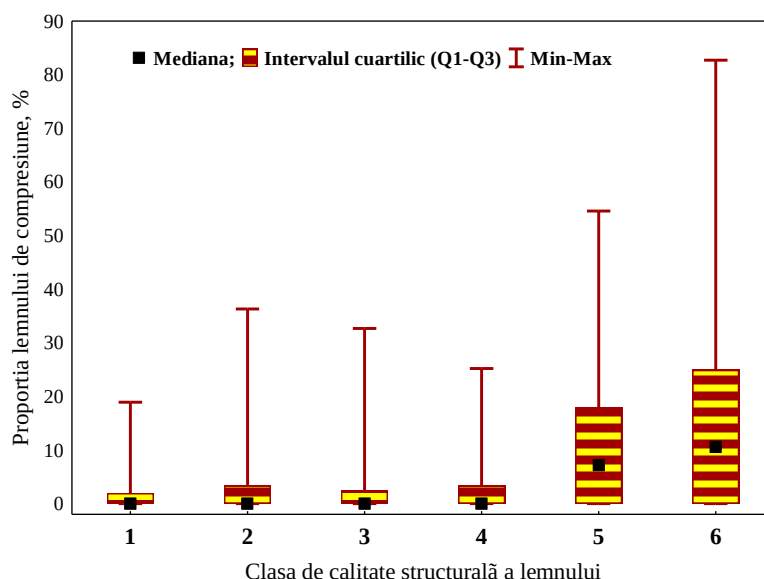


Figura 45. Stratificarea mărimii lemnului de compresiune după clasa de calitate structurală a arborilor eșantionați cu probe de creștere din metapopulația Gurghiu (Dinulică et al. 2015a-adaptat)

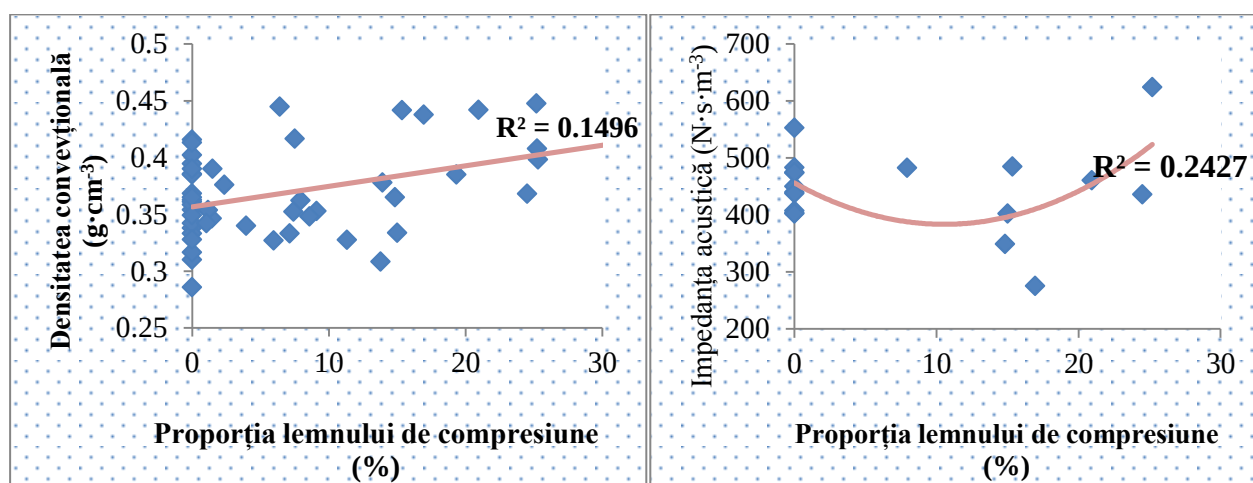


Figura 46. Mărimea lemnului de compresiune ca variabilă explicativă a unor însușiri acustice ale lemnului de molid (Dinulică 2020)

3.3.2 Alburnul la arborii pentru sunet

Alburnul (EN. sapwood) este porțiunea, periferică, a xilemului secundar care servește circulației ascendente a sevei brute (Beldeanu 1999). La speciile fără duramen distinct, cum sunt și cele ale căror lemn se folosește la construcția instrumentelor muzicale, alburnul se distinge numai la lemnul verde, adică la arborii pe picior și la lemnul brut recoltat recent, prin surplusul de apă. La lemnul uscat alburnul nu se mai distinge, motiv pentru care măsurătorile asupra acestuia (lățime și număr de inele) se execută numai la lemn verde.

Așa cum se poate remarca în Figura 30, **alburnul este caracteristica structurii cea mai intimă parametrilor acustici ai lemnului de molid**. Mai precis, așa cum voi arăta în cele ce urmează, lățimea alburnului este cel mai relevant predictor structural al calității acustice a lemnului arborilor pe picior. Alburnul lat este un simptom al arborilor rezonanță.

(1) Mărimea alburnului la molid. Mărimea alburnului, exprimată prin lățime și număr de inele anuale componente, diferă mult de la arbore la arbore (Tabelul 16). Alburnul la molid include de la 6 la 74 inele. Mărimea lui depinde într-o oarecare măsură de grosimea arborilor (coeficientul de corelație neparametrică: $+0.357$, $p < 0.001$ respectiv $+0.215$, $p = 0.007$). Molizii din metapopulația Gurghiu au alburnul mai lat, alcătuit însă dintr-un număr mai mic de inele decât cei din populația de lângă Poiana Brașov.

Tabel 16. Variații ale mărimii alburnului în secțiunea de bază a arborilor maturi de molid (Dinulică 2020)

Caracteristică alburn	Eșantion*	Cuartila 1	Mediana	Cuartila 3	Coeficient de variație între arbori (%)	Semnificația statistică a diferențelor între arbori**
Lățime alburn (mm)	188 arbori pe picior, metapopulația Gurghiu	30.0	40.5	51.9	40.2	< 0.001
	17 arbori pe picior, metapopulația Poiana Brașov	36.7	48.2	63.6	37.4	< 0.001
Număr inele din alburn	141 arbori pe picior, metapopulația Gurghiu	32	43	52	32.1	< 0.001
	17 arbori pe picior, metapopulația Poiana Brașov	22	29	35	45.5	< 0.001

* În stațiuni situate la altitudini apropiate. ** Probabilitatea de transgresiune asociată testului t.

În ansamblul eșantionului (205 molizi la care s-a măsurat alburnul din secțiunea de bază), arborii cu alburnul cel mai lat fac parte dintre dominanți (clasa 2 Kraft), sunt de clasă superioară de calitate – după caracteristicile exterioare, dar și după structura inelelor anuale –, au creșteri radiale mai mari, au coroana mai lungă, simetrică transversal și cu ramuri mai subțiri și au lemnul ceva mai dens (corelații parțiale cu

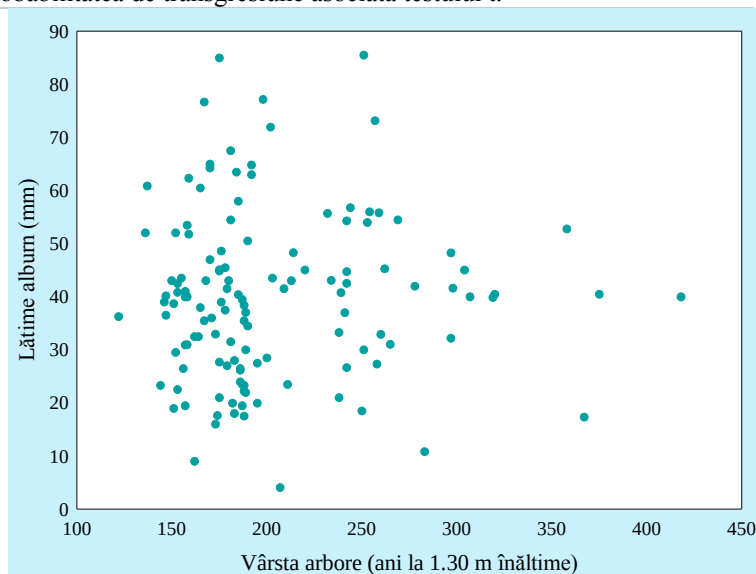


Figura 47. Variația mărimii alburnului cu vârsta la molizi centenari din metapopulația Gurghiu

neutralizarea contribuției diametrului arborilor semnificative).

Vârsta și dimensiunile arborelui nu sunt relevante pentru lățimea alburnului (R neparametric = $-0.23...+0.10$, $p > 0.13$); mărimea alburnului pare a intra în regres numai după vârsta de 250 de ani (Figura 47). Deci, vitalitatea arborilor pentru sunet se prelungește. Arborii cu coroane simetrice și arborii dominanți au alburnul mai lat (Figura 48).

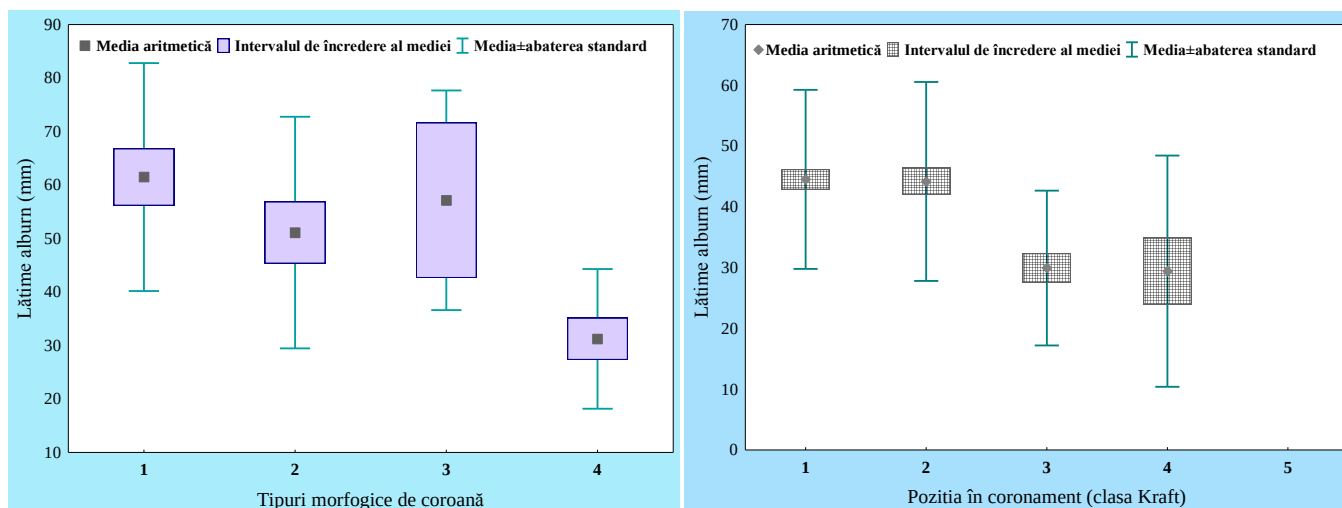


Figura 48. Factori de variație semnificativă statistic a lățimii alburnului la molid în metapopulația Gurghiu. Tipurile morfologice de coroană exprimate prin simetrie: 1 - coroană simetrică orizontal și vertical; 2 - coroană simetrică orizontal, asimetrică vertical; 3 - coroană simetrică vertical, asimetrică orizontal; 4 - coroană asimetrică orizontal și vertical

(2) Alburnul ca indicator al performanțelor acustice. Asocierea alburnului cu parametrii acustici ai lemnului a fost verificată cu coeficienții de corelație neparametrică Spearman a rangurilor (variabilele alburnului nu aderă la legea normală), după îndepărtarea prealabilă a valorilor extreme (reperate cu testul Grubbs Two-Sided). A rezultat (Tabelul 17) că numărul de inele anuale din componența alburnului nu este sugestiv pentru nivelul proprietăților acustice. Dimpotrivă, lățimea absolută a alburnului este cu adevărat un marker al performanțelor acustice. Legăturile semnificative sunt moderate ca intensitate și toate pozitive. Deci, lemnul arborilor cu alburn mai lat pare a fi mai potrivit pentru utilizări acustice; corelația cu impedanța impune un compromis la alegerea arborilor pentru sunet în funcție de lățimea alburnului, care trebuie să fie suficient de mare pentru un lemn cu elasticitate cât mai bună, fără a atinge însă valori extreme – care l-ar plasa într-o zonă de impedanță ridicată (Figura 49).

Tabel 17. Coeficienții de corelație simplă (R , p) între mărimea alburnului și însușirile acustice ale lemnului de molid* (Dinulică 2020)

Variabilă alburn	V_L	V_R	$V_L:V_R$	GD	ADD	RL	RR	AIL	AIR
Lățime	+0.316 0.04	+0.111 0.52	+0.421 0.01	+0.593 < 0.001	+0.412 0.05	+0.101 0.54	-0.026 0.91	+0.534 < 0.001	+0.579 0.006
Număr inele	+0.151 0.35	+0.073 0.68	+0.322 0.05	+0.327 0.04	+0.122 0.60	+0.008 0.96	-0.044 0.85	+0.257 0.11	+0.239 0.30

* Acronimele sunt decriptate în Tabelul 2.

Pe de altă parte, la atribuirea calității de marker acustic trebuie să luăm în considerare și alte proprietăți decât viteza, radiația și impedanța acustică. Dacă judecăm după amortizare, atunci trebuie să avem unele rezerve; aceste rezerve merg până acolo încât unii lutieri înlătură alburnul la confecționarea cutiei sonore (Bucur 2006, Brémaud et al. 2012).

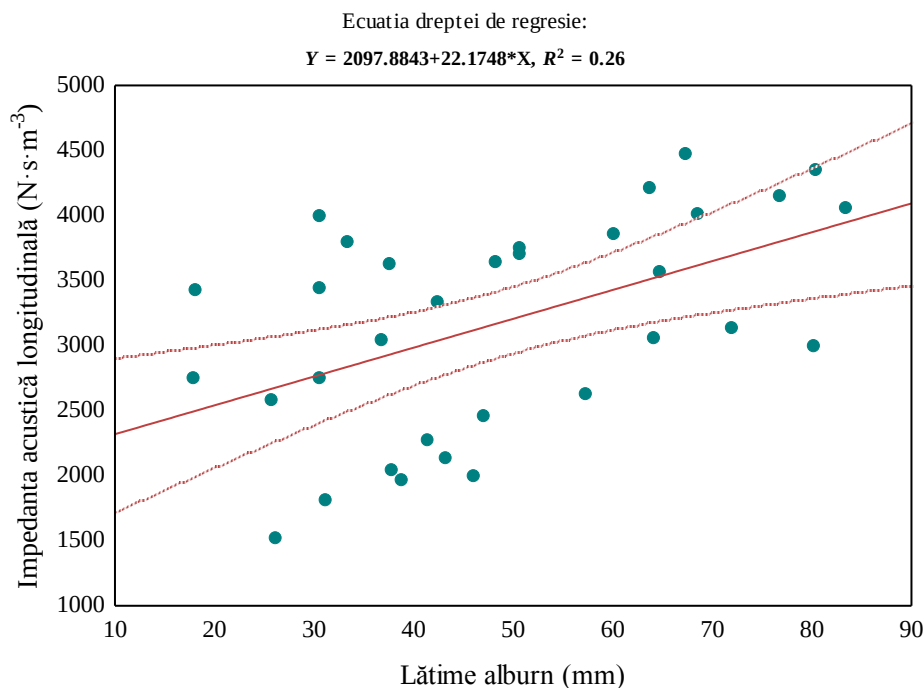


Figura 49. Regresia (dreapta de regresie și intervalul de încredere) impedanței acustice cu lățimea alburnului la molid, în metapopulațiile Gurghiu și Poiana Brașov

Reticența față de alburn este motivată prin frecarea internă mai mare (i.e. dublă: Hearmon 2002), care este însă compensată de o flexibilitate mai bună (Norimoto et al. 1983). Extractibili accentuează frecarea internă în alburn, dar o micșorează în lemnul matur (Hearmon 2002). Amortizarea mai puternică a sunetului în lemnul din alburn se înregistrează numai la octavele superioare (Figura 50).

Trebuie făcută precizarea că în Figura 35, zona D de calitate include inele de alburn nu din pricina calității lui acustice mai slabe, ci datorită destabilizării creșterii radiale la arborii puși în lumină – precizare necesară în contextul receptării foarte diferite de

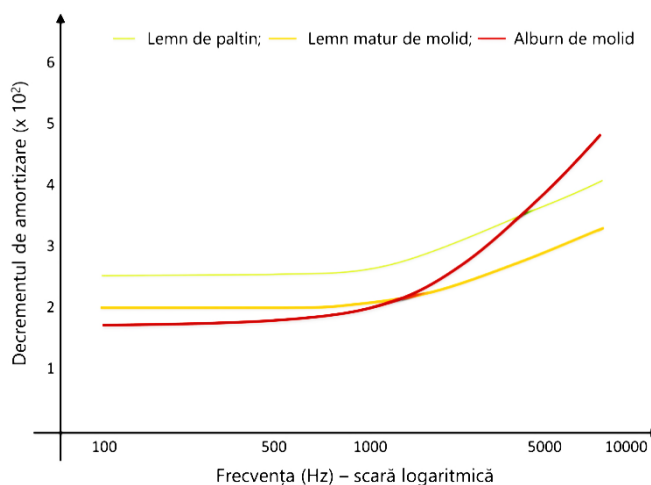


Figura 50. Amortizarea sunetului în funcție de frecvența oscilației, la molid și paltin (Schelleng 1982, redesenat și adaptat)

către lutieri a aptitudinilor muzicale ale lemnului din inelele periferice (maestronet.com). Dacă alburnul este acceptat la confecționarea feței cutiei sonore, prezența lui devine importantă prin aceea că va fi poziționat sub cordar, deci în proximitatea corzilor – prin care se și justifică atenția care i se acordă (Ille 1975).

(2) Legătura între alburn și coroana arborilor din perspectivă ecofiziologică. Un alburn lat implică un frunziș bogat (Kaufmann et al. 1981, Dvorak et al. 1996), cu condiția unei permeabilități corespunzătoare a xilemului (Whitehead et al. 1984, Oren et al. 1986). Ori, așa cum vom vedea în capitol 4, arborii de calitate acustică ridicată au dimpotrivă coroane înguste și scurte și, pe deasupra, sărace în funziș (Pașcovici 1930a, Grapini și Constantinescu 1968). Ar rezulta că alburnul arborilor de rezonanță este mai slab conductiv, chiar dacă este mai lat. La molid, permeabilitatea mai slabă înseamnă un decrement logaritmă mai scăzut (Ille 1975). O explicație a permeabilității mai slabe ar putea fi diametrul radial mai mic al traheidelor și grosimea mai mare a pereților lor celulari în lemnul de rezonanță (Bucur 1976). În plus, la molid conductivitatea hidraulică a xilemului crește cu lățimea inelului anual (Rosner 2008); în consecință, lemnul de rezonanță, care are inele mai mult înguste, va conduce mai greu seva. La pin silvestru s-a găsit că proprietățile hidraulice ale xilemului sunt în tandem cu cele elastice (Mencuccini et al. 1997). Pe de altă parte, la molid, raportul între suprafața foliară și suprafața alburnului crește cu înălțimea (McDowell et al. 2002) și cu vârsta arborilor (Köstner et al. 2002). Pentru că arborii de rezonanță aparțin etajului dominant, chiar dacă nu sunt cei mai înalți din pădure, ne așteptăm ca unitatea de suprafață a alburnului să deservească o suprafață mai mare de frunziș. Se deduce de aici o economie mai mare a apei la molizii de rezonanță, adică o rată de transpirație mai mică. De altfel, s-a observat că acele molizilor de rezonanță au benzile de stomate mai slab distincte decât la ceilalți molizi (Grapini și Constantinescu 1968). Suprafața mai mare și conductivitatea mai slabă ale alburnului, ambele prilejuiesc un contact mai mare a xilemului cu fluxul de sevă și, astfel îmbogățirea lemnului cu minerale dintre care unele, cum este calciul, au cu efect pozitiv asupra emisiei acustice (Ille 1975), dacă sunt distribuite uniform în lungul razei (Bucur et al. 1999). La molizii de rezonanță din România s-a găsit în ace un conținut mai mare de calciu decât la molizii obișnuiți (Geambașu 1995). Ille (1975) citează din literatură că în cenușa unei viori Amati s-a găsit un conținut neașteptat de mare de calciu; s-a presupus că lemnul a fost păstrat în apă cu calciu sau că arborii au crescut pe substrat calcaros. Ipoteza permeabilității mai scăzute a alburnului de rezonanță trebuie însă verificată experimental.

3.4 Ajustarea fenotipului în comunitate

3.4.1. Statutul social al arborilor de rezonanță

Din confruntarea statistică a înălțimii arborilor cu parametrii acustici a rezultat că **arborii pentru sunet fac parte din etajul dominant, dar nu sunt dintre cei mai înalți** (Dinulică 2020).

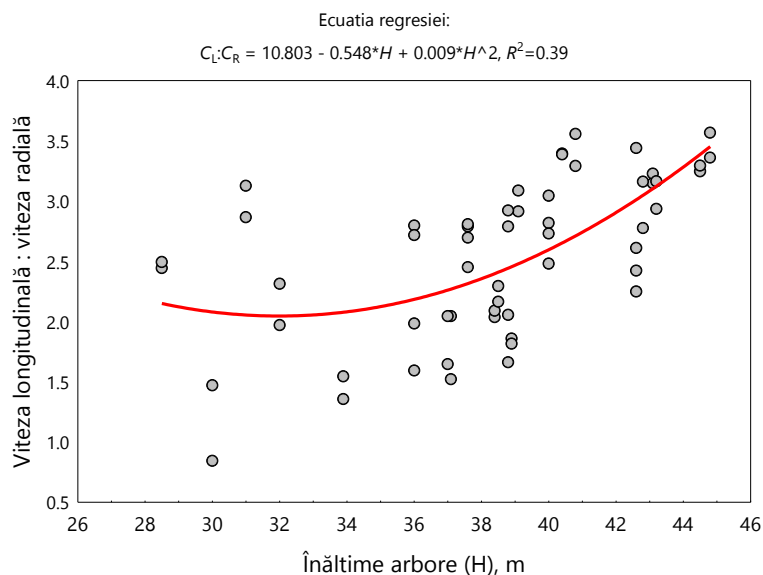


Figura 51. Variația cu înălțimea arborelui a raportului între viteza longitudinală și viteza radială a sunetului în secțiunea de bază

Concret, corelațiile parțiale (cu îndepărtarea influenței vârstei) au indicat că raportul între viteza sunetului în lungul fibrei și viteza radială crește cu înălțimea arborelui (Figura 51), dar scade cu mărimea vitezei radiale (parțial $r = -0.606$, $p < 0.001$); față de ceilalți parametrii acustici, înălțimea arborelui este indiferentă. Prin urmare, arborele pentru sunet are o înălțime de compromis care să satisfacă

cerințele unei viteze acustice cât mai mari, împreună cu o anizotropie a acesteia pe măsură de ridicată (Dinulică 2020).

Stratificarea mărimilor parametrilor acustici după poziția socială a arborilor (indicată de clasa Kraft) confirmă deducția de mai sus (Figura 52). Poziția socială a coroanei generează diferențieri consistente ale valorilor multor variabile de cuantificarea a fenotipului. Datorită selecției deliberate a arborilor pe care am practicat-o (arbori numai din etajul dominant: Kraft 1, 2 și 3, care pot furniza material pentru construcția instrumentelor muzicale), diferențele pe care le-am verificat statistic se referă numai la aceste trei clase. Este o oarecare superioritate a arborilor din clasa 2 Kraft în privința vitezei longitudinale și a modului de elasticitate în lungul fibrei, dar putem găsi arbori cu viteze mari la oricare dintre cele trei clase (Figura 52). În schimb, poziția socială distanțează arborii în funcție de mărimea vitezei radiale (Figura 52). Arborii din clasa 3 Kraft au cele mai mici valori medii ale anizotropiei vitezei sunetului, iar arborii din clasa 2 Kraft, valorile cele mai mari. Radiația acustică și impedanța în secțiunea de bază variază independent de poziția socială a arborilor ($p = 0.24$ respectiv 0.07).

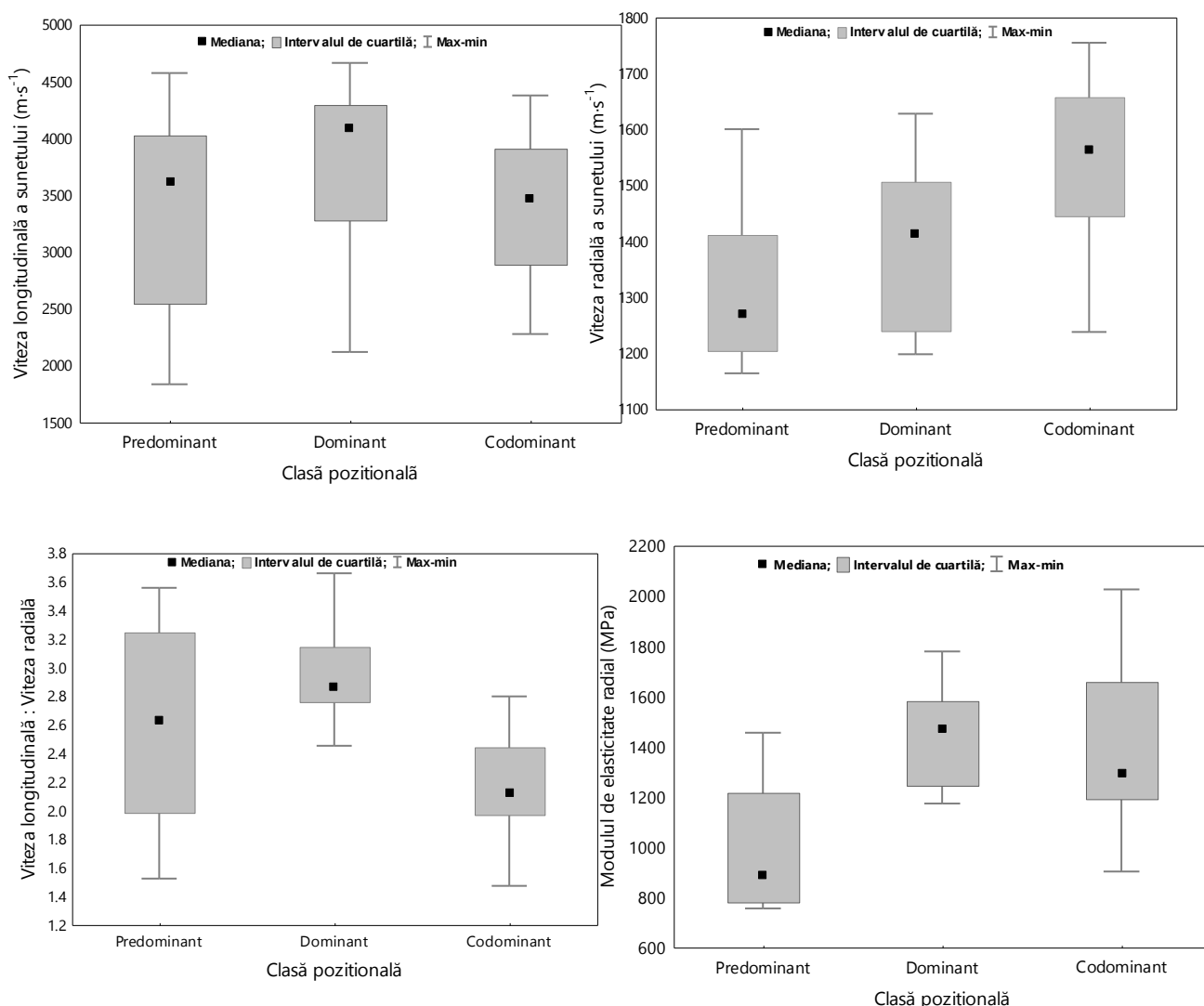


Figura 52. Însușirile acustice ale lemnului de molid din secțiunea de bază în funcție de statusul social al arborilor (Dinulică 2020)

VÂRSTA ARBORILOR DE REZONANȚĂ. Testul de semnificație neparametrică Kruskal-Wallis semnalează că arborii dominanți (clasa 2 Kraft) au vârstele cele mai mici. Corelațiile parțiale (cu îndepărtarea contribuției înălțimii arborelui) arată că **toți parametrii acustici măsurați în lungul fibrei și în zona de alburn se diminuează cu vârsta arborilor** (Tabelul 18).

Tabel 18. Coeficienții de corelație parțială (r , p) între vârsta arborelui și însușirile acustice ale lemnului de molid* (Dinulică 2020)

V_L	V_R	$V_L:V_R$	GD	ODD	RL	RR	AIL	AIR	MOEL	MOER
-0.454	-0.080	-0.341	-0.197	-0.236	-0.333	-0.193	-0.453	-0.066	-0.457	-0.086
< 0.001	0.56	0.01	0.12	0.05	0.008	0.41	< 0.001	0.78	< 0.001	0.72

* Acronimele sunt decriptate în Tabelul 2.

După vârsta de 100 de ani, modulul de elasticitate în lungul fibrei scade cu vârsta până la 160 de ani, după care are loc, se pare, chiar o ușoară îmbunătățire (Figura 53).

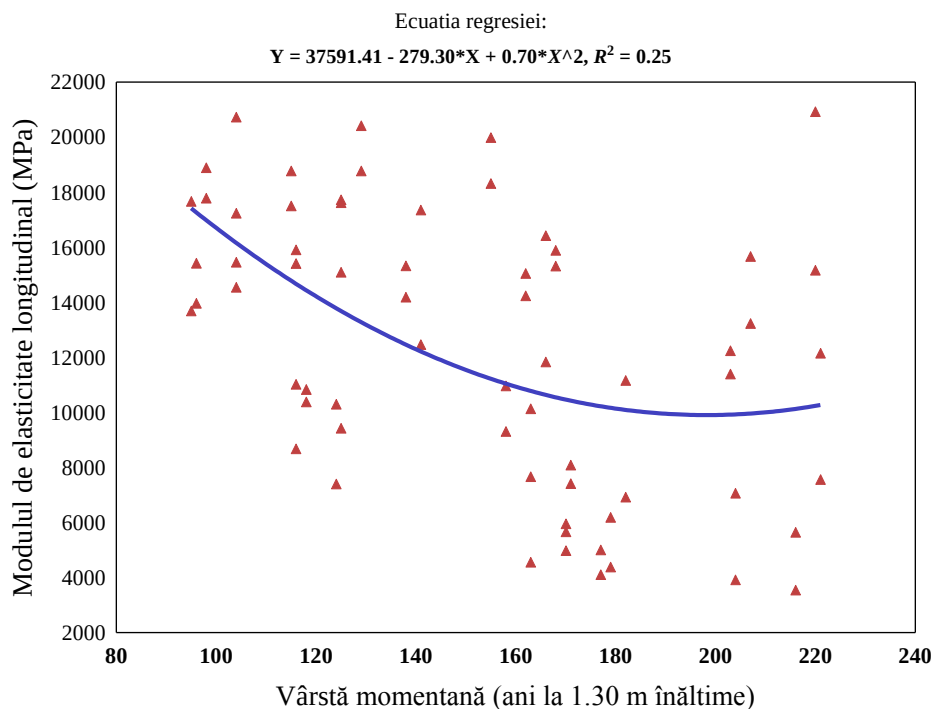


Figura 53. Variația cu vârsta arborelui a elasticității lemnului din alburnul secțiunii de bază la molid

Literatura afirmă la unison longevitatea remarcabilă a arborilor de rezonanță. Pașcovici (1930a) a găsit molid de rezonanță în arborete trecute de 140 de ani, iar Hanganu (1969) în arborete de 160 ani. În Jura franceză materialul pentru luterie provenea de la arbori cu vârsta cuprinsă între 250 și 300 de ani (Bouvarel 1954). Datorită vârstelor mari la care se clădește calitatea de rezonanță a structurii lemnului, pentru arboretele sursă au fost recomandate cicluri de producție de 150 de ani (Grapini și Constantinescu 1968), 175 de ani (Constantinescu 1965) sau 160-180 ani (Zlei 2007, Albu 2010). În schimb, arboretele cu lemn de rezonanță din Slovenia erau gospodărite în cicluri de producție mai scurte de 140 de ani (Müller 1969).

Vitalitatea și starea de sănătate excelente par a fi explicația longevității extraordinare a acestor arbori, pe care am apreciat-o la 420 de ani pentru molizii din metapopulația Gurghiu (Dinulică et al. 2019). Albu (2010) a găsit arbori cu semnalmente exterioare ale molidului de rezonanță mai vârstnici de 200 de ani.

Cu toate că au înzestrarea genetică pentru o longevitate mare în condiții de sănătate durabilă, cred totuși că arborii de rezonanță din pădurile actuale, expuși unei presiuni tot mai mari a mediului biotic și abiotic de viață, dezvoltă alterații criptogamice probabil mai devreme decât cei din trecut. Oricum, corelațiile semnificative din Tabelul 18 se referă numai la lemnul periferic (primii 3-5 cm sub scoarță); nu este exclus ca lemnul interior să mențină cu vârsta însușiri acustice valoroase, atâta timp cât își păstrează integritatea structurală. Vine în sprijinul acestei ipoteze și faptul că parametrii acustici radiali par a fi independenți de vârstă (Tabelul 18).

Pe de altă parte, nu au fost puțini indivizii la care am constatat **precocitatea apariției lemnului cu inele fine și regulate** (Dinulică et al. 2015b). În concluzie, punând în acord informațiile contradictorii care rezultă din toată această expunere, rezultă că, în pădurile de azi, arborii de molid cu vârsta de până la 200 de ani sunt furnizorii de materie primă superioară acustic.

3.4.2. Competiția

Formarea și consolidarea trăsăturilor distinctive ale molidului de rezonanță sunt asociate de literatură arboretelor cu structură diversificată a coronamentului îndeosebi în plan vertical (Geambașu, 1995), opinie care s-a consolidat în timp (Zlei, 2007; Albu, 2010).

Raporturile concurențiale cu vecinii, fie ei și conspecifici, sunt o sursă universală de variație a structurii și proprietăților lemnului. În ontogenia lemnului de rezonanță le atribuim un rol modelator al structurii și, implicit, proprietăților lemnului.

(1) STATUSUL COMPETIȚIEI ȘI NIVELUL CALITĂȚII ACUSTICE A LEMNULUI DE MOLID PE PICIOR. Am calculat intensitatea competiției la nivel de arbore ca inversul pătratului distanței medii față de arborii vecini potențial concurenți supratran (criteriul fiind atingerea coroanelor). Pentru 222 de molizi eșantionați cu probe de creștere sau rondele din pădurile Gurghiului a rezultat că distanța medie față de vecinii competitori variază între 4.5 m și 6.9 m (Q1, Q3), media fiind 5.8 m, iar intensitatea competiției variază între 0.02 m^{-2} și 0.05 m^{-2} (Q1, Q3), media fiind 0.04 m^{-2} . La cei 18 molizi din populația Poiana Brașov, pe care am adoptat-o pentru nevoia unui termen de comparație, competiția a fost mai slabă, intensitatea ei medie fiind 0.02 m^{-2} , distanța față de concurenții vecini prelungindu-se până la 10 m (Dinulică 2020).

Intensitatea competiției depinde de diametrul arborelui (coeficientul de corelație simplă neparametrică: -0.331 , $p < 0.001$), dar nu depinde de vârsta arborelui (coeficientul de corelație simplă neparametrică: -0.004 , $p = 0.95$). Înlăturând interacțiunea vârstei, rezultă că arborii care suportă o presiune mai mare din partea concurenței au lemnul din secțiunea de bază cu densitate mai mică și parametrii acustici longitudinali mai slabi, dar viteză acustică radială mai bună (Tabelul 19). Dimpotrivă, **arborii cu spațiu supratran de nutriție mai larg au lemn cu rezistență acustică mai mică și elasticitate mai bună**, ambele asigurând un nivel mai ridicat al calității pentru instrumente muzicale.

Tabel 19. Coeficienții de corelație parțială (r , p) între intensitatea competiției și însușirile acustice ale lemnului de molid* (Dinulică 2020)

V_L	V_R	$V_L:V_R$	GD	ODD	RL	RR	AIL	AIR	MOEL	MOER
-0.260 0.13	+0.286 0.01	-0.313 0.10	-0.328 0.006	-0.044 0.80	-0.127 0.47	-0.291 0.20	-0.371 0.002	-0.048 0.86	-0.338 0.005	+0.038 0.87

* Acronimele sunt decriptate în Tabelul 5.

Aceasta a fost, desigur, o perspectivă statică asupra competiției.

(2) COMPETIȚIA ÎN DINAMICĂ ȘI FORMAREA LEMNULUI DE REZONANȚĂ. La molid, mărimea spațiului de creștere și dezvoltare nu pare a fi un factor de control a densității până la vârsta primelor rărituri (Rozenberg și Cahalan, 1997). În optimul edafic, mărimea densității lemnului de molid reacționează semnificativ la modificarea competiției și astfel a condițiilor de nutriție și iluminare (Johansson, 1993). În baza relației funcționale între densitatea lemnului și creștere putem presupune că lemnul de rezonanță este mai ușor și datorită stabilității istorice a statutului lor social. Primul interceptor al regimului concurenței este coroana, care, mai departe, transmite influența asupra creșterii din trunchi prin stimuli hormonal de control (Kozlowski și Pallardy 1997). Spre deosebire de numărul de ramuri din verticil, care este subiectul unei supravegheri genetice mai atente, unghiul de inserție, lungimea și grosimea acestora sunt sensibile la mărimea spațiului de creștere (Johansson, 1992; Mihai, 2002). Deci și arhitectura coroanei, nu numai mărimea ei, poartă amprenta competiției.

Informații mai vechi sau mai noi lasă să se înțeleagă că **molizii cu lemn de rezonanță se sustrag în bună parte competiției**, arborii populând porțiunile de arboret mai luminate (Grapini și Constantinescu, 1968), fiind spațiați la 8-15 m (Pașcovici, 1930b). Poziția dominantă pe care molizii de rezonanță o dețin în ierarhia arboretelor pe care le înnobilează nu este rezultatul favorizării lor prin creștere, ci rodul câștigării și menținerii ei cu tenacitate.

Nivelul scăzut al competiției oferă regimului creșterii un plus de stabilitate și reduce șansele formării lemnului de compresiune pe seama fototropismului (Dinulică 2012). În jurul subiecților cu lemn de rezonanță se constituie biogrupe de arbori, unii cu calități acustice, care ridică, potrivit lui Albu (2010), frecvența molidului de rezonanță la 15-25 exemplare la ha pe valea Lăpușnei! În biogrupele bucovinene, exemplarele de rezonanță sunt străjuite de arbori mai scunzi de fag și brad (Zlei et al. 2007).

Arhitectura coronamentului acționează ca un filtru cantitativ și calitativ pentru radiația solară (Malenowský et al. 2008), reținând masiv radiațiile monocromatice, îndeosebi radiația albastră (Stănescu et al. 1985b). Ultima este inhibitoare pentru creșterea în înălțime. În acest context, indicii de zveltețe mai mici sugerează o despresurare timpurie a arborilor, care au beneficiat astfel din plin în ontogeneză de această radiație inhibitoare. În același sens, adăugăm și constatarea întârzierii la molid a trecerii la lemnul adult în culturile cu spațiere inițială largă (Kučera 1994).

Drept urmare, apariția târzie a structurilor apte pentru rezonanță ar putea fi urmarea unei desimi mai mici a arboretelor la apariția xilotipului de rezonanță în peisajul populației locale. Subiecții necesită însă umbrirea laterală a coroanei. Geambașu (2001) a constatat că arborii de

rezonanță dobândesc autonomie auxologică abia după vârsta de 50 de ani, unii chiar după 100 de ani de dominare. Cred însă, bazându-mă pe speculațiile de fiziologie a arborilor discutate înainte, că, la molidul de rezonanță, cuantumul redus al bioacumulării radiale nu are valoarea indicatoare asupra competiției pe care o are la molidul obișnuit. Cu alte cuvinte, creșterile sistematic reduse nu pot fi traduse neapărat ca efect al unei presiuni concurențiale puternice. Relansarea auxologică în arborete cu arbori de rezonanță în care s-a intervenit semnificativ cu lucrări poate fi pusă însă pe seama reducerii subite a competiției - așa cum s-a întâmplat în păduri din bazinul Gurghiului și din Ocolul Silvic Tomnatic ce au fost supuse tratamentului tăierilor progresive (Zlei 2007, Albu, 2010).

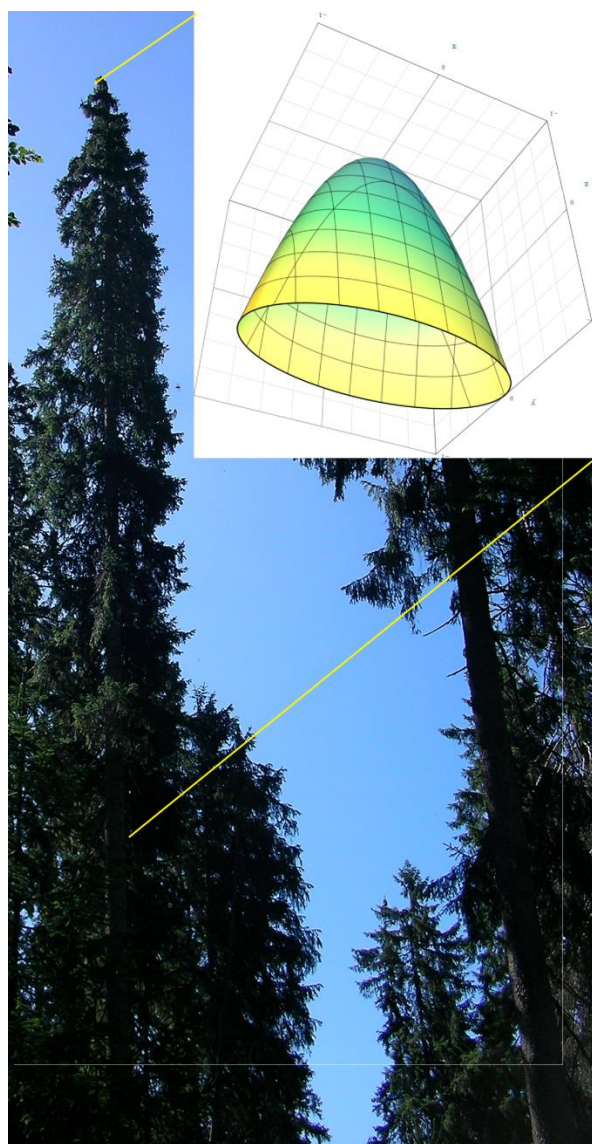


Figura 54. Paraboloidul cubic (quadric) ca referință pentru coroana molidului cu calități acustice (foto: F. Dinulică)

3.5 Portretul arborilor cu lemn de rezonanță

3.5.1 Coroana arborilor de rezonanță

Coroana arborilor pe care i-am identificat acustic ca fiind de rezonanță nu corespunde în totalitate profilului tradițional. Arborii cu radiație acustică ridicată și impedanță slabă au coroane de mărimi și simetrie diverse și formă predominant columnară/paraboloid-cubică; nu sunt numai dintre cei cu coroană îngustă, scurtă sau simetrică așa cum se prezintă în literatură (Geambașu 1995, Beldeanu 1999). Forma particulară a coroanei este mai curând interacțiunea vârstei cu competiția decât o însușire genetică. Mărimea vitezei sunetului în direcție radială, însă, stratifică mai bine coroanele, valorile cele mai mari ale vitezei asociind coroane înguste.

La molid, morfologia și structura coroanei permit modelarea, adoptând variabilele arboretului și stațiunii ca regresori (Changsheng et al. 1998).

(1) Forma coroanei. Coroana este polimorfică la molid în intervalul de la

piramidală la columnară (Șofletea și Curtu 2007). Este un consens în literatură în privința

identificării molidului de rezonanță cu fenotipul cu coroană columnară (Geambașu 1995, Albu 2010). Această formă este descrisă, geometric, de paraboloidul cubic (Figura 54). Nu toți arborii maturi de molid cu astfel de coroană pot fi considerați de rezonanță, dar marea majoritate a celor cu calități structurale potrivite unei calități acustice superioare au coroană columnară (Figura 55).

Se afirmă că arborii de rezonanță au coroane zvelte (Albu 2010). Însușirile acustice nu o confirmă însă: corelațiile sunt slabe și în general negative; numai cu densitatea pare a fi o legătură, de o oarecare inversă proporționalitate, care se traduce prin aceea că arborii cu coroane zvelte au lemnul ceva mai ușor (coeficientul de corelație parțială cu neutralizarea clasei pozitionale: -0.337 , $p = 0.05$). Zveltețea coroanei crește cu poziția socială a arborilor ($H = 14.3$, $p = 0.006$). Comparând arboretele între ele am găsit că forma spațială a coroanei și zveltețea sunt dependente de locație.

Se presupune că forma columnară a coroanei la molid este subiectul unui control oligogenic, prin mutante rare homozigotice (Stănescu et al. 1997). S-a dedus de aici, labilitatea în descendență a acestui fenotip.

(2) Simetria coroanei. Autorul tezei a constatat că simetria coroanei nu este direct condițională pentru un nivel ridicat al însușirilor acustice, dar crează premisele unei arhitecturi a lemnului care să poată satisface exigențele acustice. Creșterea în masiv a „sculptat” coroanele, cele mai multe afișând un profil asimetric mai ales în plan vertical (Figura 56).

Grupând valorile parametrilor acustici în funcție de variantele asimetriei coroanei am constatat că arborii cu coroană simetrică atât orizontal cât și vertical au:

- ✓ viteze longitudinale ale sunetului ceva mai mari (în medie cu 600 m/s, diferențele nefiind însă asigurate statistic),
- ✓ raport între vitezele longitudinală și radială mai mare decât la arborii cu coroană asimetrică (2.8 în medie față de 1.9, $p = 0.02$),
- ✓ un elagaj mai bun ($H = 7.48$, $p = 0.05$),
- ✓ trunchiul mai înalt ($H = 8.58$, $p = 0.04$),

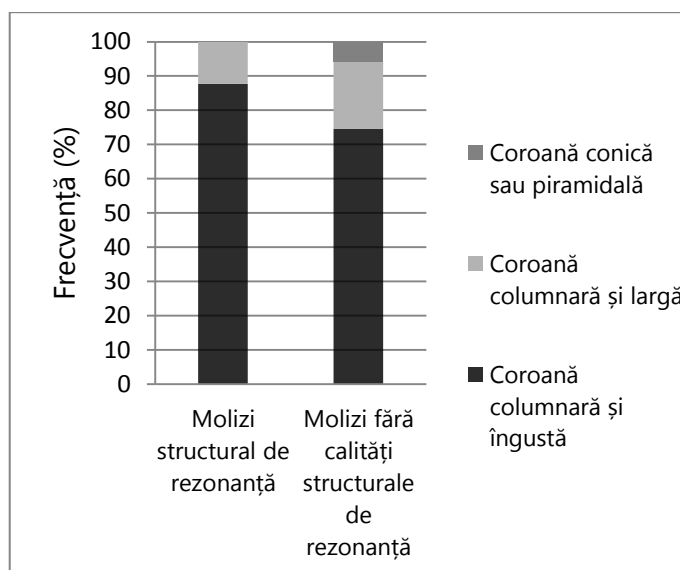


Figura 55. Frecvența fenotipurilor formei coroanei la molid în metapopulația Gurghiu (Dinulică et al. 2015b)

- ✓ coroane mai lungi ($H = 10.24, p = 0.02$),
- ✓ ramuri mai înguste ($H = 13.82, p = 0.003$),
- ✓ lemn cu 100 kg/m^3 mai greu (diferențele nu sunt asigurate statistic),
- ✓ inele anuale mai late ($H = 7.56, p = 0.05$),
- ✓ regularitate mai bună a lățimii lemnului târziu ($H = 8.89, p = 0.003$) și
- ✓ alburn mai lat ($H = 13.44, p = 0.004$).

Cea mai mare parte din particularitățile enumerate mai sus fac parte din definiția clasică a lemnului de rezonanță pe picior. Deci se poate afirma o legătură indirectă între asimetria coroanei și aptitudinea materialului lemnos pentru construcția instrumentelor muzicale.

Arborii cu calități acustice superioare au o simetrie mai bună

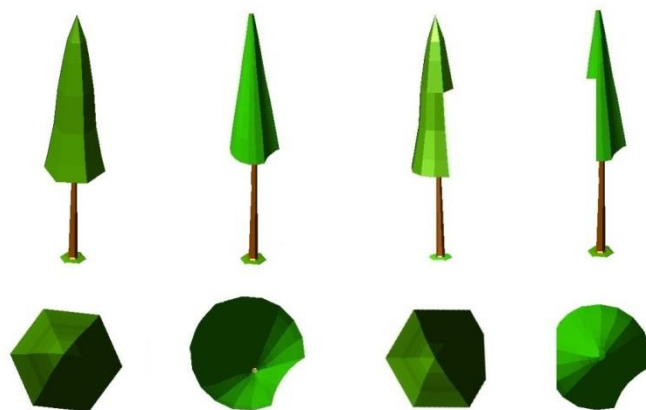


Figura 56. Tipuri morfologice de coroană la molid: combinații ale asimetriei verticale cu asimetria orizontală (Dinulică et al. 2015b)

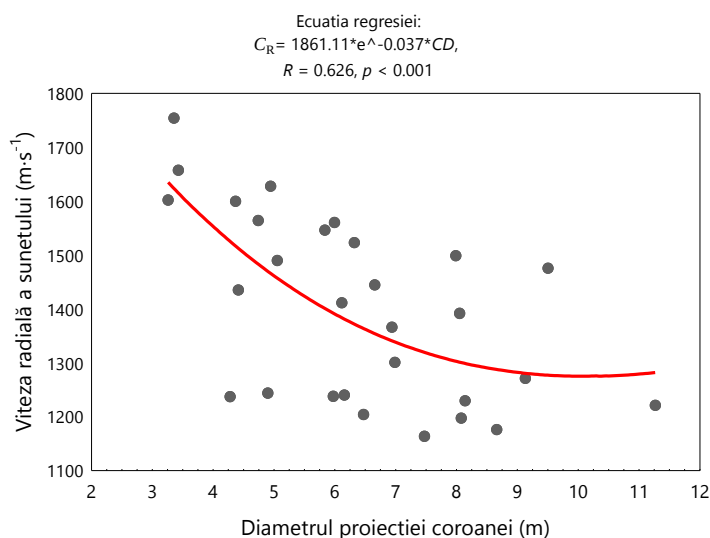


Figura 57. Dependența vitezei radiale a sunetului în secțiunea de bază de diametrul coroanei

a coroanei în plan orizontal, adică o ovalitate mai mică a proiecției coroanei.

(3) Diametrul coroanei.

Literatura semnalează diametre ale proiecției coroanei molizilor cu lemn de rezonanță din Carpați frecvent sub 3 m (Ștefănescu 1961), la limită 5 m (Geambașu 1995). Aceste valori sunt mai mici decât cele găsite la arborii din metapopulația Gurghiu sau mai ales populația din Postăvaru.

În toate arboretele verificate acustic, am constatat că **lemnul arborilor cu coroane înguste conduce bine sunetul în direcție radială** (Figurile 57-58), în schimb viteza longitudinală pare indiferentă față de mărimea coroanei. Krajnc et al (2019) ajung la concluzia creșterii vitezei



Figura 58. Arborele cu cea mai mare valoare a vitezei radiale are cea mai îngustă coroană (foto: F. Dinulică)

Coroanele mari au o suprafață mai mare de contact cu precipitațiile și vântul, fapt ce predispune arborii doborâturilor și rupturilor, așa cum se întâmplă nu arareori și la Gurghiu (Dumitrescu 1969, Figura 59). Rezistența mai bună a molizilor de rezonanță de altădată la solicitările din vânt și zăpadă era pusă pe seama îngustimii coroanei și elasticității superioare a lemnului lor (Constantinescu 1965).

În literatură, *molidul cu coroană îngustă* este recunoscut și descris ca un ideotip aparte (Pöikkö și Pulkkinen 1990, Pulkkinen 1991a-b, Pârnuță 1991, Pârnuță 1993, Pârnuță 2003, Zubizarreta Gerendiain et al. 2008, 2009). Acesta cuprinde arbori din forma *pedula* și varietatea *columnaris* ale *molidului* (Pârnuță 2003). Dacă *molidul de rezonanță* este un arbore cu coroană mai mult îngustă, este necesar să știm dacă îl putem afilia ideotipului amintit. Molizii de rezonanță au și alte

longitudinale cu aria proiecției coroanei. Noi am remarcat că arborii din metapopulația Gurghiu cu cele mai mari valori ale radiației acustice și cu valori reduse ale rezistenței acustice au coroane cu diametre mijlocii spre mari.

La o clasă de vârstă anume, arborii cu coroane înguste sunt: mai subțiri (parțial r cu diametrul coroanei = 0.739, $p < 0.001$), mai zvelți (parțial $r = -0.503$, $p < 0.001$), au coroanele scurte (parțial $r = 0.423$, $p < 0.001$) și zvelte (parțial $r = -0.462$, $p < 0.001$), au impedanță acustică mai mică (parțial $r = 0.455$, $p = 0.11$) și lemn mai ușor (parțial $r = 0.411$, $p = 0.01$) – caracteristici care permit asocierea arborilor de rezonanță cu fenotipul cu coroană îngustă – dar au și radiație acustică mai mică (parțial $r = -0.330$, $p = 0.05$).



Figura 59. Doborâtură de vânt în Rezervația Molidul de rezonanță din Munții Gurghiuului (foto: F. Dinulică, 27.03.2015)

afinități cu acest ideotip, în afara mărimii coroanei: au trunchiuri bine elagate și drepte (Pașcovici 1930a), cu lemn ceva mai greu decât al vecinilor, au coroană predominant columnară (Albu 2010), au fenologie tardivă (Ștefănescu 1961) și par mai rezistenți la rupturi și doborâturi de zăpadă (Constantinescu 1965).

Deosebiri sunt la fel de importante:

(a) Molizii de rezonanță au un ritm rapid de creștere în primele trei decenii de viață (Ștefănescu 1961), spre deosebire de ideotipul cu coroană îngustă care rămâne în urmă cu creșterea încă din tinerețe (Pulkkinen 1991a).

(b) Lemnul de rezonanță are fibre (traheide) mai lungi decât molidul comun (Beldeanu 2006), în timp ce arborii ideotipului dimpotrivă au fibre mai scurte (Zubizarreta Gerendiain et al. 2009).

(c) Molizii din ideotipul cu coroană îngustă sunt puțin sensibili la competiție (Zubizarreta Gerendiain et al. 2008), în timp ce molizii de rezonanță evită competiția (Grapini și Constantinescu 1968, Dinulică et al. 2015b). Competiția slabă în jurul arborilor de rezonanță oferă o stabilitate mai mare creșterii radiale și inhibă fototropismul, reducând prin aceasta șansele formării lemnului de compresiune (Timell 1986). De asemenea, competiția mai slabă permite o dezvoltare mai armonioasă a coroanei.

Din perspectiva unei plante model, de la care se așteaptă o calitate superioară a produselor (Dickmann 1985), molidul de rezonanță poate fi considerat un ideotip, dar altul decât cel cu coroană îngustă (Dinulică 2020).

(4) Lungimea coroanei. În metapopulația Gurghiu, arborii cu cele mai mari valori ale radiației acustice și vitezei radiale a sunetului au coroanele cele mai scurte. La o vârstă anume, arborii cu coroane scurte:

- ✓ sunt mai subțiri (parțial $r = 0.621$, $p < 0.001$) și mai scunzi (parțial $r = 0.762$, $p < 0.001$);
- ✓ au trunchiul mai lung (parțial $r = -0.864$, $p < 0.001$) și mai puțin lăbărțat (parțial $r = 0.471$, $p < 0.001$);
- ✓ au un tronson în curs de elagare mai lung (parțial $r = -0.718$, $p < 0.001$);
- ✓ au coroanele mai înguste (parțial $r = 0.423$, $p < 0.001$), cu asimetrie verticală mai mică (parțial $r = 0.478$, $p < 0.001$);
- ✓ au lemn cu inele mai dese (parțial r cu lățimea medie a inelelor = 0.578 , $p < 0.001$), mai regulate (parțial r cu diferența de lățime între inelele consecutive = 0.512 , $p < 0.001$) și cu mai multe inele în alburn (parțial $r = -0.348$, $p < 0.001$).

Aceste asocieri sunt avantajoase acustic.

Grapini și Constantinescu (1968), care au făcut măsurători asupra lungimii coroanei molizilor de rezonanță, au găsit mărimi de numai 4-6 m, reprezentând 14-17 % din înălțimea arborilor. Fenotipurile cu asemenea coroane se disting cu ușurință în pădurile Carpaților, ai căror molizi au, la maturitate, coroane lungi (Benea et al. 1960). Arborii din eșantionul analizat de autor corespund sub raportul procentului de coroană cu datele din literatura autohtonă furnizate pentru arborii groși (Haring și Iuga 1970). Scurtimea coroanei are semnificație acustică: la Picea glauca, arborii cu procent redus de coroană au lemn cu module de elasticitate și rupere mai mari (Kuprevicius et al. 2013), care presupun o calitate acustică mai bună. La Pinus resinosa, proporția coroanei din înălțimea arborelui reflectă structura inelelor de creștere și mărimea densității lemnului (Larocque and Marshall 1995).

(5) Arhitectura coroanei. Nu am găsit o legătură matematică între *unghiul de inserție a ramurilor* și însușirile acustice ale lemnului, dar am remarcat că arborii cu cele mai mari valori ale vitezei sunetului și radiației acustice au ramurile de la baza coroanei mai mult aplecate (Dinulică 2020), ceea ce corespunde portretului tradițional ale molidului de rezonanță (Ștefănescu 1961). Aplecarea ramurilor diminuează retenția în coroană și reduce astfel solicitarea mecanică a trunchiului. La molid și nu numai, orientarea ramurilor față de trunchi se modifică în lungul coroanei, de la unghiuri ascuțite în primele șase verticile din vârf, spre unghiuri obtuze în treimea inferioară, trecând prin unghiuri drepte în centrul coroanei (Albu 2010). Din experiența lutierilor români se cunoaște că arborii cu ramuri groase și arcuite în sus au un lemn poros, cu inele de creștere late (Pașcovici 1930a). Benea și colaboratorii (1960) opinează că unghiurile obtuze de inserție sunt un indiciu al arborilor de rezonanță, iar Mihai (2002) a găsit o rezistență mai mare a arborilor la păduchele *Sacchiphantes* în populații cu coroane luminoase și unghi de inserție obtuz. La duglas, legăturile coroanei cu caracterele de creștere au permis recomandarea unghiurilor obtuze de inserție a ramurilor drept criteriu de selecție pentru câștiguri de bioacumulare în trunchi.

Nu am reușit să clarific dacă într-adevăr arborii de rezonanță aparțin predominant (Albu 2010) sau chiar exclusiv (Grapini și Constantinescu 1968) tipului de ramificație plat. Sunt și dificultăți metodologice în evaluarea acestui caracter, mai ales în clasele de tranziție de la un tip de ramificație la altul. Am constatat însă, cu ajutorul testelor neparametrice de semnificație, asocierea tipului de ramificație plat cu forma columnar-îngustă a coroanei ($H = 14.22$, $p < 0.001$), cu zveltețea mai mare a coroanei ($H = 5.86$, $p = 0.05$) și cu calitatea de ansamblu mai bună a arborilor ($H = 14.35$, $p < 0.001$). Comparățiile s-au făcut însă numai cu tipul perie, deci investigațiile trebuie extinse și în arborete cu molid pieptene, despre care se afirmă că nu ar oferi lemn de rezonanță (Constantinescu 1965). Chiar dacă această din urmă ipoteză s-ar confirma, nu

ar trebui să tragem concluzia că toți molizii din tipul plat ar fi de rezonanță. Albu (2010) a identificat lemn de rezonanță, după semnalmentele tradiționale, și la indivizi aparținând tranziției la tipul perie.

(6) Grosimea ramurilor. Este unul din cei mai sugestivi descriptori morfologici ai arborilor în relație cu însușirile acustice ale lemnului (Tabelul 20). De altfel, cele mai strânse legături ale grosimii ramurilor sunt cu proprietățile acustice ale lemnului. Întrucât grosimea ramurilor crește cu vârsta arborilor (R neparametric = 0.504, $p = 0.002$), pentru identificarea legăturilor am preferat și în acest caz corelația parțială. Parametrii acustici ai lemnului se diminuează cu diametrul ramurilor (Tabelul 20). Corelațiile parțiale ale grosimii ramurilor cu morfologia arborilor și structura lemnului sunt foarte slabe și nesemnificative.

Tabel 20. Coeficienții de corelație parțială (r , p) între diametrul maxim al ramurilor de la baza coroanei și însușirile acustice ale lemnului de molid* (Dinulică 2020)

V_L	V_R	$V_L:V_R$	GD	ODD	RL	RR	AIL	AIR	MOEL	MOER
-0.494	-0.504	-0.358	-0.231	+0.055	-0.183	-0.205	-0.430	-0.338	-0.416	-0.381
< 0.001	0.05	0.007	0.06	0.67	0.15	0.38	< 0.001	0.15	< 0.001	0.09

* Acronimele sunt decriptate în Tabelul 2.

Ne așteptam ca grosimea ramurilor să fie un caracter de creștere, adică finețea mai mare a ramurilor la arborii de valoare acustică să sugereze o creștere modestă în grosime – ori, coeficientul de corelație neparametrică între grosimea maximă a ramurilor de la baza coroanei și diametrul de bază al arborilor este numai 0.105 ($p = 0.55$), în timp ce coeficientul de corelație neparametrică între grosimea maximă a ramurilor de la baza coroanei și lățimea medie a inelelor din alburnul secțiunii de bază este chiar negativ ($R = -0.435$, $p = 0.02$).

Finețea ramurilor, care caracterizează în general molidul din Carpați (Benea et al. 1960), este și o marcă a fenotipului cu coroană îngustă – care are abilitatea de a alocă mai multă biomasă în trunchi decât în ace și mai ales în ramuri (Pulkkinen 1991a). Această performanță a fost pusă pe seama unui indice de suprafață foliară mai mare și unei densități mai mari a frunzișului (Kuuluvainen 1988).

(7) Controlul morfometriei coroanei. La molid, habitusul coroanei este genetic predeterminat (Pulkkinen 1991a), prin control poligenic, care la ideotipul cu coroană îngustă este exercitat printr-un număr mic de gene (Lepistö 1995). La duglas, caracterele coroanei au dovedit reproductibilitate superioară caracterelor creșterii (King et al. 1992). La molidul pendula, specificitatea de coroană foarte îngustă pare a fi datorată unei singure gene dominante (Lepistö 1995), fapt care explică stabilitatea caracterului în descendență (Pârnuță 1991).

Forma columnară este bine individualizată în polimorfismul larg al coroanei molidului și, în lipsa unor clase de tranziție la alte fenotipuri, se presupune a fi subiectul unui control

oligogenic prin mutante rare homozigotice (Stănescu et al. 1997). S-a dedus, de aici, labilitatea în descendență a fenotipului cu astfel de coroană. Molizii bătrâni cu lemn structural de rezonanță, din metapopulația Gurghiu, aparțin numai tipului morfologic columnar de coroană. Arborii cu coroană îngustă și columnară se disting printr-o diversitate genetică superioară și stabilă altitudinal față de arborii cu coroană piramidală (Radu et al. 2014).

La duglas, unghiul de inserție este caracteristica ramurilor cu cea mai mare eritabilitate, în timp ce lungimea și conicitatea ramurilor sunt mai curând contribuția mediului (King et al. 1992).

Pentru a ne referi și la controlul hormonal al creșterii, faptul că unii arbori de mare valoare acustică au coroane largi, așa cum am constatat mai ales în populația de molid din Poiana Brașov (Dinulică 2020), implică o cantitate mai mare de regulatori de creștere, care asigură organizarea mai bună a lemnului la nivel ultrastructural (nivelul microfibrilelor celulozice) – Iablokoff (1963). Aceasta va avea efecte pozitive certe asupra calității acustice a materialului. De altfel, scara submicroscopică a structurii lemnului este mai relevantă pentru înțelegerea comportamentului acustic al materialului decât cea macroscopică (Brémaud 2012a,b).

3.5.2 *Elagajul arborilor de rezonanță*

(1) Elagajul natural la arborii de rezonanță. Molizii de rezonanță necesită umbrirea laterală a coroanei (Geambașu 2001), ceea ce explică preferința lor pentru locurile doi și trei în clasamentul social (Figura 52). Arborii cu siluete înalte au coroana de lumină mai adâncă și deci interceptează mai multă energie luminoasă (Janke și Lawrence 1965). Și pentru că fotosinteza este proporțională cu intensitatea luminii până la punctul de saturație (Parascan și Danciu 2001), arborilor predominanți li se oferă posibilitatea unei achiziții superioare de biomasă, traduse prin inele mai late, care contravine în general xilotipului de rezonanță.

Poziționarea ierarhică se răsfrânge asupra asimetriei elegajului, care este inevitabil și la arborii cu viteze ale sunetului și radiație acustică mari, așa cum a rezultat din măsurătorile autorului. Acestea fac ca statusul curent al elagării arborilor să nu aibă valoare predictivă în raport cu proprietățile acustice ale lemnului. Nici Fedyukov și colaboratorii nu găsesc o relație convingătoare între elagajul molizilor și viteza sunetului (Fedyukov et al. 2018).

Întrucât lungimile și proporțiile zonelor de elagaj de la arborii sondați (redate în Figura 16) sunt dependente de vârstă (cum a relevat intensitatea corelațiilor), legăturile cu proprietățile acustice au fost verificate cu corelația parțială.

Coeficienții de corelație parțială semnificativi nu depășesc 0.47 în modul și au indicat următoarele tendințe (Dinulică 2020):

- arborii cu viteză radială mai mare au zona 1 de elagaj mai lungă și o pondere mai mică a zonei 2A din înălțimea arborelui;
- arborii cu anizotropie mai mare a vitezei au zona 2B mai lungă și, în ansamblu, ponderea zonei 2 mai mare;
- arborii cu densitate mai mare a lemnului au pondere mai mare a zonei 2 (2A+2B) din înălțimea arborelui, dar asimetrie a coroanei mai mică;
- arborii cu radiație acustică în direcție radială mare au zona 1 de elagaj mai extinsă;
- arborii cu lungime relativă a trunchiului mai mare și cu tronsonul de elagare 2 mai extins au inele mai înguste, regularitatea mai bună a inelelor și un număr mai mare de inele în alburn, în secțiunea de bază.

Coroborând aceste rezultate pot afirma că arborii cu valoare acustică ridicată nu sunt neapărat dintre cei mai bine elagați, dar sunt mai bine angajați în procesul de elagare, având zonele în curs de elagare semnificativ mai lungi (Dinulică et al. 2015b). Prin urmare, condiția unui trunchi lung bine elagat impusă arborilor de rezonanță (Hutchins 1978) decurge mai curând din necesitatea, economică, a unui randament mai mare în instrumente muzicale. Dar

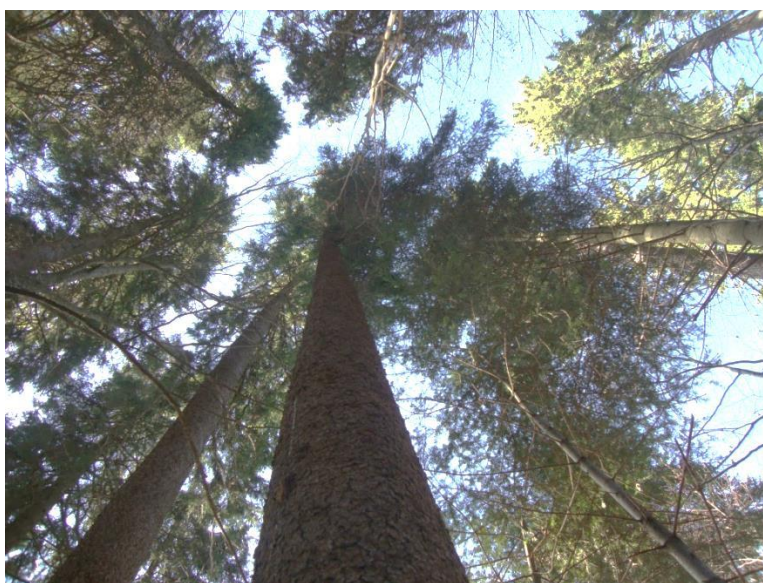


Figura 60. Arborele (în prim plan) cu cea mai mare radiație acustică longitudinală ($5.5 \text{ m}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) are 36 m înălțime și prezintă trunchi bine elagat în primii 10 m

până la urmă, numai 8-10 % din înălțimea molidului de rezonanță poate oferi lemn pentru instrumente muzicale (Zugliani și Dotta 2009b).

Coabitarea cu fagul, bradul și paltinul (Dinulică et al. 2015b, Ștefănescu 1961, Zlei 2007) stimulează elagarea arborilor de rezonanță (Figura 60) și îmbogățește solul cu cationi (Geambașu 2001), dintre care unii pot influența în bine comportarea acustică a lemnului (Ille 1975). În plantațiile de molid s-a remarcat că elagarea grăbește trecerea la lemnul adult (Keller și Thiercelin 1984) și astfel permite obținerea însușirilor structurale cu valoare acustică. Silvicultorii din Slovenia acordau multă atenție elagării artificiale începând cu vârsta de 18 ani a molizilor aleși să producă lemn de rezonanță (Müller 1969).

Zona 3 a arborelui (Figura 16) cuprinde cea mai mare parte din coroana lor de lumină. La 235 de molizi din eşantionul analizat de autorul tezei, această zonă se întinde pe 8-17 m, reprezentând 50-80 % (intervalul de cuartilă) din lungimea coroanei. Parascan şi Danciu (2001) indicau mărimi relative ale coroanei de lumină cuprinse între 1/3, la arborii dominaţi, şi 2/3, la arbori dominanţi, din lungimea totală a coroanei. Zona 2B a arborelui (Figura 16) corespunde în mare parte cu *coroana de umbră* a arborilor; la acelaşi eşantion de molizi, avea lungimi cuprinse între 3 şi 11 m (intervalul de cuartilă). Autorul a constatat că această zonă este mai lungă la arborii identificaţi vizual ca fiind de rezonanţă (Dinulică et al. 2015b). Într-o cercetare anterioară (Dinulică et al. 2015a), am găsit că lungimea tronsonului 2B este un indicator al îngustimii şi regularităţii inelelor anuale din secţiunea de bază. Deci, **coroana de umbră a molizilor ar putea fi implicată în formarea lemnului de rezonanţă**. La pini s-a descoperit că treimea superioară a coroanei dirijează hormonal îngroşarea radială a produşilor cambialui, iar restul coroanei, adică în primul rând coroana de umbră, controlează grosimea peretelui celular (Larson et al. 2001). Ori arhitectura peretelui celular este cheie pentru comportarea acustică a lemnului.

(2) Nodurile la lemnul pentru instrumente muzicale. Ramurile dau noduri aparente care în trecut nu erau permise buşteanului de rezonanţă. Pratica actuală acceptă nodurile grupate în verticile distanţate la cel puţin lungimea unui semifabricat (Albu 2010). Nodurile nu trebuie să depăşească 2 cm în diametru (Sonderegger et al. 2008) şi frecvenţa de 3 buc/m (Krzysik 1968). Acestea sunt restricţii impuse nodurilor vizibile la suprafaţa buştenilor. O apreciere mai fidelă a incidenţei nodurilor se poate realiza numai după ferăstruirea longitudinală a buştenilor. Albu et al. (2020) au urmărit **distribuţia nodurilor la materialul pentru instrumente muzicale, în diferite stadii de debitare**, provenit de la zece arbori de probă. Au fost determinate:

- Frecvenţa nodurilor, prin numărul total de noduri de pe faţa considerată a piesei,
- Diametrul nodurilor, maxim şi minim, fără scoarţă,
- Elipticitatea nodurilor,
- Lungimea nodurilor, măsurată pe faţa radială,
- Lungimea zonelor de aderenţă, care compun nodul (Figura 61),
- Unghiul de înclinare a nodului faţă de muchie (numai pe faţa radială),
- Lăţimea zonei cu fibre deviate de nod (numai pe faţa radială).

Poziţia nodurilor are, în ordinea

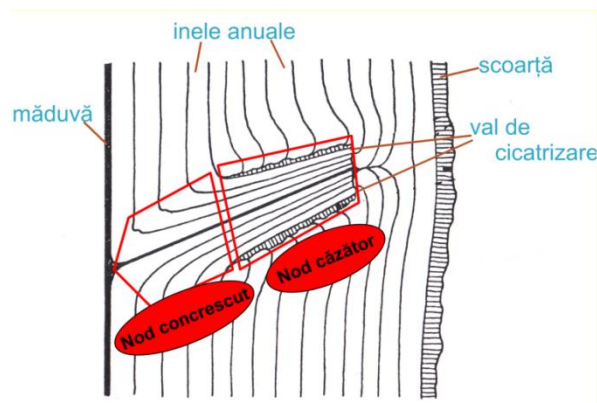


Figura 61. Elagarea unei ramuri în dinamică (Dinulică 2018)

importanței, prima influență asupra modelului de decupare a semifabricatelor pentru instrumente muzicale (Albu și Dinulică 2014). S-au constatat diferențe neașteptat de mari între arborii de rezonanță în privința frecvenței nodurilor, de unde s-a dedus un fond mare de variabilitate la lemnul de rezonanță chiar în aceeași pădure (Tabelul 21).

Tabel 21. Conținutul de noduri la cheresteaua de rezonanță (Albu și Dinulică et al. 2020)

Statistici primare	Frecvența nodurilor (buc/m ³ cherestea)		
	Noduri cu diametrul < 10 mm	Noduri cu diametrul ≥ 10 mm	Număr total de noduri
Media aritmetică	127.3	125.4	252.7
Minim	82.0	77.0	160.0
Maxim	189.0	172.0	346.0
Coeficient de variație (%)	28.6	23.0	24.1
Semnificația statistică a diferențelor între arborii de rezonanță doborâți (<i>p</i> din testul t)		≤ 0.005	

Pe lungimea fusului, cele mai mari frecvențe ale nodurilor se înregistrează la bază, în primii 4 m, după care descresc până în dreptul apariției primelor ramuri verzi (8-10 m înălțime) - Figura 62.

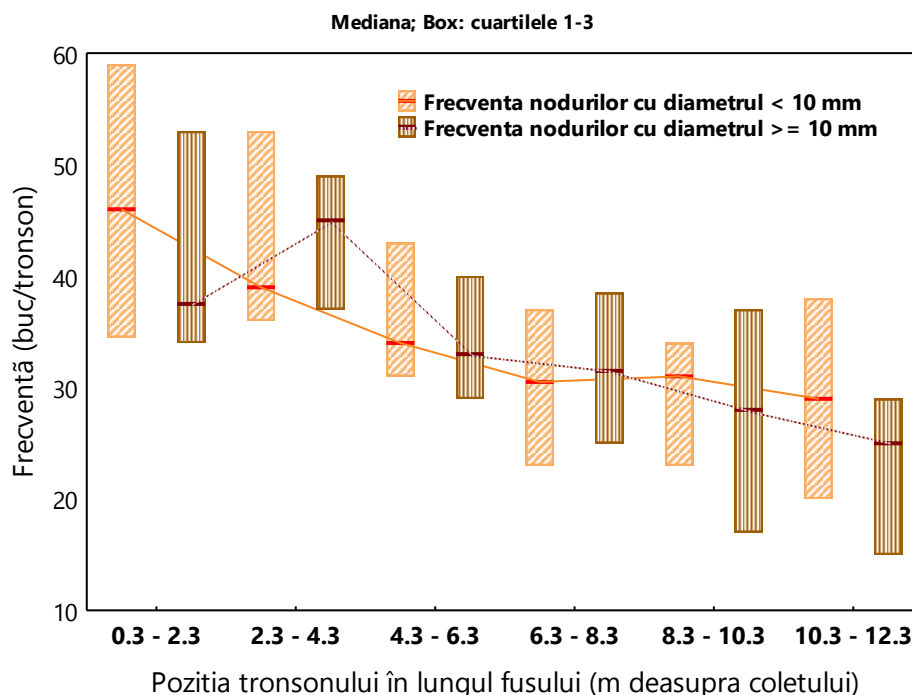


Figura 62. Variația cu depărtarea de sol a densității nodurilor la cheresteau de rezonanță (Albu și Dinulică et al. 2020)

Perechile de semifabricate diferă între ele după grosimea, frecvența și unghiul de înclinare a nodurilor. Puțin peste jumătate din nodurile radiale sunt rotunde, celelalte sunt în general ovale, arareori (5 % din cazuri), alungite. Cu o singură excepție nodurile tangențiale sunt rotunde (au elipticitatea mai mică de 2).

Lăţimea de influenţă a nodului asupra inelelor anuale vecine este de 2-3 ori mai mare decât diametrul nodului însuşi (Tabelul 22).

Tabel 22. Biometria nodurilor la semifabricatele pentru violoncel (Albu şi Dinulică et al. 2020)

Caracteristică noduri	Mediana	Minim	Maxim	Coeficient de variaţie între noduri (%)	Semnificaţia statistică a diferenţelor* între ...	
					perechile de semifabricate	piesele din pereche
Număr noduri de faţa radială	2.00	0.00	7.00	99.57	0.01	0.55
Număr noduri pe cantul interior	1.00	0.00	7.00	94.75	0.02	0.53
Diametrul maxim al nodurilor pe faţa radială (mm)	12.00	2.00	30.00	55.10	0.002	0.79
Elipticitatea nodurilor de pe faţa radială	1.63	0.67	5	50.14	0.06	0.14
Lungimea nodului (mm)	33.50	5.00	245.00	90.80	0.80	0.91
Unghiul nodului ($^{\circ}$)	83.00	45.00	90.00	22.40	0.006	0.43
Diametrul maxim al nodurilor pe faţa tangenţială (mm)	11.00	2.00	27.00	53.09	0.002	0.63
Elipticitatea nodurilor de pe faţa tangenţială	1.10	1.00	2.14	17.52	0.44	0.81
Raportul de influenţă al nodului	2.33	1.75	3.33	15.12	0.41	0.72

* p din testul Kruskal-Wallis (Niciuna din variabile nu are distribuţie normală).

Zona de influenţă a nodului asupra conturului inelelor se întinde în primii 4-39 mm de la marginea nodului, fiind adesea invers proporţională cu grosimea nodului ($R = -0.379$, $p = 0.002$). Adăugând zona de influenţă la grosimea nodului, rezultă că 0.8 până la 7.4 cm (în medie 2.8 cm) de lemn în lungul fibrei nu mai pot fi folosiţi la confecţionarea instrumentului. Dacă introducem în calcul şi unghiul de înclinare a nodului precum şi lungimea acestuia, rezultă că, în medie, 60 mm din lungimea semifabricatului este afectată de prezenţa nodului (Albu, Dinulică et al. 2020).

O parte din noduri (59 %) au putut fi vizualizate în adâncime, pe secţiunile radiale ale semifabricatelor, măsurându-li-se lungimea. Sunt de fapt noduri ascunse, care nu au putut fi identificate la alegerea materiei prime pentru confecţionarea instrumentelor. La aceste noduri se disting două zone de aderenţă la lemnul înconjurător: o zonă interioară, de concreştere, şi una exterioară, în care nodul este căzător (Figura 61). Trecerea de la o zonă la alta semnifică elagarea ramurii care a produs nodul respectiv. Observaţiile pe care le-am făcut la unele semifabricate au indicat că **elagarea durează la molizii de rezonanţă circa 60 de ani**. Având în vedere valoarea lemnului de rezonanţă, elagarea ar putea fi impulsionată artificial, începând de la diametrul ramurii de 3-5 cm (Nicolescu 2014). În acest mod, nodurile vor fi grupate în zona fără utilizare acustică a trunchiului. Propunem ca operaţia de elagaj artificial să se execute în sezonul de repaos.

Nodurile de pe fețele radiale care nu au fost secționare radial (restul de 41 %), sunt de fapt străpungătoare. Observațiile au arătat că acestea sunt, de cele mai multe ori, grupate câte două sau trei și sunt mai subțiri de 2 cm.

Cele mai problematice sunt nodurile care apar numai pe cantul îngust al semifabricatului și a căror profunzime nu poate fi apreciată după semnalmentele exterioare. Astfel de piese sunt acceptate dacă aceste noduri sunt poziționate mai aproape de unul din capetele semifabricatului, pentru a putea fi îndepărtate la nevoie.

Nodurile cu diametru mai mare de 1 cm, care reprezintă 62 % din cazurile întâlnite pe secțiunea radială și numai 4.4 % din cazurile de pe secțiunea tangențială, sunt declasante pentru semifabricate. Oricât de mari sau de mici ar fi, nodurile pot fi admise dacă sunt grupate în spațiul semifabricatului astfel încât șablonul pentru viitorul instrument să încadreze numai lemn zero defecte. Dacă acest lucru nu este posibil, se încearcă folosirea semifabricatului pentru un instrument mai mic, până la cele mai mici viori (1/16 sau chiar 1/32) – Albu și Dinulică et al. 2020).

3.5.3 Descriptori acustici ai trunchiului

Lemnului de rezonanță, implicit arborilor de origine, li se impune o formă impecabilă, transversal și longitudinal (Pașcovici 1930a, Grapini și Constantinescu 1968, Beldeanu 1999, Dinulică et al. 2015b). Am verificat dacă nivelul de calitate acustică poate fi exprimat de calitatea formei trunchiului, pe care am caracterizat-o cu coeficientul de zveltețe a arborilor, ovalitatea secțiunii de bază și lăbărțarea trunchiului.

A rezultat că arborii cu acusticele cele mai bune nu sunt cei mai vârstnici, nici cei mai groși, dar sunt **printre cei mai zvelți**, cum se cunoștea de lutieri (Dinulică 2020). Arborii zvelți au anizotropie, radiație acustică și elasticitate în lungul fibrei superioare (Tabelul 23).

Tabel 23. Coeficienții de corelație parțială (r , p) între coeficientul de zveltețe al arborilor și însușirile acustice ale lemnului de molid*, cu înlăturarea contribuției diametrului de bază (Dinulică 2020)

V_L	V_R	$V_L:V_R$	GD	ODD	RL	RR	AIL	AIR	MOEL	MOER
+0.254 0.04	-0.242 0.06	+0.564 < 0.001	+0.129 0.29	-0.058 0.64	+0.410 0.03	+0.270 0.03	+0.294 0.02	+0.061 0.80	+0.310 0.01	+0.040 0.87

* Acronimele sunt decriptate în Tabelul 5.

Legătura cu zveltețea este sugestivă, întrucât, la molid, 82 % din variația modulului de elasticitate a cherestelei este explicată de indicele de zveltețe al arborilor (Øvrum 2013). De asemenea, influența pe care poziția socială a arborilor în coronament o are asupra însușirilor acustice ale lemnului este intermediată de zveltețe (Krajnc et al. 2019). Autorii citați constată, la

trei rășinoase printre care și molidul, că la arborii din etajul dominant, o zveltețe mai bună indică o viteză mai bună a sunetului, rezultat confirmat de cercetările autorului tezei. Un coeficient de zveltețe mai mare de 70 % pune însă în pericol siguranța arborilor de molid la solicitările din vânt și zăpadă (Bentz și Schoen 1981).

Forma secțiunii de bază exprimată de ovalitate și lăbărțarea nu au oferit nicio indicație cu privire la performanțele acustice ale lemnului de molid (Dinulică 2020).

3.5.4 Scoalța ca marker

Autorul tezei a luat în studiu câțiva descriptori biometrici ai scoalței (grosimea scoalței, lungimea și lățimea solzilor scoalței și raportul de mărime între ele) și culoarea scoalței. A



Figura 63. Detaliu ritidom în dreptul secțiunii de bază la un molid gros de rezonanță din Gurghiu (foto: F. Dinulică)

analizat dacă: *i*) solzii scoalței sunt mai mult mai lungi în raport cu lățimea la arborii de valoare acustică decât la arborii comuni (Albu 2010), *ii*) scoalța este mai subțire independent de vârstă și *iii*) culoarea scoalței este un marker valid pentru molidul rezonanță (Grapini și Constantinescu 1968).

În portretul tradițional al molidului de rezonanță, arborii au ritidom subțire, fisurat în plăci de solzi subțiri, mici, moi, rotunjiți, cu marginile ușor răsfrânte în afară (Figura 63) și brun-roșcați (Grapini și Constantinescu 1968) sau cenușii (Albu 2010). Lutierii din Carpați credeau că arborii cu solzii scoalței mari și groși au lemn prea dens și cu inele neregulate (Pașcovici 1930a). Pe teritoriul fostei Uniuni Sovietice arborii de rezonanță, aparținând bradului caucazian și molizilor orientali, au coaja netedă (Arganașvili 1988).

(1) Biometria scoalței

GROSIMEA SCOALȚEI. Din investigațiile pe care autorul tezei le-a efectuat a rezultat că grosimea scoalței este descriptorul cel mai important al arborilor de valoare acustică ridicată (Tabelul 11). Totuși, grosimea scoalței explică numai 11 până la 18 % din variațiile mărimii vitezei sunetului, radiației acustice și impedanței la o grosime oarecare a trunchiului. Legătura între grosimea scoalței și însușirile acustice ale lemnului este independentă de vârsta arborilor,

dar este slăbită într-o oarecare măsură de diametrul arborilor – așa cum a reieșit prin analiza corelației parțiale. Deci **fenotipul cu scoarță îngustă nu este implicit al arborilor tineri**. De altfel, cei mai „tineri” arbori din sondajul în care au fost efectuate aceste determinări aveau 95-105 ani. Așa cum am constatat (Tabelul 18), performanțele acustice ale lemnului pe picior scad cu vârsta arborilor. Pe de altă parte, calitatea structurală de rezonanță se clădește cu greu, începând cu vârsta de 45 de ani (Albu 2010). Grosimea scoarței este în definitiv un caracter de creștere, așa încât îngustimea ei nu poate decât să indice **arbori cu creștere radială înceată**. Din mărimea și semnificația corelațiilor a rezultat că grosimea scoarței nu se asociază decât cu acusticele lemnului și cu mărimea alburnului. Legătura cu mărimea alburnului (Figura 64) este o confirmare indirectă a relevanței alburnului la identificarea lemnului de rezonanță verde. S-a remarcat și sensibilitatea arborilor cu scoarță subțire la putregai și discolorări anormale.

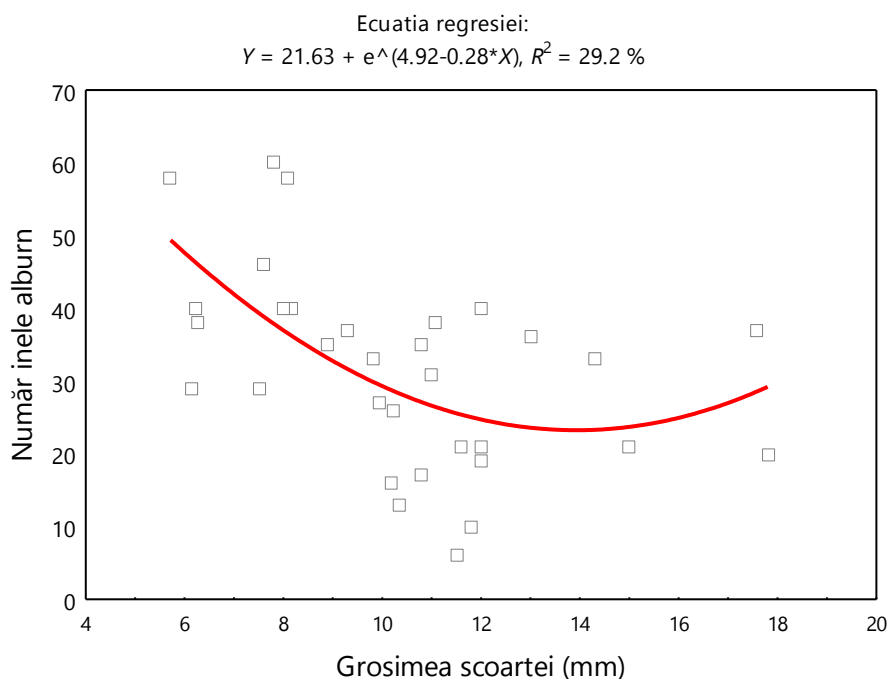


Figura 64. Relația între mărimea alburnului și grosimea scoarței la molid, în metapopulațiile Gurghiu și Poiana Brașov

FORMA SOLZILOR SCOARȚEI. Argumentele statistice pentru a susține semnificația acustică a indicelui solzilor (raportul între lungimea și lățimea solzilor) sunt inconsistente – singura corelație semnificativă, și aceea de intensitate modestă, este cu viteza radială a sunetului (parțial $r = 0.281$, $p = 0.03$). În schimb, sunt destule corelații cu alte însușiri fizice ale arborilor, la rândul lor cu valoare acustică. Astfel, arborii cu indice mare – așa cum se presupune a avea molizii de rezonanță (Albu 2010) – sunt mai bine elagați (parțial r cu % zonei 1 = 0.249, $p < 0.001$), au o calitate exterioară mai bună (parțial r cu clasa de calitate a arborelui = -0.261, $p =$

0.002), au un inele cu mai puțin lemn târziu (parțial r cu lățimea lemnului târziu = 0.281, p = 0.03) și, mai ales, regulate (Tabelul 24).

Tabel 24. Scoarța ca predictor al regularității inelelor anuale din secțiunea de bază (Dinulică et al. 2019)

Predictor	Variabilă dependentă	Coeficient de corelație simplă a rangurilor / p	Coeficient de corelație multiplă cu vârsta (TA) și diametru (DBH) / p		Coeficient de corelație parțială cu neutralizarea vârstei arborilor / p
			TA/ p^*	DBH/ p^*	
Indicele de zveltețe a solzilor scoarței	CI _{TRW} **	-0.698/0.02	0.857/0.015	0.683/0.45	-0.855
	CI _{LWW} ***	-	0.903/0.25	0.879/0.98	-0.903
		0.914/<0.0001			
	CI _{LWP} ****	-0.729/0.02	0.921/0.03	0.837/0.503	-0.875

* p este probabilitatea de transgresiune asociată testului t ; **CI_{TRW} este neregularitatea lățimii inelelor pe circumferință, *** CI_{LWW} este neregularitatea lățimii lemnului târziu pe circumferință, iar **** CI_{LWP} este neregularitatea proporției lemnului târziu pe circumferință (toate exprimate în %).

Concluzionând, alungirea solzilor scoarței este un marker indirect al calității lemnului cu destinația instrumente muzicale (Dinulică 2020); indiciile pe care le furnizează se referă cu precădere la calitatea structurii și la viteza de propagare a sunetului în direcție radială. În baza regresiei cu regularitatea lățimii lemnului târziu, Dinulică și colaboratorii (2019) propun valoarea limită de 1.9 pentru indicele scoarței. Albu (2010) găsește valori ale acestui indice de 2.6-3.8, pentru molidul de rezonanță, și 1.7-2.1, pentru molidul comun.

Forma solzilor scoarței la molid este un caracter cu variație ecoclină, condiționat de cantitatea de radiație luminoasă, responsabilă pentru inducerea precoce a ritidomului (Bouvarel 1954). Deci, diferențierea fenotipurilor după relieful scoarței poate fi efectul poziționării altitudinale și latitudinale, dar și a statutului social al arborilor și spațierii în coronament. La pin silvestru s-a găsit asocierea reliefului scoarței (crăpată în lung versus în plăci) cu forma coroanei (conică respectiv paraboloidală) – Jojefaciukowa 1972. În genere arborii de rezonanță fac parte din etajul dominant și sunt mai puțin supuși presiunii competiției la maturitate (Grapini și Constantinescu 1968, Albu 2010). La molizii de rezonanță poziția dominantă nu este rezultatul favorizării arborilor prin creștere, ci rodul câștigării și menținerii ei cu tenacitate (Dinulică et al. 2019; Ștefănescu 1961). La plop s-a găsit că modulul de elasticitate este tot mai mare cu cât arborii sunt mai înalți (Yin et al. 2011), deci extrapolând la molid, se poate presupune că poziția dominantă aduce o contribuție în plus la superioritatea elastică a lemnului de rezonanță.

Rezultatele investigațiilor autorului tezei (Dinulică et al. 2019) au arătat că forma solzilor scoarței nu pare a avea vreo relevanță în raport cu însușirile acustice ale lemnului, dar este un indicator pentru calitatea structurii lemnului (Tabelul 24). Cele mai importante indicații sunt în legătură cu regularitatea lemnului târziu, care este de fapt un criteriu de selecție pentru materialului brut pentru viori (Ghelmeziu și Beldie 1970). De altfel, conținutul de lemn târziu are

valoare diagnostică superioară lăţimii inelului de creştere în raport cu utilitatea acustică (Spycher et al. 2008), în timp ce regularitatea structurilor anatomice este o caracteristică cheie a aptitudinii materialului pentru construcţia instrumentelor muzicale (Brancheriau et al. 2006, Rocaboy şi Bucur 1990).

(2) Culoarea scoarţei. Scoarţa molizilor din eşantionul analizat prezintă paleta de culori obişnuite la molid: de la roşcată la cenuşie. Măsurătorile colorimetrice au relevat că în metapopulaţia Gurghiu, conţinutul de roşu al culorii este variabila scoarţei cea mai mare amplitudine relativă (Dinulică et al. 2019). Variaţiile continue ale variabilelor culorii (în spaţiul cromatic CIELab, folosind cu predilecţie în ştiinţa lemnului) permit totuşi distingerea molidului cu scoarţă gri de molidul cu scoarţă brună (Figura 65).

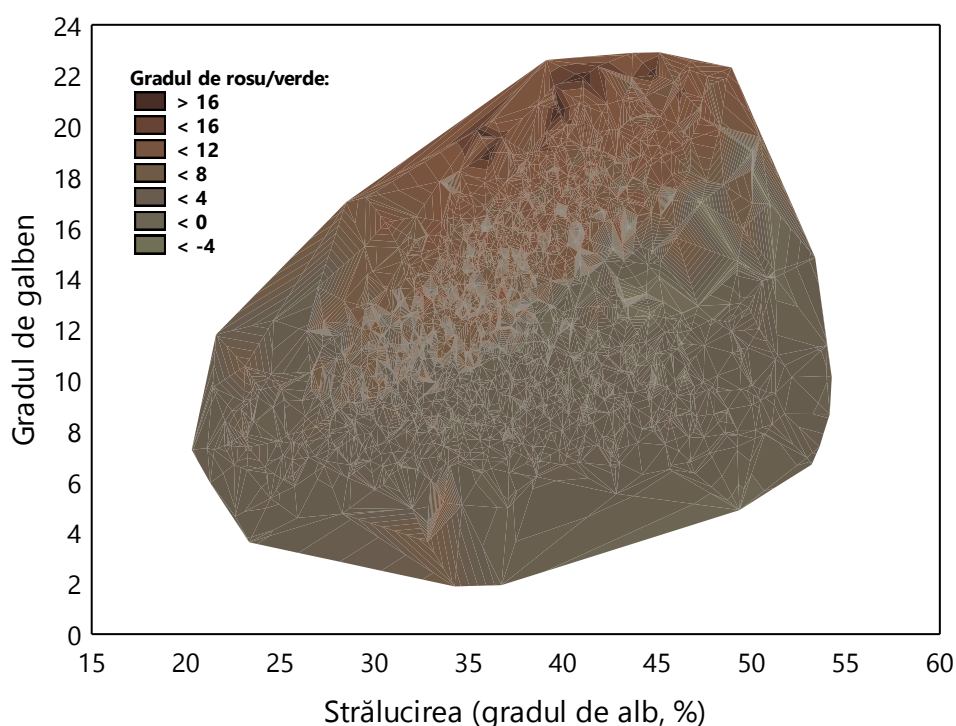


Figura 65. *Spectrul culorii scoarţei la molid, în populaţiile cu lemn de rezonanţă din Munţii Gurghiului (Dinulică et al. 2019, modificat)*

Culoarea scoarţei, redată de variabilele cromatice, este stabilă de la arbore la arbore, în interiorul suprafeţelor de probă, dar diferă sensibil între faţa nordică şi faţa sudică a trunchiului: **gradul de roşu şi de galben sunt mai accentuate pe faţa sudică** (Dinulică et al. 2019). Pe faţa nordică, valorile cromatice nu oscilează semnificativ de la o suprafaţă de probă la alta în interiorul aceleiaşi metapopulaţii. Astfel, analiza culorii scoarţei pe faţa sudică a trunchiului este preferabilă, ea implicând şi cele mai multe corelaţii cu variabilele acustice (Tabelul 25).

Legătura trăsăturilor scoarţei cu însuşirile acustice ale lemnului oscilează între faţetele nordică respectiv sudică a trunchiului (Tabelul 25), probabil şi pentru faptul că înseşi

proprietățile acustice variază de-a latul creșterii (Lachenbruch et al. 2010). Cele mai strânse legături sunt pe fațeta sudică (Dinulică et al. 2019), ceea ce justifică preferința unor lutieri pentru fața însoțită a trunchiului (Schelleng 1982).

Tabel 25. Scoarța ca predictor al proprietăților acustice ale lemnului de molid (Dinulică et al. 2019, adaptat)

Proprietatea explicată	Predictori	Ecuația modelului	R^2 ajustat	F	p
Viteza radială a sunetului	Gradul de roșu pe dosul solzilor de pe nord (a_{Nin}^*), Gradul de roșu pe fața solzilor de pe sud (a_{Sext}^*)	$y = 847.54 + 30.14 \cdot a_{Nin}^* - 57.88 \cdot a_{Sext}^*$	0.416	5.68	< 0.001
Rezistența acustică radială	Gradul de galben pe fața solzilor de pe sud (b_{Sext}^*), Gradul de roșu pe fața solzilor de pe sud (a_{Sext}^*)	$y = 279.85 + 25.18 \cdot b_{Sext}^* - 36.57 \cdot a_{Sext}^*$	0.472	5.91	0.002
Radiația acustică radială	Gradul de galben pe fața solzilor de pe sud (b_{Sext}^*)	$y = 3953.14 - 130.24 \cdot b_{Sext}^*$	0.284	5.37	0.04

Cu vârsta, scoarța se întunecă la culoare pe dos (R neparametric cu strălucirea solzilor = -0.504, $p < 0.001$) și capătă nuanțe tot mai roșcate pe față (R neparametric cu gradul de roșu = 0.339, $p = 0.006$). Desigur, sunt diferențe între culoarea de pe față și dosul solzilor scoarței, care însă nu mai depind de vârsta arborilor, după vârsta de 95 de ani. La molidul din Munții Gurghiu au fost detectate și variații clinale ale culorii scoarței între altitudinile de 1200 m și 1600 m, constând în accentuarea nuanței de galben și reducerea nuanței de roșu cu altitudinea (Dinulică et al. 2019).

Culoarea este mai

strâns legată de proprietățile acustice ale lemnului decât celelalte caracteristici măsurate ale scoarței. Arborii care conduc mai bine sunetul în direcție radială au solzii mai roșcați pe față și slab roșcați pe dos (Tabelul 25). Lemnul arborilor cu scoarță mai gălbuie opune o rezistență mai

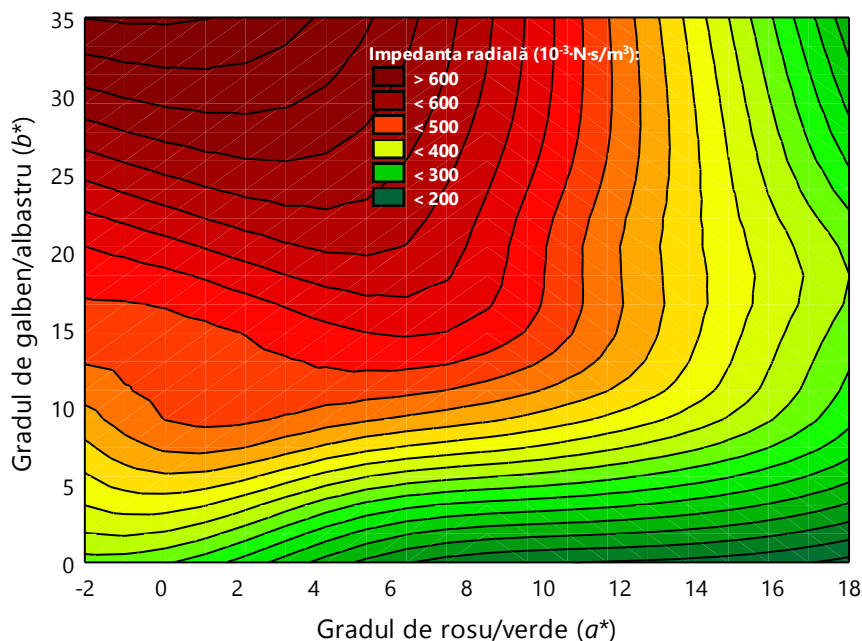


Figura 66. Corespondența de mărime între variabilele culorii scoarței și impedanța acustică transversală, în metapopulația de molid Gurghiu (Dinulică et al. 2019, adaptat)

mare la trecerea sunetului și, deci, are o capacitate de energie sonoră mai mică (Tabelul 25). De asemenea, arborii cu emisie acustică mai bună în secțiunea de bază au **solzi mai roșcați și cu puțin galben în compoziția culorii** (Figura 66). Scoarța molidului nu oferă niciun indiciu cu privire la densitatea lemnului.

Și legătura culorii scoarței cu structura lemnului este remarcabilă (Dinulică et al. 2019). Arborii din metapopulația Gurghiu au fost clasificați după calitatea structurii – exprimată de finețea și regularitatea inelelor anuale și a lemnului târziu, precum și de lățimea aptă pentru debitarea instrumentelor muzicale – în șase clase de calitate (Tabelul 14). Acestor clase le corespund valori distincte ale unor indici cromatici (Figura 67). Astfel, **lemnul de calitate structurală superioară are scoarța mai întunecată și mai puțin gălbuie pe fața solzilor de pe nord, și mai roșcată pe dosul solzilor de pe sud** (Figura 67). Deosebirile de culoare a scoarței între arbori de calitate structurală diferită sunt perceptibile cu ochiul (Dinulică et al. 2019).

Valorile cromatice ale solzilor scoarței sunt redată în parte și de alte caracteristici exterioare ale arborilor. Astfel, arborii cu concentrație mai mică de galben în culoarea solzilor pe dos sunt mai bine elagați și au trunchiul mai lung (coeficientul de corelație parțială a gradului de galben cu proporția zonei 1 din înălțimea arborelui = - 0.265, $p = 0.03$; coeficientul de corelație parțială a gradului de galben cu lungimea trunchiului = - 0.343, $p = 0.007$). De asemenea, arborii cu scoarță mai întunecată pe dosul solzilor au o calitate mai bună a formei trunchiului (coeficientul de corelație parțială a strălucirii pe dosul solzilor cu ovalitatea secțiunii de bază = - 0.385, $p = 0.002$). Arborii cu scoarță mai roșcată pe dosul solzilor au ovalitate mai mică (parțial $r = - 0.341$, $p = 0.005$) și inele cu lemn târziu mai lat (parțial $r = 0.302$, $p = 0.02$).

(3) Determinismul caracterelor scoarței. În plantațiile de molid din afara arealului natural s-a remarcat stabilitatea caracteristicilor scoarței, de unde s-a dedus contribuția predominantă a eredității în exprimarea lor (Popescu 1984). Controlul genetic al caracterelor scoarței de molid se exercită prin poligene, în particular cel puțin 2-3 perechi de gene nealele pentru culoarea scoarței (Stănescu et al. 1997). Corelația limitată a culorii scoarței cu forma solzilor (Stănescu et al. 1997), verificată și la materialul examinat de autorul tezei, sugerează controlul acestor caractere ale scoarței prin gene vecine pe cromozom, cu transmitere lincată (Stănescu et al. 1997).

La molid, culoarea lujerului prezintă o variație topoclinală (Stănescu și Șofletea 1990), în care populațiile de altitudine mică au scoarță brună, iar populațiile de la altitudini mari, scoarță gri (Przybylsky 2007, Godet 2012). Arborii de molid din culturi comparative multistaționale din România au arătat că proveniențele cu ritidom precoce de culoare închisă provin de altitudini sub 1000 m și, în particular, sunt populații tradiționale cu lemn de rezonanță (Nițu et al. 1984).

Fenotipul scoarței molidului de rezonanță prezintă, așa cum am văzut, afinitate pentru nuanțele mai întunecate, mai roșcate și cu mai puțin galben (Tabelul 25, Figurile 66-67). Din datele autorului a rezultat, chiar pentru un diapazon îngust de altitudini (1215-1580 m), că nuanța galbenă a scoarței se accentuează cu altitudinea, iar cea roșie se diminuează. În aceste condiții, răspândirea arborilor de rezonanță se restrânge la altitudinile mijlocii și joase din arealului molidului. De fapt, răspândirea molidului de rezonanță este condiționată de capacitatea stațiunii de a asigura umiditate stabilă a solului, o nutriție echilibrată și de a proteja arborii de excese climatice care ar compromite acustic structura lemnului (Pașcovici 1930b, Geambașu 1995, Domont 2000), condiții care într-adevăr nu sunt satisfăcute la altitudini mari (Pașcovici 1930b).

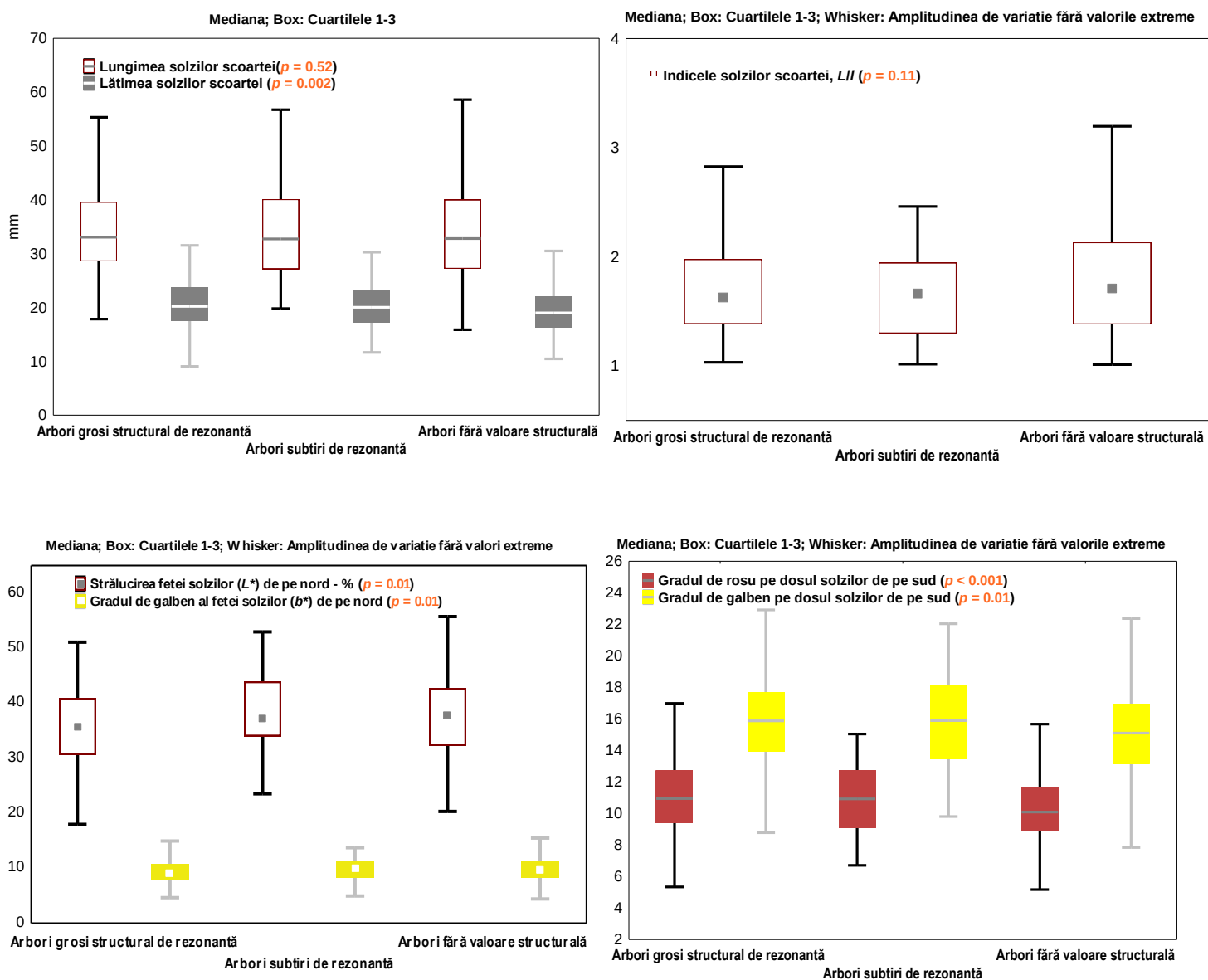


Figura 67. Stratificarea caracteristicilor măsurate ale scoarței în funcție de calitatea structurală a lemnului (Dinulică et al. 2019, adaptat)

Arborii grosi structural de rezonanță – clase de calitate 1-3; arborii subțiri de rezonanță – clasa de calitate 4, arborii fără valoare structurală – clasele de calitate 5-6 (Tabelul 12).

Contribuția nuanței roșii la edificarea culorii scoarței explică apropierea molidului de rezonanță de varietatea europaea (Teplouchoff) Schrotter la care scoarța este brun-roșcată (Albu 2010). Analizele foliare și de sol efectuate în molidișuri naturale au descoperit un conținut semnificativ mai mic de azot, fosfor și magneziu în acele molidului cu scoarța brună față de molidul cu scoarța gri (Bolea et al. 1996), care indică o eficiență sporită în metabolizarea acestor elemente și explică bioacumulările modeste de lemn la molidul de rezonanță.

3.5 Individualitatea fenotipului arborilor de rezonanță

Arborii de rezonanță sunt dintre elitele fenotipice ale molidului (Dinulică et al. 2015b). Coabitarea lor cu arborii comuni este un argument în favoarea originii genetice a molidului de rezonanță. Asocierea lui cu particularități ale scoarței, coroanei și conurilor despre care se afirmă că au un determinism genetic (Stănescu et al. 1997), vine și ea în sprijinul acestei ipoteze. Apoi sunt și unele evidențe moleculare, rezultate cu ajutorul alozimelor (Stănescu et al. 1985). Din aceeași perspectivă, însușirile elasto-acustice ale lemnului de molid prezintă o doză mare de ereditate (Rozenberg și Cahalan 1997); în cazul densității lemnului, de pildă, controlul genetic crește odată cu trecerea la lemnul adult (Corriveau et al. 1991).

Este deocamdată greu de cuantificat raportul între contribuția mediului și a genelor, dar este cert că acest nivelul de calitate al însușirilor molidului de rezonanță nu poate fi atins decât în anumite stațiuni (Grapini și Constantinescu 1968, Zugliani și Dotta 2009a). În aceste stațiuni însă, înlocuirea arboretelor naturale cu plantații de molid a dus la pierderea însușirilor lemnului de rezonanță datorită potențialului productiv ridicat (Ștefănescu 1961). Pe de altă parte, nereușita culturilor cu molid de rezonanță executate în afara arealului lui a creat ipoteza ecotipului specific pădurii virgine (Rădulescu 1969). În experimentele IUFRO, metapopulațiile românești de molid cunoscute ca furnizoare de lemn de rezonanță s-au situat în topul creșterilor în înălțime (Nițu et al. 1984, Mihai 2002, Ujvari și Ujvari 2006, Budeanu et al. 2012, Zeltiș et al. 2019). Deci, determinismul molidului de rezonanță este o chestiune de interacțiune puternică a genotipului cu mediul.

Din inventarierele recente ale resursei de lemn de rezonanță din Carpați (Geambașu 1995, Albu 2010) a rezultat că arborii pentru construcția instrumentelor muzicale sunt exponenți ai unor păduri care în ansamblul lor sunt valoroase (Dinulică et al. 2015b). Autorul tezei a procedat la delimitarea statistică a fenotipului cu calități acustice ale lemnului (Dinulică 2020), întreprindere delicată datorită confundării caracteristicilor lui cu trăsăturile populațiilor din care fac parte (Tabelul 26). Din aceste considerente, autorul tezei consideră că identificarea arborilor

pentru sunet presupune reperarea prealabilă a populațiilor care îi promovează (Dinulică et al. 2015b).

Tabel 26. Discriminarea fenotipului și xilotipului molizilor cu calități acustice * (Dinulică 2020)

Caracteristică arbore/lemn **	Molid de rezonanță***	Molid comun**
Trăsături fenotipice		
Vârsta (ani la înălțimea 1.30 m)	90-180	120-420
Clasa pozițională	Dominant	Predominant la dominat
Înălțime (m)	32-40	26-50.3
Zveltețe (%)	60-77	39-95
Ovalitatea secțiunii de bază (%)	0-12	0-15
Lăbărțarea (cm)	≤ 27	≤ 36
Proporția zonei bine elagate a trunchiului (% din înălțimea arborelei)	12-46	1-20
Culoarea scoarței pe fața sudică a trunchiului la înălțimea 1.30 m	Brun-roșcat	gri-brun
Lungimea relativă a coroanei (%)	46-70	19-90
Forma coroanei	Columnară (paraboloid pătratic)	Paraboloidală, conică, piramidală
Diametrul coroanei (m)	2.6-8.0	2.3-12.8
Diametrul ramurilor de la baza coroanei (mm)	≤ 45	40-80
Unghiul de inserție a ramurilor de la baza coroanei ($^{\circ}$ sens invers trigonometric)	90-120	90-135
Lățimea alburnului (mm)	37-65	17-80
Caracteristici fizice ale lemnului		
Lățimea medie a inelelor anuale din alburn (mm)	1.2-3.5	0.5-3.4
Diferența de lățime între inelele consecutive (mm)	≤ 0.6	0.1-0.8
Proporția medie de lemn târziu (%)	20-35	16-43
Proporția lemnului de compresiune (%)	0-12	0-33
Densitatea lemnului verde ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	850-950	750-1060
Parametrii acustici ai lemnului pe picior		
Viteza longitudinală ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	≥ 4200	1300-4200
Viteza radială ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1100-1800	960-1200
Viteza longitudinală : viteza radială	2.7-3.7	0.8-3.0
Radiația acustică longitudinală ($10^{-3}\cdot\text{m}^4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)	4500-6200	1600-4500
Impedanța longitudinală ($10^3\cdot\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$)	2900-3900	1000-4550
Modulul de elasticitate longitudinal (MPa)	14000-21000	3000-17000

* Arbori cu diametrul de bază ≥ 50 cm, din păduri de valoare ridicată. **Numai caracteristicile arborilor pe picior verificate acustic. *** Cu lemn pentru construcția instrumentelor muzicale.

Intervalele de mărime propuse de autorul tezei în Tabelul 26 nu au valoare absolută. Identificarea arborilor pentru sunet după o singură caracteristică fenotipică este contraindicată. Recunoașterea lemnului de rezonanță pe picior rămâne deocamdată o analiză multicriterială; deci, diagnosticul se pune confruntând indicațiile furnizate de întregul set de descriptori (Dinulică 2020). De la de arbore la arbore, unii descriptori au capacitate mai mare decât ceilalți de a semnaliza lemnul de rezonanță. Nu dispunem încă de un marker cu siguranță deplină la identificarea lemnului de rezonanță pe picior.

LIMITĂRI ALE METODEI ACUSTICE DE IDENTIFICARE A ARBORILOR DE REZONANȚĂ PE PICIOR. Clasificarea fenotipurilor pe criterii acustice pornește de la ipoteza că secțiunea de bază a arborilor este relevantă pentru întregul trunchi (Dinulică 2020). Totuși, lemnul de molid cel mai valoros structural aparține tronsonului de înălțimi 5-9 m (Dinulică et al. 2015a). Investigații viitoare sunt necesare pentru a localiza calitatea acustică a lemnului de rezonanță în lungul arborelui. La *Pinus radiata* de pildă s-a găsit că mărimea modului de elasticitate este în ascesiune până la 5 m înălțime, apoi descrește spre coroană (Waghorn et al. 2007).

Investigații viitoare ar trebui, de asemenea, să invoce și alte proprietăți acustice, cum sunt cele legate de amortizarea vibrației sonore sau ultrasonore, pentru o identificare mai sigură a fenotipului arborilor de rezonanță (Dinulică 2020).

IMPLICAȚII. Pentru că arborii de rezonanță au o identitate fenotipică metrică (Tabelul 20), abilitățile tehnologiilor de scanare aeriană, cum este LiDAR (Salas et al. 2010), ar putea folosi recunoașterii și inventarierii resurselor de lemn de rezonanță, așa cum, de pildă, sunt recomandate la presortarea mecanică a lemnului pe picior în arborete preexploatabile (Øvrum 2013).

B-ii) Evoluția carierei academice și planul de dezvoltare a acesteia

Capitol 4. Evoluția academică anterioară 2020

4.1 Educație

Autorul tezei este un produs al școlii de silvicultură de la Brașov și al Școlii Doctorale din Universitatea Transilvania (Tabelul 27). A fost admis la Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov în urma examenului de admitere din sesiunea septembrie 1996, la care a obținut prima medie de concurs: 9.80. A absolvit facultatea cu media generală de promovare a anilor de studii: 9.44 și media examenului de diplomă: 9.00.

Tabel 27. Studiile efectuate de autorul tezei

Perioadă	Instituție	Diplomă/grad
1992-1996	Studii liceale, Liceul de Informatică din Brașov (acum: Colegiul Național de Informatică „Grigore Moisil”)	Analist programator
1996-2001	Studii de licență, Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, programul de studii Silvicultură	Inginer silvic
2001-2002	Studii aprofundate, Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, programul de studii Managementul ecosistemelor forestiere	Diplomă de studii aprofundate
2003-2008	Studii doctorale, Universitatea Transilvania din Brașov	Doctor în, domeniul Silvicultură

4.2 Activitatea didactică

(1) EVOLUȚIA ACADEMICĂ. Autorul tezei a fost cooptat imediat după încheierea studiilor de licență în corpul profesoral al Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov, parcurgând, până în 2016, treptele carierei universitare până la conferențiar (Tabelul 28).

Tabel 28. Evoluția carierei universitare a autorului tezei

Perioadă	Locul de muncă	Funcție
2001-2003	Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Catedra Exploatare Forestiere	Preparator universitar
2003-2007		Asistent universitar
2007-2016	Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Departamentul Exploatare Forestiere, Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre	Șef de lucrări
2016-prezent		Conferențiar

(2) **DISCIPLINE PREDATE.** În cei 19 ani de activitate didactică neîntreruptă, autorul tezei a coordonat activitățile practice (de laborator și teren) de la 8 discipline și a fost titularul a 8 cursuri din Planurile de învățământ a 5 programe de studii de licență și masterat (Tabelul 29).

Tabel 29. Disciplinele predate de autorul tezei

Perioadă	Activități didactice coordonate/discipline/program de studii
2001-2007	Lucrări practice/Produse forestiere și studiul lemnului/Silvicultură, Exploatare forestiere
2006-2009	Lucrări practice/Ergonomie/Exploatare forestiere
2007-2013	Curs și lucrări practice/Produse forestiere /Silvicultură, Exploatare forestiere, Cinegetică zi
2008-2013	Curs și lucrări practice/Studiul lemnului/ Silvicultură, Exploatare forestiere
2010-prezent	Curs și lucrări practice/Produse forestiere/Cinegetică I.D.
2010-prezent	Curs și lucrări practice/Valorificarea superioară a resurselor forestiere vegetale/Management și sisteme tehnice în exploatare forestiere – master
2010-2016	Curs și lucrări practice/Managementul calității produselor forestiere/Management și sisteme tehnice în exploatare forestiere – master
2013-prezent	Curs/Produse forestiere I/ Silvicultură, Exploatare forestiere, Cinegetică zi
2014-prezent	Curs și lucrări practice/ Produse forestiere II/ Silvicultură, Exploatare forestiere
2015-prezent	Curs și lucrări practice/Xilologie/ Silvicultură
2020-...	Curs și lucrări practice/Xilologie/ Exploatare forestiere

(3) **CALITATEA ACTULUI DIDACTIC.** Chiar din primii ani de ucenicie academică, autorul a încercat, cu mijloacele de atunci, îmbunătățirea calității actului didactic, prin implicarea infrastructurii electronice de prezentare și folosirea aparaturii de laborator și teren achiziționată începând cu anul 2007.

Din anul în care a devenit titular la disciplinele găzduite de laboratorul de Produse forestiere (2010), autorul a înlocuit în totalitate tehnica de predare-învățare și modul tradițional de evaluare. Obiectivele urmărite au fost:

- ✓ reducerea la minimum a cantității de notițe preluate de studenți la lucrările de laborator și eliminarea lor completă la curs și lucrările de teren (gradul de realizare actuală a obiectivului: 75 %);
- ✓ diversificarea aplicațiilor practice și adaptarea acestora la nevoile producției (ocoale silvice, firme de exploatare și prelucrare primară a resurselor forestiere) și cercetării forestiere în România (institute de profil, școala doctorală) - gradul de realizare actuală a obiectivului: 70 %;
- ✓ orientarea expunerii de la curs spre aspectele pragmatice ale valorificării resurselor forestiere (gradul de realizare actuală a obiectivului: 70 %);
- ✓ formarea și consolidarea abilităților practice la cursanți și creșterea ponderii lor la evaluare (gradul de realizare actuală a obiectivului: 80 %);

- ✓ îmbunătățirea continuă a dotării materiale a Laboratorului de Produse Forestiere (gradul de realizare a obiectivului: 65 %) și implicarea directă a studenților și doctoranzilor în utilizarea instrumentarului și tuturor echipamentelor din dotare (gradul de realizare actuală a obiectivului: 100 %).

(4) DOTAREA MATERIALĂ A LABORATORULUI DE PRODUSE FORESTIERE. A fost principala preocupare a autorului tezei după 2007 (Tabelul 30). Datorită unor conjuncturi favorabile, în care cel mai mare beneficiu a fost bunăvoința conducerii universității, Laboratorul de Produse Forestiere, pe care autorul tezei îl conduce din 2007, a beneficiat de o serie întreagă de achiziții de aparatură de laborator și teren. Achizițiile de echipamente efectuate în ultimii 14 ani s-au cifrat la 251868 RON (Tabelul 24). Merită a fi menționat că echipamentul WinDENDRO pentru măsurarea inelelor anuale, o achiziție scumpă la vremea respectivă (2007), a fost folosit pentru prima dată în România. Aparatura achiziționată a fost întrebuințată în *totalitate* la formarea profesională a studenților, la lucrările practice și culegerea datelor pentru lucrările de absolvire (proiecte de diplomă și disertații la master) și unele lucrări de doctorat din departamentul la care autorul tezei activează.

Tabel 30. Aparatura achiziționată de Universitatea Transilvania la inițiativa autorului tezei

Echipament/instrument	Producător/ Valoare (RON)	Anul achiziției	Aplicații la care se adresează
1. Sistem WinDENDRO pentru măsurarea automată a inelelor anuale	Regent Instruments, Canada/58667	2007	1.1. Introducerea inelelor anuale în format digital; 1.2. Dendrocronologie; 1.3. Calimetrie.
2. Microscop fonic cu cameră foto digitală și examinare în câmp luminos și în contrast de fază	Carl Zeiss Instruments, Germania/15553	2006	2.1. Anatomia lemnului; 2.2. Identificarea lemnului.
3. Sterilizator	AMS, Italia/3950	2006	3.1. Uscarea la temperaturi înalte.
4. Microtom rotativ semiautomat	Histoline, Italia/26043	2007	4.1. Anatomia lemnului; 4.2. Identificarea lemnului; 4.3. Dendrocronologie.
5. Colorimetru portabil	Konica-Minolta, Japonia/28601	2007	5.1. Clasificarea calitativă a produselor din lemn; 5.2. Analiza calității produselor nelemnoase. 5.3. Identificarea lemnului.
6. Hipsometru electronic Vertex	Haglof, Suedia/4650	2007	6.1. Biometria arborilor; 6.2. Clasificarea calitativă a arborilor pe picior.
7. Termobalanță	Ohaus, Elveția/8340	2007	7.1. Determinarea umidității; 7.2. Determinarea densității convenționale.
8. Balanță tehnică	LaborSistem, Kern/11150	2008, 2017	8.1. Analize de laborator

9. Burghie de eșantionare pentru lemn	Haglof, Suedia/22774	2008, 2017	9.1. Dendrocronologie; 9.2. Studiul calității lemnului pe picior.
10. Clupe forestiere	Nestle/2470	2008	10.1. Biometria arborilor și defectelor.
11. Umidometru electronic	Merlin, Austria/337	2008	11.1. Determinarea umidității lemnului.
12. Umidometru	Merlin, Austria/1590	2016	12.1. Determinarea umidității lemnului.
13. Refractometre portabile	Alla, Franța/2000	2016	13.1. Studiul calității produselor nelemnoase.
14. Etuvă cu circulație forțată	Binder, Germania/4814	2016	14.1. Uscarea probelor și determinarea umidității.
15. Stereomicroscope didactice	Optica, Italia/22210	2016, 2017	15.1. Identificarea lemnului.
16. Cuptor de calcinare	Supertherm, Romania/3780	2017	16.1. Determinarea conținutului mineral al produselor.
17. Cameră digitală pentru microcop optic	Carl Zeiss Instruments, Germania/25000	2017	17.1. Anatomia lemnului; 17.2. Identificarea lemnului; 17.3. Dendrocronologie.
18. Balanță analitică	Ohaus, Elveția/3930	2017	18.1. Lucrări curente de laborator.
19. Balanță analitică portabilă	Kern, Germania/1322	2017	19.1. Lucrări curente de laborator.
20. Aparat pentru extracția uleiurilor volatile	Precisa, Romania/850	2017	20.1. Extracția uleiurilor volatile din plante medicinale și aromatice.
21. Durimetru mecanic cu stand pentru încercări	Sauter, Germania/2737	2018	21.1. Determinarea durității produselor din lemn.
22. Sonometru pentru lemn	Fakopp, Ungaria/1100	2019	22.1. Acustica lemnului; 22.2. Identificarea nedistructivă a defectelor interioare ale arborilor.

În afara echipamentelor, laboratorul a fost dotat cu instrumentar nou pentru determinări biochimice analitice, ghilotină pentru furnire, un frigider nou și aparate pentru obținerea unor produse nelemnoase (presă pentru fructe, presă de ulei ș.a.).

O preocupare importantă a autorului tezei a fost **înnoirea permanentă a colecției didactice** de eșantioane pentru studiul lemnului (epruvete, rondel, furnire, plăci, stratificate, pardoseli, compozite ș.a.) sau de produse nelemnoase (fructe de pădure, ciuperci și, mai ales plante medicinale, - care au fost conservate în cadrul laboratorului și pregătite pentru expunere la lucrările practice).

(5) ÎNDRUMAREA ȘTIINȚIFICĂ A STUDENȚILOR. Autorul tezei îndrumă *lucrări de finalizare a studiilor* (proiecte de diplomă și lucrări de disertație) începând cu anul universitar 2008-2009, adică imediat după dobândirea titlului de doctor. Topicul generos al disciplinelor pe care le conduce, reflectat și de tematica foarte diversă a lucrărilor de absolvire (studii de caz asupra calității resurselor și produselor lemnoase și nelemnoase, dendroecologie, acustica lemnului pe picior și doborât, dinamica conținutului în principii active ale resurselor forestiere ecosanogene, valorificarea superioară a resurselor forestiere vegetale prin prepararea de extracte

fitofarmaceutice ș.a.) a atras un număr mare de studenți și masteranzi (Figura 68). Astfel, în ultimii 11 ani autorul a condus un număr total de 152 lucrări de absolvire (99 proiecte de diplomă și 53 lucrări de disertație). În sesiunea de licență din iulie 2016, de pildă, autorul tezei a condus cele mai multe proiecte de diplomă din facultatea la care activează.

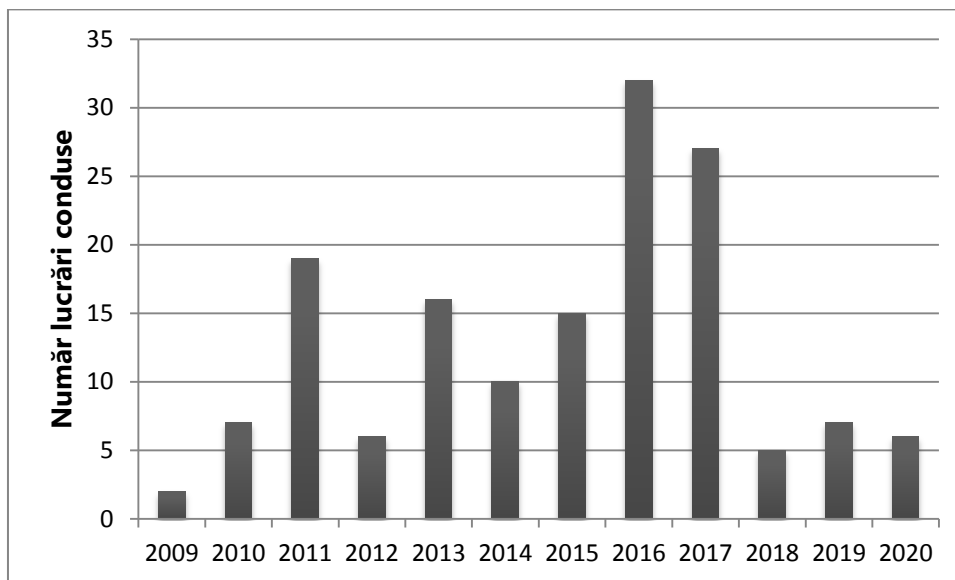


Figura 68. Evoluția frecvenței lucrărilor de absolvire îndrumate de autorul tezei

Sub îndrumarea autorului tezei o parte din studenții de la proiectul de diplomă și disertație și-au prezentat rezultatele cercetărilor proprii la sesiunile științifice studențești. În perioada postdoctorală autorul tezei a condus 15 lucrări prezentate la aceste sesiuni, dintre care cinci au fost premiate.

(6) Autorul a fost implicat în organizarea și desfășurarea concursurilor pentru burse studențești, asigurând materialul pentru probele practică și/sau contribuind cu subiecte proba teoretică. Aceste concursuri au fost pentru bursele Losan - ediția din 2010 (unica) - și bursele Holzindustrie Schweighofer - toate edițiile (Figura 69).



Figura 69. Instantaneu de la desfășurarea probei practice a concursului pentru bursele Holzindustrie Schweighofer, ediția 2014 (Dinulică 2014)

(7) COLABORAREA LA ÎNDRUMAREA UNOR DOCTORANZI. Odată cu decesul mentorului universitar, profesorul Eugen Beldeanu, autorul tezei a preluat, în 2010, „moștenirea” dânsului doctorală, adică nu mai puțin de 15 doctoranzi, care au trecut sub conducerea profesorilor Gheorghe Ignea și Valentina Ciobanu și, împreună cu care, a reușit să finalizeze patru teze de doctorat (Tabelul 31). Autorul a asistat activ și alți doi doctoranzi, îndrumați de profesorii Gheorghe Spârchez și Valentina Ciobanu. Contribuția autorului la conceperea acestor teze se referă la design-ul experimental (lucrări de teren și laborator), care îi aparține în cea mai mare parte, prelucrarea matematică a datelor experimentale și interpretarea rezultatelor. Din colaborarea cu doctoranzii profesorului Beldeanu au rezultat cinci lucrări ISI Thomson Reuters, iar altele sunt în lucru.

Tabel 31. Teze de doctorat asistate de conf.dr.ing. Florin Dinulică

Titlul tezei	Doctorand	Conducător științific	An finalizare
1. Cercetări privind caracteristicile lemnului de molid de rezonanță din bazinul râului Gurghiu (Ocoalele silvice Gurghiu și Fâncel) în corelație cu exigențele industriei instrumentelor muzicale	Cristian-Teofil Albu		2010
2. Cercetări privind caracterele structurale, defectele și proprietățile lemnului brut rotund de cer pus în valoare în pădurile din Țara Crișurilor	Bartha Szilard	prof.dr.ing. Gh. Ignea	2011
3. Cercetări privind contaminarea cu metale grele a unor produse forestiere nelemnoase de importanță sanogenă și economică, din jurul orașului Copșa Mică	Goji Gyoza		2012
4. Studiul calității lemnului de stejar și gorun destinat debitării furnirelor estetice	Ciprian Moroșanu	prof.dr.ing. V. Ciobanu	2012
5. Comportarea arboretelor de pin negru și pin silvestru instalate pe terenuri degradate din Subcarpații Buzăului	Ciprian Silvestru-Grigore	prof.dr.ing. Gh.Spârchez	2016

(8) MANAGEMENTUL DIDACTIC. Autorul tezei are în continuare unele responsabilități în managementul didactic al departamentului la care activează (Tabelul 32).

Tabel 32. Activități manageriale în responsabilitatea autorului tezei

Perioadă	Activități manageriale
2000-2002	Membru în biroul consiliului Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere
2004-2011	Secretar științific al Catedrei Exploatare Forestiere
2012-prezent	Coordonatorul programului de studii de licență Exploatare Forestiere

4.3 Activitatea de cercetare

(1) PROIECTE DE CERCETARE ÎN CARE A FOST IMPLICAT AUTORUL TEZEI. În perioada postdoctorală, autorul tezei a fost implicat în 5 proiecte de cercetare, în două dintre ele în calitate de director (Tabelul 33).

Tabel 33. Implicarea autorului tezei în cercetarea finanțată

Perioadă	Activități în proiecte de cercetare
2008-2009	Membru în colectivul de cercetare al proiectului BIOFOREPRO (Prelucrarea integrativă avansată a produselor forestiere nelemnoase), finanțat de Ministerul Educației, Cercetării și Tineretului, în cadrul programului Parteneriate în Domeniile Prioritare. Autorul tezei a dezvoltat metodologia eșantionajului pentru inventarierea și recoltarea resurselor cu potențial terapeutic și alimentar din fondul forestier.
2014-2015	Prestator servicii pentru proiectul Administrarea Sectorului Folosința Terenurilor, Schimbarea Folosinței Terenurilor și Silvicultură al INEGES (CRF Sector 4) în acord cu obligațiile sub Convenția Cadru a Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice și cu cele sub Protocolul de la Kyoto. Proiectul a fost finanțat de Ministerul Mediului și Schimbărilor Climatice. Autorul tezei a adaptat metodologia IPCC 2006 la condițiile de vegetație lemnoasă specifice țării noastre și a dezvoltat bazele de date în serii de timp servind estimării absorbției de gaze cu efect de seră în produsele lemnoase utilizate în România după 1961.
2015-2016	Responsabil în cadrul contractului cu RNP Romsilva RA: Studiu privind inventarierea stării obiectivelor de corectare a torenților din fondul forestier administrat de RNP-ROMSILVA și crearea unei baze de date pentru monitorizarea lucrărilor executate în acest scop.
2016	Membru în colectivul de cercetare al contractului de prestări servicii către RNP Romsilva RA: Managementul riscului la fasonarea arborilor și valorificarea superioară a lemnului. Autorul tezei a coordonat secțiunea proiectului dedicată sortării calitative a lemnului brut.
2018-2020	Responsabil al contractului de cercetare științifică, finanțat de Holzindustrie Schweighofer, intitulat: Estimarea abaterilor volumetrice rezultate din evaluarea masei lemnoase pe picior și evaluarea masei lemnoase după recoltarea arborilor la speciile molid și brad cu evidențierea consumurilor tehnologice pe operații specifice. Autorul tezei a contribuit la design-ul colectării datelor și a dirijat lucrările de teren.

(2) **DOMENII DE EXPERTIZĂ.** Activitățile desfășurate de autorul tezei circumscriu următoarele arii de competențe:

- ✓ evaluarea calității biomasei forestiere,
- ✓ sortarea lemnului brut,
- ✓ identificarea lemnului,
- ✓ dendrocronologie,
- ✓ utilizarea tehnicilor nedistructive de testare a materialului lemnos,
- ✓ operarea cu echipamente de microscopie optică, digitizare a structurii lemnului și colorimetrie,
- ✓ studii de impact asupra calității produselor.

Autorul tezei este, din 2013, expert tehnic în Comitetul național de standardizare ASRO CT 118 Lemn și produse finite și semifinite din lemn, mașini și utilaje pentru prelucrarea lemnului, calitate în care a participat la **elaborarea următoarelor standarde:**

SR EN 1316-1: 2013 - Lemn rotund de foioase. Clasificare calitativă. Partea 1: Stejar și fag;

SR EN 1316-2: 2013 - Lemn rotund de foioase. Clasificare calitativă. Partea 2: Plop;

SR 13569: 2014 - Lemn rotund și alte sortimente de material lemnos. Metode de măsurare;

SR 7149: 2014 - Lemn pentru plăci de aşchii de lemn şi plăci de fibre de lemn;

SR EN 326-2+A1: 2014 - Plăci pe bază de lemn. Eşantionare, fabricare şi controlul calităţii. Partea a 2-a: Încercare iniţială de tip şi controlul producţiei;

SR CEN/TS 14966: 2018 - Plăci pe bază de lemn: Metode de încercare pe epruvete de dimensiuni mici pentru unele proprietăţi mecanice;

SR EN 14354: 2018 - Plăci pe bază de lemn: Pardoseală furniruită;

SR 770: 2020 - Mobilier de lemn. Cerinţe de calitate.

(3) **AFILIEREA LA ASOCIAȚII ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE.** Autorul tezei este membru al Asociației Internaționale a Anatomiștilor Lemnului (IAWA), a Societății Române de Etnofarmacologie și a societății Progresul Silvic

(4) **RECUNOAȘTEREA ACTIVITĂȚII PROFESIONALE.** Autorul tezei este laureat al premiului Constantin D. Chiriță din 2013, acordat de Academia de Științe Agricole și Silvice pentru monografia „Lemnul de compresiune de la brad” publicată în 2012 la Editura Ceres (Figura 70).



Figura 70. Diploma premiului Constantin D. Chiriță decernat autorului tezei

Capitol 5. Planul de dezvoltare a carierei

5.1 Direcții de dezvoltare didactică

În plan didactic, autorul tezei țintește, în viitorul apropiat, următoarele obiective previzibile:

- orientarea temelor lucrărilor de absolvire către teme de cercetare care să rezolve necesități din producție
- implicarea mai activă a studenților în lucrări de cercetare, în cadrul cercului de profil de la disciplina Produse forestiere și cu prilejul elaborării lucrărilor de absolvire;
- continuarea achizițiilor de instrumentar/aparatură de laborator și teren dedicate rezolvării acestor teme;
- îmbunătățirea funcționării programului de studii Exploatare forestiere (pe care îl coordonează din 2012);
- clasificarea materialului pentru viitoarea xilotecă a facultății și amenajarea spațiului de depozitare/expunere a ei (Figura 71).

Una din preocupările care i-a fost inoculată autorului tezei de mentorul său (profesorul Eugen Beldeanu) este realizarea unei *xiloteci* profesioniste. Aceasta va pune la dispoziția studenților, doctoranzilor și cercetătorilor o colecție cât se poate de completă de specii lemnoase. A fost și rămâne un efort personal perseverent de **a completa colecția cu specii și produse noi**.



Figura 71. Mostre de lemn exotic din colecția fostului INL care au intrat în xiloteca disciplinei Produse Forestiere cu sprijinul Decanului Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov și a colegului șef lucr.dr.ing. Florin Hălălișan (foto: Florin Dinulică)

5.2 Direcții de dezvoltare științifică

Autorul tezei intenționează dezvoltarea principalelor direcții tematice de cercetare pe care le urmează începând din 2009, cu diversificarea abordării și extinderea speciilor (Tabelul 34). Diversitatea temelor și dificultățile metodologice pe care le implică investigațiile fac necesară abordarea lor în colective de cercetare în care vor fi implicați viitorii doctoranzi și colegi din învățământ și cercetare.

Tabel 34. Direcțiile de cercetare care vor fi abordate de autor în viitorul apropiat

Direcții de cercetare	Teme/subiecte de cercetare
1. Acustica lemnului pe picior	1.1 Portretul biometric al paltinului de rezonanță 1.2 Proprietățile acustice ale lemnului foioaselor prețioase 1.3 Identificarea defectelor interioare cu mijloace acustice 1.4 Clasificarea calitativă nedistructivă a arborilor pe picior
2. Dendrocronologie	2.1 Studiul dendrocronologic al laricelui din centrele de răspândire naturală 2.2 Dendroclimatologia anomaliilor de structură a lemnului
3. Proprietățile fizice ale lemnului brut	3.1 Masa specifică/densitatea lemnului brut la diferite intervale de timp de la recoltare
4. Defectologia lemnului	4.1 Identificarea factorilor de variație a incidenței defectelor la lemnul speciilor de interes economic în România
5. Comportarea produselor lemnoase pe durata de serviciu	5.1 Degradarea fotochimică a furnirelor estetice
6. Ecologia ciupercilor	6.1 Elaborarea fișelor ecologice pentru principalele ciuperci de interes gastronomic și medicinal din fondul forestier al țării
7. Siguranța alimentară	7.1 Gradul de contaminare cu metale grele a produselor de interes ecosanogen din pădurile României

5.3 Activitatea publicistică

Autorul tezei își propune să valorifice rezultatele cercetărilor pe care le desfășoară/le va desfășura prin: *i*) diseminarea în articole redactate în limbi de circulație internațională (Tabelul 35), *ii*) popularizarea în rândul personalului silvic și *iii*) publicarea câtorva monografii (Tabelul 36).

Realizarea unei monografii de autor unic este, astăzi, o întreprindere aproape imposibilă, având în vedere volumul imens de literatură și conexiunile pe care aceasta le dezvăluie, care impun o doză tot mai mare de interdisciplinaritate. Autorul tezei are în lucru, de aproape 10 ani, un compendiu dedicat defectelor lemnului și intenționează publicarea la Spriger a unei monografii dedicate lemnului de rezonanță din Carpați (Tabelul 36).

Tabel 35. Articole în lucru ale autorului tezei destinate unor jurnale Web of Science, în ordinea în care se intenționează expedierea lor

Titlul provizoriu	Status la 1.07.2020
1. Incidența gelivurii la cer în ceretele din vestul României	Lucrările de teren 100 %; Prelucrarea matematică a datelor 15 %; Documentarea 60 %
2. Receptivitatea climatică a pinului silvestrului și pinului negru pe terenuri degradate	Lucrările de teren 100 %; Prelucrarea matematică a datelor 50 %; Documentarea 70 %; Elaborarea manuscrisului: 15 %
3. Serii dendrocronologice de la laricele natural din Carpații românești	Lucrările de teren 100 %; Prelucrarea matematică a datelor 10 %; Documentarea 20 %
4. Încărcarea cu metale grele neesențiale a unor bioresurse ecosanogene valorificabile care fac obiectul unei poluări remanente	Lucrările de teren 100 %; Prelucrarea matematică a datelor 80 %; Documentarea 50 %
5. Bioacumularea unor micronutrienți în specii vegetale din ecosisteme reconstruite ecologic din zone poluate istoric din România	Lucrările de teren 100 %; Prelucrarea matematică a datelor 80 %; Documentarea 50 %

Tabel 36. Proiectele editoriale ale autorului tezei pe termen scurt-mediu, în ordinea în care se intenționează materializarea lor

Titlul provizoriu	Gradul de realizare la 1.07.2020
1. Defectele lemnului	75 %
2. The Carpathian resonance spruce	15 %
3. Fructele de pădure	20 %

(B-iii) Bibliografie

1. Akitsu H, Norimoto M, Morooka T, Rowell RM (1993). Effect of humidity on vibrational properties of chemically modified wood. *Wood Fiber Sci* 25(3), 250–260.
2. Albu CT (2010). Cercetări privind caracteristicile lemnului de molid de rezonanță din bazinul râului Gurghiu (Ocoalele silvice Gurghiu și Fâncel) în corelație cu exigențele industriei instrumentelor muzicale. Teză de doctorat, Universitatea Transilvania, Brașov, 365 p.
3. Albu CT, **Dinulică F** (2014). Randamentul la debitarea lemnului de rezonanță în semifabricate pentru instrumente muzicale. *Revista pădurilor* 129(3-4), 14-24.
4. Albu CT, **Dinulică F**, Bartha S, Vasilescu MM, Tereșneu CC, Vlad IA (2020). Musical instrument lumber recovery from Romanian resonance spruces. *Bioresources* 15(1), 967-986.
5. Arganașvili LN (1988). Folosirea rațională a lemnului de rezonanță (în rusă). *Лесное хозяйство* 10, 54-56.
6. Argus (2020). PiCUS Sonic Tomograph. Disponibil la: <https://www.argus-electronic.de/en/tree-inspection/products/picus-sonic-tomograph> – accesat în 14.07.2020.
7. ASRO (1993). SR 1294: Lemnul rotund de rășinoase pentru industrializare. Institutul Român de Standardizare, București, 6 p.
8. Badea M (1965). În problema gospodăririi pădurilor cu lemn de rezonanță. *Revista pădurilor* 80(7), 358-361.
9. Barducci I, Pasqualini G (1948). Misura dell'attrito interno e delle costanti elastiche del legno. *Nuovo Cim* 5, 416–446.
10. Barlow CY (1997). Materials selection for musical instruments. *Proc Inst Acoust* 19, 69-78.
11. Beldean EC, Pescăruș P (1996). Research on the acoustic quality classes of resonance spruce wood of Romania. În: Sandoz JL (ed.): *Proceedings of the 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood*, Laussane, august 26-28, 1996, pp. 43-52.
12. Beldeanu EC (1999). Produse forestiere și studiul lemnului. Ed. Universității Transilvania, Brașov, pp. 324-340.
13. Beldeanu EC (2006). Cercetări privind lungimea traheidelor axiale la arborii de molid de rezonanță. *Revista pădurilor* 121(2), 9-13.
14. Benea V, Enescu V, Enescu Val, Spîrchez Z, Lăzărescu C (1960). Cercetări privind stabilitatea criteriilor de alegere a arboretelor valoroase pentru rezervații de semințe la stejar (*Quercus robur* L.), gorun (*Quercus petraea* Liebl.) și molid (*Picea excelsa* Link.). *Ann For Res* 21(1), 76-100.

15. Bentz P, Schoen B (1981). Coeficientul de zveltețe critic după rupturile de zăpadă (în germană). *Allgemeine Forstzeitung* 12, 425-427 (recenzie în *Revista pădurilor* 2/1982).
16. Bernabei, M Bontadi, J (2011). Determining the resonance wood provenance of stringed instruments from the Cherubini Conservatory Collection in Florence, Italy. *J Cult Herit* 12, 196-204.
17. Bianu V (1957). *Vioara*. Ed. Tehnică, București, 195 p.
18. Bolea VV, Popescu NE, Surdu A, Mandai M (1996). Ecological significances of nutrition biodiversity in Norway spruce. 1 Chemical composition of needles in relation to soil, branching, bark colour and health condition of the tree. *Revista de Silvicultură și Cinegetică* 1, 9-17.
19. Bonamini G, Chiesa V, Uzielli L (1991). Anatomical features and anisotropy in spruce wood with indented rings. *J Acoust Soc Am* 1(8), 12-16.
20. Bonamini G, Uzielli L (1998). Un semplice metodo non distruttivo per risonoscere in bosco gli abeti rossi cosiddetti „di risonanza”. *Monti e Boschi* 6, 50-53.
21. Borovikov AM (1968). Influența densității și umidității asupra vitezei de propagare a oscilațiilor ultrasonore în lemnul de pin (în rusă). *Lesnoy journal* 5, 106-109.
22. Bouriaud O, Leban J-M, Bert D, Deleuze C (2005). Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiol* 25, 651–660.
23. Bouvarel P (1954). Variabilité de l'Épicéa (*Picea excelsa* Link.) dans le Jura Français. Répartition et caractères des divers types. *Rev For Fr* 6(2), 85-98.
24. Brancheriau L, Kouchade C, Brémaud (2010). Internal friction measurement of tropical species by various acoustic methods. *J Wood Sci* 56, 371–379.
25. Brémaud I (2006). Diversité des bois utilisés ou utilisable en facture d'instruments de musique. Teză de doctorat. Universitatea Montpellier II, pp. 179-252.
26. Brémaud I (2012a). Acoustical properties of wood in string instruments soundboards and tuned idiophones: Biological and cultural diversity. *J Acoust Soc Am* 131, 807-818.
27. Brémaud I (2012b). What do we know on resonance wood properties? Selective review and ongoing research. În: *Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference*, Nantes, pp. 2760-2764.
28. Brémaud I, El Kaïm Y, Giubal D, Minato K, Thibaut B, Gril J (2012). Characterisation and categorisation of the diversity in viscoelastic vibrational properties between 98 wood types. *Ann For Sci* 69(3), 373-386.
29. Brown MB, Forsythe AB (1974). Robust tests for the equality of variances. *J Am Stat Assoc* 69, 364-367.

30. Bucur V (1976). Proprietățile acustice ale lemnului de rezonanță utilizate în luterie. *Industria Lemnului* 27(1), 23-29.
31. Bucur V (1980). Anatomical structure and some acoustical properties of resonance wood. *Catgut Acoustical Society Newsletter* 33(1), 24-29.
32. Bucur V (1983). Vers une appréciation objective des propriétés des bois du violon. *Rev For Fr* 32(2), 130-137.
33. Bucur V (1997). Les propriétés acoustique du bois pour violons. Papier invité à AEL (European Association of violin and bow makers) congress, Siena, Italia, 9-12.10.1997, 7 p.
34. Bucur V (2002). Le proprieta acustiche et elastiche di legno di risonanza in rapporto con la sua struttura. În: *Atti del Convegno Predazzo 10, 11 Settembre 1998 e ulteriori contributi. Ufficio Forestale Domaniali di Cavalese e Primiero*, pp. 83-91.
35. Bucur (2003a). Techniques for high resolution imaging of wood structure: A review. *Meas Sci Technol* R91-98.
36. Bucur V (2003b). *Nondestructive characterization and imaging of wood*. Springer Science & Business Media, 354 p.
37. Bucur V (2006). *Acoustics of wood*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 393 p.
38. Bucur V, Ghelmeziu N (1977). Influența solicitărilor statice și dinamice de lungă durată asupra proprietăților acustice ale lemnului de rezonanță. *Industria Lemnului* 28(4), 171-180.
39. Bucur V, Clément A, Bitsch M, Houssement C (1999). Acoustic properties of resonance wood and distribution of inorganic components of the cell wall. *Eur J Wood Wood Prod* 57, 103-104.
40. Budeanu M, Șofletea N, Pârnuță G (2012). Testing Romanian seed sources of Norway spruce (*Picea abies*): results on growth traits and survival at age 30. *Ann For Res* 55(1), 43-52.
41. Buen A (2008). Thickness mapping. Disponibil la:
<https://maestronet.com/forum/index.php?/topic/318970-thickness-mapping/> - accesat în 16.03.2020.
42. Buksnowitz C, Teischinger A, Müller U, Pahler A, Evans R (2007). Resonance wood [*Picea abies* (L.) Karst.] – evaluation and prediction of violin makers' quality-grading. *J Acoust Soc Am* 121(4), 2384-2395.
43. Burckle L, Grissino-Mayer HD (2003). Stradivari, violins, tree rings, and the Maunder Minimum: A hypothesis. *Dendrochronologia* 21, 41-45.
44. Burger H (1953). Holz, blattmenge und zuwachs fichten im gleichalterigen hochwald. *Mitteilungen der Schweizerischen Austalt für Forstliche Versuchswesen* 29(1), 86-108.

45. Caldersmith G, Freeman E (1990). Wood properties from sample plate measurements I. CASJ 1(5), 8-12.
46. Cameron JF, Berry PF, Phillips EWJ (1959). The determination of wood density using beta rays. *Holzforschung* 13(3), 78-84.
47. Chang S, Olson J, Wang P (1989). NMR imaging of internal features in wood. *For Prod J* 39, 43-49.
48. Changsheng L, Jianfeng S, Yongfang X, Colin F, Houllier F (1998). Crown morphology of Norway spruce from usual tree measurements. *J For Res* 9(1), 8-12.
49. Chuang S-T, Wang S-Y (2001). Evaluation of standing tree quality of Japanese cedar grown with different spacing using stress-wave and ultrasonic-wave methods. *J Wood Sci* 47, 245-253.
50. Constantinescu N (1965). Importanța molidului de rezonanță pentru mărirea rezistenței molidușurilor la doborâturi de vânt. *Revista pădurilor* 80(1), 8-13.
51. Corriveau A, Beaulieu J, Daoust G (1991). Heritability and genetic correlations of wood characters of Upper Ottawa Valley white spruce populations grown in Quebec. *The Forestry Chronicle* 67, 698-705.
52. Costin M (1964). *Vioara, maeștrii și arta ei*. Ed. Muzicală, București, 206 p.
53. Cotta N-L (1978). *Tehnologia fabricării produselor finite din lemn*. Reprografia Universității din Brașov, 256 p.
54. Cown DJ (2006). Wood quality in standing timber - evolution of assessment methods in plantations. În: Kurjatko S, Kúdela J, LagaňaR (eds.): *Proceedings of the 5th IUFRO Symposium "Wood Structure and Properties'06"*. 3-6.09.2006, Sliac—Sielnica, Slovakia.
55. Cown DJ, Clement BC (1983). A wood densitometer using direct scanning with X-rays. *Wood Sci Technol* 17, 91-99.
56. Darnton M. (2009). *Violin making*. Disponibil la: <http://darntonviolins.com> - vizitat la 12.09.2009.
57. Dickmann DI (1985). The ideotype concept to forest trees. În: Cannel MGR, Jackson JE (ed.): *Attributes of trees as crop plants*. Monks Wood, Abbots Ripton, pp.89-101.
58. Dima I, Vasiliu G, Ciobotaru D, Muscalu Ș (1972). *Dicționar de fizică*. Ed. Enciclopedică Română, București, 501 p.
59. **Dinulică F** (2008). Estimarea calității lemnului pe picior. Metode de teren și laborator. Ghid elaborat în cadrul proiectului 64/1.10.2007 „Caractere ale structurii macroscopice a lemnului brut rotund pus în valoare la exploatarea pădurilor, mijloc de estimare a calității acestuia”, 48 p.

60. **Dinulică F** (2012). Lemnul de compresiune la brad. Ed. Ceres, București, 296 p. / ISBN 978-973-40-0981-7.
61. **Dinulică F** (2014). Raport de evaluare a programului de studii Exploatare Forestiere pentru anul universitar 2013-2014. Universitatea Transilvania, Brașov, 11 p.
62. **Dinulică F** (2018). Produse forestiere. Centrul de Învățământ la Distanță și Învățământ cu Frecvență Redusă, Universitatea Transilvania, Brașov, 138 p.
63. **Dinulică F** (2020). Lemnul de rezonanță din Carpați. O introducere în acustica lemnului pentru sunet. Ed. Universității Transilvania, Brașov, 136 p. / ISBN 978-606-19-1278-0.
64. **Dinulică F**, Borz SA, Hălălișan AF (2012). Building a chronology from compression wood yearly records: some methodological coordinates. BUT Series II - Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering 5 (54), 21-28.
65. **Dinulică F**, Albu CT, Borz SA, Vasilescu MM, Petritan IC (2015a). Specific structural indexes for resonance Norway spruce wood used for violin manufacturing. Bioresources 10, 7525-7543.
66. **Dinulică F**, Albu CT, Zdrob GS (2015b). Ce știm și cât știm cu privire la determinismul molidului de rezonanță?. Revista pădurilor 130(5-6), 23-40.
67. **Dinulică F**, Albu CT, Vasilescu MM, Stanciu MD (2019). Bark features for identifying resonance spruce standing timber. Forests 10(9):799.
68. Dinwoodie JM (2000). Timber: its nature and behaviour. ed. 2, E&FN SPON, Londra, 257 p.
69. Divós F, Szegedi S, Raics P (1996). Local densitometry of wood by gamma back-scattering. Eur J Wood Wood Prod 54, 279–281.
70. Domont P (2000). Mise en valeur des bois de résonance en Suisse. Zurich: Rapport final projet no. 5.162 Disponibil la:
http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/verarbeitung/wsl_klangholz/wsl_klangholz_rapport_final.pdf. – accesat în 29.02.2016.
71. Dumitrescu P (1969). Rupturi și doborâturi de zăpadă în ocolul silvic Gurghiu. Revista pădurilor 84(5), 228-231.
72. Dumitriu-Tătăranu I, Ghelmeziu N, Florescu I, Moș V, Milea I, Tocan M (1983). Estimarea calității lemnului prin metoda carotelor de sondaj. Ed. Tehnică, București, 348 p.
73. Dvorak V, Oplustilova M, Janous D (1996). Relation between leaf biomass and annual ring sapwood of Norway spruce according to the needle age-class. Can J For Res 26(10), 1822-1827.
74. Ege K (2009). The piano soundboard – Modal studies in the low- and mid-frequency ranges. Teză de doctorat, École Polytechnique, Palaiseau, France, pp.5-12

75. Everest FA (2001). The master handbook of acoustics. Ed. 4. McGraw Hill, New York, 641 p.
76. Evertsen JA (1980). Mailing list of densitometry laboratories. Wood Densit Bull 1(1), 11-13.
77. Fabisiak E, Mania P (2016). Variation in the microfibril angles in resonance and non-resonance spruce wood (*Picea abies* [L.] Karst.). Bioresources 11(4), 8496-8508.
78. Fakopp (2019). FAKOPP Microsecond Timer: user's guide. Fakopp Enterprise, 15 p.
79. Fan, Z-X (2009). Environmental and Climatic History during the Past Centuries in the Hengduan Mountains (Southwest China) Derived From Tree Rings. Teză de doctorat. Universitatea Friedrich-Alexander, Nürnberg, 157 p. Disponibil la:
https://www.researchgate.net/publication/305808798_Environmental_and_Climatic_History_during_the_Past_Centuries_in_the_Hengduan_Mountains_Southwest_China_Derived_From_Tree_Rings – accesat în 04.07.2020.
80. Fedyukov VI, Saldaeva EY, Chernova MS, Chernov VY (2017). Cone morphology as a diagnostic attribute of resonant properties of standing spruce wood. Drvna Industrija 68(4), 333-340.
81. Fedyukov VI, Saldaeva EY, Chernova MS, Chernov VY (2018). Biomorphology of spruce trees as a diagnostic attribute for non-destructive selection of resonant wood in a forest. South-east Eur For 9(2):147-153.
82. Filipovici J (1965). Studiul lemnului. vol. 2. EDP, București, pp. 207-222.
83. FPL (1999). Wood handbook. Wood as an engineering material. Gen Tech Rep FPL-GTR-113, USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, 463 p.
84. Gao S Wang X, Wiemann M, Brashaw B, Ross R, Wang L (2017). A critical analysis of methods for rapid and nondestructive determination of wood density in standing trees. Ann For Sci 74: 10.1007/s13595-017-0623-4.
85. Geambașu N (1995). Cercetări privind gospodărirea arboretelor de molid de rezonanță și claviatură. Ed. Tehnică Silvică, București, 183 p.
86. Geambașu N (2001). Cercetări privind mediul biotic de dezvoltare al molidului de rezonanță. Revista pădurilor 116(6), 27-31.
87. Gerhards CC (1982). Effect of knots on stress waves in lumber. Res Pap FPL-384, USDA, Forest Service, Madison, 28 p.
88. Ghelmeziu N (1961). Îmbunătățirea calității instrumentelor muzicale. Industria Lemnului 9, 332-340.
89. Ghelmeziu N, Beldie IP (1970). Despre caracteristicile lemnului de rezonanță de molid. BUT 12(1), 315-326.

90. Gilbert EA, Smiley ET (2004). Pcus sonic tomography for the quantification of decay in white oak (*Quercus alba*) and hickory (*Carya spp.*). *J Arboric* 30(5), 277-281.
91. Gindl W, Teischinger A, Schwanninger M, Hinterstoisser B (2001). The relationship between near infrared spectra of radial wood surfaces and wood mechanical properties. *J Near Infrared Spec* 9, 255-261.
92. Gliga VG (2020). Gliga – instrumente muzicale. Disponibil la: <http://gliga.ro/> - accesat în 17.03.2020.
93. Gliga VG, Stanciu MD, Năstac SM, Dinulică F, Campean M (2019) Study concerning the natural frequency and damping factor of the top and back plate for different types of violins. *Pro Ligno* 15(4), 67-74.
94. Godet J-D (2012). Guide des écorces des arbres d'Europe. Reconnaître et comparer les espèces. Delachaux et Niestlé, Paris, pp.36-37.
95. Grabianowski M, Manley B, Walker JCF (2006). Acoustic measurements on standing trees, logs and green lumber. *Wood Sci Technol* 40, 205-216.
96. Grapini V, Constantinescu N (1968). Molidul de rezonanță. Institutul de Cercetări Forestiere, București, 19 p.
97. Habermehl A, Ridder H-W, Seidl P (1999). Computerized tomographic systems as tools for diagnosing urban tree health. *Acta Horti* 496, 261-268.
98. Haines DW (1979). On musical instruments wood. *Catgut Acoustical Society Newsletter* 31(1), 23-32.
99. Haring P, Iuga M (1970). Cercetări privind rupturile de zăpadă din arboretele de molid din Munții Maramureșului. *Ann For Res* 27, 479-500.
100. Hasegawa M, Takata M, Matsumura J, Oda K (2011). Effect of wood properties on within-tree variation in ultrasonic wave velocity in softwood. *Ultrasonics* 51(3), 296-302.
101. Hearmon R (2002). The influence of shear and rotatory inertia on the free flexural vibration of wooden beams. *Br J App Phys* 9, 381-388.
102. Helmholtz von H (1912). On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music. 4ed., Longmans Green & Co, London New York Bombay Calcutta, 575 p. Disponibil la: http://books.google.com/books?id=x_A5AAAAIAAJ&oe=UTF-8 - accesat în 17.03.2020.
103. Holz von D (1967). Untersuchungen an Resonanzholz. 3: Über die gleichzeitige Bestimmung des dynamischen Elastizitätsmodulus und der Dämpfung an Holzstäben im hörbaren Frequenzbereich. *Holztechnologie* 8(4), 221-224.

104. Holz von D (1973). Untersuchungen an Resonanzholz. 5: Über bedeutsame eigenschaften nativer nadel- und laubhölzer im hinblick auf mechanische und akustische parameter von piano-resonanzböden. *Holztechnologie* 14(4), 195-202.
105. Holz von D, Schmidt J (1968). Untersuchungen an Resonanzholz. 3: Über die gleichzeitige Bestimmung des dynamischen Elastizitätsmodulus und der Dämpfung an Holzstäben im hörbaren Frequenzbereich. *Holztechnologie* 9(4), 225-229.
106. Hori R, Müller M, Watanabe U, Lichtenegger HC, Fratzl P, Sugiyama J (2002). The importance of seasonal differences in the cellulose microfibril angle in softwoods in determining acoustic properties. *J Mat Sci* 37, 4279-4284.
107. Horodnic SA (1999). Considerații asupra unei noi metode de determinare a densității aparente convenționale a lemnului. În: *Lucrările sesiunii științifice jubiliare „Pădurea românească în pragul mileniului 3”*. Ed. Universității Transilvania, Brașov, pp. 195-200.
108. Hunt RWG (1998). *Measuring colour*, 3rd ed.; Fountain Press, Kingston-upon-Thames, U.K., 153 p.
109. Hutchins CM (1978). Wood for violins. *Catgut Acoust Soc Newsl* 29, 14-18
110. Hyperphysic (2020). Violin resonance. Disponibil la: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Music/viores.html#c2>, accesat în 7.07.2020.
111. Iablokoff A-K (1963). *Épicéa. Influence des facteurs écologiques sur les propriétés mécaniques des bois*. 5ed. Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, Paris, 73 p.
112. Ille R (1975). Eigenschaften und Verarbeitung von Fichtenresonanzholz für Meistergeigen [Properties and processing of spruce resonance wood for violins]. *Holztechnologie* 15(2), 95-101.
113. Jahnke L, Lawrence D (1965). Influence of photosynthetic crown structure on potential productivity of vegetation, based primarily on mathematical models. *Ecology* 46, 319-326.
114. Józefaciukowa W, Ubysz-Borucka L (1972). Variation in habit forms of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) on the area of Poland. *Silvae Genet* 21, 9-17.
115. Kaufmann MR, Troendle CA (1981). The relationship of leaf area and foliage biomass to sapwood conducting area in four subalpine forest tree species. *For Sci* 27(3), 477-482.
116. Kawamoto S, Williams RS (2002). Acoustic emission and acousto-ultrasonic techniques for wood and wood-based composites – A review. Gen Tech Rep FPL-GTR-134, USDA, Forest Service, Madison, 16 p.
117. Keith CT (1969). Resin content of red pine wood and its effect on specific gravity determinations. *For Chron* 45, 338-343.

118. Keller R, Thiercelin F (1984). L'élagage des plantations d'épicéa commun et de Douglas. Rev For Fr 24(4), 289-302.
119. Keylwerth R (1954). A contribution to qualitative increment analysis. Eur J Wood Wood Prod 12, 77-83.
120. King JN, Yeh FC, Heaman JC, Dancik BP (1992). Selection of crown form traits in controlled crosses of coastal Douglas-fir. Silvae Genet 41(6), 362-370.
121. Köstner B, Falge E, Tenhunen JD (2002). Age-related effects on leaf area/sapwood area relationship, canopy transpiration and carbon gain of Norway spruce stands (*Picea abies*) in the Fichtelgebirge, Germany. Tree Physiol 22, 567-574.
122. Koutsianitis D, Barboutis I (2017). Application of high frequency densitometry to determine wood density and ring width of beech trees. Pro Ligno 13(4), 78-83.
123. Krajnc L, Harte AM, Farrelly N (2019). The influence of crown and stem characteristics on timber quality in softwoods. For Ecol Manag 435, 8-17.
124. Krzysik F (1968). Probleme der Klangholzsortierung und Klangholzverwendung. Holzindustrie 1, 3-7.
125. Kučera B (1994). A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in Norway spruce. Wood Fiber Sci 26(1), 152-167.
126. Kuuluvainen T (1988). Crown architecture and stemwood production in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Tree Physiol 4(4), 337-346.
127. Kuprevicius A, Auty D, Achim A, Caspersen JP (2013). Quantifying the influence of live crown ratio on the mechanical properties of clear wood. Forestry 86, 361-369.
128. Lachenbruch B, Johnson R, Downes G, Evans R (2010). Relationships of density, microfibril angle, and sound velocity with stiffness and strength in mature wood of Douglas-fir. Can J For Res 40, 55-64.
129. Larocque GR, Marshall PL (1995). Wood relative density development in red pine (*Pinus resinosa* Ait.) stands as affected by different initial spacing. Forest Sci 41, 709-728.
130. Larson PR, Kretschmann DE, Clark III A, Isebrands JG (2001). Formation and properties of juvenile wood in southern pines - A synopsis. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-129. USDA Forest Service, Madison, 42 p.
131. Legg M, Bradley S (2016). Measurement of stiffness of standing trees and felled logs using acoustics: A review. J Acoust Soc Amer 139, 588-604.
132. Lepistö M (1985). The inheritance of pendula spruce and utilization of narrow-crowned type in spruce breeding (în finlandeză). The Foudation for Forest Tree Breeding, Information 1, 1-8.

133. Lottermoser W (1958). Das ausgleichverhalten von geigen und seine beziehung zu der rezonanzkurve. *Acustica* 8(2), 91-98.
134. Lundström T, Heiz U, Stoffel M, Stoeckli V (2007). Fresh-wood bending: Linking the mechanical and growth properties of a Norway spruce stem. *Tree physiol* 27, 1229-1241.
135. Macareva TA (1968). The influence of various factors on the radiation ratio of resonance wood (în rusă). *Деревообрабатывающая промышленность* 10, 14-15.
136. Maestronet.com (2016). Norway Spruce: wood properties and map of Romania. Disponibil la: <https://maestronet.com/forum/index.php?/topic/334039-norway-spruce-wood-properties-and-map-of-romania/> - accesat în 01.02.2016.
137. Malan FS, Marais PG (1992). Some notes on the direct gamma ray densitometry of wood. *Holzforschung* 46(2), 91-97.
138. Mattheck C, Kubler H (1997). *Wood: The internal optimization of trees*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 129 p.
139. McDowell N, Barnard H, Bond BJ, Hinckley T, Hubbard RM, Ishii H, Köstner B, Magnani F, Marshall JD, Meinzer FC, Phillips N, Ryan MG, Whitehead D (2002). The relationship between tree height and leaf area: sapwood area ratio. *Oecologia* 132(1), 12-20.
140. McMusic.ro (2020). Clasificarea instrumentelor muzicale – denuimiri și tipuri. Disponibil la: <https://blog.mcmusic.ro/2020/01/08/clasificarea-instrumentelor-muzicale-denumiri-si-tipuri/> - accesat în 11.03.2020.
141. Megraw R, Bremer D, Leaf G, Roers J (1999). Stiffness in loblolly pine as a function of ring position and height, and its relationship to microfibril angle and specific gravity. *Proceedings of the Third Workshop Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software, IUFRO WP S5.01-04, La Londe-Les-Maures, 5-12 sept. 1999*, pp. 341-349.
142. Meinel H (1957). Regarding the sound quality of violins and a scientific basis for violin construction. *J Acoust Soc Amer* 29(7), 817-822.
143. Mencuccini M, Grace J, Fioravanti M (1997). Biomechanical and hydraulic determinants of tree structure in Scots pine: anatomical characteristics. *Tree Physiol* 17(2), 105–113.
144. Merela M, Oven P, Sepe A et al. (2005). Three-dimensional in vivo magnetic resonance microscopy of beech (*Fagus sylvatica* L.) wood. *MAGMA* 18, 171–174.
145. Meyer HG (1995). A practical approach to the choice of tone wood for the instruments of the violin family. *Catgut Acoust Soc J* 2(7):9-13.
146. Mihai G (2002). Cercetări de proveniențe de molid (*Picea abies* (L.) Karst.) în culturi comparative multistaționale. Teză de doctorat, Universitatea Transilvania, Brașov, 287 p.

147. Mothe F, Duchanois G, Zannier B, Leban J-M (1998). Analyse microdensitométrique appliquée au bois: méthode de traitement des données utilisées à l'Inra-ERQB (programme Cerd). *Ann Sci For* 55, 301-313.
148. Müller W (1969). Resonance wood from Slovenia (în slovenă). *HolzKurier* 24, 6-7 (recenzie în *Revista pădurilor* 2/1973).
149. Nepveau G, Blachon J-L (1989). Largeur de cerne et aptitude à l'usage en structure de quelques conifères: Douglas, Pin sylvestre, Pin maritime, Épicéa de Sitka, Épicéa commun, Sapin pectiné. *Rev For Fr* 6, 497-506.
150. Nicolescu NV (2014). *Silvicultură II: Silvotehnica*. Aldus, Braşov, pp. 94-103.
151. Niţu C, Răiescu V, Creangă I (1984). Cercetări privind comportarea provenienţelor de molid testate în diferite condiţii staţionale. I.C.A.S, Bucureşti, 36 p.
152. Nocetti M, Romagnoli M (2008). Seasonal cambial activity of scruce (*Picea abies* Karst.) with indented rings in the Paneveggio forest (Trento, Italy). *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 50(2), 27-34.
153. Norimoto M, Ono T, Watanabe Y (1983). Selection of wood used for piano soundboards. *Journal of Society of Rheology of Japan* 9(9), 115-119.
154. Obataya E, Ono T, Norimoto M (2000). Vibrational properties of wood along the grain. *J Mater Sci* 35, 2993–3001.
155. ONF (1996). *Sylviculture de l'Epicéa commun*. Bulletin Technique 31, 43-51.
156. Ono T, Morimoto M (1985). Anisotropy of Dynamic Young's Modulus and Internal Friction in Wood. *Jpn J Appl Phys* 24(8), 960-964.
157. Oren R, Werk KS, Schulze E-D (1986). Relationship between foliage and conducting xylem in *Picea abies* (L.) Karst. *Trees* 1, 61-69.
158. Øvrum A (2013). In-forest assessment of timber stiffness in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Eur J Wood Wood Prod.* 71, 429-435.
159. Parascan D, Danciu M (2001). *Fiziologia plantelor lemnoase*. Ed.Pentru Viaţă, Braşov, pp.71-72.
160. Paşcovici N (1930a). Molidul ca lemn de rezonanţă şi claviatură. I: Molidul de rezonanţă în pădure. *Revista pădurilor* 46(2), 85-99.
161. Paşcovici N (1930b). Molidul ca lemn de rezonanţă şi claviatură. II: Condiţiunile staţionale ale lemnului de rezonanţă. *Revista pădurilor* 46(4), 279-305.
162. Pişcic II, Fefilov VV, Burkovskaya YI (1971). Cu privire la compoziţia chimică şi proprietăţile fizice ale lemnului proaspăt şi învechit. *Lesnoy Journal* 6, 89-93.

163. Pârnuță G (1991). Selecția ideotipurilor de molid cu coroană îngustă și rezistente la rupturi de zăpadă. *Revista pădurilor* 106(3), 123-128.
164. Pârnuță G (1993). Cercetări privind ideotipuri de molid cu coroană îngustă. I. *Revista pădurilor* 108(2), 15-20.
165. Pârnuță G (2003). Research concerning narrow-crowned spruce ideotype (*Picea abies* f. *pendula* (Lawson) Sylven) in Romania. *Ann For Res* 46(1), 109-122.
166. Pöikö VT, Pulkkinen PO (1990). Characteristics of normal-crowned and pendula spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) examined with reference to the definition of a crop ideotype. *Tree Physiol* 7(1-4), 201-207.
167. Polge H (1963). The quality of wood of the principal exotic conifers used in French plantations. *Ann. des Eaux et Forêts* 20, 403-469.
168. Polge H (1966). Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densito-métrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants: applications dans les domaines Technologique et Physiologique. *Ann For Sci* 23 (1), 1-206.
169. Przybylski T (2007). Morphology. În: Tjoelker MG, Boratyński A, Bugała W (ed.): *Biology and ecology of Norway spruce*. Springer, Dordrecht, pp. 9-14.
170. Pulkkinen P (1991a). Crown form and harvest increment in pendulous Norway spruce. *Silva Fennica* 25(4), 207-214.
171. Pulkkinen P (1991b). Crown structure and partitioning of aboveground biomass before the competition phase in a mixed stand of normal-crowned Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and pendulous Norway spruce (*Picea abies* f. *pendula* (Lawson) Sylven). *Tree Physiol* 8, 361-370.
172. Pyrkosz MA (2013). Reverse engineering the structural and acoustic behavior of a Stradivari violin. Dissertation. Michigan Technological University, 264 p.
173. Radu RG, Curtu AL, Spârchez G, Șofletea N (2014). Genetic diversity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in Romanian Carpathians. *Ann For Res* 57(1), 19-29.
174. Rajčan E (1998). Application of acoustics to some problems of material science related to the making of musical instruments. *Acustica* 84(1), 122-128.
175. Rădulescu A (1969). În legătură cu molidul de rezonanță. *Revista pădurilor* 84(5), 218-221.
176. Rocaboy F, Bucur V (1990). About the physical properties of wood of twentieth century violins. *J Acoust Soc Am* 1(6), 21-28.

177. Romagnoli M, Bernabei M, Codipietro G (2003). Density variations in spruce wood with indented rings (*Picea abies* Karst). *Eur J Wood Wood Prod* 61(4), 311-312.
178. Roohnia M, Tajdini A, Manouchehri N (2011). Assessing wood in sounding boards considering the ratio of acoustical anisotropy. *NDT&E International* 44(1), 13-20.
179. Rosner S, Klein A, Müller U, Karlsson B (2008). Tradeoffs between hydraulic and mechanical stress responses of mature Norway spruce trunk wood. *Tree Physiol* 28(8), 1179-1188.
180. Ross RJ, Ward JC, TenWolde A (1992). Identifying bacterially infected oaks by stress wave nondestructive evaluation. *Res Pap FPL-RP-512*, USDA, Forest Service, Madison, 6 p.
181. Ross RJ, Pellerin RF (1994). Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review. *Gen Tech Rep FPL-GTR-70*, USDA, Forest Service, Madison, 40 p.
182. Rossing TD (2014). Introduction to acoustics. În: Rossing RD (ed.): *Springer handbook of acoustics*. Springer, Dordrecht, pp. 1-7.
183. Rozenberg P, Cahalan C (1997). Spruce and wood quality: genetic aspects (A review). *Silvae Genet* 46(5), 270-279.
184. Rusu O (1985). *Propagarea undelor elastice*. Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 128 p.
185. Sakai H, Minamisawa A, Takagi K (1990). Effect of moisture content on ultrasonic velocity and attenuation in woods. *Ultrasonics* 28, 382-385.
186. Salas-Eljatib C, Ene L, Gregoire T, Næsset E, Gobakken T (2010). Modelling tree diameter from airborne laser scanning derived variables: A comparison of spatial statistical models. *Remote Sens Environ* 114, 1277-1285.
187. Sanders S, Weiss R (2020). Synthesizing a guitar using physical modeling techniques. Disponibil la: <http://www.ee.columbia.edu/~ronw/dsp/>, accesat în 27.06.2020.
188. Schad KC, Schmoltdt DL, Ross RJ (1996). Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs. *Res Pap FPL-RP-546*, USDA, Forest Service, Madison, 13 p.
189. Schelleng JC (1982). Wood for violins. *Catgut Acoustical Society Newsletter* 37, 8-19.
190. Schleske M (2020). Violin acoustics. Disponibil la: <http://www.schleske.de/en/research/introduction-violin-acoustics/sound-analysis/method.html> -accesat în 07.07.2020.
191. Schimleck L, Evans R (2002). Estimation of wood stiffness of increment cores by near infrared spectroscopy: The development and application of calibrations based on selected cores. *IAWA J* 23, 217-224.

192. Schmidt-Vogt H (1981). Bemerkenswertes zur Baumart Fichte. Allgemeine Forstzeitschrift 36(51-53), 1364-1373.
193. Schollaen K, Baschek H, Heinrich I, Slotta F, Pauly M, Helle G (2017). A guideline for sample preparation in modern tree-ring stable isotope research. Dendrochronologia 44: 10.1016/j.dendro.2017.05.002.
194. Schultz TJ (1969). Acoustical properties of wood: A critique of the literature and a survey of practical applications. FPJ 19(2), 21-29.
195. Sfetcu N (2018). Sunetul fizicii. Acustica fenomenologică. Disponibil la: https://www.researchgate.net/publication/334415899_Sunetul_fizicii_-_Acustica_fenomenologica/link/5d2846e7458515c11c27410e/ - accesat în 14.07.2020.
196. Shen J (2006). Relationship between longitudinal and radial Picea genera sound vibration parameters. Front For China 4, 431-437.
197. Singleton R, DeBell DS, Marshall DD, Gartner BL (2003) Eccentricity and fluting in young-growth western hemlock in Oregon. West J Appl For 18(4), 221-228.
198. Smith DM (1954). Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples, Rep. no. 2014. USDA, Forest Service: Madison, Wisconsin, p. 9. Disponibil la: <http://hdl.handle.net/1957/2445> - accesat în 10.02.2019.
199. Sonderegger W, Alter P, Niemz P (2008). Untersuchungen zu ausgewählten Eigenschaften von Fichtenklangholz aus Graubünden. Eur J Wood Wood Prod 66(5), 345-354.
200. Spycher M, Schwarze FW, Steiger R (2008). Assessment of resonance wood quality by comparing its physical and histological properties. Wood Sci Technol 42(4), 325-342.
201. Stanciu MD, Coșoreanu C, **Dinulică F**, Bucur V (2020). Effect of wood species on vibration modes of violins plates. European Journal of Wood and Wood Products, <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01538-5>.
202. Stănescu V, Budu CE, Șovărel S (1985). Determinismul biochimic al molidului de rezonanță (date preliminare). Revista pădurilor 100(3), 114-116.
203. Stănescu V, Șofletea N (1990). Cercetări de genetică ecologică în molidișuri montane. Revista pădurilor 105(3-4), 114-119.
204. Stănescu V, Șofletea N (1992). Cercetări de genetică ecologică în molidișuri montane: II. Revista pădurilor 107(1), 2-51.
205. Stănescu V, Șofletea N, Popescu O (1997). Circumstanțe fenotipice interesând genomul molidului. Revista de Silvicultură și Cinegetică 2(2), 3-5.

206. Strad (2019). A massive achievement. Disponibil la: <https://www.thestrad.com/lutherie/a-massive-achievement/9676.article> - accesat în 04.07.2020.
207. Suominen L (1958). Untersuchungen über die schwingungseigenschaften des geigenkörpers. *Acustica* 8(6), 363-373.
208. Șcitova AE (1967). Cu privire la regimurile de uscare a lemnului de molid de rezonanță. *Деревообрабатывающая промышленность*, nr.8/1969.
209. Șofletea N, Curtu L (2007). *Dendrologie*. Ed. Universității Transilvania, Brașov, pp. 40-53.
210. Ștefănescu P (1961). O stațiune de molid cu lemn de rezonanță în munții Gurghiu, din raza Ocolului silvic Sovata. *Revista pădurilor* 76(2), 85-92.
211. Ștefănescu P (1964). Contribuții la cunoașterea molidului de rezonanță din Munții Gurghiului. *Revista pădurilor* 79(9), 511-517.
212. Timell TE (1986). *Compression wood in Gymnosperms*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 2100 p.
213. Topham J, McCormick D (2007). Ring of truth. *The Strad* 10 (7), 24-30.
214. Traoré B, Brancheriau L, Perré P, Stevanovic T, Diouf P (2010). Acoustic quality of vene wood (*Pterocarpus erinaceus* Poir.) for xylophone instrument manufacture in Mali. *Ann For Sci* 67(8): 815.
215. Ujvari E, Ujvari F (2006). Adaptation of progenies of a Norway spruce provenance test (IUFRO 1964/68) to a local environment. *Acta Silvatica Lignignaria Hungarica* 2, 47-56.
216. Unterwieser H, Schickhofer G (2011). Influence of moisture content of wood on sound velocity and dynamic MOE of natural frequency- and ultrasonic runtime measurement. *Eur J Wood Wood Prod* 69, 171–181.
217. Vanin SI (1953). Studiul lemnului (traducere din limba rusă). Ed. Tehnică, București, pp. 171-174.
218. Vintonin IS (1973). Influența condițiilor de creștere a paltinului de munte asupra proprietăților acustice ale lemnului (în rusă). *Lesnoy jurnal* 2/1973, 103-105.
219. Waghorn M, Mason E, Watt M (2007). Influence of initial stand density and genotype on longitudinal variation in modulus of elasticity for 17-year-old *Pinus radiata*. *For Ecol Manag* 252, 67-72.
220. Wang P, Chang S (1986). Nuclear magnetic resonance imaging of wood. *Wood Fiber Sci* 18, 308-314.

221. Wang X, Ross RJ, McClellan M, Barbour RJ, Erickson JR, Forsman JW, McGinnis, GD (2000). Strength and stiffness assessment of standing trees using a nondestructive stress wave technique. Research paper FPL-RP-585, USDA, Forest Service, Madison, 11 p.
222. Wang X, Ross RJ (2008). Acoustic evaluation of Alaskan young growth wood. În: Proc 15th Intern Symposium of Non-destructive testing of wood. Duluth, pp. 97-187.
223. Wang X, Allison RB, Wang L, Ross RJ (2007). Acoustic tomography for decay detection in red oak trees. Res Pap FPL-RP-642, USDA, Forest Service, Madison, 7 p.
224. Wegst UGK (2006). Wood for sound. American J Bot 93(10), 1439-1448.
225. Weisgerber H (1979). Norway spruce provenance experiments in Central Europe. IUFRO Norway spruce Meeting S2.03.11-S2.02.11, București, pp. 57-74.
226. Wellwood RW, Sastry CBR, Micko MM, Paszner L (1974). On some possible specific gravity, holo- and α -cellulose, tracheid weight/length and cellulose crystallinity relationship in a 500-year old Douglas-fir tree. Holzforschung 28(3), 91-94.
227. Wessels CB, Malan FS, Rypstra T (2011). A review of measurement methods used on standing trees for the prediction of some mechanical properties of timber. Eur J Forest Res 130, 881-893.
228. Whitehead D, Edwards WRN, Jarvis PG (1984). Conducting sapwood area, foliage area, and permeability in mature trees of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*. Can J For Res 14(6), 940-947.
229. Wielinga B, Raymond C, James R, Matheson A (2009). Effect of green density values on *Pinus radiata* stiffness estimation using a stress-wave technique. N Z J For Sci 39, 71-79.
230. Williamson GB, Wiemann MC (2010). Measuring wood specific gravity... Correctly. Am J Bot 97, 519-524.
231. Yaman B (2007). Anatomy of Lebanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) wood with indented growth rings. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 49(1), 19-23.
232. Yin Y, Jiang X, Wang L, Bian M (2011). Predicting wood quality of green logs by resonance vibration and stress wave in plantation-grown *Populus x euramericana*. For Prod J 61, 136-142.
233. Yoshitaka K, Takeshi O, Masamitsu O (1997). Effect of annual ring widths on structural and vibrational properties of wood. Mokuzai Gakkaishi 43(8), 634-641.
234. Zaițev EV (1969). Proprietățile acustice ale lemnului de cedru (în rusă). ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ 7, 16-17.
235. Zar JH (1974). Biostatistical analysis. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 620 p.

236. Zeltiņš P, Katrevičs J, Gailis A, Maaten T, Desaine I, Jansons Ā (2019). Adaptation capacity of Norway spruce provenances in Western Latvia. *Forests* 10:840.
237. Ziegler H, Merz W (1961). Der „Hasel” wuchs. *Eur J Wood Wood Prod* 19(1), 1-8.
238. Zlei G (2007). Elemente auxologice specifice arborilor de molid cu lemn de rezonanță din Ocolul Silvic Tomnatic. *Revista pădurilor* 122(1), 23-27.
239. Zobel BJ, Sprague JR (1998). *Juvenile wood in forest trees*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 300 p.
240. Zubizareta Gerendiain A, Peltola H, Pulkkinen P, Ikonen P, Jaatinen R (2008). Differences in growth and wood properties between narrow and normal crowned types of Norway spruce grown at narrow spacing in Southern Finland. *Silva Fennica* 42(3), 423-437.
241. Zubizareta Gerendiain A, Peltola H, Pulkkinen P (2009). Growth and wood property traits in narrow crowned Norway spruce (*Picea abies* f. *pendula*) clones grown in Southern Finland. *Silva Fennica* 43(3), 369-382.
242. Zugliani G, Dotta L (2009a). Legno di risonanza. Caratteristiche tecniche e conizioni ecologiche. *Sherwood* 154:7-13.
243. Zugliani G, Dotta L (2009b). Legno di risonanza. Gestione, selezione e lavorazione nella Foresta Demaniale di Paneveggio (TN). *Sherwood* 155:14-18.
244. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paraboloid_Quadric.Png, accesat în 8.05.2020.

Sfârșit

și Lui Dumnezeu, mulțumire !