



**Universitatea
Transilvania
din Brașov**

TEZĂ DE ABILITARE

Titlu: Modificări ale proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului și materialelor lignocelulozice supuse la diferite tratamente

Domeniul: INGINERIE FORESTIERĂ

Autor: Prof. dr. ing. Mariana Domnica STANCIU

Universitatea Transilvania din Brașov

BRAȘOV, 2025

Cuprins

Cuprins.....	1
Lista de Figuri.....	3
Lista de Tabele	10
(A) Summary.....	12
(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	14
(B-I) Realizări științifice și profesionale	14
1. Problematika abordată și contribuțiile la dezvoltarea ei	14
2. Lucrările științifice care fundamentează teza de abilitare.....	17
Capitolul 1. Evaluarea efectului îmbătrânirii artificiale asupra proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului de rezonanță	24
1.1. Aspecte generale privind structura și proprietățile lemnului de rezonanță	24
1.2. Cercetări experimentale privind influența îmbătrânirii artificiale asupra proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului de rezonanță.....	40
1.3. Concluzii	60
Capitolul 2. Influența diferitelor tipuri de finisaje asupra proprietăților fizice, dinamice și acustice ale lemnului de rezonanță	62
2.1. Aspecte generale privind tipurile de finisaje folosite pentru viori.....	62
2.2. Cercetări privind efectele diferitelor tipuri de finisaje asupra proprietăților fizice ale lemnului de rezonanță.....	66
2.3. Cercetări privind efectele diferitelor tipuri de finisaje asupra proprietăților dinamice și acustice ale lemnului de rezonanță	87
2.4. Concluzii	121
Capitolul 3. Analiza proprietăților vâsco-elastice ale lemnului și materialelor lignocelulozice	124

3.1. Modificări ale comportamentului vâsco-elastic al compozitelor lignocelulozice sub acțiunea radiațiilor UV	124
3.2. Degradarea proprietăților mecanice ale lemnului la solicitarea ciclică axial – simetrică paralelă cu fibrele lemnului	140
3.3. Concluzii	161
Capitolul 4. Concluzii, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare	163
4.1. Concluzii și contribuții științifice	163
4.2. Contribuții personale și originale	165
4.3. Direcții viitoare de cercetare	166
(B-II) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei.....	167
Capitolul 5. Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei.....	167
5.1. Evoluția în cariera profesională	167
5.2. Managementul didactic	174
5.3. Activitatea științifică	174
Capitolul 6. Planul de dezvoltare a carierei didactice.....	177
6.1. Direcții de dezvoltare a carierei didactice.....	177
6.2. Direcții de dezvoltare științifică	177
6.3. Activitatea publicistică	179
(B-III) BIBLIOGRAFIE.....	180

Lista de Figuri

Capitolul 1

Figura 1. 1. Metoda de măsurare a inelelor anuale folosind sistemul de analiză a imaginilor WinDENDRO Density (linia verde - separatoare de inele; linia bleu - separatoare lemn timpuriu-lemn târziu, linia roșie - cale dreaptă): a) eșantion de molid clasa A; b) eșantion de molid clasa D (Dinulica ș.a. 2021, Stanciu ș.a. 2021b).....	26
Figura 1. 2. Curbele de regresie pentru: a) lățimii lemnului timpuriu în raport cu lățimea inelelor anuale; (b) lățimii lemnului târziu în raport cu lățimea inelelor anuale (Stanciu ș.a. 2025a).....	27
Figura 1. 3. Curbele de regresie a lățimii lemnului târziu în raport cu lățimea lemnului timpuriu: a) molid A; b) molid B; c) molid C; d) molid D (Stanciu ș.a. 2025a)	27
Figura 1. 4. Regularitatea inelelor anuale în funcție de lățimea lemnului târziu (Stanciu ș.a. 2025a)	28
Figura 1.5. Vedere microscopică a lemnului de molid în secțiune transversală: a) eșantion de molid clasa A; b) eșantion de molid clasa B; c) eșantion de molid clasa C; d) eșantion de molid clasa D ; e) molid alunat (clasa D) A (mărire x4) (Stanciu ș.a. 2025a).....	31
Figura 1. 6. Captură de ecran a măsurării celulelor folosind aplicația WinCELL în lemn de molid de calitate clasa A (Stanciu ș.a. 2025a)	32
Figura 1.7. Varietăți ale desenului lemnului de paltin (Stanciu ș.a. 2021a, Dinulica ș.a. 2025)	34
Figura 1.8. Gradul de ondulație a fibrei observat în secțiunea tangențială (Stanciu ș.a. 2020a)	35
Figura 1. 9. Captură de ecran din timpul măsurării elementelor anatomice ale lemnului cu WinCell: a) lemn de paltin clasa A, b) lemn de paltin clasa D (Stanciu ș.a. 2024b)	37
Figura 1.10. Indicatori cantitativi ai vaselor din lemn de paltin (Stanciu ș.a. 2024b, Stanciu ș.a. 2025a)	38
Figura 1. 11. Principalii polimeri structurali din lemn: a) unitatea β -D-glucopiranoză din lanțul de celuloză; b) structura xiloglucanilor (hemiceluloză); c) principalii compuși ai ligninei native (Stanciu ș.a. 2024c).....	41
Figura 1.12. Geometria probelor pregătite pentru investigațiile experimentale (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)	44
Figura 1.13. Secvențe din timpul cercetărilor experimentale: a) expunerea probelor în reactorul de îmbătrânire artificială; b) solicitarea la tracțiune a probelor (Stanciu ș.a. 2024b, Drăghicescu ș.a. 2025b)	45
Figura 1. 14. Curbele caracteristice tensiune - deformație: a) probele din lemn de molid clasa A; b) probele din lemn de molid clasa D; c) probele din lemn de paltin clasa A; d) probele din lemn de paltin clasa D (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)	49
Figura 1.15. Modul de rupere obținute la testul de tracțiune: a) probele din lemn de molid clasa A; b) probele din lemn de molid clasa D; c) probele din lemn de paltin clasa A; d) probele din lemn de paltin clasa D (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)	50
Figura 1.16. Diagrama de dispersie a EL_{static} în funcție de densitate pentru lemn înainte și după 1000 h de expunere la îmbătrânire artificială: (a) probe de lemn de molid; (b) probă de lemn de paltin (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025).....	51

Figura 1.17. Relația dintre rigiditate S și modulul specific ($EL, static/\rho$) pentru lemn înainte și după 1000 h expunere la îmbătrânire artificială: (a) probe de lemn de molid; (b) probă de lemn de paltin (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)..... 51

Figura 1.18. Stratificarea densității a) lemnului de molid; b) lemnului de paltin și a vitezei de propagare a sunetelor pe direcție longitudinală (c,d), înainte și după îmbătrânire (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025) 52

Figura 1. 19. Comparații ale culorii probelor înainte și după îmbătrânirea artificială: a) Probă din lemn de molid clasa A; b) Probă din lemn de molid clasa D; c) Probă din lemn de paltin clasa A; d) Probă din lemn de paltin clasa D (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025) 54

Figura 1. 20. Spectre FTIR comparative: a) pentru lemn de molid înainte și după 1000 de ore de expunere la radiații UV; b) pentru probe de lemn de paltin înainte și după 1000 de ore de expunere la radiații UV (ATR - Attenuated Total Reflectance - Reflectanță totală atenuată) (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)..... 57

Figura 1. 21. Diagrame de difracție cu raze X pentru lemnul de control și lemnul învechit: a) lemn de molid, calitatea A; b) lemn de molid, calitatea D; c) lemn de paltin, calitatea A; d) lemn de paltin, calitatea D (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)..... 59

Figura 1. 22. Comparații ale indicilor de cristalinitate (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)..... 60

Capitolul 2

Figura 2. 1. Principalele operații pentru pregătirea probelor. Legendă: 1 - tăierea semifabricatului pe un ferăstrău cu bandă; 2 - calibrarea fețelor pe o mașină de calibrare a șlefuirii (patru treceri cu granulații diferite ale rolei de șlefuire); 3 - îndreptarea marginilor pentru bazare; și tăierea (secționarea) la lungime; 4 - probele la dimensiunile finale (Stanciu ș.a. 2025d) 66

Figura 2. 2. Aspectul și dimensiunile probelor de lemn de molid din clasele de calitate A și D (Legendă: L – direcția longitudinală a lemnului; R – direcția radială a lemnului; L – lungimea; b – lățimea; h – grosimea; 50 mm, 100 mm și 150 mm reprezintă pozițiile utilizate pentru măsurarea culorii) (Stanciu ș.a. 2025e) 67

Figura 2. 3. Tipurile de probe lăcuite (Legenda: SALU5— lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac pe bază de ulei, 5 straturi; SALS5—Lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac cu alcool, 5 straturi; SANC5—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac nitrocelulozic, 5 straturi; SALU10—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac pe bază de ulei, 10 straturi; SALS10—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac alcool, 10 straturi; SANC10—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac nitrocelulozic, 10 straturi; SALU15—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac pe bază de ulei, 15 straturi; SALS15—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac cu alcool, 15 straturi; SANC15—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac nitrocelulozic, 15 straturi) (Stanciu ș.a. 2025d) 69

Figura 2. 4. Structura plăcilor lăcuite constând din substratul de lemn, interfața lemn-lac și pelicula de lac obținută prin aplicarea de straturi succesive (Stanciu ș.a. 2024a) 70

Figura 2. 5. Vedere microscopică a sistemelor de lăcuire în cazul lemnului de molid: a) lemn de molid lăcuit cu lac cu alcool 5 straturi; b) lemn de molid lăcuit cu lac pe bază de ulei, 5 straturi; c) lemn de molid lăcuit cu lac cu alcool 10 straturi; d) lemn de molid lăcuit cu lac pe bază de ulei 10 straturi; e) lemn de molid lăcuit cu lac cu alcool 15 straturi; f) lemn de molid lăcuit cu lac pe bază de ulei 15 straturi (Stanciu ș.a. 2025b) 71

Figura 2. 6. Variația consumului de lac: a) probe din lemn de molid clasa A; b) probe din lemn de molid clasa D (Stanciu ș.a. 2025d)	73
Figura 2. 7. Distribuția probelor lăcuite în spațiul de culoare 3D Cie-Lab: a) probe lăcuite cu 5 straturi; b) probe lăcuite cu 10 straturi; c) probe lăcuite cu 15 straturi (Stanciu ș.a. 2025d)	74
Figura 2. 8. Modificări ale parametrilor de culoare: (a) luminozitate L^* pentru lemn de molid clasa A; (b) luminozitate L^* pentru lemn de molid clasa D; (c) roșu a^* pentru lemn de molid clasa A; (d) roșu a^* pentru lemn de molid clasa D; (e) gradul de galben b^* pentru lemn de molid clasa A; (f) gradul de galben b^* pentru lemn de molid clasa D. Legendă: SALU15, SDLU15—lemn de molid clasa A/D, lăcuit cu lac pe bază de ulei, 15 straturi; SALS15, SDLS15—lemn de molid clasa A/D, lăcuit cu lac pe bază de alcool, 15 straturi; SANC15, SDNC15—lemn de molid clasa A/D, lăcuit cu lac nitrocelulozic, 15 straturi (Stanciu ș.a. 2025d)	76
Figura 2. 9. Variația diferenței de culoare ΔE^* : a) pentru molid clasa A; b) pentru molid clasa D (Stanciu ș.a. 2025d)	77
Figura 2. 10. Geometria picăturii pe suprafață și modul de determinare a energiei de suprafață	77
Figura 2. 11. Testarea probelor cu echipamentul System OCA-20: a) echipamentul de măsurare; b) capture de ecran din timpul înregistrărilor (Stanciu ș.a. 2025c)	78
Figura 2. 12. Variația morfologiei suprafeței în funcție de: a) energia de suprafață; b) energia polară; c) energia dispersivă	80
Figura 2. 13. Spectrul FTIR: a) probe nelăcuite – lemn de molid (SA – molid gradul A, SD – molid gradul D); b) probe de lemn cu lac pe bază de ulei; c) probe cu lac alcool; d) probe cu lac nitrocelulozic (Stanciu ș.a. 2025d)	83
Figura 2. 14. Analiza Componentelor Principale (PCA) –proiecția variabilelor în planul factorilor 1x2 (Stanciu ș.a. 2025d)	85
Figura 2. 15. Modul de propagare a undei sonore incidente într-un material stratificat având proprietăți elastice și de absorbție diferite (Stanciu ș.a. 2025e)	88
Figura 2. 16. Configurația experimentală pentru analiza modală (Legendă: 1 – probă; 2 – suporturi elastice; 3 – cadru rigid al băncii experimentale; 4 – ciocan de impact (aplicat în punct, notat E); 5 – accelerometre (notate cu semnalul R1, semnalul R2, semnalul R3); 6 - placă de achiziție dinamică de date; 7 – laptop) (Stanciu ș.a. 2025e)	90
Figura 2. 17. Schema metodei de extragere a mărimilor pentru calcularea decrementului logaritmic și a factorului de calitate: (a) analiza în domeniul timpului; (b) spectrul de frecvență (I, II, III, IV, V – frecvența de rezonanță (fr), frecvențele $fr1$ și $fr2$, extrase la 0.707 din magnitudine) (Stanciu ș.a. 2025e)	91
Figura 2. 18. Spectrul de frecvență al plăcilor testate: a) placă nelăcuită, clasa A; b) placă nelăcuită, clasa D; c) placă cu lac alcool, clasa A; d) placă cu lac alcool, clasa D; e) placă cu lăcuire pe bază de ulei, clasa A; f) placă cu lăcuire pe bază de ulei, clasa D; g) placă cu lăcuire nitrocelulozică, clasa A; h) placă cu lăcuire nitrocelulozică, clasa D (Stanciu ș.a. 2025e)	92
Figura 2. 19. Valorile frecvențelor de rezonanță ale plăcilor studiate: a) prima frecvență de rezonanță de la 240 la 350 Hz; b) a doua frecvență de rezonanță de la 350 la 450 Hz; c) a treia frecvență de rezonanță de la 610 la 760 Hz; d) a patra frecvență de rezonanță de la 920 la 1120 Hz; e) a cincea frecvență de rezonanță de la 1150 la 1400	

Hz; f) a șasea frecvență de rezonanță de la 1400 la 2058 Hz; g) a șaptea frecvență de rezonanță de la 2090 la 2600 Hz (Stanciu ș.a. 2025e)	93
Figura 2. 20. Distribuția în frecvență a primelor opt vârfuri în ordine crescătoare pentru plăcile studiate: a) plăci de molid clasa A, lac cu alcool; b) plăci de molid clasa D, lac cu alcool; c) plăci de molid clasa A, lac pe bază de ulei; d) plăci de molid clasa D, lac pe bază de ulei; e) plăci de molid clasa A, lac nitrocelulozic; f) plăci de molid clasa D, lac nitrocelulozic; g) plăci de molid nelăcuite clasa A și D (Stanciu ș.a. 2025e)	96
Figura 2. 21. Variabilitatea amortizării: a) pentru plăci fabricate din lemn de molid, calitatea A; b) pentru plăci fabricate din lemn de molid, calitatea D; c) în funcție de frecvență (Stanciu ș.a. 2025e).....	98
Figura 2. 22. Comparații între factorii de calitate ai plăcilor analizate: a) stratificarea factorilor de calitate crescător; b) influența lacului asupra factorului de calitate al plăcilor din lemn de molid (Stanciu ș.a. 2025e)	98
Figura 2. 23. Metoda de extragere a probelor cilindrice din cuburi pentru testul bazat pe metoda tubului de impedanță: a) proba cu secțiune longitudinal-tangențială; b) proba cu secțiune longitudinal-radială; c) proba cu secțiune transversală; d) geometria și dimensiunile probei pentru tubul de impedanță (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c).....	102
Figura 2. 24. Caracteristici anatomice ale probelor de lemn de molid (mărire x4): a) molid clasa A, secțiune transversală (TR), secțiune longitudinal-radială (LR) și secțiune longitudinal-tangențială (LT); b) molid clasa D, secțiune transversală (TR), secțiune longitudinal-radială (LR) și secțiune longitudinal-tangențială (LT) (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c).....	103
Figura 2. 25. Caracteristici anatomice ale probelor de lemn de paltin (mărire x4): a) paltin clasa A, secțiune transversală (TR), secțiune longitudinal-radială (LR) și secțiune longitudinal-tangențială (LT); b) paltin clasa D, secțiune transversală (TR), secțiune longitudinal-radială (LR) și secțiune longitudinal-tangențială (LT) (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c).....	103
Figura 2. 26. Variația porozității în funcție de cele trei secțiuni principale ale lemnului: a) probele din lemn de molid; b) probele din lemn de paltin (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)	105
Figura 2. 27. Principiul metodei tubului de impedanță acustică: a) configurația experimentală; b) echipamentul de testare a tubului de impedanță din laborator (Stanciu ș.a. 2024a)	107
Figura 2. 28. Compararea coeficientului mediu de absorbție a sunetului între cele trei direcții principale ale lemnului: a) probe de molid; b) probe de paltin (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025b)	108
Figura 2. 29. Variația coeficientului maxim de absorbție a sunetului: (a) probe de molid; (b) probe de paltin (Stanciu ș.a. 2025b)	109
Figura 2. 30. Variația capacității de absorbție în funcție de frecvențe, pentru valoarea maximă a coeficientului de absorbție a sunetului (a) și, respectiv, a coeficientului de reducere a zgomotului (NRC) (Stanciu ș.a. 2025c)	110
Figura 2. 31. Distribuția coeficientului de absorbție acustică (a), a porozității (b) și a tortuozității (c) în raport cu gradul de calitate al lemnului și direcția principală a fluxului de energie sonoră (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)	112

Figura 2. 32. Variația coeficientului de reflexie – componenta reală: (a) probele de molid; (b) probe de paltin (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)	113
Figura 2. 33. Dependența de frecvență a părții reale și imaginare a raportului impedenței acustice: a) molid clasa A; b) molid clasa D; c) paltin clasa A; d) paltin clasa D (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c).....	114
Figura 2. 34. Extragerea propbelor circulare pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică prin metoda tubului de impedanță (Stanciu ș.a. 2025c).....	117
Figura 2. 35. Valori medii ale coeficientului de absorbție acustică în funcție de tipul de lac aplicat pe probele de lemn: a) grosimea de 5 straturi, cu partea nelăcuită expusă; b) grosimea de 5 straturi, cu partea lăcuită expusă; c) grosimea de 10 straturi, cu partea nelăcuită expusă; d) grosimea de 10 straturi, cu partea lăcuită expusă; e) grosimea de 15 straturi, cu partea nelăcuită expusă; f) grosimea de 15 straturi, cu partea lăcuită expusă (Stanciu ș.a. 2025c).....	118
Figura 2. 36. Valori maxime ale coeficientului de absorbție acustică în raport cu frecvența: (a) partea nelăcuită; (b) partea lăcuită (Stanciu ș.a., 2025c)	119
Figura 2. 37. Variația coeficient de reflexie a sunetului pentru domeniul de frecvențe investigat: a) grosimea a 5 straturi; b) grosimea a 10 straturi; c) grosimea a 15 straturi (Stanciu ș.a. 2025c)	120
Figura 2. 38. Variația parametrilor acustici: a) coeficientul de absorbție acustică pentru suprafața nelăcuită a probelor; b) coeficientul de absorbție acustică pentru suprafața lăcuită a probelor; c) amortizarea probelor lăcuite (Stanciu ș.a. 2025c)	120

Capitolul 3

Figura 3.1. Tipurile de probe compozite lignocelulozice (Stanciu ș.a. 2018b)	126
Figura 3.2. Forma geometrică a epruvetor testate la DMA (L- lungimea; d- distanța dintre reazeme; l – lățimea; h – grosimea, F- forța aplicată) (Stanciu ș.a. 2018b)	127
Figura 3.3. Variația modulului de conservare E' în funcție de timp în condiții izoterme pentru epruvetele expuse la UV și pentru epruvetele de referință, netratate. a) Încărcare la frecvența de 1 Hz; b) Încărcare la frecvența de 50 Hz (Stanciu ș.a. 2018b)	129
Figura 3. 4. Variația modulului complex E^* în funcție de frecvența de solicitare, pentru expunerea la UV a probelor și pentru cele de referință, netratate (Stanciu ș.a. 2018b).	129
Figura 3.5. Variația frecării interne exprimată prin $\tan \delta$ în funcție de timpul de solicitare, pentru epruvetele fotodegradata și pentru cele de referință netratate, în intervalul de frecvență 1 Hz, 5 Hz, 10 Hz și 50 Hz. Legendă: a) proba L 0.04; b) proba L 0.1; c) proba L 0.2; d) proba L 0.4; e) proba L 1.0 (Stanciu ș.a. 2018b)	131
Figura 3. 6. Variația frecării interne exprimată prin $\tan \delta$ în funcție de temperatură, pentru probele fotodegradata și pentru cele de referință, netratate, în intervalul de temperatură cuprins între 30 °C și 120 °C. Legendă: a) proba L 0.04; b) proba L 0.1; c) proba L 0.2; d) proba L 0,4; e) proba L 1.0 (Stanciu ș.a. 2018b).....	133
Figura 3.7. Diagrame Cole-Cole pentru fiecare tip de probe compozite lignocelulozice studiate. a) 0.04 mm particles; b) 0.1 mm; c) 0.2 mm; d) 0.4 mm; e) 1 mm (Stanciu ș.a. 2018b)	135

Figura 3.8. Comparație între imaginile 3D și imaginile cu contrast de fază pentru suprafața ($5 \times 5 \mu\text{m}^2$) a fiecărei probe netratate, respectiv expusă la radiații UV (Stanciu ș.a. 2018b)	137
Figura 3. 9. Reprezentare schematică a degradării induse de radiațiile UV pe epruvete compuse din particule de stejar și rășină poliesterică: a) Principalii constituenți ai compozitelor; b) Constituenți chimici și calitatea suprafeței epruvetei înainte de tratament; c) rugozitatea suprafeței epruvetei după tratament; d) reacții chimice (Stanciu ș.a. 2018b)	137
Figura 3. 10. Variația rugozității medii pătratice R_q a probelor în funcție de dimensiunea particulelor (Stanciu ș.a. 2018b).	138
Figura 3. 11. Testul preliminar: (a) test de tracțiune; (b) curbe caracteristice ale lemnului de pin supus la tracțiune cu diferite viteze de încărcare (Stanciu ș.a. 2020b)	142
Figura 3. 12. Configurația experimentală: (a) geometria probelor testate; (b) detalii despre proba în fâlcile de prindere ale mașinii de testare în timpul încărcării ciclice simetrice la întindere-compresiune; (c) Modul de cedare al probei testate la încărcare ciclică (Stanciu ș.a. 2020b)	144
Figura 3. 13. Variația încărcării ciclice simetrice la întindere – compresiune: a) $\pm 1000 \text{ N}$; b) $\pm 1500 \text{ N}$; c) $\pm 2000 \text{ N}$ (Stanciu ș.a. 2020b)	145
Figura 3.14. Bucle de histererezis: a) cazul vitezei de sarcină de 1 mm/min și $F = \pm 1 \text{ kN}$; b) cazul vitezei de sarcină de 10 mm/min și $F = \pm 1 \text{ kN}$; c) cazul vitezei de sarcină de 1 mm/min și $F = \pm 1.5 \text{ kN}$; d) cazul vitezei de sarcină de 10 mm/min și $F = \pm 1.5 \text{ kN}$; e) cazul vitezei de sarcină de 1 mm/min și $F = \pm 2 \text{ kN}$; f) cazul vitezei de sarcină de 10 mm/min și $F = \pm 2 \text{ kN}$ (Stanciu ș.a. 2020b)	146
Figura 3.15. Curbe principale: a) deformări la tracțiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 1 \text{ kN}$; b) deformări la compresiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 1 \text{ kN}$; c) deformări la tracțiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 1.5 \text{ kN}$; d) deformări la compresiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 1.5 \text{ kN}$; e) deformări la tracțiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 2 \text{ kN}$; f) deformări la compresiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 2 \text{ kN}$ (Stanciu ș.a. 2020b)	148
Figura 3. 16. Rata de degradare a modulului lui Young, la solicitări ciclice (Stanciu ș.a. 2020b)	149
Figura 3.17. Variația tensiunilor la sarcină maximă (Stanciu ș.a. 2020b)	149
Figura 3.18. Compararea valorilor deformațiilor în cazuri de diferite viteze și intensități de încărcare: a) deformații la întindere și compresiune; b) intervalul total real al deformărilor elastice și plastice după un ciclu complet (Stanciu ș.a. 2020b)	150
Figura 3.19. Vedere microscopică a lemnului de pin silvestru: a) Secțiune transversală, mărire $\times 500$; b) secțiune longitudinală – tangențială, mărire $\times 100$; c) secțiune longitudinală – radială, mărire $\times 100$ (Stanciu ș.a. 2020b)	151
Figura 3.20. Structura probelor de pin în diferite stadii de degradare: a) macrostructura inițială a probelor de lemn, înainte de testare; b) vedere optică a fracturii lemnului după testare; c) vedere microscopică a ruperii celulelor traheide, mărire $\times 100$; d) linia de tendință a ruperii, mărire $\times 100$; e) reprezentare schematică a deformării prin tracțiune; f) reprezentare schematică a ruperii lemnului datorată anizotropiei (Stanciu ș.a. 2020b)	153

Figura 3. 21. (a) Prinderea epruvetei din lemn de pin, pentru solicitarea de tracțiune-compresiune; (b) simularea încărcării și a condițiilor de contur (Stanciu ș.a. 2020a)	154
Figura 3.22. Modelul cu elemente finite a epruvetei din lemn: (a) discretizarea modelului geometric în elemente finite; (b) deformarea probei la întindere; c) deformarea probei la compresiune (Stanciu ș.a. 2018)	154
Figura 3. 23. Distribuția tensiunilor de întindere și compresiune: a) valori absolute ale tensiunilor de întindere; b) valori absolute ale tensiunilor de compresiune atât în stratul de lemn timpuriu, cât și în lemnul târziu (Stanciu ș.a. 2018a)	156
Figura 3.25. Variația deplasării probei odată cu creșterea numărului de încărcări ciclice (Stanciu ș.a. 2018) ...	157
Figura 3.26. Variația tensiunilor: a) odată cu creșterea numărului de încărcări ciclice, în lemnul timpuriu și cel târziu; b) obținute cu elemente finite și experimental (Stanciu ș.a. 2018a).....	159
Figura 3. 27. a) Variația tensiunilor normale pe straturi pentru fiecare ciclu de încărcare (Stanciu ș.a. 2018a); b) variația rezistenței longitudinale la tracțiune obținută experimental prin (Curtu ș.a. 2016)	160

Lista de Tabele

Tabelul 1. 1. Caracteristicile inelelor anuale pentru probele de molid de rezonanță (Dinulica ș.a. 2021).....	26
Tabelul 1. 2. Estimarea calității acustice a lemnului de molid în funcție de caracteristicile inelelor anuale (Stanciu ș.a. 2025a)	28
Tabelul 1. 3. Date de referință pentru Carpații Românești privind biometria traheidelor tulpinilor de lemn de molid prelevate cu carote la înălțimea pieptului (Dumitriu-Tătăranu 1983 citat de Stanciu ș.a. 2025a))	29
Tabelul 1. 4 Indicatori cantitativi ai structurii microscopice a lemnului de molid (*1px ² = 0.26 mm) (Șandor, 2023)	32
Tabelul 1.5. Structura microscopică a lemnului de molid – condiții pentru calitate acustică superioară (Stanciu ș.a. 2025a)	33
Tabelul 1. 6. Rezultatele măsurătorilor descriptorilor anatomici ai lemnului de paltin (Stanciu ș.a. 2020a)	36
Tabelul 1. 7. Indicatori cantitativi ai structurii microscopice a lemnului de paltin (*1px ² = 0.26 mm) (Stanciu ș.a. 2024b)	37
Tabelul 1.8. Valori medii și deviația standard a caracteristicilor fizice ale probelor înainte de imbatranirea artificială Stanciu ș.a. 2024d)	44
Tabelul 1. 9. Valori medii și deviația standard a proprietăților mecanice și acustice ale probelor testate. Legendă: MV – valoare medie; SD – deviație standard; ρ – densitate; EL, dyn – modulul de elasticitate dinamică în direcție longitudinală, determinat prin metoda TOF; $EL, static$ – modulul de elasticitate în direcție longitudinală obținut prin încercare statică; kL – factor de corecție; $EEL, dynk/\rho$ – modulul specific obținut prin încercarea TOF; $EL, statick/\rho$ – modulul specific obținut prin încercarea la tracțiune; S – rigiditatea obținută prin încercarea la tracțiune; σ – rezistența la tracțiune; ε - deformarea procentuală la rupere (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)	53
Tabelul 1. 10 Valorile medii și deviația standard pentru parametrii de culoare (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)	54
Tabelul 1.11. Vârfurile din spectrele FTIR ale probelor analizate și atribuirea lor (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)	58
Tabelul 2. 1. Materialele folosite pentru finisare (Stanciu ș.a. 2025d)	68
Tabelul 2. 2. Perspectivă asupra tehnologiei de finisare cu 15 straturi pentru cele trei tipuri de lacuri (Legendă: KD - Dicromat de potasiu; WS – Grund pe bază de apă; WS-R - Rețetă pentru grundul pe bază de apă; CEV - Extracte de culoare pentru lacuri) (Stanciu ș.a. 2025d).	69
Tabelul 2. 3. Valorile medii ale consumului de lac și diferența de consum înregistrată (Stanciu ș.a. 2025c).	72
Tabelul 2. 4. Valorile medii și deviația standard a parametrilor de culoare (Stanciu ș.a. 2025d)	75
Tabelul 2. 5. Surse de variație ale proprietăților probelor studiate (Stanciu ș.a. 2025d)	84

Tabelul 2. 6. Centralizarea valorilor medii, abaterilor standard, minime și maxime ale amortizării (Stanciu ș.a. 2025e)	97
Tabelul 2. 7. Caracteristici fizice ale probelor (valori medii și deviație standard) (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)	105
Tabelul 2. 8. Valorile NRC și maxime ale coeficientului de absorbție acustică pentru fiecare categorie de probe testate (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025b)	108
Tabelul 2. 9. Coeficientul de absorbție acustică în funcție de banda de octavă (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)	110
Tabelul 2. 10. Corelația dintre coeficientul de absorbție a sunetului și caracteristicile fizice (densitatea, porozitatea, tortuozitatea) (Legendă: Culoarele din celulele tabelului sunt setate pe baza unei scale de 3 culori, unde valoarea minimă (-1) este albastrul, valoarea medie (0) este albul, iar valoarea maximă (+1) este roșul. Tonurile de culoare din tabel corespund valorilor cuprinse între -1 și +1, evidențiind polarizarea valorilor din intervalul menționat) (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)	111
Tabelul 2. 11. Caracteristicile fizice ale mostrelor cilindrice lăcuite(Stanciu ș.a. 2025c,e)	117
 Tabelul 3. 1. Caracteristicile fizice și geometrice ale epruvetelor Stanciu ș.a. 2018b	127
Tabelul 3. 2. Valorile medii ale modulului de vâscos E'' pentru fiecare frecvență de solicitare (Stanciu ș.a. 2018b)	130
Tabelul 3. 3. Valori medii ale temperaturii de tranziție sticloasă T_g , pentru fiecare tip de probă înainte și după expunerea la radiații UV (Stanciu ș.a. 2018b)	134
Tabelul 3. 4. Date de intrare pentru testele experimentale (Stanciu ș.a. 2020b)	143
Tabelul 3. 5. Valorile deformărilor colectate pentru primul ciclu, unde $\Delta\varepsilon$ este deformația totală; $\Delta\varepsilon_e$ deformația totală elastică; $\Delta\varepsilon_p$ – deformația totală plastică; ε_t – deformarea la alungire; ε_c – deformarea la compresiune (Stanciu ș.a. 2020b)	147
Tabelul 3. 6. Proprietățile mecanice ale straturilor principale ale probelor de lemn (lemn târziu și lemn timpuriu) (Stanciu ș.a. 2020b)	155
Tabelul 3. 7. Valorile deplasărilor și deformațiilor obținute cu FEM și experimental (Stanciu ș.a. 2020b)	157
Tabelul 3. 8. Valorile tensiunilor obținute cu FEM și experimental (Legendă: EW – strat de lemn timpuriu, LW – strat de lemn târziu) (Stanciu ș.a. 2020b)	158

(A) Summary

The habilitation thesis entitled **"Modifications of the physical, mechanical and acoustic properties of wood and lignocellulosic materials subjected to different treatments"** contains the results of applied experimental research that were addressed by the author of the thesis within the research projects carried out/coordinated by the author, after completing the doctoral thesis, during the period 2016 - 2025 (*Project PN-III-P2-2.1-BG 85/2016 Integrative solutions for increasing economic performance by optimizing the rigid-elastic properties and structural stability of Romanian-made guitars - SINOPTIC*, Period 2016 - 2018; Funder: UEFISCDI, *PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148, contract no. 568PED/2020, Innovative violin models acoustically and aesthetically comparable to heritage violins - MINOVIS* <https://minovis.unitbv.ro/> Period: 2020-2022; Funder: UEFISCDI; *PN-III-P4-PCE-2021-0885, contract PCE 61/2022 Qualitative, dynamic and acoustic analysis of anisotropic systems with modified interfaces - ACADIA*, <https://acadia.unitbv.ro/> Period: 2022 - 2024; Funder: UEFISCDI). The analysis of the effects of various treatments (physical, chemical, mechanical, acoustic) on the properties of wood and lignocellulosic materials has been a constant concern of the author as a result of constant collaborations with the scientific and industrial environment interested in the study of these aspects. Thus, the research presented in this habilitation thesis in the field of forestry engineering is a corollary of the interdisciplinary studies undertaken by the author, applying both classical and modern, advanced methods for investigating the properties of wood and lignocellulosic materials, constituting a valuable database for specialists in wood processing and forestry, for engineers who bring sustainable and innovative solutions in wood engineering. The habilitation thesis, **"Modifications of the physical, mechanical and acoustic properties of wood and lignocellulosic materials subjected to different treatments"**, is structured in three chapters, each dedicated to a research direction.

Chapter 1, entitled *Evaluation of the physical, mechanical and acoustic properties of wood subjected to artificial aging*, aimed to study the effect of artificial aging on the physical, elastic, acoustic and chemical properties of wood to be used for musical instruments. The novelty of the study consisted in the multidimensional and multi-effect evaluation of the chemical, mechanical and acoustic changes produced by the artificial aging of the soundboard compared to the untreated wood. The results highlighted the fact that, although the penetration depth of UV radiation is reduced (below 2.5 mm), due to the small thicknesses of the boards of musical instruments, this treatment can be a method of improving the acoustic performance of the soundboard, before the final manufacture of the violin. **The results presented in this chapter have been disseminated in 3 ISI articles (Forests FI=2.9, Polymers**

FI=4.7, International Journal of Biological Macromolecules FI=7.7), 1 Springer book with the 2 chapters dedicated to this research, all published after the last advancement (2023 – 2025).

Chapter 2, entitled *Influence of different types of finishes on the physical, dynamic and acoustic properties of soundboard* constitutes the second pillar of the habilitation thesis research. The studies in this chapter have highlighted aspects related to the correlation between the type of finish, the thickness of the varnish film and the possibility of enhancing the acoustic quality of wood through the rational and appropriate use of varnishes. **The results presented in this chapter were disseminated in 4 ISI articles (3 in Polymers FI=4.7, 1 in Advanced Materials Interfaces FI= 4.4), 5 BDI articles (Springer), 2 book chapters published by the international publishing house Springer.**

Chapter 3, entitled *Analysis of the viscoelastic properties of wood and lignocellulosic materials* represents the third research direction addressed in the habilitation thesis, being organized into two subdomains - the viscoelastic behavior of lignocellulosic materials (polymer composites reinforced with wood particles) and the behavior of softwood wood under axially - symmetric cyclic loads. This research highlights the predictability of wood and wood-based composites in long-term applications, under isothermal conditions or with temperature variation, having applicability in wooden constructions, the furniture industry and furniture design. The novelty of the research lies both in the advanced research methods, with reduced material consumption, and in the use of the finite element analysis method of softwood studied as a layered material (late wood and early wood), with orthotropic elastic properties. **The research presented in this chapter was disseminated in the form of 4 ISI articles (Wood Science & Technology, Journal of Mechanical Engineering and Polymers) and 2 BDI articles (Springer and Elsevier).**

Chapter 4 contains a corollary of scientific conclusions, original contributions and future research directions. The last part of the habilitation thesis (**Chapters 5-6 – Teaching career development plan**) presents the chronological academic evolution of the author and the development directions envisaged. Among the teaching and scientific concerns, the most relevant are those related to the active involvement of students in fundamental research (the study of the properties of 3D printed lignocellulosic materials based on the scaling of the microscopic structure of different wood species and wood with improved mechanical and acoustic properties) and interdisciplinary applied research (the valorization of wood and biomechanical structures inspired by the structure of wood in various industrial applications), at all three levels of university training (bachelor, master, doctorate). Finally, the established teaching and scientific career development goals aim to attract funding sources, domestic and international collaborations, and increase international visibility.

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

(B-I) Realizări științifice și profesionale

1. Problematika abordată și contribuțiile la dezvoltarea ei

Teza de abilitare **"Modificări ale proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului și materialelor lignocelulozice supuse la diferite tratamente"** în domeniul inginerie forestieră, prezintă realizările științifice și profesionale ale autoarei în perioada 2018–2025, după finalizarea tezei de doctorat în anul 2009, în domeniul ingineriei mecanice, cu titlul *"Cercetări privind optimizarea formei și structurii plăcilor compozite lignocelulozice supuse la solicitări ciclice, cu aplicații la instrumentele muzicale"* (îndrumător de doctorat –prof. univ. dr. ing. Curtu Ioan) și a tezei de abilitare în domeniul inginerie mecanică, în anul 2022, cu titlul *Comportamentul mecanic al structurilor complexe lignocelulozice de tip Helmholtz*, atestat de abilitare în domeniul de studii universitare de doctorat inginerie mecanică (nr. OM 4197/05.07.2022). Motivația realizării acestei teze de abilitare o constituie pasiunea și preocupările constante și consecvente asupra proprietăților fizice, vâsco-elastice, dinamice și acustice ale lemnului și materialelor lignocelulozice, precum și legătura continuă atât pe plan academic, educațional cât și de cercetare cu domeniul de licență (inginerie forestieră) absolvit în 2006, ca inginer.

Actualitatea cercetărilor prezentate în teză este dată de numeroasele aplicații în care lemnul și compozitele lignocelulozice sunt utilizate, acestea suferind o serie de modificări fizice, mecanice și chimice fie ca urmare a aplicării unor finisaje și materiale de protecție, fie ca urmare a expunerii la radiații UV și variații de temperatură, fie ca rezultat al solicitărilor mecanice periodice.

Teza de abilitare abordează trei domenii de cercetare fundamentală și aplicativă care vizează: evaluarea proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului supus îmbătrânirii artificiale (direcția de cercetare I); cercetări asupra modificărilor acustice produse de diferite tipuri de finisaje aplicate pe lemnul de rezonanță (direcția de cercetare a II-a); cercetări asupra comportamentului vâsco-elastic al lemnului și materialelor lignocelulozice (direcția de cercetare III), conexiunea dintre aceste direcții de cercetare fiind atât materialul studiat (lemnul și materialele compozite din lemn) cât și metodologia de cercetare interdisciplinară.

Prima direcție de cercetare - evaluarea proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului supus îmbătrânirii artificiale, a fost inițiată în cadrul proiectului de cercetare câștigat în competiție națională, PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148, contract: PED 568/2020 Modele inovative de viori comparabile acustic și estetic cu viorile de patrimoniu – MINOVIS, Director proiect – Stanciu Mariana Domnica, Perioada: 2020 – 2022; Finantator: UEFISCDI, suma: 600000 lei, când, studiind comparativ viorile noi cu cele istorice, s-au observat numeroase diferențe fizice între lemnul actual și cel îmbătrânit natural din construcția viorilor, iar ipotezele potrivit cărora acustica instrumentelor vechi este superioară celor noi, a stârnit curiozitatea pentru cercetări mai aprofundate a acestei problematice, inclusiv a îmbătrânirii accelerate a lemnului de rezonanță. Această direcție a fost explorată și dezvoltată organic în cadrul următorului proiect de cercetare câștigat în competiție națională, PN-III-P4-PCE-2021-0885, contract PCE 61/2022 Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope Cu interfețe modificate – ACADIA, Director proiect - Stanciu Mariana Domnica, Perioada: 2022 – 2024; Finantator: UEFISCDI, suma: 1200000 lei.

Rezultatele acestor cercetări au fost publicate în 4 articole ISI (Forests 2021 (FI=2.634), 2023 (FI = 2.9), Polymers 2023 (FI=5), Int. J. Biol. Macromol 2024 (FI=7.7), într-un articol indexat BDI (Springer) și sub forma a două capitole de carte (una în editură națională, una în editură internațională (Springer)), evidențiind faptul că, pentru lemnul folosit în construcția instrumentelor muzicale cu corzi, îmbătrânirea artificială produce modificări ale proprietăților elastice prin creșterea rigidității lemnului, modificări ale vitezelor de propagare a sunetelor – prin creșterea acestora în direcție longitudinală și modificări chimice care depind de structura anatomică a lemnului. Astfel, tratamentul blând de îmbătrânire artificială poate contribui la îmbunătățirea calității acustice a instrumentelor muzicale, iar pe de altă parte, reutilizarea lemnului vechi, din construcții, sub forma plăcilor din corpul de rezonanță, poate constitui o modalitate sustenabilă de reutilizare a lemnului de rășinoase. Cercetările aplicative au fost realizate cu spijinul fabricii de instrumente muzicale S.C. Gliga S.A Reghin, care a furnizat materia primă folosită în studiu, precum și tehnologia de fabricație.

A doua direcție de cercetare a urmărit studiul **influenței diferitelor tipuri de finisaje asupra proprietăților fizice, dinamice și acustice ale lemnului de rezonanță**, fiind al doilea obiectiv din cadrul proiectului de cercetare câștigat în competiție națională, PN-III-P4-PCE-2021-0885, contract PCE 61/2022 Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope cu interfețe modificate – ACADIA, Director proiect - Stanciu Mariana Domnica, Perioada: 2022 – 2024; Finantator: UEFISCDI, suma: 1200000 lei. Lemnul de rezonanță este un material anizotrop ortotrop, cu o arhitectură macro și microscopică ce îi conferă acele caracteristici fizice și acustice optime pentru construcția instrumentelor muzicale. Finisarea

lemnului cu diferite lacuri transformă lemnul într-un nou material, stratificat, care din punct de vedere acustic, poate duce la alterarea sau potențarea proprietăților native ale lemnului de rezonanță. Aceasta este o temă de cercetare ce a intrigat lumea științifică și încă constituie subiect de cercetare pentru chimiști, acusticienii, ingineri, producători de instrumente muzicale, atât pentru studierea lacurilor folosite în trecut la instrumentele muzicale cât și asupra fenomenelor tranzitorii ce se produc pe parcursul întăririi peliculei de lac și după, odată cu îmbătrânirea lemnului lăcuit. Cercetările aplicative au fost realizate cu spijinul fabricii de instrumente muzicale S.C. Gliga S.A Reghin, care a furnizat materia primă folosită în studiu, precum și tehnologia de finisare specifică viorilor, dar aplicată pe eșantioanele studiate.

Noutatea cercetării a constat în analiza comparativă a celor trei tipuri de lacuri diferite din punct de vedere al solvenților (lac pe bază de ulei, lac cu alcool și lac nitrocelulozic) și din punct de vedere al grosimii peliculei de lac, aplicată pe suporturi din lemn de molid și paltin cu caracteristici anatomice distincte, specifice claselor de calitate superioară și inferioară folosite în industria producătoare de instrumente muzicale. Contribuțiile au constat în evidențierea corelațiilor dintre diferiți factori și influența acestora asupra proprietăților fizice, dinamice și acustice ale lemnului de molid și paltin. Rezultatele acestor cercetări au fost publicate în 4 articole ISI (Polymers 2025c (FI=4.7), Polymers 2025d (FI=4.7), Adv. Mat. Interfaces 2024 (FI=4.3), Polymers 2024 (FI=4.7)), 5 lucrări prezentate la conferințe internaționale cu Proceedings BDI, 2 capitole de carte în editură internațională (Springer).

A treia direcție de cercetare a constituit-o cea referitoare la **analiza proprietăților vâsco-elastice ale lemnului și materialelor lignocelulozice**, studiile abordând comportamentul lemnului și a materialelor lignocelulozice sollicitate ciclic, domeniul fiind strâns legat de reologia lemnului, fenomenele de curgere și relaxare, cu și fără contribuția factorilor agresivi de mediu. Această direcție este foarte importantă în toate domeniile de aplicabilitate a lemnului întrucât oferă o predictibilitate a stărilor de tensiuni și deformații ale structurilor din lemn și materiale lignocelulozice în timp, sub acțiunea diferitelor sarcini (încărcări). În cadrul cercetărilor realizate de autoarea tezei, au fost studiate două materiale: lemnul masiv de rășinoase (pin) sollicitat ciclic la tracțiune – compresiune, identificând variațiile deformațiilor și modul de degradare a proprietăților mecanice, respectiv compozite lignocelulozice obținute din particule de rumeguș în amestec cu rășină poliesterică, acestea fiind o soluție sustenabilă de valorificare superioară a deșeurilor lemnoase.

Contribuțiile la dezvoltarea temei au constat în:

- obținerea unui model mecanic de degradare a lemnului de pin supus sollicitărilor ciclice de tracțiune- compresiune, cu diferite viteze de încărcare și intensități diferite ale sarcinilor,

- obținerea unui model matematic al lemnului prin modelarea și simularea comportării mecanice la solicitări ciclice a lemnului ca material stratificat cu cele două zone alternante de lemn timpuriu și lemn târziu;
- obținerea modelului vâsco-elastic al materialelor lignocelulozice solificate dinamic la încovoiere în trei puncte, în condiții izoterme și de variație a temperaturii, cu identificarea temperaturii de tranziție sticloasă și a relației dintre modulul de conservare, modulul vâscos și amortizare.

Cercetările acestei direcții au fost diseminate sub forma de 4 articole ISI (Wood Sci Technol 2018 (FI=1.706), Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 2018, FI=1.182), Polymers 2020a (FI=3.426), Polymers 2020b (FI=3.426) și 2 articole BDI.

2. Lucrările științifice care fundamentează teza de abilitare

Rezultatele cercetărilor efectuate de autoare după susținerea tezei de doctorat și din care s-a realizat prezenta teză de abilitare, constau din **6 capitole de carte** (5 în edituri internaționale, 1 în editură națională); **11 articole ISI** (din care 7 ca prim autor și 4 ca autor corespondent), **7 articole indexate BDI**, **16 lucrări prezentate la conferințe internaționale**, **3 rapoarte de cercetare** din cadrul celor două proiecte câștigate în competiții naționale

6 capitole de carte

- **Stanciu, M.D. (autor corespondent)**, Dinulică, F., Roibu, C.C., Guiman, M.V., Cerbu, C., Savin, A. (2025). Quality Classes of Blanks for Violins and Some Relevant Physical Parameters of Wood. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) Interdisciplinary Approach to the Violin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_2
- Drăghicescu, H.T., **Stanciu, M.D.**, Vlase, S., Mihălcică, M., Gall, R., Savin, A. (2025). Mechanical Characterization of Spruce Resonance Wood and Curly Maple for Violins. In: **Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) Interdisciplinary Approach to the Violin. Springer, Cham.** https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_3 (capitol carte).
- **Stanciu M.D.** (coord.), Mihălcică M. (coord.) (2022) Dinamica viorii, Ed. Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978–606–19–1517–0, pp. 302
- **Stanciu, M.D.**, Coșniță, M., Coșoreanu, C., Guiman, M.V., Năstac, S.M., Roșca, I.C. (2025). Effects of Violin Varnish on Some Physical, Mechanical and Acoustical Properties of Resonance Spruce and Curly Maple Samples. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) Interdisciplinary Approach to the Violin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_6

- Guiman, M.V., **Stanciu, M.D.**, Nastac, S.M., Gliga, V.G., Savin, A. (2024). Free Vibration Analysis of Orthotropic Thin Rectangular Plates. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_5
- **Stanciu M.D.** (Invited Speaker) Multiscale Assessment of Strings Musical Instruments, The 18th International Conference INTER-ENG 2024 Interdisciplinarity in Engineering, 3 - 4 October 2024, Târgu Mureș, Romania, <https://inter-eng.umfst.ro/2024/>

11 Articole indexate ISI

1. Dinulică, F., **Stanciu, M.D. (autor corespondent)**, Savin, A. (2021) Correlation between Anatomical Grading and Acoustic–Elastic Properties of Resonant Spruce Wood Used for Musical Instruments. *Forests*, 12, 1122.
2. Dinulică, F., Savin, A., Stanciu, M.D. (**autor corespondent**) (2023) Physical and Acoustical Properties of Wavy Grain Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.) Used for Musical Instruments. *Forests*, 14, 197.
3. Gurău, L.; Timar, M.C.; Coșereanu, C.; Cosnita, M.; **Stanciu, M.D. (autor corespondent)**, Aging of Wood for Musical Instruments: Analysis of Changes in Color, Surface Morphology, Chemical, and Physical-Acoustical Properties during UV and Thermal Exposure. *Polymers* 2023, 15, 1794. <https://doi.org/10.3390/polym15071794>
4. **Stanciu M.D.**, Teodorescu HD., Vlase S., Mihalica M., Cosnită M., Savin A, Multiscale assessment of artificial aging treatment of polysaccharides from tonewood species, *Int. J. Biol. Macromol.*, Volume 274, Part 1, 2024, 133310, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133310>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813024041151>)
5. **Stanciu, M.D.**; Timar, M.C.; Mihalica, M.; Cosnita, M.; Dinulică, F. Comparisons of the Effects of Polymer and Alcohol Varnishes on Norway Spruce Wood Surface Modifications. *Polymers* 2025, 17, 2131. <https://doi.org/10.3390/polym17152131>.
6. **Stanciu, M.D.**; Cosnita, M.; Gliga, G.V.; Gurau, L.; Timar, C.M.; Guiman, M.V.; Năstac, S.M.; Roșca, I.C.; Bucur, V.; Dinulică, F. Tunable Acoustic Properties Using Different Coating Systems on Resonance Spruce Wood. *Adv. Mat. Interfaces* 2024, 1, 2300781, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/admi.202300781>
7. Faktorová, D.; **Stanciu, M.D.**; Krbata, M.; Savin, A.; Kohutiar, M.; Chlada, M.; Năstac, S.M. Analysis of the Anisotropy of Sound Propagation Velocity in Thin Wooden Plates Using Lamb Waves. *Polymers* 2024, 16, 753. <https://doi.org/10.3390/polym16060753>

8. **Stanciu M.D.**, Bucur V., Valcea C. S., Savin A., Sturm R., (2018) Oak particles size effects on viscous-elastic properties of wood polyester resin composite submitted to ultraviolet radiation, *Wood Sci Technol* 52 (2): 365-382 (2018) (FI=1,706; SRI=2,454).
9. **Stanciu M.D.**, Savin A., Nastac S.M., (2018) Mechanical and surface properties of lignocellulosic fibres reinforced composites, in *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 64 (2018) 11, 698-705, ISSN 0039-2480 (FI=1,182; SRI=0,503)
10. **Stanciu M.D.**, Teodorescu D. H., Tămaş F., Terciu O.M. Mechanical and Rheological Behaviour of Composites Reinforced with Natural Fibres, *Polymers* 2020, 12 (6), 1402; (FI= 3.426; SRI=1.9) doi:10.3390/polym12061402
11. **Stanciu, M.D.**; Teodorescu, H.D.; Vlase, S. (2020) Degradation of Mechanical Properties of Pine Wood Under Symmetric Axial Cyclic Loading Parallel to Grain. *Polymers* 2020, 12, 2176. <https://doi.org/10.3390/polym12102176>.

7 Articole indexate BDI:

1. **Stanciu, M.D.** (2025). Multiscale Assessment of Strings Musical Instruments. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 18th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-Eng 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1250. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81378-8_5
2. **Stanciu, M.D.**, Nastac, S.M., Savin, A. (2023). Comparison Between Acoustic Spectral Evolutions of Violins Before and After Varnishing. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 16th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-Eng 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 605. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22375-4_18, pp 210–222
3. Guiman, M.V., **Stanciu, M.D.**, Nastac, S.M., Gliga, V.G., Savin, A. (2024). Free Vibration Analysis of Orthotropic Thin Rectangular Plates. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_5, pp. 42–53
4. Guiman, M.V., Roşca, I.C., Nastac, S.M., Georgescu, S.V., Câmpean, M., **Stanciu, M.D.** (2024). Sound Absorption Characteristics of Orthotropic Porous Materials. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_15, pp. 152–163
5. **Stanciu, M.D.**, Nauncef, A.M., Năstac, S.M., Amariei, N. (2025). Analysis of Signal Amplitude of Violins with Modified Physical Parameters. In: Auer, M.E., Rüttnann, T.

(eds) Futureproofing Engineering Education for Global Responsibility. ICL 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1281. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83520-9_59

6. **Stanciu MD**, Curtu I, Groza M, Savin A (2016) The Evaluation of Rheological Properties of Composites Reinforced with Hemp Subjected to Photo and Thermal Degradation. CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering (A. Chiru and N. Ispas Eds.), DOI 10.1007/978-3-319-45447-4_62
7. **Stanciu M. D.**, Ardeleanu A.F. Teodorescu Draghicescu H, Reverse engineering in finite element analysis of the behaviour of lignocellulosic materials subjected to cyclic stresses, in Procedia Manufacturing 22 (2018), pp 65-72, 11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2017, 5-6 October 2017, Tirgu Mures, Romania.

16 lucrări prezentate la conferințe internaționale

1. Gall, R., **Stanciu, M.D.**, Filimon, E., Cosnita, M. Gliga V.G. (2022) The influence of artificial aging on resonance wood on its physical characteristics, in Proceedings of the 9th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering, 73–81.
2. **Stanciu M.D.**, Gliga G.V., Lungu A., Ghereș E., Tismanar I. The Surface Energy of Coating Layers used for Violins Varnishing, The 10th edition of the ModTech2022 International Conference (Modern Technologies in Industrial Engineering), 22 – 26.06.2022; Constanța, Romania (prezentare orală); <https://modtech.ro/#gsc.tab=0>
3. Gall, R., **Stanciu M.D.**, Filimon E., Gliga V.Gh., Cosnita M. The influence of artificial aging on resonance wood on its physical characteristics; Proceedings of The 9th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering (COMAT2022), 18 – 19.10.2022, Brașov, România
<https://sites.google.com/view/comatcomec/program/full-program>
4. **Stanciu M.D.**, Nastac S.M., Dinulica F., Cosoreanu C., Gall R., Gliga V.Gh., Filimon R, Identification of resonance frequencies of tone wood used for musical instruments, Proceedings of the 27th International Conference „Noise and Vibration, University of Niš, Faculty of Occupational Safety, 19 – 21.10.2022, Nis, Serbia, ISBN 978-86-6093-111-7. <https://www.znrfak.ni.ac.rs/NOISE2022/Programme.html>
5. **Stanciu M.D.**, Nastac S.M., Savin A., The spectral acoustic evolution of violins before and after varnishing, Proceedings of the 27th International Conference „Noise and Vibration, University of Niš, Faculty of Occupational Safety, 19 – 21.10.2022, Nis, Serbia, ISBN 978-86-6093-111-7.

<https://www.znrfak.ni.ac.rs/NOISE2022/Programme.html>

6. **Stanciu M.D.**, Dinulica F., Sabo L.C., Rotaru M.G., Câmpean M., Savin A., Steigmann R., Năstac S.M. The influence of artificial aging on the acoustic and dynamic properties of resonant wood, Buletin Științific Supliment – Catalogul oficial al Salonului Cadet-Inova 4 – 6 May 2023, nr. 8/2023, Ed. Academiei Forțelor Terestre N. Bălcescu, Sibiu, ISSN 2501-3157.
7. Dinulică Florin, Hiciu Cristian, Sandor Daniel Constantin, Știrbu Marian, Mursa Andrei, **Stanciu M. D.**, The relationship between structure and acoustic properties of sycamore maple wood, The 13th edition of the International Conference "WOOD SCIENCE AND ENGINEERING IN THE THIRD MILLENNIUM", 2 – 4.11.2023, Transilvania University of Brasov, Romania
8. **Stanciu M.D.**, Gliga G.V., Lungu A., Ghereș E., Tismanar I. The Surface Energy of Coating Layers used for Violins Varnishing, The 10th edition of the ModTech2022 International Conference (Modern Technologies in Industrial Engineering), 22 – 26.06.2022; Constanța, Romania (prezentare orală); <https://modtech.ro/#gsc.tab=0>
9. Gall, R., **Stanciu M.D.**, Filimon E., Gliga V.Gh., Cosnita M. The influence of artificial aging on resonance wood on its physical characteristics; Proceedings of The 9th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering (COMAT2022), 18 – 19.10.2022, Brașov, România
<https://sites.google.com/view/comatcomec/program/full-program>
10. **Stanciu M.D.**, Nastac S.M., Dinulica F., Cosereanu C., Gall R., Gliga V.Gh., Filimon R, Identification of resonance frequencies of tone wood used for musical instruments, Proceedings of the 27th International Conference „Noise and Vibration, University of Niš, Faculty of Occupational Safety, 19 – 21.10.2022, Nis, Serbia, ISBN 978-86-6093-111-7. <https://www.znrfak.ni.ac.rs/NOISE2022/Programme.html>
11. **Stanciu M.D.**, Nastac S.M., Savin A., The spectral acoustic evolution of violins before and after varnishing, Proceedings of the 27th International Conference „Noise and Vibration, University of Niš, Faculty of Occupational Safety, 19 – 21.10.2022, Nis, Serbia, ISBN 978-86-6093-111-7.
<https://www.znrfak.ni.ac.rs/NOISE2022/Programme.html>
12. Dinulica F., **Stanciu M.D.**, Roibu C.C., Hiciu C., Șandor D.C., Stirbu, M., Mursa A., Maple resonance wood: structural and acoustic requirements, The 6th Edition of the Integrated Management of Environmental Resources Conference Suceava – Romania, 23 – 24 noiembrie 2023. Universitatea Stefan cel Mare din Suceava, Romania.

13. **Stanciu M.D.**, Dinulica F., Gliga V.Gh., Câmpean, M., Savin A., Nauncef A.M., The music of wood - the connection between the forest ecosystem, the manufacturing technology and art, The 6th Edition of the Integrated Management of Environmental Resources Conference Suceava – Romania, 23 – 24 noiembrie 2023. Universitatea Stefan cel Mare din Suceava, Romania.
14. **Stanciu M.D.**, Gurău L., Dinulica F., Roibu C.C., Hiciu C., Mursa A., Stirbu M. The surface morphology of sanded curly maple in comparison with straight grain maple selected for musical instruments 11th Hardwood conference, Sopron, Hungary, 30-31 May 2024, <http://www.hardwood.uni-sopron.hu/>
15. **Stanciu M.D.**, Dinulica F., (workshop) Diagnosing the Technological Quality of Wood by Means of Tree Rings, TRACE 2024 Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, BRAȘOV, ROMANIA, 3-8 JUNE 2024, <https://silvic.unitbv.ro/ro/646-trace2024.html>
16. Nastac S.M., Guiman V., **Stanciu MD** Assessment on operational dynamic response changes of tonewood due to ageing The 10th International Conference on ADVANCED COMPOSITE MATERIALS ENGINEERING, 22-23 October 2024, Transilvania University of Brașov, Romania

2 proiecte de cercetare câștigate în competiție națională, în calitate de director de proiect:

- PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148, contract: PED 568/2020 Modele inovative de viori comparabile acustic și estetic cu viorile de patrimoniu – MINOVIS, Director proiect – Stanciu Mariana Domnica, Perioada: 2020 – 2022; Finantator: UEFISCDI, suma: 600000 lei
- Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope cu interfețe modificate - ACADIA, contract nr. PCE61/2022, director proiect prof. dr. ing. Mariana Domnica Stanciu, derulat în perioada 2022 – 2024, cu valoarea de 1200000 lei.

Pe lângă aceste publicații din domeniul tezei de abilitare, autoarea tezei are și alte contribuții și publicații anterioare anului 2018, inclusiv un proiect de cercetare câștigat în competiție națională tip Bridge Grant, Proiect PN-III-P2-2.1-BG 85/2016 Soluții integrative de creștere a performanței economice prin optimizarea proprietăților rigido-elastice și stabilității structurale a chitarelor de fabricație românească - SINOPTIC; Perioada: 2016-2018; finantator: Uefiscdi (durata 24 luni), suma 400 000 lei.

Activitatea editorială a autorului totalizează 3 cărți publicate în edituri naționale în strânsă conexiune cu ingineria forestieră, 1 carte în editură internațională (în calitate de editor), în calitate de editor, 14 capitole de carte în edituri internaționale, din care 8 publicate după ultima

promovare, 31 articole ISI cu FI, 25 articole indexate BDI și peste 18 articole în volume de Conferințe Internaționale cu Comitet științific de recenzie.

Rezultatele obținute în activitatea didactică și profesională, în cea de cercetare și în recunoașterea și impactul activității au condus la îndeplinirea criteriilor corespunzătoare standardelor minimale CNATCDU, pentru Comisia de specialitate "Ingineria resurselor vegetale și animale", cu un total de **2474.66** puncte, față de totalul minim de îndeplinit de 420 puncte, respectiv **1616.49 puncte realizate în ultimii 5 ani** din care **844.97 realizate după ultima promovare din anul 2023**. Repartizarea punctajului pe fiecare domeniu de activitate se prezintă în tabelul de mai jos.

Domeniul de activitate	Condiții profesor/abilitare	Punctaj realizat de candidat	Punctaj în ultimii 5 ani (25%) (minim 105 puncte)	Grad de îndeplinire	Punctaj după ultima promovare (2023)
(A1) Activitate didactică/profesională	Minimum 100 puncte	187.14	107.40	>100%	94.94
(A2) Activitatea de cercetare	Minimum 260 puncte	999.98	608.40	>100%	257.37
(A3) Recunoașterea și impactul activității	Minimum 60 puncte	1287.54	900.69	>100%	492.66
Total (A1 + A2 + A3)	420 puncte	2474.66	1616.49	>100%	844.97

Capitolul 1. Evaluarea efectului îmbătrânirii artificiale asupra proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului de rezonanță

1.1. Aspecte generale privind structura și proprietățile lemnului de rezonanță

Lemnul este unul dintre cele mai apreciate materiale pentru construcția instrumentelor muzicale, atât din punct de vedere al calității acustice (lemn de rezonanță - molid de rezonanță), cât și din punct de vedere estetic (mahon, abanos, lemn de trandafir), din punct de vedere al viabilității și rezistenței la uzură (salcâm, abanos, nuc). Conform lui Bucur 2006, lemnul de rezonanță înseamnă un material lemnos cu o structură foarte fină, respectiv cu proprietăți fizice potrivite pentru construcția instrumentelor muzicale, această categorie incluzând atât lemnul de molid pentru placa superioară, cât și paltinul folosit pentru placa de spate. Molidul de rezonanță este arborele cu cea mai nobilă utilizare, deoarece din lemnul său, prin măiestria lutierului, se naște cel mai sensibil instrument - vioara. Spatele instrumentelor muzicale cu arcuș (viori, viole, violoncele și contrabasuri) este realizat din lemn de esență tare, în special paltin, care este o specie de lemn cu o structură relativ omogenă, ușor de prelucrat mecanic sau cu unelte manuale. Paltinul (*Acer pseudoplatanus*) este răspândit în zona montană și premontană a Munților Carpați. Există numeroase studii privind proprietățile acustice și elastice ale speciilor de lemn utilizate pentru instrumente muzicale, însă o analiză a arhitecturii anatomice a plăcii de rezonanță și a proprietăților sale acustice în cadrul aceleiași specii, bazată pe clasele de calitate anatomică stabilite de lutieri, a fost abordată mai puțin. Deși mai multe specii și varietăți de molid utilizate pentru instrumente muzicale sunt cunoscute la nivel internațional, studiile realizate au avut în vedere cele două specii recoltate din Munții Carpați, molidul (*Picea abies* L) și paltinul de munte (*Acer pseudoplatanus*). Fiind un material natural și organic, cu o structură complexă ce depinde de specia de lemn, arhitectura microscopică a lemnului poate fi analizată ierarhic pe diferite niveluri - de la modul în care țesuturile sunt grupate la nivel macroscopic sau microscopic, până la organizarea peretelui celular și chimia compoziției celulelor lemnoase la nivel submicroscopic și nano ([Mannes ș.a. 2009](#)).

1.1.1. Lemnul de molid – *Picea abies*

Analiza macroscopică a lemnului de molid de rezonanță

Lemnul de molid are o structură simplă și uniformă. Inelele anuale din secțiunea transversală sunt distinct delimitate, cu diferență coloristică între lemnul timpuriu și lemnul târziu. Lemnul

timpuriu este de culoare alb-gălbui deschis, iar lemnul târziu de culoare gălbui-brun deschis. Trecerea coloristică de la lemnul timpuriu la lemnul târziu este treptată. Prezintă canale rezinifere normale, mici, greu vizibile cu ochiul liber, puțin numeroase, dispuse frecvent în zona de trecere de la lemnul timpuriu la lemnul târziu, sau la limita exterioară a lemnului târziu. Pe secțiunea transversală și tangențială, razele nu sunt vizibile cu ochiul liber. Nu prezintă celule de parenchim lemnos. Producătorii de instrumente muzicale clasifică calitatea lemnului de molid conform unor criterii vizuale legate de macrostructura lemnului: fibră dreaptă, textură fină și densitate redusă, lățimi mici ale inelelor anuale, proporție redusă de lemn târziu. În studiile privind descriptorii anatomici ai lemnului de molid, [Dinulica ș.a. 2021](#) au analizat mostre de lemn de molid (*Picea abies* L. Karst), procurate de la un producător de instrumente muzicale din România, acestea făcând parte din semifabricatele sortate pentru cele patru clase de calitate ale instrumentelor muzicale utilizate de producător. Probele au fost uscate natural între 3 - 10 ani, în funcție de clasa de calitate (3-5 ani pentru instrumentele de tip școlar și studentesc, 10 - 12 ani pentru instrumentele profesionale și de maestru). Astfel, clasele de calitate ale mostrelor de lemn de molid au fost stabilite pe baza unor criterii de structură a inelelor anuale, și anume: lățimea inelelor, proporția de lemn târziu, proporția de lemn timpuriu și regularitatea inelelor. Au fost stabilite patru clase de calitate pentru a determina diferențele în structura macroscopică și microscopică a lemnului (marcate A, B, C, D, unde A reprezintă lemnul pentru viorile maestro și D pentru viorile de începători).

Folosind sistemul de analiză a imaginilor WinDENDRO Density (Régent Instruments Inc., Québec City, QC, Canada, 2007) din cadrul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Universitatea Transilvania din Brașov, probele au fost scanate, iar din imaginile digitalizate, zonele de lemn timpuriu (EW) și lemn târziu (LW) au fost delimitate cu o precizie de 0,001 mm, prin trasarea interactivă a unei traiectorii drepte ([Figura 1. 1](#)). Folosind această transformare digitală bazată pe software-ul WinDENDRO Density, au fost calculate proporțiile de lemn timpuriu (EWP) și lemn târziu (LWP), conform [Rocaboy ș.a. 1990](#), [Halachan ș.a. 2017](#), [Dinulica ș.a. 2019](#), [Stanciu ș.a. 2020a](#), [Stanciu ș.a. 2021b](#), [Tabelul 1. 1](#) prezintă caracteristicile inelelor anuale pentru probele de molid. Din cercetările și măsurătorile realizate, s-a constatat că lățimea lemnului timpuriu contribuie cu peste 88% la lățimea inelelor. Regresia liniară indică creșterea valorilor lățimii inelelor odată cu creșterea valorilor lățimii lemnului timpuriu ([Figura 1. 2a](#)). Lățimea lemnului târziu contribuie cu 30-70% la lățimea totală a inelelor, în concordanță cu clasa de calitate a structurii anatomice. Regresia liniară indică valorile minime ale lățimii inelelor corespunzătoare valorilor medii ale lățimii lemnului târziu ([Figura 1. 2b](#)). Regresia este de tip polinomial de gradul 2 și indică creșterea valorilor lățimii lemnului timpuriu odată cu creșterea valorilor lățimii lemnului târziu. Lățimea lemnului târziu contribuie cu 30 - 60% la

lăţimea lemnului timpuriu, în conformitate cu clasa anatomică a molidului (Figura 1. 3). De asemenea, procentul de lemn timpuriu contribuie cu 85% la lăţimea lemnului târziu. Regresia indică faptul că procentul de lemn timpuriu scade odată cu creşterea lemnului târziu. Lăţimea lemnului târziu contribuie cu 73% la regularitatea inelelor, așa cum se poate observa din Figura 1. 4. Regresia indică scăderea procentului de regularitate a inelelor odată cu creşterea lemnului târziu (Şandor, 2023).

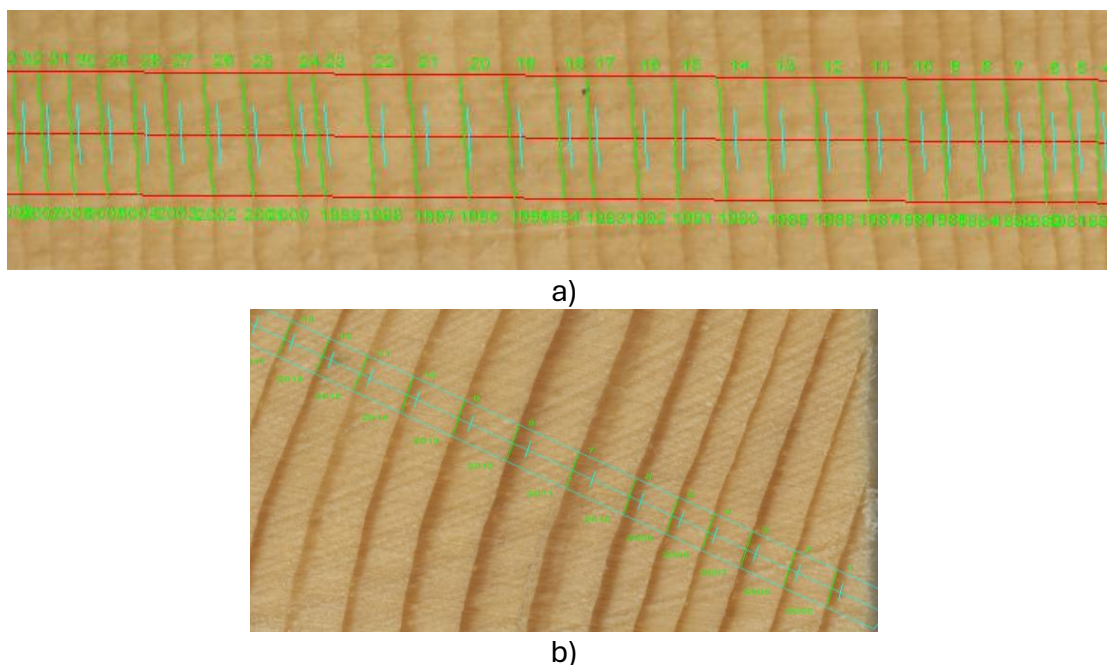


Figura 1. 1. Metoda de măsurare a inelelor anuale folosind sistemul de analiză a imaginilor WinDENDRO Density (linia verde - separatoare de inele; linia bleu - separatoare lemn timpuriu-lemn târziu, linia roşie - cale dreaptă): a) eşantion de molid clasa A; b) eşantion de molid clasa D (Dinulica ş.a. 2021, Stanciu ş.a. 2021b)

Tabelul 1. 1. Caracteristicile inelelor anuale pentru probele de molid de rezonanţă (Dinulica ş.a. 2021)

Descriptori anatomici	Media /Deviaţia standard			
	A	B	C	D
Lăţimea inelelor anuale (mm)	0.71 (0.005)	1.38 (0.018)	1.69 (0.045)	2.28 (0.005)
Lăţimea lemnului timpuriu (mm)	0.54 (0.011)	1.07 (0.029)	1.33 (0.039)	1.74 (0.029)
Lăţimea lemnului târziu (mm)	0.18 (0.013)	0.30 (0.013)	0.36 (0.022)	0.54 (0.026)
Proporţia de lemn timpuriu (%)	74.97 (1.519)	78.53 (1.203)	78.71 (0.895)	76.36 (1.138)
Proporţia de lemn târziu (%)	25.03 (1.519)	21.47 (1.203)	21.29 (0.895)	23.64 (1.136)

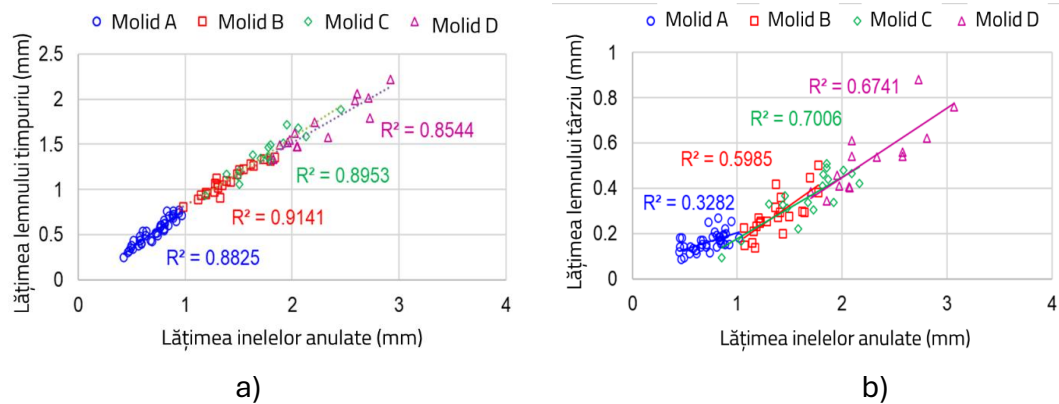


Figura 1.2. Curbele de regresie pentru: a) lățimii lemnului timpuriu în raport cu lățimea inelelor anuale; b) lățimii lemnului târziu în raport cu lățimea inelelor anuale (Stanciu ș.a. 2025a)

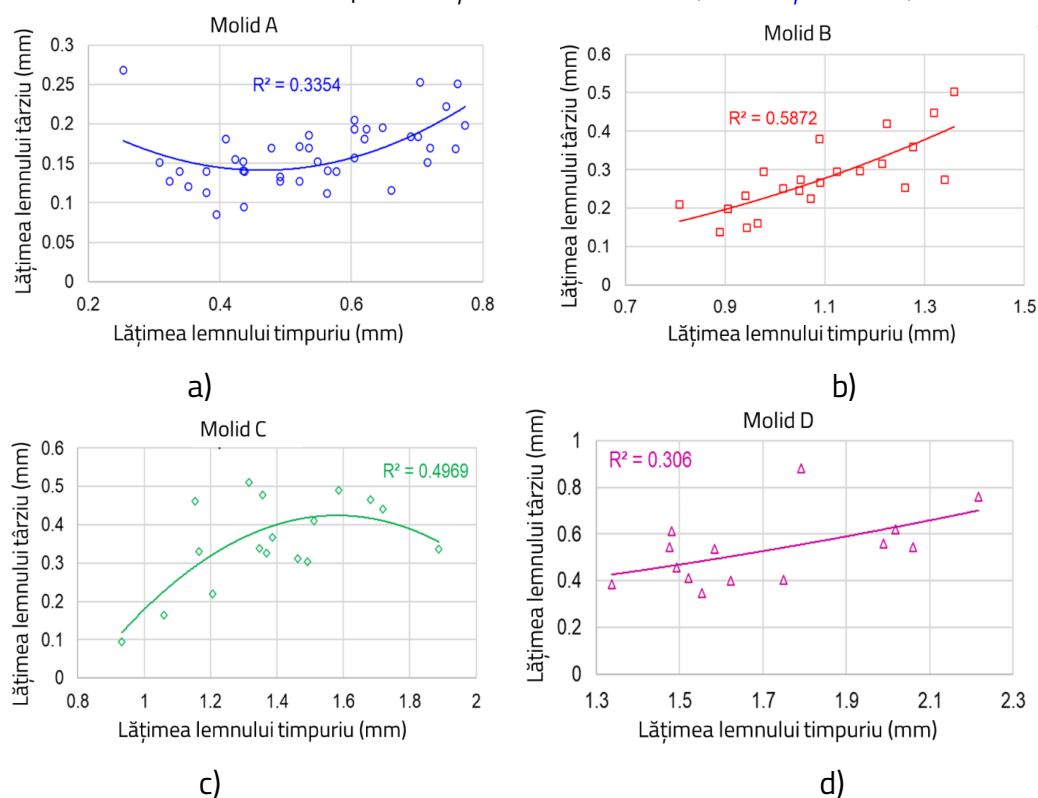


Figura 1.3. Curbele de regresie a lățimii lemnului târziu în raport cu lățimea lemnului timpuriu: a) molid A; b) molid B; c) molid C; d) molid D (Stanciu ș.a. 2025a)

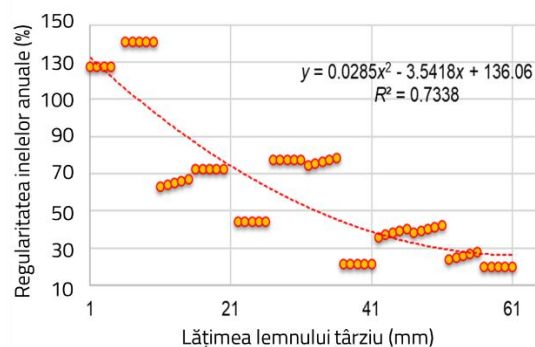


Figura 1. 4. Regularitatea inelelor anuale în funcție de lățimea lemnului târziu (Stanciu ș.a. 2025a)

Lățimea totală a inelelor anuale, regularitatea și uniformitatea lor de la an la an și proporția de lemn târziu în lățimea inelelor sunt criterii care oferă o clasificare perceptivă a sunetului (Tabelul 1. 2).

Tabelul 1. 2. Estimarea calității acustice a lemnului de molid în funcție de caracteristicile inelelor anuale (Stanciu ș.a. 2025a)

Caracteristicile inelelor anuale	Mărimea	Interpretarea
Lățimea inelului (mm)	< 1.0	Lemnul încetinește sunetul (Krzysik, 1968) și produce tonuri aspre (Hutchins, 1978) și trepidante (Grapini și Constantinescu, 1968).
	< 1.2	Raportul radiației nu corespunde valorilor pentru lemnul de rezonanță, adică mai mic de $m^4 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ (Krzysik, 1968).
	1.5–5.0	Radiația acustică crește odată cu lățimea inelelor anuale (Macareva 1968, Spycher et al 2008)
	1.0–3.0	Spectrele de emisie ale lemnului cu astfel de inele favorizează tonurile medii și înalte (Grapini and Constantinescu, 1968). Acest lemn este foarte potrivit pentru placa de suprafață a viorilor.
	1.2–2.0	Este gama de dimensiuni a inelelor cu cea mai bună regularitate, cele mai favorabile efecte asupra esteticii instrumentului și cea mai bună calitate a finisajului de șlefuire. (Beldean and Pescarus, 1992).
	1.2–3.0	Sunetul este puternic, strălucitor și plăcut (Grapini and Constantinescu, 1968).
	> 3.0	Inelele late conferă instrumentului tonuri joase, potrivite pentru violoncel și contrabas.
	3.0–4.0	Dacă aceste inele sunt uniforme, materialul este recomandat pentru placa de rezonanță a violelor, violoncelelor și lăutelor.
	4.0–6.0	Dacă aceste inele sunt plane, materialul este recomandat pentru placa de rezonanță a contrabasului și a acompaniamentelor pianului.
Proporția de lemn târziu (% din lățimea inelelor)	20–25	Oferă cel mai puternic raport de radiație sonoră. (Krzysik, 1968)
	> 33	Placile de rezonanță produc sunete înăbușite, joase. (Ștefănescu, 1964)

Importanța lor este uneori discutată contradictoriu. Datele din literatură de specialitate și cele măsurate prin studiile actuale, privind lemnul de molid din Carpații Românești, susțin pertinenta acestor criterii macrostructurale în alegerea lemnului pentru viori. Regularitatea și omogenitatea sunt atributele care influențează cel mai mult comportamentul acustic al lemnului (Brancheriu et al. 2006). Lemnul cu structură fină dau valori ridicate pentru modulul lui Young și viteza sunetului, în timp ce structurile neuniforme și neuniforme dau valori scăzute pentru acești parametri acustici (Bucur 2006). O proporție mai mică de lemn târziu nu numai că duce la o densitate mai mică a lemnului, dar și la un raport ridicat de rigiditate de-a lungul fibrei și transversal (Hutchins 1978). Pentru viori, acest raport are valori optime de aproximativ zece sau doisprezece la unu (Hutchins 1978). La molidul karelian și cedrul siberian, raportul de radiație scade odată cu procentul de lemn târziu (Macareva 1968).

Arhitectura microscopică a lemnului de molid de rezonanță

Arhitectura microscopică a lemnului de molid este formată din vase, canale rezinifere, raze și celule parenchimatică. Compoziția celulară este formată din 95% traheide, 3.6% formațiuni rezinifere, 1.4% parenchim radial, 71% lumen celular (Dinulică, 2021). Canalele rezinifere sunt vizibile doar cu lupa și sunt rare (25-35 buc/cm²). În cazul molidului din munții Carpați, s-a constatat o variabilitate foarte mare a caracteristicilor traheidelor (Tabelul 1. 3), în special a indicelui de subțirime (raportul dintre diametrul lumenului și diametrul total al celulei).

Tabelul 1. 3. Date de referință pentru Carpații Românești privind biometria traheidelor tulpinilor de lemn de molid prelevate cu carote la înălțimea pieptului (Dumitriu-Tătăranu 1983 citat de Stanciu ș.a. 2025a)

* Măsurate pe preparate microscopice de fibre macerate în reactivi chimici

Caracteristicile traheidelor*	Media/deviația standard	Interval între proveniențele geografice
Lungimea (mm)	3.218±0.204	2.714÷3.463
Diametrul (μm)	38.50±0.21	35.70÷42.55
Diametrul lumenului/diametrul fibrei (%)	83.18±0.66	57.00 ÷93.00

Valori ridicate ale acestui indice au fost observate încă din lemnul juvenil în populațiile de molid cu arbori de rezonanță. Așadar, putem presupune că lemnul de rezonanță carpatin este format din fibre cu pereți mai subțiri decât media arborilor comuni. Pe de altă parte, populațiile de lemn de rezonanță carpatin aparțin în mare parte grupurilor cu valori ridicate ale dimetrului traheidelor, peste 40 μm. De asemenea, populațiile de molid din Carpații nordici și vestici au traheide mai lungi decât în Carpații sudici și sud-estici (Dumitriu-Tătăranu 1983).

La nivelul structurii microscopice, lemnul de rezonanță de molid diferă de lemnul comun, cu precădere în ceea ce privește zona de lemn târziu (Niedzielska 1972). Cercetările din Polonia au arătat că traheidele lemnului cu acustică înaltă sunt cu 14% mai mici în diametru radial decât la molidul comun, cu 15% mai mici în aria secțiunii transversale și cu 27% mai groase în grosimea peretelui radial (Niedzielska 1972). Pereții celulari mai groși fac ca densitatea lemnului de rezonanță să fie apropiată de cea a lemnului comun, chiar dacă proporția de lemn târziu este mai mică. De asemenea, tranziția de la lemnul timpuriu la lemnul târziu este bruscă, spre deosebire de lemnul comun, unde tranziția este graduală. În proveniențele de molid german, s-a constatat că, în comparație cu lemnul comun, lemnul de cea mai bună calitate pentru sunet are traheide cu diametru mai mic atât în lemnul timpuriu, cât și în cel târziu, pereți celulari semnificativ mai subțiri în lemnul târziu și o proporție de lemn târziu în medie de 15% (Spycher et al. 2008). Măsurătorile privind structura anatomică a lemnului au fost efectuate cu ajutorul software-ului de anatomie ROXAS și Image-Pro Plus, realizat de Media Cybernet-ics SUA din dotarea Laboratorului de Biometrie Forestieră a Universității Ștefan cel Mare din Suceava. Pe baza transformării digitalizate a imaginilor scanate ale preparatelor microscopice, caracteristicile anatomice detectate sunt reprezentate și salvate ca suprapuneri vectoriale. Instrumente performante de filtrare și editare a celulelor permit îmbunătățirea rezultatelor analizei automate, putând calcula peste 120 de parametri la nivelul întregii imagini, la nivelul fiecărui inel anual și al fiecărei celule individuale, cum ar fi: lățimea inelului anual, diametrul și suprafața golurilor, grosimea peretelui celular (tangentială și radială), poziția celulelor inelare, gruparea vaselor, conductivitatea hidraulică, indicele Mork, rezistența la încovoiere etc. Diferențele anatomice dintre clasele de calitate ale molidului se datorează în primul rând criteriilor de structurale: pentru clasele superioare se preferă lemnul cu inelele cele mai înguste și cu o proporție cât mai mică de lemn târziu (Figura 1.5a,b). S-a observat că la unele eșantioanele din clasa D, apare o caracteristică numită în literatura de specialitate "molid alunat" (Figura 1.5e). Caracterul anatomic al "molidului alunat" se referă la retragerea sistematică a conturului inelelor anuale în direcția unor raze de pe secțiunea transversală. Această retragere are ca efect deformarea tuturor elementelor anatomice (vasele sunt mai mari în special în direcția radială; direcția rândurilor de traheide se pierde; celulele parenchimatoase sunt mai mari și mai dense decât lemnul fără inele de alun). Influența structurii alunat asupra proprietăților elastice și acustice comparativ cu structura regulată a lemnului de molid a fost studiată de Viala și colab. 2023, care au constatat că cele mai pronunțate diferențe sunt legate de modulul de elasticitate în direcție radială, în special de modulul lui Young în direcție longitudinală și de modulul specific de forfecare (transversal) în planul longitudinal.

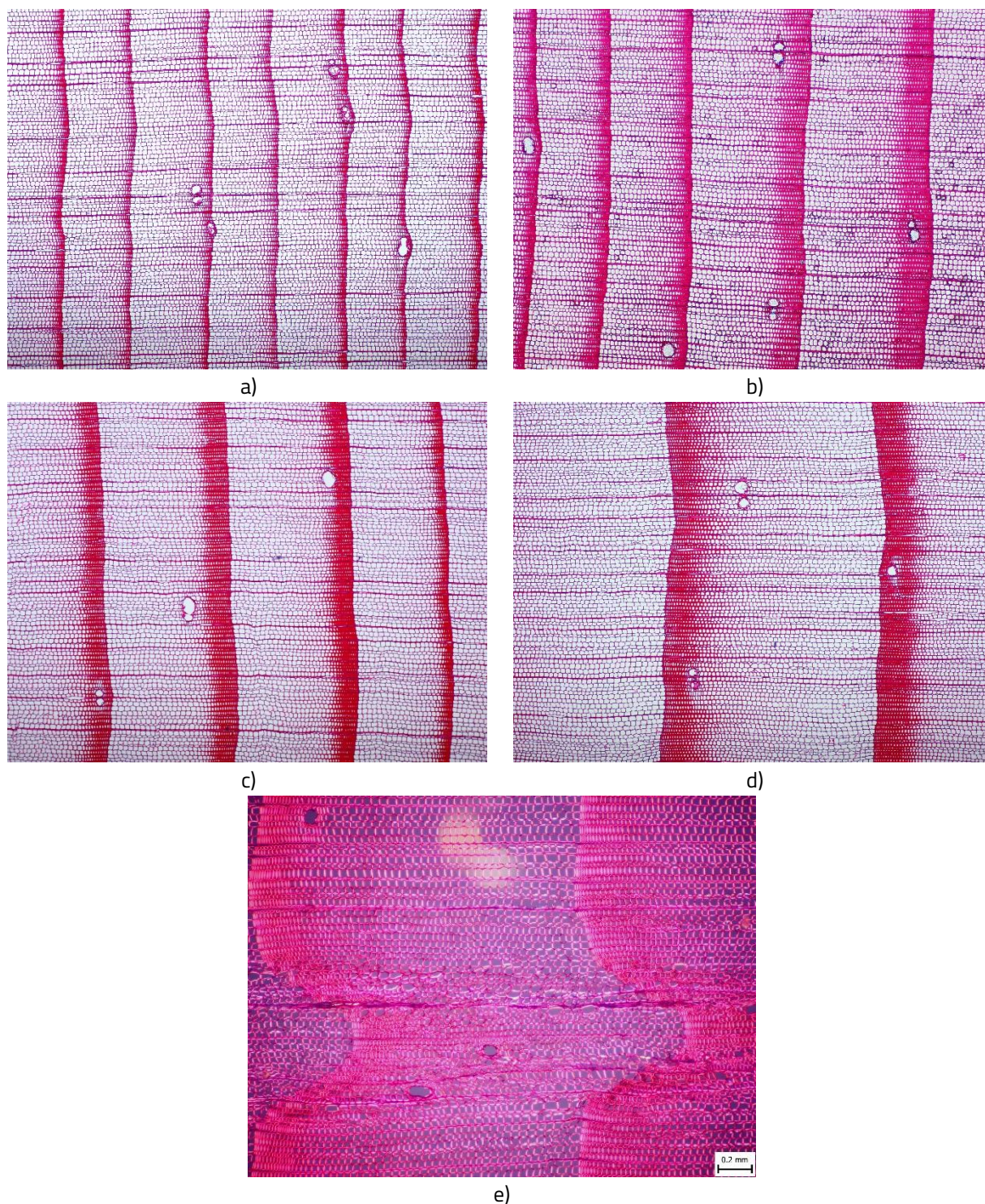


Figura 1.5. Vedere microscopică a lemnului de molid în secțiune transversală: a) eşantion de molid clasa A; b) eşantion de molid clasa B; c) eşantion de molid clasa C; d) eşantion de molid clasa D ; e) molid alunat (clasa D) A (mărire x4) (Stanciu ş.a. 2025a)

Datorită nivelului ridicat de organizare structurală a lemnului de molid, transferul câmpului acustic are loc la toate nivelurile arhitecturii lemnului, de la macroscopic (furnizarea celor mai

utili markeri practici) la ultrastructural (furnizarea celor mai relevanți markeri fizico-acustici) Dinulica et al. 2019. Studiile efectuate de (Brémaud 2012, Ono și Norimoto 1984; Obataya ș.a. 2000; Hori ș.a. 2002; Wessels ș.a. 2011) au evidențiat faptul că structura sub-microscopică, unghiul microfibrilelor și gradul de cristalinitate al celulozei (Norimoto ș.a. 1981) afectează performanța acustică a lemnului în comparație cu caracteristicile macrostructurale ale lemnului. Măsurătorile efectuate pe mai mult de 139183 celule de lemn, bazate pe transformarea digitalizată a preparatelor microscopice cu ajutorul pachetelor profesionale WinCELL și Roxas, au evidențiat faptul că parametrii anatomici ai lemnului de molid nu suferă modificări considerabile de la o calitate la alta (Figura 1. 6). Astfel, au fost determinate pe baza măsurătorilor, următoarele caracteristici:

- procentul de pereți celulari în suprafața lemnului,
- procentul de lumen în suprafața lemnului,
- perimetrul celulei,
- grosimea peretelui,
- diametrul lumenului.

Tabelul 1. 4 prezintă indicatorii cantitativi ai structurii microscopice a lemnului de molid de rezonanță pe clase de calitate.

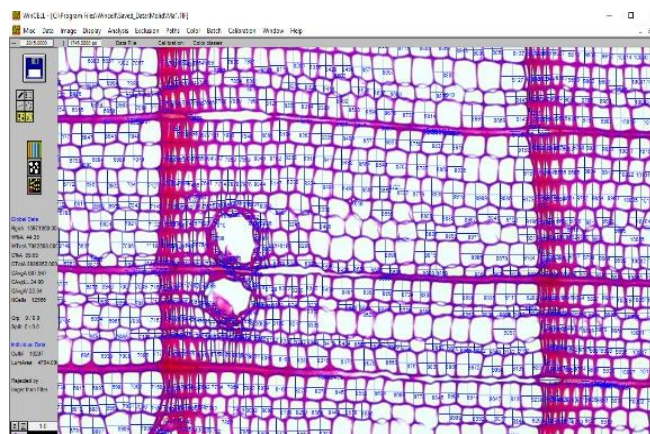


Figura 1. 6. Captură de ecran a măsurării celulelor folosind aplicația WinCELL în lemn de molid de calitate clasa A (Stanciu ș.a. 2025a)

Tabelul 1. 4 Indicatori cantitativi ai structurii microscopice a lemnului de molid (*1px² = 0.26 mm) (Șandor, 2023)

Descriptori anatomici	Valori medii			
	A	B	C	D
Pereți celulari de la suprafața lemnului (%)	51.90	57.63	52.90	50.20
Lumenul de la suprafața lemnului (%)	48.00	42.30	47.03	49.60
Suprafața medie a lumenului (px ²)*	607.84	631.86	628.35	618.72
Numărul total de celule identificate electronic	36531	30584	34403	37665

Performanța acustică a lemnului de molid raportată la microscopia sa

Structura lemnului la scara microfibrilelor celulozice are o contribuție mai mare din punct de vedere acustic decât structura la scară microscopică sau macroscopică (Stanciu ș.a. 2025a). Caracteristicile ultrastructurale ale lemnului sunt strâns legate de proprietățile elastico-mecanice ale lemnului (Tabelul 1.5). Organizarea la microscară a pereților celulari influențează în mod determinant modulul de elasticitate, viteza sunetului de-a lungul fibrei și anizotropia axială – rigiditatea transversală (Obataya ș.a. 2000). La molidul de rezonanță, diferența dintre lemnul timpuriu și cel târziu în ceea ce privește unghiul microfibrilelor este mai mică decât la molidul comun (Fabisiak și Mania 2016). Comportamentul lemnului la nanoscară are cea mai mare contribuție la amortizarea vibrațiilor (Brémaud 2012a).

Tabelul 1.5. Structura microscopică a lemnului de molid – condiții pentru calitate acustică superioară (Stanciu ș.a. 2025a)

Caracteristici structurale	Legătura cu proprietățile acustice
Lungimea traheidelor (mm)	Modulul de rigiditate longitudinală este direct proporțional ($r = +0,823$) cu lungimea traheidelor (Rocaboy and Bucur 1990).
Unghiul microfibrilelor, (°) (notat MFA)	Unghiul microfibrilelor este critic pentru modulul de elasticitate și modulul de forfecare (Zhu ș.a. 2005). Valori scăzute ale MFA înseamnă un modul de elasticitate longitudinal (MOE/densitate) relativ ridicat și un factor de amortizare scăzut (Hori ș.a. 2002). MFA din peretele celular S2 este principalul factor care contribuie la frecarea internă și la anizotropia modulului lui Young (Ono and Norimoto 1984, Brancheriau ș.a. 2010).
Indexul de cristalinitate (%)	La valori mai mari de 59%, indicele de cristalinitate este cel mai favorabil pentru proprietățile vibraționale ale lemnului (Liu et al 2001). Indicele de cristalinitate scade odată cu unghiul microfibrilelor. (Rocaboy and Bucur 1990). Lemnul cu valori extrem de scăzute ale modulului de elasticitate prezintă un grad scăzut de cristalinitate. (Norimoto ș.a. 1981).

1.1.2. Lemnul de paltin – *Acer pseudoplatanus*

Aspecte privind structura macroscopică

Lemnul de paltin este fără duramen, având o culoare alb, alb-gălbui sau crem-albicios. Culoarea nu este uniformă, spre axul măduvei lemnul este mai închis la culoare, cu tendințe spre brun-auriu. Pe secțiunile longitudinale, destul de des cu dungi cenușiu-negricioase. Odată cu expunerea la lumină, culoarea devine instabilă. Din punct de vedere al structurii anatomice, lemnul de paltin prezintă inele anuale distincte, cu conturul subliniat în lungul fibrei. Pe

secțiunea transversală, conturul inelelor este ușor retras în dreptul razelor. Este un lemn cu pori uniform împrăștiați, vizibili cu lupa, relativ rari, solitari sau asociați câte 2 sau 3 în grupe radiale. Raze echidistante, de două mărimi: unele mai late (28-seriate), vizibile cu ochiul liber pe secțiunea transversală sub formă de linii albe, lucioase, altele înguste (11-seriate), abia vizibile cu lupa. Pe secțiunea radială razele formează oglinzi dese, joase și foarte lucioase. Nu prezintă pete medulare. Fibra este dreaptă, ondulată sau dantelată. Lemn areo textură fină și omogenă. Lemnul de paltin este utilizat în domeniul construcției instrumentelor muzicale, pentru plăcile de spate, aparținând speciei *Acer pseudoplatanus* L. (Beldeanu 2001). În cadrul acestei specii, există arbori cu fibre înguste și ondulate; fibre late și ondulate; fibre ondulate dispuse în flăcări largi; fibre ondulate dispuse în flăcări înguste, care oferă un aspect estetic deosebit (Bucur, 1992, Beldeanu 2008, Stanciu ș.a. 2025a). Aceste modele de lemn, prezentate în Figura 1.7, dau denumirea soiului de lemn de paltin, cum ar fi paltin cu fibră crețată; fibră cu fibră tip flăcări; fibra tigrată, fibră parțial matlasată; paltin cu fibra ochi de pasăre, care este menționată în diverse referințe (Dinulica ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2020, Straže ș.a. 2020, Alkadri ș.a. 2018). În România, paltinul cu fibra ondulată este răspândit în zonele muntoase și premontane, pe tot arcul carpatic, zonele certe de prezență ale acestuia, determinate de cercetările întreprinse, fiind următoarele: Carpații Orientali - Depresiunea Maramureșului, Carpații Orientali - Grupa Centrală, Carpații Orientali - Grupa Curburei, Carpații Meridionali și Subcarpații Getici (Dinca ș.a. 1996, 1998).



Figura 1.7. Varietăți ale desenului lemnului de paltin (Stanciu ș.a. 2021a, Dinulica ș.a. 2025)

Arhitectura anatomică a lemnului de paltin diferă de cea a lemnului de molid, având o structură complexă, cu inele anuale distincte, cu contur regulat, fără diferențe pronunțate între lemnul timpuriu și cel târziu. Lemnul este de culoare albicioasă, uneori cu dungi negru-gri, evidente pe secțiuni longitudinale. Din punct de vedere al microstructurii, prezintă pori uniform dispersați, mici, invizibili cu ochiul liber, vizibili cu lupa, relativ rari, simpli sau în rânduri radiale, cu

deschidere aproape egală pe toată lăţimea inelului anual. Membranele porilor (pereţii longitudinali) prezintă îngroşări elicoidale şi punctuaţii mari, cu un diametru de aproximativ 18 μm (Bucur 2006, Beldeanu 2008, Stanciu ş.a. 2024b). Studiile realizate de Savidge şi colab. în 1984 şi Harris în 1989 au analizat unghiului de răsucire sau ondulare a fibrei la arborii pe picior, analizând factorii care au determinat formarea acestui defect de creştere. Creşterea fibrei ondulate la lemnul de paltin se datorează şi factorilor genetici, aşa cum au observat şi Quambusc şi colab. în 2021. Din perspectiva valorificării modelelor fibrei de paltin, Alkadri şi colab. în 2018 introduc, pe lângă descriptorii anatomici referitori la inelele anuale, următoarele mărimi legate de ondulaţia fibrei: lungimea de undă, amplitudinea, unghiul fibrei măsurat în punctul de tranziţie dintre vârful şi valea undei şi gradul de ondulaţie ca raport între amplitudine şi lungimea de undă. Având în vedere împărţirea probelor de lemn de paltin în cele patru clase de calitate, precum molidul, în funcţie de intensitatea ondulării fibrei, au fost determinaţi descriptorii anatomici ai lemnului. Conform clasificării lutierilor, exemplarele cu fibră foarte ondulată aparţin clasei A, lemnul de paltin cu fibră ondulată, dar cu fibră rară, clasei B, exemplarele cu fibră uşor ondulată clasei C, iar lemnul cu fibră dreaptă clasei D (Spycher ş.a. 2008, Dinulica ş.a. 2023), aşa cum se poate observa în Figura 1.8.

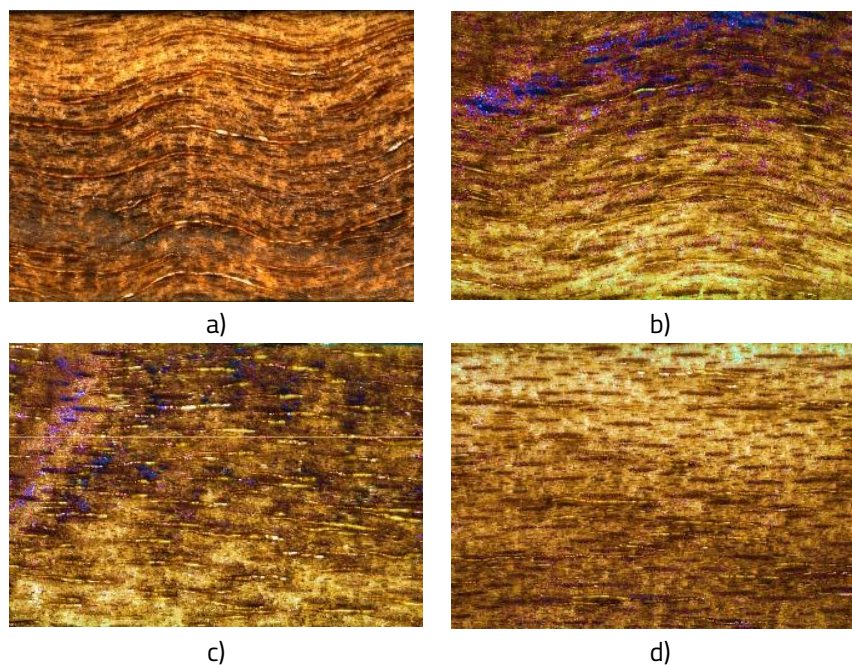


Figura 1.8. Gradul de ondulaţie a fibrei observat în secţiunea tangenţială (Stanciu ş.a. 2020a)

Măsurătorile efectuate pe cele patru clase de calitate au evidenţiat următoarele caracteristici anatomice: lăţimea anuală a inelelor (RW), indicele de regularitate a inelelor (RRI), pasul ondulaţiei fibrelor (FUP) şi unghiul fibră. Măsurătorile au fost efectuate în acelaşi mod ca şi cel utilizat pentru probele de lemn de molid, prezentate în secţiunea 1.1.1. **Tabelul 1. 6** prezintă

valorile caracteristicilor anatomice ale probelor de lemn de paltin. S-a observat că indicele de regularitate a inelelor lemnului de paltin este mai mare în lemnul cu fibră ondulată decât în cel cu fibră dreaptă (Tabelul 1. 6), astfel încât regularitatea inelelor anuale este mai mică în probele cu fibră dreaptă comparativ cu cele cu fibră ondulată (Stanciu ș.a. 2020a, Dinulica ș.a. 2023).

Tabelul 1. 6. Rezultatele măsurătorilor descriptorilor anatomici ai lemnului de paltin (Stanciu ș.a. 2020a)

Descriptorii anatomici ai lemnului	Valori medii			
	A	B	C	D
Lățimea inelelor anuale RW (mm)	1.249	1.218	0.844	0.987
Regularitatea lățimii inelelor anuale RRI (%)	76.574	80.028	82.932	83.462
Pasul de ondulare a fibrei FUP (mm)	5.448	6.2952	7.4182	NA
Unghiul de ondulare a fibrei (°)	23.528	13.016	4.07	2.69

Particularitățile microscopice ale lemnului de paltin utilizat pentru instrumente muzicale

Studiul anatomic al lemnului de paltin, utilizând sistemele de analiză WinDendro, WinCELL și Roxas, a evidențiat datele morfologice ale celulelor lemnoase măsurate pe preparatele microscopice. Au fost măsurate un total de 4531 de vase de lemn și 575433 de fibre și celule parenchimatice (Figura 1. 9).

În urma analizării parametrilor anatomici ai vaselor din lemnul de paltin, s-a constatat că acestea suferă modificări considerabile de la o clasă la alta. În clasele superioare, observăm o tendință spre o structură mai fină a vaselor, atât prin analiza proporției golurilor, care tind să aibă o pondere mai mare odată cu scăderea calității, cât și prin suprafața medie a golurilor, care crește și ea odată cu scăderea calității. S-a observat că diferențele anatomice dintre clasele de calitate ale paltinului se datorează, pe de o parte, faptului că razele se îngroașă pe măsură ce calitatea scade; pe de altă parte, frecvența vaselor grupate crește pe măsură ce calitatea scade, iar odată cu scăderea clasei de calitate, tendința este de grupare în clustere (Figura 1.10). În Tabelul 1. 7 sunt prezentați indicatorii cantitativi ai vaselor de lemn de paltin și suprafețele de fibre și parenchim (Hiciu 2023, Stanciu ș.a. 2024b).

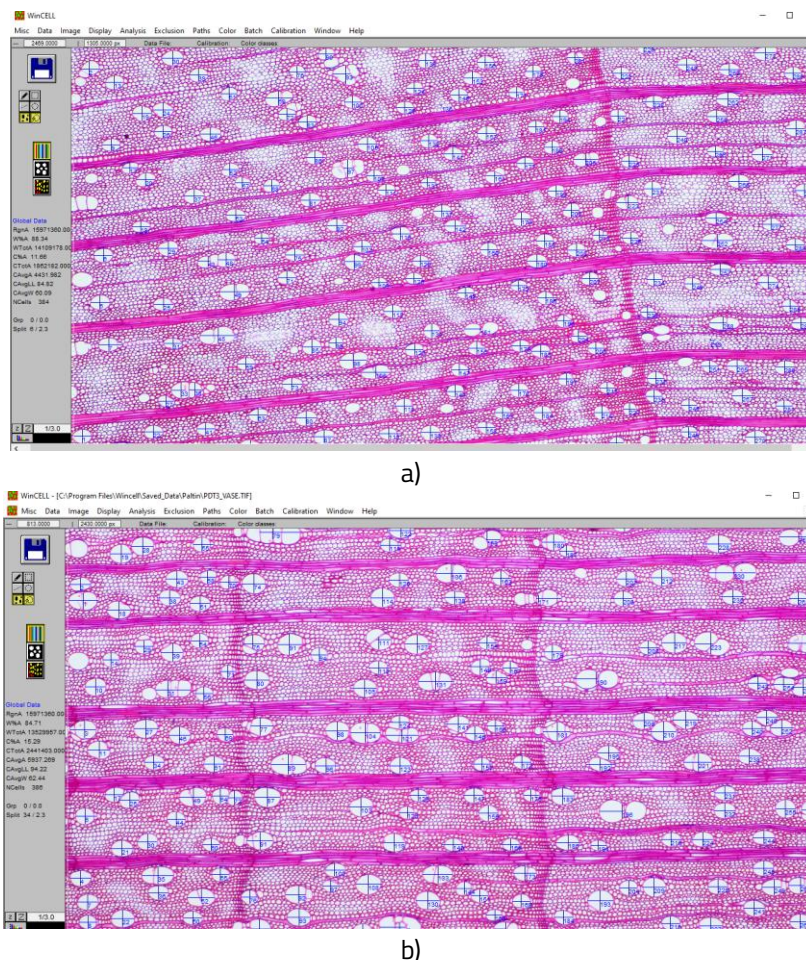


Figura 1.9. Captură de ecran din timpul măsurării elementelor anatomice ale lemnului cu WinCell: a) lemn de paltin clasa A, b) lemn de paltin clasa D (Stanciu ș.a. 2024b)

Tabelul 1.7. Indicatori cantitativi ai structurii microscopice a lemnului de paltin (*1px² = 0.26 mm) (Stanciu ș.a. 2024b)

Descriptori anatomici	Valoarea medie			
	A	B	C	D
Vasele din lemnul de paltin				
Proporția pereților celulari din secțiunea lemnului (%)	86.78	88.75	88.67	86.21
Proporția de goluri celulare (%)	13.22	11.25	11.33	13.79
Suprafața medie a lumenului (px ²)*	4782.44	4390.25	4325.72	6131.19
Totalul celulelor identificate electronic	409	375	390	335
Fibre și celule de parenchim				
Proporția pereților celulari din secțiunea lemnului (%)	66.62	68.28	66.00	68.91
Proporția de goluri celulare (%)	33.37	31.71	33.99	31.08
Suprafața medie a lumenului (px ²)*	97.64	120.75	107.65	102.40
Totalul celulelor identificate electronic	53158	41394	50288	46970

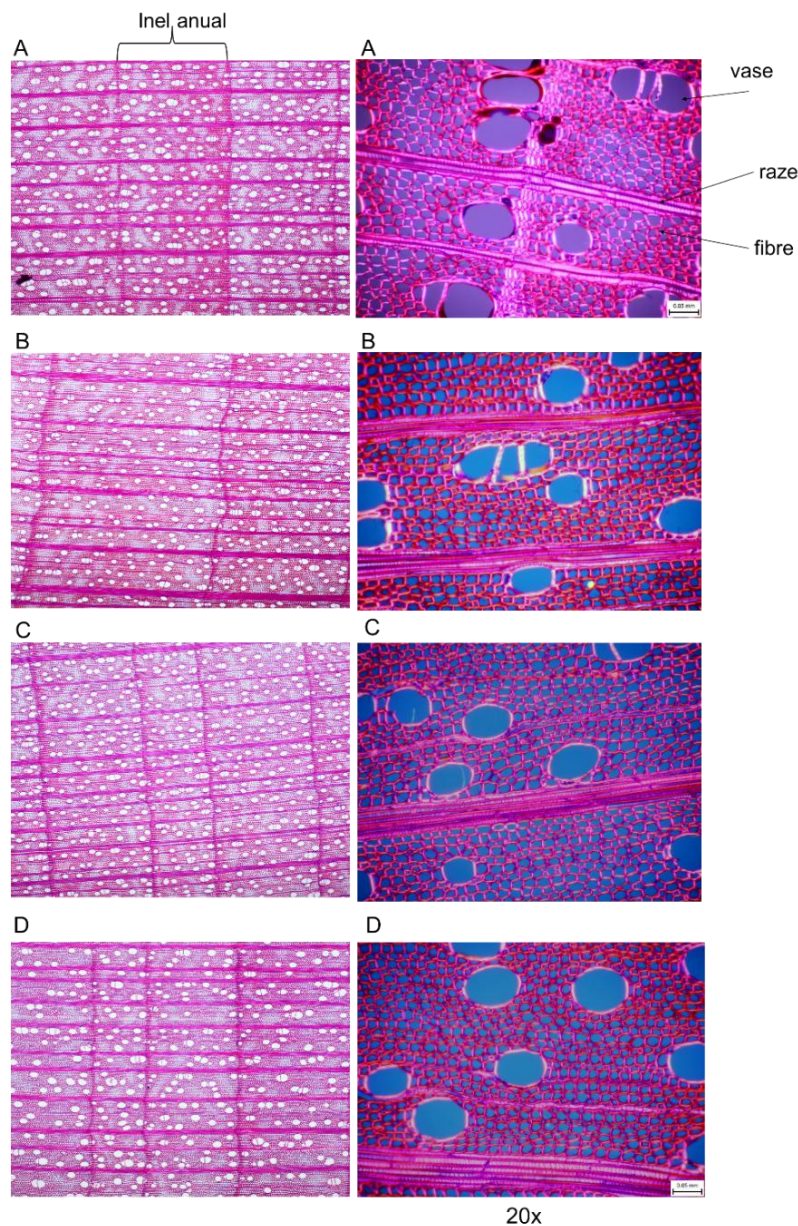


Figura 1.10. Indicatori cantitativi ai vaselor din lemn de paltin (Stanciu ș.a. 2024b, Stanciu ș.a. 2025a)

Din examinarea anatomică pe clase de calitate a probelor din lemn de rezonanță, s-a constatat că pentru clasele superioare este preferat lemnul cu inele înguste, iar odată cu scăderea calității, inelele încep să devină mult mai late. S-a observat că la clasele superioare proporția de lemn târziu este mult mai mică în comparație cu clasele inferioare. Parametrii anatomici ai lemnului de molid nu suferă modificări considerabile de la o clasă de calitate la alta, compartiv cu lemnul de paltin unde diferențele sunt notabile. Proporția de lemn timpuriu și lemn târziu contribuie la regularitatea inelelor.

1.1.3. Contribuții, diseminare și vizibilitatea cercetărilor

Cercetările prezentate în acest studiu au fost realizate în cadrul **proiectelor de cercetare**:

- PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148, contract: PED 568/2020 Modele inovative de viori comparabile acustic și estetic cu viorile de patrimoniu – MINOVIS, Director proiect – Stanciu Mariana Domnica, Perioada: 2020–2022; Finantator: UEFISCDI, suma: 600000 lei
- PN-III-P4-PCE-2021-0885, contract PCE 61/2022 Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope Cu interfețe modificate – ACADIA, Director proiect - Stanciu Mariana Domnica, Perioada: 2022 – 2024; Finantator: UEFISCDI, suma: 1200000 lei.

Au fost publicate următoarele articole științifice:

Jurnale indexate ISI:

Dinulică, F., **Stanciu, M.D. (autor coresp.)**, Savin, A. (2021) Correlation between Anatomical Grading and Acoustic–Elastic Properties of Resonant Spruce Wood Used for Musical Instruments. *Forests*, 12, 1122.

Dinulică, F., Savin, A., Stanciu, M.D. (**autor coresp.**) (2023) Physical and Acoustical Properties of Wavy Grain Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.) Used for Musical Instruments. *Forests*, 14, 197.

Gurău, L.; Timar, M.C.; Coșereanu, C.; Cosnita, M.; **Stanciu, M.D. (autor coresp.)**, Aging of Wood for Musical Instruments: Analysis of Changes in Color, Surface Morphology, Chemical, and Physical-Acoustical Properties during UV and Thermal Exposure. *Polymers* 2023, 15, 1794.

Articole indexate BDI:

Stanciu, M.D. (2025). Multiscale Assessment of Strings Musical Instruments. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 18th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-Eng 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1250. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-81378-8_5

Lucrări prezentate la conferințe internaționale

Gall, R., **Stanciu, M.D.**, Filimon, E., Cosnita, M. Gliga V.G. (2022) The influence of artificial aging on resonance wood on its physical characteristics, in *Proceedings of the 9th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering*, 73–81.

Capitole carte

Stanciu, M.D. (autor corespondent), Dinulică, F., Roibu, C.C., Guiman, M.V., Cerbu, C., Savin, A. (2025). Quality Classes of Blanks for Violins and Some Relevant Physical Parameters of Wood. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) *Interdisciplinary Approach to the Violin*. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_2

Stanciu M.D. (coord.), Mihălcică M. (coord.) (2022) *ș.a. Dinamica viorii*, Ed. Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978–606–19–1517–0, pp. 302

1.2. Cercetări experimentale privind influența îmbătrânirii artificiale asupra proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului de rezonanță

1.2.1. Aspecte generale privind efectul îmbătrânirii naturale și artificiale asupra lemnului

În acustica instrumentelor muzicale cu corp rezonator, s-a presupus că îmbătrânirea lemnului duce la îmbunătățirea proprietăților acustice. Pentru a înțelege cum contribuie îmbătrânirea lemnului la calitățile acustice ale instrumentelor muzicale, este esențial să se analizeze informații detaliate și precise despre arhitectura și proprietățile lemnului de rezonanță la diferite scări ([Kataoka ș.a. \(2007\)](#), [Salca ș.a. \(2021\)](#), [Tjeerdsma ș.a. \(1998\)](#)). Îmbunătățirea calității acustice a plăcii de rezonanță prin îmbătrânire începe de la nivel chimic, prin creșterea gradului de cristalinătate al celulozei și scăderea conținutului de carbohidrați amorfii. Analizând fenomenul îmbătrânirii artificiale de la macroscară la nanoscară, se poate considera că modificările chimice produse de îmbătrânirea artificială se manifestă prin ruperea legăturilor covalente din compușii organici ai lemnului, reducerea masei, creșterea stabilității la variațiile de umiditate și scăderea conținutului de lignină. Chiar dacă modificările chimice nu sunt cantitative la nivel mecanic/elastic, totuși, la nivel acustic, acestea cresc viteza de propagare a sunetului. Îmbătrânirea lemnului, atât prin procese de fotodegradare, cât și prin oxidare termică, produce modificări în structura lemnului, vizibile pe radiografiile cu raze X prin diferența de densitate a lemnului față de cea a lemnului neîmbătrânit ([Stanciu ș.a. \(2021b\)](#), [Stoel & Borman \(2008\)](#), [Sodini ș.a. \(2012\)](#)). Din punctul de vedere al arhitecturii chimice a lemnului, acesta este un produs carbohidrat natural complex, bazat pe lanțuri polimerice tridimensionale de carbohidrați, și anume celuloză, hemiceluloză și lignină, cu cantități minore de extractibile și compuși anorganici. În cazul lemnului pentru instrumente muzicale, de exemplu molid (*Picea abies* Karst. L.) și paltin (*Acer pseudoplatanus* L.), celuloza se găsește într-o proporție de aproximativ 50.69 – 50.90%, fiind un homopolisaharid liniar, compus din unități β -D-glucopirano, cu legături covalente β -1,4-glicozidice, având rolul de a întări pereții celulari ([Figura 1. 11.a](#)) ([Srndovic 2011](#); [Španić ș.a. 2018](#), [Cosnita ș.a. 2023](#)). Conform cercetărilor lui [Kollmann ș.a. \(1968\)](#), [Fengel \(1970\)](#), [Kerr & Goring \(1975\)](#), hemicelulozele sunt polimeri amorfii, acționând ca lianți în pereții celulari și asigurând flexibilitatea acestora. De asemenea, s-a constatat că hemicelulozele sunt esențiale pentru formarea structurii microfibrilelor de celuloză în timpul depunerii celulozei în peretele celular. Hemicelulozele reprezintă un grup mare de heteropolimeri ramificați, compuși din mai multe unități monomerice, dintre care studiile au arătat că în lemnul de esență moale, cum ar fi molidul, xiloglucanii au un rol structural în pereții celulari primari, formând, împreună cu celuloza, o rețea portantă ce previne ruperea celulelor sub stres mecanic. În [Figura 1. 11.b](#) este prezentată

structura xiloglucanilor. Lignina constituie un grup de biopolimeri aromatici ramificați, fiind un carbohidrat amorf, alcătuit din unități hidroxifenil propan, într-o structură tridimensională. Studiile au arătat că principalii compuși ai ligninei native sunt monolignolii cunoscuți sub numele de alcool p-cumarilic, alcool coniferilic și alcool sinapilic (Figura 1. 11.c) (Stanciu ș.a. 2024c). Lignina se găsește predominant în peretele celular secundar, asigurând rezistența la compresiune a fibrelor, dar și o suprafață hidrofoabă a fibrelor, necesară pentru transportul apei (Fengel (1970), Kerr & Goring (1975), Kato & Cameron (1999)). Structura chimică a lemnului este prezentată în numeroase studii, cu detalii despre compușii chimici și amplasarea lor în arhitectura pereților celulari ai lemnului, atât la lemnul de molid, cât și la cel de paltin (Stanciu ș.a. 2024c). Lanțurile de celuloză, hemiceluloză și lignină se găsesc în proporții diferite, iar modul în care se formează pereții celulari depinde de informația genetică a speciei de lemn. Astfel, în lemnul de molid, celulele cu rol de rezistență și transport al apei sunt traheidele, iar în lemnul de paltin, sistemul axial este alcătuit din fibre și vase. La instrumentele muzicale, în stare uscată a lemnului, aceste formațiuni sunt responsabile de transmiterea sunetelor și vibrațiilor în direcție longitudinală. Efectul îmbătrânirii lemnului asupra proprietăților fizice și mecanice a fost studiat, dar literatura este destul de săracă în ceea ce privește studiile privind fotodegradarea luminii și tratamentele de oxidare termică în scopul creșterii performanței acustice a lemnului. Îmbătrânirea lemnului poate fi observată vizual prin schimbarea culorii lemnului, schimbarea culorii fiind mare la începutul îmbătrânirii, după care scade în timp.

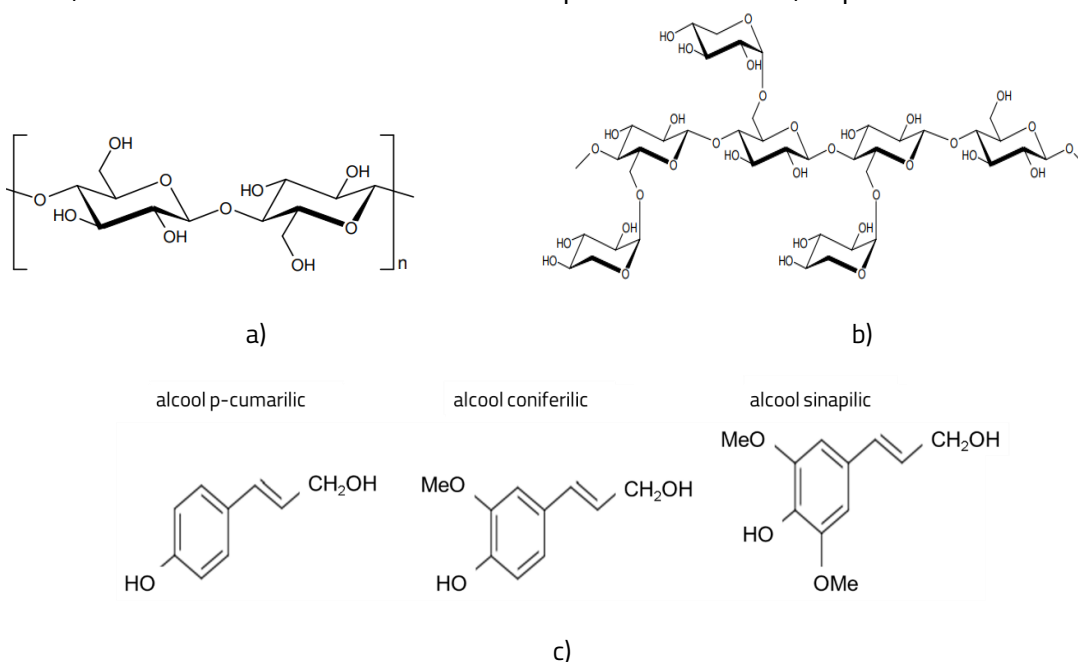


Figura 1. 11. Principalii polimeri structurali din lemn: a) unitatea β -D-glucopiranoză din lanțul de celuloză; b) structura xiloglucanilor (hemiceluloză); c) principalii compuși ai ligninei native (Stanciu ș.a. 2024c)

Conform studiilor realizate de [Chang ș.a. \(2002\)](#), [Chang ș.a. \(2010\)](#), [Sebnem ș.a. \(2021\)](#), metodele de îmbătrânire artificială, cum ar fi testul de rezistență la lumină cu o lampă UVA 351 sau tratamentul termic, s-au dovedit a fi adecvate pentru a simula modificările de culoare datorate îmbătrânirii naturale. Pe de altă parte, îmbătrânirea prin aplicarea unui proces de oxidare termică duce la degradarea hemicelulozelor, efect raportat de mulți autori ([Yildiz ș.a. \(2006\)](#), [Gomri ș.a. \(2022\)](#), [Niemz ș.a. \(2010\)](#)). Expunerea simultană la radiații UV și tratamentul termic ușor produce modificări de culoare și modificări ale proprietăților mecanice și de durabilitate ([Niemz ș.a. \(2010\)](#), [Bourgois ș.a. \(1991\)](#), [Hakkou ș.a. \(2006\)](#)). Pe măsură ce conținutul de hidroxil al hemicelulozelor scade, lemnul devine mai puțin hidrofil, rezultând un conținut de umiditate de echilibru (EMC) mai scăzut și o stabilitate dimensională mai bună [[Tjeerdsma ș.a. \(1998\)](#), [Weiland ș.a. \(2003\)](#), [Kránitz \(2014\)](#), [Zeniya ș.a. \(2019\)](#)]. Acest lucru a fost explicat prin faptul că lignina este asociată cu hemicelulozele, astfel încât se formează complexe carbohidrați de lignină, care sunt rezistente la hidroliză. Pierderea în greutate observată în timpul tratamentului termic de către [Tjeerdsma ș.a. \(1998\)](#), [Niemz ș.a. \(2010\)](#) este cauzată și de degradarea hemicelulozelor. [Yokoyama ș.a. \(2009\)](#) evidențiază faptul că îmbătrânirea artificială poate modifica (de obicei crește) modulul specific (modulul dinamic specific al lui Young) E'/ρ al lemnului fără a modifica valoarea amortizării ($\tan \delta$). Astfel, pentru a crește modulul dinamic specific al lui Young, pierderea de masă uscată ar trebui să fie de maximum 2-3% prin aplicarea unui tratament termic la 100 °C și 63% umiditate relativă timp de 30 de zile, ceea ce ar putea duce la caracteristici ale lemnului corespunzătoare unei îmbătrâniri de 500 de ani. Analizând comportamentul mecanic al lemnului de hinoki modern și învechit în direcțiile radială (R) și longitudinală (L), [Yokoyama ș.a. \(2009\)](#) a constatat că diferența de comportament dintre direcțiile L și R poate fi explicată prin organizarea structurală diferită a fibrelor lemnoase, fiind influențată și de vârsta lemnului. Astfel, [Yokoyama ș.a. \(2009\)](#) a constatat că lemnul învechit era fragil, rezultate care s-au corelat cu analizele chimice și testele termo-mecanice efectuate în paralel, arătând o scădere a conținutului de hemiceluloză, precum și o creștere a reticulării ligninei. Studiind proprietățile vibraționale ale lemnului învechit (aprox. 300 de ani) comparativ cu cele ale lemnului nou (8 ani), [Noguchi ș.a. \(2012\)](#) a observat că lemnul a prezentat o rigiditate longitudinală și transversală mai mare, o viteză a sunetului mai mare în direcție longitudinală și o amortizare mai mică în direcție longitudinală decât lemnul actual. Există încă numeroase controverse privind efectul îmbătrânirii asupra proprietăților elastice, acustice și chimice. Contrar rezultatelor evidențiate de [Noguchi ș.a. \(2012\)](#), studiile prezentate de [Kránitz ș.a. \(2014\)](#), [Su ș.a. \(2021\)](#) au aratat că nu există diferențe semnificative din punct de vedere chimic, între lemnul vechilor viori cremonese și lemnul nou. Întrucât există atât de multe controverse legate de efectul îmbătrânirii artificiale a lemnului

asupra proprietăților sale acustice, obiectivul principal al cercetărilor experimentale publicate de [Stanciu ș.a. 2024d](#), [Drăghicescu ș.a. 2025](#) a fost de a investiga efectul îmbătrânirii artificiale asupra proprietăților fizice, elastice, acustice și chimice ale lemnului utilizat pentru instrumente muzicale. Noutatea studiului a constatat în evaluarea multiscală a modificărilor chimice, mecanice și acustice produse de îmbătrânirea artificială a lemnului de rezonanță curentă în raport cu structura anatomică a lemnului tonal. Potrivit lui [Feist & Hon, \(1984\)](#) expunerea lemnului la radiații UV care pătrund în suprafața lemnului cu o adâncime maximă de 2.5 mm, grosime apropiată de grosimea plăcilor de vioară poate fi o metodă de îmbunătățire a performanței acustice a lemnului de rezonanță, înainte de fabricația finală a viorii.

1.2.2. Descrierea tipurilor de probe studiate

Pentru studiul efectului îmbătrânirii artificiale asupra lemnului de rezonanță au fost realizate probele din lemn de molid (*Picea abies* L. Karst) și lemn de paltin (*Acer pseudoplatanus* L.). Au fost pregătite două seturi de probe: unul de control, iar celălalt pentru îmbătrânire. Probele de lemn au fost furnizate de fabrica de instrumente muzicale. Probele au fost extrase din scânduri uscate natural timp de 3 ani și prelucrate mecanic în condiții identice. Apoi, probele au fost condiționate pentru a atinge un conținut de umiditate de 6 - 8%. În cadrul fiecărui set de probe au existat câte două categorii de probe din cele două specii lemnoase luate în studiu: cele din lemn de molid, clasa anatomică A, codificate Molid A, respectiv clasa anatomică D, codificate Molid D, precum și cele din lemn de paltin, clasa anatomică A, codificate Paltin A, respectiv clasa anatomică D, codificate Paltin D, conform descrierii acestor categorii indicate în studiile anterioare ([Dinulică ș.a. 2021, 2023](#)).

Probele au fost prelucrate conform standardului SR EN 408:2004, obținându-se probe de tip halteră, specifice testului de tracțiune ([Figura 1.12](#)) și probe pentru testul cu ultrasunete (US) bazat pe metoda timpului de propagare a ultrasunetelor în material (TOF) așa cum este descris de [Gurău ș.a. 2023](#), [Andrews \(2002\)a,b](#), [Legg & Bradley \(2016\)](#). [Tabelul 1.8](#) prezintă valorile medii ale caracteristicilor fizice și dimensiunile probelor. Toate probele au fost investigate pentru determinarea masei, culorii și compoziției chimice, atât înainte de îmbătrânirea artificială cât și după. Setul de probe de control a fost testat la tracțiune, iar celelalte probe au fost expuse la îmbătrânire artificială timp de 1000 de ore, reprezentând echivalentul îmbătrânirii naturale după aproximativ 3 ani ([Wang ș.a. 2024](#)).

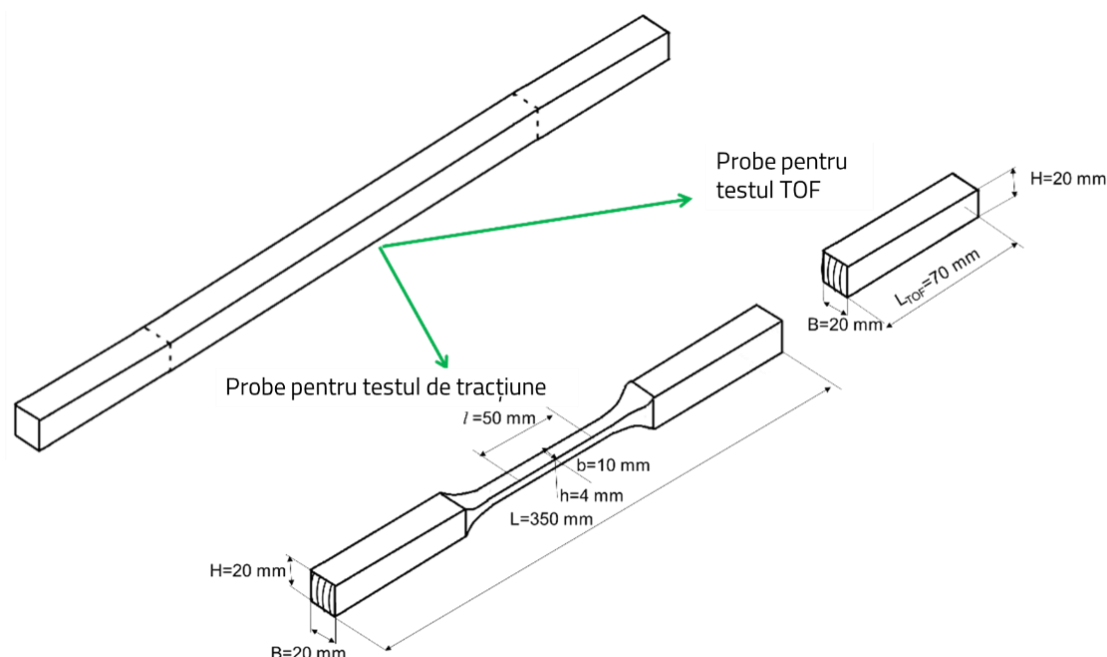


Figura 1.12. Geometria probelor pregătite pentru investigațiile experimentale (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

Tabelul 1.8. Valori medii și deviația standard a caracteristicilor fizice ale probelor înainte de îmbătrânirea artificială (Stanciu ș.a. 2024d)

Tipuri de probe	Conținutul de umiditate (%)	Testul de tracțiune				TOF test		
		Lățimea b (mm)	Grosimea h (mm)	Lungimea de referință l (mm)	Lungimea (mm) L_{TOF}	Masa (g)	Densitatea aparentă (g/cm ³)	Număr de probe testate
Molid A	6.50 (0.8)	9.99 (0.11)	3.98 (0.43)	50	70	11.729 (0.298)	0.397 (13)	12
Molid D	7.01 (0.5)	10.03 (0.10)	4.43 (0.33)	50	70	13.255 (0.900)	0.447 (24)	12
Paltin A	7.26 (0.6)	10.09 (0.08)	3.97 (0.14)	50	70	18.683 (0.840)	0.627 (31)	12
Paltin D	6.96 (0.5)	10.40 (0.29)	4.23 (0.23)	50	70	17.485 (1.271)	0.577 (38)	12

1.2.3. Metodele de investigare utilizate

Îmbătrânirea artificială a lemnului

Probele de lemn au fost introduse într-un reactor fotocatalitic, fiind expuse radiațiilor ultraviolete (UV) produse de cele 3 tuburi UV (Philips, TL-D BLB 18 W/108) și 4 tuburi de lumină VIS (Philips, TL-D Super 80 18 W/865), timp de 1000 de ore. Radiația emisă de tuburile UV a avut lungimi de undă cuprinse între 340-400 nm, cu o lungime de undă λ_{max} (emisie)=365 nm, iar valoarea medie a radiației UV măsurată cu un piranometru Delta-T, tip BF3, a fost de

3W/m² (Gurău ș.a. 2023; Hansen (2006); Gall ș.a. 2022). Periodic, probele au fost controlate, rotite astfel încât să existe o expunere uniformă pe toate suprafețele. Distanța dintre probe și lămpile din interiorul reactorului în timpul iradierii a fost de 20 cm, iar temperatura din interiorul camerei de iradiere a fost de 50°C. În Figura 1.13a sunt prezentate probele în timpul expunerii.

Testul de tracțiune

Pentru a evalua modificările produse de îmbătrânirea artificială din punct de vedere al caracteristicilor mecanice, probele au fost supuse testului static de tracțiune prezentat în lucrări anterioare (Stanciu ș.a. 2020b, 2020d, 2021a). Testele au fost efectuate pe mașina universală de testare LS100 Lloyd's Instrument, aparținând Departamentului de Inginerie Mecanică al Universității Transilvania din Brașov. Probele au fost încărcate cu o viteză constantă de 1 mm/min până la rupere. Lungirea probelor a fost măsurată simultan cu încărcarea utilizând extensometrul, așa cum se observă în Figura 1.13b. Pentru achiziția de date s-a utilizat software-ul Nexygen Plus. În urma testelor de tracțiune, s-au determinat curbele caracteristice tensiune-deformație, deformația (ϵ), modulul de elasticitate longitudinală (notat $E_{(L,static)}$), modulul specific ($E_{(L,static)}/\rho$), tensiunea de tracțiune (σ) și rigiditatea fiecărei categorii de probe (S) înainte și după îmbătrânire.

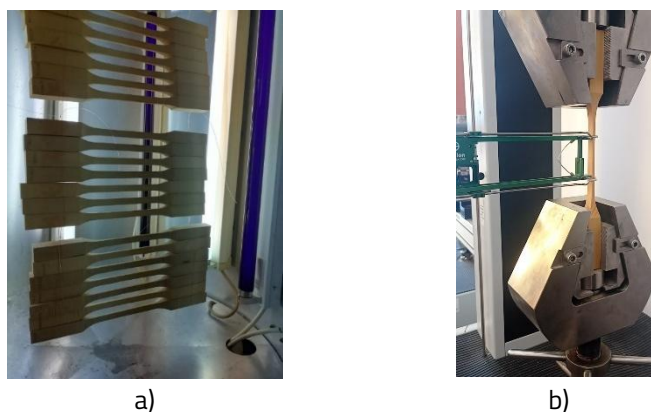


Figura 1.13. Secvențe din timpul cercetărilor experimentale: a) expunerea probelor în reactorul de îmbătrânire artificială; b) solicitarea la tracțiune a probelor (Stanciu ș.a. 2024b, Drăghicescu ș.a. 2025b)

Determinarea vitezei sunetului prin metoda timpului de propagare (TOF - time-of-flight method)

Măsurarea vitezei de propagare a sunetului în lemn în direcție longitudinală (notată V_L) a fost efectuată utilizând un dispozitiv portabil cu ultrasunete, LUCCHIMETTER, Cremona, Italia. Probele pe care s-au efectuat măsurătorile cu ultrasunete (US) au fost obținute din același material ca și probele utilizate pentru testul de tracțiune și expuse acelorași condiții de

îmbătrânire. Determinarea vitezei sunetului se bazează măsurarea timpului de propagare al undei între doi senzori aplicați pe fețele opuse ale probei (Dinulică ș.a. 2021, 2023, Legg & Bradley (2016), Bucur & Archer (1984), Bucur (2006), Gonçalves & Trinca (2011)). Întârzierea semnalului pe o distanță cunoscută între emițător și receptorul echipamentului US permite calcularea vitezei undei sonore. Măsurătorile au fost efectuate în condiții de laborator (la o temperatură de $20 \pm 4^\circ\text{C}$ și umiditatea relativă a aerului de $60 \pm 5\%$). Densitatea lemnului (ρ) a fiecărei probe a fost, de asemenea, determinată pe baza raportului dintre masa și volumul probelor măsurate în fiecare etapă a experimentului (înainte și după expunerea la UV). Valorile medii și deviația standard ale parametrilor mășurați au fost înregistrate înainte și în timpul expunerii la temperatură și UV. Mai întâi, modulul dinamic de elasticitate (notat $E_{L,dyn}$) a fost calculat în funcție de viteza sunetelor (V_L) și densitate, conform ecuației (1.1) (Dinulică ș.a. 2021, 2023, Legg & Bradley (2016), Bucur & Archer (1984), Bucur (2006), Gonçalves & Trinca (2011)).

$$E_{L,dyn} = V_L^2 * \rho \quad (1.1)$$

Având în vedere existența unei viteze incrementale care se dezvoltă în eșantioane mici, este necesar să se elimine efectul vitezei de propagare incrementală rapidă și să se țină cont de cea mai mică viteză a undei plane în dezvoltare. Astfel, pentru calcularea modulului de elasticitate longitudinal, Andrews (2002a), Legg & Bradley (2016), Niemz & Caduff (2008) au propus introducerea unui factor de corecție k pentru a obține datele corecte de la instrumentele TOF, ecuația (1.1) devenind ecuația (1.2):

$$E_{L,dyn}^k = \left(\frac{V_L}{k}\right)^2 * \rho \quad (1.2)$$

Conform referințelor Andrews (2002a), Legg & Bradley (2016), Niemz & Caduff (2008), pentru un mediu ortotrop precum lemnul, ecuația Kelvin-Christoffel pentru determinarea factorului k , se calculează în funcție de coeficientul Poisson al lemnului, cu relația 1.3:

$$k = \sqrt{\frac{1 - \nu_{RT} \nu_{TR}}{1 - \nu_{RT} \nu_{TR} - \alpha}} \quad (1.3)$$

unde α este calculat cu relația (1.4), iar ν_{RL} , ν_{LR} , ν_{RT} , ν_{TR} , ν_{TL} , ν_{LT} sunt coeficienții lui Poisson pentru lemn:

$$\alpha = 2\nu_{RL}\nu_{TR}\nu_{LT} + \nu_{TL}\nu_{LT} + \nu_{RL}\nu_{LR} \quad (1.4)$$

În acest studiu, pe baza valorilor experimentale ale modulului de elasticitate longitudinală obținute prin testul de tracțiune și a măsurării vitezei de propagare a sunetului în direcție longitudinală, valoarea factorului de corecție k pentru probele de molid și paltin, înainte și după

îmbătrânirea artificială timp de 1000 de ore s-a calculat folosind ecuația (1.5) (Stanciu ș.a. 2024b):

$$k = V_L \sqrt{\frac{\rho}{E_{L,static}}} \quad (1.5)$$

Analiza modificărilor parametrilor de culoare în spațiul CIELab

Conform procedurilor prezentate în studiile anterioare (Stanciu & Șova ș.a. 2020a, Gall ș.a. 2022; Gurău ș.a. 2023), modificarea culorii lemnului, notată cu ΔE^* , indusă de expunerea la radiații UV și temperatură, a fost calculată pe baza ecuației (1.6). Parametrii de culoare, cum ar fi luminozitatea L^* , gradul de roșu a^* și gradul de galben b^* , au fost determinați experimental înainte și după îmbătrânirea artificială, utilizând cromometrul Konica Minolta CR-400.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (1.6)$$

Unde ΔL^* – diferența de luminozitate dintre valorile măsurate după îmbătrânirea artificială timp de 1000 ore (notate $(L_{UV1000h}^*)$) și valorile inițiale (L_0^*); Δa^* – diferența gradului de roșu după 1000h UV ($a_{UV1000h}^*$) și valorile inițiale (a_0^*) și Δb^* – diferența gradului de galben dintre valorile măsurate după 1000h UV expunere ($b_{UV1000h}^*$) și valorile inițiale (b_0^*).

Intensitatea culorii sau chroma (notată C^*) a fost calculată cu relația (1.7) (Stanciu ș.a. 2024d)

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}, \quad (1.7)$$

Spectroscopia în infraroșu cu transformată Fourier (FTIR)

Modificările chimice produse de expunerea la îmbătrânire artificială au fost investigate utilizând spectrometrul FTIR (VERTEX70, Bruker, Ettlingen, Germania) cu modul ATR (Reflectanță Totală Atenuată). Spectrele au fost înregistrate în intervalul 4500–500 cm^{-1} , cu o rezoluție de 4 cm^{-1} și 16 scanări per probă. Spectrele înregistrate au fost procesate suplimentar pentru corecția și netezirea liniei de bază, iar spectrele medii au fost calculate pentru fiecare categorie de probă înainte și după îmbătrânire utilizând software-ul OPUS (versiunea 7.2, Bruker, Ettlingen, Germania). Metoda de lucru a fost adoptată conform (Gurău ș.a. 2023; Bekhta ș.a. (2022); Norrstrom (1969), Kuo & Hu (1991)).

Difracție de raze X (XRD)

Datele de cristalinătate au fost colectate în intervalul unghiului de 2θ între 10° și 80° în modul de timp fix, cu un interval de treaptă de la 0.01° la 25° , utilizând un difractometru Bruker Advanced D8 (radiație $\text{CuK}\alpha 1$, cu o lungime de undă de 1.5406 Å, la 40 kV și 20 mA) (Cosnita ș.a. 2023).

1.2.4. Modificarea proprietăților mecanice ca urmare a îmbătrânirii artificiale

Curbele tensiune-deformare pentru probele de lemn de molid și paltin din cele două clase anatomice de calitate, A și D, înainte și după îmbătrânirea artificială sunt prezentate în [Figura 1. 14](#). S-a observat, ca tendință generală, că probele din lemn de molid învechite au devenit mai rigide (cu E mai mare) și mai rezistente (σ mai mare) decât cele neexpuse. Observații similare au fost raportate pentru lemnul de hinoki de [Yokoyama ș.a. \(2009\)](#). Diferențele în curbele tensiune-deformație sunt mai mici în cazul probelor din lemn de paltin (paltinul este un lemn de foioase cu caracteristici anatomice diferite de cele ale lemnului de rășinoase). Modificările valorilor modului elastic determinat prin încercări cvasistatice $E_{L,static}$ pentru lemnul de molid învechit sunt în medie cu 2.6% (clasa A) și 9.3% (clasa D) mai mari decât ale lemnului neîmbătrânit. În cazul probelor din lemn de paltin, se poate observa o ușoară creștere a modului de elasticitate, cu 1.38% pentru clasa D, după îmbătrânire. Contrar tendinței observate la probele prezentate mai sus, în cazul probelor din lemn de paltin clasa A s-a înregistrat o ușoară scădere a modului de elasticitate longitudinală după 1000h de expunere la UV, în procent de 3% mai redusă. În general, se poate aprecia faptul că procesul de îmbătrânire artificială a dus la o creștere a rigidității probelor ca urmare a degradării principalilor compuși chimici ai lemnului.

Modul în care probele din lemn au cedat este strâns legat de orientarea elementelor anatomice în raport cu axa de solicitare. Inițierea ruperii la tracțiune are loc fie în interiorul peretelui celular, unde straturile acestuia sunt supuse forfecării și, ulterior, alungirea ireversibilă absoarbe energia fără pierderea rezistenței ([Keckes ș.a. \(2003\)](#), [Altaner & Jarvis \(2008\)](#)), fie între celule, atunci când acestea au pereții subțiri ([Ashby ș.a. \(1985\)](#), [Lanvermann ș.a. \(2004\)](#), [Christoforo, ș.a. \(2019\)](#)). [Figura 1.15](#) prezintă ruperea la tracțiune a probelor; în cazul lemnului de molid, există diferențe vizibile între probele de control și cele supuse unei îmbătrâniri artificiale timp de 1000 de ore. Modul de rupere al molidului înainte de expunerea la UV este de tip așchie (prin forfecarea pereților celulari), în timp ce în probele de molid îmbătrânit, modul este de rupere prin smulgere fragilă ([Figura 1.15a și b](#)).

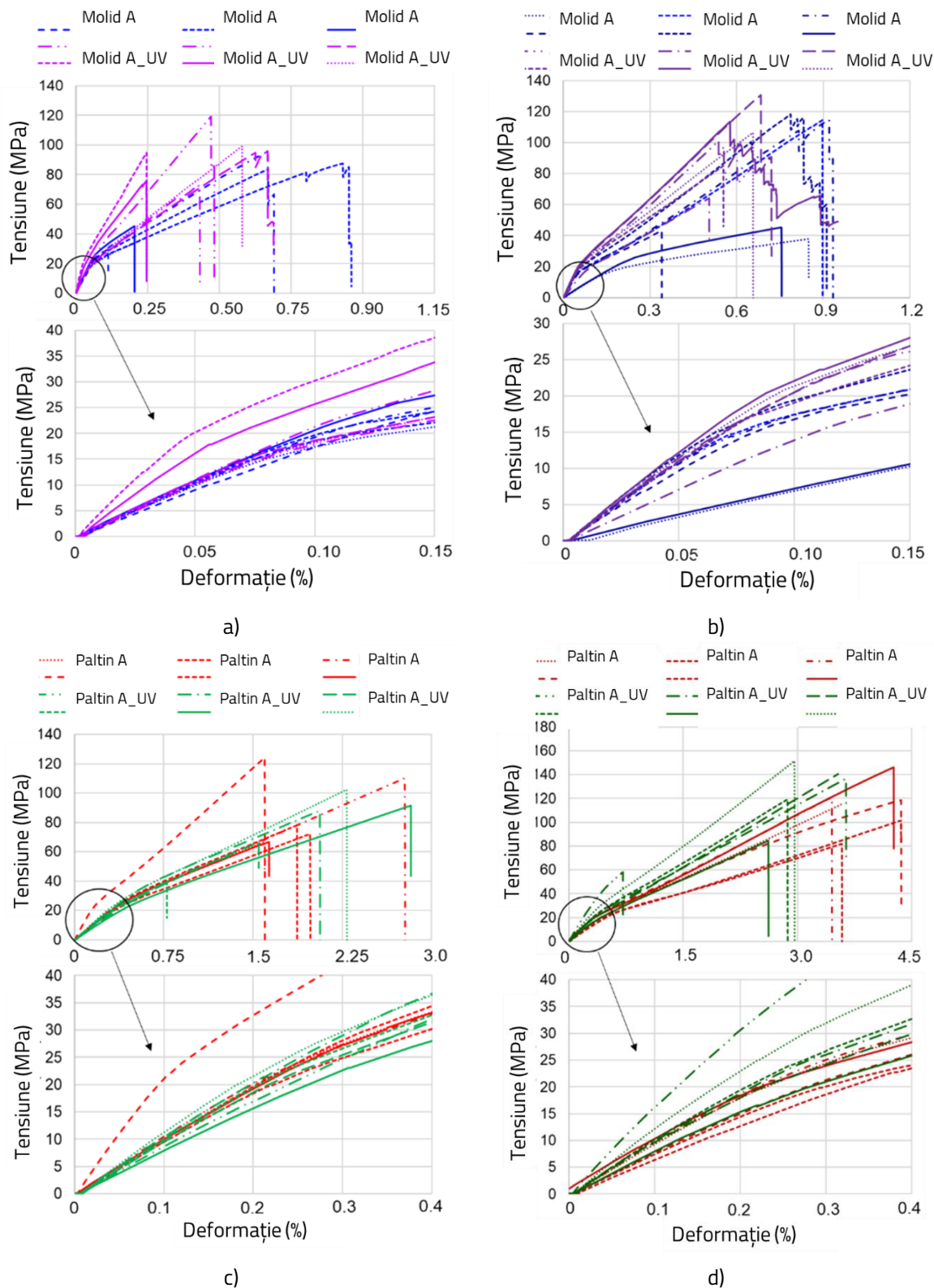


Figura 1. 14. Curbele caracteristice tensiune - deformație: a) probele din lemn de molid clasa A; b) probele din lemn de molid clasa D; c) probele din lemn de paltin clasa A; d) probele din lemn de paltin clasa D (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

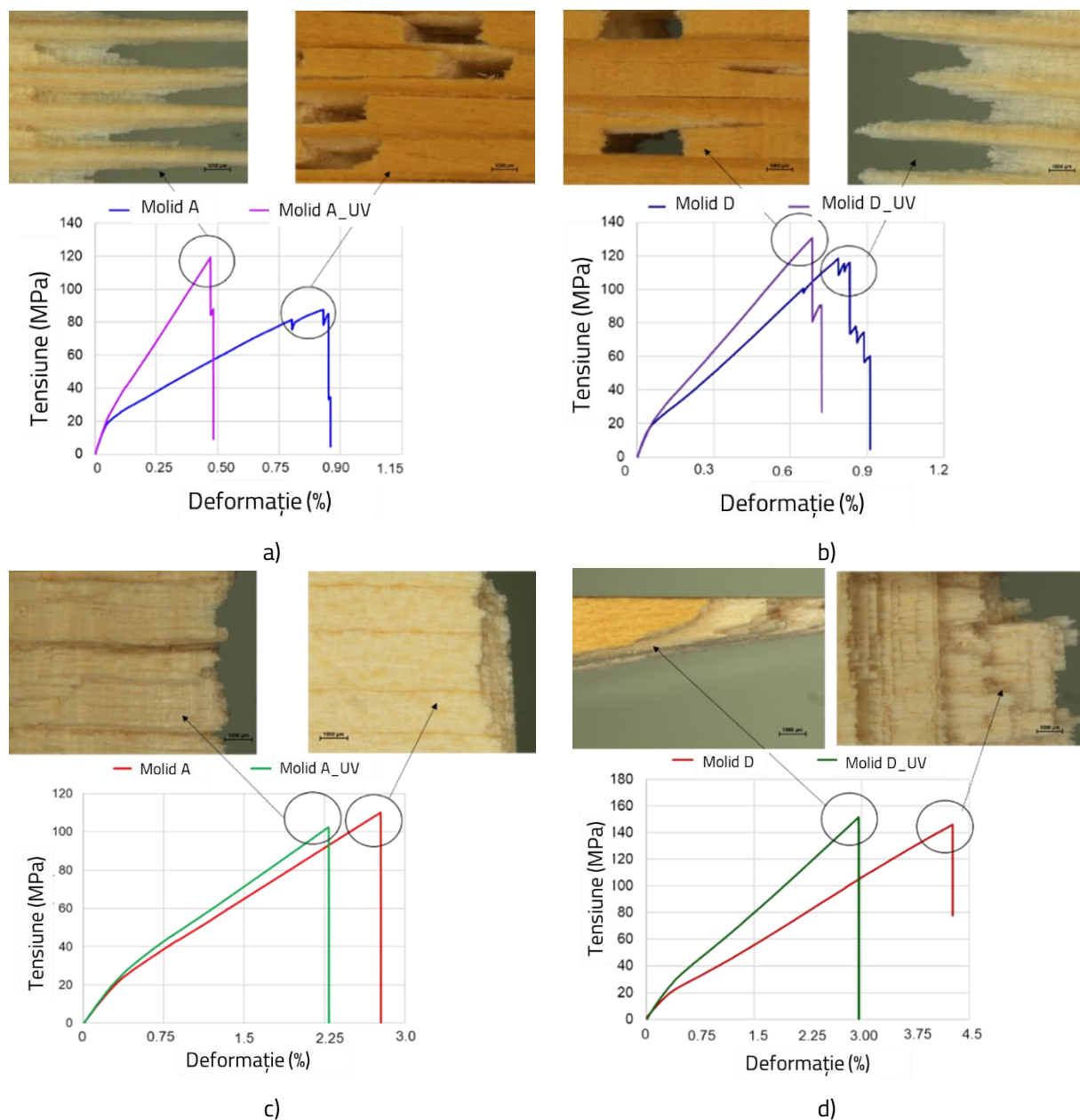


Figura 1.15. Modul de rupere obținute la testul de tracțiune: a) probele din lemn de molid clasa A; b) probele din lemn de molid clasa D; c) probele din lemn de paltin clasa A; d) probele din lemn de paltin clasa D (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

Figura 1.16 prezintă curbele de regresie dintre modulul de elasticitate static și densitate pentru cele două categorii de specii de lemn analizate (molid și paltin). Datorită caracteristicilor anatomice ale paltinului, curbele de regresie diferă înainte și după îmbătrânirea artificială, în comparație cu lemnul de molid. Din Figura 1.17a se poate observa că doar probele din lemn de molid neîmbătrânit D prezintă un model de regresie care explică 66% din variabilitatea rigidității în raport cu modulul specific. Pentru lemnul de paltin, valoarea R^2 mai mare de 0.6, ca în cazul

probelor de Paltin A, Paltin A_UV și Paltin D, indică o variabilitate mai mare explicată prin modelul de regresie (Figura 1.17b).

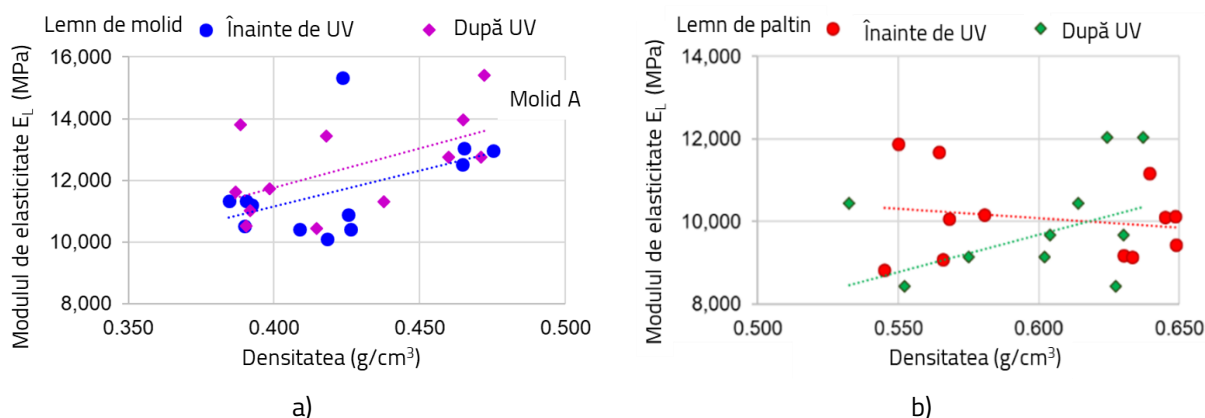


Figura 1.16. Diagrama de dispersie a $E_{L,static}$ în funcție de densitate pentru lemn înainte și după 1000 h de expunere la îmbătrânire artificială: (a) probe de lemn de molid; (b) probă de lemn de paltin (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

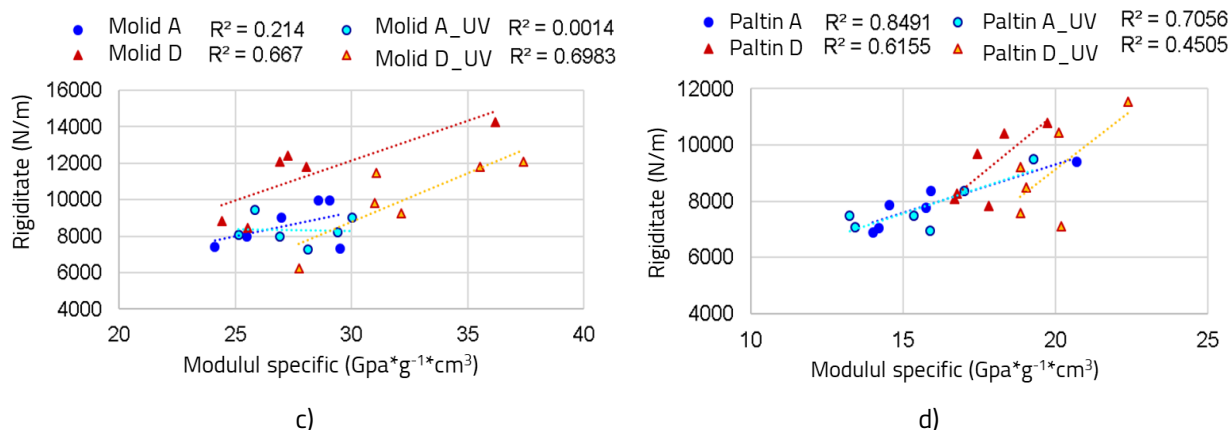


Figura 1.17. Relația dintre rigiditate S și modulul specific ($E_{L,static}/\rho$) pentru lemn înainte și după 1000 h expunere la îmbătrânire artificială: (a) probe de lemn de molid; (b) probă de lemn de paltin (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

1.2.5. Analiza proprietăților acustice și elastice determinate prin metoda TOF

Figura 1.18 a,b prezintă stratificarea densității probelor de lemn de molid și paltin, înainte și după îmbătrânire. Se poate observa că tratamentele de îmbătrânire au efecte diferite în funcție de specia lemnoasă: probele de lemn de molid nu suferă modificări considerabile ale densității, în timp ce, în cazul probelor de lemn de paltin, cele din clasa A înregistrează o scădere a densității cu aprox. 3%. Pe de altă parte, expunerea la UV timp de 1000 de ore a dus la o creștere a vitezei de propagare a sunetului în lemnul de molid (cu 4,7% pentru Molid A și 5,9% pentru Molidul D), comparativ cu probele de lemn de paltin, unde viteza de propagare a crescut cu 2% pentru Paltin A (Figura 1.18 c), în timp ce probele de Paltin D nu au prezentat nicio creștere

(Figura 1.18 d). Tabelul 1. 9 conține valorile medii ale principalelor proprietăți mecanice și acustice determinate. Factorii de corecție k_L pentru fiecare categorie de probă variază în funcție de specie și de efectul diferitelor fotodegradări asupra structurii materialului și implicit de diferitele valori ale coeficientului Poisson. Spre deosebire de Niemz & Caduff (2008) care raportează valori ale factorului de corecție pentru direcția longitudinală k_L de 0.97 la lemnul de molid, în studiul actual, factorul de corecție k_L este 1.098 pentru molidul de clasa A și 1.142 pentru molidul de clasa A_UV.

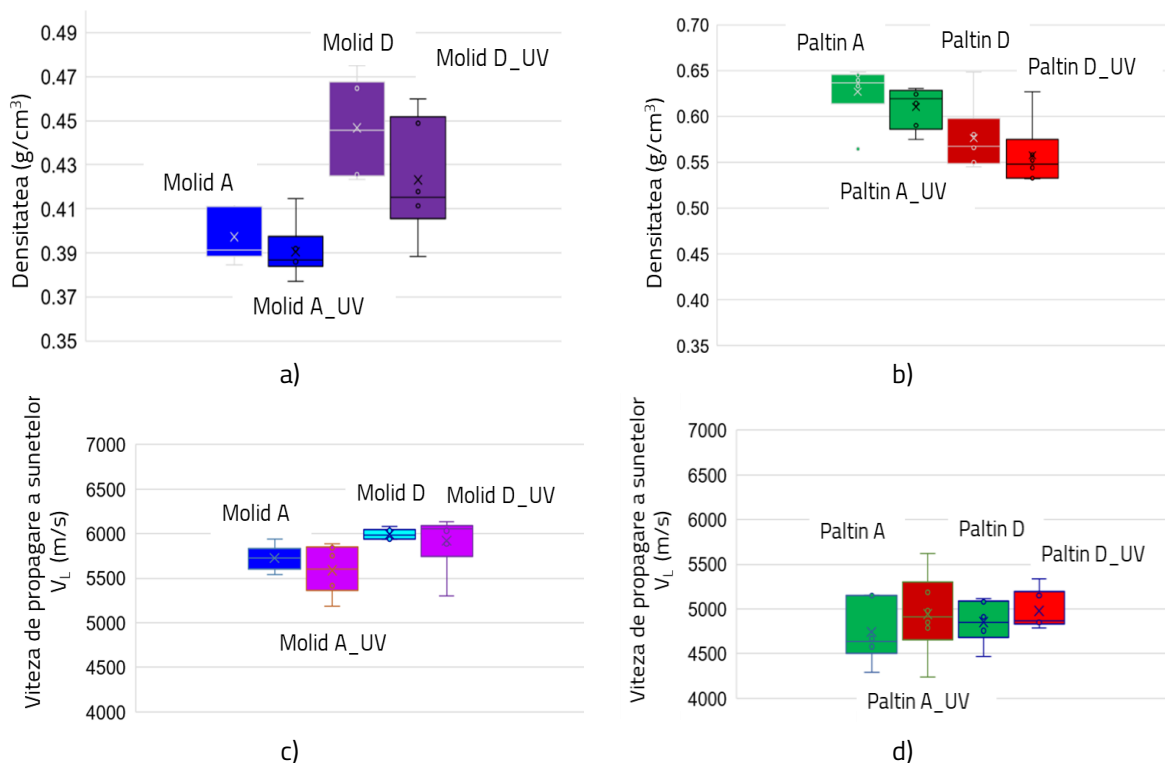


Figura 1.18. Stratificarea densității a) lemnului de molid; b) lemnului de paltin și a vitezei de propagare a sunetelor pe direcție longitudinală (c,d), înainte și după îmbătrânire (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

Pentru molidul de clasa D, valoarea factorului de corecție rămâne constantă înainte și după îmbătrânire, respectiv la valoarea de 1.065. În cazul probelor de lemn de paltin, factorul de corecție k_L este de 1.185 (ca valoare medie) atât pentru probele neîmbătrânite, cât și pentru cele îmbătrânite. Deși ecuația simplificată poate fi utilizată pentru comparații, trebuie menționat că diferențele în coeficienții Poisson nu sunt luate în considerare în acest caz, introducând incertitudine în comparație, așa cum se menționează în (Andrews, (2002a); Legg & Bradley (2016), Niemz & Caduff (2008)).

Tabelul 1. 9. Valori medii și deviația standard a proprietăților mecanice și acustice ale probelor testate. Legendă: MV – valoare medie; SD – deviație standard; ρ – densitate; $E_{L,dyn}$ – modulul de elasticitate dinamică în direcție longitudinală, determinat prin metoda TOF; $E_{L,static}$ – modulul de elasticitate în direcție longitudinală obținut prin încercare statică; k_L – factor de corecție; $EE_{L,dyn}^k/\rho$ – modulul specific obținut prin încercarea TOF; $E_{L,static}^k/\rho$ – modulul specific obținut prin încercarea la tracțiune; S – rigiditatea obținută prin încercarea la tracțiune; σ – rezistența la tracțiune; ε – deformarea procentuală la rupere (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

Tipuri de probe		ρ	$E_{L,dyn}$	$E_{L,static}$	k_L	$EE_{L,dyn}^k/\rho$	$E_{L,static}^k/\rho$	S	σ	ε
		(Kg/m ³)	(MPa)			(GPa*g ⁻¹ *cm ³)		(kN/m)	(MPa)	(%)
Molid A	MV	397	13031	10822	1.098	33	27	8606	72	0.97
	SD	13	803	544	0.059	1.6	2.1	1206	24	0.77
Molid	MV	391	14480	11102	1.142	35	28	8338	93	0.85
A_UV	SD	19	688	546	0.034	0.7	1.9	785	17	0.17
Molid D	MV	447	14006	12519	1.060	31	28	11304	105.	0.82
	SD	24	1747	1759	0.054	3.1	4.1	2238	15	0.35
MolidD_UV	MV	423	14918	13687	1.071	35	32	10112	106	0.77
	SD	35	2228	987	0.102	3.5	3.2	2220	15	0.05
Paltin A	MV	627	14091	9873	1.196	22	15	7888	86	1.28
	SD	31	1684	1028	0.076	3.2	2.5	930	25	0.73
Paltin	MV	610	14400	9587	1.230	23	15	7816	80	0.89
A_UV	SD	23	1544	1509	0.070	2.3	2.3	965	17	0.28
Paltin D	MV	577	14246	10267	1.175	24	17	9170	116	2.07
	SD	38	3115	1088	0.126	4.5	1.1	1286	23	0.94
Paltin	MV	558	13887	10109	1.116	24	18	9060	124	1.12
D_UV	SD	40	2130	2099	0.039	2.2	1.6	1694	24	0.34

1.2.6. Modificarea parametrilor de culoare

Modificările de culoare ale probelor de lemn îmbătrânit timp de 1000 de ore pot fi observate atât cu ochiul liber, așa cum se evidențiază în [Figura 1. 19](#), cât și prin măsurători standardizate. Măsurarea parametrilor de culoare cu echipamente specializate și calcularea diferenței de culoare pe baza ecuației (1.6) au arătat că modificările de culoare sunt mai pronunțate la molid decât la paltin, iar în cadrul fiecărei specii, la molid, clasa A, mai mult decât la clasa D, probabil datorită conținutului mai mare de lignină. În cazul probelor de lemn de paltin, raportul este invers - probele din clasa D au prezentat o modificare mai pronunțată a culorii comparativ cu cele din clasa A ([Tabelul 1. 10](#)). În ceea ce privește intensitatea culorii, parametrul C^* are aceeași valoare pentru molid, indiferent de clasa de calitate, în timp ce pentru lemnul de paltin acesta variază, culoarea fiind mai intensă după îmbătrânirea artificială, în special pentru probele de

lemn de paltin, clasa D. Lemnul expus la lumina directă a soarelui suferă o degradare chimică cauzată de radiațiile UV (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025).

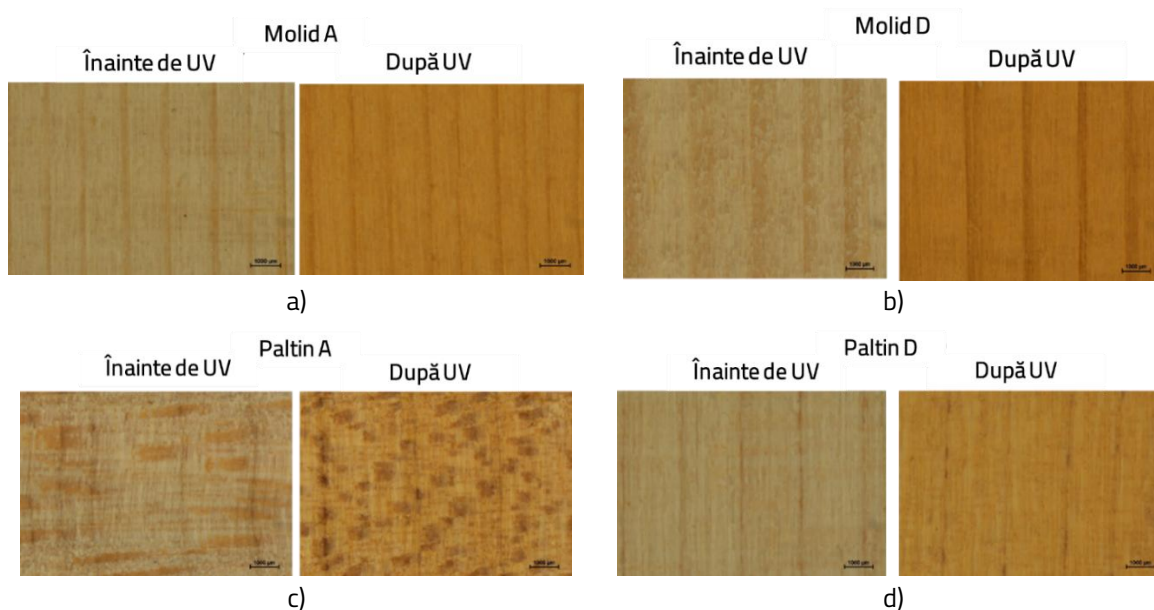


Figura 1.19. Comparații ale culorii probelor înainte și după îmbătrânirea artificială: a) Probă din lemn de molid clasa A; b) Probă din lemn de molid clasa D; c) Probă din lemn de paltin clasa A; d) Probă din lemn de paltin clasa D (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

Tabelul 1.10 Valorile medii și deviația standard pentru parametrii de culoare (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

Tipuri de probe		L*	a*	b*	E*	C*	ΔE^*	ΔC^*
Molid A	MV	85.006	1.925	18.928	87.109	19.026	25.095	22.900
	SD	0.644	0.235	1.040	1.029	0.548		
Molid A_UV	MV	74.736	7.526	41.130	85.638	41.813	23.817	22.21
	SD	1.418	0.919	1.437	1.508	1.087		
Molid D	MV	83.546	2.448	19.651	85.861	19.803	13.801	12.97
	SD	1.243	0.468	1.769	1.790	1.127		
MolidD_UV	MV	74.941	7.312	41.320	85.890	41.962	18.866	16.04
	SD	1.383	0.825	1.234	1.272	1.087		
Paltin A	MV	78.973	4.280	16.937	80.882	17.469	13.801	12.97
	SD	4.161	1.035	0.851	1.023	3.924		
Paltin A_UV	MV	74.254	5.612	29.838	80.221	30.361	18.866	16.04
	SD	2.773	0.764	2.390	2.365	3.227		
Paltin D	MV	84.968	2.410	16.513	86.591	16.687	18.866	16.04
	SD	1.836	0.636	0.669	0.713	1.721		
Paltin D_UV	MV	75.043	5.514	32.254	81.867	32.722		
	SD	2.125	0.574	1.777	1.802	2.232		

Conform studiilor lui [Norrstrom \(1969\)](#) și [Kuo & Hu \(1991\)](#), lignina contribuie cu 80-95%, carbohidrații cu 5-20%, iar extractele cu aproximativ 2% la coeficientul total de absorbție al lemnului. Astfel, lignina este componenta peretelui celular cea mai sensibilă la lumina UV, ea transferând lumina UV către celuloză, ceea ce duce, de asemenea, la degradarea celulozei, conform studiului descris de [Yildirim ș.a. \(2015\)](#). Pe lângă fotodegradare, trebuie luată în considerare și modificarea lemnului, deoarece probele au fost supuse și unei încălziri ușoare la o temperatură de 50°C, ceea ce poate duce la degradarea biopolimerilor din lemn. Cu cât lemnul își schimbă mai mult culoarea în direcția scăderii luminozității, cu atât temperatura de suprafață a lemnului iradiat extern crește, ajungând la 60-90°C, conform cercetărilor realizate de [Yoshimoto \(1972\)](#), [Tolvaj & Molnár \(2008\)](#). Comparând rezultatele obținute în acest studiu cu cele evidențiate de [Müller ș.a \(2003\)](#) care au analizat schimbarea culorii probelor după 600 de ore de expunere la lumină artificială, în prezentul studiu s-a obținut, pentru lemnul de molid, diferența de culoare ΔE^* este 19, iar pentru lemnul de paltin ΔE^* este 12. S-a constatat că fotodegradarea timp de 1000 de ore a condus la ΔE^* variind între 23 și 25 pentru lemnul de molid și ΔE^* variind între 14 și 19 pentru lemnul de paltin, respectiv. Variația culorii se datorează în principal modificărilor gradului de galben și roșu ca urmare a îmbătrânirii, vizibile în magnitudinea diferenței de Chroma ΔC^* . Îngălbenirea probelor de lemn după expunerea la lumină UV reflectă faptul că acestea au suferit modificări chimice ca o consecință a dezvoltării compușilor cromoforici în timpul fotodegradării ligninei așa cum au evidențiat cercetările realizate de [Oltean ș.a. \(2008\)](#), [Wikberg & Maunu \(2004\)](#), [Geffertová ș.a. \(2018\)](#), [Karami ș.a. \(2022\)](#).

1.2.7. Modificări chimice de suprafață ale lemnului ca urmare a îmbătrânirii

Datorită structurilor diferite ale celor două specii, dar și a modului în care se formează elementele anatomice în secțiunea longitudinală radială, procesele caracteristice de degradare, precum și sensibilitatea lor la degradare, diferă foarte mult. În timp ce fotodegradarea lemnului este considerată un proces legat de suprafață din cauza penetrării limitate a luminii în lemn conform studiilor prezentate de [Kataoka ș.a. \(2007\)](#), [Andrews, M.K. \(2002\)a](#), [Müller ș.a \(2003\)](#), încălzirea ușoară la expunerea pe termen lung poate afecta întreaga secțiune transversală. În [Figura 1. 20](#) au fost comparate spectrele FTIR pentru probele de molid și respectiv paltin, în intervalul numărului de undă de 2200–600 cm^{-1} . În [Figura 1. 20a](#) sunt prezentate spectrele FT-IR pentru probele de molid A și D după expunerea la UV, precum și pentru probele de control. Vârful din apropierea numărului de undă de 1730 cm^{-1} (carbonil neconjugat), corespunzător vibrației de întindere C=O în gruparea O-C=OH, a acidului glucuronic (GlcA) conform ([Liu ș.a. 2017, 2022](#)), arată o intensificare în probele tratate ca

urmare a unor procese de oxidare. Se observă clar scăderea absorbțiilor după îmbătrânirea artificială, mai ales pentru numărul de undă de 1507 cm^{-1} , care corespunde cu vibrația scheletului aromatic al ligninei. Analizând vârfurile caracteristice ale celulozei, manifestate prin: vibrația de îndoire O-H a sorbției de apă la 1645 cm^{-1} , vibrațiile de îndoire C-H la 1370 cm^{-1} și vibrația de întindere a inelului de glucoză la 1115 cm^{-1} , s-a constatat că, după expunerea la UV, lemnul de molid prezintă o intensificare a absorbțiilor de la 1370 cm^{-1} și 1151 cm^{-1} , specifică elementelor structurale ale polizaharidelor, corelându-se cu degradarea parțială a ligninei. Degradarea ligninei după expunerea la UV a probelor de molid este evidențiată prin modificări ale următoarelor benzi: vibrația scheletică aromatică la 1507 cm^{-1} , întinderea C-O a unității guaiacil la 1260 cm^{-1} și vibrația inelului siringil, împreună cu întinderea C-O la 1210 cm^{-1} . Rezultate similare au fost raportate de [Timar ș.a. \(2016\)](#), pentru lemn de brad chinezesc supus la diferite temperaturi de tratament termic. O degradare la fel de semnificativă se observă și pentru banda de absorbție de 1455 cm^{-1} atribuită grupurilor de deformare C-H — lignină, carbohidrați: celuloză, hemiceluloze; îndoire CH₂ — celuloză ([Timar ș.a. \(2016\)](#), [Liu ș.a. \(2017\)](#)).

În cazul lemnului de paltin, degradarea chimică a principalelor componente chimice ale lemnului este similară cu cea a lemnului de molid ([Figura 1. 20b](#)). Un fenomen interesant la lemnul de paltin este intensificarea benzii de absorbție la numărul de undă de 1732 cm^{-1} , după expunerea la radiații UV timp de 1000 de ore, caracteristică grupărilor carbonilice neconjugate. Aceste modificări evidențiază degradarea ligninei și formarea de compuși cromofori cu grupări carbonilice (aldehide, cetone, acizi și esteri), rezultate care sunt în bună concordanță cu literatura de specialitate [[Liu ș.a. \(2022\)](#), [Boeriu ș.a. \(2004\)](#) [Javier-Astete ș.a. \(2023\)](#)]. Absorbția la 1645 cm^{-1} (carbonil conjugat, cetone aromatice, chinone) rămâne clar distinctă și aparent ușor amplificată la tratamentul de îmbătrânire (poate fi asociată cu noi grupări cromoforice cu grupări carbonilice conjugate, inclusiv structuri de tip chinonă). Scăderea absorbțiilor atribuite ligninei se poate observa clar de la 1504 cm^{-1} (vibrația scheletului aromatic al ligninei) și 1594 cm^{-1} (miezul aromatic). Astfel, absorbția la 1594 cm^{-1} nu mai este clar distinctă, ci devine un umăr într-o bandă mai largă (aprox. $1550\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$). Absorbțiile la 1370 cm^{-1} și 1156 cm^{-1} , care sunt atribuite unor elemente structurale ale polizaharidelor (celuloză, hemiceluloze), ies mai bine în evidență (intensificare 1370 cm^{-1} , evidențiere clară 1156 cm^{-1}) pentru probele îmbătrânite, iar această observație poate fi corelată cu degradarea parțială a ligninei. Conform [[Boeriu ș.a. \(2004\)](#) [Javier-Astete ș.a. \(2023\)](#)], atunci când materialele celulozice sunt expuse unui ciclu alternativ umed-uscat, flexibilitatea lor mecanică și accesibilitatea la apă sunt reduse ireversibil prin formarea de legături de hidrogen intermoleculare ireversibile, ceea ce duce la restricționarea mobilității carbohidraților amorfi. Acest fenomen ar putea explica atât creșterea

rigidității lemnului, cât și viteza de propagare a sunetului în lemn după îmbătrânire. Studii similare au arătat că cea mai predispusă la reacții de fotooxidare este lignina, care descompune aproximativ 80-95% din lumina UV datorită compușilor aromatici, în timp ce celuloza și hemiceluloza absorb doar 5-20% din lumina UV, conform studiilor evidențiate de [Kránitz ș.a. \(2016\)](#), [Báder ș.a. \(2020\)](#), [Wang ș.a. \(2019\)](#). Cele mai semnificative vârfuri ale probelor de lemn și atribuirea lor în spectrele FTIR sunt prezentate în [Tabelul 1.11](#).

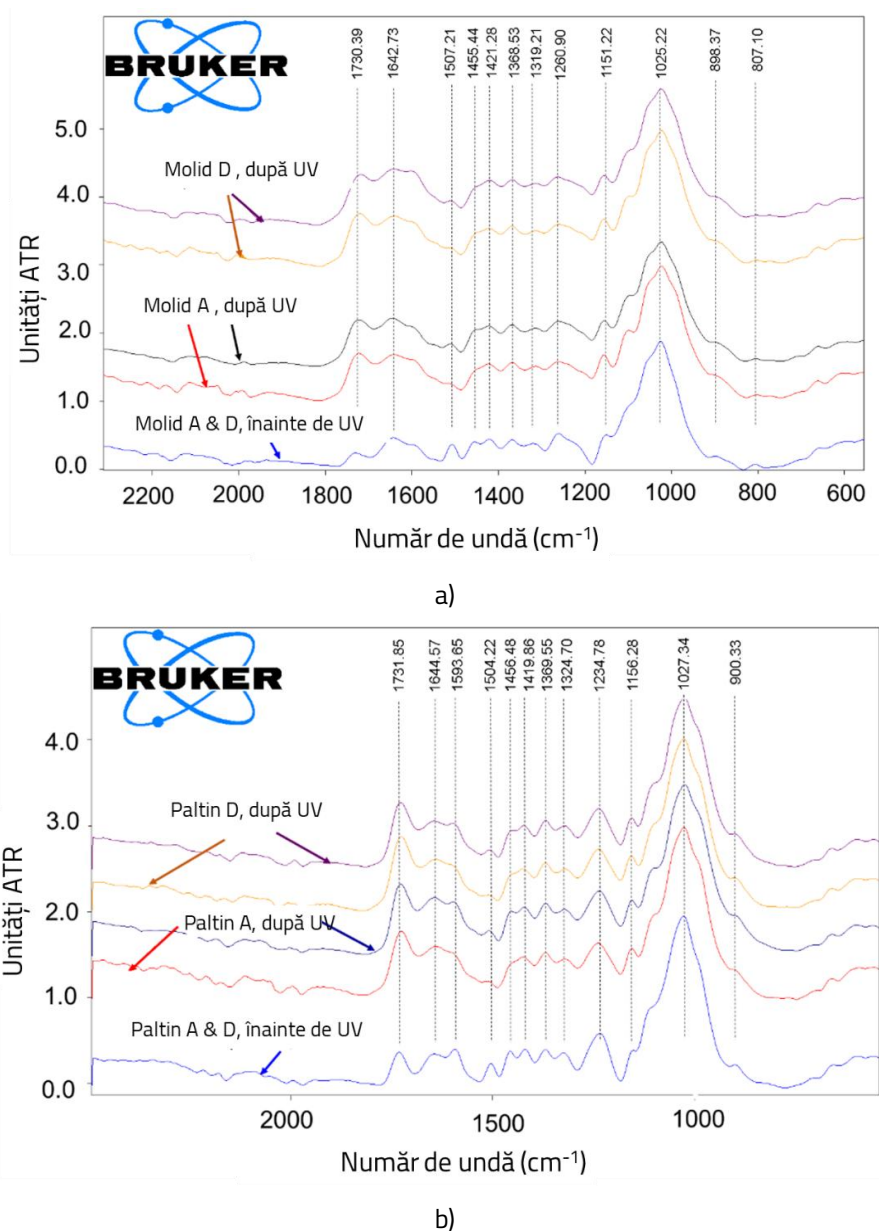


Figura 1. 20. Spectre FTIR comparative: a) pentru lemn de molid înainte și după 1000 de ore de expunere la radiații UV; b) pentru probe de lemn de paltin înainte și după 1000 de ore de expunere la radiații UV (ATR - Attenuated Total Reflectance - Reflectanță totală atenuată) ([Stanciu ș.a. 2024d](#), [Drăghicescu ș.a. 2025](#))

Tabelul 1.11. Vârfurile din spectrele FTIR ale probelor analizate și atribuirea lor (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

Atribuirea vârfurilor	Compuși	Număr de undă (cm ⁻¹)			
		Molid		Paltin	
		înainte UV	după UV	înainte UV	după UV
C=O întinderea grupărilor cetone și carbonilice	Hemiceluloze	1730	1730↑	1732	1732↑
C=O întindere	Lignină	1642	1642↓	1645	1645↓
C=C întinderea inelului aromatic	Lignină	-	-	1594	1594↓
C=C întinderea inelului aromatic	Lignină	1507	1507↓	1504	1504↓
CH ₂ întindere	Lignină and hemiceluloze	1455	1455↓	1456	1456↓
C-H încovoiere	Celuloza și hemiceluloze	1368	1368↑	1369	1369↑
C-H și O-H vibrație	Polizaharide (hemiceluloze and holoceluloze)	1260	1260↓	1234	1234↓
C-O-C întindere asimetrică	Celuloze și hemiceluloze	1151	1151↑	1156	1156↑
C-O întindere	Celuloze	1025	1025	1027	1027
C-H deformare	Celuloze	898	898↓	900	900↓

1.2.8. Determinarea gradului de cristalinitate din lemnul de rezonanță

Cristalinitatea lemnului se referă la proporția de celuloză din lemn care este organizată într-o structură cristalină, foarte ordonată, spre deosebire de starea amorfă (dezordonată). Cristalinitatea este o proprietate importantă a lemnului, deoarece influențează diverse caracteristici fizice și mecanice. Creșterile cristalinității afectează proprietățile mecanice și acustice, cum ar fi viteza sunetului în direcție longitudinală, modulul Young și rigiditatea cresc, flexibilitatea scade odată cu creșterea cristalinității. Lemnul de molid prezintă o structură mai omogenă și o dispersie redusă a cristalinității în funcție de clasa de calitate și modulul specific, spre deosebire de lemnul de paltin, care este caracterizat printr-o anizotropie mai mare, un conținut mai mic de celuloză cristalină înainte de îmbătrânirea artificială, dar cu o sensibilitate mai mare la tratamentul de îmbătrânire. După cum se poate observa din [Figura 1. 21](#), vârfurile de difracție cristalină apar în apropierea unghiului de 17° și 22.5° din unghiul de difracție cu raze X (2θ), care reprezintă intensitatea difracției cristaline a celulozei lemnoase, așa cum este raportat și studiile scrise de [Davidson \(1996\)](#), [Lionetto ș.a. \(2012\)](#), [Andersson ș.a. \(2003\)](#), [Cogulet ș.a. \(2016\)](#). Modelele de difracție obținute pe probe înainte și după expunerea la UV diferă considerabil atât de la o specie la alta, cât și de la o organizare a structurii anatomice la alta (molid și paltin clasa A, respectiv molid și paltin clasa D). Acest lucru este cauzat de diferențele de cristalinitate ale probelor, determinate atât de proporția de lemn timpuriu - lemn târziu, lățimea inelelor anuale, regularitatea inelelor anuale, gradul de ondulare a fibrelor (în cazul probelor de paltin), vârsta arborelui/inelului anual și nu de ultimul rând de microfibrile

unghiulare care reflectă cristalinitate diferită (Andersson ș.a. (2003), Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025).

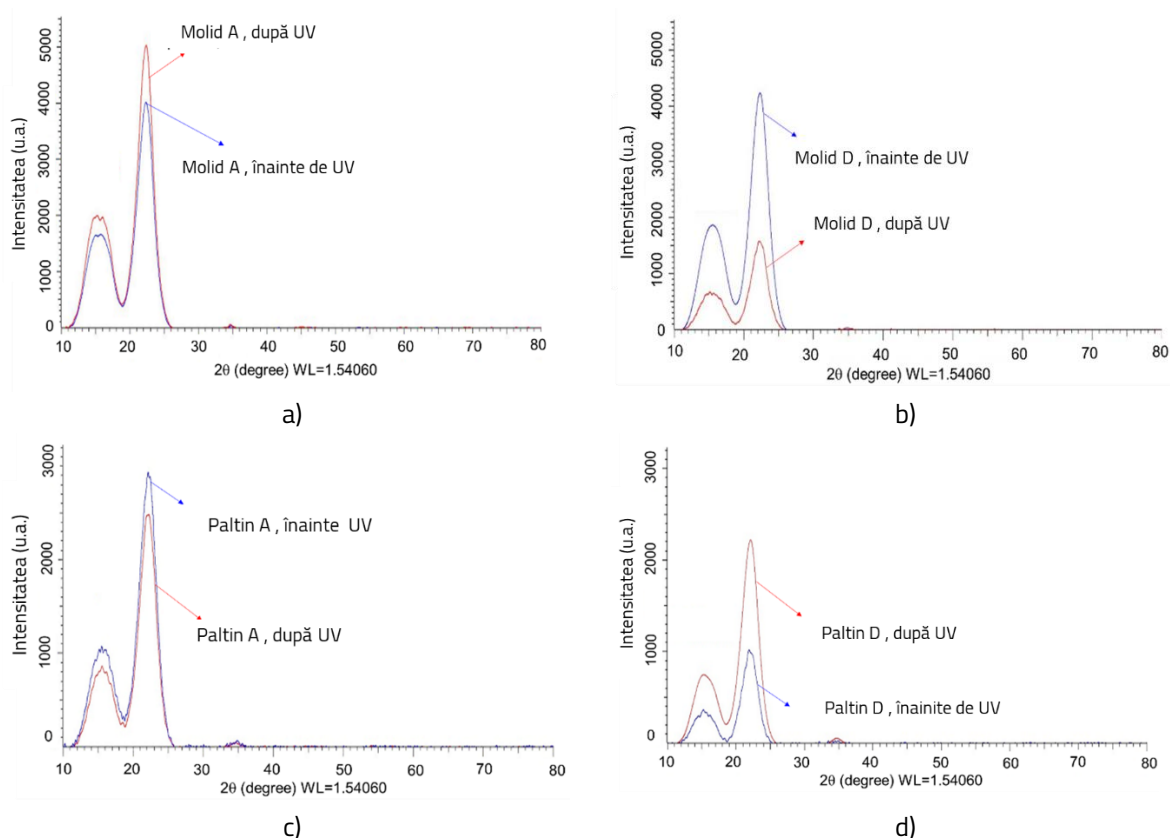


Figura 1. 21. Diagrame de difracție cu raze X pentru lemnul de control și lemnul învechit: a) lemn de molid, calitatea A; b) lemn de molid, calitatea D; c) lemn de paltin, calitatea A; d) lemn de paltin, calitatea D (Stanciu ș.a. 2024d, Drăghicescu ș.a. 2025)

Se observă că probele de molid clasa A și paltin clasa D prezintă o creștere a cristalinității după expunerea la radiații UV, comparativ cu celelalte categorii (molid clasa D și paltin clasa A) unde cristalinitatea scade după expunerea la UV. Indicele de cristalinitate pentru lemnul de molid clasa D este cu 17% mai mic după expunerea la UV, iar pentru lemnul de molid clasa A, indicele de cristalinitate crește cu 2.8%. Pentru lemnul de paltin din clasa A, indicele de cristalinitate scade cu 2.8%. Valori similare privind indicele de cristalinitate pentru lemnul de molid comun au fost raportate și de Davidson (1996), Lionetto ș.a. (2012), Andersson ș.a. (2003).

Pe parcursul celor 1000 de ore de îmbătrânire a lemnului, structura cristalină a suferit modificări negative, cu o scădere a procentului de cristalinitate determinată în principal de depolimerizarea celulozei după o îmbătrânire UV îndelungată. Cristalinitatea lemnului de molid

este mai mare decât cea a lemnului de paltin cu aproximativ 30%, așa cum se poate observa în [Figura 1. 22](#), care compară cristalinitatea înainte de tratament aplicat.

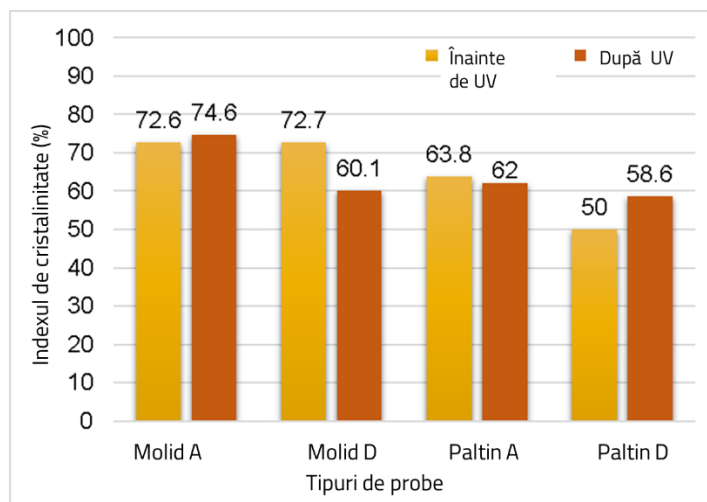


Figura 1. 22. Comparații ale indicilor de cristalinitate ([Stanciu ș.a. 2024d](#), [Drăghicescu ș.a. 2025](#))

1.3. Concluzii

Acest studiu a avut ca scop o analiză complexă interdisciplinară a efectului îmbătrânirii artificiale a lemnului pentru instrumente muzicale prin măsurători fizice, mecanice, acustice și chimice ale probelor de lemn de molid și paltin.

Lucrarea a demonstrat că îmbătrânirea artificială timp de 1000 de ore de expunere duce la modificări chimice cu un efect mai mare asupra vitezei sunetului decât asupra proprietăților mecanice. Astfel, parametrii cei mai afectați de îmbătrânirea artificială au fost viteza de propagare a sunetului, care a fost semnificativ mai mare în probele de lemn de molid din clasa A, și modulul longitudinal de elasticitate în probele de lemn de paltin din clasa A. Aceste rezultate sunt corelate cu creșterea indicelui de cristalinitate. O îmbunătățire a proprietăților acustice și mecanice după expunerea la UV a fost observată pentru paltinul din clasa D, unde atât rigiditatea, cât și indicele de cristalinitate au crescut. Rezultatele au evidențiat natura eterogenă a lemnului, chiar și în cadrul aceleiași specii, unde proporția lemn timpuriu - lemn târziu, cantitatea de polizaharide și arhitectura anatomică a lemnului duc la modificări chimice, acustice și mecanice diferite, în aceleași condiții de iradiere UV. Modificările fizice și chimice produse de îmbătrânirea artificială, manifestate prin ruperea legăturilor covalente din polimerii organici, reducerea masei, creșterea rugozității suprafeței, creșterea hidrofobicității și a stabilității la variațiile de umiditate, scăderea conținutului de lignină din placa de rezonanță pot duce la îmbunătățirea proprietăților acustice (viteza de propagare a sunetului și radiația acustică) ale lemnului utilizat în instrumentele muzicale. Aplicarea unui tratament ușor de

fotodegradare, înainte de asamblarea plăcilor în corpul viorii, ar putea avea ca rezultat o creștere a performanței acustice a instrumentului, similară cu instrumentele vechi, îmbătrânite natural.

Cercetările prezentate în acest capitol au făcut parte din proiectul de cercetare **Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope cu interfețe modificate - ACADIA**, contract nr. PCE61/2022, director proiect prof. dr. ing. Mariana Domnica Stanciu, derulat în perioada 2022 – 2024, cu valoarea de 1200000 lei și au fost diseminate în următoarele publicații (3 articole ISI, 2 capitole carte Springer, 1 carte în editura națională):

- Dinulica, F.; Savin, A.; **Stanciu, M.D.** (autor correspondent) Physical and Acoustical Properties of Wavy Grain Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.) Used for Musical Instruments. *Forests* 2023, 14, 197. <https://doi.org/10.3390/f14020197>
- **Stanciu M.D.**, Teodorescu HD., Vlase S., Mihalcica M., Cosnită M., Savin A, Multiscale assessment of artificial aging treatment of polysaccharides from tonewood species, *Int. J. Biol. Macromol.*, Volume 274, Part 1, 2024, 133310, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133310>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813024041151>)
- Gurău, L.; Timar, M.C.; Coșoreanu, C.; Cosnita, M.; **Stanciu, M.D.** (autor correspondent) Aging of Wood for Musical Instruments: Analysis of Changes in Color, Surface Morphology, Chemical, and Physical-Acoustical Properties during UV and Thermal Exposure. *Polymers* 2023, 15, 1794. <https://doi.org/10.3390/polym15071794>
- **Stanciu, M.D.**, Dinulică, F., Roibu, C.C., Guiman, M.V., Cerbu, C., Savin, A. (2025). Quality Classes of Blanks for Violins and Some Relevant Physical Parameters of Wood. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) *Interdisciplinary Approach to the Violin*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_2
- Drăghicescu, H.T., **Stanciu, M.D.**, Vlase, S., Mihălcică, M., Gall, R., Savin, A. (2025). Mechanical Characterization of Spruce Resonance Wood and Curly Maple for Violins. In: **Stanciu, M.D.**, Bucur, V. (eds) *Interdisciplinary Approach to the Violin*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_3 (capitol carte).
- **Stanciu M.D.** (coord.), Mihălcică M. (coord.) (2022) *Dinamica viorii*, Ed. Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978–606–19–1517–0, pp. 302

Capitolul 2. Influența diferitelor tipuri de finisaje asupra proprietăților fizice, dinamice și acustice ale lemnului de rezonanță

2.1. Aspecte generale privind tipurile de finisaje folosite pentru viori

Finisarea instrumentelor muzicale, în special a viorilor, a fost, de la început, o tehnică de protejare a lemnului împotriva murdăriei, a variațiilor de umiditate și, în final, o modalitate de îmbunătățire a aspectului estetic al instrumentului. De-a lungul timpului, rețetele folosite de lutieri au fost îmbunătățite și modificate, deoarece atât lutierii, cât și muzicienii și-au dat seama că de cele mai multe ori, sunetul instrumentelor lăcuite era modificat negativ de finisajul utilizat. În prezent, datorită tehnologiei avansate de analiză chimică a materialelor, analiză imagistică și radiografie, o serie de instrumente muzicale vechi au putut fi studiate pentru a identifica compușii chimici din rețetele de finisare. Studiile au evidențiat faptul că lacurile utilizate pentru instrumentele muzicale sunt similare cu cele folosite de pictori, fiind amestecuri complexe de compuși organici și anorganici. Conform analizei efectuate de [Echard ș.a. 2008](#), lacurile utilizate pentru lăcuirea instrumentelor muzicale, ca substanțe de acoperire care se aplică într-unul sau mai multe straturi, pot fi clasificate în funcție de solventul pe care îl conțin, în trei categorii: pe bază de alcool; pe bază de ulei sicativ; pe bază de uleiuri esențiale ([Echard ș.a. 2008](#)). În cazul lacurilor pe bază de ulei, uleiul este vegetal, cele mai utilizate fiind uleiul de in, uleiul de nucă și uleiul de ricin. Lacurile pe bază de alcool au la bază un amestec de rășini dizolvate în alcool, de aceea se numesc și lacuri alcoolice. Rășinile sunt substanțe naturale sau artificiale care au proprietatea de a se înmuia sau topi atunci când temperatura crește treptat și pot fi apoi întinse pe suprafețele suport. Cercetătorii clasifică rășinile naturale în rășini produse de copaci, diterpene (bazate pe compuși organici formați din două unități terpenice $C_{20}H_{32}$), cum ar fi sandaracul - rășina arborelui *Juniperus communis* (Africa de Nord, Maroc), colofoniu - rășina speciilor din familia Pinaceae, copal - produs al arborelui *Protium copal* (Burseraceae) (Mexic, America Centrală) și rășini triterpene (cu trei unități terpenice $C_{30}H_{48}$), cum ar fi damarul - *Canarium strictum* (India), masticul - arborele *Pistacia lentiscus* (Grecia), elemi - produs de arborele *Canarium luzonicum* (Filipine). Pe lângă aceste rășini, au fost identificate și rășini fosile (chihlimbarul), rășini produse de insecte (shel-lac), gume, proteine, ceruri, coloranți naturali. De exemplu, [Azémard ș.a. 2017](#), s-au concentrat pe studiul chimic al sandaracului, precum și pe analiza etimologică și descrierea botanică a sandaracului ([Azémard ș.a. 2017](#)). De asemenea, [Echard ș.a. 2008](#) au observat că substanțele anorganice identificate în straturile de lac folosite în trecut erau pigmenți (cinabru sau vermilion, orpiment,

hematit), agenți de uscare cu rol în accelerarea uscării lacului (litarg - un mineral secundar care se formează din oxidarea minereurilor de galenă), materiale de umplutură sau alte substanțe, cum ar fi creta, gipsul și alți sulfați de calciu, cuarțul sau sticla, mica (Echard ș.a. 2008). Sunt raportate numeroase studii privind compoziția chimică a lacurilor folosite de faimoșii lutieri, toate evidențiind complexitatea rețetelor, dar și elementele comune ale școlilor de lutieri sau diferențele dintre finisaje ca o amprentă personală a lutierului (Nagyvary 1988, Nagyvary 1996, Nagyvary 2005).

În aceste studii, s-a demonstrat că lemnul folosit de Stradivari și Guarneri a fost tratat cu conservanți minerali, fie în timpul transportului lemnului, fie pentru pregătirea suprafețelor pentru lăcuire, tratament care ar fi putut modifica chimic matricea organică a lemnului, influențând acustica instrumentelor muzicale (Nagyvary ș.a. 2009). În prezent, pentru studierea finisajelor viorilor vechi se utilizează tehnici spectroscopice, cele mai cunoscute fiind microscopia cu lumină polarizată (PLM), spectrometria de fluorescență cu raze X prin dispersie de energie (EDXRF), radiația sincrotron bazată pe spectrometria în infraroșu cu transformare micro-Fourier (ST-FT-IR), spectrometria micro-Raman, Micro-Spectro-fluorimetria (MSF) (Echard ș.a. 2010; Caruso et al. 2014; Fiocco ș.a. 2019). Fiecare metodă oferă informații utile despre natura chimică a lacului, grosimea acestuia, numărul de straturi aplicate, posibila prezență a pigmentilor, caracterizarea și diferențierea compoziției organice și anorganice a materialelor, separarea și identificarea analiților în matrici organice complexe, morfologie și compoziție chimică (Caruso ș.a. 2014). Importanța lacului asupra sunetelor muzicale a preocupat lumea științifică, considerând că secretul viorilor Stradivarius constă în lacul utilizat. Astfel, au fost efectuate o serie de studii privind influența peliculei de lac asupra calității acustice a viorilor, studii care au evidențiat faptul că modificările sunt nesemnificative în comparație cu modificările geometrice produse prin reducerea grosimii plăcilor de vioară (Bianu 1957; Schelleng 1968). Cu toate acestea, proprietățile noului sistem dinamic realizat din lemn, interfața lemn-lac și pelicula de lac modifică masa, rigiditatea și amortizarea în funcție de tipul de lac, acest lucru manifestându-se diferit pe direcția longitudinală și radială a lemnului. Studiile efectuate de Sedighi ș.a. În 2016, pe probe de lemn rezonant lăcuite cu diferite tipuri de lacuri curențe, unele preparate în laborator, altele utilizate de lutieri, au evidențiat că lăcuirea a redus radiația sonoră cu până la 6,5%, de-a lungul fibrei, dar a crescut-o în direcție radială; impedanța acustică a scăzut atât în direcție longitudinală cu până la 2,7%, cât și în direcție transversală cu 10,5% (Sedighi ș.a. 2016).

În același timp, s-a constatat că toate lacurile, independent de compozițiile lor originale, au crescut amortizarea internă a lemnului, de-a lungul sau perpendicular pe fibre. Expunerea probelor la radiații UV a dus la o creștere a modulului specific de elasticitate și la o scădere a

amortizării interne, din cauza întăririi lacului. [Lämmlein ș.a. 2017](#), [Lämmlein ș.a. 2019](#) au analizat proprietățile vibraționale ale viorilor lăcuite în corelație cu comportamentul higroscopic al lemnului în structurile analizate. Proprietățile vibraționale ale viorilor lăcuite au fost, de asemenea, analizate în corelație cu comportamentul higroscopic al lemnului în structurile analizate ([Lämmlein ș.a. 2017](#), [Lämmlein ș.a. 2019](#)). Analiza modală a evidențiat faptul că sistemul de acoperire a indus modificări ale frecvenței naturale și ale amortizării, autorii atrăgând atenția asupra faptului că lutierii acordează viorile înainte de lăcuire. Din punctul de vedere al absorbției umidității, s-a observat că pelicula de lac previne absorbția cu aproximativ 50% față de o vioară nelăcuită. Astfel, pentru a cuantifica modificările de masă ale plăcilor lăcuite cu diferite grosimi ale peliculei de lac, ([Lämmlein ș.a. 2020](#)) introduc termenul de încărcare în masă indusă de sistemul de lăcuire, ca raport dintre diferența de masă și suprafața acoperită. Prin numeroase investigații chimice și imagistice, ([Cai ș.a. 2020](#)) au considerat că calitatea acustică a instrumentelor muzicale vechi se datorează descompunerii hemicelulozei și rearanjării celulozei din cauza modificărilor induse de îmbătrânirea naturală. Autorii studiului indică o combinație a celor doi factori - îmbătrânirea și prelucrarea chimică pentru a obține efecte acustice excelente.

Este cert că, indiferent de lacul utilizat, grosimea peliculei (sub formă de straturi aplicate) și interfața lemn-lac duc la modificări ale proprietăților elastice și vibraționale ale lemnului folosit ca suport, rezultând un sistem stratificat nou, asimetric, influențat nu numai de modulul longitudinal (EL) și radial ER, ci și de modulul de forfecare în planul longitudinal-radial (notat GLR) ([Rodger 1998](#), [Chung 2000](#), [Skrodzka ș.a. 2013](#)). Pentru a simplifica calculele și comparațiile cu alte materiale, ([Quintavalla ș.a. 2022](#)) au introdus mărimile elastice și acustice echivalente care depind de direcțiile principale ale lemnului, în funcție de clasa instrumentelor muzicale.

Pentru viori, modulul radial longitudinal ER și cel transversal în planul longitudinal radial GLR au o influență predominantă față de modulul de elasticitate în direcția longitudinală EL. În ceea ce privește amortizarea, expresiile factorului de calitate echivalent arată că, pentru instrumentele din familia chitarelor, proprietățile de amortizare de-a lungul direcțiilor longitudinale tind să predomine, în timp ce pentru instrumentele din familia vioarelor, proprietățile de amortizare în direcția radială sunt mai importante. Având în vedere proprietățile elastice și de amortizare tipice ale scândurilor de molid, adică scândurilor lungi și înguste, acestea sunt intrinsec mai amortizate decât scândurile scurte și late. Deși placa de rezonanță este apreciată pentru viteza mare de propagare a sunetelor pe direcție longitudinală, totuși, capacitatea lemnului de a amortiza sunetele joacă un rol important în calitatea acustică a instrumentului muzical. Astfel, influența grosimii straturilor de finisare din

poliuretan asupra coeficientului de absorbție acustică al lemnului de rezonanță utilizat în construcția pianului a fost evidențiată de (Xu ș.a. 2020). Autorii au constatat că creșterea stratului de lac duce la o creștere a coeficientului de absorbție acustică pentru frecvențe mai mari de 2500 Hz, în timp ce, la frecvențe între 1000–2000 Hz, valorile coeficientului de absorbție sunt mai mici. Specia de lemn influențează valorile coeficientului de absorbție. Studii similare privind absorbția acustică a lemnului din diferite specii de lemn sunt raportate și de (Smardzewski ș.a. 2014; Shen 2006; Jiang ș.a. 2004). (Stanciu et al. 2024a) au studiat influența lacului alcoolic și a lacului pe bază de ulei asupra proprietăților acustice ale plăcii de rezonanță. Rezultatele obținute pe probe testate cu tubul Kundt, având diferite grosimi ale peliculei de lac, au arătat că coeficientul maxim de absorbție acustică al probelor lăcuite cu lac pe bază de alcool (LS) este de aproximativ 1.5 ori mai mare decât cel al probelor lăcuite cu lac pe bază de ulei (LU). Absorbția maximă are loc la aceeași frecvență pentru suprafața nelăcuită și cea lăcuită cu ulei, comparativ cu probele lăcuite cu alcool, unde absorbția are loc decalat între cele două fețe ale probelor: fața nelăcuită absoarbe sunete cu frecvența centrală de 2 - 2,5 kHz, iar fața lăcuită absoarbe sunete la frecvențe mai mari de 4,0 kHz. Odată cu creșterea grosimii stratului de lac LS cu 15 straturi, frecvența centrală a coeficientului de absorbție acustică pentru suprafața nelăcuită crește la 3,5 kHz, comparativ cu sistemele cu 5 și 10 straturi. Astfel, sistemul lemn-lac întâlnit în construcția instrumentelor muzicale prezintă proprietăți acustice distincte față de materialele din care este format, iar asimetria structurii sistemului ca urmare a aplicării peliculei de lac doar pe una dintre suprafețe (cea exterioară), produce o diferență în comportamentul acustic al plăcii în contact cu undele sonore. Știind că rigiditatea plăcilor lăcuite este diferită de rigiditatea plăcilor nelăcuite, pe baza cercetărilor experimentale, (McLennan, 2000) a dezvoltat un model matematic pentru calcularea modulului de elasticitate al sistemului de lăcuire asimetric ce conține lemn și peliculă de lac. Deși majoritatea studiilor asupra lemnului utilizat pentru instrumente muzicale abordează teoretic și experimental determinarea proprietăților acustice din perspectiva vitezei de propagare a sunetului, a frecvențelor de rezonanță, a amortizării și a factorului de calitate, cercetarea prezentată în această lucrare abordează caracterizarea lemnului de rezonanță acoperit cu diferite sisteme de lac din perspectiva reflexiilor și absorbției sonore produse de sistemul lemn - interfața lemn/lac și pelicula de lac.

2.2. Cercetări privind efectele diferitelor tipuri de finisaje asupra proprietăților fizice ale lemnului de rezonanță

2.2.1. Tipuri de probe analizate

Pentru analiza efectelor diferitelor tipuri de finisaje asupra caracteristicilor fizice, dinamice și acustice ale lemnului de rezonanță, au fost pregătite probele din lemn (molid și paltin) sub formă de plăci dreptunghiulare cu dimensiunile de 200mmx80mmx4mm. Molizii au fost recoltați din Ocolul Silvic Moldovița (Suceava - Bucovina), cunoscut pentru arboretele sale de molid norvegian cu lemn de rezonanță. Diametrele arborilor au fost de 400 - 600 mm, iar semifabricatele pentru vioară 4/4 au fost extrase prin tăiere de sferturi. Probele provin din depozitul de materii prime al fabricii de instrumente muzicale, fiind pregătite din semifabricate pentru vioară, care au fost uscate natural timp de 5 - 8 ani, atingând un conținut de umiditate de 8 - 10%. Principalele operațiuni tehnologice implicate în prepararea și obținerea probelor, așa cum au fost menționate de [Gliga ș.a. 2025](#), sunt prezentate schematic în [Figura 2. 1](#) ([Stanciu ș.a. 2025b, 2025d](#)).

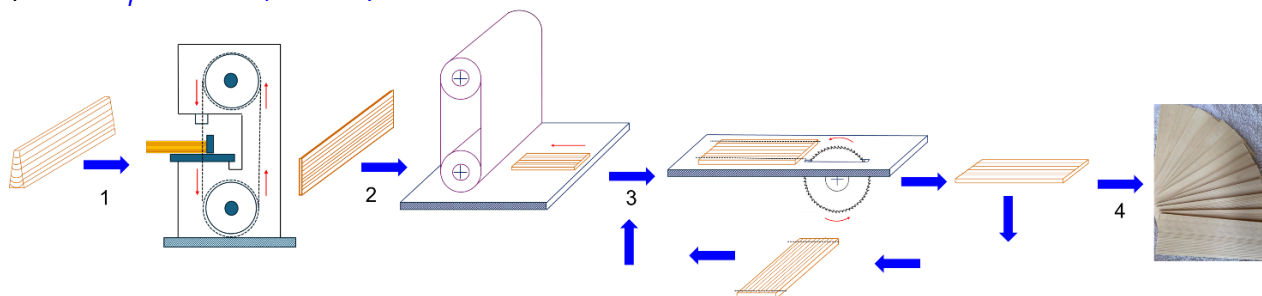


Figura 2. 1. Principalele operații pentru pregătirea probelor. Legendă: 1 - tăierea semifabricatului pe un ferăstrău cu bandă; 2 - calibrarea fețelor pe o mașină de calibrare a șlefuirii (patru treceri cu granulații diferite ale rolei de șlefuire); 3 - îndreptarea marginilor pentru bazare; și tăierea (secționarea) la lungime; 4 - probele la dimensiunile finale ([Stanciu ș.a. 2025d](#))

Spre deosebire de clasificarea din [STAS 10824-76](#) unde sunt menționate doar două clase de calitate pentru fețele/fondurile instrumentelor muzicale (A și B), fiecare dintre acestea fiind împărțită în trei subgrupe, în acest studiu sunt analizate două tipuri de lemn de molid cu rezonanță, utilizate pentru fețele de vioară, având caracteristici anatomice extreme.

Clasa A desemnează cea mai bună calitate a lemnului, clasa D se referă la cea mai proastă calitate a lemnului utilizat pentru instrumente muzicale. Probele au fost grupate în două clase de calitate în funcție de parametrii anatomici precum: lățimea inelelor anuale, proporția de lemn târziu/lemn timpuriu, fără defecte anatomice, regularitatea inelelor anuale. Gradul A reprezintă probele cu lățimi înguste ale inelelor anuale, sub 1 mm, regulate, $74.97 \pm 1.6\%$

proporție de lemn timpuriu, $25.03 \pm 1.5\%$ proporție de lemn târziu, iar gradul D reprezintă probele cu lățimi ale inelelor anuale mai mari de 2.5 mm, neregulate, $76.36 \pm 1.32\%$ proporție de lemn timpuriu, $23.64 \pm 1.13\%$ proporție de lemn târziu (Dinulică ș.a. 2021, Stanciu ș.a. 2025e). Informații detaliate despre clasele de calitate anatomică ale lemnului de sondare sunt detaliate în studiile (Dinulică ș.a. 2021, Stanciu ș.a. 2025e). Figura 2. 2 prezintă cele două categorii de probe de lemn de molid (codificate cu A). Au fost pregătite un total de 54 de probe (27 din fiecare clasă de calitate, 3 probe din fiecare categorie de lăcuire). Marcajele poziționate la 50, 100 și 150 mm reprezintă poziția punctelor de măsurare a culorii lemnului.

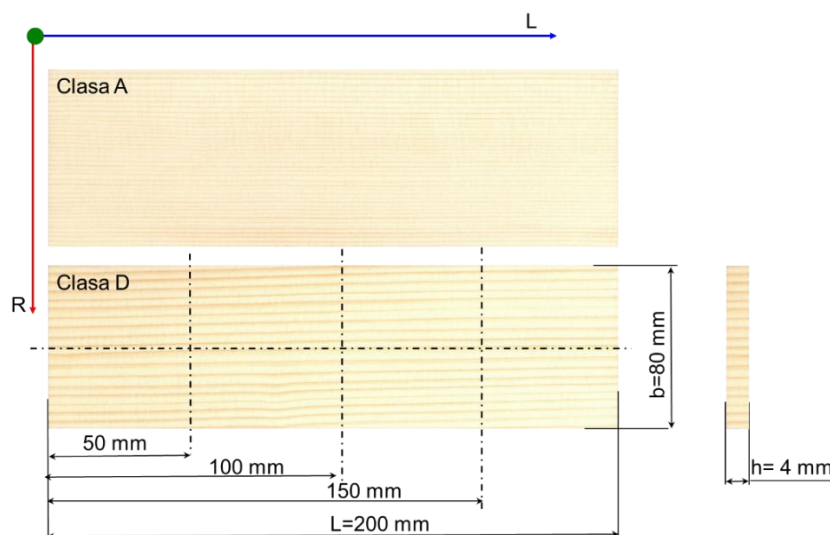


Figura 2. 2. Aspectul și dimensiunile probelor de lemn de molid din clasele de calitate A și D (Legendă: L – direcția longitudinală a lemnului; R – direcția radială a lemnului; L – lungimea; b – lățimea; h – grosimea; 50 mm, 100 mm și 150 mm reprezintă pozițiile utilizate pentru măsurarea culorii) (Stanciu ș.a. 2025e)

Plăcile nelăcuite au fost ulterior grupate în funcție de tipul de lac aplicat. Acestea au fost grupate în trei subcategorii în funcție de tipul de lac, și anume lac pe bază de ulei codificat LU, lac pe bază de alcool codificat LS și lac nitrocelulozic codificat NC. Toate lacurile sunt produse comerciale, așa cum se poate observa în Tabelul 2. 1. Lacul pe bază de ulei (LU) conține un amestec de rășini naturale și sintetice, dizolvate în terebentină și ulei de in. Întărirea se bazează pe polimerizarea oxidativă a uleiului. Lacul nitrocelulozic (NC) este, de asemenea, un produs polimeric artificial obținut prin tratarea celulozei polimerice naturale cu acid azotic, o parte din grupările hidroxil din celuloză fiind înlocuite cu grupări nitrați. Solventul utilizat conține acetat de etil și acetat de butil, cetone precum acetona și metiletilcetona și hidrocarburi aromatice. Lacul pe bază de alcool utilizează în principal alcool etilic (etanol) care dizolvă rășina, în trecut fiind folosit șelac.

Tabelul 2. 1. Materialele folosite pentru finisare (Stanciu ș.a. 2025d)

Tipul de material pentru finisare (cod)	Numele comercial	Producator	Website
Lacuri			
Lac pe bază de ulei (LU)	Joha Oil Varnish Standard	Hammerl GmbH & Co. KG	https://www.hammerl.com/en/varnishes.html
Lac alcoolic (cu spirit) (LS)	Joha Spirit varnish standard	Hammerl GmbH & Co. KG	https://www.hammerl.com/en/varnishes.html
Lac nitrocelulozic (NC)			
Materiale de colorare/pigmenți			
Extrakte de culoare pentru lacuri (CEV)	Joha red (2903) Joha yellow (2901) Joha brown (2904)	Hammerl GmbH & Co. KG	https://www.hammerl.com/en/varnishes.html
Pigmenți pentru apă* (WS)	169 red brown 125 pure yellow 104 nut brown dark	Hammerl GmbH & Co. KG	https://www.hammerl.com/en/varnishes.html
Dicromat de potasiu**(KD)	-	International Laboratory SRL, Cluj Napoca, Romania	

În prezent, pentru instrumentele muzicale se utilizează diverse rășini care au proprietăți similare cu șelac. Pentru fiecare tip de lac, indiferent de tipul de substrat A și D, au fost stabilite trei grosimi de lac cuantificate din punctul de vedere al procesului de lăcuire în funcție de numărul total de straturi de materiale de finisare aplicate: 5, 10 și 15. Trebuie specificat faptul că tehnologiile au inclus o primă fază de colorare cu o soluție pe bază de apă (stratul 1 sau straturile 1-2), a continuat în general cu aplicarea mai multor straturi de lac colorat și s-a încheiat cu 3-5 straturi de lac incolor (fără extract colorant) (Stanciu ș.a. 2025d). Prin excepție, pentru probele finisate NC, după colorarea inițială, s-a folosit doar lac incolor (straturile 4-15). De asemenea, tehnologiile au fost particularizate pentru fiecare tip de lac de către producătorul instrumentului muzical (Fabrica de Instrumente Muzicale Gliga), respectând rețetele și condițiile legate de finisarea viorilor, așa cum se poate observa în Tabelul 2. 2Error! Reference source not found.. Aspectul general al diferitelor tipuri de probe lăcuite poate fi vizualizat în Figura 2. 3 unde acestea sunt ordonate în funcție de tipul de lac utilizat (fiecare coloană reprezintă un tip de lac, iar pe linii sunt grupate în funcție de numărul de straturi aplicate conform tehnologiei de finisare prezentate). În funcție de clasa de calitate structurală a lemnului de molid, au fost analizate probe din lemn clasa A și lemn clasa D. Specia a fost codificată cu litera S (din limba engleză molid = spruce). În Figura 2. 4 este prezentată structura plăcilor lăcuite formată din lemn cu grosimea h_w , interfața lemn – pelicula de lac cu grosimea h_{w-v} și pelicula de lac cu grosimea h_v .

Tabelul 2. 2. Perspectivă asupra tehnologiei de finisare cu 15 straturi pentru cele trei tipuri de lacuri (Legendă: KD - Dicromat de potasiu; WS – Grund pe bază de apă; WS-R - Rețetă pentru grundul pe bază de apă; CEV - Extracte de culoare pentru lacuri) (Stanciu ș.a. 2025d).

Layers	Finisaj cu lac alcoolic (LS)	Finisaj nitrocelulozic (NC)	Finisaj pe bază de ulei (LU)
1	KD	WS -125 yellow	WS-R
2	LS+CEV2901	WS - 104 nut brown	LU
3	LS+CEV2901	NC base coat	LU+CEV2901
4	LS+CEV2903	NC	LU+CEV2901
5	LS+CEV2901+CEV2903	NC	LU+CEV2903
6	LS+CEV2901+CEV2903	NC	LU+CEV2903
7	LS+CEV2901+CEV2903	NC	LU+CEV2904
8	LS+CEV2904	NC	LU+CEV2904
9	LS+CEV2904	NC	LU+CEV2904
10	LS+CEV2904	NC	LU+CEV2904
11	LS	NC	LU+CEV2904
12	LS	NC	LU+CEV2904
13	LS	NC	LU
14	LS	NC	LU
15	LS	NC	LU

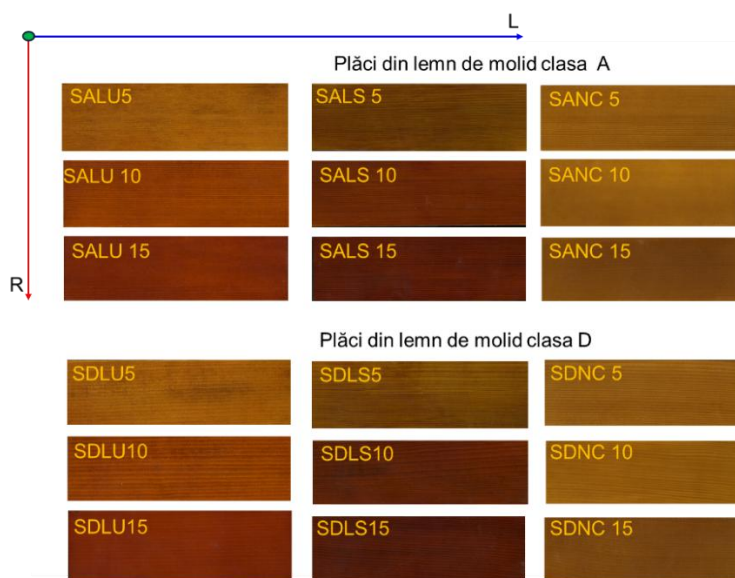


Figura 2. 3. Tipurile de probe lăcuite (Legenda: SALU5— lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac pe bază de ulei, 5 straturi; SALS5—Lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac cu alcool, 5 straturi; SANC5—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac nitrocelulozic, 5 straturi; SALU10—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac pe bază de ulei, 10 straturi; SALS10—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac alcool, 10 straturi; SANC10—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac nitrocelulozic, 10 straturi; SALU15—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac pe bază de ulei, 15 straturi; SALS15—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac cu alcool, 15 straturi; SANC15—lemn de molid calitatea A, lăcuit cu lac nitrocelulozic, 15 straturi) (Stanciu ș.a. 2025d)

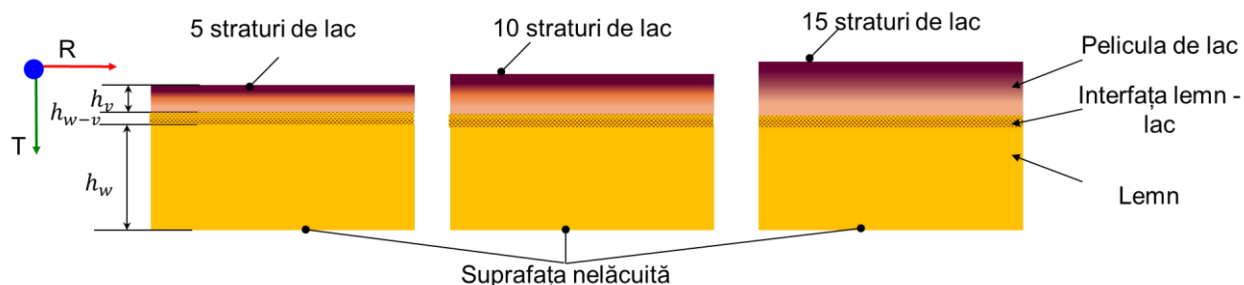
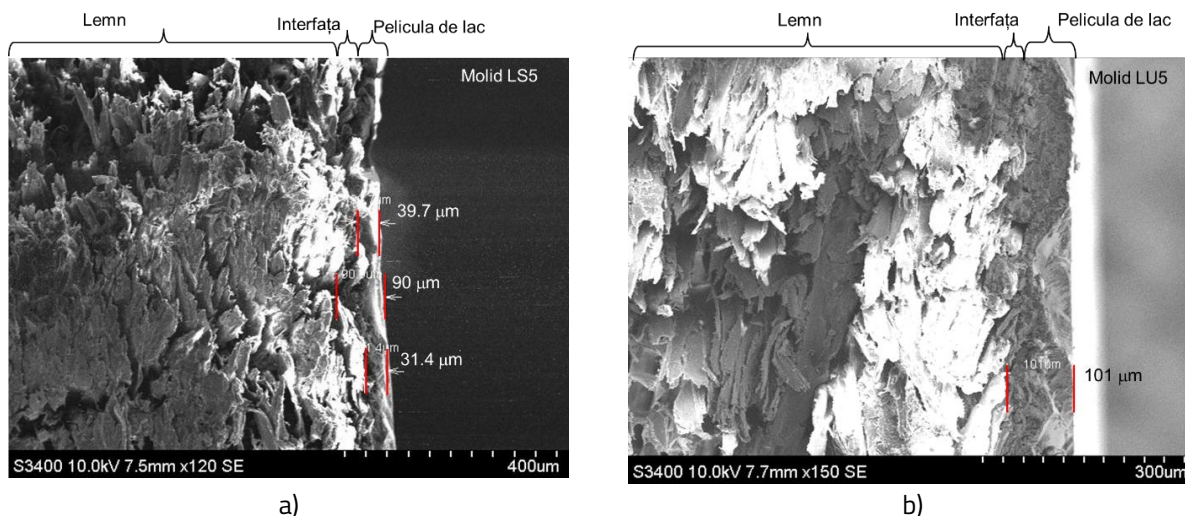


Figura 2. 4. Structura plăcilor lăcuite constând din substratul de lemn, interfața lemn-lac și pelicula de lac obținută prin aplicarea de straturi succesive (Stanciu ș.a. 2024a)

Microscopia electronică de scanare reprezintă un instrument valoros pentru caracterizarea morfologiei suprafeței probei analizate, prin capacitatea de a imagistica formele particulelor și caracteristicile suprafeței, și evidențiază zonele interfaciale și morfologia acestora (Cazan ș.a. 2024). Investigarea morfologiei structurii interfațiale a probelor de lemn a fost efectuată prin microscopie electronică de scanare (SEM – Hitachi – S 3400N). Grosimea peliculei de lac cu alcool cu 5 straturi variază între 31 - 40 micrometri, pentru 10 straturi, între 79 - 82, iar pentru 15 straturi, între 109 - 154 micrometri (Figura 2. 5a, c, e). Pentru probele lăcuite cu lac pe bază de ulei, grosimea peliculei variază după cum urmează: pentru 5 straturi, o grosime de 39 - 40 micrometri, pentru 10 straturi, o interfață lemn - lac de 78 micrometri; iar pentru 15 straturi, o interfață de aprox. 150 micrometri (Figura 2. 5, b, d, f). Investigarea morfologiei structurii interfaciale a probelor de lemn a fost efectuată prin microscopie electronică de scanare (SEM – Hitachi – S 3400N) (Stanciu ș.a. 2025c).



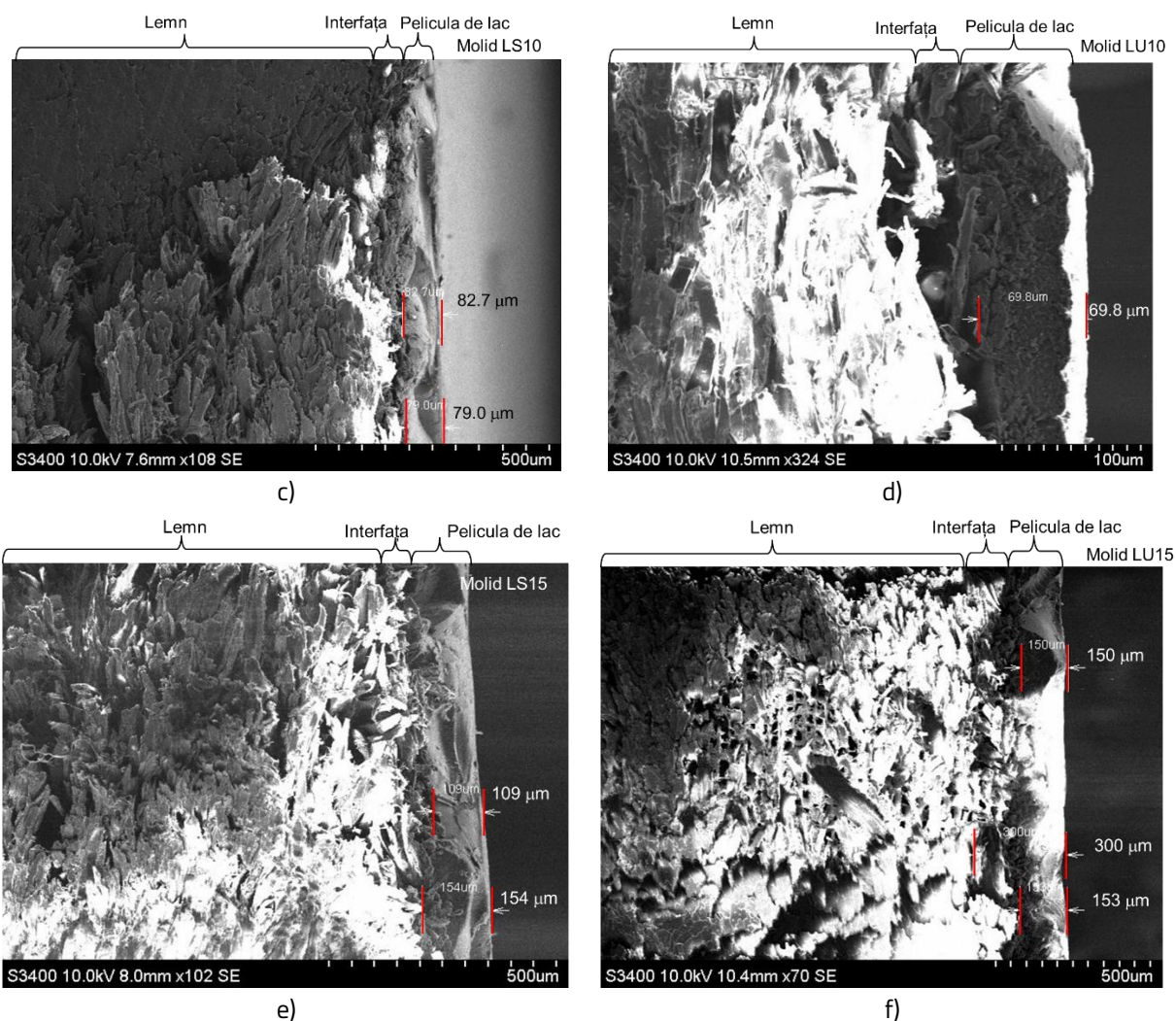


Figura 2. 5. Vedere microscopică a sistemelor de lăcuire în cazul lemnului de molid: a) lemn de molid lăcuit cu lac cu alcool 5 straturi; b) lemn de molid lăcuit cu lac pe bază de ulei, 5 straturi; c) lemn de molid lăcuit cu lac cu alcool 10 straturi; d) lemn de molid lăcuit cu lac cu lac pe bază de ulei 10 straturi; e) lemn de molid lăcuit cu lac cu alcool 15 straturi; f) lemn de molid lăcuit cu lac cu lac pe bază de ulei 15 straturi (Stanciu ș.a. 2025b)

2.2.2. Determinarea grosimii peliculei de lac

Conform (Lämmlein ș.a. 2019, Lämmlein ș.a. 2020; Lämmlein 2025; Stanciu ș.a. 2024c), pentru a permite o comparație directă între modificările de masă ale plăcilor de molid lăcuite cu diferite tipuri de lacuri și cu diferite grosimi de peliculă, modificările au fost evaluate ținând cont de consumul de lac (notat AML), folosind relația (2.1).

$$AML = \frac{m_v - m_i}{b * L}, \quad (2.1)$$

unde m_v este masa probei lăcuite; m_i – masa probei înainte de lăcuire, b și L – dimensiunile probei. Masa a fost măsurată cu o balanță analitică Kern DLB160-3A (Kern&Sohn GmbH, D-72336, Germania).

Pentru a analiza creșterea consumului de lac ΔAML de la o categorie la alta a grosimilor peliculelor, s-a aplicat relația (2.2):

$$\Delta AML = \left(\frac{AML_{n+5} - AML_n}{AML_n} \right) * 100, \quad (2.2.)$$

unde AML_n este valoarea consumului de lac pentru o categorie superioară a grosimii unde $n = 5; 10$.

Odată cu creșterea numărului de straturi, masei probelor crește indiferent de tipul de lac, așa cum se poate observa în Tabelul 2. Consumul de lac nitrocelulozic este aproape identic, indiferent de calitatea lemnului. Cel mai mic consum de lac dintre cele trei categorii de probe a fost înregistrat în cazul lacului cu alcool.

Tabelul 2. 3. Valorile medii ale consumului de lac și diferența de consum înregistrată (Stanciu ș.a. 2025c).

Proba	AML (kg/m ²)	$\Delta AML(\%)$
SALU5	0.068	-
SALU10	0.090	33.052
SALU15	0.129	42.580
SALS5	0.167	-
SALS10	0.183	9.606
SALS15	0.200	9.409
SANC5	0.036	-
SANC10	0.068	90.322
SANC15	0.106	55.205
SDLU5	0.076	-
SDLU10	0.097	28.732
SDLU15	0.134	37.949
SDLS5	0.149	-
SDLS10	0.173	16.624
SDLS15	0.223	28.498
SDNC5	0.044	-
SDNC10	0.084	90.844
SDNC15	0.131	56.573

Figura 2. 6 prezintă variația încărcării consumului de lac odată cu creșterea grosimii peliculei de lac. Astfel, după aplicarea și uscarea primului strat de baiț, acesta s-a șlefuit cu hârtie abrazivă cu granulația 280, iar după aplicarea și uscarea succesivă a peliculelor de lac, acestea

s-au șlefuit cu hârtie abrazivă cu granulația 320. Cel mai mare consum de lac s-a înregistrat pentru lacul alcoolic (LS), de aproximativ 2.4 ori mai mare decât consumul de suprafață al lacului pe bază de ulei (LU), pentru 5 straturi, observație valabilă atât pentru lemnul de molid clasa A, cât și pentru clasa D. Cel mai mic consum se observă pentru lacul nitrocelulozic (NC), de aproximativ 1,9 ori mai mic decât pentru lacul pe bază de ulei (LU).

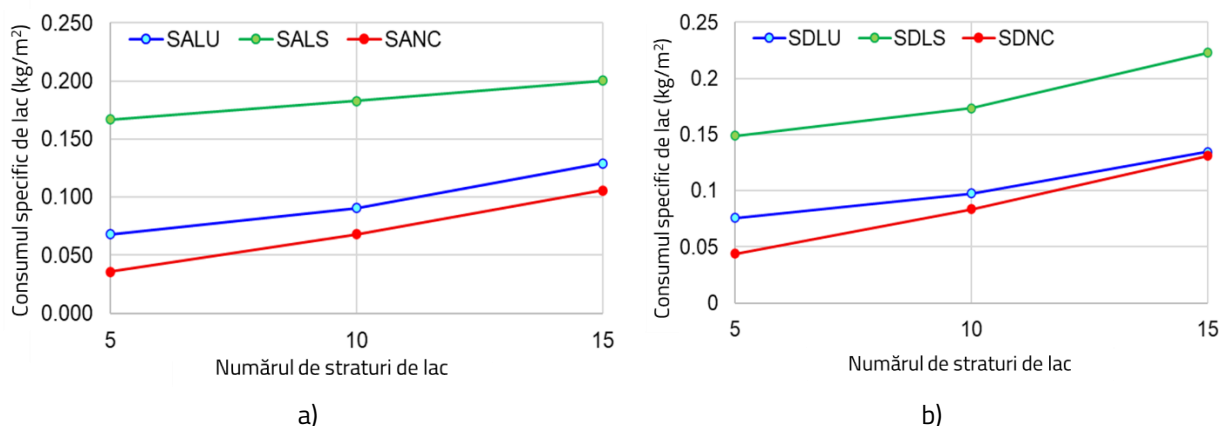


Figura 2. 6. Variația consumului de lac: a) probe din lemn de molid clasa A; b) probe din lemn de molid clasa D (Stanciu ș.a. 2025d)

2.2.3. Măsurarea parametrilor de culoare

Principiul de măsurare a parametrilor de culoare din spațiul CIELab (conform CIE Commission Internationale de l'Eclairage) și echipamentul utilizat sunt cele prezentate în capitolul anterior, diferența de culoare ΔE^* determinându-se cu relația (1.6). Primele măsurători de culoare au fost efectuate înainte de procesul de lăcuire, pe toate mostrele de lemn de molid din clasa A și D, în cele trei puncte de pe placă evidențiate în Figura 2. 2, la intersecția liniilor punctate, după care au fost mășurați parametrii de culoare după fiecare strat de lac aplicat și uscat.

Înainte și după lăcuire, probele au fost poziționate în spațiul de culoare 3D CIEL (Figura 2. 7). S-a constatat că probele nelăcuite formează un cluster în ceea ce privește parametrii de culoare, indiferent de clasa de calitate a lemnului de molid. După lăcuire, clusterelor formate depind de tipul de lac aplicat și de grosimea straturilor. Cea mai mare dispersie a clusterelor a fost vizibilă pentru 15 straturi de lac (Figura 2.7c). Cele mai mici valori ale luminozității L^* , gradului de roșu a^* și gradului de galben b^* au fost în cazul probelor lăcuite cu lac pe bază de alcool, iar cele mai mari valori ale parametrilor de culoare sunt înregistrate pentru probele lăcuite cu lac nitrocelulozic, indiferent de grosimea peliculei (Figura 2. 7). Proportia de lemn târziu și lățimea inelelor anuale în funcție de care a fost stabilită clasa de calitate a lemnului de molid s-au reflectat în culoarea finisajului, indiferent de grosimea straturilor aplicate.

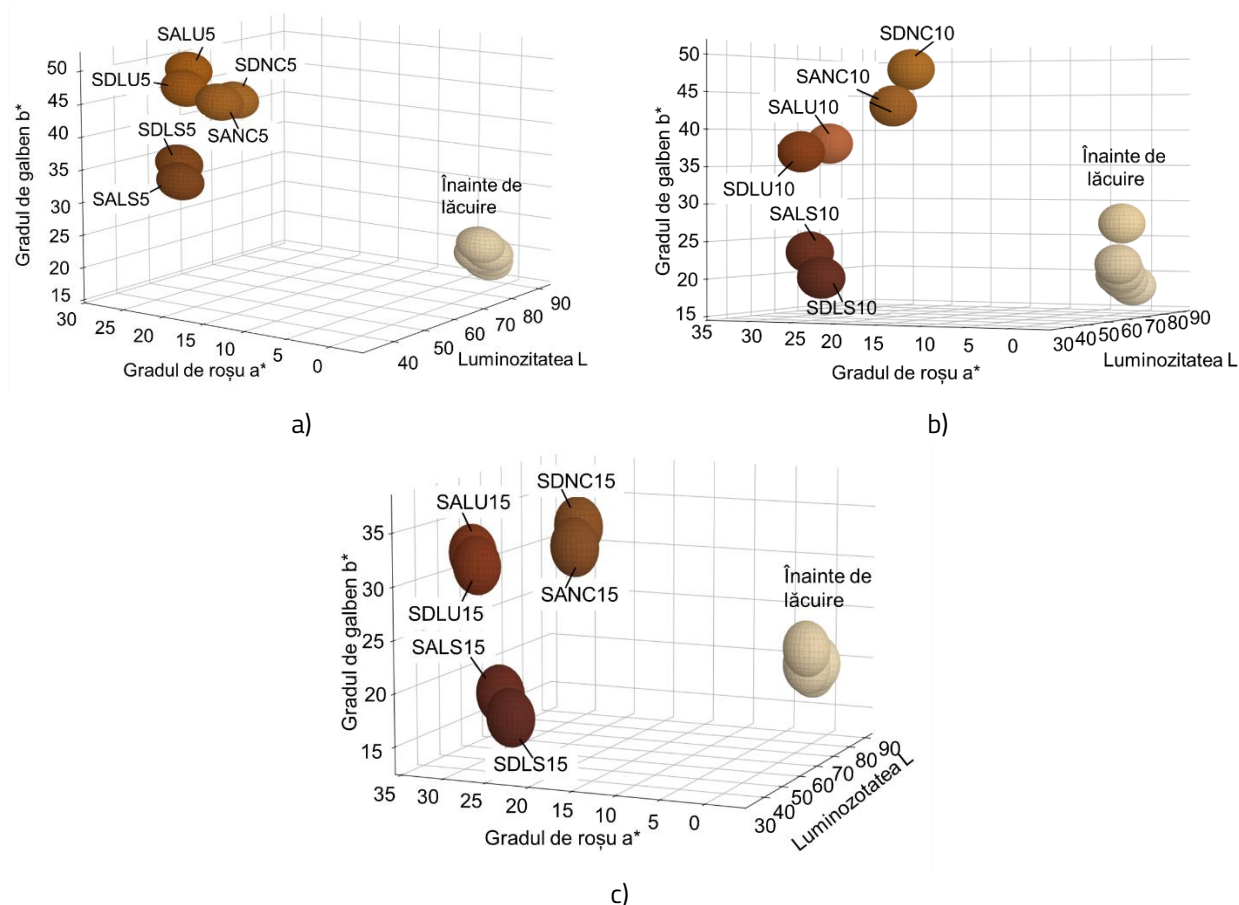


Figura 2. 7. Distribuția probelor lăcuite în spațiul de culoare 3D Cie-Lab: a) probe lăcuite cu 5 straturi; b) probe lăcuite cu 10 straturi; c) probe lăcuite cu 15 straturi (Stanciu ș.a. 2025d)

Dintre toți parametrii de culoare măsurați, gradul de roșu a crescut în medie de la 1.57 la 23.73. [Tabelul 2.4](#) prezintă un rezumat al valorilor medii ale parametrilor de culoare. Media și deviația standard au fost calculate pentru nouă valori din fiecare categorie de probă. [Figura 2.8](#) prezintă evoluția parametrilor de culoare în timpul procesului de finisare pentru probele cu 15 straturi, pentru cele trei tipuri de lacuri. În [Figura 2.8](#), stratul marcat cu zero reprezintă substratul inițial de lemn înainte de lăcuire, iar următoarele corespund straturilor succesive de materiale de finisare, parametrii de culoare fiind măsurați după uscarea fiecărui strat aplicat. În general, se observă că luminozitatea a scăzut pentru toate probele după faza de colorare, deși valorile au diferit în funcție de materialele de colorare și de tehnologia propriu-zisă. Pentru SALU15 și SDLU15 colorate cu WS-R (amestec de roșu-marونیu, galben pur, maro-nucă închis), scăderea luminozității a fost de 31-35% (stratul 1). Pentru probele SALS15 și SDLS15 colorate cu KD, scăderea a fost de doar 16%. Pentru probele SANC15 și SDNC15, cu colorare în două straturi, scăderea a fost de aproximativ 16% după stratul 1 (WS - 125 galben) și a atins aproximativ 40% după stratul 2 (WS - 104 maro nucă) ([Figura 2.8 \(a\), \(b\)](#)). Lăcuirea ulterioară a acestor probe a

adus o scădere a luminozității numai după aplicarea primului strat, urmată de stabilizarea restului tehnologiei de finisare. Pentru probele SALS15 și SDLS15, respectiv SALU15 și SDLU15, s-a observat o scădere sinusoidală a luminozității până la stratul 9 (lacuri colorate cu extractul de culoare cel mai închis), urmată de stabilizare. Curbele de evoluție pentru parametrii cromatici de culoare (a^*) și (b^*) sunt prezentate în [Figura 2. 8 \(c\), \(d\), \(e\), \(f\)](#). Cele mai pronunțate modificări apar în cazul nuanțelor de roșu și galben, parametri care cresc cu 300% (gradul de roșu a^*) și 600% (gradul de galben b^*) după aplicarea primului strat. În [Figura 2. 9](#) se poate observa creșterea culorii generale față de culoarea inițială a lemnului în alb cu 30 - 40%. Cea mai mare diferență generală de culoare a fost obținută după aplicarea primului strat de lac nitrocelulozic ($\Delta E^*=50 \div 60$) față de lacurile LU și LS unde ($\Delta E^*=30 \div 40$). Începând cu al cincilea strat, diferența de culoare rămâne aproximativ constantă pentru toate tipurile de finisaje analizate, indiferent de calitatea substratului sau de particularitățile macrostructurale ale lemnului de molid.

Tabelul 2. 4. Valorile medii și deviația standard a parametrilor de culoare ([Stanciu ș.a. 2025d](#))

Probe	Înainte de lăcuire			După lăcuire			ΔE^*
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
SALU5	85.49 (0.86)	2.06 (0.50)	19.46 (0.62)	48.37 (3.44)	24.03 (1.76)	49.13 (2.39)	52.34
SALU10	86.13 (0.17)	1.74 (0.22)	20.02 (0.64)	39.43 (4.62)	29.43(0.54)	38.06 (7.35)	46.19
SALU15	87.12 (0.25)	1.29 (0.17)	19.54 (0.47)	35.86 (2.02)	30.38 (0.47)	32.39 (3.05)	60.32
SALS5	86.40 (0.42)	1.58 (0.07)	19.33 (0.40)	38.42 (1.21)	21.08 (3.76)	33.79 (2.23)	53.77
SALS10	86.11 (1.14)	1.96 (0.46)	19.61 (0.69)	31.35 (2.63)	25.43 (0.90)	23.55 (4.33)	59.90
SALS15	85.99 (0.22)	1.83 (0.10)	19.51 (0.25)	29.02 (0.41)	25.44 (0.59)	19.92 (1.24)	61.68
SANC5	85.01 (0.62)	1.64 (0.36)	21.14 (0.50)	49.78 (0.85)	20.80 (0.20)	44.57 (1.42)	46.45
SANC10	84.72 (1.11)	1.77 (0.97)	21.15 (0.91)	49.92 (1.41)	20.54 (0.40)	43.20 (1.43)	45.27
SANC15	84.94 (0.30)	1.64 (0.27)	21.27 (0.76)	41.85 (1.08)	19.80 (0.53)	33.13 (1.29)	48.24
SDLU5	87.38 (0.63)	1.38 (0.27)	18.70 (0.90)	46.74 (3.66)	23.92 (1.40)	46.57 (5.39)	54.19
SDLU10	86.34 (1.16)	1.68 (0.33)	18.96 (1.59)	38.75 (3.77)	28.66 (3.43)	36.97 (6.72)	55.63
SDLU15	87.16 (0.28)	1.40 (0.15)	19.06 (1.10)	35.44 (4.71)	29.80 (3.04)	31.31 (7.69)	60.26
SDLS5	87.22 (0.29)	1.48 (0.25)	18.08 (1.27)	39.08 (3.20)	21.47 (3.16)	36.40 (3.26)	55.26
SDLS10	87.06 (0.31)	1.54 (0.13)	18.93 (0.69)	29.44 (2.55)	23.58 (1.39)	20.24 (5.35)	61.71
SDLS15	87.05 (0.28)	1.41 (0.15)	19.07 (0.26)	27.74 (1.23)	23.93 (2.03)	17.92 (3.26)	63.45
SDNC5	86.68 (0.42)	1.15 (0.65)	19.79 (1.27)	51.80 (1.22)	19.63 (0.58)	44.83 (3.34)	46.75
SDNC10	87.85 (1.24)	0.71 (0.54)	18.10 (0.55)	54.61 (2.83)	19.61 (0.77)	48.22 (1.43)	48.68
SDNC15	87.24 (0.62)	0.86 (0.32)	19.76 (0.90)	43.36 (1.03)	19.71 (0.68)	35.02 (1.88)	50.14

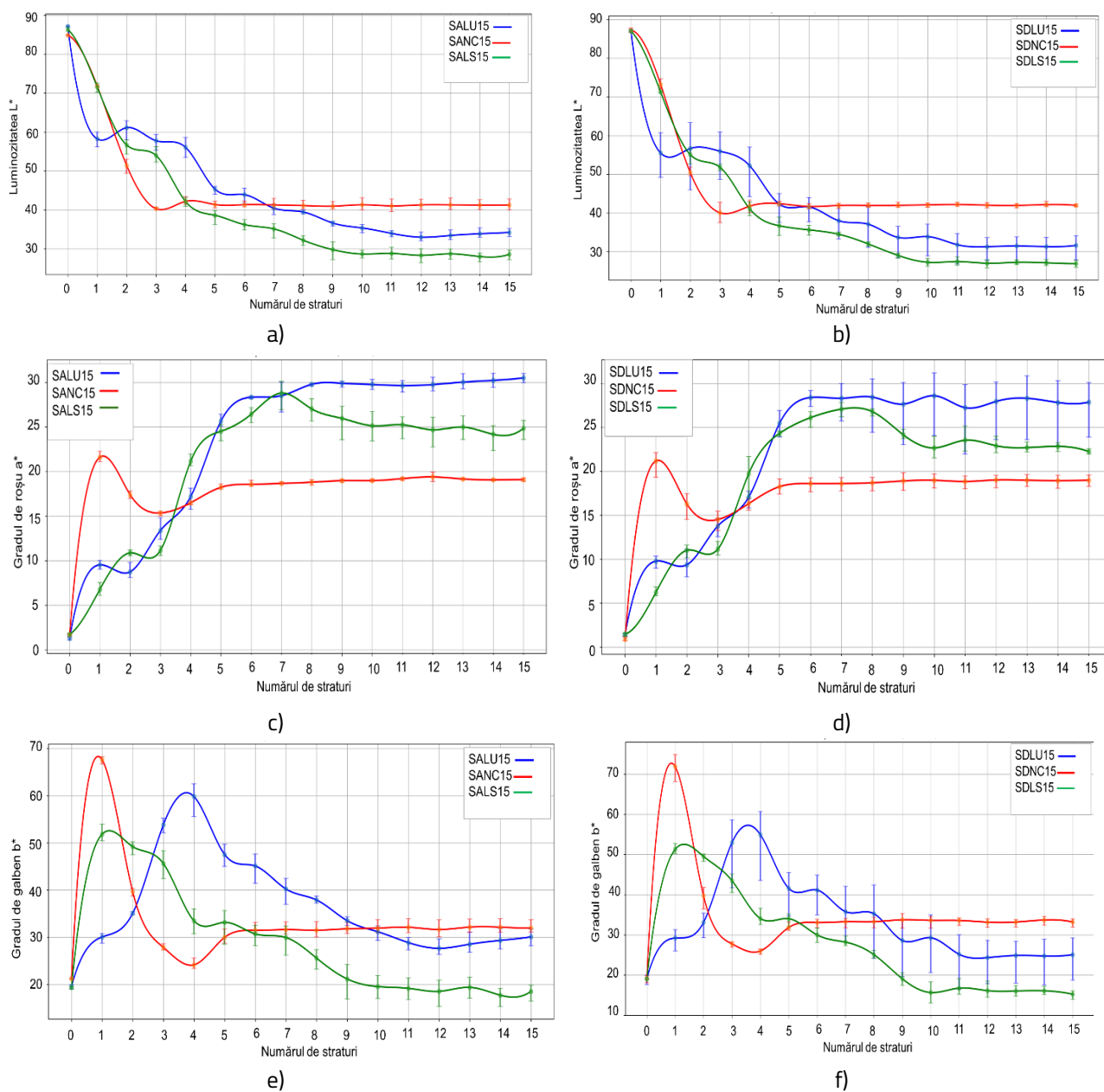


Figura 2.8. Modificări ale parametrilor de culoare: (a) luminozitate L^* pentru lemn de molid clasa A; (b) luminozitate L^* pentru lemn de molid clasa D; (c) roșu a^* pentru lemn de molid clasa A; (d) roșu a^* pentru lemn de molid clasa D; (e) gradul de galben b^* pentru lemn de molid clasa A; (f) gradul de galben b^* pentru lemn de molid clasa D. Legendă: SALU15, SDC15—lemn de molid clasa A/D, lăcuit cu lac pe bază de ulei, 15 straturi; SALS15, SDLS15—lemn de molid clasa A/D, lăcuit cu lac pe bază de alcool, 15 straturi; SANC15, SDNC15—lemn de molid clasa A/D, lăcuit cu lac nitrocelulozic, 15 straturi (Stanciu ș.a. 2025d)

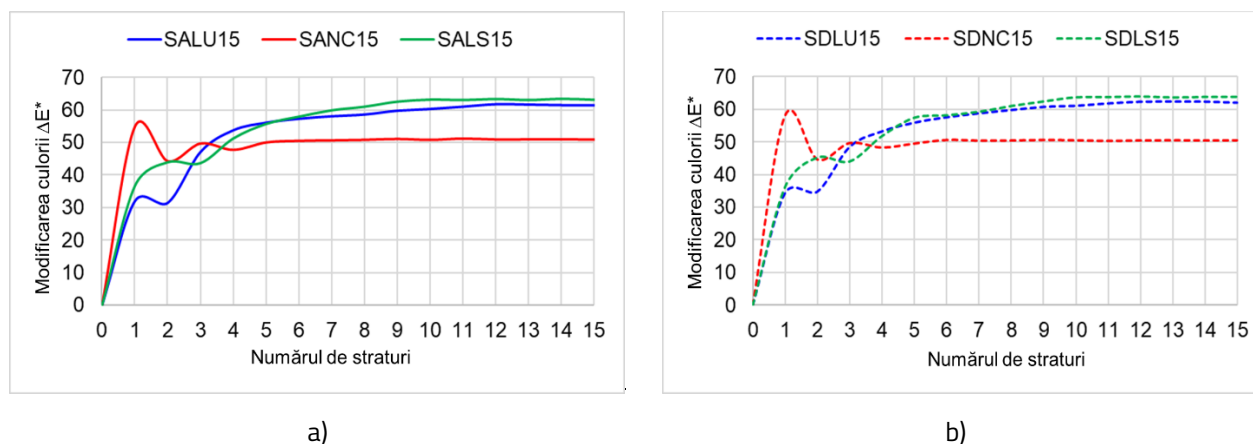


Figura 2.9. Variația diferenței de culoare ΔE^* : a) pentru molid clasa A; b) pentru molid clasa D (Stanciu ș.a. 2025d)

2.2.4. Morfologia suprafeței determinată prin metoda unghiului de contact

Evaluarea energiei superficiale a probelor de lemn a fost efectuată prin metoda unghiului de contact (CA – contact angle (în limba engleză)). Valoarea unghiului de contact θ depinde de trei factori: morfologia substratului exprimată prin tensiunea superficială dintre mediul solid și gaz τ_{SG} (mN/m); natura lichidului exprimată prin tensiunea superficială dintre lichid și gaz τ_{LG} (mN/m); natura interacțiunilor lichid-substrat exprimată prin tensiunea superficială dintre mediul solid-lichid τ_{SL} (mN/m) (Stanciu ș.a. 2018a,b, Stanciu ș.a. 2025c,d). Un lichid plasat pe o suprafață solidă, în absența forțelor gravitaționale, va lua forma corespunzătoare energiei minime a sistemului. Din punct de vedere al valorilor unghiului de contact, acesta poate lua valori între 0 și 180° (Stanciu ș.a. 2018a,b, Stanciu ș.a. 2025c,d). Dacă unghiul de contact $\theta < 90^\circ$ (suprafață polară), materialul este hidrofil (absoarbe lichidul), iar dacă $\theta > 90^\circ$ (suprafață dispersivă), materialul are un caracter hidrofob (nu absoarbe lichidul) (Figura 2. 10).

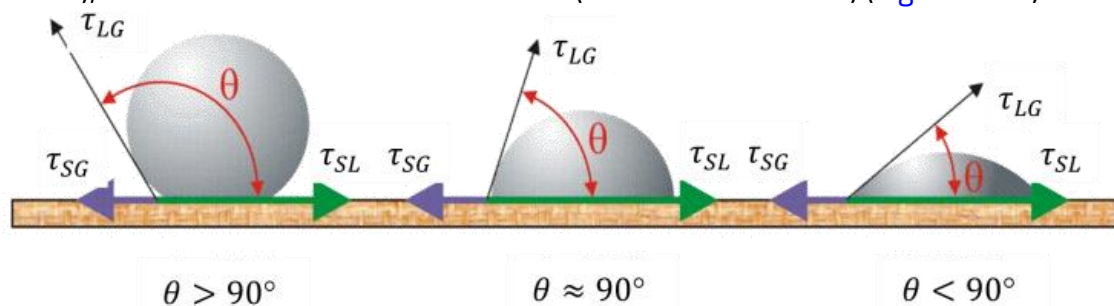


Figura 2. 10. Geometria picăturii pe suprafață și modul de determinare a energiei de suprafață (Stanciu ș.a. 2018a).

Unghiul de contact a fost determinat cu echipamentul System OCA-20 (Data Physics Instruments, Laboratorul L7 – Universitatea ICD Transilvania din Brașov), utilizând succesiv

apă distilată și glicerină pentru picătura cu un volum de 10 μL . Astfel, au fost măsurate valorile unghiului de contact pentru apă și pentru glicerină. Măsurătorile au fost efectuate la temperatura camerei și în condiții normale de umiditate ($T = 22.7^\circ\text{C}$ și $\text{RH} = 65\%$). Trei măsurători per probă au fost efectuate în aceleași zone prezentate în metodele anterioare (Figura 2. 2). Pe baza imaginilor înregistrate în fiecare secundă, studiile dinamice ale modificărilor unghiului de contact permit evaluarea capacității de absorbție/adsorbție a probelor. Tipul de interacțiune dintre acea suprafață și lichidul utilizat în analiză poate fi estimat din unghiul CA (Yin ș.a. (2022), Patera ș.a. (2013), Ding ș.a. (2025), He (2023)). Energia de suprafață este o mărime care caracterizează morfologia suprafeței, fiind la rândul ei responsabilă de capacitatea de a absorbi sau reflecta undele acustice. Măsurătorile au fost efectuate în aceleași puncte prezentate în Figura 2. 11, poziționate la 50, 100 și 150 mm de marginea probei.

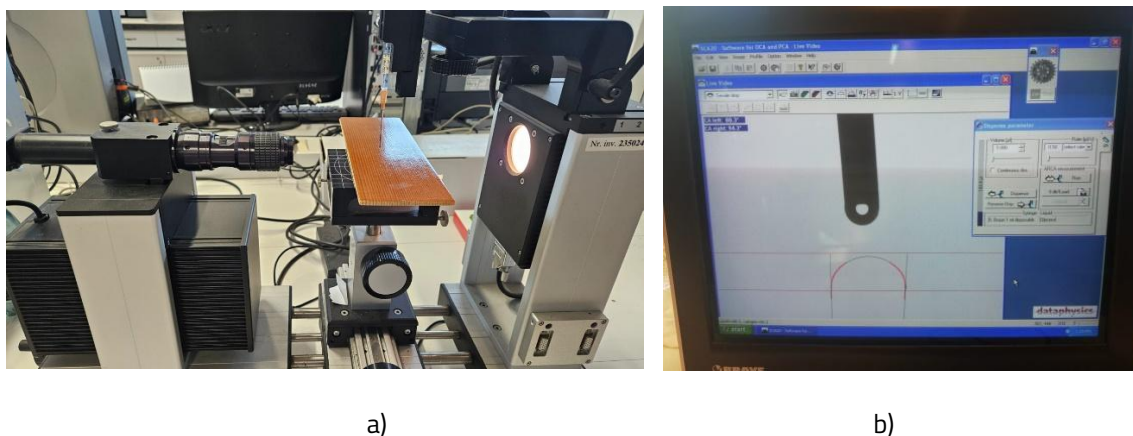
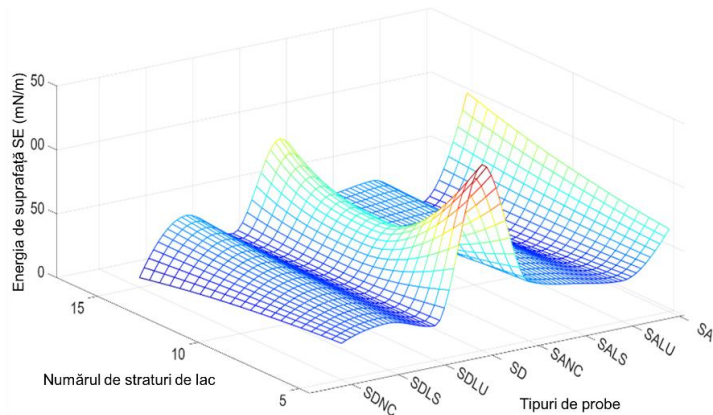


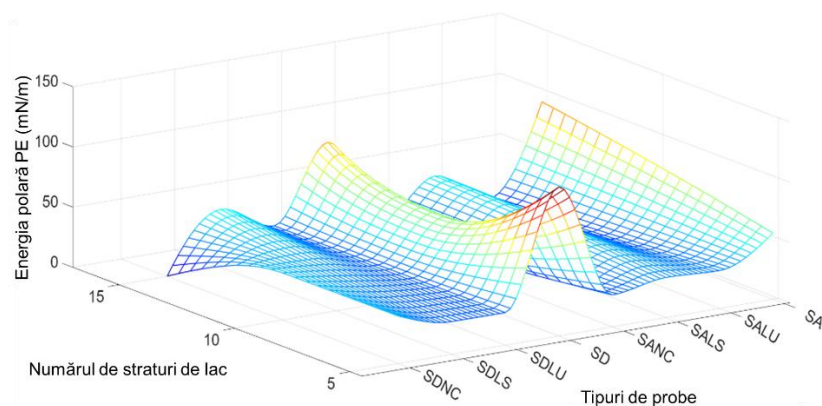
Figura 2. 11. Testarea probelor cu echipamentul System OCA-20: a) echipamentul de măsurare; b) capture de ecran din timpul înregistrărilor (Stanciu ș.a. 2025c)

În Figura 2. 12 sunt prezentate comparativ valorile medii ale energiei superficiale, ale componentei polare și ale componentei dispersive pentru cele trei tipuri de lacuri, aplicate cu grosimi diferite. Spre deosebire de probele lăcuite, probele de lemn de molid nelăcuite, notate SA (clasa A) și SD (clasa D), au un grad de cristalinitate mai mare, ceea ce duce la valori ridicate ale energiei superficiale, comparativ cu energia suprafețelor lăcuite (Figura 2. 12 a). Dintre cele trei tipuri de lacuri, cea mai hidrofobă suprafață lăcuită a fost cea cu lac pe bază de ulei, comparativ cu lacurile cu nitroceluloză și alcool. Energia superficială este mai mare pentru probele de lemn de gradul D, cu o proporție mai mare de lemn timpuriu. Analizând variația energiei superficiale doar între probele lăcuite, se constată că cea mai mică energie superficială este prezentată de lacul pe bază de ulei, cu aproximativ 30% mai mică decât cea a probelor

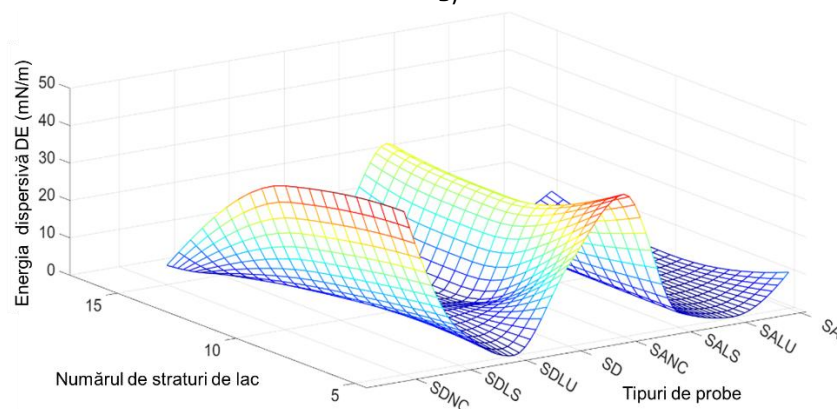
lăcuite NC și LS ([Figura 2. 12 a](#)). De asemenea, dispersia valorilor energiei superficiale a fost mai mare pentru lemnul nelăcuit datorită caracteristicilor anatomice diferite și eterogenității structurii lemnului în comparație cu probele acoperite cu pelicule de lac. Cele două componente ale energiei de suprafață (polară ([Figura 2. 12 \(b\)](#)) și dispersivă ([Figura 2. 12 \(c\)](#)) oferă informații despre polaritatea suprafeței. Astfel, lemnul nelăcuit prezintă o componentă polară mare, mai mare decât cea dispersivă, indicând o suprafață polară (hidrofilă). Acest comportament hidrofil se menține și pentru probele lăcuite, dar polaritatea suprafețelor a fost mai mică decât pentru lemnul nelăcuit, indiferent de grad. Odată cu creșterea grosimii peliculei de lăcuire, energia polară scade pentru lacurile NC și LU, în timp ce pentru probele lăcuite LS, polaritatea crește cu aproximativ 30%, rezultând o bună concordanță cu variația AML, care a înregistrat cea mai mare valoare pentru probele lăcuite LS, explicată prin natura sa polară și ponderea mare a interacțiunilor polare pe întreaga suprafață hidrofilă a lemnului gol. Componenta dispersivă prezentată în [Figura 2. 12c](#), a fost rezultatul forțelor fizice de dispersie, cea polară provine din interacțiuni mai puternice între particulele componente, interacțiuni chimice, dipol-dipol, ion-dipol. Cea mai mare valoare a energiei dispersivă este înregistrată pentru probele acoperite cu lac nitrocelulozic, cu 5 straturi și scade odată cu creșterea numărului de straturi. La polul opus, cele mai mici valori ale energiei dispersive sunt înregistrate de probele lăcuite cu lac pe bază de ulei. Clasa de calitate a lemnului acoperit cu lacuri nu produce modificări majore în ceea ce privește morfologia suprafețelor lăcuite, așa cum a fost evidențiat de [Gurău ș.a. 2023](#); [Yin ș.a. \(2022\)](#), [Patera ș.a. \(2013\)](#). Celulozele sunt responsabile în principal pentru energia disipativă, în timp ce matricea (lignina și hemicelulozele) este mai sensibilă la variațiile de umiditate și contribuie la viscoelasticitatea și umflarea lemnului, prin urmare prezintă o energie polară mai mare. Microfibrilele și matricea sunt legate prin legături de hidrogen și legături covalente încrucișate, care impun higroscopicitate și instabilitate dimensională materialului conform studiilor prezentate de [Odlyha ș.a. \(2022\)](#), [Han ș.a. \(2020\)](#), [Meiorin ș.a. \(2015\)](#), [Peng ș.a. \(2021\)](#), [Hang ș.a. \(2024\)](#).



a)



b)



c)

Figura 2. 12. Variația morfologiei suprafeței în funcție de: a) energia de suprafață; b) energia polară; c) energia dispersivă

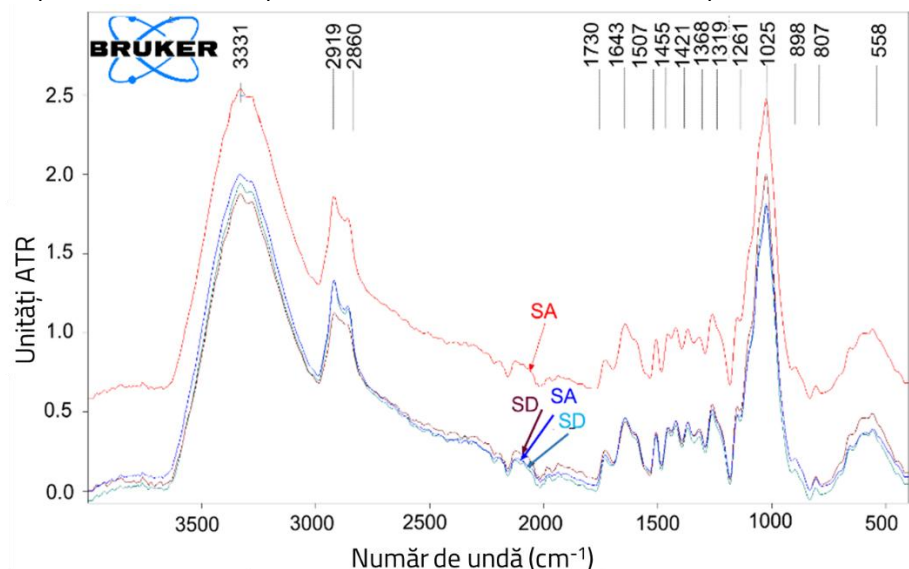
2.2.5. Spectroscopia FTIR aplicată pe probele lăcuite

Similar metodei prezentate în [Capitolul 1, secțiunea 1.2.3.](#), spectroscopia în infraroșu cu transformare Fourier (FTIR) a fost utilizată pentru a analiza și compara caracteristicile chimice ale suprafeței de lemn netratat și ale suprafețelor de lemn după acoperirea cu cele trei tipuri de lacuri, aplicate în 5, 10 și respectiv 15 straturi. Analiza FTIR a fost efectuată cu un spectrometru Alpha Bruker echipat cu o unitate de reflectanță totală atenuată (ATR). Spectrele FTIR au fost înregistrate în intervalul 4000–600 cm^{-1} , la o rezoluție de 4 cm^{-1} , 24 de scanări pe spectru și procesate cu software-ul OPUS 7.2 ([Liu ș.a. \(2022\)](#), [Gurău ș.a. \(2023\)](#), [Manzo ș.a. \(2021\)](#), [Stanciu ș.a. 2024a](#), [Stanciu ș.a. 2025a,c,e](#)).

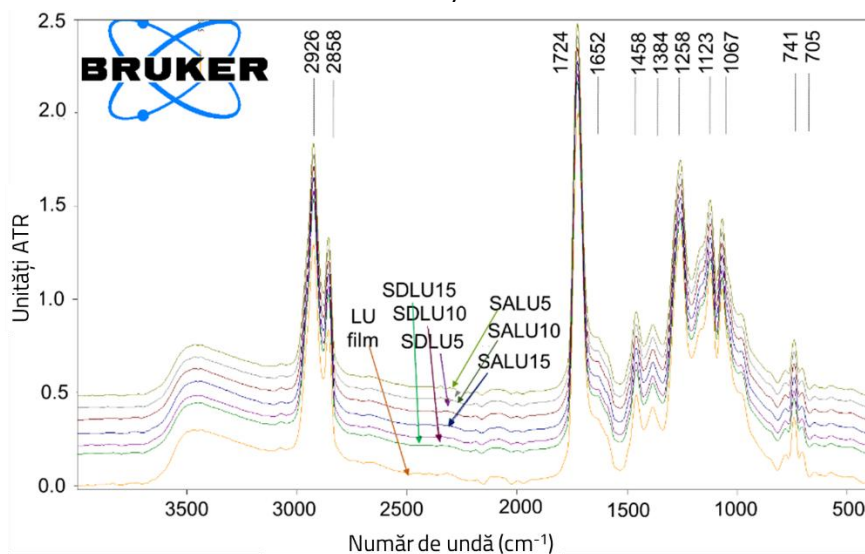
În [Figura 2. 13](#), sunt prezentate spectrele FTIR pentru probe de lemn de molid înainte de lăcuire ([Figura 2. 13 a](#)) și după lăcuire cu cele trei tipuri de lacuri, fiecare cu cele trei categorii de grosime a peliculei, rezultate din 5, 10 și 15 straturi de lac ([Figura 2. 13 \(b\), \(c\), \(d\)](#)). Fiecare tip de lac a fost, de asemenea, analizat ca peliculă întărită pe o lamă de sticlă pentru comparație.

Din analiza spectrelor prezentate, pentru toate tipurile de lacuri (LU, LS, NC) și toate tipurile de suporturi din lemn (SA, SD), s-a constatat că acestea sunt similare cu spectrele peliculelor de lac corespunzătoare. Acest rezultat denotă faptul că structura lemnului a fost complet acoperită și nu a mai fost vizibilă în spectrele FTIR, nici măcar în cazul celei mai subțiri finisări cu lac în 5 straturi. De exemplu, benzile de absorbție specifice legate de principalele componente ale lemnului, cum ar fi vibrația scheletică a ligninei (1507 cm^{-1}), alte benzi legate de lignină (regiunea $1600\text{--}1640\text{ cm}^{-1}$, 1261 cm^{-1}), vibrația de deformare C-H în celuloză și hemiceluloze (1368 cm^{-1}) și vibrațiile de întindere C-O în carbohidrați (1025 cm^{-1}) nu au fost deloc vizibile în spectrele probelor lăcuite. În același timp, absorbția grupărilor hidroxil ($3300\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$), prezente în cantități mari în toate componentele principale ale lemnului, a fost mult redusă, în timp ce întregul spectru din regiunea amprente digitale ($1750\text{--}600\text{ cm}^{-1}$) a fost complet modificat pentru probele lăcuite în comparație cu lemnul netratat. Grosimile mai mari ale peliculei (10, 15 straturi de lac) sau clase diferite de substrat (A, D) nu au adus nicio modificare în ceea ce privește chimia suprafeței, spectrele fiind practic identice pentru un anumit tip de lac, atât pentru lemnul de molid din clasa A, cât și din clasa D, și pentru toate grosimile peliculei. Pe de altă parte, spectrele celor trei tipuri de lacuri au fost semnificativ diferite datorită compoziției chimice și caracteristicilor structurale diferite. Este important de menționat că, chiar dacă o anumită caracteristică chimică (grup funcțional, tip de substructură, legătură) este comună mai multor compuși, spectrele FTIR vor fi diferite, cu deplasări ale absorbției respective, în funcție de întregul context structural chimic al fiecărui compus. Acest lucru este vizibil în special în regiunea amprente digitale a spectrelor FTIR. Comparativ cu lemnul nelăcuit, pentru lemnul lăcuit, cele mai pronunțate absorbții au fost banda dublă $2926\text{--}2858\text{ cm}^{-1}$, corespunzătoare grupărilor alifatice metilenice și metil (întindere C-H asimetrică și simetrică) și benzile de la 1724 cm^{-1} (LU), 1722 cm^{-1} (NC) și 1708 cm^{-1} (LS), toate atribuite grupărilor carbonil neconjugate fie în acizi carboxilici, aldehide esterice, fie în cetone. Aceste două caracteristici pot indica prezența compușilor cu lanțuri lungi de carbon alifatic și grupări carbonil, un bun indiciu pentru acoperirea materialelor cu structuri polimerice, având grupări carbonil neconjugate în structura lor chimică. Pentru probele lăcuite cu nitroceluloză, s-a evidențiat o bandă de absorbție ridicată la 1644 cm^{-1} , specifică grupării --NO_2 asociate cu o grupare metilenă - $\text{CH}_2\text{--}$ (îndoire) în nitroceluloză. Aceasta este diferită de absorbția moderată, neclară, la 1643 cm^{-1} , vizibilă în spectrele lemnului nelăcuit, asociată cu grupări carbonil conjugate și aromatice, care ar putea fi prezente în structura ligninei (Odlyha ș.a. (2022), Han ș.a. (2020), Meiorin ș.a. (2015), Peng ș.a. (2021), Hang ș.a. (2024)). În intervalul următor al spectrelor s-au observat vârfuri apropiate la 1271 cm^{-1} (NC), 1258 cm^{-1} (LU), 1242 cm^{-1} (LS), pentru cele trei tipuri de lacuri, care pot fi asociate cu caracteristici structurale

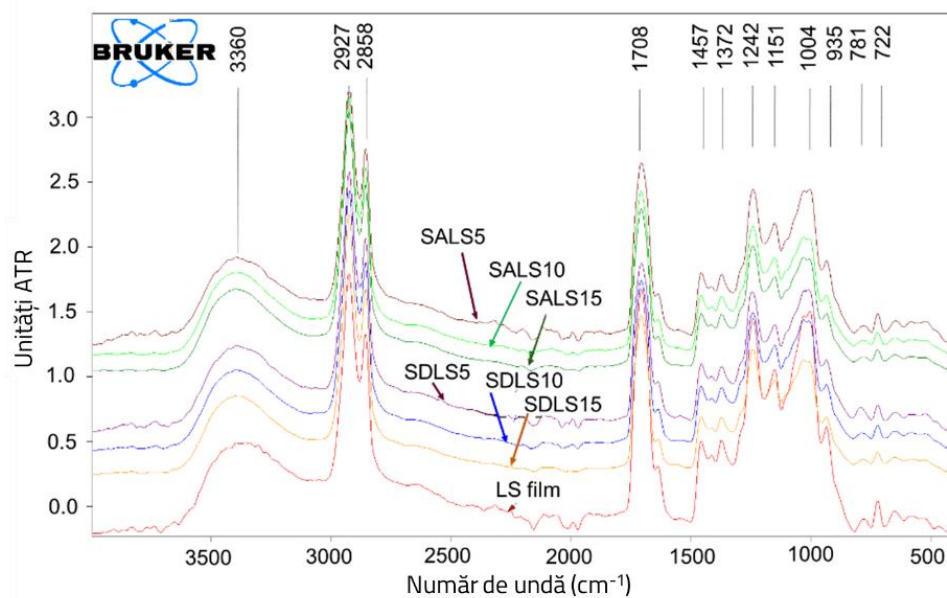
specifice ale acestor materiale, după cum urmează: întindere simetrică a --NO_2 (vibrație de valență) pentru probele lăcuite cu lac nitrocelulozic, C--O--C (întindere) a grupărilor oxiran pentru lacul pe bază de ulei, respectiv O--H (îndoire), C--O (întindere) în grupările hidroxil --OH și carboxil --COOH și grupările esterice, pentru lacul alcoolic LS. Dacă în lemnul nelăcuit, vârful de 1025 cm^{-1} , atribuit vibrației C--O în eteri și alcooli, este asociat celulozei și hemicelulozei, pentru probele lăcuite s-au observat vibrații similare la numere de undă ușor diferite: 1004 cm^{-1} (LS) evidențiind C--O (întindere) în alcooli, legături eterice, acetali, 1065 cm^{-1} (NC) evidențiind C--O (întindere) în inelul piranozic din nitroceluloză și 1067 cm^{-1} (LU) C--O (întindere) în alcoolii primari, evidențiind particularitățile structurii chimice a fiecărei rășini peliculogene.



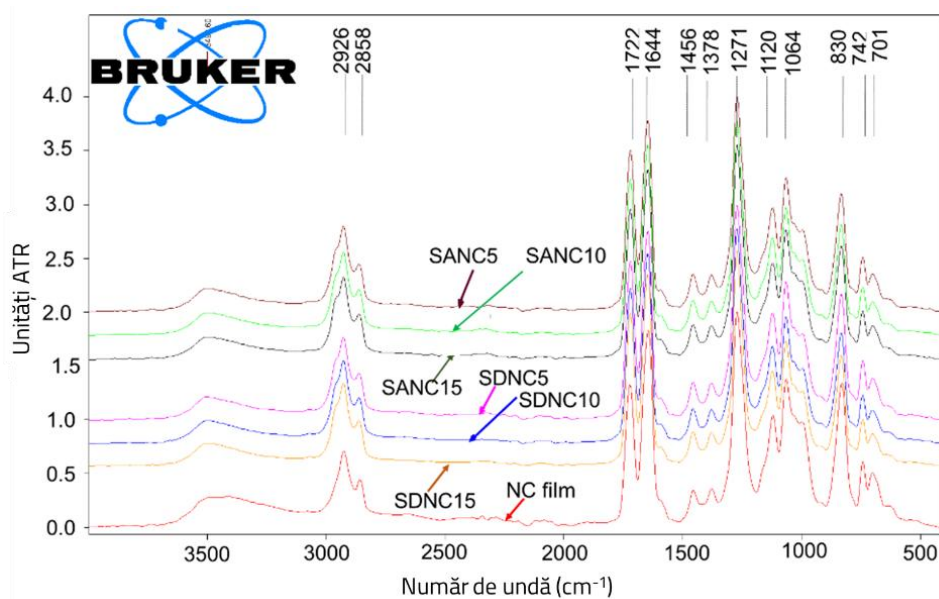
a)



b)



c)



d)

Figura 2. 13. Spectrul FTIR: a) probe nelăcuite – lemn de molid (SA – molid gradul A, SD – molid gradul D); b) probe de lemn cu lac pe bază de ulei; c) probe cu lac alcool; d) probe cu lac nitrocelulozic (Stanciu ș.a. 2025d)

2.2.6. Corelații între parametrii fizici studiați

Pentru identificarea corelațiilor dintre parametrii fizici studiați, s-a realizat o analiză statistică în care au fost introduși următorii parametrii: tipul substratului de lemn (notat SS); tipul de lac (TV); numărul de straturi de lac (NL); consumul de lac (AML); parametrii de culoare înainte de lăcuire (luminozitate notată LBV; grad de roșu aBV; grad de galben bBV) și după lăcuire

(luminozitate notată LAV; grad de roșu aAV; grad de galben bAV), diferența de culoare (DE), energia de suprafață (SE); componenta polară (PC) și componenta dispersivă (DC). În prima etapă, a fost determinată influența celor trei tipuri de factori (clasa de calitate a lemnului, tipul de lac și numărul de straturi) asupra proprietăților fizice și morfologice determinate, rezultatele fiind centralizate în [Tabelul 2. 5](#). Cu excepția unor parametri de culoare (LBF, bBV, aAV și dE), majoritatea variabilelor prezintă un nivel ridicat de variabilitate (coeficienți de variație de 20-139%), ceea ce implică existența unor surse pentru această variabilitate. PC și DC sunt proprietățile cu cea mai mare dispersie a valorilor în jurul mediei ([Tabelul 2. 5](#)). Niciuna dintre variabile nu are o distribuție normală, așadar s-a urmat cursul statisticilor neparametrice ([Tabelul 2. 5](#)). Consumul de lac pe suprafață (AML), culoarea lemnului după lăcuire, componenta dispersivă (DC) și energia de suprafață (SE) nu sunt influențate de tipul de material lemnos (clasa A sau D). Culoarea înainte de lăcuire a variat în funcție de tipul de lemn. Energia polară (PC) depinde, de asemenea, semnificativ de tipul de lemn. Energia polară este singura proprietate care nu este influențată de tipul de lac utilizat ([Tabelul 2. 5](#)).

Tabelul 2. 5. Surse de variație ale proprietăților probelor studiate ([Stanciu ș.a. 2025d](#))

Proprietăți (variabile)	Media	Deviația standard	Normalitatea*	Semnificația diferențelor dintre		
				SS **	TV ***	NL ***
AML	0.126	0.05	NO	0.6800	<0.001	<0.001
LBF	84.903	2.63	NO	0.0020	-	
aBF	2.492	1.42	NO	0.0300	-	
bBV	21.151	3.01	NO	0.0010		
LAV	40.039	8.11	NO	0.5000	<0.001	<0.001
aAV	23.946	3.93	NO	0.3700	<0.001	<0.001
bAV	34.691	9.90	NO	0.6500	<0.001	<0.001
DE	52.752	9.04	NO	0.1900	<0.001	<0.001
SE	51.263	39.38	NO	0.6800	<0.001	0.87
PC	35.075	35.96	NO	0.0200	0.28	0.13
DC	16.234	22.63	NO	0.1300	<0.001	0.4

* Ipoteza normalității distribuției variabilelor a fost verificată cu testul Shapiro Wilk: DA - ipoteza normalității nu poate fi respinsă/NU - ipoteza normalității nu poate fi acceptată

** p din testul Mann-Whitney U

*** p din testul Kruskal-Wallis.

Matricea de comparații multiple asociată testului de semnificație neparametrică arată că diferențele de culoare înainte și după lăcuire sunt semnificative doar pentru lacul nitrocelulozic ($p < 0.001$, respectiv $p=0.26$ pentru celelalte lacuri). De asemenea, diferențele energiei de suprafață (SE) se datorează tipurilor de lacuri (cu precădere solvenților) LU și NC ($p < 0.03$), iar diferențele de magnitudine a compnentei dispersive (DC) se datorează doar lacului LU ($p <$

0,001). Printre proprietățile studiate, numărul de straturi de lac (NL) își lasă amprenta doar asupra consumului de lac (AML) și a culorii lemnului după lăcuire (Tabelul 2. 5). În schimb, energia de suprafață și componentele acesteia nu au nicio relație cu numărul de straturi de lac aplicate. Modificarea gradului de roșu a culorii apare doar la 5 straturi de lac, așa cum arată matricea de comparații multiple atașată testului Kruskal-Wallis. Însă diferențele generale de culoare (ΔE^*) se modifică la fiecare strat de lac. Cu Analiza Componentelor Principale (PCA) prezentată în Figura 2.14, au fost extrase cinci componente principale, primele două explicând împreună 62% din varianța totală. Prima componentă principală, care explică 44% din varianța totală, este orientată în direcția diferenței de culoare (ΔE^*) (încărcări factoriale = -0.99), care variază în tandem cu luminozitatea culorii înainte de lăcuire. Deci, cu cât lemnul este mai deschis la culoare, cu atât efectul lăcuirii asupra culorii este mai pronunțat. A doua componentă este explicată parțial de tipul de lac (încărcări factoriale = +0.63), care variază în tandem cu DC și SE. Tipul de substrat este o variabilă neinfluențială. Din PCA a rezultat că doar tipul de lac și numărul de straturi de lac pot fi considerate surse de variație pentru proprietățile analizate.

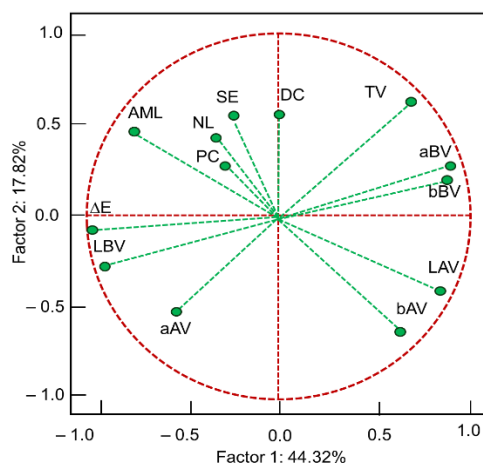


Figura 2. 14. Analiza Componentelor Principale (PCA) –proiecția variabilelor în planul factorilor 1x2 (Stanciu ș.a. 2025d)

2.2.7. Concluzii

Studiul prezintă modificările de suprafață în ceea ce privește culoarea, morfologia și amprenta chimică a lemnului de molid lăcuit cu trei tipuri de lacuri (polimerice și solvent alcoolic). Cercetările au evidențiat următoarele aspecte:

- Parametrii de culoare depind de tipul de lac și de grosimea peliculei de lac; cele mai mari modificări de roșeață și îngălbenire se înregistrează la aplicarea celor 5 straturi care conțin pigmenții coloranți.
- Cea mai rapidă stabilizare a parametrilor de culoare a fost observată cu lacul nitrocelulozic.

- Lemnul de molid cu inele anuale largi și o proporție mai mare de lemn timpuriu (clasa de calitate D) are o energie de suprafață cu 25% mai mare comparativ cu lemnul de molid cu inele anuale înguste (clasa A).
- Pelicula de lac modifică energia de suprafață a lemnului, reducând-o cu aproximativ 50% față de lemnul nelăcuit, cele mai mici valori fiind înregistrate pentru lacul pe bază de ulei.
- Energia polară și dispersivă depind de solventul de lac și de numărul de straturi aplicate.
- Pelicula de lac modifică benzile de absorbție FTIR, acoperind complet lemnul, ducând la formarea unui nou material stratificat, interfață lemn-lemn-lac - peliculă de lac.

Rezultatele acestor cercetări au fost publicate astfel:

- în 2 articole indexate ISI:

Stanciu, M.D.; Timar, M.C.; Mihalca, M.; Cosnita, M.; Dinulică, F. Comparisons of the Effects of Polymer and Alcohol Varnishes on Norway Spruce Wood Surface Modifications. *Polymers* **2025**, *17*, 2131. <https://doi.org/10.3390/polym17152131>.

Stanciu, M.D.; Cosnita, M.; Gliga, G.V.; Gurau, L.; Timar, C.M.; Guiman, M.V.; Năstac, S.M.; Roșca, I.C.; Bucur, V.; Dinulică, F. Tunable Acoustic Properties Using Different Coating Systems on Resonance Spruce Wood. *Adv. Mat. Interfaces* **2024**, *1*, 2300781, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/admi.202300781>

Faktorová, D.; **Stanciu, M.D.;** Krbata, M.; Savin, A.; Kohutiar, M.; Chlada, M.; Năstac, S.M. Analysis of the Anisotropy of Sound Propagation Velocity in Thin Wooden Plates Using Lamb Waves. *Polymers* **2024**, *16*, 753. <https://doi.org/10.3390/polym16060753>

- în 3 capitole de carte recunoscute internațional:

Stanciu, M.D., Coșniță, M., Coșoreanu, C., Guiman, M.V., Năstac, S.M., Roșca, I.C. (2025). Effects of Violin Varnish on Some Physical, Mechanical and Acoustical Properties of Resonance Spruce and Curly Maple Samples. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) *Interdisciplinary Approach to the Violin*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_6

Guiman, M.V., **Stanciu, M.D.,** Nastac, S.M., Gliga, V.G., Savin, A. (2024). Free Vibration Analysis of Orthotropic Thin Rectangular Plates. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_5

Stanciu M.D. (Invited Speaker) Multiscale Assessment of Strings Musical Instruments, The 18th International Conference INTER-ENG 2024 Interdisciplinarity in Engineering, 3 - 4 October 2024, Târgu Mureș, Romania, <https://inter-eng.umfst.ro/2024/>

- Raport tehnic/2024 al proiectului: Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope cu interfețe modificate - ACADIA, contract nr. PCE61/2022.

2.3. Cercetari privind efectele diferitelor tipuri de finisaje asupra proprietăților dinamice și acustice ale lemnului de rezonanță

Este cert că studiile de până acum nu au reușit să clarifice dacă lacurile contribuie la îmbunătățirea acusticii instrumentelor muzicale sau produc o degradare a sonorității, clarității și strălucirii sunetelor. Cercetările au arătat că, indiferent de îmbunătățirea sau deteriorarea sunetului, proprietățile lacurilor se schimbă în timp, fără a se ști cu certitudine care va fi calitatea finală a sunetului. Majoritatea studiilor asupra lemnului de molid rezonant s-au concentrat pe analiza proprietăților sale acustice din perspectiva vitezelor de propagare a sunetului în cele trei direcții principale, a factorului de calitate, a coeficientului de amortizare, a frecvențelor de rezonanță și a radiației acustice (Bucur & Archer (1984), Bucur (2006)). Lemnul de esență moale utilizat în plăcile de suprafață pentru vioară prezintă un nivel ridicat de performanță acustică, caracterizat prin viteze mari de propagare a sunetului în direcție longitudinală (în jur de 5500 m/s), module de elasticitate ridicate (aprox. 14-15 GPa), radiație acustică puternică și conversie eficientă a energiei acustice (Bucur & Archer (1984), Bucur (2006)). Lemnul de molid rezonant prezintă, de asemenea, o impedanță acustică moderată, densitate moderată spre scăzută, amortizare scăzută și anizotropie ridicată - ceea ce înseamnă o variație semnificativă a proprietăților în funcție de direcție (Cao ș.a. (2018) Woodhouse (1993), Eun-Suk & Chun-Won (2021), Sedighi Gilani ș.a. (2016)). Cu toate acestea, fenomenele acustice și vibraționale din lemnul de vioară sunt complexe, deoarece energia sonoră este transformată în energie absorbită, reflectată și transmisă [Viala ș.a. (2020), Spycher ș.a. (2008), Schelleng, J.C. (1968), Schleske (2002)]. În consecință, structura anatomică a lemnului are un rol crucial în acustica instrumentului muzical, așa cum s-a demonstrat în numeroase studii (Obataya (2001), Lämmlein ș.a. (2017), (2020a), (2020b)). În plus, sistemul lemn-lac influențează semnificativ transmiterea energiei acustice. Acest sistem formează două medii distincte prin care se propagă sunetul, tipul de lac fiind un factor definitoriu. Din perspectiva structurii materialelor, timbrul unei viori rezultă dintr-un sistem stratificat compus din lemn (substrat), interfața lemn-lac și pelicula de lac (acoperire) Schelleng (1968), Schleske (2002), Lämmlein ș.a. (2017), (2020a), (2020b). În timp ce interiorul corpului viorii rămâne nelăcuit, exteriorul este complet acoperit cu lac, ceea ce duce la diferite fenomene de absorbție și reflexie la interfețele dintre lemnul lăcuit și aerul exterior și dintre lemnul nelăcuit și aerul din interiorul rezonatorului. Studiile au arătat că absorbția energiei sonore în lemn este însoțită de fenomene mecanice, acustice și termice. Din punct de vedere structural, numărul de pori (cavități, canale și interstii), dimensiunile acestora, interconexiunile și interfața dintre

suprafețele externe și porii interni sunt caracteristici cheie care afectează absorbția, reflexia și transmiterea energiei acustice. Aceste aspecte au fost în centrul a numeroase studii (Ono (1993), Woodhouse (1998), Chung (2000), Gough (2007), Bissinger (2008), Skrodzka ș.a. (2013), Ali Ahmed & Adamopoulos, (2018). Guan (2017), Yin&Guan (2024) au subliniat influența parametrilor structurali asupra performanței de absorbție a sunetului, în funcție de poziționarea straturilor cu proprietăți elastice și poroase variabile în raport cu energia acustică incidentă. Figura 2. 15 ilustrează modul în care energia acustică incidentă (E_i) este reflectată (E_r), absorbită (E_{a1} , E_{a2}) și transmisă (E_{t1} , E_{t2} , E_{t3}) prin mediile pe care le întâlnește - și anume pelicula de lac (1) și lemnul (2), care împreună formează un sistem stratificat cu proprietăți materiale distincte. Relația dintre proprietățile acustice ale lemnului rezonant și diferitele tipuri de lacuri aplicate a fost analizată din perspective fizice, elastice, morfologice și chimice, așa cum s-a evidențiat în studiile (Harris (2007), Xu ș.a. (2020), Yin&Guan (2024), Guiman ș.a. (2024a), Stanciu ș.a. 2025a,b). Cu toate acestea, s-a constatat că literatura existentă este limitată în ceea ce privește cercetarea efectelor acoperirilor - în special tipul și grosimea - asupra coeficienților de absorbție a sunetului materialelor din lemn masiv, cum ar fi plăcile de rezonanță pentru vioară. Studiile anterioare s-au concentrat pe caracterizarea morfologiei suprafețelor lemnului rezonant, atât nelăcuite, cât și lăcuite, precum și pe determinarea coeficienților de absorbție și reflexie acustică pentru materialele acoperite cu lacuri pe bază de ulei și alcool. Coeficientul de absorbție acustică indică capacitatea materialului de a absorbi undele sonore pe diferite frecvențe. În schimb, reflexia undelor sonore se referă la fenomenul în care undele se întorc în mediul din care au provenit la întâlnirea unei limite cu un alt mediu de densitate diferită. Pentru a caracteriza acest fenomen de reflexie, se introduce și se determină empiric o cantitate cunoscută sub numele de coeficient de reflexie - sau factor de reflexie acustică. Coeficientul de reflexie este definit ca raportul dintre amplitudinea unei reflectate și amplitudinea unei incidente.

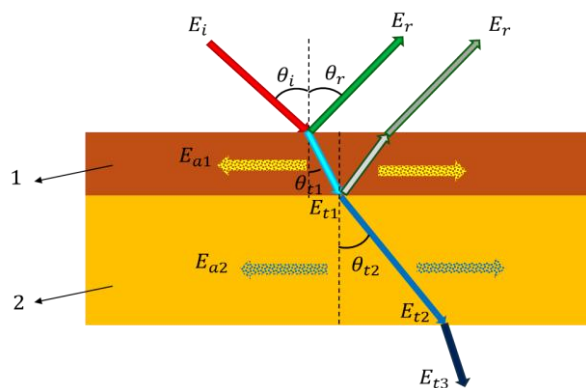


Figura 2. 15. Modul de propagare a unei sonore incidente într-un material stratificat având proprietăți elastice și de absorbție diferite (Stanciu ș.a. 2025e)

2.3.1. Analiza modală a plăcilor din lemn de molid nelăcuite și lăcuite

Proprietățile dinamice ale diferitelor materiale sunt studiate prin analiza modală experimentală, care permite identificarea parametrilor modali (frecvența naturală, modul natural, masa modală și amortizarea modală) (Guan ș.a. 2017; Stanciu ș.a. 2019). Pentru o placă ortotropă dreptunghiulară subțire, cum ar fi probele prezentate în Figura 2. 2, din lemn de molid, acoperite cu diferite sisteme de lac, neglijând efectele deformării la forfecare și ale inerției de rotație, ecuația diferențială care o guvernează pentru vibrația transversală poate fi exprimată prin ecuația (2.3 – 2.7):

$$D_L \frac{\partial^4 \omega}{\partial L^4} + D_R \frac{\partial^4 \omega}{\partial R^4} + 2(D_1 + 2D_{LR}) \left(\frac{\partial^4 \omega}{\partial L^2 \partial R^2} \right) + \rho h \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} = 0, \quad (2.3)$$

$$D_L = \frac{E_L h^3}{12(1-\vartheta_{LR}\vartheta_{RL})}, \quad (2.4)$$

$$D_R = \frac{E_R h^3}{12(1-\vartheta_{LR}\vartheta_{RL})}, \quad (2.5)$$

$$D_1 = D_L \vartheta_{RL} = D_R \vartheta_{LR} \quad (2.6)$$

$$D_{LR} = \frac{G_{LR} h^3}{12} \quad (2.7)$$

Unde D_L și D_R sunt rigiditățile la încovoiere de-a lungul direcțiilor longitudinale (L) și radiale (R) ale plăcii de lemn, D_1 este rigiditatea echivalentă; D_{LR} este rigiditatea torsională; ρ este densitatea de masă a plăcii; h este grosimea plăcii; ϑ_{LR} , ϑ_{RL} sunt rapoartele Poisson; iar E_L , E_R și G_{LR} sunt elasticitatea de-a lungul direcțiilor longitudinale și radiale și, respectiv, modulul de forfecare în plan (Stanciu ș.a. 2019).

Răspunsul dinamic al plăcii depinde de condițiile limită. Câteva condiții limită comune sunt: în cazul plăcii cu margine liberă, în cazul plăcii simplu rezemate pe elemente elastice; cazul unei plăci încastrate. În cercetările realizate pe parcurs, s-a abordat cazul plăcilor simplu rezemate pe elemente elastice (Figura 2. 16). Analiza modală experimentală a plăcilor de lemn de molid (1) înainte de lăcuire (codificate SA și SD) și după finisare (codificate SALU, SDLU, SALS, SDLS, SANC, SDNC) a constatat în excitarea acestora cu ciocanul de impact tip B&K 8204 (4) (Stanciu ș.a. 2022b, 2024a). Fiecare placă a fost susținută de elemente elastice (2), simulând astfel un sistem cu structură liberă (Figura 2. 16). Pentru suporturile elastice (2) ale plăcilor s-a folosit un cadru rigid, cu o grindă în consolă (3). Semnalul rezultat a fost recepționat prin intermediul

a trei accelerometre tip B&K 4517–002 (5). Semnalele generate de accelerometrele R1, R2, R3 au fost transmise printr-un condiționare de semnal către o placă de achiziție dinamică de date NI USB-9233 (6) fabricată de National Instruments (Austin, SUA) și conectate la un laptop (7). Semnalul a fost procesat folosind o aplicație dezvoltată în software-ul MatLab®. Pentru a obține valorile frecvențelor fundamentale și factorul de amortizare, toate semnalele de la accelerometrele R1, R2, R3 au fost procesate grafic, rezultând analiza în timp și frecvență.

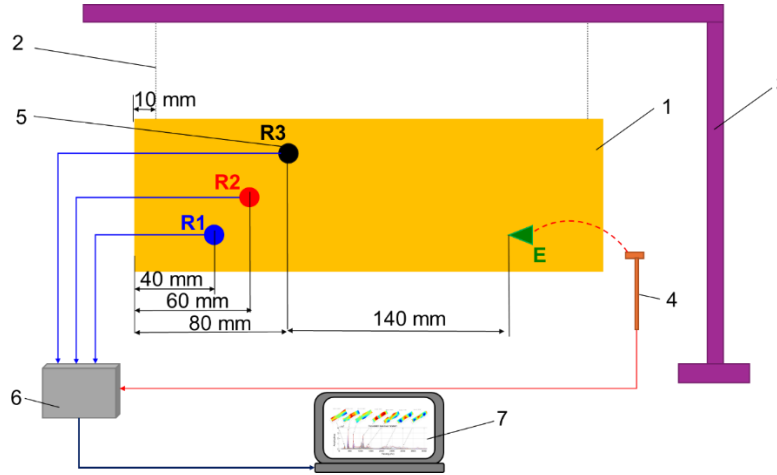


Figura 2. 16. Configurația experimentală pentru analiza modală (Legendă: 1 – probă; 2 – suporturi elastice; 3 – cadru rigid al băncii experimentale; 4 – ciocan de impact (aplicat în punct, notat E); 5 – accelerometre (notate cu semnalul R1, semnalul R2, semnalul R3); 6 - placă de achiziție dinamică de date; 7 – laptop) (Stanciu ș.a. 2025e)

Testele au fost efectuate în laborator, în condiții controlate de temperatură (22 ± 2 C) și umiditate relativă a aerului ($55 \pm 5\%$). Din analiza frecvenței s-a determinat decrementul logaritm $\tan \delta$ (adimensional), care reprezintă frecarea internă manifestată prin pierderea de energie mecanică în procesul de propagare a vibrațiilor, cunoscând frecvența de rezonanță f_r și amplitudinea acesteia, așa cum se poate observa în Figura 2. 17. Astfel, pentru fiecare frecvență de rezonanță din spectrul de frecvență, s-au determinat cele două f_{r1} f_{r2} extrase la 0.707 din magnitudinea fiecărei frecvențe de rezonanță, așa cum se vede în Figura 2. 17, după care valorile au fost introduse în relația decrementului logaritm (2.8). Factorul de calitate Q a fost calculat cu relația (2.9) (Stanciu ș.a. 2022a,b, 2025e, Zhou ș.a (2024).

$$\tan \delta = \frac{(f_{r2} - f_{r1})}{f_r}, \quad (2.8)$$

$$Q = \frac{1}{\tan \delta} \quad (2.9)$$

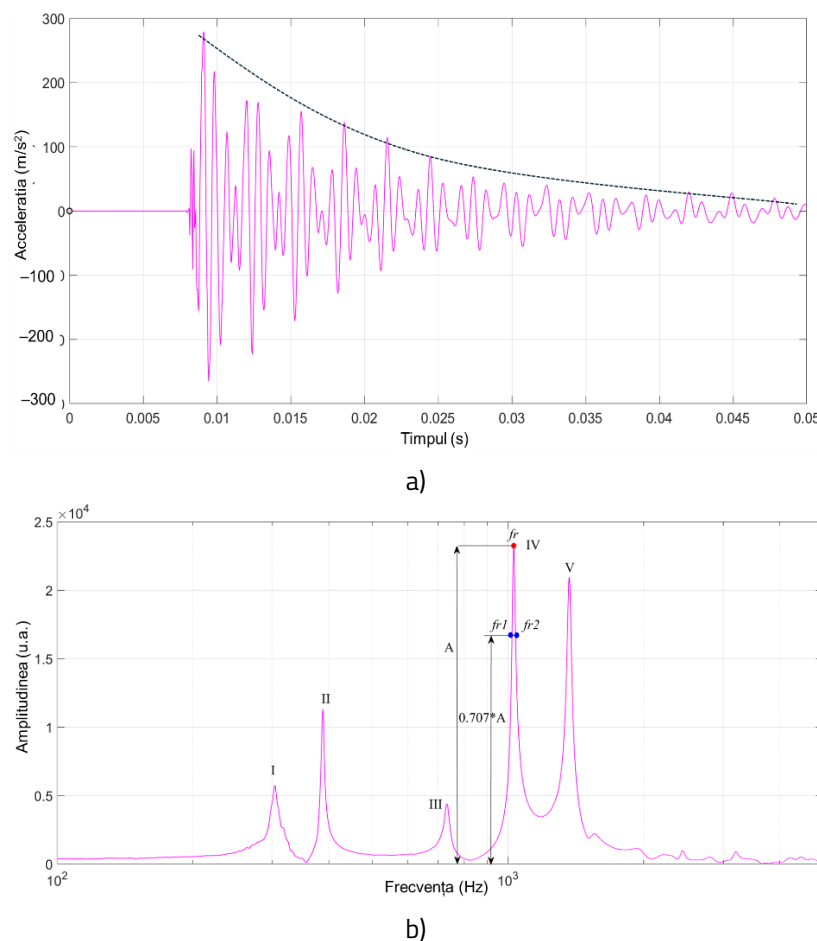


Figura 2. 17. Schema metodei de extragere a mărimilor pentru calcularea decrementului logarithmic și a factorului de calitate: (a) analiza în domeniul timpului; (b) spectrul de frecvență (I, II, III, IV, V – frecvența de rezonanță (f_r), frecvențele f_{r1} și f_{r2} , extrase la 0.707 din magnitudine) (Stanciu ș.a. 2025e)

Spectrul frecvențelor de rezonanță

Frecvențele naturale ale plăcilor testate depind de structura anatomică asociată cu gradul lor de calitate, precum și de tipul și grosimea lacului. Figura 2. 18 prezintă selectiv spectrele de frecvență atât ale plăcilor nelăcuite, cât și ale plăcilor lăcuite cu câte cinci straturi din fiecare categorie de lac și clasă anatomică. Frecvența fundamentală este definită ca prima frecvență din spectru. Pentru plăcile nelăcuite (Figura 2. 18 a, b), frecvența fundamentală corespunde și frecvenței dominante. În schimb, pentru plăcile lăcuite, frecvența dominantă corespunde adesea unei armonice de ordin superior din spectrul de frecvență. Toate vârfurile care reprezintă frecvențe de rezonanță - asociate cu diferite moduri de vibrație - au fost extrase pentru fiecare placă testată. Valorile acestor frecvențe, clasificate pe intervale, sunt afișate în graficele prezentate în Figura 2. 19.

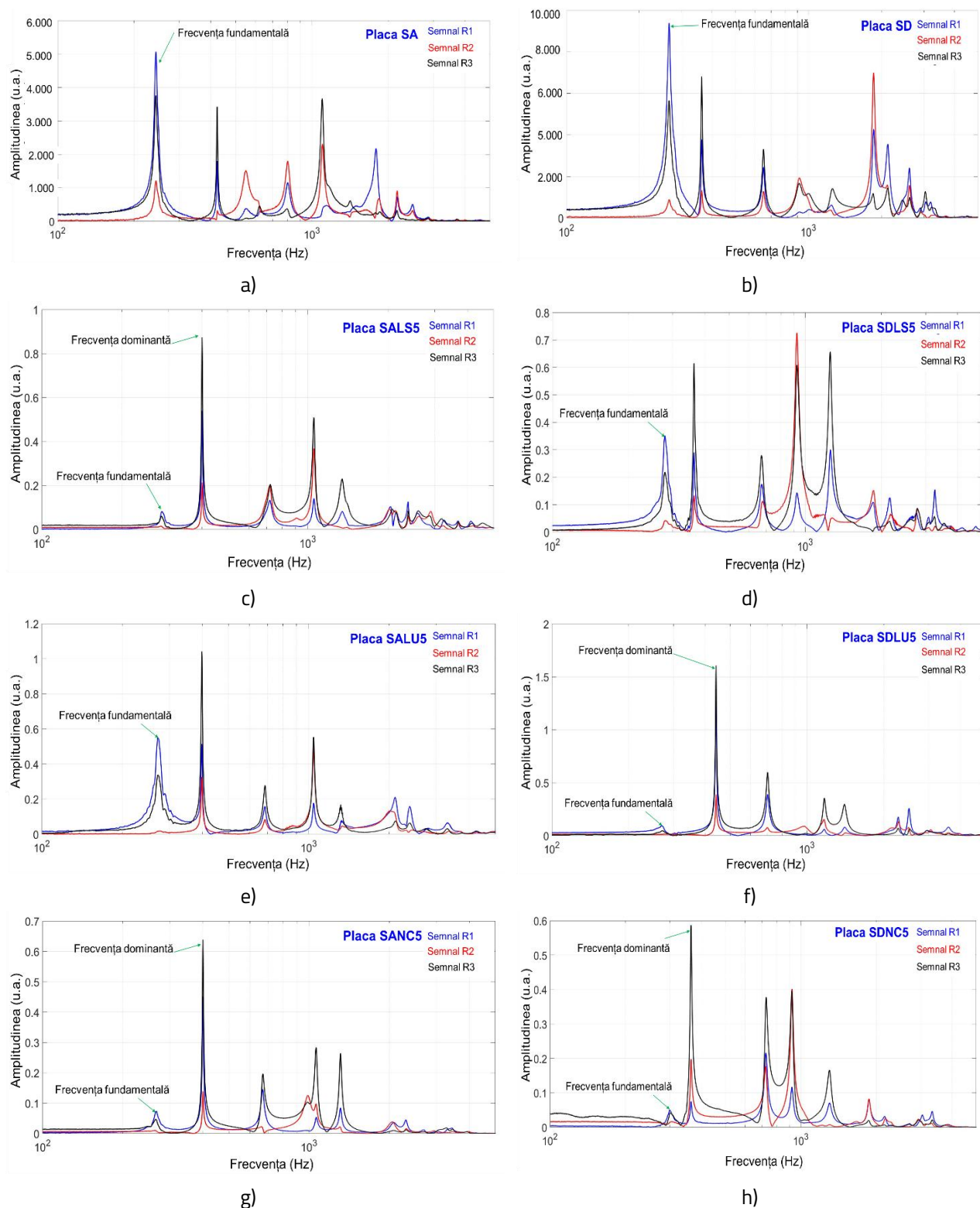


Figura 2. 18. Spectrul de frecvență al plăcilor testate: a) placă nelăcuită, clasa A; b) placă nelăcuită, clasa D; c) placă cu lac alcool, clasa A; d) placă cu lac alcool, clasa D; e) placă cu lăcuire pe bază de ulei, clasa A; f) placă cu lăcuire pe bază de ulei, clasa D; g) placă cu lăcuire nitrocelulozică, clasa A; h) placă cu lăcuire nitrocelulozică, clasa D (Stanciu ș.a. 2025e)

a)

b)

c)

d)

e)

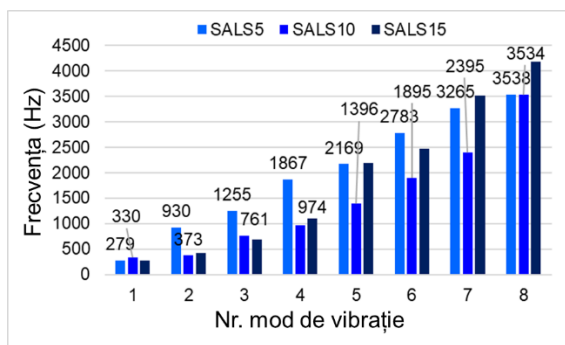
f)

gg)

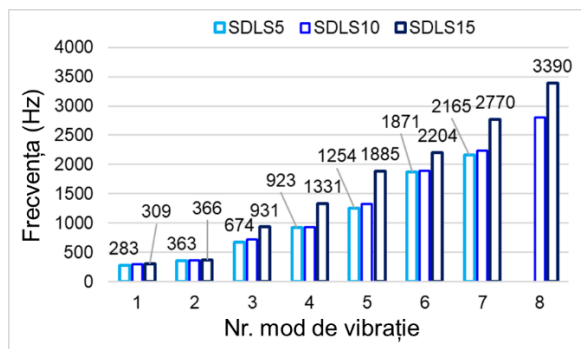
Figura 2. 19. Valorile frecvențelor de rezonanță ale plăcilor studiate: a) prima frecvență de rezonanță de la 240 la 350 Hz; b) a doua frecvență de rezonanță de la 350 la 450 Hz; c) a treia frecvență de rezonanță de la 610 la 760 Hz; d) a patra frecvență de rezonanță de la 920 la 1120 Hz; e) a cincea frecvență de rezonanță de la 1150 la 1400 Hz; f) a șasea frecvență de rezonanță de la 1400 la 2058 Hz; g) a șaptea frecvență de rezonanță de la 2090 la 2600 Hz ([Stanciu s.a. 2025e](#))

Figura 2. 19 ilustrează principalele intervale de frecvență de rezonanță în raport cu modurile vibraționale caracteristice ale viorilor (modurile A_0 , CBR, C4, B^+ , B^-) identificate de [Woodhouse \(1998\)](#), [Gough, \(2007\)](#), [Bissinger \(2008\)](#), [Skrodzka ș.a. \(2013\)](#). Plăcile analizate sunt aranjate în ordine crescătoare în funcție de valoarea frecvenței de rezonanță pentru fiecare mod corespunzător. În Figura 2. 19 a, sunt prezentate primele frecvențe de rezonanță ale plăcilor testate. Cele mai mari valori pentru prima frecvență sunt observate în probele acoperite cu lacuri cu alcool și cu lac nitrocelulozic. Aceste frecvențe corespund modului A_0 al corpurilor de vioară. Plăcile lăcuite cu 10 și 15 straturi de lac pe bază de ulei nu prezintă rezonanță în intervalul 240–330 Hz. În intervalul următor, 360–422 Hz – corespunzător modului CBR (Center Bout Rotation) – se observă că unele plăci, în ciuda diferențelor dintre lacuri, grosime a stratului sau calitate a lemnului, au frecvențe de rezonanță identice. De exemplu, plăcile lăcuite cu 15 straturi de lac nitrocelulozic și 10 straturi de lac alcoolic, ambele fabricate din molid clasa D, prezintă o frecvență de 360 Hz. În mod similar, plăcile acoperite cu 10 straturi de lac pe bază de ulei (clasa D) și 10 straturi de lac alcoolic (clasa A) prezintă aceeași frecvență de rezonanță de 376 Hz. În plus, atât plăcile SANC5, cât și cele SD prezintă o frecvență de 386 Hz. Acest lucru sugerează că o combinație specifică de structură anatomică a lemnului, tip de lac și grosime a stratului de acoperire poate produce un comportament de rezonanță identic. Cea mai mare frecvență în acest al doilea mod de vibrație este observată în eșantionul SALS15 la 422 Hz (Figura 2. 19 b). Următorul interval de frecvență de rezonanță, 622–761 Hz, corespunde modului C4 (Figura 2.19c). Nu toate plăcile prezintă rezonanțe în acest interval - de exemplu, plăcile din clasa A lăcuite cu 5 straturi (indiferent de tipul de lac), plăcile acoperite cu 10 și 15 straturi de lac nitrocelulozic și plăcile din clasa D cu 10 straturi de lac pe bază de alcool nu prezintă rezonanță aici. Cele mai înalte frecvențe din acest interval se găsesc în plăcile din clasa D lăcuite cu 10 straturi de lac pe bază de alcool sau nitrocelulozic. Al patrulea mod de vibrație, cu frecvențe de rezonanță între 923 și 1107 Hz (Figura 2. 19 d), este prezent pe toate plăcile și este dominat de plăcile lăcuite. Se observă un model clar: pentru acest mod, frecvențele de rezonanță tind să se polarizeze în funcție de clasa de calitate a lemnului și de tipul de lac. Plăcile din clasa D lăcuite cu nitroceluloză prezintă cele mai joase frecvențe, urmate de cele acoperite cu lac pe bază de alcool. În schimb, plăcile lăcuite cu lac pe bază de ulei tind să prezinte frecvențe dominante peste 1029 Hz. Aceste descoperiri se aliniază cu concluziile lui [Xu ș.a. \(2020\)](#), care a observat că lacul pe bază de alcool contribuie mai mult la amortizare decât la rigiditate și că acoperirea ambelor suprafețe de molid reduce semnificativ proprietățile sale acustice (de radiație). Pentru modurile de ordin superior, se observă că capacitatea de a amortiza frecvențele înalte depinde puternic de tipul de finisaj aplicat plăcilor (Figura 2. 19 e, f și g). Influența grosimii peliculei de lac asupra modurilor de vibrație și a spectrului de frecvență

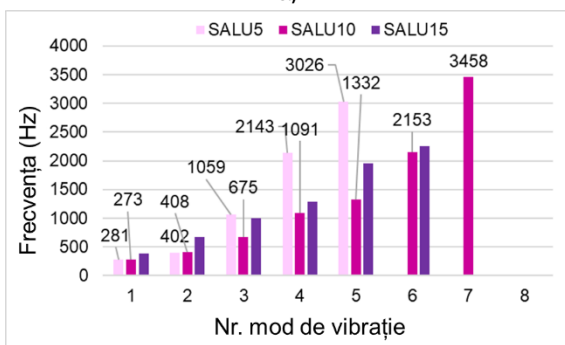
de rezonanță al plăcilor testate este ilustrată în [Figura 2. 20](#). În ceea ce privește numărul de armonice, plăcile lăcuite cu lac pe bază de alcool prezintă cele mai bogate spectre de frecvență, indiferent de grosimea lacului sau de clasa de calitate a lemnului de molid ([Figura 2. 20a și b](#)). Pentru lacul pe bază de ulei, cele mai favorabile combinații sunt lemnul de clasa A cu o grosime a peliculei de 10 straturi și lemnul de clasa D cu o peliculă de 5 straturi ([Figura 2. 20c și d](#)). În schimb, un strat gros de lac nitrocelulozic are ca rezultat o reducere a spectrului de frecvență în cazul scândurilor de molid din clasa A. Pentru lemnul de clasa D, se observă o scădere generală a frecvențelor de rezonanță pe măsură ce grosimea peliculei de lac crește ([Figura 2. 20 e și f](#)). Comparativ cu lemnul nelăcuit ([Figura 2. 20 g](#)), care prezintă cel mai bogat spectru de frecvență în general, aplicarea lacului duce în mod constant la o creștere a valorii frecvenței fundamentale.



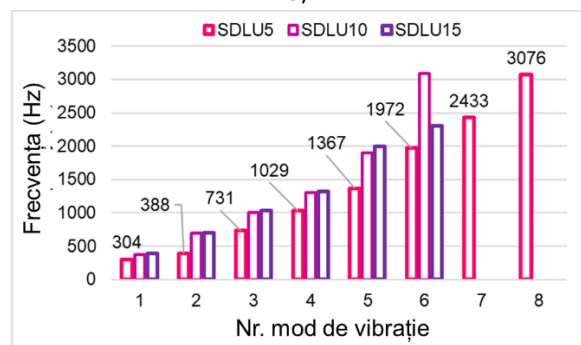
a)



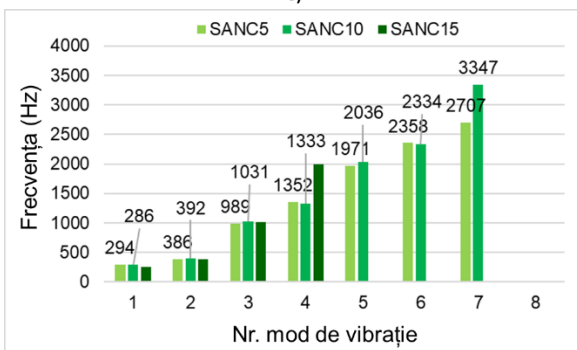
b)



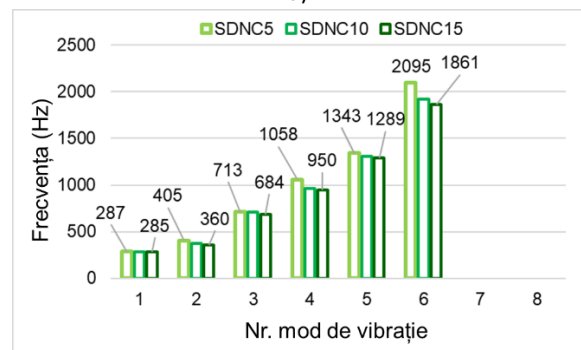
c)



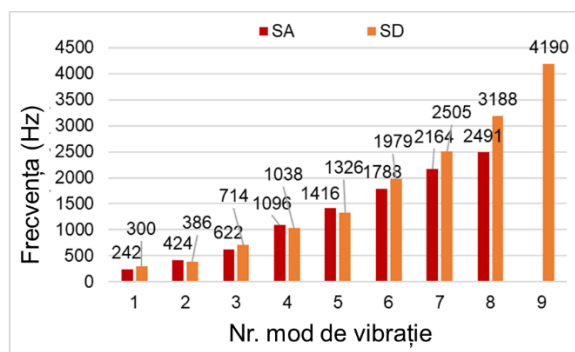
d)



e)



f)



g)

Figura 2. 20. Distribuția în frecvență a primelor opt vârfuri în ordine crescătoare pentru plăcile studiate: a) plăci de molid clasa A, lac cu alcool; b) plăci de molid clasa D, lac cu alcool; c) plăci de molid clasa A, lac pe bază de ulei; d) plăci de molid clasa D, lac pe bază de ulei; e) plăci de molid clasa A, lac nitrocelulozic; f) plăci de molid clasa D, lac nitrocelulozic; g) plăci de molid nelăcuite clasa A și D (Stanciu ș.a. 2025e)

Amortizarea plăcilor lăcuite

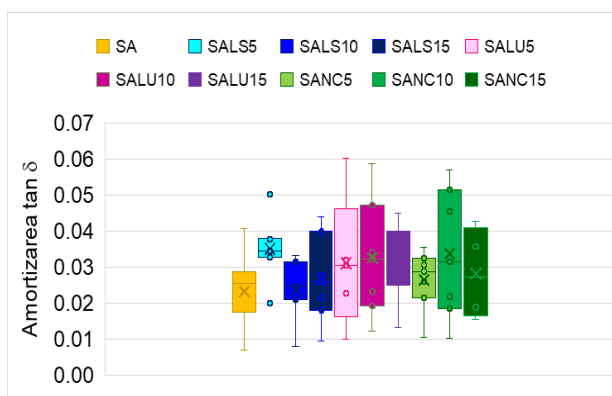
Analiza spectrului de frecvență relevă faptul că parametrii evaluați influențează spectrul acustic în moduri diferite, subliniind necesitatea examinării coeficientului de amortizare a vibrațiilor. În intervalul 1–2 kHz, amortizarea este mai mare de 0,05 pentru plăcile SDLS10, SDNC15, SDLU10 și SDLU5. Pentru frecvențe înalte peste 2 kHz, se observă valori de amortizare ridicate la plăcile SALU5 și SANC10. În schimb, restul tipurilor de plăci prezintă valori de amortizare sub 0,05 pe întregul interval de frecvențe analizat. Un $\tan\delta$ scăzut este una dintre condițiile cheie pentru asigurarea calității acustice a plăcilor de rezonanță. Valorile minime și maxime ale coeficientului de amortizare, împreună cu frecvențele la care au fost înregistrate aceste valori, sunt rezumate în Tabelul 2.6.

Cele mai mici valori de amortizare se găsesc la plăcile neacoperite, în timp ce cele mai mari valori maxime de amortizare apar la plăcile lăcuite cu lac pe bază de ulei (SDLU5, SDLU10) și lac nitrocelulozic (SDNC10, SDNC15).

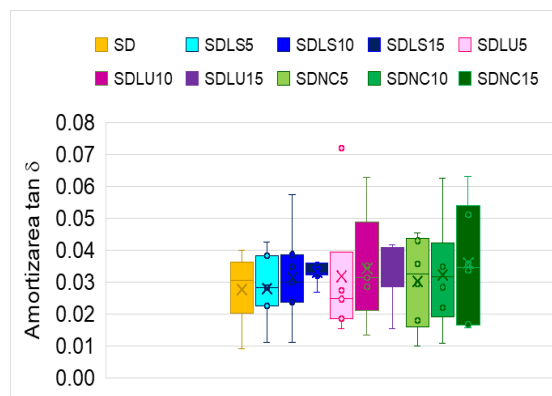
Întrucât studiile anterioare au arătat că finisarea suprafeței crește masa probei, rigiditatea radială și frecarea internă, acest studiu a analizat plăci din lemn de molid cu diferite finisaje și grosimi. Figura 2. 21 a și b ilustrează variabilitatea coeficientului de amortizare, exprimat ca $\tan\delta$. Este evident că plăcile lăcuite prezintă valori de amortizare mai mari în comparație cu plăcile nelăcuite. Cea mai mare variabilitate a valorilor de amortizare se observă la plăcile din clasa A lăcuite cu lac pe bază de ulei (10 și 15 straturi), precum și la plăcile din clasa D finisate cu 5 și 10 straturi de lac pe bază de ulei și cele acoperite cu lac nitrocelulozic. În ceea ce privește amortizarea vibrațiilor în intervalele de frecvență Figura 2. 21 c arată că pentru frecvențe sub 1000 Hz, amortizarea depășește 0,05 pentru plăcile SDLS5, SALS5, SALU10 și SDNC10.

Tabelul 2. 6. Centralizarea valorilor medii, abaterea standard, minime și maxime ale amortizării (Stanciu ș.a. 2025e)

Proba	Media & abaterea standard	Valoarea minima a $\tan \delta$	Frecvența coresp. valorii minim $\tan \delta$, (Hz)	Valoarea maximă a $\tan \delta$	Frecvența coresp. valorii maxime $\tan \delta$, (Hz)
SA	0.023 (0.0099)	0.007	425	0.041	319
SALS5	0.035 (0.0090)	0.020	3265	0.050	279
SALS10	0.024 (0.0083)	0.008	373	0.033	330
SALS15	0.027 (0.0120)	0.009	422	0.040	276
SALU5	0.031 (0.0180)	0.010	402	0.060	2143
SALU10	0.032 (0.0160)	0.012	408	0.059	273
SALU15	0.032 (0.0110)	0.013	380	0.045	1290
SANC5	0.026 (0.0080)	0.010	386	0.035	989
SANC10	0.034 (0.0180)	0.010	392	0.057	2036
SANC15	0.028 (0.0130)	0.016	385	0.043	257
SD	0.028 (0.0100)	0.009	446	0.040	300
SDLS5	0.028 (0.0100)	0.011	363	0.042	283
SDLS10	0.031 (0.0150)	0.011	360	0.057	1324
SDLS15	0.033 (0.0033)	0.027	931	0.036	1331
SDLU5	0.032 (0.0190)	0.015	388	0.072	1972
SDLU10	0.034 (0.0180)	0.013	373	0.063	1896
SDLU15	0.034 (0.0097)	0.015	388	0.042	1995
SDNC5	0.030 (0.0140)	0.010	405	0.045	287
SDNC10	0.032 (0.0170)	0.011	374	0.063	288
SDNC15	0.036 (0.0190)	0.016	950	0.063	285



a)



b)

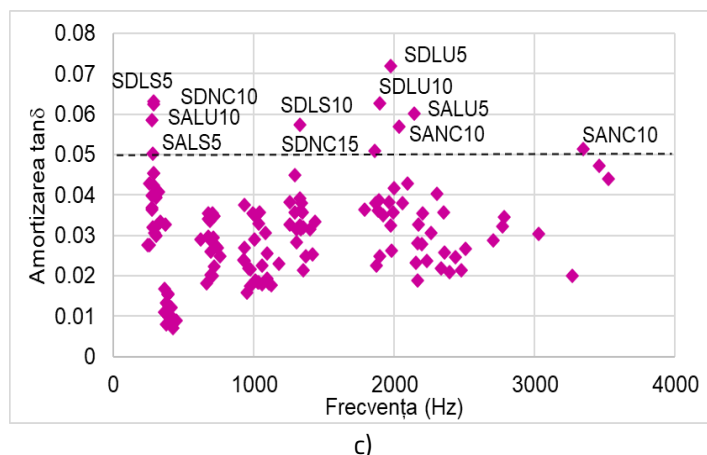


Figura 2. 21. Variabilitatea amortizării: a) pentru plăci fabricate din lemn de molid, calitatea A; b) pentru plăci fabricate din lemn de molid, calitatea D; c) în funcție de frecvență (Stanciu ș.a. 2025e)

Factorul de calitate

Factorul de calitate (Q) a fost calculat pentru frecvența dominantă a fiecărei plăci, iar rezultatele sunt prezentate în ordine crescătoare în Figura 2. 22 a. Cele mai mari valori Q - depășind 100 - au fost înregistrate pentru plăcile SA și SD nelăcuite, precum și pentru SALS10, SALS15 și SDNC5. Valori ridicate ale factorului de calitate, cuprinse între 80 și 100, au fost observate și la plăci precum SALU10, SDLS10, SDLS5, SDNC10, SANC5 și SANC10. Restul plăcilor au prezentat valori Q sub 80, cele mai mici valori corespunzând celor lăcuite cu lac pe bază de alcool sau nitroceluloză în 10 și 15 straturi. Cantitativ, factorul de calitate al molidului de rezonanță din clasa A s-a dovedit a fi cu aproximativ 10% mai mare decât cel al lemnului din clasa D (Figura 2. 22 b).

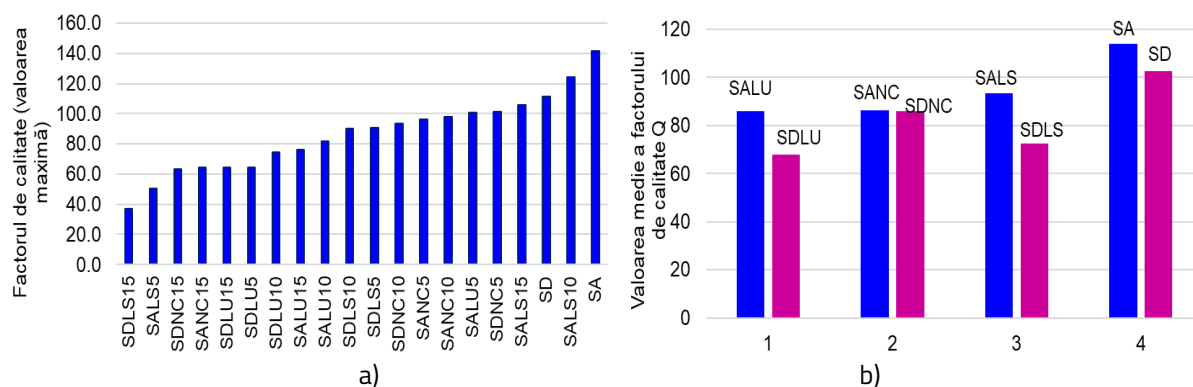


Figura 2. 22. Comparații între factorii de calitate ai plăcilor analizate: a) stratificarea factorilor de calitate crescător; b) influența lacului asupra factorului de calitate al plăcilor din lemn de molid (Stanciu ș.a. 2025e)

Aplicarea lacului reduce, în general, factorul de calitate, gradul de reducere depinzând de tipul de solvent utilizat. Cea mai mare scădere a Q a fost observată în cazul lacului pe bază de ulei - aproximativ 33% pentru clasa D și 25% pentru clasa A. Acesta a fost urmat de lacul nitrocelulozic (24% pentru clasa A și 16% pentru clasa D) și lacul pe bază de alcool (18% pentru clasa A și 29% pentru clasa D). Aceste rezultate oferă îndrumări practice pentru constructorii de viori, care pot selecta combinația optimă de tip de lac și calitate a lemnului pentru a minimiza efectele adverse asupra factorului de calitate. Pe baza constatărilor, cele mai bune combinații sunt lemnul din clasa A cu lac pe bază de ulei sau alcool și lemnul din clasa D cu lac nitrocelulozic. Conform studiilor [[Sedighi ș.a. \(2016\)](#), [Schelleng \(1968\)](#), [Schleske \(2002\)](#), [Lämmlein ș.a. \(2017\)](#), [\(2020a\)](#), [\(2020b\)](#), [Stanciu ș.a. 2024a](#), [Stanciu ș.a. 2025 a,b](#)] efectuate asupra viorilor în stare albă (nelăcuite) și a celor lăcuite cu lacuri pe bază de alcool și ulei, lăcuirea nu modifică formele modurilor, dar influențează frecvențele modale - în special modurile $B(1^-)$ și $B(1^+)$. Plăcile de vioară lăcuite cu lac pe bază de alcool prezintă frecvențe modale mai mari în comparație cu cele acoperite cu lac pe bază de ulei.

2.3.2. Evaluarea absorbției acustice a sunetelor în lemn

Aspecte generale privind absorbția acustică a lemnului

Lemnul, prin natura sa biologică, are o structură poroasă, fiind considerată, din punct de vedere acustic, un model semi-fenomenologic cu un schelet rigid având forme arbitrare ale porilor ([Bucur \(2006\)](#), [Watanabe ș.a. \(1967\)](#), [Cao ș.a. \(2018\)](#), [Yang ș.a. \(2015\)](#)). Mai mult, structura lemnului diferă în trei direcții principale: longitudinală, tangențială și radială. Având în vedere structura lemnului, cele trei axe de simetrie elastică sunt: longitudinală L, radială R și tangențială T, iar cele trei plane de anisotropie elastică sunt planul longitudinal radial LR, planul longitudinal tangențial LT și planul radial – tangențial sau transversal TR ([Bucur \(2006\)](#), [Dinulică ș.a. \(2021\)](#), [\(2023\)](#)). Principiul absorbției energiei sonore din materialele poroase, descris de [Smardzewski ș.a. \(2014\)](#), se bazează pe următoarele fenomene mecanice, termice și acustice:

- (a) în prima etapă, din interacțiunea dintre moleculele de aer care vibrază și pereții porilor materialelor poroase, are loc conversia energiei sonore în căldură și disiparea acesteia;
- (b) în etapa următoare, prin penetrarea undelor sonore longitudinale în material, aerul din interiorul porilor este comprimat și decomprimat, rezultând un consum de energie,
- (c) iar în a treia etapă, energia sonoră este transformată în energie mecanică și termică prin vibrația pereților porilor.

În funcție de numărul de pori (cavități, canale, interstiții), dimensiunile acestora și conexiunile dintre pori, interfața dintre suprafața exterioară a materialelor și porii interiori, au fost dezvoltate mai multe modele pentru a prezice absorbția acustică de către materialele poroase (Yang ș.a. (2015), Delany ș.a. (1970), Lee ș.a. (2021)). În funcție de morfologia materialului și numărul de parametri luați în considerare în expresiile de calcul, aceste modele analitice au fost dezvoltate pornind de la modele empirice de materiale cu pori drepecți, cilindrici, la materiale cu pori înclinați cu secțiune circulară, la materiale cu pori cu secțiune neuniformă, până la materiale poroase cu secțiune transversală neuniformă și constricții parțiale [Shen ș.a. (2001), Oliva & Hongisto (2013), Çavuş & Kara (2020)]. Lemnul este un material antagonic, unele specii fiind utilizate pentru proprietățile lor acustice în instrumentele muzicale, altele pentru caracteristicile lor de fonoabsorbție [Shen (2006), Jiang ș.a. (2004), Ali Ahmed & Adamopoulos (2018), Isaac ș.a. (2020)]. Studiile efectuate de Kolya&Kang (2020), pe secțiuni transversale de probe de lemn expuse fluxului de unde acustice, au evidențiat faptul că coeficientul de absorbție a sunetului din lemn de esență tare este diferit datorită cristalinității sale diferite, precum și a caracteristicilor morfologice diferite, în funcție de structura microporilor și permeabilitatea la gaze. Astfel, la 2 kHz, cele mai mari valori ale coeficientului de absorbție acustică au fost găsite pentru lemnul de platan și lemnul de plop argintiu (0.432–0.464), iar la 4 kHz, pentru lemnul de păianjen, balsa deschisă, platanus și lemnul de paltin (0.646; 0.557; 0.450; 0.314). Jang ș.a. (2021) au evidențiat legătura dintre coeficienții de absorbție acustică ai lemnului și permeabilitatea acestuia, observând că și probele de lemn foarte permeabile prezintă valori ridicate ale coeficientului de absorbție acustică, deoarece fluxul de aer crescut contribuie la atenuarea undelor sonore. Studiile efectuate de Smardzewski ș.a. (2014) pentru a determina caracteristicile de absorbție acustică a 10 specii de lemn (din zona temperată, precum și specii exotice), măsurate atât pe direcția longitudinal-tangențială, cât și pe direcția longitudinal-radială, au evidențiat faptul că cel mai mare coeficient de absorbție acustică pentru frecvența de 2 kHz a fost înregistrat pentru stejar (LT), frasin (LT), sapele (LR), pin (LR) și frasin (LR), variind între 0.18 – 0.20. Autorii studiului au analizat influența diferiților parametri care influențează absorbția acustică. De asemenea, au efectuat un studiu numeric bazat pe modelele de calcul existente în literatura de specialitate. Astfel, densitatea, porozitatea și tortuozitatea speciilor de lemn duc la o creștere semnificativă a coeficientului de absorbție acustică, în special la frecvențele de 2 și 4 kHz. Este cert că majoritatea studiilor pe probe de lemn au analizat în principal valorile coeficientului de absorbție acustică la frecvențe înalte (2 - 6 kHz), ale căror caracteristici de absorbție acustică variază semnificativ în funcție de frecvență, grosimea materialului, porozitate, unghiul de incidență al sunetului (Jang&Kang (2021a,b), Iannace ș.a. (2020), Xu ș.a. (2020)). În construcția instrumentelor muzicale cu coarde, cutia de

rezonanță trebuie să aibă o amortizare ridicată și, prin urmare, un câmp rezonant mare, amplificând în egală măsură un spectru larg de frecvențe. În acest sens, lemnul utilizat în construcția corpului rezonant joacă un rol dublu: necesită o viteză mare de propagare a vibrațiilor/sunetelor, dar și o capacitate de amortizare a sunetului, astfel încât să permită recepționarea și amplificarea următoarelor frecvențe în timpul interpretării muzicale. Lemnul este un material care prezintă microstructuri stochastice, complexe și sinuoase, așa cum este caracterizat de [Xu ș.a. \(2020\)](#), [Ruan ș.a. \(2022\)](#), [Plötze&Niemz \(2011\)](#), [Pentoś ș.a. \(2016\)](#), [Attenborough \(1993\)](#), fiind asemănat cu materialele cu celule deschise, cum ar fi spumele. Cunoașterea caracteristicilor acustice, inclusiv a coeficientului de absorbție a sunetului al plăcii de rezonanță, este importantă în prezicerea cantității de sunet absorbită de corpul de rezonanță al viorii. [Delany&Bazley \(1970\)](#), [Plötze&Niemz \(2011\)](#), [Smardzewski ș.a. \(2014\)](#), [Yang ș.a. \(2015\)](#), [Cao ș.a. \(2018\)](#), [Viala ș.a. \(2020\)](#), au evidențiat ipoteza că există o relație invers proporțională între valoarea modulului specific și amortizarea pe direcția longitudinală la nivelul lemnului de rezonanță. Totuși, în direcțiile radială și tangențială, această ipoteză nu a fost încă demonstrată. Întrucât aceste direcții influențează și dinamica instrumentelor muzicale cu coarde, criteriile obișnuite de selecție sunt controversate conform lui [Viala ș.a. \(2020\)](#), necesitând un studiu mai aprofundat asupra proprietăților acustice și elastice ale plăcii de rezonanță în celelalte direcții (radială și tangențială). Pornind de la aceste principii legate de calitatea acustică a unei viori (de exemplu), studiul își propune să analizeze relația dintre ortotropia lemnului și coeficientul de absorbție a sunetului.

Tipuri de probe

În prima etapă, au fost tăiate cuburi cu latura de 40 mm. Aceste probe au fost analizate din punct de vedere al variabilității caracteristicilor anatomice așa cum a fost prezentat în studiile publicate de [Dinulică ș.a. 2021, 2023](#). În a doua etapă, cuburile au fost tăiate în prisme de grosimi egale (11 ± 0.5 mm), respectând secțiunile principale ale lemnului ([Figura 2. 23](#)). În final, pentru a obține forma cilindrică, prismele au fost tăiate cu laser, utilizându-se următoarele codificări ale probelor: SALR – probă de molid, clasa A, secțiune longitudinală-radială; SALT—eșantion de molid, clasa A, secțiune longitudinal-tangențială; SATR—eșantion de molid, clasa A, secțiune transversală; SDLR—eșantion de molid, clasa D, secțiune longitudinal-radială; SDLT—eșantion de molid, clasa D, secțiune longitudinal-tangențială; SDTR—eșantion de molid, clasa D, secțiune transversală; MALR—eșantion de paltin, clasa A, secțiune longitudinal-radială; MALT—eșantion de paltin, clasa A, secțiune longitudinal-tangențială; MATR—eșantion de paltin, clasa A, secțiune transversală; MDLR—eșantion de paltin, clasa D, secțiune longitudinal-radială; MDLT—eșantion de paltin, clasa D, secțiune longitudinal-

tangențială; MDTR—eșantion de paltin, clasa D, secțiune transversală. Astfel, au fost obținute zece eșantioane pentru fiecare categorie.

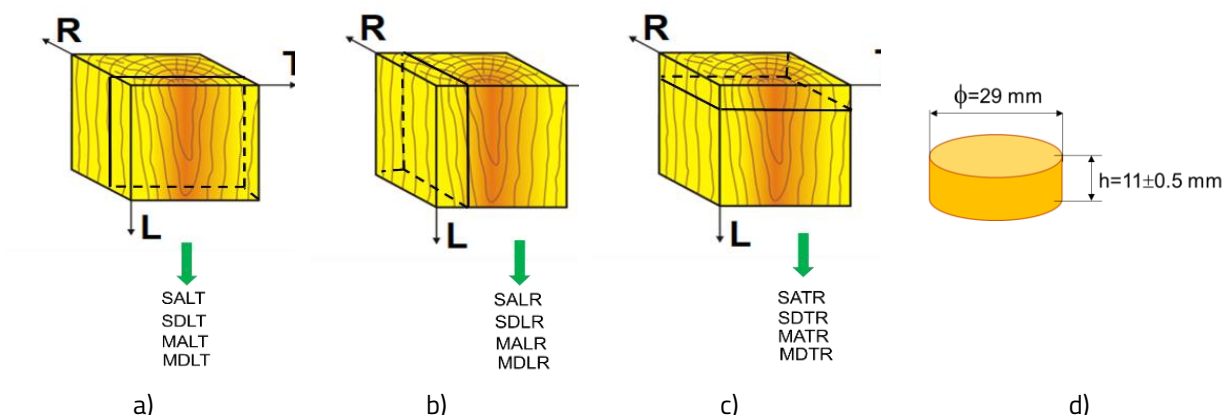


Figura 2. 23. Metoda de extragere a probelor cilindrice din cuburi pentru testul bazat pe metoda tubului de impedanță: a) proba cu secțiune longitudinal-tangențială; b) proba cu secțiune longitudinal-radială; c) proba cu secțiune transversală; d) geometria și dimensiunile probei pentru tubul de impedanță (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)

În [Figura 2. 24](#) și [Figura 2. 25](#) sunt evidențiate diferențele de structură ale probelor pentru cele trei secțiuni principale ale lemnului de molid și paltin. Pentru analiza microscopică, preparatele microscopice au fost extrase din probele celor patru categorii de probe, apoi analizate cu microscopul optic Olympus CX 43 (Olympus, Japonia), din Laboratorul de Biometrie Silvică, Facultatea de Silvicultură, Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, România. După cum se poate observa în [Figura 2. 24 a,b](#), în lemnul de molid, secțiunea transversală este caracterizată printr-o tranziție treptată între lemnul timpuriu și lemnul târziu, cu canale rezinifere mărginite de celule epiteliale cu pereți groși. În secțiunea radială-longitudinală se pot observa traheide longitudinale, cu punctuații uniseriate și raze heterocelulare ([Cherradi ș.a. \(2021\)](#), [Trtik ș.a. \(2007\)](#)). Secțiunea tangențială este remarcabilă pentru formațiunile de raze de 10-15 celule și canalele rezinifere cu celule epiteliale cu pereți groși. După cum se poate observa în [Figura 2. 25 a,b](#), în lemnul de paltin, secțiunea transversală este caracterizată prin pori radiali solitari și multipli, distanțați pe scară largă, de 2 până la 4 (rareori până la 6), în funcție de clasa anatomică. Limitele de creștere ale inelelor anuale sunt marcate de rânduri de fibre aplatizate. Pereții fibrelor variază în grosime, formând un model neregulat conform studiilor evidențiate de [Cherradi ș.a. \(2021\)](#), [Trtik ș.a. \(2007\)](#), [Van den Bulcke ș.a. \(2009\)](#). În secțiunea radială, lemnul de paltin prezintă îngroșări spiralete distincte în toate vasele, fibre libriforme, raze omogene și punctuații ușor mărite în celulele marginale ale razelor. În secțiunea tangențială, se pot observa raze simple și bisectate, cu o înălțime variind între 40 și 70 de celule.



Figura 2. 24. Caracteristici anatomice ale probelor de lemn de molid (mărire x4): a) molid clasa A, secțiune transversală (TR), secțiune longitudinal-radială (LR) și secțiune longitudinal-tangențială (LT); b) molid clasa D, secțiune transversală (TR), secțiune longitudinal-radială (LR) și secțiune longitudinal-tangențială (LT) (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)

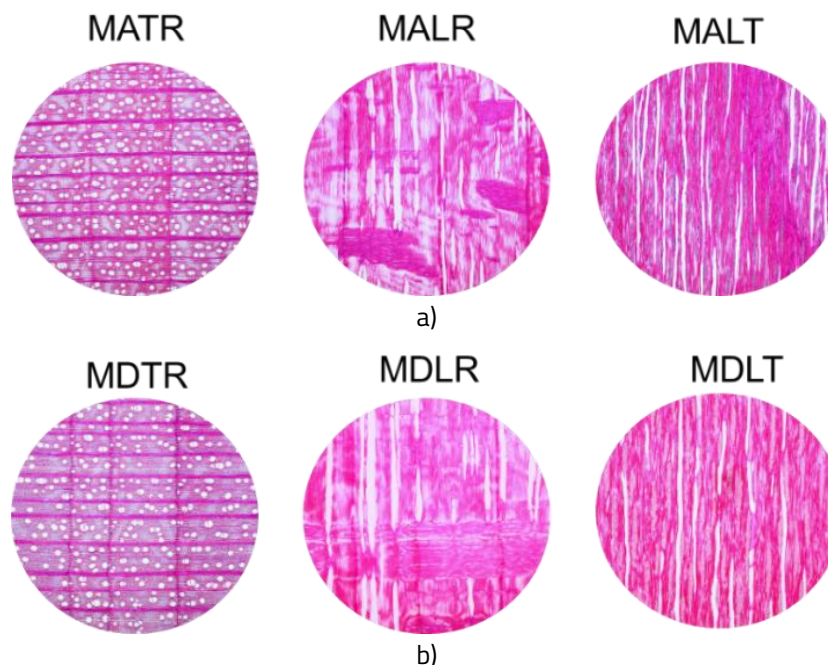


Figura 2. 25. Caracteristici anatomice ale probelor de lemn de paltin (mărire x4): a) paltin clasa A, secțiune transversală (TR), secțiune longitudinal-radială (LR) și secțiune longitudinal-tangențială (LT); b) paltin clasa D, secțiune transversală (TR), secțiune longitudinal-radială (LR) și secțiune longitudinal-tangențială (LT) (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)

Determinarea densității, porozității și tortuozității

În prima etapă, probele cilindrice pregătite pentru tubul de impedanță au fost cântărite cu balanța electronică Kern, cu o precizie de $\pm 0,2\%$ și măsurate cu dispozitivul electronic, determinându-se diametrul și grosimea acestora, iar pe baza formulei, densitatea aparentă a fost calculată la o umiditate de 6–8%. Ulterior, probele au fost introduse în cuptor și uscate treptat până când au atins o masă constantă. După răcirea în exsicator, probele au fost cântărite și măsurate, iar pe baza raportului dintre masă și volum, valoarea densității probelor în stare absolut uscată a fost determinată, conform [ISO 13061-2/2014](#).

Întrucât unul din parametrii importanți în absorbția acustică este porozitatea, aceasta a fost determinată analitic pe baza relațiilor de calcul conform referințelor [Attenborough \(1993\)](#), [Plötze&Niemz \(2011\)](#), [Smardzewski ș.a. \(2014\)](#), [Pentoș ș.a. \(2016\)](#), iar ulterior s-a determinat un alt parametru – tortuozitatea (sinuozitatea). Conform cercetărilor realizate de [Tanaka ș.a. \(2014\)](#) și [Lorreyte ș.a. \(2020\)](#), porozitatea poate fi determinată prin măsurători de greutate, metoda flotabilității sau porozimetrie cu intruziune de mercur,

Porozitatea (notată D_w) s-a calculat cu ajutorul ecuației (2.10), în funcție de densitatea probelor uscate în etuvă (ρ_0) și de densitatea peretelui celular (ρ_{cw}), care variază între 1460 kg/m³ și 1530 kg/m³. Pentru calcul s-a adoptat valoarea densității peretelui celular de 1500 kg/m³, conform referințelor [Attenborough \(1993\)](#), [Plötze&Niemz \(2011\)](#), [Smardzewski ș.a. \(2014\)](#), [Pentoș ș.a. \(2016\)](#):

$$D_w = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_{cw}}, \quad (2.10)$$

Probele au fost uscate în etuvă la 103 °C, iar apoi densitatea în stare anhidră a fost determinată prin metoda cântăririi și măsurării dimensiunilor probelor. Conform lui [Attenborough \(1993\)](#), [Plötze&Niemz \(2011\)](#), [Smardzewski ș.a. \(2014\)](#), [Pentoș ș.a. \(2016\)](#), tortuozitatea se referă la gradul de deviere a fibrelor de la o direcție dreaptă și se aplică materialelor poroase. Tortuozitatea notată k_s a fost determinată pe baza ecuației (2.11) stabilite de [Attenborough \(1993\)](#), [Smardzewski ș.a. \(2014\)](#):

$$k_s = \frac{1}{\sqrt{D_w}}, \quad (2.11)$$

Ca urmare a tipurilor de elemente anatomice care apar în cele trei secțiuni ale lemnului, morfologia suprafețelor probelor este diferită și implicit și porozitatea acestora. Astfel, în probele SA, cea mai mică valoare a porozității se regăsește pentru secțiunea LR. Astfel, în secțiunea TR, porozitatea este cu 2% mai mare față de secțiunea LR, iar în secțiunea LT este cu 1.4% mai mare decât pentru LR. Dimpotrivă, în probele din clasa D, cea mai mare porozitate se înregistrează în secțiunea LR, iar cea mai mică în secțiunea transversală. Cu toate acestea, diferențele sunt sub 1.6% ([Figura 2. 26 a](#)). În cazul probelor de lemn de paltin din clasa A, cea

mai mare valoare medie a porozității se înregistrează în secțiunea LT, cu 1.89% mai mare decât în secțiunea LR, iar pentru probele din clasa D, cea mai mare valoare este pentru secțiunea TR, cu 4.8% mai mare decât în secțiunea LT (Figura 2. 26 b). Valorile parametrilor fizici determinați sunt centralizate în Tabelul 2. 7.

Tabelul 2. 7. Caracteristici fizice ale probelor (valori medii și deviație standard) (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)

Tip probă	Specia	Densitatea anhidră ρ_0 (kg/m ³)	Porozitatea D_w	Tortuozitatea k_s
SALR	Molid	384.9 (18)	0.743 (0.012)	1.160 (0.009)
SALT		369.1 (65)	0.754 (0.043)	1.153 (0.030)
SATR		362.4 (32)	0.758 (0.021)	1.149 (0.016)
SDLR		395.5 (18)	0.736 (0.012)	1.165 (0.012)
SDLT		409.6 (9)	0.727 (0.010)	1.173 (0.010)
SDTR		413.2 (11)	0.725 (0.007)	1.175 (0.006)
MALR	Paltin	589.3 (10)	0.607 (0.007)	1.283 (0.007)
MALT		572.0 (22)	0.619 (0.015)	1.272 (0.015)
MATR		577.0 (17)	0.615 (0.011)	1.275 (0.012)
MDLR		562.4 (20)	0.625 (0.013)	1.265 (0.013)
MDLT		568.9 (20)	0.621 (0.013)	1.269 (0.013)
MDTR		524.4 (12)	0.650 (0.007)	1.240 (0.007)

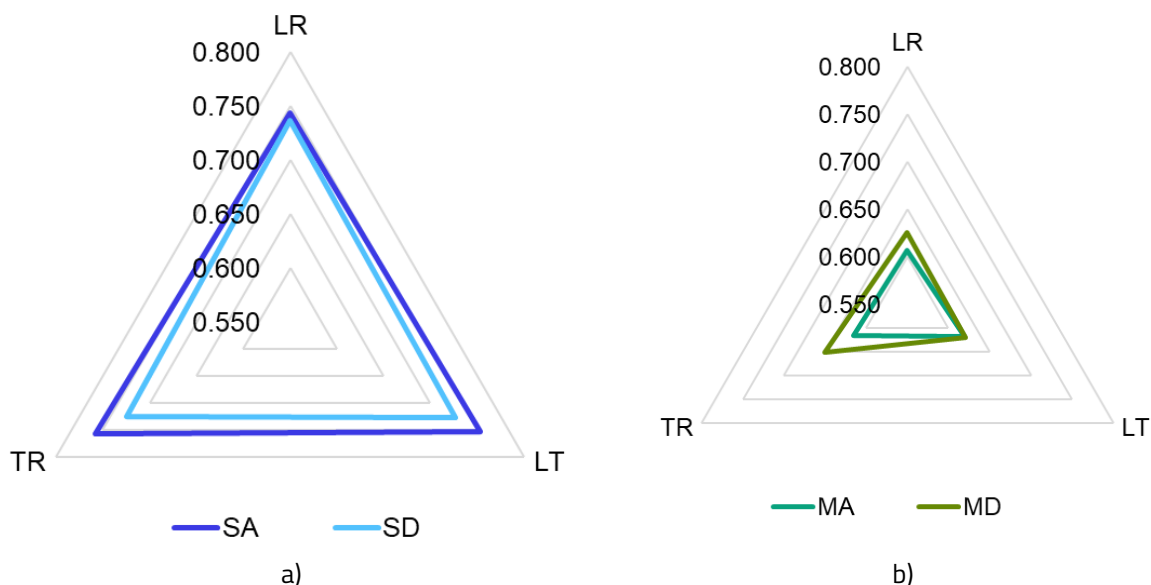


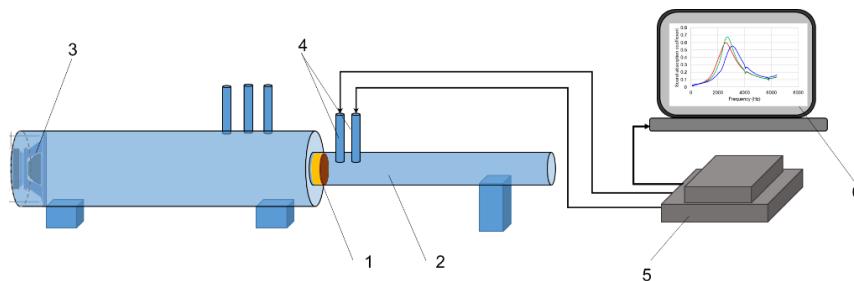
Figura 2. 26. Variația porozității în funcție de cele trei secțiuni principale ale lemnului: a) probele din lemn de molid; b) probele din lemn de paltin (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)

Determinarea coeficientului de absorbție acustică

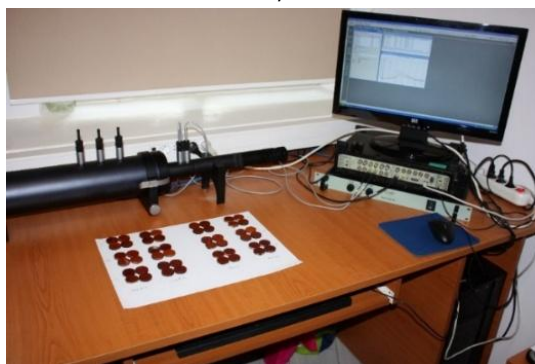
Pentru a determina coeficientul de absorbție a sunetului, impedanța acustică și coeficienții de admitanță, reflexie și pierdere de transmisie, s-a utilizat metoda tubului de impedanță (cunoscută și sub numele de metoda tubului Kundt). Principiul teoretic al acestei metode se bazează pe evaluarea câmpului de unde plane staționare propagate într-un tub, care se descompune în unde incidente și unde reflectate la întâlnirea eșantionului de material din tub (Fernea ș.a. (2017), Fernea ș.a. (2019), Nechita&Nastac (2018), Debeleac ș.a. (2019)). Astfel se măsoară valorile nivelurilor minime și maxime de presiune acustică. Analizele în tubul de impedanță au fost efectuate conform procedurii standard pentru măsurători bazate pe metoda funcției de transfer cu două microfoane (TFM), conform standardelor internaționale ISO 10534-2 și ASTM E1050-12. În acest sens, s-a utilizat metoda funcției de transfer (TFM) pentru a evalua impedanța acustică și coeficientul de reflexie a sunetului la o impedanță normală (coeficientul de absorbție a sunetului a fost calculat direct din parametrul de reflexie); Această reprezentare în termeni de părți reale și imaginare dezvăluie în principal cele două aspecte principale ale comportamentului suprafeței la impactul sunetului, cum ar fi rezistența (componenta reală) și reactanța (componenta imaginară), respectiv. Măsurătorile au fost efectuate cu un sistem acustic format dintr-un tub mic cu impedanță Tip 4206 Brüel & Kjær (Nærum, Danemarca) (diametrul probei de 29 mm), cu un interval de frecvență de 50 Hz–6,4 kHz. Configurația experimentală schematică a măsurătorii acustice este prezentată în Figura 2. 27. Înainte de măsurători, microfoanele și întregul dispozitiv au fost calibrate, iar după fiecare etapă de determinare a caracteristicilor acustice, acestea au fost recalibrate. Achiziția și vizualizarea datelor au fost efectuate cu ajutorul software-ului Pulse Brüel & Kjær (Nærum, Danemarca), o serie de parametri necesari programului de procesare a datelor fiind introduși în etapa de preprocesare (Nechita&Nastac (2018), Debeleac ș.a. (2019), Nastac ș.a. (2022)). Fiecare probă de formă circulară cu diametrul de 29 mm (1) a fost introdusă în suportul de probă al tubului de impedanță (2), tip 4206, Brüel&Kjær (Nærum, Danemarca), iar semnalele acustice cu intervalul de frecvență 100 Hz–6,4 kHz au fost generate în interiorul tubului folosind difuzorul (3); semnalele furnizate de microfoane (4) sunt preluate de un sistem de condiționare - placă DAQ (5), iar în final sunt transmise către un sistem informatic (6) (Figura 2. 27). Evaluarea se bazează pe valorile măsurate ale nivelului minim al presiunii acustice și ale nivelului maxim al presiunii acustice. Conform cercetărilor realizate de Tiuc ș.a. (2022), Nitu ș.a. (2022), Curtu ș.a. (2012), Bujoreanu ș.a. (2017), Takahashi & Otsuru (2005), după determinarea coeficientului de absorbție a sunetului (notat α), coeficientul de reducere a zgomotului, NRC, a fost calculat ca medie a absorbției sunetului la frecvențe medii specifice (testate la octave de 250, 500, 1000 și 2000 Hz), conform relației 2.12. Pe baza datelor experimentale, coeficientul

de reflexie și raportul de impedanță au fost analizate în raport cu spectrul de frecvențe emise în tubul acustic.

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4}, \quad (2.12)$$



a)



b)

Figura 2. 27. Principiul metodei tubului de impedanță acustică: a) configurația experimentală; b) echipamentul de testare a tubului de impedanță din laborator (Stanciu ș.a. 2024a)

Variația coeficienților de absorbție acustică (α) pentru fiecare frecvență cuprinsă între 120 și 6400 Hz este prezentată în Figura 2. 28, fiind determinat pentru cele 10 exemplare din fiecare specie de lemn și clasă de calitate anatomică. După medierea valorilor coeficientului de absorbție acustică, s-au extras valoarea maximă α și frecvența la care se înregistrează valoarea maximă α . Se poate observa că în cazul probelor de molid cu aceeași secțiune, dar din clase de calitate diferite, valoarea maximă a coeficientului de absorbție acustică diferă, dar corespunde aceleiași frecvențe (Tabelul 2. 8). În cazul probelor de lemn de paltin, valorile coeficientului de absorbție sunt mai mici decât în cazul probelor de lemn de molid. Pentru secțiunile TR și LT, absorbția maximă are loc în jurul aceleiași frecvențe (Figura 2. 28a). În cazul probelor analizate în secțiunea LR, se înregistrează diferențe în ceea ce privește frecvența la care are loc absorbția maximă a sunetului, în funcție de clasa de calitate. În secțiunea radială-longitudinală, ca urmare a fibrei ondulate specifice lemnului de paltin din clasa A, suprafața probelor prezintă o micro-neuniformități ca urmare a modului de formare a fibrelor ondulate. (Figura 2. 28b).

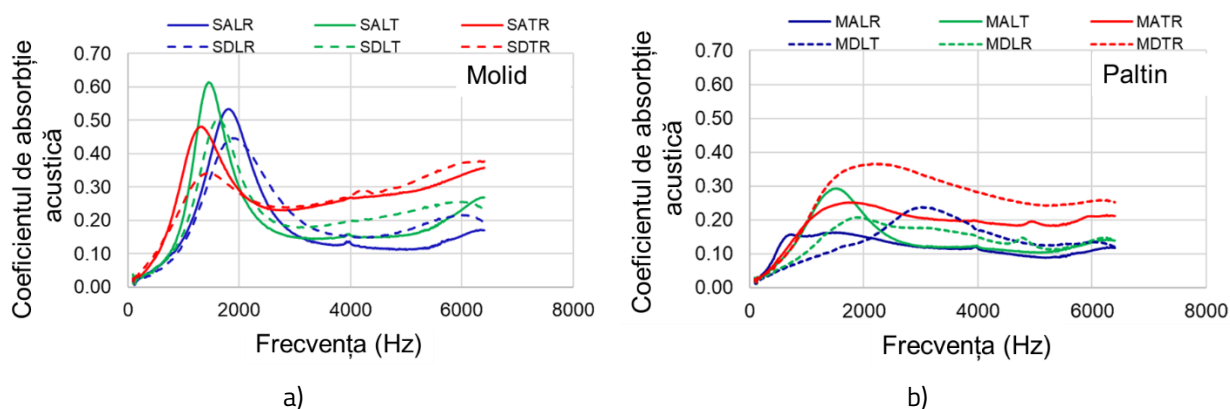


Figura 2. 28. Compararea coeficientului mediu de absorbție a sunetului între cele trei direcții principale ale lemnului: a) probe de molid; b) probe de paltin (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025b)

Între cele trei secțiuni principale ale lemnului există diferențe atât în ceea ce privește valoarea coeficientului de absorbție acustică, cât și frecvența la care se înregistrează valoarea maximă a absorbției sonore. Astfel, în lemnul de molid din clasa A, α crește aproximativ liniar de la valoarea pentru secțiunea LR, LT la TR, iar în probele din lemnul de molid din clasa D se observă un comportament invers proporțional (valorile scad de la cele din secțiunea LR, LT la TR). Probele de lemn de paltin prezintă valori de aproximativ 1.5 ori mai mici decât lemnul de molid, iar valoarea extremă (minimă sau maximă) dintre cele trei secțiuni analizate se obține pentru secțiunea LT (maximă în probele din clasa A și minimă în probele din clasa D).

Tabelul 2. 8. Valorile NRC și maxime ale coeficientului de absorbție acustică pentru fiecare categorie de probe testate (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025b)

Proba	Specia	NRC	Max α	Frecvența corespunzătoare valorii max α (Hz)
SALR	Spruce	0.133	0.288	1904
SALT		0.148	0.357	1504
SATR		0.200	0.456	1408
SDLR		0.178	0.348	1424
SDLT		0.159	0.464	1848
SDTR		0.153	0.435	1560
MALR	Maple	0.116	0.164	1512
MALT		0.130	0.293	1512
MATR		0.141	0.251	1744
MDLR		0.076	0.238	3008
MDLT		0.100	0.209	1888
MDTR		0.166	0.366	2208

Figura 2. 29 evidențiază variația valorilor maxime ale coeficientului de amortizare acustică. Astfel, dispersia diferă în funcție de specia de lemn, secțiunea probei și clasa de calitate. Aceste valori sunt în concordanță cu cele evidențiate de Bucur (2006), Watanabe ș.a. (1967), Smardzewski ș.a. (2014), privind lemnul paltin din secțiunea LR (sub 0.25).

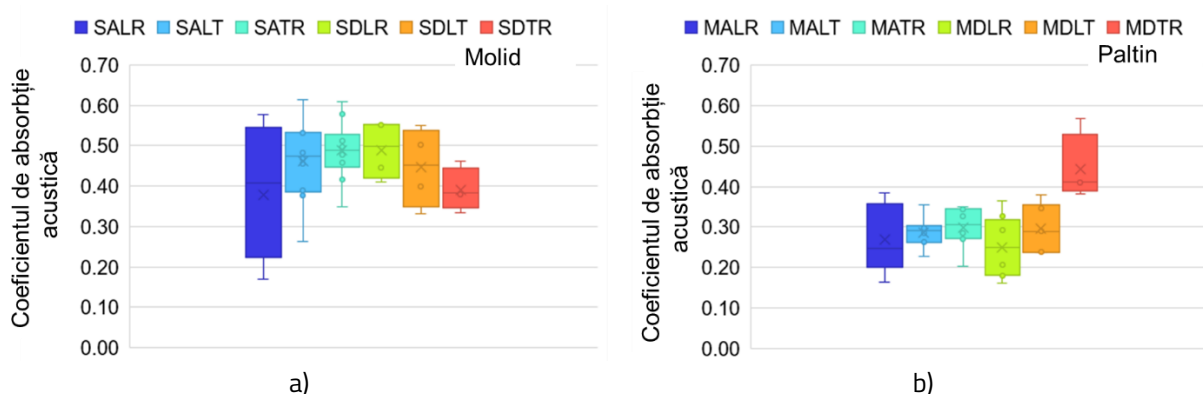


Figura 2. 29. Variația coeficientului maxim de absorbție a sunetului: (a) probe de molid; (b) probe de paltin (Stanciu ș.a. 2025b)

În probele de lemn de paltin din clasa A, diferențele dintre cele trei direcții legate de frecvențele la care α este maxim sunt relativ mici (1500–1750 Hz). Pe de altă parte, pentru probele din clasa D, coeficientul maxim de absorbție acustică variază în funcție de secțiune și frecvență. Probele MDLR prezintă cea mai bună absorbție la frecvența de 3000 Hz, probele MDLT la frecvența de 1888 Hz, iar MDTR la frecvența de 2200 Hz. Probele de lemn de molid, atât din clasa A, cât și din clasa D, prezintă aproximativ aceleași frecvențe la care se obține valoarea maximă a coeficientului de absorbție acustică (Figura 2. 30a). Analizând valorile NRC pentru tipurile de probe studiate, se poate observa că cele mai mari valori se obțin pentru probele analizate pe secțiune transversală, indiferent de specie și clasa de calitate. În ordinea descrescătoare a valorii medii a NRC, urmează probele cu secțiunea tangențial-longitudinală, iar cele mai mici valori se observă pentru probele cu secțiunea radială (Figura 2. 30b). Doar pentru probele de lemn de molid din clasa D se constată o valoare NRC mai mare pentru secțiunea longitudinal-radială. Conform Tabelul 2. 9 și Figurii 2.31, se poate observa că valorile maxime ale coeficienților de absorbție în benzi de octavă sunt stratificate în jurul frecvenței de 2 kHz, indiferent de tipul de probă testată. Există diferențe în funcție de specie și secțiunea analizată. Acest lucru se datorează faptului că există mai mulți factori care influențează mărimea coeficientului de absorbție acustică (diferențele proprietăți fizice și mecanice ale celor trei secțiuni analizate, compoziția chimică a lemnului, diferențierea anatomică, dimensiunea porilor și aerul conținut în cavitățile celulei lemnoase sau ale materialului lemnos, așa cum s-a

observat și în studiile publicate de [Attenborough, K. \(1993\)](#), [Kolya & Kang \(2020\)](#), [Jang & Kang \(2021a\)](#), [Iannace ș.a. \(2020\)](#), [Jang & Kang \(2021b\)](#), [Stanciu ș.a. 2025b](#).

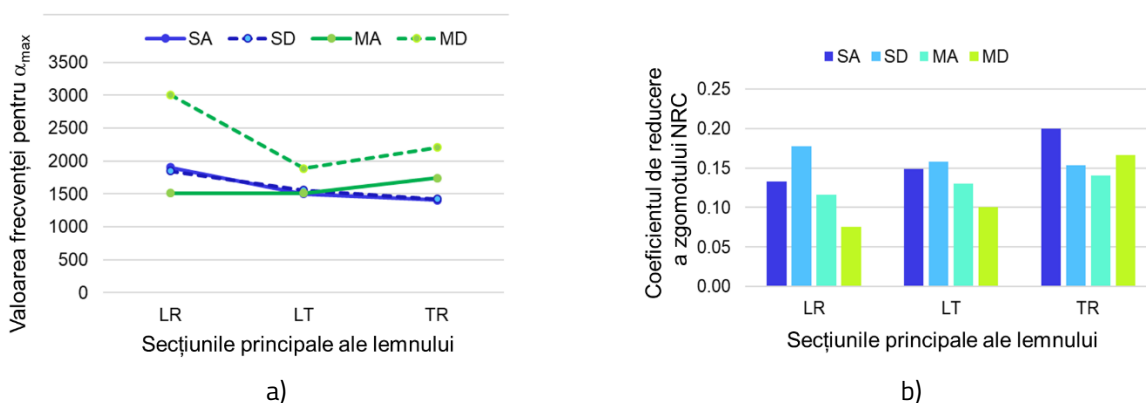


Figura 2.30. Variația capacității de absorbție în funcție de frecvențe, pentru valoarea maximă a coeficientului de absorbție a sunetului (a) și, respectiv, a coeficientului de reducere a zgomotului (NRC) ([Stanciu ș.a. 2025c](#))

Tabelul 2.9. Coeficientul de absorbție acustică în funcție de banda de octavă ([Guiman ș.a. 2023](#), [Stanciu ș.a. 2025c](#))

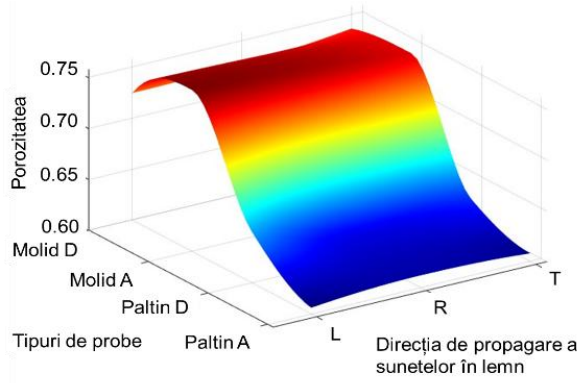
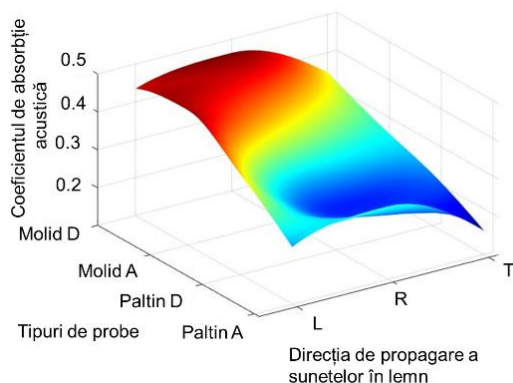
Tip probă	Specia	Frecvența (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
SALR	Molid	0.022	0.041	0.088	0.117	0.286	0.186
SALT		0.023	0.032	0.063	0.202	0.295	0.188
SATR		0.014	0.043	0.095	0.299	0.363	0.269
SDLR		0.018	0.025	0.048	0.121	0.440	0.230
SDLT		0.028	0.033	0.067	0.199	0.314	0.172
SDTR		0.029	0.051	0.103	0.249	0.309	0.257
MALR	Paltin	0.012	0.039	0.091	0.135	0.180	0.139
MALT		0.013	0.037	0.069	0.156	0.232	0.129
MATR		0.016	0.040	0.084	0.202	0.257	0.198
MDLR		0.012	0.031	0.051	0.083	0.138	0.237
MDLT		0.013	0.033	0.055	0.105	0.206	0.177
MDTR		0.013	0.037	0.072	0.193	0.363	0.336

Aplicând analiza simplă de corelație Pearson între variabile precum densitatea, tortuozitatea, porozitatea și coeficientul de absorbție acustică pentru fiecare categorie de probe, au rezultat coeficienții de corelație din [Tabelul 2.10](#). Corelațiile dintre densitate, porozitate și tortuozitate au fost excluse, coeficientul fiind aproape ± 1 , deoarece valorile porozității și tortuozității au fost calculate pe baza formulelor care includ densitatea în relația de calcul. Astfel, se observă că există corelații moderate în cazul probelor de lemn de molid; în ordine descrescătoare, se înregistrează în cazul probelor SDLR, SDLT și SATR. Pentru probele de lemn de paltin, cele mai

puternice corelații între coeficientul de absorbție și proprietățile fizice ale probelor se observă în probele MDTR, MDLR și MALT. Aceste corelații sunt moderate din punctul de vedere al valorilor obținute. În [Figura 2. 31](#) sunt prezentate corelațiile dintre diferitele mărimi acustice studiate în funcție de clasa de calitate: coeficientul de absorbție acustică ([Figura 2. 31a](#)), porozitatea ([Figura 2. 31b](#)) și tortuozitatea ([Figura 2. 31c](#)). Se observă că cele mai mari valori ale coeficientului de absorbție acustică se obțin pentru probele de molid comparativ cu cele de paltin. Comparativ cu direcțiile principale ale lemnului, cele mai mari valori se obțin pe direcția longitudinală pentru probele de molid din clasa A și paltin din clasa D, iar pentru molid din clasa D și paltin din clasa A, cele mai mari valori se obțin pe direcția radială.

Tabelul 2. 10. Corelația dintre coeficientul de absorbție a sunetului și caracteristicile fizice (densitatea, porozitatea, tortuozitatea) (Legendă: Culoarele din celulele tabelului sunt setate pe baza unei scale de 3 culori, unde valoarea minimă (-1) este albastrul, valoarea medie (0) este albul, iar valoarea maximă (+1) este roșul. Tonurile de culoare din tabel corespund valorilor cuprinse între -1 și +1, evidențiind polarizarea valorilor din intervalul menționat) ([Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c](#))

Proba	Densitatea (kg/m ³)	Porozitatea (-)	Tortuozitatea
SATR	-0.387	0.387	-0.390
SALR	-0.055	0.055	-0.063
SALT	0.114	-0.114	0.134
SDTR	0.279	-0.279	0.277
SDLR	0.657	-0.657	0.656
SDLT	-0.512	0.512	-0.513
MATR	0.390	-0.390	0.389
MALR	0.136	-0.136	0.137
MALT	-0.487	0.487	-0.487
MDTR	-0.622	0.622	-0.623
MDLR	0.571	-0.571	0.572
MDLT	0.263	-0.263	0.269



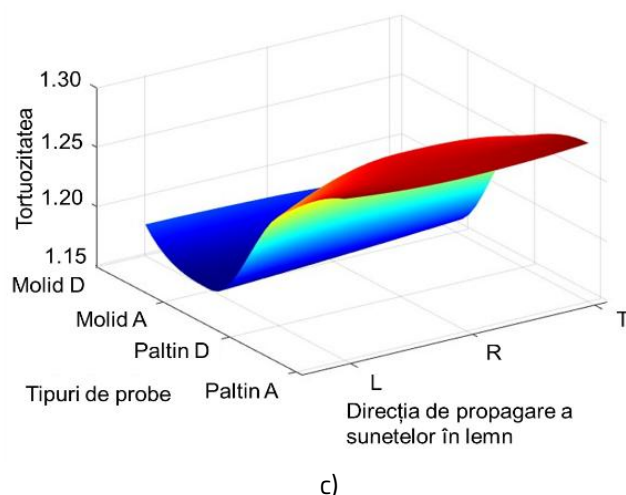


Figura 2. 31. Distribuția coeficientului de absorbție acustică (a), a porozității (b) și a tortuozității (c) în raport cu gradul de calitate al lemnului și direcția principală a fluxului de energie sonoră (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)

Determinarea coeficientului de reflexie acustică și a raportului de impedanță acustică

Evaluarea reflexiei acustice se bazează pe valorile măsurate ale nivelului minim de presiune sonoră și ale nivelului maxim de presiune sonoră. Unda sonoră fiind o undă de presiune, raportul dintre cele două mărimi exprimă coeficientul de reflexie acustică. Coeficientul de absorbție acustică indică capacitatea materialului testat de a absorbi unde acustice cu frecvențe diferite. Reflexia undelor sonore reprezintă fenomenul de întoarcere a acestora în mediul din care provin, atunci când întâlnesc suprafața de separare cu un alt mediu, care are o densitate diferită. Pentru a caracteriza fenomenul de reflexie, se introduce o mărime care se determină empiric, coeficientul de reflexie sau factorul de reflexie acustică notat cu r . Coeficientul de reflexie r este raportul dintre amplitudinea unei reflectate și amplitudinea unei incidente, conform relației 2.13.

$$r = \frac{P_r}{P_i} \quad (2.13)$$

unde P_r și P_i sunt amplitudinile unei de presiune reflectate, respectiv incidente. Întrucât, la suprafața de separare dintre două medii diferite, reflexia este întotdeauna însoțită de un fenomen de absorbție a energiei. Impedanța acustică, notată cu Z , este egală cu raportul dintre presiunea p și viteza acustică v , conform relației 2.14.

$$Z = \frac{p}{v} \quad (2.14)$$

Valorile medii ale coeficientul de reflexie determinat pentru materialele testate este prezentat în Figura 2. 32 a,b. Se poate observa că în probele de lemn de molid, cel mai reflectant material este SALR, cu un coeficient de reflexie mai mare de 0.75 pentru intervalul 100–1000 Hz. Se

poate observa că, în general, toate tipurile de probe, indiferent de secțiunile analizate, sunt caracterizate de un coeficient de reflexie ridicat, peste 0.5 pentru intervalul de frecvență cuprins între 100 și 2000 Hz.

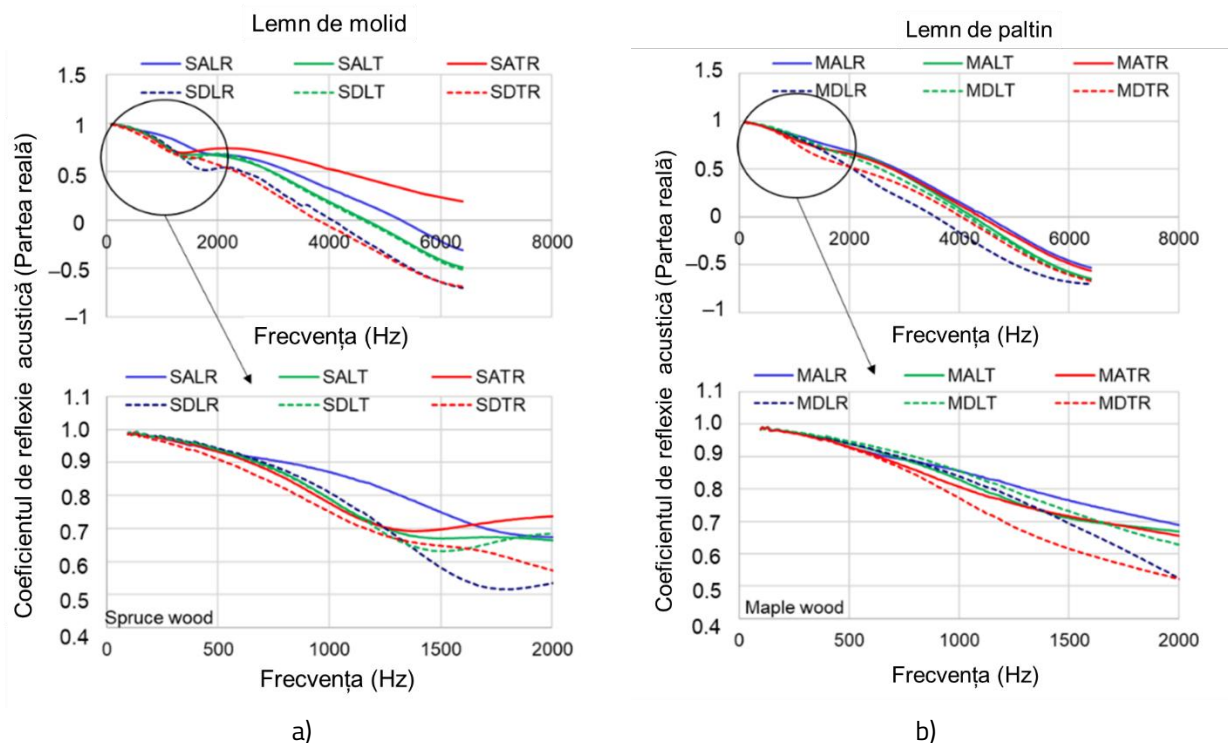


Figura 2. 32. Variația coeficientului de reflexie – componenta reală: (a) probe de molid; (b) probe de paltin (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)

La frecvențe înalte (peste 3.8 kHz), toate tipurile de probe de lemn de molid tind să aibă o valoare negativă a coeficientului de reflexie, începând cu SCLR și SCRT (3.8–4.0 kHz), SALT și SCLT (4.5 kHz), respectiv SALR (5.5 kHz). În probe de lemn de paltin, coeficientul de reflexie este mai mare de 0.78–0.8 pentru intervalul 100–1000 Hz, iar diferențele dintre clasele de calitate și secțiunile analizate sunt mai mici decât în cazul probelor de lemn de molid. La frecvențe înalte, probele de paltin înregistrează valori negative ale coeficientului de reflexie, începând cu frecvența de 3.7 kHz (MDLR), 4 kHz (MDTR), 4.2 kHz (MALT, MDLT) și 4.4–4.5 kHz (MATR și MALR) (Figura 2. 32 b).

Raportul de impedanță acustică exprimat prin componentele reale și imaginare evidențiază comportamentul suprafeței în ceea ce privește rezistența, prin componenta reală, și reactanța, prin componenta imaginară. Deși reactanța probelor este similară, indiferent de specie și secțiunea analizată, rezistența suprafețelor investigate diferă. Figura 2. 33 prezintă dependența dintre părțile reale și imaginare ale raportului de impedanță în funcție de frecvență (în intervalul 120 Hz–6,4 kHz). Valorile reprezentate în Figura 2.33, reprezintă valorile medii ale

probelor testate pentru fiecare categorie de probe, observându-se că diferențele majore în raportul de impedanță acustică între cele trei direcții principale ale lemnului, dar și între clasele de calitate ale celor două specii, respectiv, apar la frecvențe sub 2 kHz.

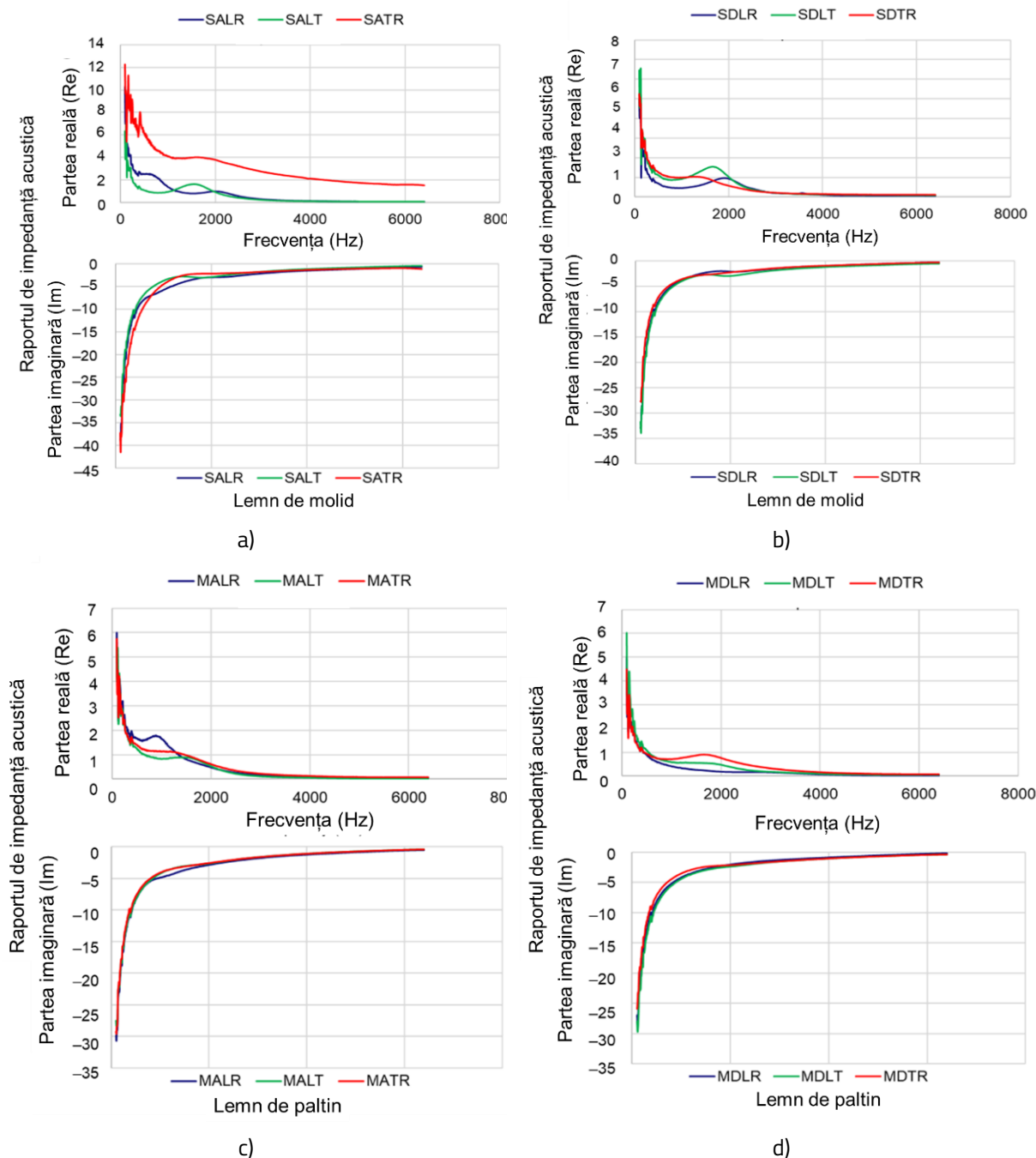


Figura 2.33. Dependența de frecvență a părții reale și imaginare a raportului impedenței acustice: a) molid clasa A; b) molid clasa D; c) paltin clasa A; d) paltin clasa D (Guiman ș.a. 2023, Stanciu ș.a. 2025c)

Concluzii

În acest studiu a fost abordată analiza proprietăților acustice ale lemnului utilizat pentru instrumente muzicale, din perspectiva absorbției, reflexiei și impedanței acustice. Au fost analizate comportamentele probelor de lemn în cele trei secțiuni principale ale lemnului. Astfel, se pot evidenția următoarele concluzii:

- Coeficientul de absorbție, în general, nu are o valoare constantă pentru o anumită specie de lemn, variind în funcție de frecvența sunetului și unghiul de incidență al undelor sonore asupra materialului. S-a concluzionat că modificările coeficientului de absorbție acustică indică o modificare a structurii porilor lemnului, pentru care clasa de calitate anatomică influențează mărimea acestui parametru;
- În secțiunea longitudinal-radială, probele de clasa A, atât pentru lemnul de molid, cât și pentru cel de paltin, au prezentat cele mai mici valori ale coeficientului de absorbție acustică, ceea ce confirmă utilizarea de către lutieri a acestor categorii de specii și soiuri;
- Frecvențele la care s-au obținut valorile maxime ale coeficientului de absorbție acustică sunt aproximativ aceleași pentru lemnul de molid, indiferent de clasa de calitate, spre deosebire de lemnul de paltin, unde există diferențe între frecvențele la care are loc cea mai mare absorbție acustică;
- Raportul de anizotropie al coeficientului de reducere a zgomotului (NRC) între secțiunile principale ale lemnului este: eșantion de molid clasa A, TR:LT: LR:1.0:1.35:1.50; eșantion de molid clasa D, TR: LT: LR:1:1.16:1.12; eșantion de paltin clasa A, TR: LT:LR:1:1.18:1.31; eșantion de paltin clasa D, TR:LT:LR: 1:1.66:2.20;
- Datorită structurii anatomice, indiferent de secțiunea analizată, atât lemnul de paltin clasa A, cât și cel de clasa D sunt mai omogene din punct de vedere al coeficientului de reflexie decât lemnul de molid;
- Cele mai multe variații ale raportului de impedanță pentru probele analizate se înregistrează sub frecvența de 2000 Hz;
- Cea mai strânsă corelație dintre porozitate și coeficientul de absorbție acustică se înregistrează pentru probele de lemn de molid clasa D, secțiunea LR, și pentru probele de lemn de paltin; De asemenea, cele din secțiunile clasei D, TR și LR prezintă cea mai mare corelație între coeficientul de absorbție acustică și porozitate.

Cercetările acestui studiu au fost publicate în 1 articol ISI, 2 capitole de carte și prezentate la o conferință internațională BDI

Guiman, M.V.; **Stanciu, M.D. (autor corespondent)**; Roșca, I.C.; Georgescu, S.V.; Năstac, S.M.; Câmpean, M. Influence of the Grain Orientation of Wood upon Its Sound Absorption Properties. *Materials* 2023, 16, 5998. <https://doi.org/10.3390/ma16175998>

Guiman, M.V., Roșca, I.C., Nastac, S.M., Georgescu, S.V., Câmpean, M., **Stanciu, M.D.** (2024). Sound Absorption Characteristics of Orthotropic Porous Materials. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_15 (capitol carte).

Stanciu, M.D., Dinulică, F., Roibu, C.C., Guiman, M.V., Cerbu, C., Savin, A. (2025). Quality Classes of Blanks for Violins and Some Relevant Physical Parameters of Wood. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) *Interdisciplinary Approach to the Violin*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_2 (capitol carte).

2.3.3. Evaluarea absorbției acustice a sunetelor în lemnul lăcuit

Pentru identificarea influenței finisajului asupra coeficientului de absorbție acustică, din fiecare tip de placă lăcuită, au fost extrase patru mostre circulare cu diametrul de 29 mm, așa cum se poate observa în [Figura 2. 34](#). În [Tabelul 2. 11](#), sunt prezentate caracteristicile fizice ale probelor lăcuite testate în tubul Kundt. Pe baza datelor experimentale obținute în urma expunerii probelor atât cu partea nelăcuită cât și cu cea lăcuită, a fost determinat coeficientul de absorbție acustică (notat SAC) ([Figura 2. 35](#)). Indiferent de partea expusă, valorile SAC au rămas sub 0.6. Cu toate acestea, în comparație cu lemnul nelăcuit, probele lăcuite au prezentat valori SAC cu aproximativ 25-30% mai mici decât cele ale părții nelăcuite. Comparând diferite tipuri de probe, cele mai mici valori SAC au fost observate la probele lăcuite cu lac nitrocelulozic, indiferent de partea expusă energiei acustice incidente. Pentru probele lăcuite cu lacuri pe bază de ulei și alcool, partea nelăcuită a prezentat în mod constant valori SAC mai mari decât partea lăcuită. În plus, absorbția acustică maximă pentru suprafețele lăcuite a apărut la frecvențe în jurul valorii de 4 kHz. Comportamentul acustic variază, de asemenea, în funcție de structura anatomică a lemnului. Deși proporția de lemn târziu și lemn timpuriu este aproximativ aceeași în ambele clase de calitate, lemnul din clasa D - caracterizat prin lățimi ale inelelor anuale de aproximativ trei ori mai mari - prezintă capacități diferite de absorbție acustică. Aceste diferențe, însă, sunt reduse prin aplicarea peliculei de lac ([Figura 2. 36](#)). Variațiile de absorbție și reflexie observate între cele două suprafețe - datorate diferențelor de structură, rugozitate și porozitate - sunt utilizate în mod intenționat în construcția instrumentelor muzicale cu corp

rezonant. Aceste proprietăți acustice specifice suprafeței contribuie la calitatea tonală generală a instrumentului.

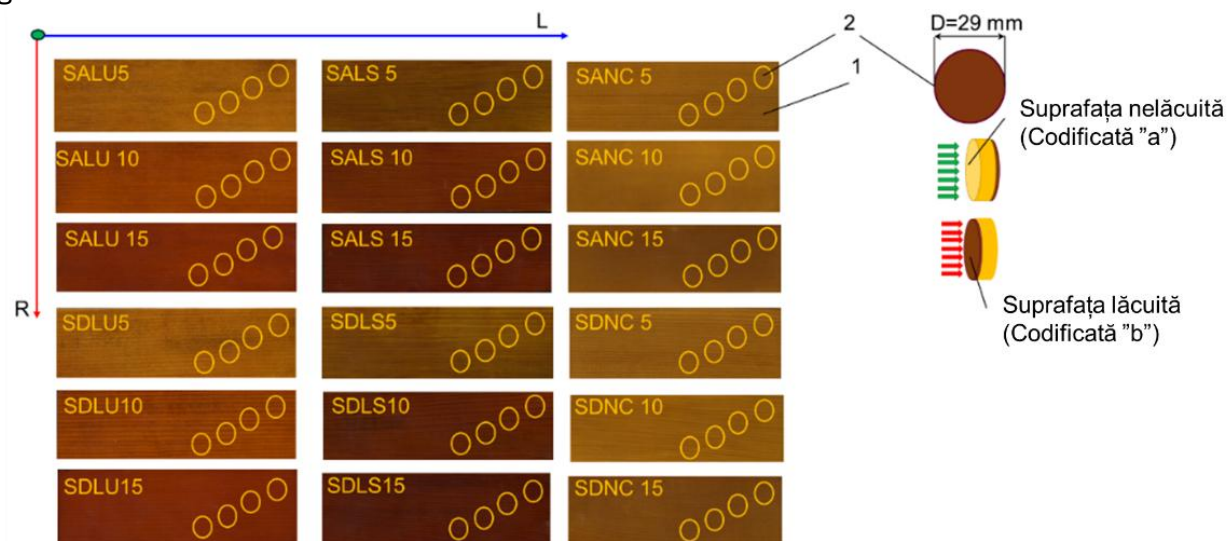


Figura 2. 34. Extragerea probelor circulare pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică prin metoda tubului de impedanță (Stanciu ș.a. 2025c)

Tabelul 2. 11. Caracteristicile fizice ale mostrelor cilindrice lăcuite(Stanciu ș.a. 2025c,e)

Tipul de probe	Nr. de probe	Grosimea medie a peliculei de lac (μm)	Masa (g)
SALU5	12	40 ± 10	1.146
SALS5			1.167
SANC5			1.348
SALU10	12	80 ± 10	1.322
SALS10			1.188
SANC10			1.449
SALU15	12	130 ± 10	1.376
SALS15			1.327
SANC15			1.517
SDLU5	12	35 ± 10	1.186
SDLS5			1.125
SDNC5			1.144
SDLU10	12	70 ± 10	1.258
SDLS10			1.168
SDNC10			1.215
SDLU15	12	120 ± 10	1.337
SDLS15			1.189
SDNC15			1.443

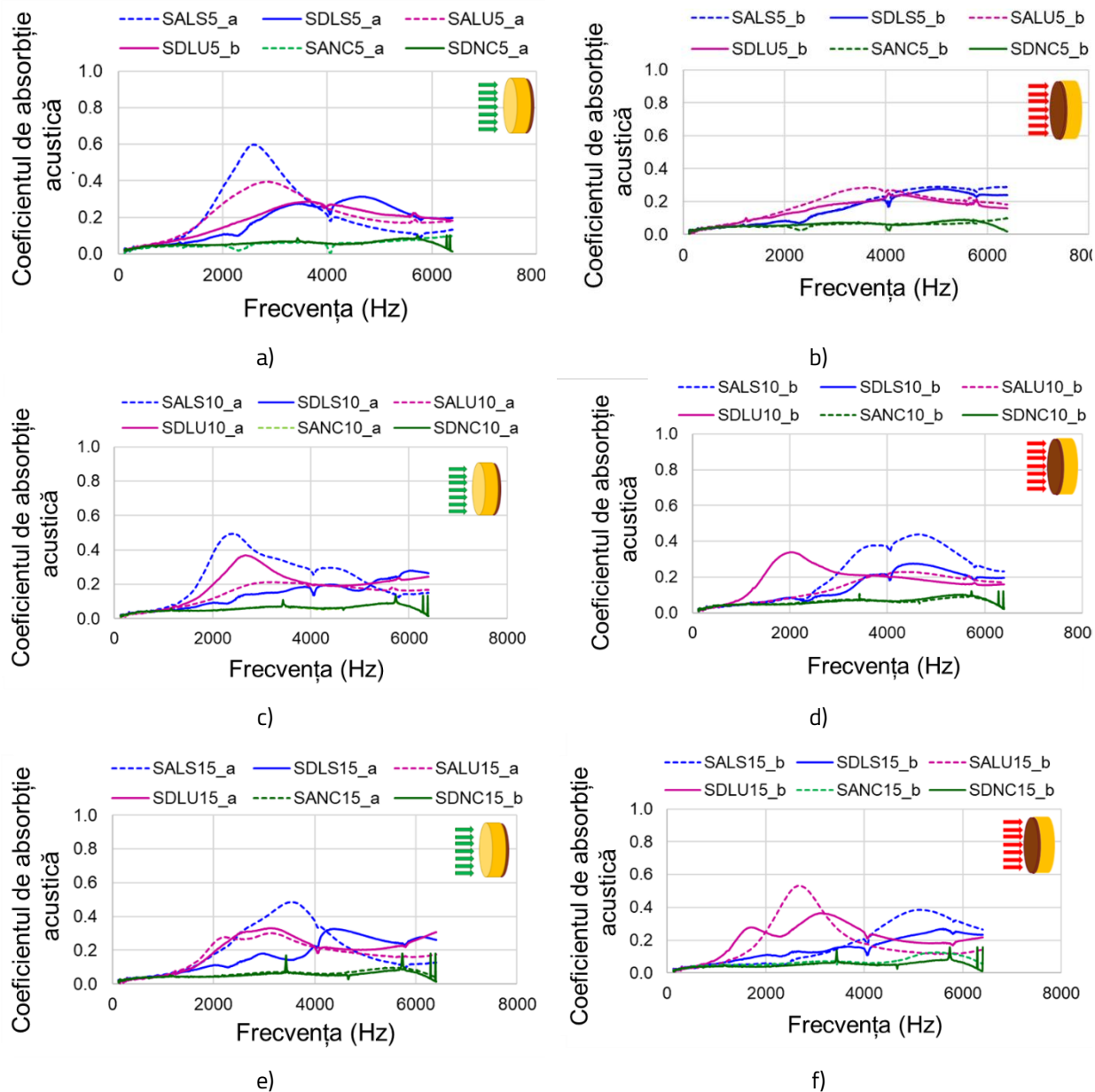


Figura 2. 35. Valori medii ale coeficientului de absorbție acustică în funcție de tipul de lac aplicat pe probele de lemn: a) grosimea de 5 straturi, cu partea nelăcuită expusă; b) grosimea de 5 straturi, cu partea lăcuită expusă; c) grosimea de 10 straturi, cu partea nelăcuită expusă; d) grosimea de 10 straturi, cu partea lăcuită expusă; e) grosimea de 15 straturi, cu partea nelăcuită expusă; f) grosimea de 15 straturi, cu partea lăcuită expusă (Stanciu ș.a. 2025c)

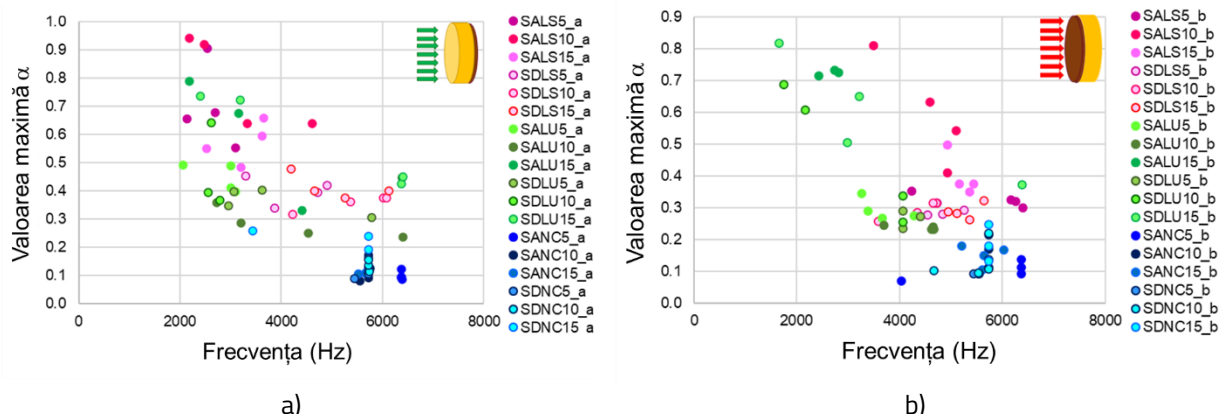


Figura 2.36. Valori maxime ale coeficientului de absorbție acustică în raport cu frecvența: (a) partea nelăcuită; (b) partea lăcuită (Stanciu ș.a., 2025c)

Întrucât tubul de impedanță este considerat un sistem închis acustic, orice porțiune a unde incidente care nu este reflectată de material trebuie să fie absorbită. Prin urmare, pentru materialele utilizate în construcția de viori, este esențial să se înțeleagă și să se cunoască atât coeficientul de absorbție acustică, cât și coeficientul de reflexie. După cum se arată în Figura 2.37, coeficienții de reflexie ai probelor lăcuite cu diferite tipuri de lac variază de la 0.6 la 1.0. O creștere a grosimii peliculei de lac corespunde unei creșteri a reflexiei sunetului, indicând faptul că acoperirile mai groase sporesc proprietățile reflectante ale materialului. Astfel, reflexia sunetului depinde de grosimea și densitatea sistemului bimaterial format de lemn și finisaj. Reflexia sunetului ridicată observată în probele lăcuite cu lacuri nitrocelulozice și alcoolice poate fi atribuită proprietăților solvenților utilizați. În schimb, cele mai mici valori ale coeficientului de reflexie sunt înregistrate pentru probele lăcuite cu lac pe bază de ulei. Deoarece procesul de uscare la interfața lemn-finisaj durează mai mult pentru lacurile pe bază de ulei, proprietățile acustice pot continua să se schimbe în timp, justificând analize suplimentare ale acestor parametri pe termen lung. Figura 2.38 ilustrează relația dintre tipul de lac, grosimea stratului de acoperire și gradul lemnului de molid pentru trei parametri acustici cheie: coeficientul de absorbție al suprafeței nelăcuite (Figura 2.38a), coeficientul de absorbție al suprafeței lăcuite (Figura 2.38b), și amortizarea frecvenței dominante (Figura 2.38c). Dintre toți parametrii, se observă că probele lăcuite cu lac nitrocelulozic prezintă în mod constant cele mai mici valori ai parametrilor acustici investigați, în timp ce lacul cu alcool prezintă tendința opusă, obținându-se cele mai mari valori.

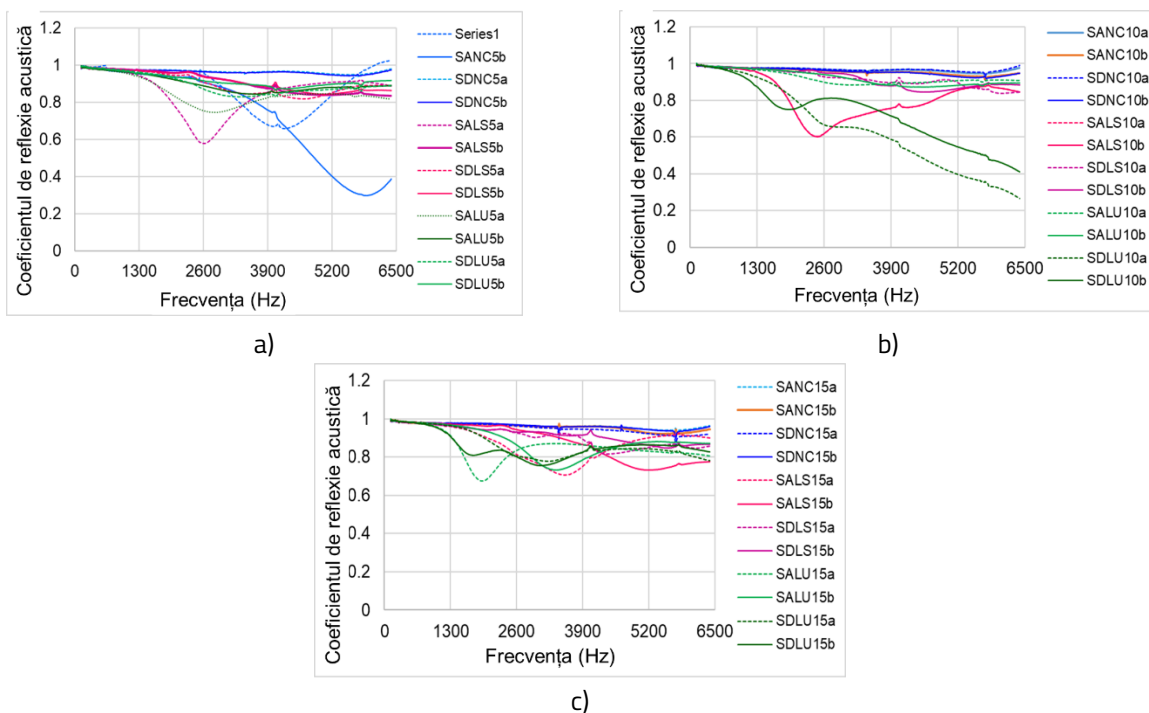


Figura 2.37. Variația coeficient de reflexie a sunetului pentru domeniul de frecvențe investigat: a) grosimea a 5 straturi; b) grosimea a 10 straturi; c) grosimea a 15 straturi (Stanciu ș.a. 2025c)

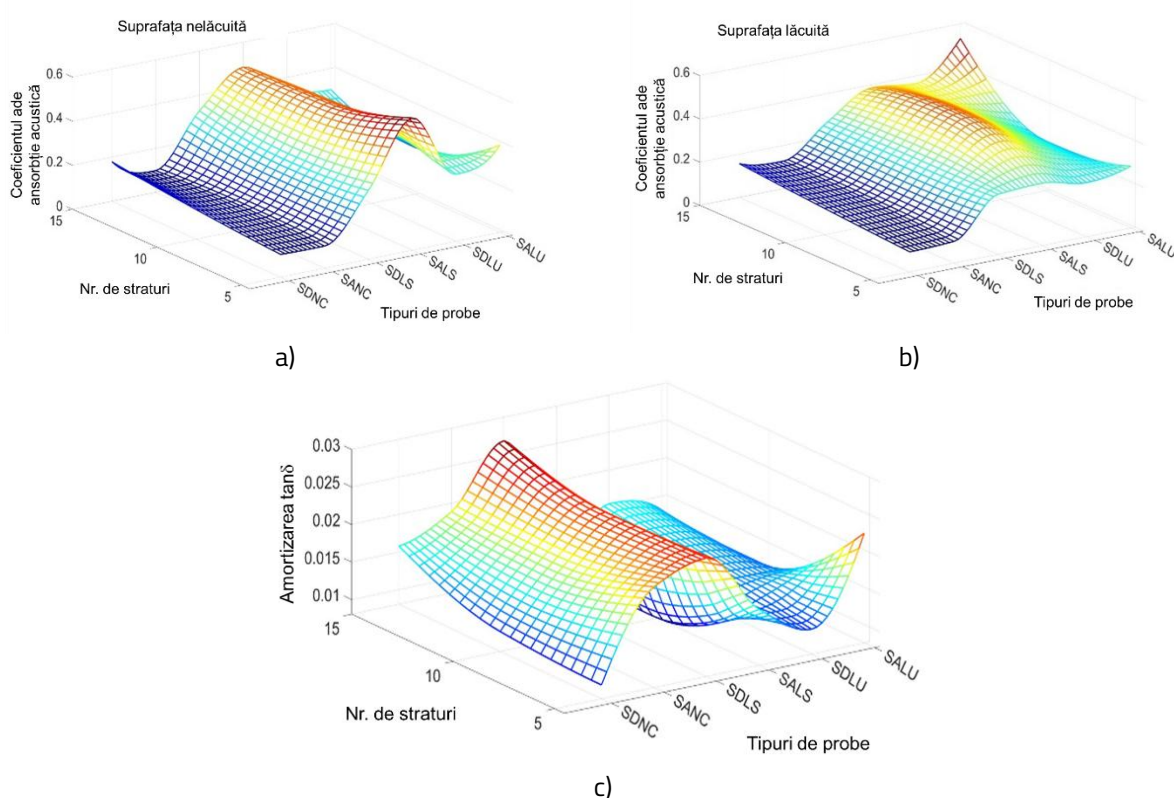


Figura 2.38. Variația parametrilor acustici: a) coeficientul de absorbție acustică pentru suprafața nelăcuită a probelor; b) coeficientul de absorbție acustică pentru suprafața lăcuită a probelor; c) amortizarea probelor lăcuite (Stanciu ș.a. 2025c)

2.4. Concluzii

În acest studiu, proprietățile acustice ale lemnului de rezonanță de molid, nelăcuit și lăcuit - acoperit cu trei tipuri diferite de lacuri utilizate în mod obișnuit în fabricarea instrumentelor muzicale - au fost investigate dintr-o perspectivă măsurării coeficienților de absorbție și reflexie a sunetului. Principalele constatări sunt următoarele:

- Pelicula de lac modifică spectrul de frecvență, atât în ceea ce privește numărul, cât și valorile frecvențelor de rezonanță, datorită rigidității crescute a plăcilor. Frecvența fundamentală este mai mare decât cea a lemnului nelăcuit.
- Lemnul de molid nelăcuit prezintă cel mai mare factor de calitate (Q). Factorul de calitate este influențat de calitatea anatomică a lemnului de molid în corelație cu tipul de lac aplicat.
- Cele mai mari valori ale coeficientului de amortizare au fost observate la scândurile de molid din clasa D lăcuite cu lacuri pe bază de ulei și nitroceluloză. Cei mai mari coeficienți de absorbție acustică au fost găsiți în probele lăcuite cu 15 straturi de lac pe bază de ulei la 2672 Hz și în cele acoperite cu 10 straturi de lac pe bază de alcool la 4650 Hz.
- Cel mai bogat spectru de frecvență a fost înregistrat în cazul plăcilor acoperite cu lac pe bază de alcool, deși toate probele au prezentat frecvențe în intervalul 270–3500 Hz.
- Absorbția sunetului pe suprafețele nelăcuite este afectată semnificativ de prezența lacului pe suprafața opusă.
- Cele mai mari valori ale coeficientului de reflexie au fost înregistrate în probele lăcuite cu lac nitrocelulozic.

Cu toate acestea, din cauza proceselor lente și variabile de uscare a lacului în lemn, acești parametri acustici se pot modifica în timp. Ca atare, se recomandă repetarea măsurărilor după minimum șase luni, așa cum sugerează cercetările anterioare în domeniu. Cercetările viitoare se vor concentra pe două direcții principale: analiza reologică a parametrilor acustici în timp și evaluarea acustică a viorilor lăcuite cu aceste tipuri diferite de lac.

Cercetările prezentate în acest studiu au fost diseminate, publicate sau prezentate în următoarele articole și capitole de cărți:

Articole ISI

1. **Stanciu, M.D.;** Cosnita, M.; Gliga, G.V.; Gurau, L.; Timar, C.M.; Guiman, M.V.; Năstac, S.M.; Roșca, I.C.; Bucur, V.; Dinulică, F. Tunable Acoustic Properties Using Different Coating Systems on Resonance Spruce Wood. Adv. Mat. Interfaces 2024, 1, 2300781, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/admi.202300781>

2. Faktorová, D.; **Stanciu, M.D.** (autor corespondent); Krbata, M.; Savin, A.; Kohutiar, M.; Chlada, M.; Năstac, S.M. Analysis of the Anisotropy of Sound Propagation Velocity in Thin Wooden Plates Using Lamb Waves. *Polymers* 2024, 16, 753. <https://doi.org/10.3390/polym16060753> (FI2024=4.7, SRI2022 = 1.961)
3. **Stanciu, M.D.**; Guiman, M.V.; Năstac, S.M. New Challenges in Assessment of the Acoustic Properties of Coating Polymers. *Polymers* 2025, 17, 1418. <https://doi.org/10.3390/polym17101418>
4. **Stanciu, M.D.**; Timar, M.C.; Mihalcica, M.; Cosnita, M.; Dinulică, F. Comparisons of the Effects of Polymer and Alcohol Varnishes on Norway Spruce Wood Surface Modifications. *Polymers* 2025, 17, 2131. <https://doi.org/10.3390/polym17152131>.

Articole BDI

- 1) **Stanciu, M.D.**, Nastac, S.M., Savin, A. (2023). Comparison Between Acoustic Spectral Evolutions of Violins Before and After Varnishing. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 16th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-Eng 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 605. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22375-4_18, pp 210–222
- 2) Guiman, M.V., **Stanciu, M.D.**, Nastac, S.M., Gliga, V.G., Savin, A. (2024). Free Vibration Analysis of Orthotropic Thin Rectangular Plates. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_5, pp. 42–53
- 3) Guiman, M.V., Roșca, I.C., Nastac, S.M., Georgescu, S.V., Câmpean, M., **Stanciu, M.D.** (2024). Sound Absorption Characteristics of Orthotropic Porous Materials. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_15, pp. 152–163
- 4) **Stanciu, M.D.**, Nauncef, A.M., Năstac, S.M., Amariei, N. (2025). Analysis of Signal Amplitude of Violins with Modified Physical Parameters. In: Auer, M.E., Rüütman, T. (eds) Futureproofing Engineering Education for Global Responsibility. ICL 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1281. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83520-9_59
- 5) **Stanciu, M.D.** (2025). Multiscale Assessment of Strings Musical Instruments. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 18th International Conference Interdisciplinarity in

Engineering. Inter-Eng 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1250. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81378-8_5

Capitol carte

1. **Stanciu, M.D.**, Coșniță, M., Coșereanu, C., Guiman, M.V., Năstac, S.M., Roșca, I.C. (2025). Effects of Violin Varnish on Some Physical, Mechanical and Acoustical Properties of Resonance Spruce and Curly Maple Samples. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) Interdisciplinary Approach to the Violin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_6
2. Drăghicescu, H.T., **Stanciu, M.D.**, Vlase, S., Mihălcică, M., Gall, R., Savin, A. (2025). Mechanical Characterization of Spruce Resonance Wood and Curly Maple for Violins. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) Interdisciplinary Approach to the Violin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_3, pp 199–231

Capitolul 3. Analiza proprietăților vâsco-elastice ale lemnului și materialelor lignocelulozice

3.1. Modificări ale comportamentului vâsco-elastic al compozitelor lignocelulozice sub acțiunea radiațiilor UV

3.1.1. Aspecte generale privind abordarea temei în literatura de specialitate

Fibrele naturale obținute din așchii/particule de lemn, fibre de in, cânepă, iută, sisal, kenaf, cocos, kapok-ul, coaja de banană reprezintă o resursă sustenabilă pentru integrarea lor în materiale/plăci lignocelulozice, fiind utilizate pe scară largă în numeroase tipuri de biocompozite datorită proprietăților lor ecologice, biodegradabile și fizice și mecanice remarcabile, precum și a versatilității lor. Aceste compozite sunt expuse riscurilor de mediu și tehnologice, cum ar fi umiditatea relativă ridicată, temperatura, radiațiile UV etc., reducându-le rezistența la diverse încărcări. Uneori, în timpul fabricării compozitelor pe bază de lemn și în special în timpul amestecării a două faze (elementele de armare - matrice), aglomerarea fibrelor sau particulelor naturale duce la formarea unor concentratori de tensiune și la o coeziune scăzută între matrice și fibre (Ndiaye ș.a. 2012; 2013). Stabilitatea termică scăzută, variabilitatea dimensională a particulelor de lemn din cauza fenomenelor de umflare și contracție, prezența golurilor și a altor defecte contribuie atât la scăderea proprietăților mecanice ale compozitelor lignocelulozice (Ratanawilai ș.a. 2014; Kim ș.a. 2006), cât și la diminuarea durabilității lor, aceste efecte fiind accentuate de factorii de mediu agresivi, cum ar fi variațiile umidității relative a aerului, temperaturii, radiațiilor UV, agenților chimici și biologici. Expunerea la radiațiile ultraviolete declanșează modificări ale structurii chimice a suprafeței compozitului, fenomen cunoscut sub numele de fotoliză. În același timp, se formează radicali liberi prin disocierea legăturilor C-H din lanțurile polimerice (Bismarck 2006; Varganici 2016). Expunerea simultană la radiațiile UV și la variațiile de temperatură accelerează procesele de degradare care au loc în compozitele lignocelulozice, cum ar fi oxidarea, degradarea chimică, degradarea caracteristicilor morfologice ale suprafeței, scăderea proprietăților mecanice și apariția fluajului (Beg ș.a. 2008; Matuana ș.a. 2002, 2011). Studiile raportate de Azwa (2013) și Peng (2016) asupra compozitelor pe bază de lemn (compozit plastic-lemn) au evidențiat influența mai multor factori, cum ar fi fracția volumică a particulelor/rășina, dimensiunea particulelor de lemn sau tipul de fibre utilizate ca elemente de armare, asupra proprietăților mecanice ale compozitelor. Matricea utilizată pentru coeziunea elementelor de armare a fost polipropilena (PP) sau polietilena (PE) (Ndiaye ș.a. 2012; Kim ș.a. 2006 și Ratanawilai ș.a. 2014).

Studiile asupra compozitelor lignocelulozice cu matrice de polipropilenă și polietilenă au arătat că expunerea la radiații UV a modificat proprietățile fizice și mecanice ale unui strat superficial subțire. Intensitatea degradării este diferită în matrice și în particulele de lemn, stratul deteriorat având un aspect rugos din cauza deteriorării matricei de polipropilenă ([Peng 2016](#); [Cerbu ș.a. 2010](#) și [Butylina ș.a. 2012](#)).

Fotodegradarea este principalul efect al radiațiilor UV din mediul înconjurător asupra materialelor polimerice, manifestat prin următoarele fenomene: ruperea legăturilor chimice dintre lanțul polimeric, ceea ce duce la formarea de radicali liberi prin disocierea legăturilor C-H din lanțurile polimerice și la oxidarea suprafeței acestuia ca urmare a radicalilor peroxid. Aceste reacții chimice au indus microfisuri pe matrice și la interfețele cu fibrele, slăbind compozitul ([Darie 2011](#); [Maxwell 2005](#)). Din punct de vedere mecanic, expunerea compozitelor lignocelulozice la radiații UV poate produce modificări ale caracteristicilor elastice și poate induce concentrații de stres la suprafața materialului polimeric (ceea ce poate duce la deteriorarea prematură a acestuia) ([Teacă 2013](#); [Bodîrlău 2009](#)). Mai mult, un rol important în degradarea compozitelor lignocelulozice îl joacă dimensiunea particulelor de lemn. În timpul agregării, compozitele armate cu particule de dimensiuni mici au o energie superficială ridicată, ceea ce diminuează aderența dintre particule și matrice și, implicit, duce la creșterea riscului de cedare a compozitului ([Bagherpour 2012](#); [Cipriano 2013](#) și [Guo 2014](#)). Cu toate acestea, s-a observat că compozitele armate cu particule de 0.2 mm au module de elasticitate și rezistență la tracțiune ridicate. Aceeași situație a fost observată și pentru compozitele realizate cu matrice de polipropilenă (PP) ([Stark și Berger 1997](#)). Proprietățile mecanice ale compozitelor lemno-plastic (WPC), determinate prin teste de tracțiune și încovoiere, arată o creștere a modulului de elasticitate E și a modulului de cedare simultan cu creșterea dimensiunii particulelor între 0.1 mm și 0.2 mm. Acești parametri mecanici sunt mai mici pentru compozitele cu particule mai mari (1.00 – 4.00 mm) ([Gozdecki 2015](#)). Proprietățile reologice ale compozitelor pe bază de lemn sunt îmbunătățite dacă fibrele de lemn sunt tratate chimic. Acest efect se datorează extracției compușilor cu greutate moleculară mică care acționează ca plastifianți asupra matricei pe bază de lignină ([Villani 2017](#)).

Din literatura de specialitate prezentată sintetic, reiese că analiza influenței diferitelor dimensiuni ale particulelor de lemn (rășinoase/foioase) asupra proprietăților mecanice ale compozitelor lignocelulozice supuse degradării UV și termice este limitată, fapt pentru care o nouă direcție de cercetare a fost cea de a examina efectele induse de radiațiile UV și degradarea termică asupra proprietăților vâsco-elastice ale unui compozit având doi constituenți principali: particule mici de stejar de diferite dimensiuni și o rășină poliesterică (440-M888 POLYLITE). Această rășină poliesterică este utilizată pentru aplicații exterioare

datorită rezistenței sale ridicate la factorii de mediu. Efectele degradării termice în ceea ce privește temperatura de tranziție sticloasă și de deformare termică au fost detectate prin analiza termodinamică mecanică (DMA), precum și asupra modificărilor morfologice ale suprafeței utilizând Microscopul cu forță atomică (AFM) de tip NTEGRA Probe Nano-laboratory.

3.1.2. Descrierea tipurilor de probe analizate și a metodelor experimentale utilizate

Materiale

Compozitele realizate pentru studiu fac parte din categoria WPC (wood plastic composite) fiind integrate ca elemente de ranforsare, particulele de lemn de stejar (*Quercus robur*) separate granulometric pe mărimi, iar matricea utilizată a fost rășina poliesterică de tip POLYLITE 440 - M888. Analiza granulometrică (echipament Fritsch) a fost utilizată pentru a clasifica particulele de deșeuri de stejar în cinci clase, cu site de următoarele dimensiuni: 1 mm, 0.4 mm, 0.2 mm, 0.1 mm și 0.04 mm. Particulele de stejar au fost condiționate la un conținut de umiditate de 5-6%, iar greutatea lor specifică a fost determinată cu un picnometru. Astfel au rezultat cinci clase, și anume: probe cu particule sub 0.04 mm; probe cu particule în intervalul $0,04 \div 0.1$ mm; probe cu particule în intervalul $0.1 \div 0.2$ mm; probe cu particule în intervalul $0.2 \div 0.4$ mm; probe cu particule în intervalul $0.4 \div 1$ mm. În [Figura 3.1](#) sunt prezentate tipurile de probe. Frația de fibre volumice de 25% a fost menținută constantă pentru toate probele compozite. Pentru fiecare tip de material armat cu particule de o anumită dimensiune, au fost realizate epruvete prin turnare manuală. În acest fel, au fost produse cinci tipuri de compozite, codificate astfel:

- L 0.04 particule de lemn mai mici de 0.04 mm;
- L 0.1 particule de lemn între $0.04 \div 0.1$ mm;
- L 0.2 particule de lemn între $0.1 \div 0.2$ mm;
- L 0.4 particule de lemn între $0.2 \div 0.4$ mm;
- L 1.0 particule de lemn între $0.4 \div 1$ mm.

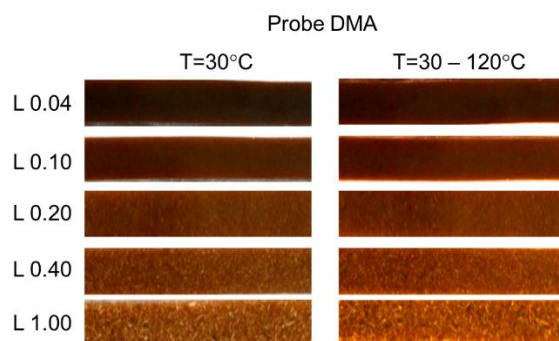


Figura 3.1. Tipurile de probe compozite lignocelulozice (Stanciu ș.a. 2018b)

În [Tabelul 3. 1](#) sunt prezentate caracteristicile fizice ale acestor epruvete, ca valori medii și deviația standard.

Tabelul 3. 1. Caracteristicile fizice și geometrice ale epruvetelor ([Stanciu ș.a. 2018b](#))

Proba	Lungimea L (mm)	Lățimea l (mm)	Grosimea h (mm)	Masa m (g)	Densitatea ρ (kg/m ³)
L 0.04	48.77	10.26	4.21	2.57	1221.50
	1.59	0.04	0.09	0.14	4.95
L 0.01	48.27	10.47	4.17	2.52	1197.50
	1.21	0.06	0.11	0.10	6.36
L 0.2	49.21	10.11	4.53	2.69	1191.50
	1.12	0.06	0.28	0.25	4.95
L 0.4	49.42	10.06	4.49	2.62	1173.50
	0.75	0.08	0.19	0.08	6.36
L 1.0	49.16	10.20	4.41	2.54	1150.00
	1.18	0.24	0.01	0.01	4.24

Metode

Proprietățile vâsco-elastice ale epruvetelor înainte și după tratamentul de îmbătrânire, au fost determinate prin metoda analizei mecanice în regim dinamic, utilizând analizorul DMA242 C Netzsch – Germania, din Laboratorul de Încercări Nedistructive – IFT Iași. Testul a constatat în solicitarea probelor la încărcări dinamice de încovoiere în trei puncte, conform prezentării din [Figura 3.2](#). Testul dinamic a constatat în două etape:

Etapa I: Determinarea modului de elasticitate complex E^* , cu cele două componente ale sale (modulul de conservare E' și modulul de pierdere E'') și factorul de amortizare $\tan\delta$ au fost determinate mai întâi în condiții izoterme ($T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$) și izocrone ($t = 30\text{ minute}$), prin variația frecvenței de încărcare ($f = 1\text{ Hz}$; 5 Hz ; 10 Hz ; 50 Hz) cu o amplitudine de 0.03 mm . Forța de solicitare a fost de 6 N .

Etapa a II a: a constatat în variația condițiilor de temperatură în intervalul $30\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, cu o rată de $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

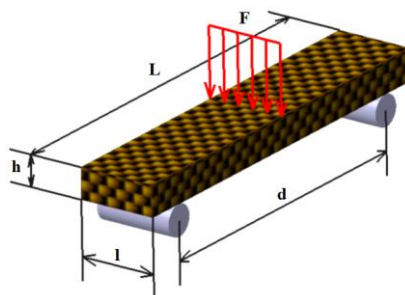


Figura 3.2. Forma geometrică a epruvetelor testate la DMA (L- lungimea; d- distanța dintre reazeme; l – lățimea; h – grosimea, F- forța aplicată) ([Stanciu ș.a. 2018b](#))

Înainte și după radiația UV, morfologia suprafeței probelor a fost evaluată prin microscopul de forță atomică (AFM) de tip NTEGRA Probe Nano-laboratory, în mod semi-contact, utilizând un suport tip consolă NSG 10, la o forță constantă. Măsurătorile AFM au fost procesate cu ajutorul software-ului NOVA 1.0.26 RC1, care permite măsurarea rugozității și calcularea rugozității medii a suprafeței (Coșniță M et al. 2013). Au fost realizate imagini 3D și 2D. Imaginile de contrast de fază ale fiecărei probe au fost analizate pentru determinarea rugozității suprafeței (R_q), care a fost determinată pentru fiecare probă, luând în considerare media pătratică a ordonatelor profilului de rugozitate pentru o suprafață de 0.025 mm^2 .

Procesul accelerat de fotodegradare a probelor a fost produs într-o cameră cilindrică echipată cu trei lămpi fluorescente, Philips de 18 W, situate la 120° una față de cealaltă. Epruvetele au fost fixate pe un suport metalic proiectat astfel încât să expună uniform întreaga suprafață la radiații UV-A cu o lungime de undă λ de 365 nm timp de 168 de ore (7 zile), verificând la fiecare 24 de ore, integritatea și stabilitatea acestora în standul de expunere. După expunerea la radiații UV și variația temperaturii cu DMA, rugozitatea suprafeței probelor a fost reevaluată cu ajutorul microscopului cu forță atomică (Stanciu ș.a. 2018a,b). Morfologia suprafeței sprobelor a fost măsurată cu ajutorul microscopului cu forță atomică, urmând procedura specificată în ISO 4287/1.

3.1.3. Efectele UV asupra proprietăților vâsco-elastice ale compozitelor pe bază de lemn – condiții izoterme ($T=30^\circ\text{C}$ (constant), $t=30 \text{ min}$)

Ca o tendință generală, s-a observat că expunerea la radiații UV a cauzat creșterea rigidității probelor, indusă de comportamentul specific al rășinii. Această tendință este indiferent de frecvență (Figura 3.3). Această observație este în acord cu (Benini ș.a. 2011). Cu toate acestea, un comportament particular a fost observat în cazul compozitelor armate cu particule de 0.2 mm, în cazul cărora, după expunerea la UV, s-a observat o scădere a modulului de conservare E' . Un comportament similar a fost observat în cazul compozitelor cu matrice de polipropilenă armate cu particule de lemn cu dimensiunea de 0.25 mm (Terciu și Curtu 2012; Pothan ș.a. 2003 și Romanzini ș.a. 2013). Înainte de tratamentul UV s-au observat vârfuri caracteristice la solicitarea ciclică cu frecvența de 50 Hz. Aceste vârfuri sunt explicate prin efectul componentelor de lignină în particulele de stejar (Villani 2017). După tratamentul cu UV, s-a observat dispariția vârfurilor de rezonanță atribuibile ligninei, confirmând reacția chimică ce generează radicali liberi în rășina poliesterică.

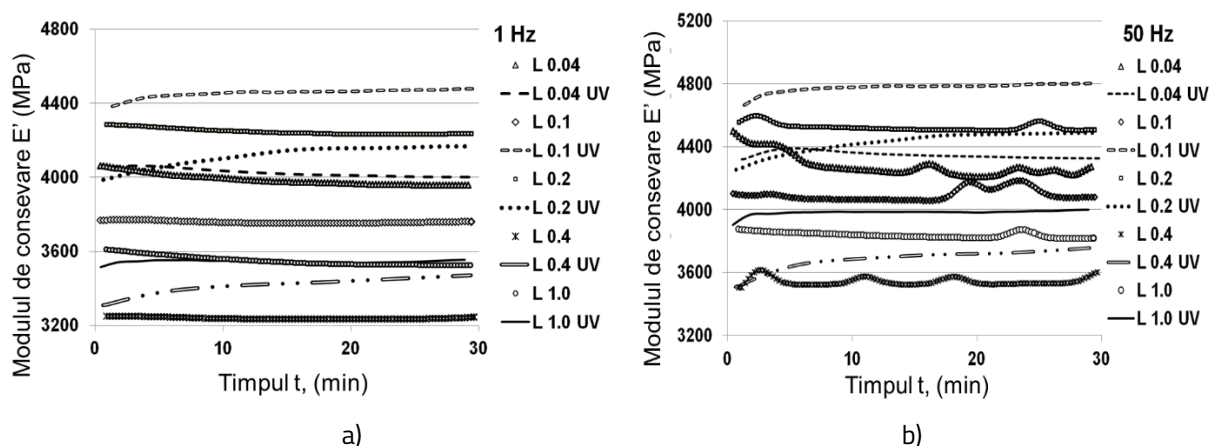


Figura 3.3. Variația modulului de conservare E' în funcție de timp în condiții izoterme pentru epruvetele expuse la UV și pentru epruvetele de referință, netratate. a) Încărcare la frecvența de 1 Hz; b) Încărcare la frecvența de 50 Hz (Stanciu ș.a. 2018b)

Figura 3. 4 prezintă variația modulului complex E^* în funcție de frecvență în intervalul de la 1 Hz la 50 Hz. Pe acest grafic, observăm trei zone de frecvență, și anume între 1 Hz și 5 Hz, între 5 Hz și 10 Hz și între 10 Hz și 50 Hz. Pentru toate probelor compozite, modulul complex crește de la 1 Hz la 5 Hz. În a doua zonă, modulul complex este destul de constant. În a treia zonă, observăm din nou o creștere a valorilor modulului E^* . În ceea ce privește comportamentul vâscos influențat de radiațiile UV, cea mai spectaculoasă diferență a fost observată pentru compozitul cu particule de 1 mm, pentru care modulul de pierdere E'' crește cu aproape 77% după tratamentul cu UV. Cea mai mică variație a modulului complex a fost în cazul epruvetelor armate cu cele mai mici particule de lemn (0.04 mm)(Figura 3.4.).

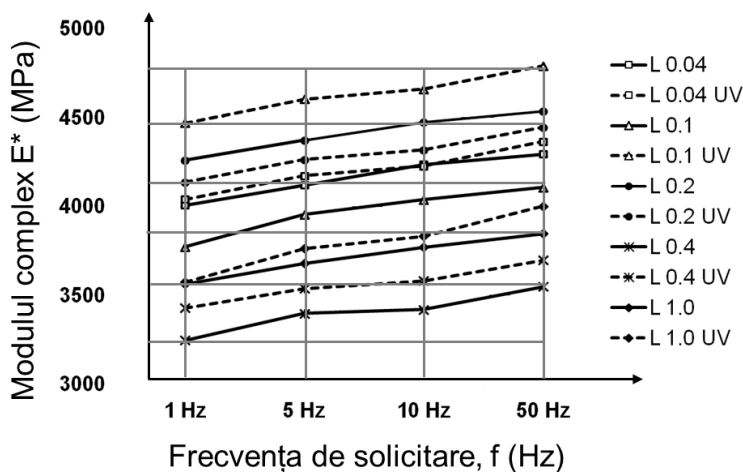
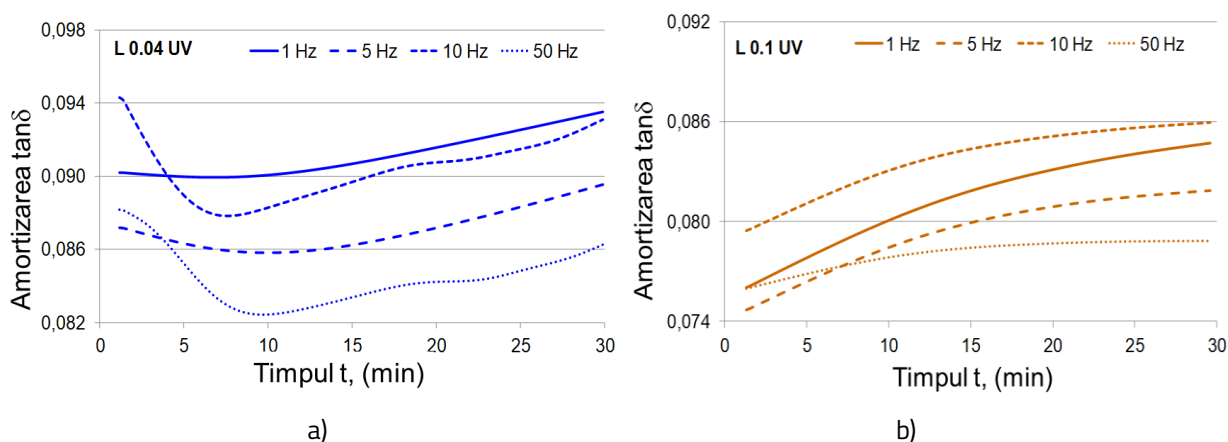


Figura 3. 4. Variația modulului complex E^* în funcție de frecvența de solicitare, pentru expunerea la UV a probelor și pentru cele de referință, netratate (Stanciu ș.a. 2018b).

Tabelul 3. 2. Valorile medii ale modulului de vâsco E'' pentru fiecare frecvență de solicitare (Stanciu ș.a. 2018b)

Frecvența	Valori medii ale E'' [MPa]														
	L 0.04			L 0.1			L 0.2			L 0.4			L 1.0		
	L 0.04	UV	%	L 0.1	UV	%	L 0.2	UV	%	L 0.4	UV	%	L 1.0	UV	%
1 Hz	377	367	-3	338	363	7	326	390	19	243	276	12	289	464	60
5 Hz	361	362	0	369	365	-1	299	383	28	258	270	5	269	445	66
10 Hz	324	380	18	339	389	15	287	402	40	239	288	17	256	453	77
50 Hz	314	367	17	312	373	19	272	380	39	210	274	23	256	416	62

Se poate aprecia că variațiile modulului de conservare, ce reprezintă componenta elastică a materialului polimeric, au fost determinate de modificări microstructurale induse de încărcarea ciclică. Având în vedere faptul că probele au fost supuse unei încovoieri dinamice, s-au dezvoltat tensiuni extreme în straturile superioare și inferioare. În aceste zone, efectul radiațiilor UV este semnificativ și se datorează proceselor de reticulare care au loc în polimer (Pepper, 2016, Pothan ș.a. 2003). Alte aspecte interesante ale proprietăților vâsco-elastice ale compozitelor lignocelulozice sunt legate de variațiile frecării interne în funcție de timp și temperatură, așa cum vom vedea în Figura 3.5. După cum se observă în Figura 3.5, în general, pentru toate tipurile de probe studiate, după expunerea la radiații UV, s-a observat o creștere a frecării interne odată cu creșterea dimensiunii particulelor. Două excepții merită comentate. Pentru epruvetele ranforsate cu particule de lemn foarte mici ($< 0,04$ mm), frecarea internă a fost mai redusă în primele 10 minute de solicitare, comparativ cu comportarea probelor înainte de expunerea la tratamentul de fotoliză. Cu toate acestea, în intervalul 10 minute - 30 de minute, frecarea internă crește în timp.



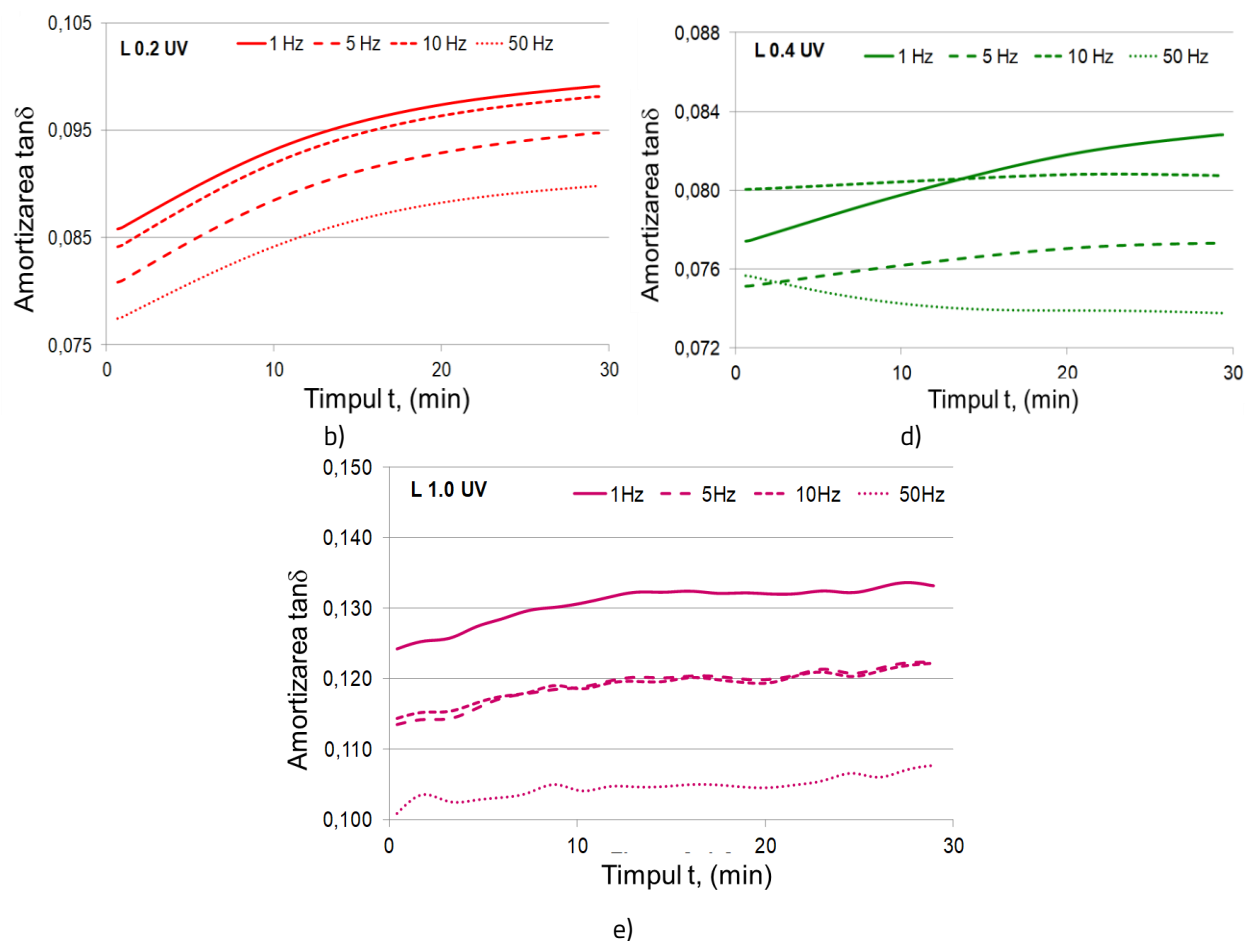


Figura 3.5. Variația frecării interne exprimată prin $\tan \delta$ în funcție de timpul de solicitare, pentru epruvetele fotodegradate și pentru cele de referință netratate, în intervalul de frecvență 1 Hz, 5 Hz, 10 Hz și 50 Hz. Legendă: a) proba L 0.04; b) proba L 0.1; c) proba L 0.2; d) proba L 0.4; e) proba L 1.0 (Stanciu ș.a. 2018b)

Acest fenomen poate fi explicat prin faptul că expunerea la UV accelerează procesele de reticulare asupra rășinii poliesterice, particulele de lemn foarte mici fiind incluse în lanțuri polimerice, determinând o structură cvasi-omogenă a compozitului. Cu cât particulele sunt mai mari, cu atât este mai mare energia de deformare disipată în matrice și în elementele de armare, în funcție de caracteristicile vâsco-elastice ale particulelor de lemn și ale rășinii poliesterice. Cu toate acestea, așa cum menționează (Essabir ș.a. 2016), creșterea frecvenței de încărcare a cauzat scăderea $\tan \delta$ și, prin urmare, putem observa că capacitatea materialului de a absorbi energia de deformare scade. Pe de altă parte, odată cu creșterea duratei de încărcare, frecările interne cresc, procesul de relaxare fiind inhibat indiferent de dimensiunea particulelor de lemn, așa cum au observat (Pothan ș.a. 2003 și Romanzini ș.a. 2013). Variația amortizării în cazul compozitelor armate cu particule cu dimensiuni cuprinse între 0.2 mm și 1 mm este clar diferită (Figura 3.5.c,e).

3.1.4. Efectul degradării termice corelată cu analiza dinamică

Efectul degradării termice a fost studiat în intervalul de variații de temperatură cuprins între 30 °C și 120 °C. Efectul temperaturii asupra comportamentului vâsco-elastic al compozitelor poliesterice armate cu particule de lemn a fost observat pe epruvete expuse la cinci trepte de temperatură cuprinse între 30 °C și 120 °C, cu o viteză de încălzire de 2 °C/min, timp de 45-50 de minute. Epruvete au fost, de asemenea, supuse unei forțe de încovoiere de 6 N, cu o frecvență de 1 Hz. [Figura 3. 6](#) prezintă variația frecării interne exprimată prin $\tan \delta$ în funcție de temperatură, pentru epruvete fotodegradabile și pentru epruvete de referință, netratate, în intervalul de temperatură cuprins între 30 °C și 130 °C. Se poate observa că temperatura de tranziție sticloasă crește pentru probele expuse la radiații UV în comparație cu probele netratate. Odată cu creșterea temperaturii, s-a observat existența a trei zone de tranziție pentru amortizarea $\tan \delta$, și anume: prima zonă în intervalul de temperatură 30–60 °C, a doua zonă în intervalul de temperatură 60–90 °C și a treia zonă în intervalul 90–120 °C. Astfel:

(a) În prima zonă de temperatură, curbele de amortizare sunt aproape identice atât pentru probele de control, cât și pentru probele expuse la UV, indiferent de dimensiunea particulelor de lemn ([Figura 3. 6 a-e](#)). În acest interval de temperatură, efectul radiațiilor UV nu este semnificativ pentru probele armate cu particule mai mici de 0.4 mm. Pentru compozitele cu particule de lemn de 1 mm, procesele de fotodegradare și degradare termică au un impact mai mare asupra modificărilor comportamentului vâsco-elastic al compozitelor. Probele expuse la UV au o pantă crescută. Matricea reacționează diferit odată cu creșterea temperaturii și a radiațiilor UV ([Figura 3. 6 e](#)). Rășina poliesterică își pierde capacitatea de a transmite forțe de aderență interne elementelor de armare. Zonele în formă de clopot de pe diagramă desemnează comportamentul de relaxare al rășinii în starea sa de tranziție, atunci când sistemul de particule de armare cu matrice începe procesul de tranziție vitroasă. ([Terciu și Curtu 2012](#), [Romanzini ș.a. 2013](#) și [Peng ș.a. 2014](#)).

(b) În a doua zonă de temperatură 60 - 90 °C, s-au observat diferențe în ceea ce privește panta curbelor, valorile coeficientului de amortizare și temperatura de tranziție. Modificările temperaturii de tranziție sticloasă au fost induse de degradarea oxidativă și termică a rășinii poliesterice și fenomenele de contracție a particulelor de lemn. Tratamentul UV (linia punctată) modifică poziția vârfului, dar magnitudinea nu crește semnificativ.

(c) O a treia zonă de fluaj este observată la temperaturi peste 90 °C, unde curba de amortizare își modifică panta. Procesul de degradare termică este ilustrat de scăderea semnificativă a valorilor $\tan \delta$. Degradarea proprietăților compozitelor este datorată temperaturii de tranziție a matricei și fenomenelor termice legate de particulele de lemn. Încălzirea compozitelor lignocelulozice duce la evaporarea apei din lemn; grupările OH eliminate accentuează

producerea de reacții oxidative în microstructura compozitului (Stanciu ș.a. 2018b). Temperatura de deformare (Temperatura de Deformare Termică HDT) este prezentată în Tabelul 3. 3.

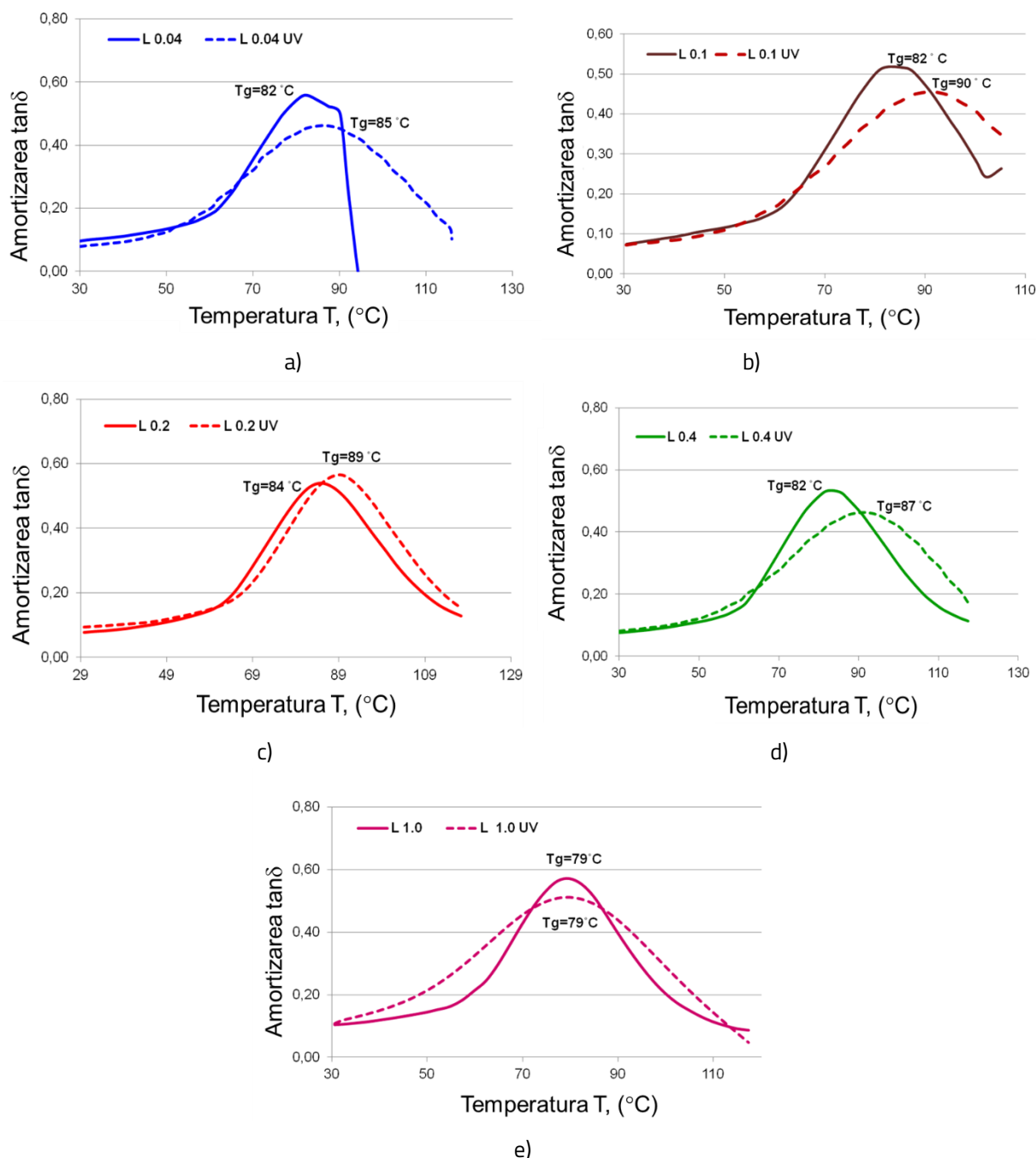


Figura 3. 6. Variația frecării interne exprimată prin $\tan \delta$ în funcție de temperatură, pentru probele fotodegradate și pentru cele de referință, netratate, în intervalul de temperatură cuprins între 30 °C și 120 °C. Legendă: a) proba L 0.04; b) proba L 0.1; c) proba L 0.2; d) proba L 0,4; e) proba L 1.0 (Stanciu ș.a. 2018b)

Tabelul 3.3. Valori medii ale temperaturii de tranziție sticloasă T_g , pentru fiecare tip de probă înainte și după expunerea la radiații UV (Stanciu ș.a. 2018b)

Tipul de probă	Înainte de UV		După UV		$\Delta T_g = T_{g,UV} - T_g$ (°C)	Temperatura de deformare la	Temperatura de deformare la
	T_g (°C)	Amortizarea $\tan \delta$	T_g (°C)	Amortizarea $\tan \delta$		căldură, probe netratate UV HDT (°C)	căldură, probe tratate UV HDT _{UV} (°C)
L 0.04	82	0.558	85	0.461	3	79	79
L 0.1	82	0.519	90	0.455	8	77	81
L 0.2	82	0.538	89	0.565	7	83	82
L 0.4	82	0.533	87	0.456	5	80	78
L 1.0	79	0.570	79	0.510	0	80	77

Temperatura de deformare la căldură exprimă stabilitatea termică a compozitului. [Pepper \(2016\)](#) și [Essabir \(2016\)](#) au observat că pentru epruvetele cu particule de maximum 0.25 mm, temperatura de tranziție este de aproximativ 80°C, ceea ce corespunde temperaturii de tranziție a rășinii poliesterice. Diferența mai mare în ceea ce privește temperatura de tranziție vitroasă se observă în cazul compozitelor armate cu particule de 0.1 mm (aproximativ 8 °C). Această diferență a scăzut odată cu creșterea dimensiunii particulelor. Este interesant de subliniat faptul că, temperatura de tranziție a fost de 82°C, aceeași, pentru probele netratate, armate cu particule de lemn cuprinse între 0.04 mm și 0.4 mm. Creșterea dimensiunii particulelor de lemn de la 0.4 mm la 1 mm a introdus un echilibru între procesele de fotoliză și cele de degradare termică a matricei de poliester. De exemplu, proba de compozit cu particule de lemn de 1 mm, tratată cu UV are aceeași temperatură de tranziție ca și cea netratată, și anume temperatura de 79°C. Când se compară temperatura de tranziție vitroasă a rășinii poliesterice tipice (de 90°C) cu cea a compozitelor armate cu particule de lemn și matricea de poliester, observăm că temperatura lor de tranziție este mai mică cu aproximativ 11-12%, ceea ce este în concordanță cu datele lui [Guo ș.a. \(2014\)](#) și [Peng ș.a. \(2014\)](#).

[Figura 3.7](#) prezintă variația modului de pierdere E'' în funcție de modulul de stocare E' (diagrame Cole-Cole) pentru toate probele studiate. Influența dimensiunii particulelor de armare se observă la începutul încărcării (în câmpul elastic, dacă $E' < 1000$ MPa), când pantele curbelor sunt caracteristice pentru fiecare tip de probă ([Figura 3.7, a-e](#)). Diagramele Cole-Cole sunt asimetrice pentru toate probele. Acest lucru este în acord cu faptul că materialele polimerice amorfe, la tranziția vitroasă, prezintă mai multe fenomene de relaxare care pot fi atribuite rearanjărilor moleculare ([Bodîrlău 2009](#); [Chaochanchaikul 2012](#)).

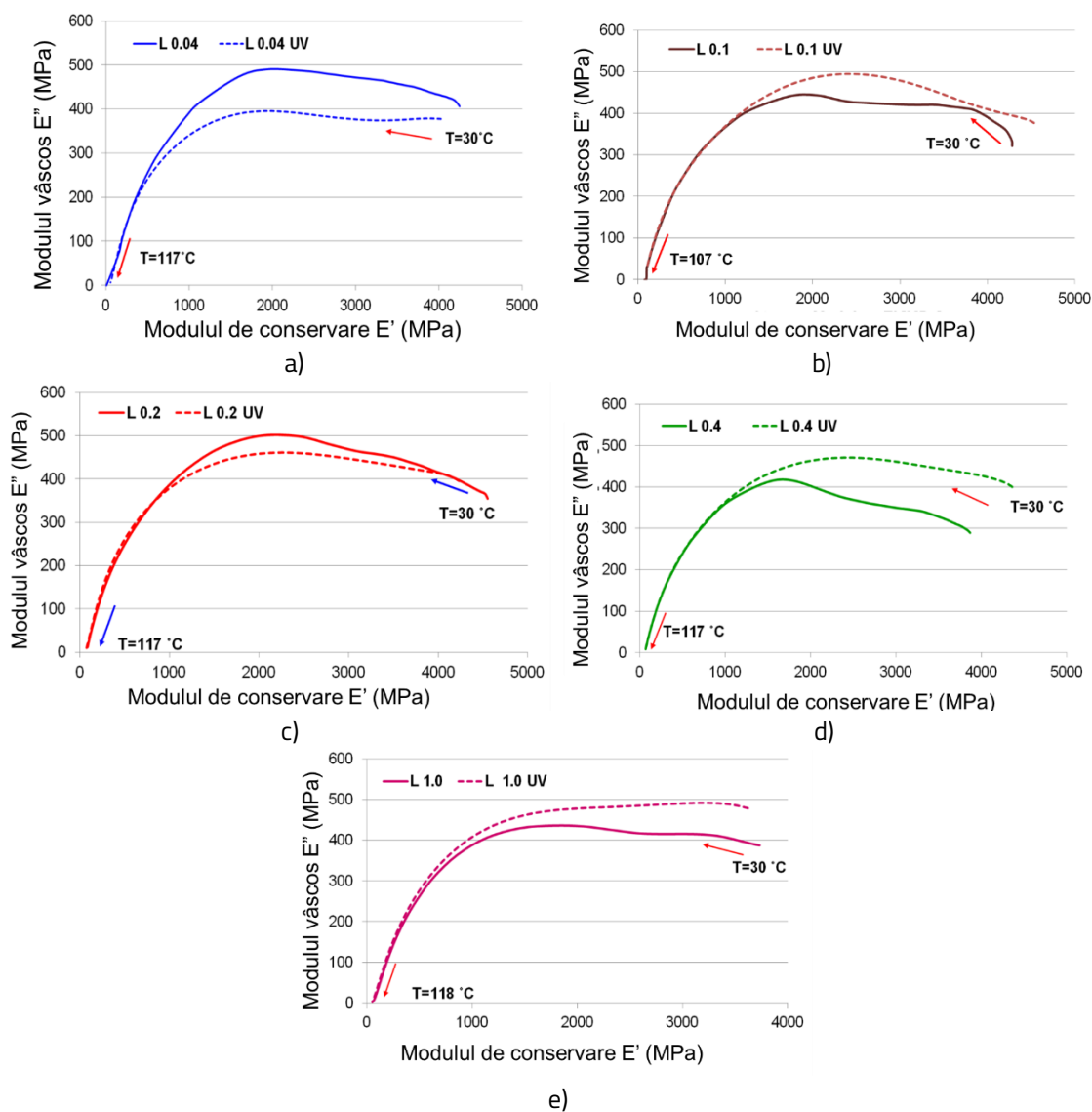
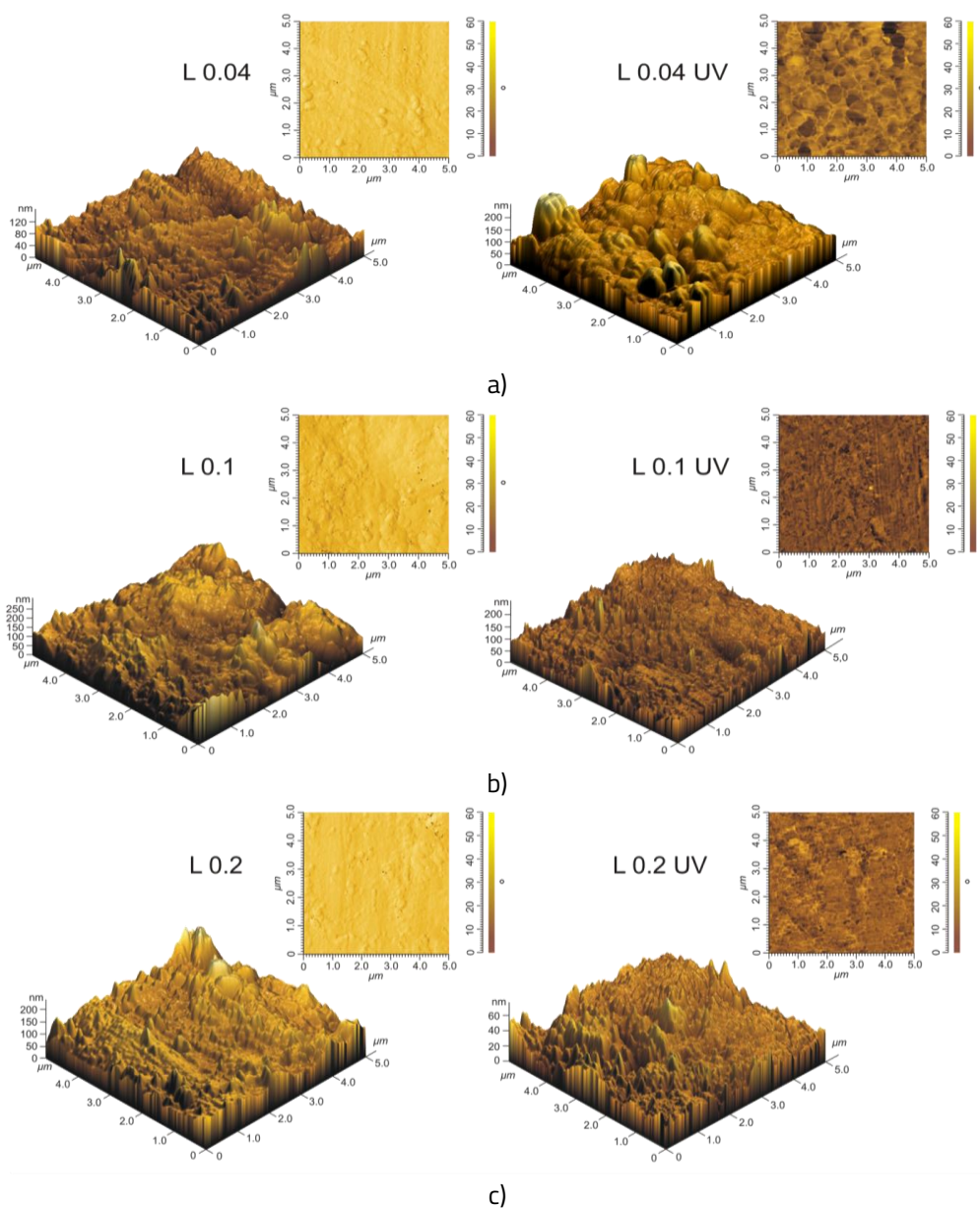


Figura 3.7. Diagrame Cole-Cole pentru fiecare tip de probe compozite lignocelulozice studiate. a) 0.04 mm particles; b) 0.1 mm; c) 0.2 mm; d) 0.4 mm; e) 1 mm (Stanciu ș.a. 2018b)

3.1.5. Analiza modificărilor morfologice ca urmare a îmbătrânirii artificiale

Modificările morfologice ale suprefeței compozitelor lignocelulozice ranforsate cu particule de lemn ca urmare a expunerii la radiații UV sunt ilustrate cu imagini obținute cu microscopul cu forță atomică AFM. **Figura 3.8** prezintă imagini 3D și imagini cu contrastul de fază pentru suprafața fiecărei epruvete analizate înainte și după expunerea la radiații UV. Imaginile cu contrastul de fază pentru probele netratate ilustrează chimic o suprafață omogenă, care contrastează cu suprafața după expunerea la UV, atunci când anumiți compuși chimici migrează la suprafața probei. Pe suprafața probei se observă unele pete negre de lignină, arătând că aceasta este neomogenă. Această observație este în acord cu afirmația lui

[Chaochanchaikul \(2012\)](#). Moleculele de lignină sunt cunoscute ca având cea mai mare susceptibilitate la degradarea oxidativă ([Saha ș.a. 2014](#); [Cheng ș.a. 2015](#); [Stanciu ș.a. 2016](#)). Analiza spectroscopică ATR-FTIR și spectroscopia FT-Raman efectuate de ([Cogulet ș.a. 2016](#)) confirmă evoluția culorii lemnului de la galben la maro (0 h până la 168 h), cauzată de fotosensibilitatea atomi de carbon α și β din lignină ([Figura 3. 9](#)), așa cum se explică în modelul nostru. Clivajul legăturii β -O-4 și legăturile libere rotative conferă mai multă flexibilitate macromoleculei de lignină ([Saha 2014](#)).



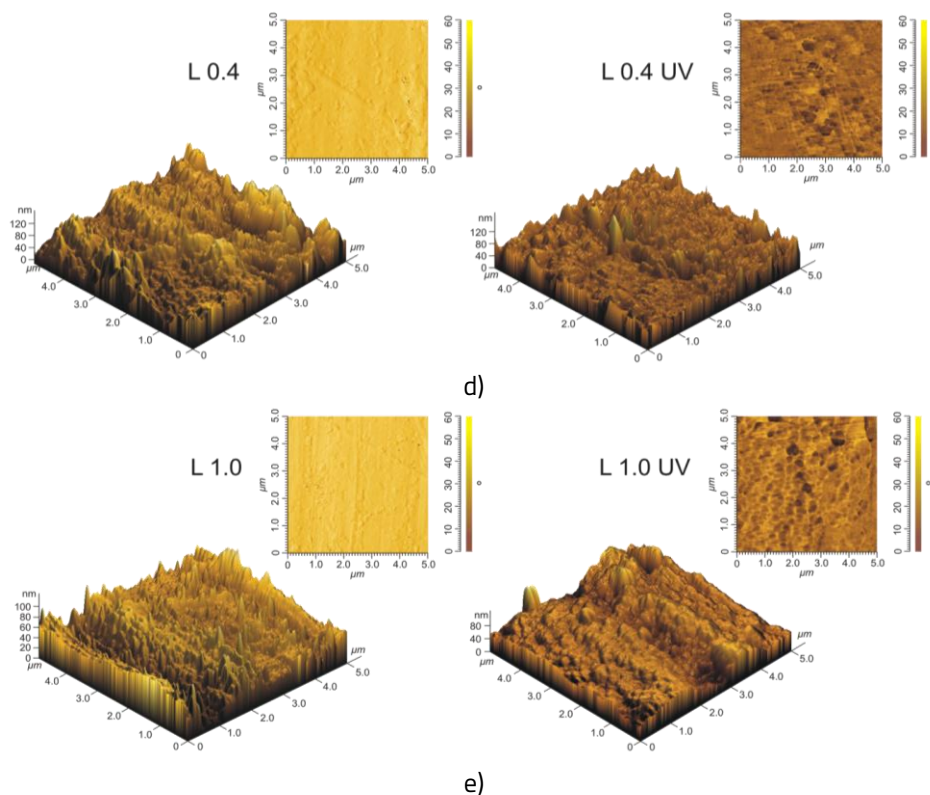


Figura 3.8. Comparație între imaginile 3D și imaginile cu contrast de fază pentru suprafața ($5 \times 5 \mu\text{m}^2$) a fiecărei probe netratate, respectiv expusă la radiații UV (Stanciu ș.a. 2018b)

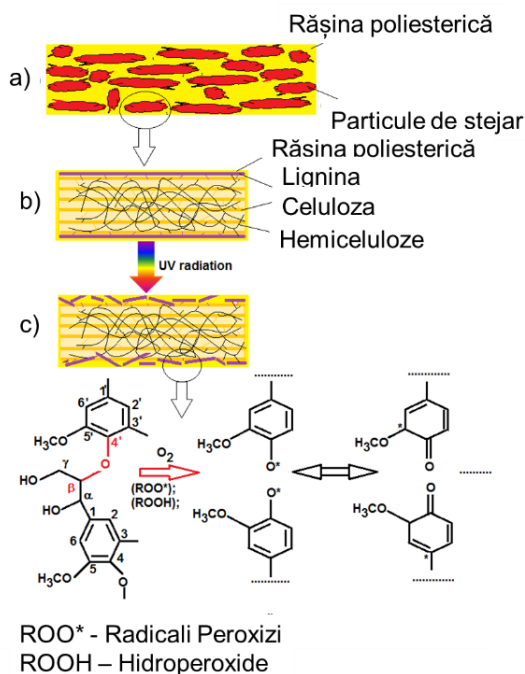


Figura 3.9. Reprezentare schematică a degradării induse de radiațiile UV pe epruvete compuse din particule de stejar și rășină poliesterică: a) Principalii constituenți ai compozitelor; b) Constituenți chimici și calitatea suprafeței epruvetei înainte de tratament; c) rugozitatea suprafeței epruvetei după tratament; d) reacții chimice (Stanciu ș.a. 2018b)

Rugozitatea suprafeței (R_q) a fost determinată pentru fiecare probă cu media pătratică a ordonatelor profilului de rugozitate pentru o suprafață de 0.025 mm^2 (Figura 3. 10).

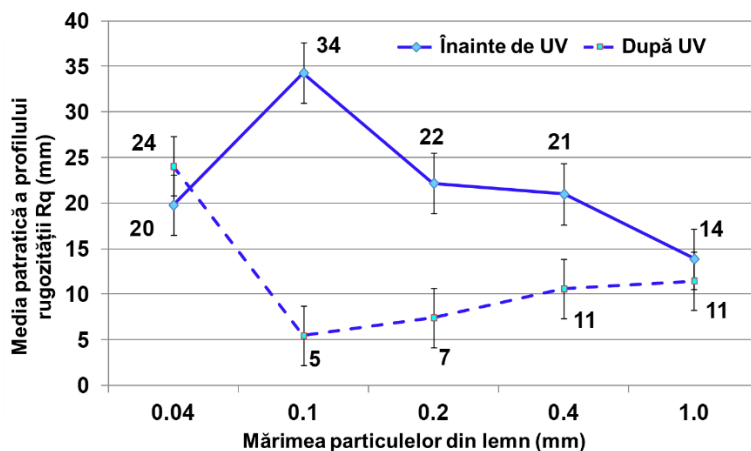


Figura 3. 10. Variația rugozității medii pătratice R_q a probelor în funcție de dimensiunea particulelor (Stanciu ș.a. 2018b).

În general, s-au observat două tendințe. Primul caz este cel al probelor a căror rugozitate a crescut după expunerea la radiații UV, ceea ce arată o degradare oxidativă a suprafeței probei armate cu particule de lemn de 0.04 mm (L 0.04). Al doilea caz este cel al probelor care au înregistrat o scădere a rugozității cu zeci de nanometri (nm) după expunerea la UV. Aceste probe sunt instabile morfologic (L 0.1, L 0.2 și L 0.4). În cazul prezentului experiment, cele mai stabile probe sunt probele cu rășină poliesterică armată cu particule de stejar de 0.04 mm și 1 mm.

3.1.6. Concluzii

Acest studiu a evaluat efectele dimensionale ale particulelor de stejar obținute ca deșeuri de la prelucrarea superioară a lemnului, cuprinse între 0.04 mm și 1 mm, asupra proprietăților vâsco-elastice ale unui compozit bicomponent, particule de stejar și o rășină poliesterică, supuse radiațiilor UV, degradării termice și mecanice determinate cu DMA. Dimensiunile particulelor de 0.04 mm și 1 mm au un efect redus asupra comportamentului vâsco-elastic al compozitelor pe bază de lemn fabricate cu aceste particule de stejar și matrice poliesterică și supuse radiațiilor UV. Cu toate acestea, cel mai mare efect al radiațiilor UV asupra modulului complex E^* a fost înregistrat pentru compozitele realizate din particule de stejar de 0.1 mm, fiind cu 20% mai mare decât înainte de expunerea la UV. Cel mai sensibil parametru reologic este frecarea internă (amortizarea). După expunerea la radiații ultraviolete, pe măsură ce dimensiunea particulelor crește, capacitatea de amortizare a probelor compozite armate cu

particule de lemn a crescut ușor, indiferent de frecvența aplicată a încălzirii cu DMA. Cel mai mare efect de amortizare în sens crescător (77%) după expunerea la UV a fost observat la epruvetele cu particule de 1 mm. Degradările termice și UV ale matricei au determinat creșterea temperaturii de tranziție sticloasă T_g , care este cea mai mare în cazul compozitului cu particule de stejar de 0.1 mm. După expunerea la UV, creșterea dimensiunii particulelor din compozit a indus scăderea temperaturii de tranziție vitroasă. Radiațiile UV au indus instabilitate morfologică structurală la scară nanometrică pe suprafața probelor. Din punct de vedere morfologic, cele mai stabile la radiațiile UV și la degradarea termică sunt probele armate cu particule de lemn de 1 mm.

Cercetările prezentate în acest capitol au fost diseminate sub forma a 3 articole ISI și 1 articol BDI:

Articole ISI

Stanciu M.D, Bucur V., Valcea C. S., Savin A., Sturm R., (2018) Oak particles size effects on viscous-elastic properties of wood polyester resin composite submitted to ultraviolet radiation, *Wood Sci Technol* 52 (2): 365-382 (2018) (FI=1,706; SRI=2,454).

Stanciu M.D., Savin A., Nastac S.M, (2018) Mechanical and surface properties of lignocellulosic fibres reinforced composites, in *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 64 (2018) 11, 698-705, ISSN 0039-2480 (FI=1,182; SRI=0,503)

Stanciu M.D., Teodorescu D. H., Tămaș F., Terciu O.M. Mechanical and Rheological Behaviour of Composites Reinforced with Natural Fibres, *Polymers* 2020, 12 (6), 1402; (FI= 3.426; SRI=1.9) doi:10.3390/polym12061402

Articol BDI - Springer

Stanciu MD, Curtu I, Groza M, Savin A (2016) The Evaluation of Rheological Properties of Composites Reinforced with Hemp Subjected to Photo and Thermal Degradation. *CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering* (A. Chiru and N. Ispas Eds.), DOI 10.1007/978-3-319-45447-4_62

3.2. Degradarea proprietăților mecanice ale lemnului la solicitarea ciclică axial – simetrică paralelă cu fibrele lemnului

3.2.1. Aspecte generale privind comportarea lemnului la solicitări ciclice

Lemnul, datorită structurii sale polimerice și stratificate, este considerat un material compozit natural. Astfel, lemnul târziu și lemnul timpuriu pot fi considerate straturi compozite [Gong & Smith, 1999](#); [Ion ș.a. 2017](#). Lățimile, proporția și densitatea acestora variază, în funcție de mediul specific și de condițiile de sol de la an la an ([Silvestru ș.a. 2018](#)). Lemnul este alcătuit dintr-un sistem foarte complex de fibre, celule, substanțe cimentante etc., a căror coeziune fizică și chimică pune probleme deosebite în calculele de rezistență și rigiditate, comparativ cu materialele omogene și izotrope, cum ar fi, de exemplu, metalele ([Christoforo ș.a. 2019](#); [Dai & Fan, 2014](#); [Feio ș.a. 2005](#)). În zilele noastre, lemnul și materialele pe bază de lemn au reintrat în atenția arhitecților și constructorilor, fiind un material cu numeroase calități fizice, mecanice, acustice și de prelucrabilitate. Numeroase studii privind proprietățile mecanice ale lemnului de esență moale utilizat în construcții au fost efectuate pentru a evidenția corelațiile dintre structura lemnului, clasa de calitate, tipul de solicitare mecanică și modurile de cedare ([Ion ș.a. 2017](#); [Fakoor ș.a. 2014](#); [Gaff & Gašparik, 2015](#)). Luând în considerare modificările structurale produse de solicitările ciclice, precum și modificarea secțiunii de rupere la întindere a probelor de lemn, [Christoforo ș.a. 2019](#) prezintă un model matematic pentru determinarea coeficientului de formă care exprimă relația dintre aria de rupere reală și aria teoretică. Tensiunea este distribuită la solicitarea tracțiunii paralele cu fibre din diferite specii de lemn din Brazilia. Cu toate acestea, solicitările ciclice ale structurilor din lemn duc la o reducere constantă a rezistenței lemnului prin acumularea energiei de deformare și producerea de deformări plastice la nivelul pereților celulari. Studiile au arătat că, pentru a prezice comportamentul lemnului în timp, în proiectarea și construcția elementelor structurale trebuie să se țină cont nu numai de valorile tensiunilor admisibile, ci și de capacitatea de a încărca lemnul sub sarcină ciclică, respectiv funcția de fluaj și relaxare a lemnului ([Konstantinov ș.a. 2018](#); [Pečnik ș.a. 2019](#); [Sharapov ș.a. 2016](#)). [Gong și colab. 1999](#) au analizat mecanismul de rupere a lemnului de esență moale supus unor solicitări ciclice de compresiune paralele cu fibrele, observând că procesul de degradare mecanică este însoțit de o degradare structurală caracterizată prin trei etape: inițierea îndoirii, creșterea îndoirii și, în final, rupere macroscopică. Similar materialelor compozite ranforsate cu fibre studiate de [Pinho și colab. 2006](#), deteriorarea prin încovoiere sau delaminare a fibrelor de lemn apare din cauza defectelor microstructurale locale, cum ar fi nealinierea fibrelor și fisurarea longitudinală. Nealinierea fibrelor de lemn duc la tensiuni de forfecare între fibre, iar fisurile longitudinale sau dispozițiile

razelor parenchimului acționează ca concentratori de tensiuni. [Konstantinov ș.a. 2018](#) au analizat influența orientării texturii lemnului asupra proprietăților de rezistență și deformare ale acestuia, precum și degradarea proprietăților mecanice și dinamice ale lemnului supus unor încărcări ciclice în condiții de confinare laterală, fiind studiate trei specii: pin, mesteacăn și sequoia. Aceștia au observat că la o rată de deformare scăzută, deteriorarea epruvetei a fost nesemnificativă, în timp ce la o rată de deformare ridicată, integritatea epruvetei a fost depășită, ducând la cedarea epruvetei. [Yildirim ș.a. 2015](#) au examinat rezistența la oboseală și rezistența statică a lemnului de pin silvestru și fag supus testului de încovoiere. Aceștia au observat că deteriorările la oboseală au început să apară atunci când nivelul de solicitare a fost de sau peste 40% din modulul de rupere (MOR) mediu al epruvetei de pin silvestru, iar pentru epruvete de fag, deteriorările la oboseală au început să apară atunci când nivelul de solicitare a fost peste 50% din MOR mediu al epruvetei de fag. Unele studii au analizat comportamentul la oboseală al lemnului modificat chimic sau termic în comparație cu probele de control, constatând că atât modulul de elasticitate la încovoiere (MOE) a crescut cu aproximativ 21% în cazul lemnului de pin modificat prin impregnare cu rășină fenol-formaldehidică ([Pečnik ș.a. 2019](#)). În ceea ce privește comportamentul pinului scoțian (*Pinus sylvestris*) atât ca probe de control, cât și modificat termic, supus la încovoiere ciclică, [Sharapov ș.a. 2016](#) au efectuat studii aplicând oscilații ciclice sinusoidale asimetrice la o frecvență de 20 Hz și un raport de sarcină $p = 0.3$. În experimente, au fost analizate trei tipuri de variabile: temperatura de tratament termic (160, 190 și 220 °C), numărul de oscilații de încovoiere și conținutul de umiditate de echilibru. [Sharapov ș.a. 2016](#) au considerat că principala influență asupra MOR reziduală constă în conținutul inițial de umiditate al epruvetelor înainte de testarea la oboseală și în temperatura maximă de modificare termică. Pe baza observațiilor experimentale și a modelelor matematice, [Hassani ș.a., 2014](#) și [Andrianopoulos ș.a. 2012](#) au dezvoltat un model mecanic și matematic ortotrop tridimensional al lemnului, luând în considerare atât componentele deformării totale, cât și expresiile reologice, principiile analizei umiditate-stres. În studiile anterioare, [Stanciu ș.a. 2020 a](#) au investigat caracteristicile reologice ale probelor de lemn de salcâm tratate chimic cu amoniac, iar în alte cercetări au abordat studiul compozitelor din fibre naturale în termeni de modul complex, cu cele două componente ale sale (modulul de conservare E' și modulul de pierdere E'') și factorul de amortizare determinate prin analiza mecanică dinamică (DMA) ([Stanciu ș.a. 2020 b](#)).

Deși în numeroase studii sunt prezentate analize de cedare a lemnului supus unor solicitări axiale (sau la întindere sau compresiune) sau solicitări de încovoiere, există puține informații disponibile despre degradarea structurală și mecanică a lemnului (lemn de esență moale) supus unei tensiuni ciclice axiale simetrice, obținându-se efectul Bauschinger. Construcțiile din

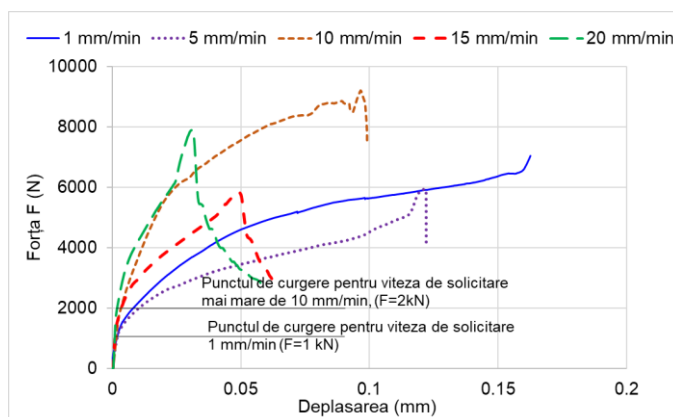
lemn, noi sau de patrimoniu, sunt supuse unor încărcări variabile, cum ar fi precipitațiile (zăpada), vântul, încărcările dinamice din cutremure, ceea ce necesită o cunoaștere a proprietăților mecanice ale componentelor din lemn, a comportamentului în timp, împreună cu o descriere detaliată a defectelor sau a degradării acestora (factori de reducere a rezistenței). Lemnul de pin, alături de lemnul de molid și brad, este utilizat pe scară largă în realizarea elementelor de construcție/clădire care sunt supuse unor încărcări în direcții diferite și cu intensități și durate diferite. Așadar, obiectivul prezentului studiu este de a analiza degradarea proprietăților mecanice și cedarea structurală produsă de încărcările ciclice axiale simetrice ale probelor de pin silvestru (*Pinus sylvestris*). Noutatea lucrării constă în o mai bună înțelegere a comportamentului mecanic al lemnului de esență moale și determinarea buclelor de histerezis la întindere și compresiune. De asemenea, modificările structurale ale celulelor lemnului sunt prezentate cu ajutorul microscopului optic.

3.2.2. Descrierea probelor și a metodei de studiu

În cadrul acestei cercetări au fost investigate epruvete din lemn de pin silvestru (*Pinus sylvestris*) cu un conținut de umiditate de 12% (prevăzut de norma EN 384:2004). În prima etapă, un set de epruvete cu diferite viteze de încărcare au fost testate la tracțiune până la rupere, pentru a stabili valoarea maximă a sarcinii la solicitări ciclice simetrice alternante (Figura 3. 11 a). În Figura 3. 11b sunt prezentate curbele caracteristice ale epruvetelor de lemn de pin la diferite viteze de încărcare. Se poate observa că limita de curgere pentru o viteză de încărcare de 1 mm/min este de aproximativ 1 kN, iar pentru o viteză de încărcare de 10 mm/min, limita de curgere corespunde unei sarcini de 2 kN. Din rezultatele preliminare, încărcarea ciclică va varia între 1 kN și 2 kN, cu o viteză de încărcare de 1 mm/min și 10 mm/min.



(a)



(b)

Figura 3. 11. Testul preliminar: (a) test de tracțiune; (b) curbe caracteristice ale lemnului de pin supus la tracțiune cu diferite viteze de încărcare (Stanciu ș.a. 2020b)

Pe baza standardelor [ASTM 04.10 Wood D143-09](#) și [EN 408 \(2010\)](#) și [A1 \(2012\)](#), au fost elaborate procedurile și mostrele pentru testele ciclice axiale. Prima categorie de teste, notată A1, a fost cea în care probele au fost supuse unei încărcări cu o viteză de 1 mm/min și o intensitate a forței de 1000 N, fiind formată din trei seturi de probe. Primul set de probe P1, P2, P3 a fost supus solicitărilor de tracțiune-compresiune paralele cu fibra lemnului, pe rând, la 1 ciclu (proba P1); la 10 cicluri (proba P2) și la 20 de cicluri (proba P3). Următorul set de probe (B1) a fost supus unor solicitări ciclice simetrice cu o viteză de 1 mm/min și o intensitate a forței de 1500 N, în același mod ca și probele anterioare: la 1 ciclu (proba P4); la 10 cicluri (proba P5) și la 20 de cicluri (proba P6).

Grupul de probe C1 a fost supus unei solicitări ciclice la o intensitate a sarcinii de 2000 N, o viteză de încărcare de 1 mm/min, la 1 ciclu (proba P7); la 10 cicluri (proba P8) și la 20 de cicluri (proba P9). A doua categorie de epruvete de pin, notate cu A10; B10; C10, a fost supusă la o viteză de 10 mm/min, având, similar primei categorii, trei seturi de epruvete testate la diferite intensități ale sarcinii aplicate. Datele de intrare ale epruvetei testate sunt prezentate în [Tabelul 3. 4.](#)

Tabelul 3. 4. Date de intrare pentru testele experimentale ([Stanciu ș.a. 2020b](#))

Cod test	Cod proba	Nr. de cicluri	Lungime a de referință (mm)	Viteza de solicitare (mm/min)	Lățimea (mm)	Grosimea (mm)	Secțiunea (mm ²)	Încărcarea limită la tracțiune-compresiune (kN)
A1	P1	1	60	1	15	5	75	±1
	P2	10	60	1	15	5	75	±1
	P3	20	60	1	15	5	75	±1
B1	P4	1	60	1	5	5	75	±1.5
	P5	10	60	1	15	5	75	±1.5
	P6	20	60	1	15	5	75	±1.5
C1	P7	1	60	1	15	5	75	±2
	P8	10	60	1	15	5	75	±2
	P9	20	60	1	15	5	75	±2
A10	P10	1	60	10	15	5	75	±1
	P11	10	60	10	15	5	75	±1
	P12	20	60	10	15	5	75	±1
B10	P13	1	60	10	15	5	75	±1.5
	P14	10	60	10	15	5	75	±1.5
	P15	20	60	10	15	5	75	±1.5
C10	P16	1	60	10	15	5	75	±2
	P17	10	60	10	15	5	75	±2
	P18	20	60	10	15	5	75	±2

Astfel, au fost stabilite 18 cazuri de testare din punct de vedere al combinației între intensitatea încărcării, numărul de cicluri și viteza de încărcare, fiind solicitate probe din lemn masiv de pin silvestru tăiat radial, cu dimensiunile nominale lungime $L = 150$ mm, lățime $b = 15$ mm, grosime $h = 5$ mm (Figura 3. 12, a). Mostrele de lemn de pin silvestru utilizate în acest studiu provin din Munții Carpați, dar sunt furnizate de piața comercială, de unde sunt achiziționate de clienții obișnuiți. Lățimea inelului anual al mostrelor variază între 1.5 mm și 3 mm, astfel încât mostrele de lemn de pin silvestru prezintă o dispersie mai mare a valorilor sale anuale, așa cum au observat [Silvestru ș.a. 2018](#).

Probele au fost supuse unui test de tracțiune-compresiune cu încărcare ciclică simetrică utilizând mașina universală de testare tip LS100 Lloyd's Instrument, aparținând Departamentului de Inginerie Mecanică al Universității Transilvania din Brașov, pentru a studia degradarea proprietăților mecanice ale lemnului de pin silvestru. Probele au fost încărcate cu o viteză constantă de 1 mm/min și apoi cu 10 mm/min, fiind supuse succesiv la 1 ciclu; 10 cicluri și respectiv 20 de cicluri. Deplasările de tracțiune și compresiune au fost măsurate simultan cu încărcarea aplicată (Figura 3. 12, b și c). Pentru achiziția de date s-a utilizat software-ul Nexygen Plus. După teste, s-au determinat curba caracteristică, deformația specifică, modulul de elasticitate longitudinală, tensiunea de rupere a fiecărei probe, iar pe baza curbelor de încărcare s-a calculat energia medie de deformare pentru fiecare tip de probă. Fractura probelor a fost analizată cu dispozitive optice. În Figura 3. 12 se poate observa echipamentul experimental și câteva detalii din teste.

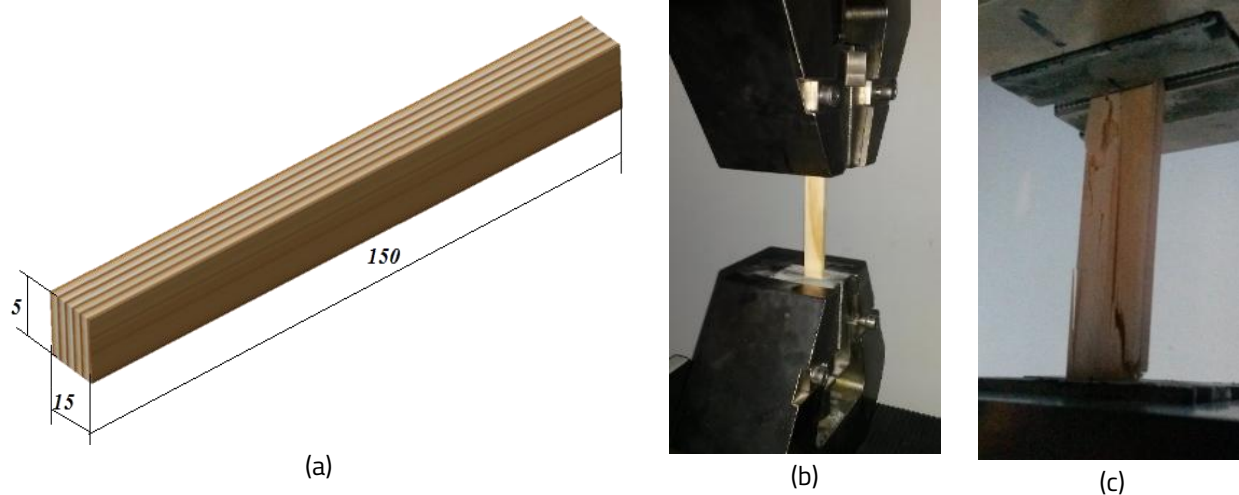


Figura 3. 12. Configurația experimentală: (a) geometria probelor testate; (b) detalii despre proba în fălcile de prindere ale mașinii de testare în timpul încărcării ciclice simetrice la întindere-compresiune; (c) Modul de cedare al probei testate la încărcare ciclică ([Stanciu ș.a. 2020b](#))

3.2.3. Analiza comportării lemnului la solicitări ciclice

În timpul investigațiilor experimentale, au fost obținute numeroase date primare care au necesitat prelucrarea lor pentru a putea fi caracterizat comportamentul vâsco-elastic al lemnului de pin. Astfel, în [Figura 3. 13](#) sunt prezentate variațiile încărcării la tracțiune-compresiune.

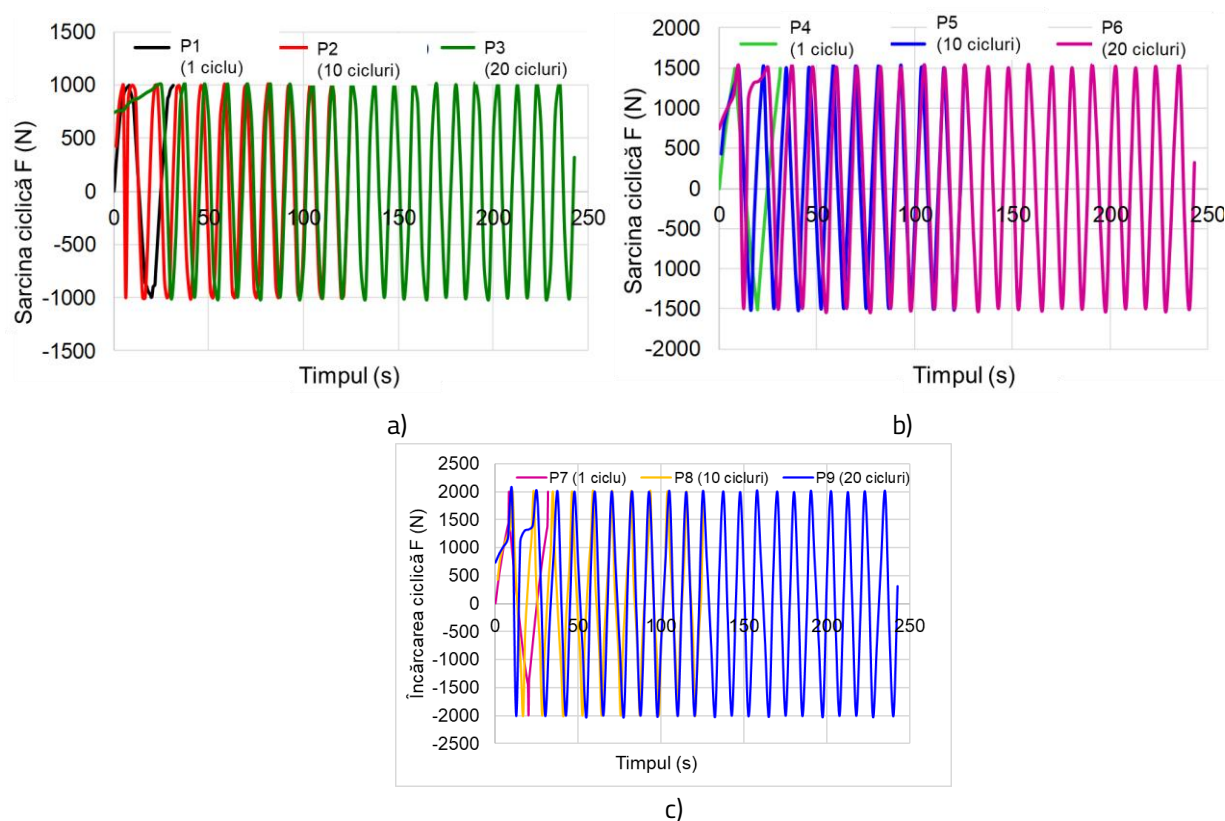


Figura 3. 13. Variația încărcării ciclice simetrice la întindere – compresiune: a) ± 1000 N; b) ± 1500 N; c) ± 2000 N (Stanciu ș.a. 2020b)

[Figura 3.14](#) prezintă bucla de histererezis pentru primul ciclu de solicitare, fiind evidențiate valorile alungirii și scurtării eșantionului. Intervalul total de deformare (deformațiile de la punctele A la C) se calculează ca suma deformărilor de întindere și compresiune, conținând atât deformări elastice, cât și plastice. Intervalul de deformare elastică reală $\Delta\epsilon_e$ (deformațiile de la punctele A la D) reprezintă deformarea de recuperare după un ciclu complet, iar intervalul de deformare plastică reală totală $\Delta\epsilon_p$ (deformațiile de la punctele D la O) este deformarea permanentă după un ciclu complet de încărcare. Deformarea elastică de întindere recuperată de la punctul B la punctul O poate fi observată în toate [Figura 3.14 ,a–f](#).

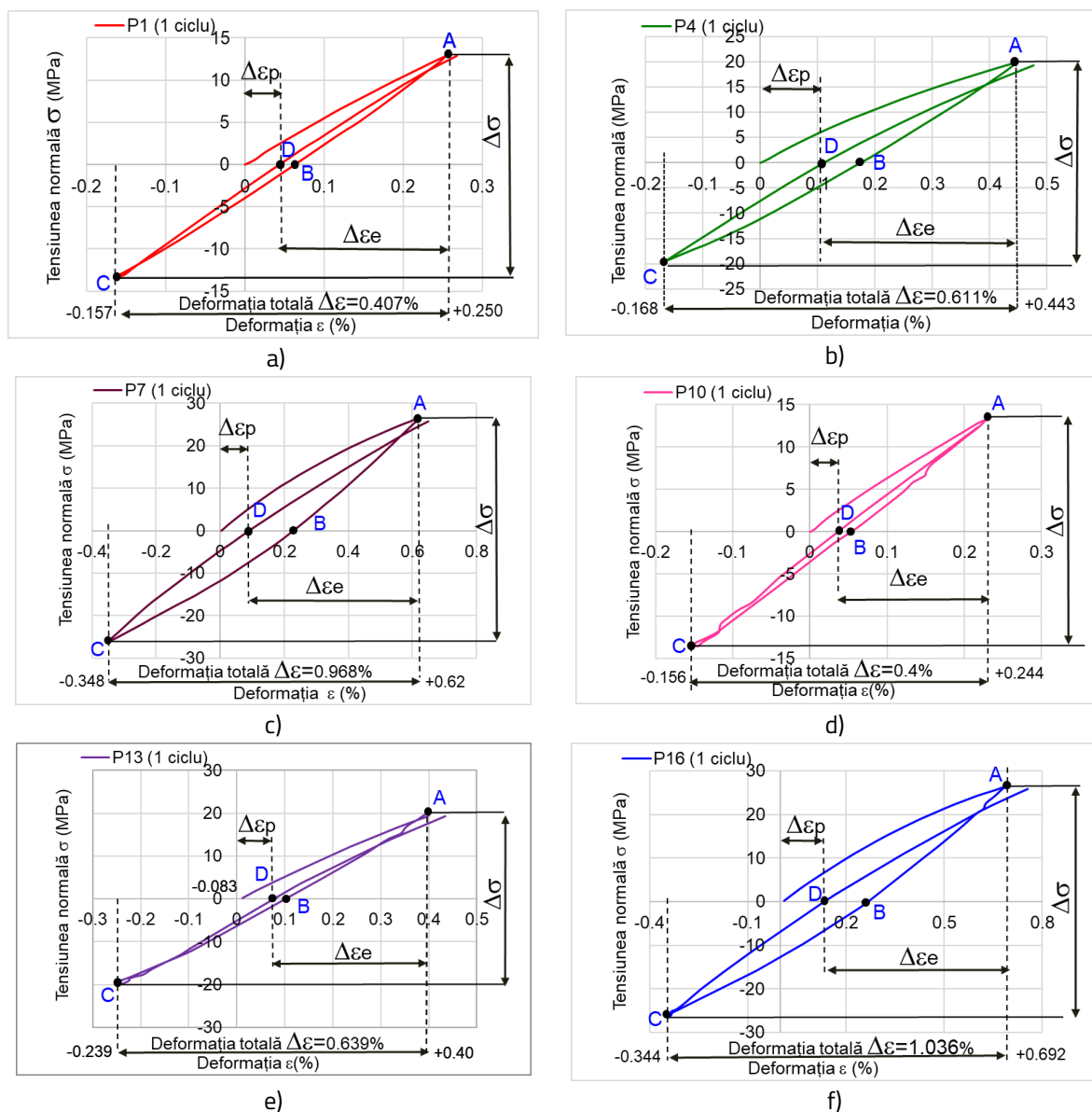


Figura 3.14. Buclă de histerezis: a) cazul vitezei de sarcină de 1 mm/min și $F = \pm 1$ kN; b) cazul vitezei de sarcină de 10 mm/min și $F = \pm 1$ kN; c) cazul vitezei de sarcină de 1 mm/min și $F = \pm 1.5$ kN; d) cazul vitezei de sarcină de 10 mm/min și $F = \pm 1.5$ kN; e) cazul vitezei de sarcină de 1 mm/min și $F = \pm 2$ kN; f) cazul vitezei de sarcină de 10 mm/min și $F = \pm 2$ kN (Stanciu ș.a. 2020b)

În Tabelul 3.5 sunt sintetizate valorile deformațiilor pentru primul ciclu de solicitare. Analizând cele șase cazuri prezentate, se observă că alungirile (deformațiile de tracțiune) sunt mai mari decât scurtările (deformațiile de compresiune), lemnul de pin fiind un material anizotrop, cu un comportament diferit atunci când este supus la tracțiune, respectiv compresiune. Diferența dintre extensii și scurtări depinde de intensitatea forței aplicate și de viteza de încărcare. Pe măsură ce intensitatea sarcinii aplicate crește, diferența procentuală dintre deplasările la

tracțiune și cele la compresiune crește, iar pe măsură ce viteza de încărcare crește, acestea cresc.

Tabelul 3. 5. Valorile deformărilor colectate pentru primul ciclu, unde $\Delta\varepsilon$ este deformația totală; $\Delta\varepsilon_e$ deformația totală elastică; $\Delta\varepsilon_p$ – deformația totală plastică; ε_t – deformarea la alungire; ε_c – deformarea la compresiune

(Stanciu ș.a. 2020b)

Group	$\Delta\varepsilon=\varepsilon_t+\varepsilon_c$ (%)	$\Delta\varepsilon_e$ (%)	$\Delta\varepsilon_p$ (%)	ε_t (%)	ε_c (%)
A1	0.407	0.2042	0.0458	0.250	0.157
B1	0.611	0.3422	0.1008	0.443	0.168
C1	0.969	0.5368	0.0832	0.620	0.349
A10	0.402	0.1982	0.0458	0.244	0.158
B10	0.639	0.3212	0.0788	0.400	0.239
C10	1.036	0.5566	0.1354	0.692	0.344

Pe baza principiului superpoziției Boltzmann, care descrie răspunsul unui material la diferite istorii de încărcare și prin ajustarea vârfurilor de deformare pentru fiecare ciclu conform Varenik ș.a. 2018; Metri ș.a. 2019, în Figura 3.15 (a - f) au fost reprezentate grafic curbele generale care acoperă deformațiile de acumulate în testele de tracțiune (Figura 3.15 a, c și e) și compresiune (Figura 3.15 b; d și f). Comportamentul epruvetelor testate diferă în cele două tipuri de solicitări axiale.

Pentru forța de 1 kN și rata de solicitare de 1 mm/min, se pot distinge în graficul din Figura 3.15 a, cele trei zone de curgere specifice lemnului: zona primară (curgerea primară) în care deplasările/deformațiile au o rată mare de creștere de la un ciclu la altul (primele patru cicluri); zona secundară în care există o stagnare a deplasărilor/deformațiilor (următoarele 4-5 cicluri) și, în final, fluajul terțiar în care există din nou o creștere a vitezei de mișcare/deformare a lemnului. Acest comportament este sesizabil la viteze mici de încărcare și intensități mici ale forței. Pe măsură ce forța crește, legea de variație a fluajului lemnului se modifică (Figura 3.15 c și e). În cazul deformațiilor la compresiune, se observă o creștere rapidă a acestora odată cu creșterea ciclurilor de solicitare, indiferent de intensitatea forței, așa cum se poate observa în Figura 3.15 b; d și f. Cele trei zone principale în cazul compresiunii pot fi dificil de distins, dar comportamentul vâsco-elastic al lemnului este mai pronunțat în aceste cazuri (Figura 3.15, c–f). Aceste curbe exprimă viteza de acumulare a deformărilor plastice care, în final, duc la deteriorarea structurii.

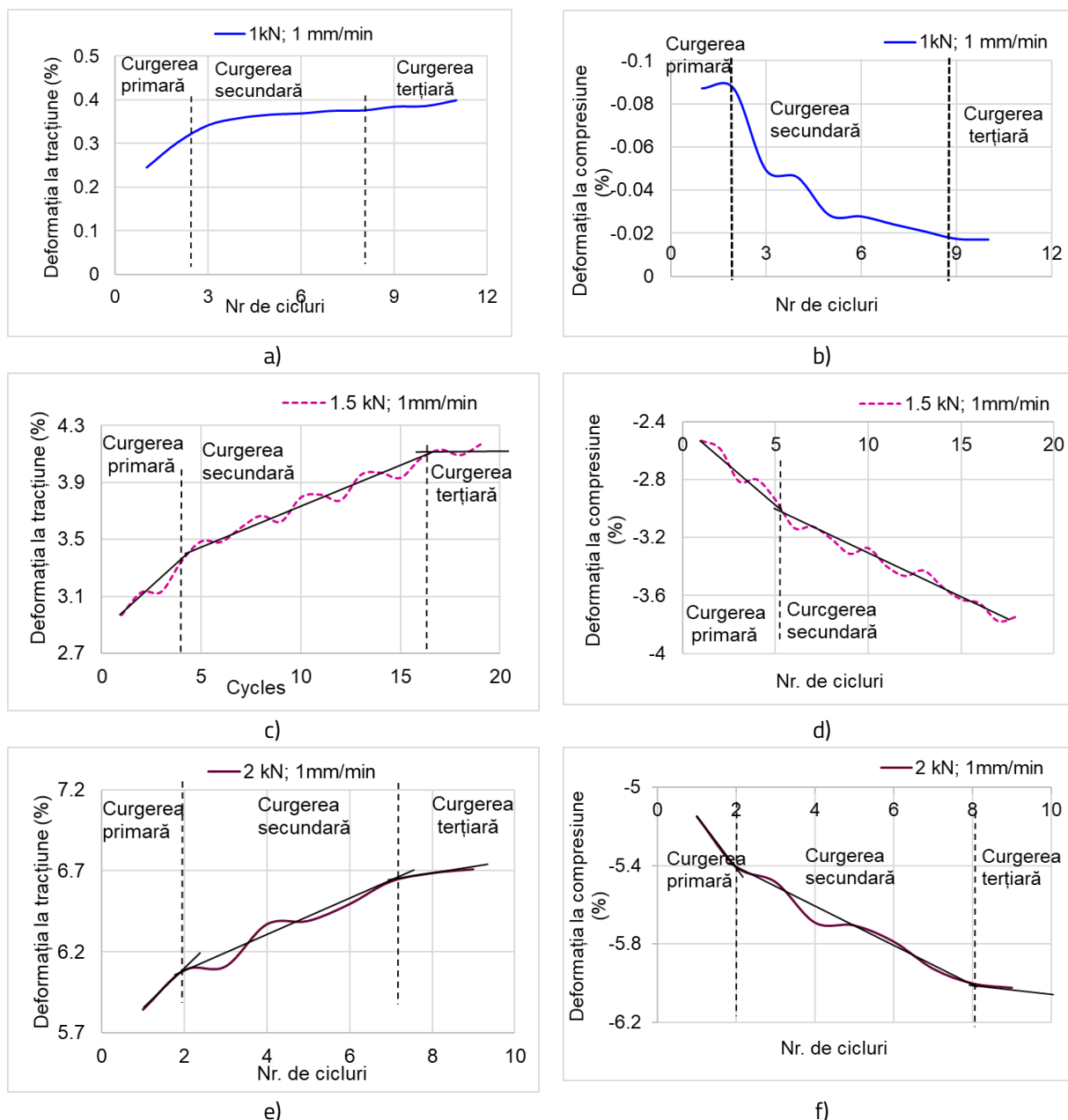


Figura 3.15. Curbe principale: a) deformări la tracțiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 1 \text{ kN}$; b) deformări la compresiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 1 \text{ kN}$; c) deformări la tracțiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 1,5 \text{ kN}$; d) deformări la compresiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 1,5 \text{ kN}$; e) deformări la tracțiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 2 \text{ kN}$; f) deformări la compresiune ale probei supuse la 1 mm/min și $F = \pm 2 \text{ kN}$ (Stanciu ș.a. 2020b)

Cele mai importante degradări mecanice apar în primele cicluri de solicitare, așa cum se observă pe curba de fluaj - prima zonă (Figura 3.15). Astfel, la o sarcină de 1 kN, modulul longitudinal de elasticitate se degradează cu 12% din valoarea inițială, comparativ cu 20 de cicluri când degradarea este de 15% din valoarea inițială (Figura 3. 16). Creșterea intensității

încărcării duce la creșterea ratei de degradare cu 19% după 20 de cicluri în cazul unei încărcări de 1,5 kN și cu 28% în cazul unei încărcări de 2 kN. Creșterea vitezei de încărcare cu 10 mm/min duce la ușoare scăderi ale ratei de degradare (12%; 18% și 21% pentru fiecare valoare a intensității încărcării). Valorile obținute sunt comparabile cu cele obținute de [Ferreira ș.a. 2015](#) care au studiat probe de lemn de pin supuse unor solicitări de tracțiune. Valoarea medie a modului de elasticitate în direcție longitudinală paralelă cu fibra obținută de [Ferreira ș.a. 2015](#) este de 4141 MPa, dimensiunile probelor fiind similare cu cele din prezentul studiu. Valorile tensiunii sunt independente de numărul de cicluri de solicitare și de rata de solicitare. Acestea au aceleași valori atât la tracțiune, cât și la compresiune. Diferența dintre categoriile de valori este dată de intensitatea încărcării aplicate. Astfel, pentru forța de ± 1 kN valoarea medie a solicitării maxime variază între 13 și 14 MPa; pentru forța de ± 1.5 kN valoarea medie a solicitării maxime este între 19 și 20 MPa, iar pentru forța de ± 2 kN valoarea medie a solicitării maxime este între 26 și 27 MPa. Valorile obținute și sintetizate în histograma din [Figura 3.17](#) ne oferă o imagine asupra clasei de calitate a probelor de pin silvestru studiate, și anume că acestea fac parte din clasa de calitate C45 conform standardului pentru lemn. Întrucât studiul a fost efectuat pe probe mici, acesta poate fi îmbunătățit prin studii suplimentare pe probe de lungime mai mare pentru a corela rezultatele obținute cu neomogenitatea și anizotropia materialului.

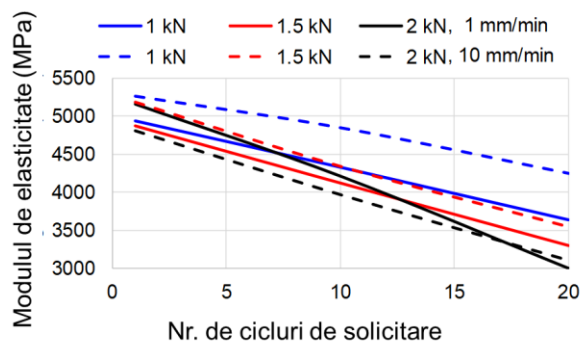


Figura 3.16. Rata de degradare a modului lui Young, la solicitări ciclice ([Stanciu ș.a. 2020b](#))

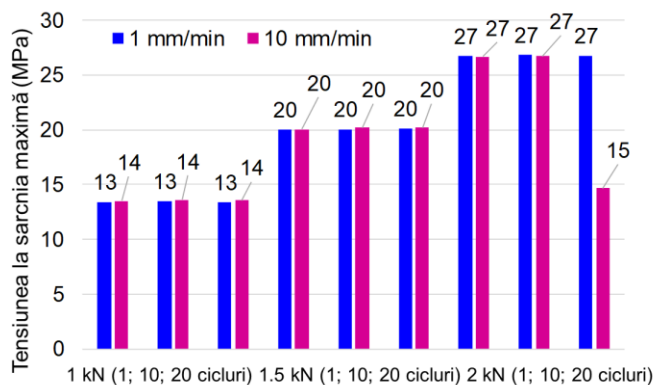


Figura 3.17. Variația tensiunilor la sarcină maximă ([Stanciu ș.a. 2020b](#))

În [Figura 3.18](#), sunt prezentate variațiile deformațiilor procentuale la tracțiune și compresiune pentru fiecare caz studiat. Deformațiile la compresiune reprezintă aproximativ 40% din deformarea totală a probelor, deformațiile la tracțiune fiind de 60%. Datorită ciclurilor simetrice alternante, se constată că deformarea plastică totală reală reprezintă aproximativ 20% din valoarea totală a deformațiilor. Acest fenomen apare datorită faptului că fibrele lemnului se întind dincolo de limita lor de curgere, ceea ce duce la apariția deformărilor plastice vâscoase. În timpul solicitării de compresiune, o parte din deformațiile produse la tracțiune se recuperează, adăugându-se la acestea scurtarea lemnului, după care se reia ciclul.

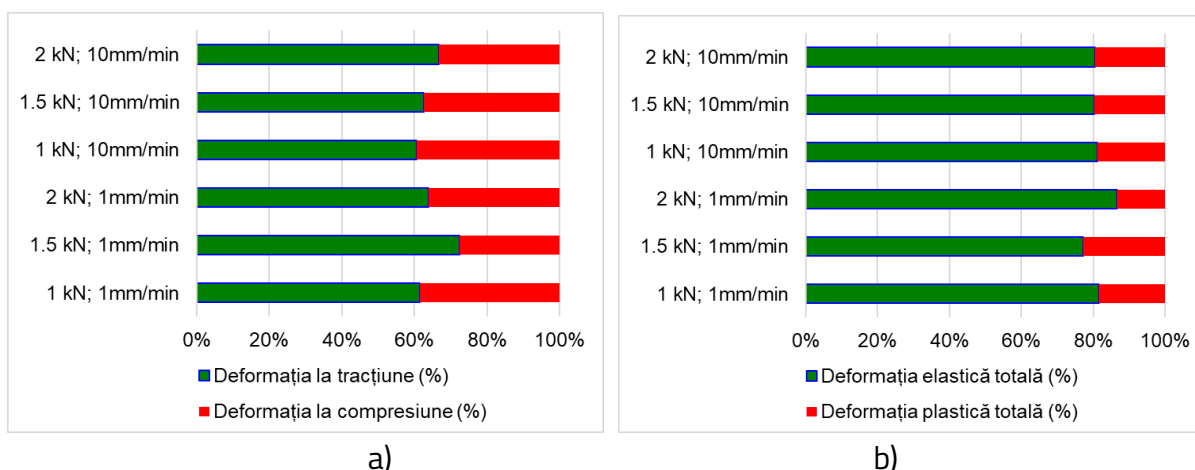


Figura 3.18. Compararea valorilor deformațiilor în cazuri de diferite viteze și intensități de încărcare: a) deformații la întindere și compresiune; b) intervalul total real al deformărilor elastice și plastice după un ciclu complet ([Stanciu ș.a. 2020b](#))

Astfel, degradarea structurală a lemnului de pin se produce prin pierderea rezistenței lemnului la solicitările de tracțiune-compresiune, modificări care pot fi observate calitativ în [Figura 3.19](#) și [Figura 3.20](#), și cantitativ prin modificarea proprietăților mecanice. În aplicații practice, aceste fenomene pot apărea în elementele structurale ale cadrelor, la elemente din structura scărilor și a mobilierului. Structura microscopică a lemnului de pin înainte de încărcare poate fi observată în [Figura 3.19](#), în cele trei secțiuni principale ale lemnului. În secțiunea transversală, se poate observa că inelele anuale sunt distincte, iar diferențele dintre lemnul târziu și lemnul timpuriu sunt foarte vizibile ([Figura 3.19, a](#)). De asemenea, canalele rezinifere pot fi observate în secțiune transversală. În secțiunea tangențială - longitudinală, sunt foarte vizibile razele parenchimului cu nuclee ([Figura 3.19, b](#)). În secțiunea radială, se pot observa traheidele aliniate axial, cu dimensiuni diferite în lemnul târziu și lemnul timpuriu ([Figura 3.19, c](#)). Cu toate acestea, datorită caracteristicilor anizotrope ale lemnului și rezistenței diferite a straturilor de lemn târziu și lemn timpuriu, mecanismul de rupere nu are loc într-o singură direcție ([Curtu & Ghelmeziu, 1984](#)); prin urmare, rupura probelor de lemn de pin a avut loc la un unghi de

aproximativ 30 de grade față de direcția fibrei, așa cum se arată în [Figura 3.20, d](#). Deoarece planul de rupere nu este perpendicular pe direcția sarcinii aplicate, rezistența la tracțiune constă din tensiunea totală sau efectivă, care are ca și componente solicitările normale și de forfecare, așa cum a fost observat [de Christoforo ș.a. 2019](#) care au studiat același fenomen, dar pe specii de lemn tropical. Analizând modul de rupere al probelor de lemn de pin supuse la tracțiune-compresiune uniaxială paralelă cu fibrele, s-a constatat că direcția tensiunilor normale nu coincide cu direcțiile elastice principale, pe lângă tensiunile normale apar și tensiuni tangențiale și implicit deformațiile liniare și unghiulare, așa cum arată legea generalizată a lui Hooke.

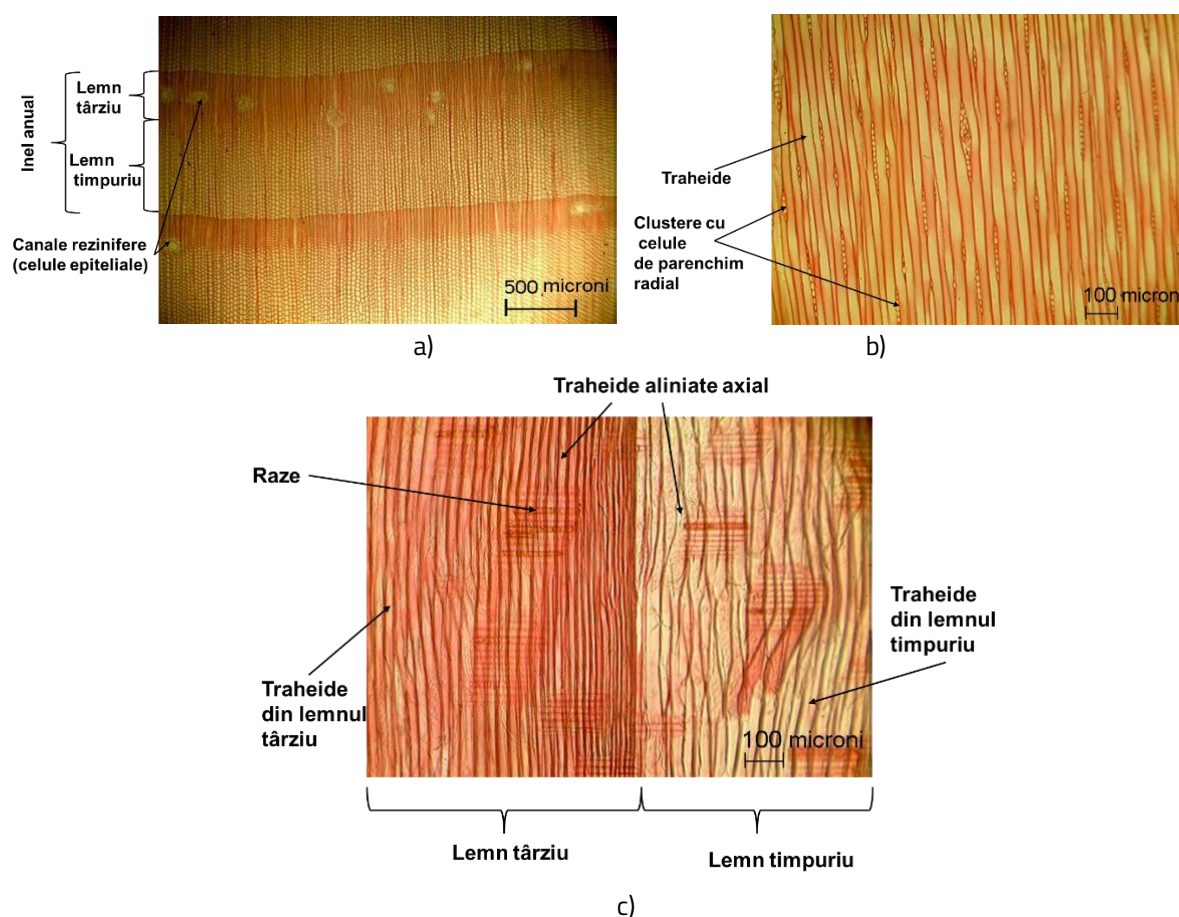
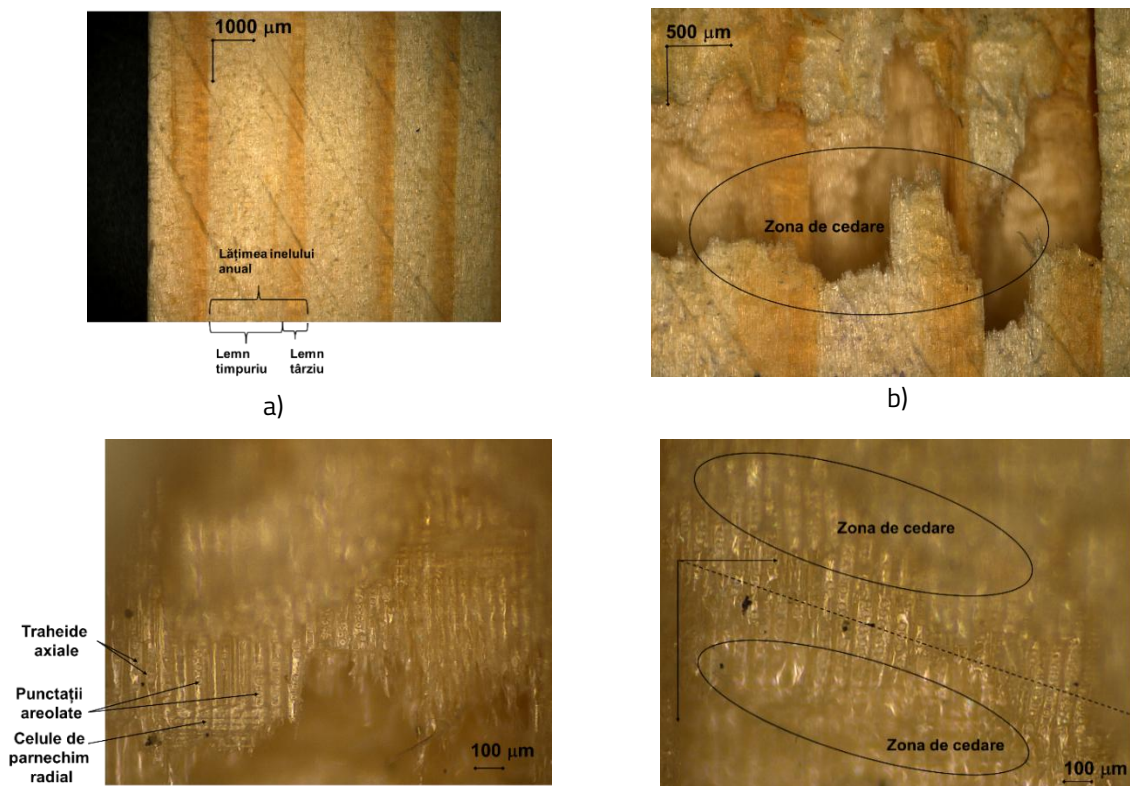


Figura 3.19. Vedere microscopică a lemnului de pin silvestru: a) Secțiune transversală, mărire x500; b) secțiune longitudinală – tangențială, mărire x100; c) secțiune longitudinală – radială, mărire x100 ([Stanciu ș.a. 2020b](#))

La compresiune paralelă cu fibrele, modificările structurale încep odată cu creșterea nivelului de solicitare, iar instabilitatea fibrelor se observă prin apariția unor încovoieri macroscopice. Plecând de la faptul că cedarea unui material reprezintă trecerea de la starea inițială a unui element de volum dintr-un material elastic la o stare diferită și ireversibilă, în cazul probelor

din lemn de pin, comportamentul predominant al acestora este similar unui material ductil care este supus la tracțiune, ruptura producându-se în etape succesive (Figura 3.20): zonele periferice cedează sub acțiunea solicitărilor tangențiale, iar zona centrală cedează sub acțiunea solicitărilor normale. Degradarea proprietăților mecanice ale probelor de lemn supuse unor solicitări ciclice simetrice este însoțită de degradarea microstructurii lemnului. Dacă deteriorarea structurală la întindere nu afectează degradarea rigidității sau rezistența lemnului atunci când se aplică o sarcină inversată la compresiune (manifestată prin recuperarea rigidității), așa cum se observă în curbele de histerezis din Figura 3.14, deteriorarea constitutivă reduce capacitatea de tracțiune a materialului atunci când se aplică o încărcare inversă de la compresiune la întindere, așa cum demonstrează Sirumbal - Zapata ș.a. 2018 în studiul lor. În Figura 3.20, b, c și d, toate efectele fenomenelor mecanice, cum ar fi curgerea la întindere, cedarea fragilă, degradarea ciclică a rigidității și recuperarea după inversarea încărcării, precum și deformarea plastică permanentă prin compresiune datorată cedării ductile, pot fi observate la nivel microscopic. Gong și Smith 1999; Pinho ș.a. 2006, Gutkin & Pinho, 2014 explică fenomenul de flambaj local prin faptul că traheidele din lemnul târziu au o rigiditate mai mare decât cele din lemnul timpuriu. Astfel, primele deformări se dezvoltă între traheidele lemnoase târzii, la limita dintre două inele de creștere, fenomenul extinzându-se la traheidele lemnoase timpurii. După solicitări ciclice de tracțiune-compresiune, rezultă flambajul traheidelor în lemnul timpuriu.



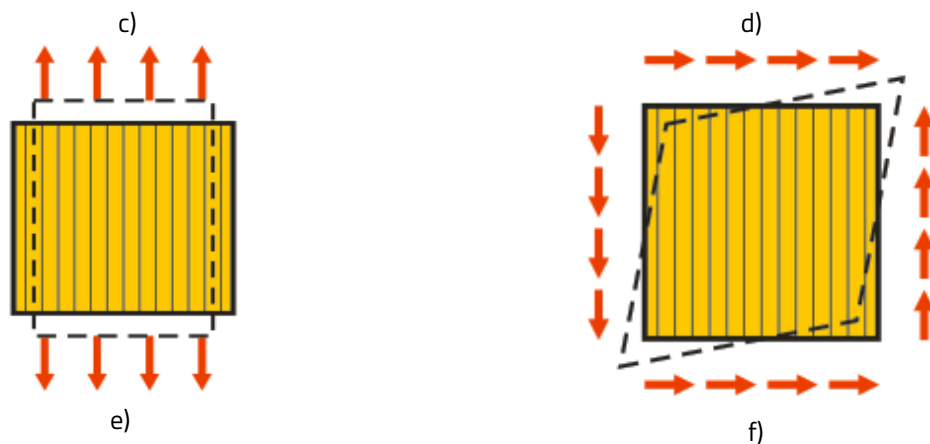


Figura 3.20. Structura probelor de pin în diferite stadii de degradare: a) macrostructura inițială a probelor de lemn, înainte de testare; b) vedere optică a fracturii lemnului după testare; c) vedere microscopică a ruperii celulelor traheide, mărire x100; d) linia de tendință a ruperii, mărire x100; e) reprezentare schematică a deformării prin tracțiune; f) reprezentare schematică a ruperii lemnului datorată anizotropiei (Stanciu ș.a. 2020b)

3.2.4. Analiza cu elemente finite în cazul solicitărilor ciclice axiale ale lemnului

Metoda numită inginerie inversă (Reverse Engineering notată RE) se bazează pe reproducerea parțială sau totală a proprietăților geometrice/fizice ale unui model real. Procesul de capturare a imaginii digitale a unor componente face parte din metoda ingineriei inverse (Cramer ș.a. 2005; Motavalli & Shamsaasef, 1996). Alți cercetători consideră că această metodă se bazează pe producerea de componente fără utilizarea unui desen ingineresc (Abella ș.a. 1994; Xie ș.a. 2005). Singh (2012) și Raja (2008) au susținut ideea că ingineria inversă ca fiind dezvoltarea unei noi geometrii a unui produs prin scanarea uneia existente și îmbunătățirea modelului CAD după imaginea ei digitală. În acest studiu, ingineria inversă este utilizată pentru a analiza stările de tensiune și deformare ale probelor de lemn supuse la încărcări ciclice de tracțiune și compresie, pornind de la testul real, prezentat anterior. Scopul analizei cu elemente finite (notată FEA) a fost de a evalua posibilitatea utilizării FEA pentru materiale lignocelulozice, evitând astfel consumul de probe și timp pentru teste experimentale. Astfel, analiza a pornit de la comportamentul real al probelor ciclice de lemn de pin, modelând geometric probele și apoi simulând încărcarea ciclică. În final, a fost evaluat spectrul rezultatelor FEA, interpolat cu rezultatele experimentale. În testul real, au fost analizate probe de lemn de pin silvestru (*Pinus Sylvestris* L.), tăiate radial, având următoarele dimensiuni: lungime $L = 150$ mm, lățime $b = 15$ mm, grosime $h = 5$ mm (Figura 3. 12). Acestea au fost supuse unei încărcări ciclice la solicitarea de tracțiune și compresie paralele cu fibrele, cu o forță de 1000 N, utilizând mașina de testare LS100 de la Lloyd's Instruments. Lungimea efectivă a probei în timpul testului a fost

de 100 mm. În etapa de preprocesare efectuată în HyperMesh, proba a fost modelată ca un material stratificat cu straturi unidimensionale reprezentând lemnul timpuriu (4 straturi – reprezentate cu roșu) și lemnul târziu (3 straturi – reprezentate cu galben), având caracteristici mecanice diferite (straturile mai late reprezintă lemnul timpuriu, iar cele înguste - lemnul târziu) [Figura 3. 21](#).

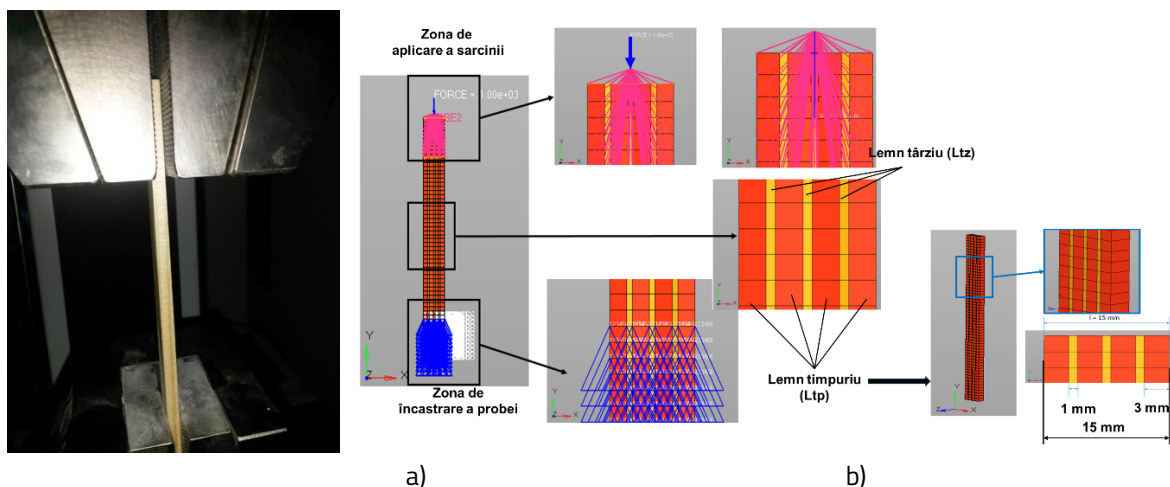


Figura 3. 21. (a) Prinderea epruvetei din lemn de pin, pentru solicitarea de tracțiune-compresiune; (b) simularea încărcării și a condițiilor de contur ([Stanciu ș.a. 2020a](#))

Postprocesarea a fost efectuată în HyperWork, rezultând variația tensiunilor și deformațiilor cu fiecare ciclu de solicitare ([Figura 3.22](#) și [Figura 3. 23](#)). În [Figura 3.22](#), se poate observa că lungimea probei este extinsă la solicitarea de întindere în comparație cu scurtarea acesteia ca urmare a solicitării de compresie din primul ciclu.

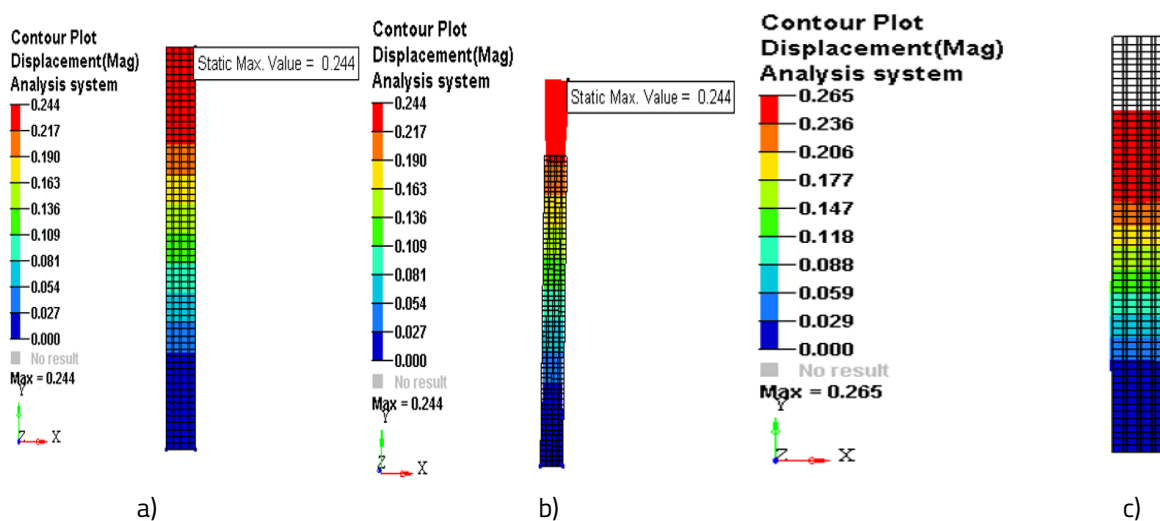


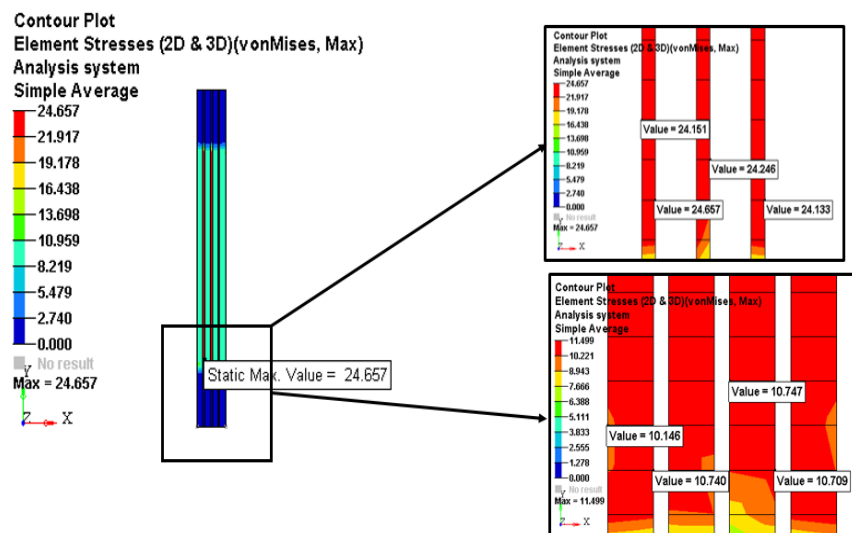
Figura 3.22. Modelul cu elemente finite a epruvetei din lemn: (a) discretizarea modelului geometric în elemente finite; (b) deformarea probei la întindere; c) deformarea probei la compresiune ([Stanciu ș.a. 2018](#))

Caracteristicile materialului pentru fiecare strat sunt prezentate în [Tabelul 3.6](#) și au fost preluate din literatura de specialitate ([Yang ș.a. 2014](#); [Tankut ș.a. 2014](#)). Datorită grosimii și lățimii relativ mici a straturilor, în analiza cu elemente finite s-a utilizat fișa de materiale – Mat 1 din biblioteca HyperMesh, ceea ce implică faptul că fiecare strat are proprietăți omogene și izotrope, iar în întregime proba va fi un material compozit stratificat. În ceea ce privește condițiile la limită, a fost simulată o prindere în bacurile mașinii de testare. Pentru aceasta, proba a fost fixată în partea de jos la o distanță de 22,5 mm. Pentru a simula sarcina cu o variație periodică, în modelul cu elemente finite s-a utilizat un element de tip RBE2 care distribuie forța de 1000 N pe zona de testare a probei ([Figura 3.22](#)). Discretizarea s-a realizat cu elemente de tip QUAD4 cu dimensiunile de 2.5 mm x 2.5 mm. Pentru a putea simula cât mai precis sarcina ciclică și deteriorarea proprietăților mecanice, s-a adoptat ipoteza în care valoarea modului de elasticitate longitudinal al materialului scade cu 500 MPa/ciclu, iar modulul de elasticitate transversal cu 100 MPa/ciclu. Valorile decrementale pentru fiecare modul de elasticitate au fost adoptate pe baza rezultatelor simulării succesive a încărcării ciclice cu diferite valori decrementale. Cele mai potrivite valori ale deformației și tensiunilor, comparativ cu cele experimentale, au fost obținute utilizând decremente de 500 MPa/ciclu în cazul EL și 100 MPa/ciclu în cazul GRT.

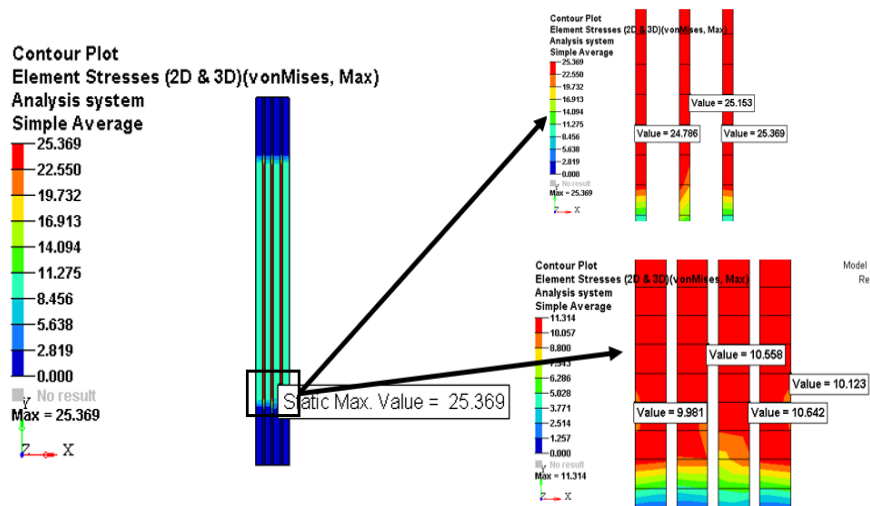
Tabelul 3. 6. Proprietățile mecanice ale straturilor principale ale probelor de lemn (lemn târziu și lemn timpuriu)
([Stanciu ș.a. 2020b](#))

Proprietățile fizice, geometrice și mecanice	Lemn timpuriu	Lemn târziu
Modulul de elasticitate longitudinală E_L (MPa) [Cramer ș.a. 2005]	4340	9880
Variația decrementală a E_L , δ_{EL}	500	500
Modulul de elasticitate transversal G_{RT} (MPa) [Cramer ș.a. 2005]	770	1590
Variația decrementală a G_{RT} , δ_{GRT}	100	100
Coeficientul lui Poisson ν_{RT} [Cramer ș.a. 2005]	0.3	0.3
Densitatea ρ (g/mm ³)	$3.1e^{-10}$	$6.3e^{-10}$
Lățimea b (mm)	3.0	1.0
Forța F (N)	+/-1000	+/-1000

Astfel, pentru a simula comportamentul structural al epruvetei la fiecare ciclu de solicitare, fiecare dintre cazurile următoare ia în considerare modificările aduse la nivel structural în simularea ciclului anterior de solicitare - deformare și întindere. Valorile de deplasare (lungimi și scurtări) au fost extrase pentru fiecare ciclu de încărcare, proprietățile elastice fiind diminuate progresiv pentru a simula comportamentul neliniar la oboseală. În [Figura 3. 23](#) câmpul de tensiuni de tracțiune/compresiune este observat atât la început, cât și la sfârșit. Atât valorile scurtării, cât și tensiunile la compresiune sunt exprimate ca valori absolute.



a)



b)

Figura 3. 23. Distribuția tensiunilor de întindere și compresiune: a) valori absolute ale tensiunilor de întindere; b) valori absolute ale tensiunilor de compresiune atât în stratul de lemn timpuriu, cât și în lemnul târziu (Stanciu ș.a. 2018a)

Din simularea efectuată, au fost extrase valorile deplasărilor pentru fiecare tip de încărcare, iar deformațiile au fost determinate pe baza relațiilor de calcul. În **Tabelul 3. 7** **Error! Reference source not found.**, pe lângă valorile numerice obținute sunt prezentate și valorile determinate experimental. În **Figura 3.24.** se observă variația deplasărilor pentru fiecare ciclu de încărcare. Odată cu creșterea numărului de cicluri, deplasările și, implicit, deformațiile cresc cu aproximativ 120% după 4 cicluri și cu aproximativ 130% în cazul solicitării de compresiune. Comparând rezultatele FEA cu cele obținute experimental, s-a constatat că tendința de creștere

a deformației este similară cu cea din modelare, dar curbele care descriu această variație diferă (Figura 3.25).

Tabelul 3. 7. Valorile deplasărilor și deformațiilor obținute cu FEM și experimental (Stanciu ș.a. 2020b)

Nr. de cicluri	Tipul încărcării	Deplasarea Δl (mm) FEM	Lungimea totală L_i (mm)	Deformația ε_{FEM} (%)	Deplasarea Δl (mm) EXP	Deformația ε_{EXP} (%)
1	Tracțiune	0.24	100.24	0.240	0.224	0.374
	Compresiune	0.27	99.97	-0.269	0.044	-0.074
2	Tracțiune	0.29	100.26	0.290	0.077	0.129
	Compresiune	0.33	99.93	-0.329	0.115	-0.185
3	Tracțiune	0.38	100.31	0.380	0.361	0.601
	Compresiune	0.44	99.87	-0.438	0.374	-0.623
4	Tracțiune	0.53	100.40	0.530	0.440	0.734
	Compresiune	0.62	99.78	-0.617	0.290	-0.493

Acest lucru se datorează atât teoriei materialelor compozite pe care se bazează software-ul cu elemente finite, cât și metodei de abordare - caracteristicile elastice ale lemnului timpuriu și ale lemnului târziu cu o valoare constantă. În analiza elementelor finite (FEA), fiecare strat a fost modelat ca material ortotrop, iar întreaga probă este formată din straturi alternative. Comportamentul neliniar al probei a fost obținut din combinarea tensiunilor și a memoriei de deformare și din scăderea modulului de elasticitate. Alții au utilizat pentru modelarea lemnului teoria criteriului de rupere Hoffman cu modificări pentru a permite tensiuni maxime admisibile inegale la întindere și compresie, cum ar fi în lemn (Yang ș.a. 2014; Tankut ș.a. 2014, Stanciu ș.a. 2018).

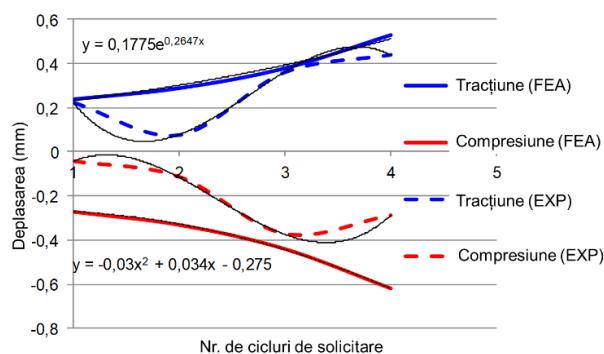


Figura 3.25. Variația deplasării probei odată cu creșterea numărului de încărcări ciclice (Stanciu ș.a. 2018)

În ceea ce privește starea de tensiuni von Mises determinată prin simularea cu elemente finite, valorile maxime ale acestora au fost extrase pentru fiecare strat în punctele adiacente ale straturilor pentru a analiza variația tensiunilor normale pe lățimea eșantionului (Tabelul 3.8.)

Tabelul 3. 8. Valorile tensiunilor obținute cu FEM și experimental (Legendă: EW – strat de lemn timpuriu, LW – strat de lemn târziu) (Stanciu ș.a. 2020b)

Tipul de solicitare	Tensiunile punctelor din vecinătate dintre straturile eșantionului de lemn obținute cu FEM, σ (MPa)													
	EW1		LW2		EW3		LW4		EW5		LW6		EW7	
Tracțiune 1	10,15	10,74	24,42	24,66	10,75	10,00	22,77	23,21	10,28	10,71	24,22	24,13	10,65	10,18
Compresiune 1	-9,98	-10,4	-24,79	-25,18	-10,58	-10,43	-24,85	-24,94	-10,47	-10,64	-25,37	-24,81	-10,37	-9,94
Tracțiune 2	9,68	10,08	26,10	26,47	10,26	10,10	26,11	26,21	10,15	10,32	26,69	26,08	10,06	9,63
Compresiune 2	-9,30	-9,68	-27,63	-28,09	-9,86	-9,70	-27,68	-27,79	-9,75	-9,93	-28,33	-27,66	-9,66	-9,25
Tracțiune 3	9,80	9,34	30,13	29,55	8,82	8,94	29,29	24,25	7,31	8,70	29,60	30,45	9,46	10,01
Compresiune 3	-9,09	-8,67	-33,07	-32,42	-8,19	-8,32	-32,13	-29,67	-6,82	-8,06	-32,41	-33,36	-8,77	-9,30
Tracțiune 4	8,10	7,73	37,19	36,45	7,31	7,45	36,16	30,09	6,13	7,17	36,36	37,45	7,82	8,29

S-a observat că tensiunile din lemnul timpuriu sunt cu 56% mai mici decât cele din lemnul târziu, datorită modului de elasticitate longitudinal (rigiditate a lemnului mai mică de aproximativ 2 ori față de lemnul târziu), cât și densității acestuia. Odată cu creșterea numărului de încărcări, tensiunile din lemnul timpuriu tind să scadă față de cele din lemnul târziu, unde există o tendință de creștere a valorii lor (Figura 3.26 a). Acest fenomen explică ruptura lemnului prin delaminare datorită apariției tensiunilor de forfecare la interfața dintre cele două straturi, odată cu diferențele de tensiune și deformare și implicit între straturi. Conform lui Yang ș.a. 2014 și Tankut ș.a. 2014, primul fenomen de cedare a lemnului apare la interfața dintre lemnul timpuriu și lemnul târziu, datorită rigidității diferite a celor două straturi. Prin analiza comparativă a rezultatelor generale ale tensiunilor determinate experimental și ale celor simulate, se observă că eroarea crește cu peste 5% începând cu al treilea ciclu de aplicare, ceea ce se explică prin diferența dintre teoria calculului software în domeniul liniar și fenomenele neliniare care au loc în lemn la oboseală (Figura 3.26 b).

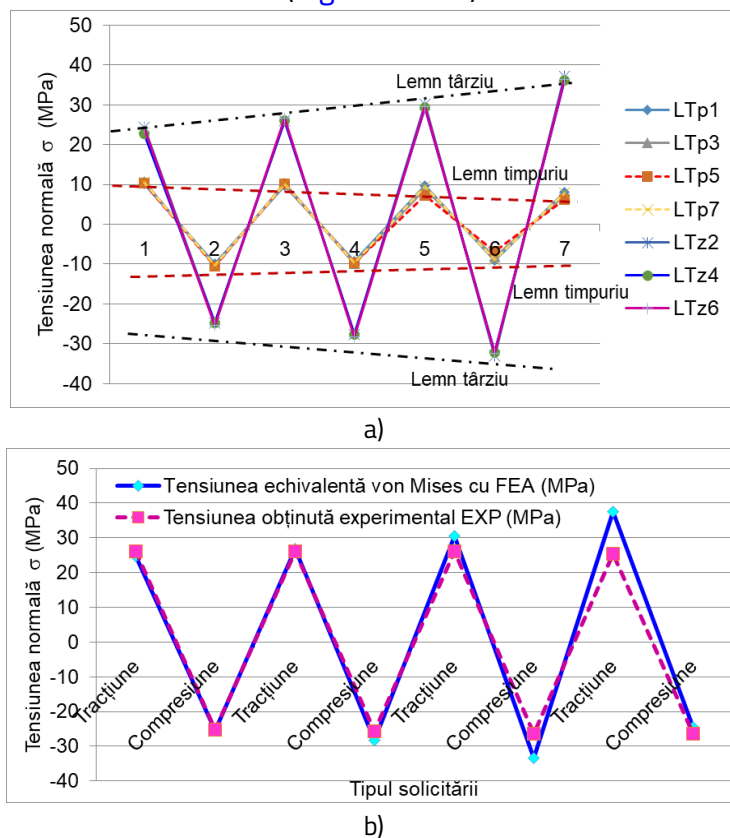


Figura 3.26. Variația tensiunilor: a) odată cu creșterea numărului de încărcări ciclice, în lemnul timpuriu și cel târziu; b) obținute cu elemente finite și experimental (Stanciu ș.a. 2018a)

Aplicarea ingineriei inverse în analiza deformațiilor și solicitărilor cu metoda elementelor finite este foarte utilă pentru simularea comportamentului structurii lemnoase, care în teste reale

este dificil de măsurat, cum ar fi starea tensiunilor din fiecare strat al structurii lemnoase. Astfel, în [Figura 3. 27](#) se poate observa variația tensiunilor pe fiecare strat odată cu creșterea ciclurilor de încărcare. Valoarea tensiunilor de întindere este mai mare decât cea a compresiunii și, comparativ cu cele identificate de [Curtu & Ghelmeziu \(1984\)](#), valorile sunt similare. Tensiunile de compresie au valori mai mici legate de tensiunea de întindere atât cu FEM, cât și experimental. În cazul unei epruvete realizate din material predominant ductil supusă la tracțiune, rupura are loc în etape succesive: zonele periferice cedează sub tensiuni tangențiale (interfețe dintre straturi), iar zona centrală cedează sub tensiuni normale ([Curtu ș.a. 2016](#), [Stanciu ș.a. 2018](#)).

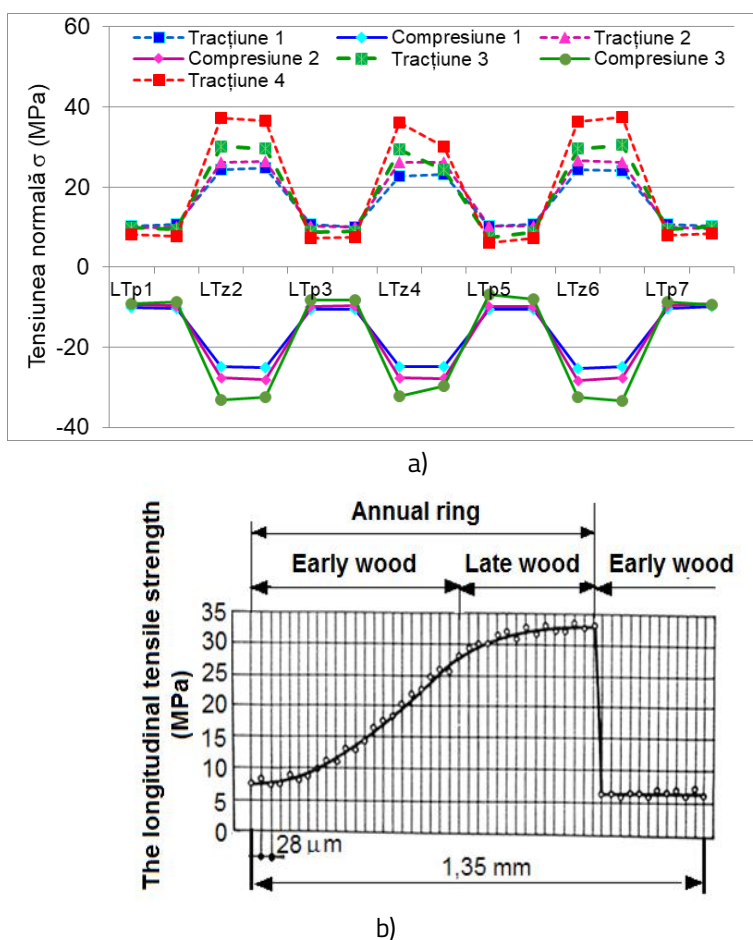


Figura 3. 27. a) Variația tensiunilor normale pe straturi pentru fiecare ciclu de încărcare ([Stanciu ș.a. 2018a](#)); b) variația rezistenței longitudinale la tracțiune obținută experimental prin ([Curtu ș.a. 2016](#))

3.3. Concluzii

Cercetările realizate au avut ca scop aplicarea metodei de inginerie inversă pentru analiza cu elemente finite a unui material compozit stratificat, cum este lemnul, pornind de la rezultatele experimentale obținute pe epruvete de lemn de pin încărcate în direcție radială longitudinală cu cicluri alternante simetrice de tracțiune-compresiune.

Analiza cu elemente finite a fost efectuată în domeniul elastic utilizând ca factor pentru aproximarea comportamentului vâsco-elastic al lemnului scăderea modului de elasticitate pentru lemnul târziu și lemnul timpuriu. Pentru a obține rezultate mai precise (cu o eroare sub 5%), în ceea ce privește calculul cu elemente finite, se recomandă o mai bună coordonare între forța aplicată pe ciclu și corelarea caracteristicilor mecanice cu o funcție exponențială în cazul tracțiunii și un polinom în cazul compresiunii, dar și o ajustare iterativă îmbunătățită a parametrilor modelului virtual pentru a obține un comportament cât mai apropiat de modelul real.

Degradarea proprietăților mecanice începe prin degradarea structurii lemnului ca urmare a rezistenței diferite a straturilor de lemn timpuriu și lemn târziu, precum și a răspunsurilor elastice vâscoase diferite la tracțiunea și compresia lemnului. Astfel, după 20 de cicluri alternativ simetrice, modulul de elasticitate longitudinal scade cu aproximativ 28%, iar odată cu creșterea vitezei de încărcare, în unele cazuri s-a produs chiar distrugerea probelor. De asemenea, se observă modul de rupere a lemnului care are loc la un unghi de aproximativ 30 de grade, ceea ce implică apariția unor tensiuni de forfecare în timpul solicitării ciclice axiale simetrice. Acest studiu relevă faptul că în calculele de rezistență și în normele de proiectare este necesară introducerea unor coeficienți care iau în considerare viteza de degradare a lemnului la solicitări ciclice.

Cercetările prezentate în acest capitol au fost diseminate sub forma a 4 articole ISI și 2 articol BDI:

Articole ISI

Stanciu M.D., Bucur V., Valcea C. S., Savin A., Sturm R., (2018) Oak particles size effects on viscous-elastic properties of wood polyester resin composite submitted to ultraviolet radiation, *Wood Sci Technol* 52 (2): 365-382 (2018) (FI=1,706; SRI=2,454).

Stanciu M.D., Savin A., Nastac S.M., (2018) Mechanical and surface properties of lignocellulosic fibres reinforced composites, in *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 64 (2018) 11, 698-705, ISSN 0039-2480 (FI=1,182; SRI=0,503)

Stanciu M.D., Teodorescu D. H., Tămaş F., Terciu O.M. Mechanical and Rheological Behaviour of Composites Reinforced with Natural Fibres, *Polymers* 2020, 12 (6), 1402; (FI= 3.426; SRI=1.9) doi:10.3390/polym12061402

Stanciu, M.D.; Teodorescu, H.D.; Vlase, S. (2020) Degradation of Mechanical Properties of Pine Wood Under Symmetric Axial Cyclic Loading Parallel to Grain. *Polymers* 2020, 12, 2176. <https://doi.org/10.3390/polym12102176>.

Articol BDI – Springer şi Elsevier

Stanciu MD, Curtu I, Groza M, Savin A (2016) The Evaluation of Rheological Properties of Composites Reinforced with Hemp Subjected to Photo and Thermal Degradation. CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering (A. Chiru and N. Ispas Eds.), DOI 10.1007/978-3-319-45447-4_62

Stanciu M. D., Ardeleanu A.F. Teodorescu Draghicescu H, Reverse engineering in finite element analysis of the behaviour of lignocellulosic materials subjected to cyclic stresses, in *Procedia Manufacturing* 22 (2018), pp 65-72, 11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2017, 5-6 October 2017, Tirgu Mures, Romania.

Capitolul 4. Concluzii, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare

4.1. Concluzii și contribuții științifice

Cercetările prezentate în teza de abilitare **”Modificări ale proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului și materialelor lignocelulozice supuse la diferite tratamente”** constituie rezultatul activității de cercetare și dezvoltare științifică și profesională a autoarei pe parcursul a 10 ani, fiind implicate numeroase cercetări interdisciplinare, cu metode moderne de investigație, în laboratoare din Universitatea Transilvania din Brașov, dar și din alte centre de cercetare (Institutul de Fizică Tehnică din Iași, Laboratorul de Biometrie Forestieră din Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, Universitatea Dunărea de Jos din Galați) sau industrie (fabricile de instrumente muzicale din Reghin: S.C. Gliga Instrumente Muzicale, S.C. Hora S.A. Reghin, respectiv fabrica de materiale compozite Compozite S.A. Brașov).

În această secțiune sunt prezentate concluziile fiecărui capitol (direcție de cercetare). Astfel, **Capitolul 1**, intitulat **Evaluarea proprietăților fizice, mecanice și acustice ale lemnului supus îmbătrânirii artificiale** a avut ca obiectiv studiul efectului îmbătrânirii artificiale asupra proprietăților fizice, elastice, acustice și chimice ale lemnului de molid și paltin.

Rezultatele acestor studii au evidențiat următoarele aspecte:

- modelele de difracție și indicele de cristalinătate obținute pe probe înainte și după expunerea la UV diferă la cele două specii analizate, precum și de la o organizare a structurii anatomice la alta, chiar în cadrul aceleiași specii (clase anatomice diferite), fenomen măsurat cu echipamentul de difracție cu raze X (XRD);

- îmbătrânirea artificială însoțită de un tratament higrotermic blând duce la degradarea conținutului de lignină prin scăderea absorbțiilor lungimilor de unde infraroșii corespunzătoare vibrației scheletului aromatic al ligninei, după expunerea la UV, fenomen măsurat cu FTIR;

- viteza de propagare a sunetului, modulul de elasticitate longitudinal și tensiunile maxime de tracțiune au fost parametrii mecanici și acustici cei mai sensibili la îmbătrânire, concluzii care au rezultat din măsurătorile mecanice (mașina de testare mecanică universală, respectiv echipamentul de măsurare cu ultrasunete);

- tratamentul blând de îmbătrânire artificială a lemnului pentru instrumente muzicale a contribuit la îmbunătățirea proprietăților acustice.

Capitolul 2, cu titlul **”Influența diferitelor tipuri de finisaje asupra proprietăților fizice, dinamice și acustice ale lemnului de rezonanță”** a urmărit analiza comportamentului dinamic

și acustic al lemnului (molid și paltin) înainte și după aplicarea diferitelor tipuri de lacuri, plecând de la ipoteza că pelicula de lac aplicată împreună cu suportul de lemn formează un nou material, stratificat din punct de vedere elastic și acustic. Rezultatele acestor cercetări au evidențiat următoarele aspecte:

- Pe lângă modificările de culoare în funcție de rețeta de finisare adoptată de producătorul de instrumente muzicale, rugozitatea și morfologia suprafețelor sunt afectate de grosimea peliculei de lac, pelicula cu 10 straturi fiind optimă din acest punct de vedere.
- Coeficientul de absorbție acustică a crescut odată cu numărul de straturi de lac și a variat în funcție de gama de frecvențe sonore, tipul de lac și calitatea lemnului, toate contribuind la tonalitatea acustică. De exemplu, pentru o frecvență sonoră de 1,5 kHz, s-a dovedit că lacul pe bază de ulei cu 5 și 10 straturi contribuie la un sunet plin, în timp ce lacul cu alcool, datorită coeficientului de absorbție scăzut, poate duce la unele sunete nazale, iar lacul nitrocelulozic prezintă cel mai scăzut coeficient de absorbție acustic;
- Cele trei tipuri de lacuri studiate potențază diferit structura anatomică a lemnului: pentru lemn clasa D, este necesar un lac ce crește rigiditatea noului sistem lemn – lac, comparativ cu un lemn clasa A, unde rigiditatea naturală este deja asigurată prin structura anatomică a lemnului.
- Aplicarea a mai mult de 10 straturi de lac nu îmbunătățește performanța sonoră, deoarece va atenua sunetul în finisajul cu lac pe bază de ulei și va face sunetul prea ascuțit în cazul lacului cu alcool.
- Cel mai bogat spectru de frecvență a fost înregistrat în cazul plăcilor acoperite cu lac pe bază de alcool, deși toate probele au prezentat frecvențe în intervalul 270–3500 Hz.
- Absorbția sunetului pe suprafețele nelăcuite este afectată semnificativ de prezența lacului pe suprafața opusă.
- Cele mai mari valori ale coeficientului de reflexie au fost înregistrate în probele lăcuite cu lac nitrocelulozic.

Capitolul 3, cu titlul "Analiza proprietăților vâsco-elastice ale lemnului și materialelor lignocelulozice" reprezintă a treia direcție de cercetare abordată în teza de abilitare, abordează comportarea reologică a lemnului și materialelor lignocelulozice, evidențiind următoarele rezultate:

- Deformațiile la compresiune a lemnului de pin reprezintă aproximativ 40% din deformarea totală a probelor, iar deformațiile la tracțiune, 60%.
- Deformarea plastică totală reală reprezintă aproximativ 20% din valoarea totală a deformațiilor, la solicitarea de tracțiune – compresiune alternant simetrică,. Acest fenomen

apare datorită faptului că fibrele lemnului se întind dincolo de limita lor de curgere, ceea ce duce la apariția deformărilor plastice vâscoase.

■ Cele mai importante degradări mecanice apar în primele cicluri de solicitare și cresc cu creșterea intensității sarcinii: astfel, la o sarcină de 1 kN, după primul ciclu de solicitare, modulul longitudinal de elasticitate se degradează cu 12% din valoarea inițială, comparativ cu 20 de cicluri când degradarea este de 15% din valoarea inițială; la o sarcină de 1.5 kN ratei de degradare crește cu 19% după 20 de cicluri și cu 28% în cazul unei sarcini de 2 kN.

■ degradările structurii și diminuarea rezistenței mecanice se datorează și vitezei de solicitare, astfel la o creștere a vitezei de încărcare cu 10 mm/min rezultă o degradare de 12% (pentru o sarcină de 1 kN); 18% (pentru o sarcină de 1.5 kN) și 21% (pentru o sarcină de 2 kN).

■ pentru reducerea consumului de material, se pot utiliza instrumente și metode moderne de analiză cum este cea a elementelor finite în care lemnul, ca material anizotrop ortotrop și organizare ierarhică, oferă posibilități multiple de modelare.

■ deși lemnul rămâne un material nobil și deschis cercetărilor, un domeniu de nișă îl reprezintă producția de materialele lignocelulozice care valorifică deșeurile lemnoase în diferite combinații matrice – elemente de ranforsare, respectiv diferite organizări ale structurii, cu geometrii, forme și proprietăți adaptate nevoilor. În acest context, studierea proprietăților mecanice de scurtă și lungă durată, în diferite condiții de mediu, este un obligatoriu pentru a caracteriza materialul respectiv și a-l utiliza în concordanță cu valențele sale mecanice.

4.2. Contribuții personale și originale

Contribuțiile personale și originale sunt evidențiate de proiectele de cercetare coordonate de autoarea tezei, de publicațiile și vizibilitatea acestora în lumea științifică și socio-economică. Pe lângă acestea, se pot adăuga punctual:

- Studiu sistematic al proprietăților fizice, elastice, dinamice și acustice, bazat pe cercetare fundamentală și aplicativă, a lemnului de molid și paltin, utilizat pentru instrumente muzicale;
- Studiu sistematic al influenței finisajelor cu alcool, pe bază de ulei și nitrocelulozice asupra proprietăților fizice, dinamice și acustice ale lemnului de molid și paltin;
- Studiul proprietăților vâsco-elastice a lemnului și materialelor lignocelulozice;
- Simularea cu metoda elementelor finite a degradării lemnului la solicitări ciclice alternant simetrice;
- Elaborarea a două monografii care cuprind aceste studii;
- Crearea unui pol de cercetare interdisciplinară a instrumentelor muzicale cu corzi, în cadrul Universității Transilvania din Brașov;

- Extinderea colaborărilor inter și transdisciplinare la nivel local, național și internațional;
- Organizarea primei conferințe internaționale interdisciplinare privind instrumentele muzicale, la noi în țară;
- Elaborarea și depunerea a două propuneri de brevete;
- Atragerea finanțărilor pentru cercetare;
- Implicarea studenților (licență, master, doctorat) în cercetările fundamentale și aplicative;
- Participarea la numeroase evenimente științifice naționale și internaționale pentru diseminarea și cercetărilor, promovarea tinerilor cercetători, consolidarea colaborărilor.

4.3. Direcții viitoare de cercetare

Direcțiile viitoare de cercetare în domeniul ingineriei forestiere ale autoarei tezei sunt axate pe doi piloni de dezvoltare:

1) Pilonul I – vizează **consolidarea cercetărilor avansate** în domeniul instrumentelor muzicale

- ***Cercetare fundamentală:***

- studierea proprietăților fizice, elastice, dinamice și acustice ale altor specii indigene și exotice utilizate în construcția instrumentelor muzicale.

- ***Cercetare aplicativă***

- Studierea instrumentelor muzicale cu corzi și arcuș din familia viorii, precum viola, violoncelul și contrabasul – din perspectiva speciilor lemnoase și a tehnologiei de fabricație;
- Studierea proprietăților altor materiale lignocelulozice în construcția instrumentelor muzicale;
- Studierea influenței diferitelor tipuri de tratamente ale lemnului pentru îmbunătățirea calității acustice.

- ***Transfer tehnologic***

- Implementarea unor tehnologii de control activ al calității acustice a instrumentelor muzicale pe parcursul fluxului tehnologic, utilizând tehnologia de "machine learning".

2) Pilonul 2 – vizează **inițierea unor noi domenii de cercetare interdisciplinare care să valorifice tehnologiile actuale de printare 3D și Machine Learning**

- Proiectarea de materiale lignocelulozice biomimetice bazate pe scalarea structurii anatomice a lemnului de diferite specii, obținute prin printare 3D.
- Studiul numeric și experimental al proprietăților acustice, termice, dinamice a materialelor lignocelulozice cu proprietăți acustice (rezonatoare/fonoabsorbante).
- Studiul structurilor din lemn cu proprietăți auxetice.

(B-II) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

Capitolul 5. Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

5.1. Evoluția în cariera profesională

5.1.1. Studii

Studii universitare/postuniversitare/doctorat

Perioada	Instituția	Diplomă/grad
2001 - 2006	Studii de licență, Facultatea de Ingineria Lemnului, Universitatea Transilvania din Brașov	Diplomă de inginer
2006 - 2008	Studii de master (Dinamica Structurilor Mecanice), Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov	Diplomă de master
2006 - 2009	Studii doctorale, Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov (Titlul tezei de doctorat: <i>"Cercetări privind optimizarea formei și structurii plăcilor compozite lignocelulozice supuse la solicitări ciclice, cu aplicații la instrumentele muzicale"</i> (îndrumător de doctorat –prof. univ. dr. ing. Curtu Ioan)	Diplomă de doctor în domeniul inginerie mecanică
2010 - 2013	Studii postdoctorale, Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov	
2022	Teza de abilitare în domeniul inginerie mecanică Titlul tezei de abilitare: <i>Comportamentul mecanic al structurilor complexe lignocelulozice de tip Helmholtz</i>	Atestat de abilitare în domeniul inginerie mecanică, OM. 4197/05.07.2022

Alte specializări și calificări

Perioada	Instituția	Diplomă/grad
1991 – 1996	Studii liceale (5 ani) Liceului Pedagogic "D.P. Perpessiciu" Brăila	Învățătoare
1997	Pregătire postliceală - Liceului Pedagogic "D.P. Perpessiciu" Brăila	Definitivat în învățământ
2001	Pregătire postliceală - Universitatea Ovidius din Constanța/ gradul II	Gradul II
2006	Specializare English for Technical and Business Purposes in Wood Industry-CECECOS, Universitatea Transilvania din Brașov	Certificat de absolvire

2001-2006	Modulul psiho-pedagogic universitar	Certificat de absolvire DPPD
2010	Curs S.C. Info-Educatia S.R.L. Iasi – manager resurse umane	Certificat Manager Resurse Umane
2010	Școala de vară internațională Societatea Europeană de Acustică - European Acoustic Association (EAA) și Slovenian Acoustic Society (Școala de vară din cadrul congresului EAA Euroregio2010 Congress on Sound and Vibration, 13-18 septembrie 2010, Ljubljana) – cursuri: Soundscape, Building Acoustic, Numerical Acoustics	Certificat de perfecționare
2019	Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi Branch, Russia	Certificat de participare Erasmus Training Staff Exchanges
2025	Technical University of Zvolen, Slovacia	Certificat de participare Erasmus Training Staff Exchanges

5.1.2. Experiență profesională și didactică

Perioada	Instituția	Funcția
1996 – 1997	Școala Mihai Eminescu din Brăila	Învățătoare
1997 - 2001	Școala Waldorf Brăila	Învățătoare
2006 - 2009	Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov	Cercetător doctorand/asistent universitar
2010 - 2013	Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov	Cercetător postdoc/ asistent universitar
2012 - 2019	Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov	Șef lucrări
2019 - 2023	Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov	Conferențiar universitar
2023 - prezent	Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov	Prof. hab. Dr. ing.

Carierea universitară de până acum a fost construită pe repere și valori esențiale precum corectitudine, seriozitate, bun simț, conștiința lucrului bine făcut. Evoluția academică a autoarei tezei a început în cadrul Catedrei de Rezistența Materialelor și Vibrații (ulterior Departamentul de Inginerie Mecanică), de la Facultatea de Inginerie Mecanică, dar cu

numeroase colaborări interdisciplinare cu colegii din Facultatea de Design de Mobilier și Ingineria lemnului, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Facultatea de Design de Produs și Mediu, Facultatea de Muzică, colaborări didactice și de cercetare.

5.1.3. Activități didactice desfășurate

În cadrul Universității Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Departamentul de Inginerie Mecanică, autoarea tezei de abilitare a desfășurat activitățile didactice de curs, seminar și laborator aferente disciplinelor prezentate mai jos, fiind *titulară a 8 cursuri* din Planurile de învățământ ale diferitelor programe de studii de licență și master din cadrul facultăților cu profil tehnic.

Perioada	Activități didactice coordonate/discipline/program de studii
2012 - 2017	Laborator <i>Rezistența Materialelor</i> / licență anul II IF - Facultatea de Ingineria Lemnului, Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor
2012 - 2013	Seminar <i>Plăci și învelișuri</i> /licență anul IV IF - Facultatea de Inginerie Mecanică
2012 – în prezent	Curs/laborator <i>Reologie</i> /licență anul IV IF +IFR - Facultatea de Inginerie Mecanică
2012 - 2017	Curs/laborator <i>Elemente de reologie aplicate în inginerie mecanică</i> / master STIM anul I -Facultatea de Inginerie Mecanică
2012 - în prezent	Curs/laborator <i>Reologia materialelor de construcții</i> / master anul I Facultatea de Construcții
2017 – în prezent	Curs/laborator <i>Rezistența Materialelor</i> / licență anul II IF și FR - Facultatea de Design de Mobilier și Ingineria Lemnului
2015 – în prezent	Curs/laborator <i>Calculul structurilor din lemn</i> / licență anul III IF și FR - Facultatea de Design de Mobilier și Ingineria lemnului
2018 – 2020	Laborator <i>Rezistența Materialelor</i> / licență anul II IF – Facultatea de Design de produs și mediu – inginerie medicală
2017 - 2019	Curs/seminar <i>Managementul proiectelor industriale</i> / licență anul IV IF+IFR - Facultatea de Inginerie Mecanică
2018 – 2022	Curs <i>Etică și Integritate Academică</i> / master anul I, IF și IFR (2021)– STIM, Facultatea de Inginerie Mecanică
2021 - 2022	Curs/laborator <i>Mecanică Experimentală</i> / master anul I,, IF și IFR – STIM, Facultatea de Inginerie Mecanică
2023 – în prezent	Seminar/Laborator <i>Rezistența Materialelor</i> / licență anul II IF – Facultatea de Inginerie Mecanică, programul de studii Autovehicule Rutiere

În urma evaluărilor activității didactice de către studenții Facultății de Design de Mobilier și Ingineria Lemnului, autoarea tezei calificativul "foarte bine" la toate criteriile, ceea ce este

atât o recunoaștere a calității activității didactice, dar și o motivație de a continua și îmbunătăți materialele didactice, metodele de comunicare, învățare și evaluare a studenților.

5.1.4. Calitatea activității didactice

Calitatea actului didactic s-a concretizat prin implicarea activă în modernizarea și adaptarea activităților didactice de la disciplinele predate, în conformitate cu cerințele actuale și modelele naționale și internaționale. În procesul de predare autoarea utilizează alături de metodele clasice de predare și tehnicile moderne pentru a facilita studenților înțelegerea noțiunilor predate.

În ceea ce privește publicațiile didactice, este prim autor al cursurilor „*Reologie generală*” apărut în anul 2013, „*Reologia lemnului*” (2015), *Reologia materialelor de construcții* (2015) la Ed. Universității Transilvania din Brașov, precum și al suporturilor de curs în format electronic disponibile pe platforma universității, „*Rezistența materialelor în industria lemnului pentru ID-FR*” (2015) și „*Elemente de reologie aplicată în inginerie - suport de curs pentru ID-IFR*” (2016). De asemenea, este coautor al lucrărilor de laborator aferente disciplinei *Rezistența materialelor* concretizate într-un îndrumar de lucrări practice, Bit. C. Cerbu C., Baba M. N., Curtu I., Itu C., Roșca I. C., Stanciu M.D., Száva I., Száva I. R., Velea M. N., (2018) *Rezistența Materialelor. Îndrumar de laborator*, ISBN 978-606-19-1084-7.

De asemenea, a proiectat și realizat următoarele standuri de laborator, contribuind astfel la dezvoltarea bazei materiale a departamentului din care face parte, standuri ce pot fi valorificate în cadrul laboratoarelor la diferite discipline:

- *Stand multitest pentru testarea barelor la flambaj - Laboratorul de rezistența Materialelor;*
- *Stand de testare statică și dinamică a palelor de turbine eoliene - Laboratorul de Reologie și rezistența materialelor;*
- *Cabina simulator de mediu pentru testarea reologică a structurilor - Laboratorul de reologie;*
- *Dispozitiv de fixare a structurilor complexe pentru testarea prin metoda tensometriei rezistive - Laboratorul de reologie și rezistența materialelor.*
- *Stand de testare statică și dinamică a viorilor;*
- *Stand de cercetare a fenomenului de îmbătrânire artificială la radiații UV*

5.1.5. Îndrumarea studenților

Autoarea prezentei teze de abilitare s-a implicat în activitățile de îndrumare a studenților la proiecte de licență și disertație încă din perioada de postdoctorat, făcându-și ucenicia în

cotutelă cu profesorul emerit dr. ing. dr. h. c. Ioan Curtu, iar ulterior, a avut o continuă activitate de îndrumare a studenților, până în prezent. Tematica generoasă a cursurilor, experiența acumulată și modelele profesionale din jurul său, se reflectă în tematicile lucrărilor îndrumate la Facultatea de Design de Mobilier și Ingineria Lemnului și Inginerie mecanică, fiind selectate doar cele care vizează domeniul forestier (lemnul și materialele lignocelulozice) (8 lucrări de disertație și 27 proiecte de diplomă).

Nr. crt.	Anul universitar	Titlul	Student/program de studiu/ Facultatea	Îndrumător(i)
1.	2013 - 2014	Proiectarea unui stand experimental de determinare a stărilor de tensiuni și deformații la chitara clasică	Mihalache Daniel/ Licență/IM	Stanciu M.D.
2.	2013 - 2014	Factori de influență a stărilor de tensiuni și deformații a gâtului de chitară	Mocanu Teodor/ Licență/IM	Stanciu M.D.
3.	2014 - 2015	Influența speciei lemnoase utilizate în structura spatelui de vioară asupra calității acustice a acesteia	Moișan Eugen/ Licență/IL-FR	Stanciu M.D; Curtu Ioan
4.	2014 - 2015	Proiectarea și realizarea palelor turbinelor eoliene din materiale lignocelulozice pentru utilizatori casnici	Pișcoi Petru/ Licență/IL-FR	Stanciu M.D; Curtu Ioan
5.	2014 - 2015	Optimizarea constructivă a chitarei clasice în vederea reducerii deformațiilor remanente	Pop Călin/ Licență/IL-FR	Stanciu M.D; Curtu Ioan
6.	2014 - 2015	Studiu comparativ al calității acustice a chitărelor clasice cu fețele realizate din diferite materiale	Someșan Adrian Dumitru/ Licență/IL-FR	Stanciu M.D; Curtu Ioan
7.	2014 - 2015	Evaluarea comportării relogice a compozitelor lignocelulozice	Groza Mihai Ilie/ Master/IM/Zi/STIM	Stanciu M.D; Curtu Ioan
8.	2017 - 2018	Proiectarea și calculul de rezistență a structurii unei case ecologice din lemn	Pop Andrei/ Licență/IL/FR	Baba M.N Stanciu M.D
9.	2017 - 2018	Soluții integrative de optimizare a proprietăților rigido-plastice a chitărelor	Duță Petrică Georgică Master/IM/STIM/zi	Stanciu M.D.
10.	2018 - 2019	Proiectarea și realizarea standului pentru testarea și verificarea dimensională a chitărelor	Tolbașu Costin/ Master/IM/STIM/zi	Stanciu M.D.
11.	2019 - 2020	Analiza comportării mecanice la încovoiere în trei puncte a barelor din lemn	Voinescu Mădălina/ Licență/IM/FR	Stanciu M.D.
12.	2019 - 2020	Comportarea visco-elastică a materialelor anizotrope - ortotrope la solicitarea de tracțiune – compresiune (Studiu de caz - lemnul de pin (Pinus Sylvestris))	FENE Paul Alexandru/Licență/ IM-En	Stanciu M.D.

13.	2019 - 2020	Proiectarea si realizarea unui garaj retractabil din lemn	Șelaru Răzvan/ Licență/IL/Zi	Stanciu M.D.
14.	2020 - 2021	Proprietăți fizice, mecanice și dinamice ale molidului de rezonanță	Dandu Ionel/ Master/IM/STIM/zi	Stanciu M.D.
15.	2021 - 2022	Studiul privind comportarea dinamică a viorilor istorice și actuale	Guțăș Vladuț Petru Master/IM/STIM	Stanciu M.D.
16.	2021 - 2022	Proiectarea și realizarea unui pătuț de copii, cu elemente curbate din lemn	Aleseei Ovidiu Licență/DMIL	Stanciu M.D.
17.	2021 - 2022	Proiectarea unei case din panouri structurale izolatoare	Pisău Mihai Licență/DMIL	Stanciu M.D.
18.	2021 - 2022	Proiectarea și realizarea unei chitare electrice	Stan Timian Licență/DMIL	Stanciu M.D.
19.	2021 - 2022	Proiectarea și realizarea unei terase semi-acoperite din lemn masiv	Ursachi Andrei Licență/DMIL	Stanciu M.D.
20.	2022- 2023	Proiectarea și realizarea unui spațiu de relaxare – foișor din lemn masiv	Kovacs Kapsi Aron Licență/DMIL/IFR	Stanciu M.D.
21.	2022- 2023	Casă pe structură ușoară din lemn cu aspect tradițional și certificare de casă pasivă	Porumboiu Mihai Licență/DMIL	Stanciu M.D. Răcășan S.
22.	2022- 2023	Proiect tehnic și tehnologic privind mobilierul de odihnă pentru copii	Vancsa (Suciu) Ileana Elisabeta, Licență/DMIL/IFR	Stanciu M.D.
23.	2022- 2023	Proiectarea unei ferestre din lemn stratificat pentru case pasive	Creciun Daniel Licență/DMIL	Stanciu M.D.
24.	2022- 2023	Studiul proprietăților fizice și acustice ale plăcilor anizotrope cu interfețe modificate	Mărășescu Călin- Constantin, Master/IM/STIM	Stanciu M.D.
25.	2022- 2023	Explorarea proprietatilor acustice ale viorilor – studiu de caz modelul Stainer	Micu Manuela Master/IM/STIM	Stanciu M.D. Năstac S.M.
26.	2022 - 2023	Influența îmbătrânirii artificiale a lemnului de rezonanță asupra proprietăților acustice și dinamice	Rotaru Gabriel Master/IM/STIM	Stanciu M.D. Năstac S.M.
27.	2023 - 2024	Proiectarea și realizarea unui ansamblu din cadrul unei stupine	Huber Marwin Licență/DMIL	Stanciu M.D.
28.	2023 - 2024	Proiectarea si realizarea unor jocuri tip puzzle 3d din lemn	Marcu Timotei Licență/DMIL	Stanciu M.D.
29.	2023 - 2024	Pavilion modular demontabil cu structură ușoară din lemn	OPREA-VANDICI Florin-Marian, Licență/DMIL	Stanciu M.D.
30.	2023 - 2024	Proiectarea și realizarea unui birou cu elemente curbe	Urs Bogdan Licență/DMIL	Stanciu M.D.

31.	2024 - 2025	Proiectarea și realizarea unei structuri portante semideschise	Bornoz Călin Licență/DMIL/IFR	Stanciu M.D.
32.	2024 - 2025	Proiectarea și realizarea unui birou din lemn masiv cu dispozitive electronice încorporate tip LED	Chirilă Tiberiu Licență/DMIL	Stanciu M.D.
33.	2024 - 2025	Proiectarea și realizarea unei structuri de mobilier cu rol didactic	Kokan Filip Mihai Licență/DMIL	Stanciu M.D.
34.	2024 - 2025	Proiectarea și realizarea unei viori electrice	Panosche Timotei Licență/DMIL	Stanciu M.D.
35.	2024 - 2025	Proiectarea și realizarea unei structuri de mobilier cu rol didactic	Sabo Lara Catharina Licență/DMIL	Stanciu M.D.

Sub îndrumarea autoarei tezei, o parte din studenții de la proiectele de diplomă și disertație și-au prezentat rezultatele cercetărilor proprii la sesiunile științifice studentești, o parte dintre acestea fiind premiate: 2014 (premiul I SSCS 2014); 2015 (lucrare premiata locul III/2015); 2017 (premiul I, mențiune – SSCS, 3 lucrări participante la AFCO premiul I - AFCO); 2018 (premii speciale lucrari CADET INOVA Sibiu); 2021 (premiul I – SSCS, Premiul I – AFCO, secția IM; premiul Medalia de Aur, Medalia de Argint - CADET INOVA Sibiu 2021, Medalia de Argint - The 5th Edition of Innovation and Creative Education Fair for Youth ICE-USV, Universitatea din Suceava, 28.05.2021), Premiul AFCO 2022 - secțiunea IV, Design inovativ de chitară electrică: lemn - rășină epoxidică (Stan Timian), Premiul AFCO 2024 secțiunea IV, Scaun din lemn cu îmbinări tip puzzle (Marcu Timotei); Premiul AFCO 2025 secțiunea IV Mobilier interactiv cu rol didactic.



Premii obținute de studenții îndrumați de autoarea tezei la sesiuni științifice studentești naționale, cu studenți de la Facultatea de Design de Mobilier și Ingineria Lemnului

În anul universitar 2024-2025, autoarea tezei a îndrumat echipa de studenți recrutați de la Facultatea de Design de Mobilier și Ingineria Lemnului, în cadrul proiectului studentesc "Xiloteca Universității Transilvania din Brașov", susținut din fondurile proprii ale Universității Transilvania din Brașov. Pe parcursul anilor universitari, a organizat diverse activități pentru studenți, cum sunt vizitele de studii la fabrici (RoWood 2022, 2023, S.C. Iris Service S.A. Miercurea Ciuc, Harghita 2022); participarea studenților și reprezentare a DIMEC la Noaptea cercetătorilor 2017; 2019; 2021 – 2024, implicarea studenților în activități ale proiectelor științifice.

5.1.6. Colaborarea în comisiile de îndrumare a doctoranzilor

Autoarea tezei de doctorat este implicată în două comisii de îndrumare a doctoranzilor: 1 în domeniul ingineriei mecanice; 1 în domeniul ingineriei forestiere, precum și în alte două comisii a căror teze au fost finalizate.

A fost referent în comisia de doctorat (națională) la Univ. Tehnică Gh. Asachi din Iași, precum și referent într-o comisie de doctorat internațională la Faculty of Engineering, University of Malaysia.

5.2. Managementul didactic

Autoarea tezei are responsabilități în managementul didactic al departamentului în care activează, fiind implicată în diferite activități.

Responsabilități privind managementul calității procesului didactic

Perioadă	Activități
2014 - 2018	Secretarul comisiei la examenul de disertație
2019 - 2021	Membru în comisia de disertație STIM
2014 - 2018	Tutore de an IM (promoția 2018)
2018 - 2022	Tutore de an IM (promoția 2022)
2020 - 2021	Tutore de an STIM anul I
2021 - 2022	Tutore de an STIM anul I
2020 - 2024	Membru în comisia de licență IM
2019 – în prezent	Responsabil cu calitatea în departamentul DIMEC

5.2. Activitatea științifică

5.3.1. Proiecte de cercetare

Director de proiect	
1.	PN-III-P4-PCE-2021-0885, contract PCE 61/2022 Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope Cu interferențe modificate – ACADIA,

	Perioada: 2022 – 2024; Finanțator: UEFISCDI, (durata: 36 luni), suma: 1200000 lei PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148, contract nr. 568PED/2020 , Modele inovative de viori comparabile
2.	acustic și estetic cu viorile de patrimoniu – MINOVIS, Perioada: 2020-2022; Finanțator: UEFISCDI (durata: 24 luni), suma 600 000 lei Proiect PN-III-P2-2.1-BG 85/2016 Soluții integrative de creștere a performanței economice prin
3.	optimizarea proprietăților rigido-elastice și stabilității structurale a chitarelor de fabricație românească - SINOPTIC; Perioada: 2016-2018; finanțator: Uefiscdi (durata 24 luni), suma 400 000 lei Proiect PN-III – PT-PCCA 2013-4-0656/ Nr. contract: 59/2014 (etapa 2017) <i>Monitorizarea</i>
4.	<i>integrității structurale și autorepararea palelor de turbine eoliene și a altor structuri din compozite</i> <i>inteligente (STHEMOWTB)</i> (INCDFT Iasi – coordonator, Universitatea Transilvania din Brasov – Partener) director proiect șef lucr. dr. ing. Stanciu M.D. pentru anul 2017) Perioada: 2014 – 2017, Finanțator: UEFISCDI, suma/2017: 23 000 lei
5.	Burse postdoctorale pentru dezvoltare durabila POSTDOC-DD, ID59323- Transilvania University of Brasov, titlul <i>Cercetări privind optimizarea structurilor funcționale din materiale avansate utilizate în</i> <i>preluarea și absorbția zgomotului urban datorat fluxurilor rutiere</i> (buget bursa 152 600 lei),
Membru în echipa proiectelor după susținerea tezei de doctorat	
1	PND-II-D72–200/2008 Proiect BIOCOMPTEX 72-200/2008 Compozite biodegradabile cu insertii textile pentru produse ambientale ecologice, (Universitatea Tehnica "Gheorghe Asachi" din Iasi – coordonator, Universitatea Transilvania din Brasov – Partener) director proiect conf univ. dr. Camelia Coșereanu, perioada: 2008- 2011 finanțator: CNCIS, durata 36 luni, suma alocată ca membru 4418 lei (conform FRACS 2008-2011)
2	PC-71-016/2007 Proiect MODIS Monitorizarea, diagnoza si repararea structurilor complexe din materiale avansate, (INCDFT Iasi – coordonator, Universitatea Transilvania din Brasov – Partener) director proiect prof. univ. dr. Ioan Curtu, Perioada 2007-2010, Finanțator CNCIS (durata 36 luni), suma alocată ca membru 11400 lei (conform FRACS 2008-2010)
3	ID_191/225 din 1.10.2007 Modelarea si simularea comportarii la factori mecanici si de mediu agresivi a materialelor compozite intarite cu textile, director proiect prof. univ. dr. Vasile Ciofoaia, perioada: 2007-2009, Finanțator: CNCIS, suma alocată ca membru 30 900 lei (conform FRACS 2008-2010)

5.3.2. Domenii de expertiză

Activitățile desfășurate de autoarea tezei de abilitare se circumscriu următoarelor domenii de expertiză științifică:

- Evaluarea proprietăților elastice, acustice și dinamice a materialelor lignocelulozice (lemn, compozite pe bază de lemn, compozite cu fibră de sticlă/carbon);
- Analiza reologică a materialelor;
- Evaluarea comportării dinamice a structurilor complexe de tip Helmholtz;

- Identificarea soluțiilor integrative de îmbunătățire a calității structurilor din lemn pe baza expertizei comportării mecanice/dinamice a acestora;
- Testarea structurilor complexe prin diferite metode experimentale.

5.3.3. Recunoașterea și vizibilitate

Autoarea tezei de doctorat este membră titulară a Academiei de Științele Naturii din Rusia, membră a Asociației Inginerilor din România (AGIR), membră a Societății Române de Reologie (SRR), membră a Societății Române de Mecanică Tehnică și Aplicată (SRMTA), membră a Societății Române de Acustică (SRA). De asemenea este membră în comitetul științific al conferințelor: INTER-ENG, Interdisciplinarity in Engineering International Conference, Tg. Mureș, Univ. Petru Maior, International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering - ACME, organized by Mechanical Engineering Faculty, in the "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Romania, precum și peer - reviewer la revistele: European Journal of Wood and Wood Products, Polymers, Proligno, Journal of Polymers and the Environment, Applied Acoustics, Materials – Polymers, etc.

În anul 2023, cartea "Dinamica viorii" – Ed. Universității Transilvania din Brașov, la care autoarea este unul din coordonatorii cărții, a fost premiată cu premiul AGIR 2023, la secțiunea specială.



Capitolul 6. Planul de dezvoltare a carierei didactice

6.1. Direcții de dezvoltare a carierei didactice

În ceea ce privește activitatea instituțională, implicarea în viața academică și administrativă a departamentului, a facultății și universității vizează **contribuții la elaborarea și implementarea politicilor și a strategiilor de dezvoltare a acestora, precum și la promovarea imaginii instituției de învățământ superior**. Dintre acestea, se pot menționa:

- Calitatea actului educativ și armonizarea metodelor de predare-învățare – evaluare în concordanță cu profilul psihologic al fiecărei generații de studenți;
- Adoptarea unui stil pedagogic bazat pe experiențele din cadrul unor schimburi de bune practici ca *visiting professor* în universități și centre de cercetare specifice (lemn, materiale compozite lignocelulozice, materiale de construcții, mecanică aplicată, reologie, etc) sau de tip *Erasmus+*.
- **Implicarea tinerilor** (studenți absolvenți, masteranzi, doctoranzi) în **activitățile de cercetare** atât prin îndrumarea lor în cadrul proiectelor de disertație conducându-i către cercetare și diseminarea rezultatelor în diverse publicații, cât și implicându-i în activitățile de cercetare ale proiectelor științifice ca membri în echipa de cercetare, stimulându-le creativitatea, interesul, inovația.
- actualizarea și modernizarea suporturilor de curs și a lucrărilor de laborator/aplicații în concordanță cu tehnologia actuală și modul de interacționare cu studenții pe platforma e-learning, având în proiect revizuirea/actualizarea sau realizarea următoarelor suporturi de cursuri ca unic autor sau în co-autorat cu colegii din domeniu.

6.2. Direcții de dezvoltare științifică

Așa cum au fost menționate în secțiunea 4.3., direcțiile de dezvoltare științifică vizează două acțiuni distincte, considerate piloni ai planului de dezvoltare: pe de o parte, cea de consolidare a cercetărilor inițiate, aprofundate și prezentate în teză, iar pe de altă parte, dezvoltarea unor noi direcții în dialectică cu tendințele tehnologiei actuale.

Extinderea orizontului cercetărilor în domeniul proprietăților vâsco-elastice și dinamice ale lemnului și a materialelor lignocelulozice compozite sub diferite forme structurale, cu aplicații diverse – de la construcții din lemn, la instrumente muzicale, elemente cu rol de izolare termică și acustică, elemente de rezistență, constituie un deziderat ce continuă cercetările "școlii brașovene" inițiată de mari profesori precum Filipovici Jipa, Cotta Nicolae - Leonida, Eugen

Beldeanu, Florin Spîrchez, Ioan Curtu, Voichița Bucur și dezvoltate în inginerie forestieră de colegii actuali – Florin Dinulică.

Astfel, un alt obiectiv ar fi crearea la Brașov, a unui **pol de cercetare în domeniul instrumentelor muzicale cu corzi**, având sprijinul logistic al managementului fabricii de instrumente muzicale cu corzi, și colaborînd cu nume de prestigiu din domeniul menționat, precum Voichița Bucur (RMIT University, Melbourne, Australia), Marco Fioravanti (University of Florence) și Joseph Gril (University of Montpellier). Această parte a dezvoltării carierei se bazează atât pe colaborările avute până în prezent în cadrul diferitelor proiecte, precum și pe rezultatele publicate de-a lungul timpului în reviste de specialitate sau susținute la diferite conferințe/simpozioane, toate aceste fiind premisele unor cercetări de prestigiu în direcții de nișă în cercetarea transdisciplinară.

Coordonarea tinerilor cercetători (doctoranzi) în domeniul inginerie forestieră reprezintă motivația susținerii acestei teze de abilitare întrucât tematica prezentată oferă premisele continuării cercetărilor sau dezvoltării unor direcții noi, conform celor menționate. Formarea competențelor de cercetare fundamentală, aplicativă și de transfer tehnologic în rândul tinerilor cercetători este nu numai o dorință ci și o cerință a activității educaționale în universitate. Pe lângă atragerea tinerilor în cercetare, un deziderat important este acela de consolidare a echipei interdisciplinare, echipă ce s-a implicat activ în derularea proiectelor de până acum.

De asemenea, **atragera de fonduri prin participarea la proiecte de cercetare** atât în calitatea de director de proiect cât și din cea de membru în colectivele diverselor proiecte / granturi de cercetare naționale și internaționale, constituie un obiectiv foarte important în dezvoltarea carierei universitare, cu precădere de cercetare. Existența surselor de finanțare suplimentare și a unor tematici concrete, necesar a fi soluționate sunt condiții esențiale atât în participarea la conferințe de profil cât și în publicarea unor lucrări științifice de calitate.

Colaborarea cu alte colective de cercetare din universitate dar și din alte centre de cercetare din România (Iași, Suceava, București, Pitești, Galați, Sibiu, Tg Mureș, Cluj Napoca, Timișoara, Craiova) și din străinătate pentru abordarea unor teme interdisciplinare, depunerea de proiecte comune și realizarea de lucrări științifice valoroase, constituie de asemenea obiective importante în dezvoltarea și consolidarea carierei profesionale și a prestigiului științific. Pe termen scurt și mediu, prioritatea este continuarea diseminării rezultatelor cercetărilor prin **publicarea de articole științifice în reviste ISI cu factor de impact și scor relativ de influență cât mai ridicate ($FI > 3$; $SRI > 1.5$).**

6.3. Activitatea publicistică

Valorificarea rezultatelor cercetărilor desfășurate pînă în prezent și continuate în viitor se va materializa prin:

- diseminarea în articole redactate în limbi de circulație internațională;
- popularizarea în rândul specialiștilor din domeniu, a mediului socio-economic și cultural;
- publicarea unor monografii în edituri internaționale, în calitate de coordonator;
- organizării unor noi ediții a conferinței "Interdisciplinary approach of musical instruments – from design and testing, to audience"
- implicarea în parteneriate pentru organizarea conferințelor internaționale;

În secțiunea *(B-II) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei*, s-a prezentat atât evoluția științifică și profesională a autoarei cât și realizările didactice și științifice care au condus la conturarea și consolidarea prestigiului profesional, a autonomiei și vizibilității la nivel național și internațional.

Realizările științifice și planurile de dezvoltare ale carierei profesionale sunt susținute de maturitatea profilului științific și didactic al autoarei tezei de abilitare, în direcția temei de cercetare abordată în prezenta teză, temă ce se înscrie în domeniul Inginerie Forestieră.

Competențele și abilitățile de coordonare a studenților în activitățile științifice, a echipelor de cercetare ale proiectelor în calitate de director de proiect, capacitatea de asigurare a transferului de cunoaștere prin demersurile didactice cât și a transferului tehnologic prin interacțiunea cu mediul socio-economic dovedesc faptul că autoarea tezei de abilitare are capacitatea de coordonare a unor echipe de cercetare formate din viitori doctoranzi.

Cadrul general de desfășurare a activităților didactice și științifice, dotările tehnice din departament și centrul de cercetare, colectivele de cadre didactice cu performanțe remarcabile din Departamentul de Inginerie Mecanică, Departamentul de Prelucrarea Lemnului și Designul Produselor din Lemn, Departamentului Exploatare forestiere, amenajarea pădurilor și măsurători terestre din Universitatea Transilvania din Brașov, va constitui mediul propice de dezvoltare a carierei în plan didactic și științific al autoarei teze de abilitare, fiind o onoare pentru aceasta să contribuie în mod activ la menținerea standardelor de calitate ridicată așa cum a fost îndrumată de mentorii săi.

(B-III) BIBLIOGRAFIE

A

- Abella, R.J., Daschbach, J.M., McNichols, R.J. (1994) Reverse Engineering Industrial Applications, Computers & Industrial Engineering 26, 381–385.
- Andrianopoulos, N.; Manolopoulos, V. (2012) Can Coulomb criterion be generalized in case of ductile materials? An application to Bridgman experiments, Int J Mech Sci, Volume 54, pp. 241–248
- Ahmed, S.A., Adamopoulos, S. (2018) Acoustic properties of modified wood under different humid conditions and their relevance for musical instruments. Appl. Acoust. 140, 92–99
- Altaner C.M., Jarvis, M.C. (2008) Modelling polymer interactions of the 'molecular Velcro' type in wood under mechanical stress. *J. Theor. Biol.*, 253, 434–445.
- Andersson, S. Serimaa, R. Paakkari, T. Saranpää, P. Pesonen, E. (2003) Crystallinity of wood and the size of cellulose crystallites in Norway spruce (*Picea abies*). *J Wood Sci* 49 531–537.
- Andrews, M.K. (2002) Which acoustic speed? Proceedings of the 13th International Symposium on Non-destructive Testing of Wood, University of California, Berkeley Campus California, USA, 19 - 21 August 2002.
- Andrews, M.K. (2002) Wood quality measurement, *Son et Lumiere. N. Z. J. For.*, 47, 19–21.
- Ashby, M.F., Easterling, K.E., Harrysson, R., Maiti, S.K. (1985) The fracture and toughness of woods. *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, 398, 261–280.
- Alkadri A., Carlier C., Wahyundi, I., Grill J., Langbour, P., Bremaud, I. (2018) Relationships between anatomical and vibrational properties of wavy sycamore maples. IAWA - Intern. Assoc. Wood Anatomists J. 39, 1: 63–86 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01667816>
- ASTM E1050:1998; Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Micro-phones and a Digital Frequency Analysis System. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 1998.
- ASTM D143-14 (2014) Standard test method for small clear specimen of timber. American Society for Testing Material Standard, West Conshohocken.
- Attenborough, K. (1993) Models for the acoustical characteristics of air-filled granular materials. *Acta Acoust.*, 1:213 – 226
- Azémar, C., Ménager, M., Vieillescazes, C. (2017) On the tracks of sandarac, review and chemical analysis. *Environ Sci Pollut Res* 24, 27746–27754 <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0522-0>.

B

- Báder, M. Németh, R. Sandak. J et al. (2020) FTIR analysis of chemical changes in wood induced by steaming and longitudinal compression. *Cellulose*, 27, 6811–6829.
- Barlow, C.Y. (1997) Materials selection for musical instruments. *Proc Inst Acoust* 19, 69–78.
- Barlow, C.Y., Woodhouse, J. (1989) Of old wood and varnish: Peering into the can of worms, *Catgut Acoust. Soc. J.*, 1(4) (Series II).

- Barlow, C.Y., Edwards, P.P., Millward, G.R., Raphael, R. A., Rubio D.J. (1988) Wood treatment used in Cremonese instruments. *Nature*, 332, 313.
- Bekhta, P., Krystofiak, T., Lis, B., Bekhta, N. (2022) The Impact of Sanding and Thermal Compression of Wood, Varnish Type and Artificial Aging in Indoor Conditions on the Varnished Surface Color. *Forests*, 13, 300.
- Beldean E.C., 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.
- Beldeanu E.C. (2001) Produse forestiere și studiul lemnului (in Romanian Language). Editura Universității Transilvania, Brașov, Brasov, Romania.
- Beldeanu E.C. (2008) Produse forestiere (in Romanian language). Ed. Universității Transilvania din Brașov, Brasov, Romania.
- Boeriu, C. Bravo, D. Gosselink, R. Dam, J. (2004) Characterisation of structure-dependent functional properties of lignin with infrared spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, 20, 205–218.
- Bourgois, J., Janin, G., Guyonnet, R. (1991) The Color Measurement - a Fast Method to Study and to Optimize the Chemical-Transformations under - Gone in the Thermically Treated Wood. *Holzforschung*, 45(5)377–382.
- Brancheriau L., Baillères H., Détienne P., Kronland R., Metzger B. 2006 Classifying xylo-phone bar materials by perceptual, signal processing and wood anatomy analysis. *Ann For Sci* 63, 73–81.
- Brancheriau L., Kouchade C., Brémaud I. (2010) Internal friction measurement of tropical species by various acoustic methods. *J Wood Sci* 56, 371–379.
- Bratu, P. (2000) *Vibrațiile sistemelor elastice*. Ed. Tehnica. Bucuresti.
- Brémaud, I. (2012a). What do we know on resonance wood properties? Selective review and ongoing research, in: Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference, Nantes, France, 2760–2764
- Brémaud, I. (2012b) Acoustical properties of wood in string instruments soundboards and tuned idiophones: Biological and cultural diversity. *J. Acoust. Soc. Am.* 131(1), 807–818 DOI: 10.1121/1.3651233.
- Bucur, V., Archer, R.R. (1984) Elastic constants for wood by an ultrasonic method. *Wood Sci Technol*, 18(4), 255–265.
- Bucur, V. (2006) *Acoustics of Wood*, 2nd ed.; Springer: Berlin, Germany, 173–196.
- Bucur, V. (2016) *Handbook of Materials for String Musical Instruments*, Springer International Publishing Switzerland
- Bujoreanu, C., Nedeff, F., Benchea, M., Agop, M. (2017) Experimental and theoretical considerations on sound absorption performance of waste materials including the effect of backing plates. *Appl. Acoust.* 119, 88–93
- 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. of Am.* 121, 4: 2384–2395.

C

- Cai, W., Tai, H-C. (2020) String Theories: Chemical Secrets of Italian Violins and Chinese Guqins, *AsiaChem*, 11, 10-17.
- Carlier, C., Alkadri, A., Gril, J., Brémaud, I. (2018) Revisiting the notion of "resonance wood" choice: a compartementalised approach from violin makers' opinion and perception to characterization of material properties' variability. *Wooden musical instruments - Different forms of knowledge: Book of end of WoodMusICK COST Action FP1302*, 2018. hal-02051004.
- Caruso, F., Chillura Martino, D. F., Saverwyns, S., Van Bos, M., Burgio, L., Di Stefano, C., Peschke, G., Caponetti, E. (2014) Micro-analytical identification of the components of varnishes from South Italian historical musical instruments by PLM, ESEM-EDX, microFTIR, GC-MS, and Py-GC-MS. *Microchem. J.*, 116, 31-40.
- Cazan, C., Cosnita. M. (2024) Sustainable Composites with Synergistic Combinations of Construction and Demolition Waste: Rubber, HDPE, PS and Brick. *Journal of Cleaner Production*, vol 471.
- Cosnita, M., Cazan, C., Pop, M. A., Cristea, D. (2023) Aging resistance under short time ultraviolet (UV) radiations of polymer wood composites entirely based on wastes, *Environmental Technology & Innovation*, 31Article 103208.
- Chang, H.T., Yeh, T.F., Chang, S.T. (2002) Comparisons of chemical characteristic variations for photodegraded softwood and hardwood with/without polyurethane clear coatings. *Polym Degrad Stab*, 77(1)129-135.
- Chang, T.C., Chang, H.T., Wu, C.L., Chang, S.T. (2010) Influences of extractives on the photodegradation of wood. *Polym Degrad Stab*, 95516-521.
- Cheng, S. Huang, A. Wang, S. Zhang, Q. (2016) Effect of different heat treatment temperatures on the chemical composition and structure of Chinese fir wood. *BioRes.* 11(2), 4006-4016.
- Christoforo, A.L., Panzera, T.H., Lahr, F.A.R. (2019) Estimation of tensile strength parallel to grain of wood species. *Engenharia Agrícola*, 39(4) 533 - 536.<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n4p533-536/2019>
- Cogulet, A., Blanchet, P., Landry, V. (2016) Wood degradation under UV irradiation: A lignin characterization, *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 158, 184-191.
- Commission Internationale De L'éclairage (1978) Recommendations on uniform color spaces: color-difference equations, psychometric color terms. Paris.
- Cramer, S., Kretschmann, D., Lakes, R., Schmidt, T. (2005) Earlywood and latewood elastic properties in loblolly pine, *Holzforschung*, 59, 531-538.
- Crețu, N., Roșca, I.C., **Stanciu, M.D. (autor corespondent)** et al. (2022) Evaluation of Wave Velocity in Orthotropic Media Based on Intrinsic Transfer Matrix. *Exp Mech* 62, 1595-1602 <https://doi.org/10.1007/s11340-022-00889-9>
- Curtu, I., Ghelmeziu, N. (1984) *Mechanics of Wood and Wood Based Materials*, 1st ed.; Editura Tehnica: Bucharest, Romania.
- Curtu, I., Roșca, I. C. (1993) *Reologia lemnului*. Reprografia Universității Transilvania din Brașov,.

- Curtu, I., **Stanciu, M.D. (autor corespondent)**, Cosereanu, C., Vasile, O. (2012) Assessment of acoustic properties of biodegradable composite materials with textile inserts. *Mater. Plast.*, 49, 68–72.
- Curtu, I., Baba, M.N., **Stanciu, M.D.** (2016) Comparison of breaking theories studied for different wood species (beech, spruce, pine), in *Orasul Inteligent – Lucrarile editiei a XI a a Conferintei Anuale Zilele Academice ale ASTR*, 6-7 oct. 2016, Tg Mures, Ed AGIR. 169-174.

D

- Dai, D.; Fan, M. (2014) Wood fibres as reinforcements in natural fibre composites: structure, properties, processing and applications. In *Natural fibre reinforcements. Materials, Processes and Applications*, pp. 3–65; <https://doi.org/10.1533/9780857099228.1.3>
- Danihelova, A., Spisiak, D., Reinprecht, L., Gergel, T., Vidholdov, Z., Ondrejka, V. (2019) Acoustic properties of Norway spruce wood modified with staining fungus (*Sydowia polyspora*). *BioResources* 14(2), 3432-3444. <https://doi.org/10.15376/biores.14.2.3432-3444>.
- Danihelová, A., Vidholdová, Z., Gergel, T., Spišáková Kružlicová, L., Pástor, M. (2022) Thermal Modification of Spruce and Maple Wood for Special Wood Products. *Polymers* 14, 2813. <https://doi.org/10.3390/polym14142813>.
- Davidson, R.S. (1996) The photodegradation of some naturally occurring polymers. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 33, 3–25.
- Debeleac, C., Nechita, P., Nastac, S.M. (2019) Computational Investigations on Soundproof Applications of Foam-Formed Cellulose Materials. *Polymers*. 11, 1223. <https://doi.org/10.3390/polym11071223>
- Dincă, L., Dincă, M. (1996). Paltinul creț: caracteristici, răspândire, recunoaștere. *Revista de Silvicultură* 1.
- Dincă, L., Dincă, M. (1998) Gestionarea durabilă a unor resurse de foioase preioase (sorb de câmpie și paltin creț) existente în fondul forestier autohton. Sesiunea de comunicări științifice "Cercetarea științifică pentru gestionarea durabilă a pădurilor", I.C.A.S. București, 05.03.1998.
- Dinulică, F., Albu, C. T., Borz, S. A., Vasilescu, M. M., Petritan, I. C. (2015) Specific structural indexes for resonance Norway spruce wood used for violin manufacturing, *BioRes.* 10(4), 7525-7543.
- Dinulică, F., Albu, C.T., Vasilescu, M.M., **Stanciu, M.D.** (2019) Bark features for identifying resonance spruce standing timber. *Forests*, 10, 799.
- Dinulică F (2020a). Lemnul de rezonanță din Carpați. O introducere în acustica lemnului pentru sunet. Ed. Universității Transilvania, Brașov, 136 p.
- Dinulică, F. (2021). Produse forestiere: Structura și proprietățile lemnului. (in Romanian language), Ed. Universității Transilvania din Brașov, Brașov
- Dinulică, F., **Stanciu, M.D. (autor corespondent)**, Savin, A. (2021) Correlation between Anatomical Grading and Acoustic–Elastic Properties of Resonant Spruce Wood Used for Musical Instruments. *Forests*, 12, 1122.

- Dinulică, F., Savin, A., **Stanciu, M.D.(autor corespondent)** (2023) Physical and Acoustical Properties of Wavy Grain Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.) Used for Musical Instruments. *Forests*, 14, 197.
- Dinwoodie J.M. (1961) Tracheid and fibre length in timber: A review of literature. *Forestry*, 34:125–144. doi: 10.1093/forestry/34.2.125.
- Drăghicescu, H.T., **Stanciu, M.D.**, Vlase, S., Mihălcică, M., Gall, R., Savin, A. (2025). Mechanical Characterization of Spruce Resonance Wood and Curly Maple for Violins. In: **Stanciu, M.D.**, Bucur, V. (eds) *Interdisciplinary Approach to the Violin*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_3 (capitol carte)
- Dumitriu-Tătăranu I (1983) Variații geografice ale lemnului unor specii de rășinoase în arealul natural din România. In: Dumitriu-Tătăranu et al: Estimarea calității lemnului prin metoda carotelor de sondaj, Tehnică PublishingHouse, Bucharest, pp. 304-325.

E

- Echard, J.P., Lavédrine, B. (2008) Review on the characterization of ancient stringed musical instruments varnishes and implementation of an analytical strategy. *J. Cult. Her-it.* 9 420–429, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2008.03.005>
- Echard, J.P., Bertrand, L. (2010) Complementary spectroscopic analyses of varnishes of historical musical instruments, *Spectroscopy Europe* 22, 12-15
- Ege, K. (2009). The piano soundboard – Modal studies in the low- and mid-frequency ranges. PhD Thesis, École Polytechnique, Palaiseau, France, 5-12.
- EN 384. Structural Timber. Determination of Characteristic Values of Mechanical Properties and Density, CEN European Committee for Standardization, Brussels, 2004
- EN 408. Timber Structures - Structural timber and glued laminated timber -Determination of some physical and mechanical properties, 2003

F

- 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.
- Faktorová, D., **Stanciu, M.D. (autor corespondent)**, Krbata, M., Savin, A., Kohutiar, M., Chlada, M., Năstac, S.M. (2024) Analysis of the Anisotropy of Sound Propagation Velocity in Thin Wooden Plates Using Lamb Waves. *Polymers*, 16, 753.
- Fakoor, M.; Sabour, M.H.; Khansari, N.M. (2014) A new approach for investigation of damage zone properties in orthotropic materials, *Engineering Solid Mechanics*, Volume 2, pp. 283–292.
- Fang, Y., Lin, L., Feng, H., Lu, Z., Emms, G.W. (2017) Review of the use of air-coupled ultrasonic technologies for nondestructive testing of wood and wood products. *Comput Electron Agr.*, 137, 79–87.

- Feio, A.; Machado, J.; Lourenco, P. (2005) Parallel to the grain behavior and NDT correlations for chestnut wood (*Castanea sativa* Mill). In Proceedings of the International Conference "Conservation of Historic Wooden Structures", Florence, Italy, 22-27, February, 2005
- Feist, W. C., Hon, D. N.-S. (1984) Chemistry of weathering and protection. *The Chemistry of Solid Wood*. R. Rowell (ed.), Washington DC: American Chemical Society (ACS), *Advances in Chemistry Series* 207, 401–454.
- Fengel, D. (1970) Ultrastructural Behaviour of Cell Wall Polysaccharides. *Tappi Journal* 53(3)497-503.
- Ferreira, D.; Fonseca, E.; Pinto, C.; Borges, P. (2015) Tensile strength of pine and ash woods – experimental and numerical study. In Proceedings of the 6th International Conference on Mechanics and Materials in Design, Ponta Delgada, Azores, 26 – 30 July, 2015, Editors: J.F. Silva Gomes & S.A. Meguid
- Fu, J., Thomas, H. R., Li, C. (2021) Tortuosity of porous media: Image analysis and physical simulation, *Earth-Science Reviews*, 212, 103439, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103439>.

G

- Gaff, M.; Gašpařík, M. (2015) Effect of cyclic loading on modulus of elasticity of Aspen wood. *Bioresources*, Volume 10(1), pp. 290–298
- Gall, R., **Stanciu, M.D.**, Filimon, E., Cosnita, M., Gliga V.G. (2022) The influence of artificial aging on resonance wood on its physical characteristics, in Proceedings of the 9th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering, 73–81.
- Gal R, Filimon E, Georgescu S V, **Stanciu M D** (2023) The effect of artificial aging on the color parameters of the varnish used in the construction of musical instruments. *PRO LIGNO*, 19(4), 28-37.
- Gall, R. **Stanciu, M.D.**, Savin, A., Campean, M., Gliga, V.Gh. (2024) The influence of the type of varnish on the viscous-elastic properties of maple wood used for musical instruments, 11th Hardwood Conference Proceedings, Sopron, Hungary, 30-31 May 2024, Eds. Róbert Németh, Christian Hansmann, Holger Militz, Miklós Bak, Mátyás Báder, University of Sopron Press, 426 – 434.
- Geffertová, J., Geffert, A., Výbohová, E. (2018) The effect of UV irradiation on the colour change of the spruce wood. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 60(1)41–50.
- Gomri, C., Cretin, M., Semsarilar, M. (2022) Recent progress on chemical modification of cellulose nanocrystal (CNC) and its application in nanocomposite films and membranes-a comprehensive review. *Carbohydrate Polymers*, 294 Article 119790.
- Gonçalves, R., Trinca, A.J. (2011) Comparison of elastic constants of wood determined by ultrasonic wave propagation and static compression testing. *Wood and Fiber Science*, 43(1), 64–75.
- Gong, M.; Smith, I. (1999) Short-term mechanical behaviour of softwood in high-stress-level compression parallel to grain. Proceedings of The Fourth International Conference on the Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry. Missenden Abbey, England, 14th-16th July 1999, pp. 25–34.
- Goswami, A., Pillai, S.C., McGranaghan, G. (2021) Surface modifications to enhance dropwise condensation. *Surfaces and Interfaces*, 25, 101143.

- Grapini V., Constantinescu N. (1968). Molidul de rezonanță. Institutul de Cercetări Forestiere, București, 19 p.
- Grimberg, R., Savin, A., Steigmann, R., **Stanciu, M.D.**, Grum, J. (2010) Determination of Elastic Properties of CFRP Using Lamb Waves Resonant Spectroscopy, 2nd International Symposium on NDT in Aerospace, Hamburg, Germany, 22-24 Nov 2010.
- Guan, C., Zhang, H., Wang, X., Miao, H., Zhou, L., Liu, F. (2017) Experimental and Theoretical Modal Analysis of Full-Sized Wood Composite Panels Supported on Four Nodes. *Materials* 10, 683. <https://doi.org/10.3390/ma10060683>.
- Guiman, M.V.; **Stanciu, M.D. (autor corespondent)**; Roșca, I.C.; Georgescu, S.V.; Năstac, S.M.; Câmpean, M. (2023) Influence of the Grain Orientation of Wood upon Its Sound Absorption Properties. *Materials*, 16, 5998. <https://doi.org/10.3390/ma16175998>.
- Guiman, M.V., Stanciu, M.D., Nastac, S.M., Gliga, V.G., Savin, A. (2024) Free Vibration Analysis of Orthotropic Thin Rectangular Plates. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_5
- Gurău, L., Timar, M.C., Coșereanu, C., Cosnita, M., **Stanciu, M.D. (autor corespondent)** (2023) Aging of Wood for Musical Instruments: Analysis of Changes in Color, Surface Morphology, Chemical, and Physical-Acoustical Properties during UV and Thermal Exposure. *Polymers*, 15, 1794.
- Gutkin, R.; Pinho, S.T. (2014) Combining damage and friction to model compressive damage growth in fibre-reinforced composites, *J Compos Mater*, Volume 49(20), pp. 2483–2495.
- H**
- Hakkou, M., Petrissans, M., Gerardin, P., Zoulalian A. (2006) Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Polym Degrad Stab.*, 91(2)393–397.
- Haines, D.W. (1979) On musical instruments wood. *Catgut Acoustical Society Newsletter* 31(1), 23–32.
- Hansen, H. (2006) *Acoustic Studies on Wood*, Master Thesis, University of Canterbury New Zealand, accessed on 20 August 2023.
- Halachan, P.; Babiak, M.; Spišiak, D.; Chubinsky, A.N.; Tambi, A.A.; Chauzov, K.V. (2017) Physico-acoustic characteristics of spruce and larch wood. *Wood Res.* 62, 235–242
- Harris, J.M. (1989) *Spiral grain and wave phenomena in wood formation*, Springer-Verlag, New York, USA.
- Harris, N., Sheldon, R., Johnston, J. (2007) A Recreation of the Particulate Ground Varnish Layer Used on Many Violins Made before 1750. *J. Violin Soc. Am.: VSA Papers*, XXI, 1.
- Hassani, M.M.; Wittel, F.K.; Hering, S.; Herrmann, H.J. (2014) Rheological Model for Wood. *Comp Method Appl M*; Volume 283, pp. 1032–1060.
- Hiciu, C. (2023) Studiul structurii și proprietăților lemnului de paltin de munte destinat construcției instrumentelor musicale. Bachelor project, Transilvania University of Brasov, Romania

Hori, R., Müller, M., Watanabe, U., Lichtenegger, H. C., Fratzl, P., and Sugiyama, J. (2002) The importance of seasonal differences in the cellulose microfibril angle in softwoods in determining acoustics properties. *J. Mater. Sci.* 37(20), 4279–4284, DOI: 10.1023/A:1020688132345.

Hutchins, C.M. (1978). Wood for violins. *Catgut Acoust Soc Newsl* 29,14–18.

I

Invernizzi C., Fichera, G.V., Licchelli, M., Malagodi, M. (2018) A non-invasive stratigraphic study by reflection FT-IR spectroscopy and UV-induced fluorescence technique: The case of historical violins. *Microchem. J.*, 138, 273–281.

Ion, F.; Taranu, N.; Secu, A.; Entuc I.S.; Scutaru M.C.; Ungureanu, D. (2017) Evaluation of the wood strength class using the experimental approach, *The Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, Construction. Architecture Section*, Volume 63 (67), 2, pp. 121–132.

ISO 11654:1997; Acoustics: Sound absorbers for use in buildings. Rating of sound absorption. International Organization for Standardization (ISO): Geneva, Switzerland, 1997.

ISO 10534:1998; Acoustics—Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes: Part 1: Method using standing wave ratio, Part 2: Transfer-function method. International Organization for Standardization (ISO): Geneva, Switzerland, 1998.

ISO 13061-6:2014 Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 6: Determination of ultimate tensile stress parallel to grain.

J

Javier-Astete, R. Melo, J. Jimenez-Davalos, J. et al. (2023) Classification of Amazonian fast-growing tree species and wood chemical determination by FTIR and multivariate analysis (PLS-DA, PLS). *Sci Rep* 13, 7827 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35107-6>

K

Kaboorani, A., Blanchet, P. (2014) Determining the linear viscoelastic region of sugar maple wood by dynamic mechanical analysis. *BioResources* 9(3), 4392–4409.

Karami, E., Brémaud, I., Bardet, S., Almeras, T., Guibal, D., Langbour, P., Pourtahmas, K., Gril, J. (2022) Reversible and irreversible effects of mild thermal treatment on the properties of wood used for making musical instruments: comparing mulberry to spruce. *iForest* 15, 256–264 doi: 10.3832/ifor4074-015.

Kataoka, Y. Kiguchi, M. Williams, R.S. Evans, P.D. (2007) Violet light causes photodegradation of wood beyond the zone affected by ultraviolet radiation. *Holzforschung*, 61(1)23–27.

Kato, K. L., Cameron, R. E. (1999) A review of the relationship between thermally-accelerated ageing of paper and hornification, *Cellulose* 6, 23–40.

Keckes, J., Burgert, I., Frühmann, K. M. Müller, K. Kölln, et al. (2003) Cell-wall recovery after irreversible deformation of wood. *Nat. Mater.* 2, 810–814.

Kerr, A. J., Goring, D. A. I. (1975) The ultrastructural arrangement of the wood cell wall. *Cellulose Chemistry and Technology* 9(6)563–573.

- Kloiber, M.; Drdácý, M.; Machado, J.S.; Piazza, M.; Yamaguchi, N. (2015) Prediction of mechanical properties by means of semi-destructive methods: A review. *Constr Build Mater*, Volume 101, pp. 1215–1234.
- Kollmann, F. F.P., Wilfred, A., Côté, J. (1968) *Principles of Wood Science and Technology I*. Springer-Verlag New York Inc., New York, 1–54.
- Kollmann FFP, Côté WA Jr. (1968) *Principles of Wood Science and Technology*, Vol I, Solid Wood, Springer.
- Konstantinov, A.Yu.; Lomunov, A.K.; Iuzhina, T.N.; Gray III, G.T. (2018) Investigation of wood anisotropy under dynamic loading. Strength and ductility problems (in Russian language); Volume 80(4); pp. 555–565. DOI10.32326/1814-9146-2018-80-4-555-565.
- Kráňitz, K. (2014) *Effect of natural aging on wood*. PhD Thesis ETH Zurich, accessed on 01.08.2023.
- Kráňitz, K., Deublein, M., Niemz, P. (2014) Determination of dynamic elastic moduli and shear moduli of aged wood by means of ultrasonic devices. *Materials and Structures*, 47(6), 925–936.
- Kráňitz, K. Sonderegger, W. Bues, C.T. Niemz, P. (2016) Effects of aging on wood: a literature review. *Wood Sci Technol.*, 50(1), 7–22.
- Krzysik F (1968). Probleme der Klangholzsartierung und Klangholzverwendung. *Holzindustrie* 1, 3–7.
- Kubojima, Y., Okano, T., Ohta, M. (2000) Bending strength and toughness of heat-treated wood. *J. Wood Sci.*, 46, 8–15.
- Kúdela J., Kunštár M. (2011) Physical-acoustical characteristics of maple wood with wavy structure. *Ann. Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology*, 75, 12–18.
- Kuo, M.L., Hu, N.H. (1991) Ultrastructural changes of photodegradation of wood surfaces exposed to UV. *Holzforschung*, 45(5)347–353.

L

- Lämmlein, S.L., Mannes, D., Schwarze, F.W.M.R., Burgert, I., Sedighi-Gilani, M. (2017) Combined Experimental and Numerical Investigation of Vibro-Mechanical Properties of Varnished Wood for Stringed Instruments. In *Model Validation and Uncertainty Quantification*, Volume 3; Barthorpe R, Platz R, Lopez I, Moaveni B, Papadimitriou C, Eds.; Springer: Berlin, Germany, 81–83.
- Lämmlein, S.L., Mannes, D., Van Damme B. et al. (2019) The influence of multi-layered varnishes on moisture protection and vibrational properties of violin wood. *Sci Rep* 9, 18611. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54991-5>.
- Lämmlein, S.L., Van Damme, B., Mannes, D., Schwarze, F., Willis, M.R., Burgert, I. (2020) Violin varnish induced changes in the vibro-mechanical properties of spruce and maple wood. *Holzforschung*, 74(8), 765–776. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0182>.
- Lämmlein, S.L., Künniger, T., Rüggeberg, M., Schwarze, F.W.M.R., Mannes, D., Burgert, I. (2020) Frequency dependent mechanical properties of violin varnishes and their impact on vibro-mechanical tonewood properties. *Results in Materials*, 9(1), 100137. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2020.100137>

- Lanvermann, C., Hass, P., Wittel, F.K., Niemz, P. (2014) Mechanical properties of Norway Spruce: intra-ring variation and generic behavior of earlywood and latewood until failure. *Bioresources*, 9, 105–119.
- Lee, Y.H., Oh, T. (2016) The Measurement of P-, S-, and R-Wave Velocities to Evaluate the Condition of Reinforced and Prestressed Concrete Slabs. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1548215, 1 – 14, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1548215>.
- Lee, H.M., Luo, W., Xie, J. et al. (2021) Studies on the sound absorption and transmission loss performances of wood-based, natural and waste materials. *Acta Mech. Sin.* 37, 861–873, <https://doi.org/10.1007/s10409-021-01082-2>.
- Legg, M., Bradley, S. (2016) Measurement of stiffness of standing trees and felled logs using acoustics: A review. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(2), 588–604.
- Lionetto, F., Del Sole, R., Cannoletta, D., Vasapollo, G., Maffezzoli, A. (2012) Monitoring Wood Degradation during Weathering by Cellulose Crystallinity. *Materials* 5 1910–1922.
- Liu, X.Y., Timar, M.C., Varodi, A.M. (2017) An investigation of accelerated temperature-induced aging of four wood species: colour and FTIR. *Wood Sci Technol.* 51, 357–378.
- Liu, X.Y. Timar, M.C. Varodi, A.M. Nedelcu, R. Torcătoru, M. (2022), Colour and Surface Chemistry Changes of Wood Surfaces Coated with Two Types of Waxes after Seven Years Exposure to Natural Light in Indoor Conditions. *Coatings*, 12, 1689.
- Liu, Y., Shen, J.S., Liu, Z.H. (2001) The effect of crystallinity index on vibration properties of Picea wood. *Journal of Northeast Forestry University*, 29(2), 4–6.

M

- Macareva, T.A. (1968). The influence of various factors on the radiation ratio of resonance wood (in Russian). *Деревообрабатывающая промышленность* 10, 14–15.
- Mania, P., Skrodzka, E. (2020) Modal parameters of resonant spruce wood (*Picea abies* L.) after thermal treatment. *J. King Saud Univ.-Sci.*, 32, 1152–1156.
- Mannes, D., Niemz, P., Lehmann, E. (2009) Tomographic investigations of wood from macroscopic to microscopic scale. *Wood Research* 54 (3), 33–44.
- McLellan, M.R., Lind, L.R., Kime, R.W. (1995) Hue angle determinations and statistical analysis for multi quadrant Hunter L,a,b Data. *J. of Food Quality*, 18, 235 – 240
- Meng, G. Ian, S. (1999) Short-term mechanical behaviour of softwood in high-stress-level compression parallel to grain. *The Fourth International Conference on the Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry*. Forest Products Research Centre, Buckinghamshire Chilterns University College, High Wycombe, England. 25–34
- Merhar, M. (2024) Identification of Damping of Spruce Wood (*Picea abies*) under Various Levels of Moisture Content Using Time-Scale Decomposition. *Polymers* 16, 1313. <https://doi.org/10.3390/polym16101313>.
- Meyer, H.G. (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.

- Motavalli, S., Shamsaasef, R. (1996) Object-oriented modelling of a feature-based reverse engineering system, *Int. J. of Comp Integ. Man.* 9 354-368.
- Moutee, M. (2006) Modeling the Mechanical Behavior of Wood In Drying/Modélisation Du Comportement Mécanique du Bois au Cours du Séchage, Phd Theses Département Des Sciences Du Bois Et De La Forêt, Faculté De Foresterie Et Géomatique, Université Laval, Québec.
- Müller, U., Rätzsch, M., Schwanninger, M., Steiner, M., Zobl, H. (2003) Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, 69 97–105.

N

- Nagyvary, J., Ehrman, J.M., (1988) The composite nature of the antique Italian varnish. *Naturwissenschaften* 75, 513-515.
- Nagyvary, J. (1988) The chemistry of a Stradivarius. *Chem. Eng. News* 66, 24-31.
- Nagyvary, J. (1996) Modern science and the classical violin: a view from academia. *Chem. Intelligencer* 2 24-31.
- Nagyvary, J. (2005) Investigating the secrets of the Stradivarius. *Educ. Chem.* 42 96-98.
- Nagyvary, J., Guillemette, R.N., Spiegelman, C.H. (2009) Mineral Preservatives in the Wood of Stradivari and Guarneri. *PLoS ONE* 4(1): e4245. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004245>.
- Navickas, P., Karpaviciute, S., Albrektas, D. (2015) Effect of heat treatment on wettability and MOE of pine and spruce wood. *Mater. Sci.* 21, 400–404.
- Niedzielska B. (1972) Investigations on the interaction of anatomical constitution of wood and its acoustic properties on spruce from Western Beshid (in Polish). *Acta agraria et silvestris. Polska Akademia Nauk*, 12, 85-100.
- Niemz, P., Caduff, D. (2008) Research into determination of the Poisson ratio of spruce wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66(1), 1–4.
- Niemz, P., Hofmann, T., Rétfalvi, T. (2010) Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood. *Maderas-Ciencia Y Tecnologia*, 12(2), 69–78.
- Nitu, S.A., Sporea, N., Iatan, N., Durbaca, I., Vasile, O., Ciocoiu, G.C. (2022) Research on Obtaining Biocomposite Structures with Sound Absorbing Properties. *Mat. Plast.*, 59, 131–137.
- Noguchi, T., Obataya, E., Ando, K. (2012) Effects of aging on the vibrational properties of wood. *J. of Cultural Heritage*, 13(3) 21–25.
- Nop, P., Cristini, V., Tippner, J., Zlámál, J., Vand, M.H., Šeda, V. (2023) Dynamic Properties of Wood Obtained by Frequency Resonance Technique and Dynamic Mechanical Analysis, *Wood and Fiber Science*, 55(2), 131-142.
- Norimoto, M., Ohgama, T., Ono, T., & Tanaka, F. (1981) Young's Modulus of Cell Wall for Coniferous Wood. *Journal of the Society of Rheology, Japan*, 9, 169-175.
- Norimoto, M., Ono, T., Watanabe, Y. (1983) Selection of wood used for piano soundboards. *J. Soc. Rheology of Jap.* 9(9), 115-119.
- Norrstrom, H. (1969) Light Absorbing Properties of Pulp and Pulp Components. 1. Method. *Svensk Papperstidning-Nordisk Cellulosa*, 72(2) 25–31.

Nowak, T., Hamrol-Bielecka, K., Jasienko, J. (2015) Non-destructive testing of wood–correlation of ultrasonic and stress wave test results in glued laminated timber members. *Annals of Warsaw University of Life Sciences–SGGW. Forestry and Wood Technology*, 92.

O

Obataya, E., Ono, T., Norimoto, M. (2000) Vibrational properties of wood along the grain. *J. Mater. Sci.* 35(12), 2993–3001 DOI: 10.1023/A:1004782827844

Oliva, D.; Hongisto, V. (2013) Sound absorption of porous materials – Accuracy of prediction method, *Appl. Sci.* 73, 1473– 1479.

Oltean, L. Teischinger, A. Hausmann, C. (2008) Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66(1)51–56.

Ono, T., and Norimoto, M. (1984) On physical criteria for the selection of wood for soundboards of musical instruments. *Rheol. Acta* 23(6), 652–656.

Ozyhar, R., Hering, S., Niemz, P. (2013) Viscoelastic characterization of wood: Time dependence of the orthotropic compliance in tension and compression. *J. Rheol.* 57, 699–717.

P

Papp E.A., Csiha, C. (2017) Contact angle as function of surface roughness of different wood species. *Surface and Interfaces* 8, 54 – 59.

Pahnabi, N., Schumacher, T., Sinha, A. (2024) Imaging of Structural Timber Based on In Situ Ra-dar and Ultrasonic Wave Measurements: A Review of the State-of-the-Art. *Sensors*, 24, 2901 <https://doi.org/10.3390/s24092901>.

Pečnik, J.G.; Kutnar, A.; Miltz, H., Schwarzkopf, M.; Schwager, H. (2020) Fatigue behavior of beech and pine wood modified with low molecular weight phenol-formaldehyde resin, *Holzforschung*; Published online: 29 Jun 2020.

Pentoś, K.; Łuczycka, D.; Wysoczański, T. (2016) The Use of Complex Impedance as a Parameter for Wood Differentiation, *Wood Research*, , 61(1), 13–24.

Pinho, S.T.; Iannucci, L.; Robinson, P. (2006) Physically based failure models and criteria for laminated fibre-reinforced composites with emphasis on fibre kinking. Part II: FE implementation. *Compos Part A*, Volume 37; pp. 766–777.

Plötze, M.; Niemz, P. (2011) Porosity and pore size distribution of different wood types as determined by mercury intrusion porosimetry. *Eur J Wood Wood Prod.*, 69, 649–655.

Peng, H., Jiang, J., Lu, J. et al. (2017) Application of time–temperature superposition principle to Chinese fir orthotropic creep. *J Wood Sci* 63, 455–463. <https://doi.org/10.1007/s10086-017-1635-2>.

Q

Quambusch, M., Bäucker, C., Haag, V. et al. (2021) Growth performance and wood structure of wavy grain sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) in a progeny trial. *Annals of Forest Science* 78, 15 <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01035-6>.

R

- Raja, V. (2008) in: Raja V., Fernandes K.J. (Eds) *Reverse Engineering an Industrial Perspective*, cap. Introduction to Reverse Engineering, Springer, 1-9.
- Ranta-Maunus, A. (1993) Rheological behavior of wood in directions perpendicular to the grain. *Materials and Structures*, 26, 362-369.
- Rocaboy, F.; Bucur, V. (1990) About the physical properties of wood of twentieth century violins. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1, 21-28.
- Rovetta, T., Invernizzi, C., Licchelli, M., Cacciatori, F., Malagodi, M. (2018) The elemental composition of Stradivari's musical instruments: New results through non-invasive EDXRF analysis. *X-ray Spectrom*, 47, 159-170.

S

- Sadhra, S., Foulds, I. S., Gray, C.N., Koh, D., Gardiner, K. (1994) Colophony-uses, health effects, airborne measurement and analysis. *Ann Occup Hyg.* Aug; 38(4), 385-96, PMID: 7978961, <https://doi.org/10.1093/annhyg/38.4.385>,
- Salca, E.A., Krystofiak, T., Lis, B., Hiziroglu S. (2021) Glossiness Evaluation of Coated Wood Surfaces as Function of Varnish Type and Exposure to Different Conditions. *Coatings*, 11558.
- Sandoz, J.L. (1993) Moisture content and temperature effect on ultrasound timber grading. *Wood Sci Technol* 27, 373-380.
- Savidge, R.A.; Farrar, J.L. (1984) Cellular adjustments in the vascular cambium leading to spiral grain formation in conifers. *Can. J. Bot.*, 62, 2872-2879, doi: 10.1139/b84-383.
- Schelleng, J.C. (1982) Wood for violins. *Catgut Acoustical Society Newsletter* 37, 8-19.
- Schelleng, J.C. (1968) Acoustical Effects of Violin Varnish, *Journal of the Acoustical Society of America*, 44, 5, 1178-1179
- Schleske, M. (1998) On the Acoustical Properties of Violin Varnish, *Catgut Acoustic Society Journal*, 3 (Series II), 28
- Schmerr, L.W. Jr. (1998) *Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation – A Modeling Approach*, Plenum Press, New York, USA,
- Sebnem, S.A., Eylem, D.T., Mahmut, A.E., Yildirim, I. (2021), Natural weathering of sixteen wood species: Changes on surface properties, *Polym Degrad Stab*, 183, 109415.
- Sedighi Gilani, M., Pflaum, J., Hartmann, S. et al. (2016) Relationship of vibro-mechanical properties and microstructure of wood and varnish interface in string instruments. *Appl. Phys. A*. 122 260, <https://doi.org/10.1007/s00339-016-9670-1>.
- Sedlar, T.; Šefc, B.; Stojnić, S.; Sinković, T. (2021) Wood quality characterization of sycamore maple (*Acer Pseudoplatanus* L.) and its utilization in wood products industries. *Croat. J. for. Eng.*, 42(3), 543-560. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.1099>.

- Setragno, F., Zaroni, M., Antonacci, F., Sarti, A., Malagodi, M., Rovetta, T., Invernizzi, C. (2017) Feature-based analysis of the impact of ground coat and varnish on violin tone qualities. *Acta Acust. United Acust.*, 103, 80–93.
- Skrodzka, E. B., Linde, B.B.J., Krupa, A. (2013) Modal Parameters of Two Violins with Different Varnish Layers and Subjective Evaluation of Their Sound Quality. *Archives of Acoustics*, 38(1), 75–81.
- Silvestru Grigore, C.V.; Dinulică, F.; Spârchez, G.; Hălălișan, A.F.; Dincă L.C.; Enescu R.E.; Crișan, V.E. (2018) Radial Growth Behavior of Pines on Romanian Degraded Lands, Forests, Volume 9(4), 213. <https://doi.org/10.3390/f9040213>.
- Singh, R. (2016) Chapter 6 - Ultrasonic Testing, Editor(s): Ramesh Singh, *Applied Welding Engineering (Second Edition)*, Butterworth-Heinemann, 343–355.
- Singh, N. (2012) Reverse Engineering – a General Review, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. 224–28.
- Sirumbal-Zapata, L., Málaga-Chuquitaype, C., Elghazouli, A. (2018) A three-dimensional plasticity-damage constitutive model for timber under cyclic loads. *Comput Struct*, Volume 195, pp. 47–63. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2017.09.010>
- Sharapov, E., Mahnert, K.C., and Militz, H. (2016) Residual strength of thermally modified Scots pine after fatigue testing in flexure. *Eur J Wood Wood Prod*; Volume 74, pp. 875–884
- Smardzewski, J.; Batko, W.; Kamiński, T.; Flach, A.; Pilch, A.; Dziurka, D.; Mirski, R.; Roszyk, E.; Majewski, A. (2014) Experimental study of wood acoustic absorption characteristics. *Holzforschung*, 68(4), 467–476. <https://doi.org/10.1515/hf-2013-0160>.
- Sodini N., Dreossi, D., Chen, R., Fioravanti, M. (2012) Non-invasive microstructural analysis of bowed stringed instruments with synchrotron radiation X-ray microtomography. *J. Cult. Herit*, 13 44–49.
- Sonderegger, W.; Martienssen, A.; Nitsche, C.; Ozyhar, T.; Kaliske, M.; Niemz, P. (2013) Investigations on the physical and mechanical behavior of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). *Eur. J. Wood Prod.*, 71, 91–99. <https://doi.org/10.1007/s00107-012-0641-8>.
- Spycher, M., Schwarze, F.W.M.R., Steiger, R. (2008) Assessment of resonance wood quality by comparing its physical and histological properties. *Wood Sci. Technol.* 42, 325–342 <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0170-5>.
- Srndovic A. S. (2011) Interactions between Wood Polymers in Wood Cell Walls and Cellulose/Hemicellulose Biocomposites, Thesis for The Degree Of Doctor Of Philosophy, Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden (accessed on 28.08.2023).
- Španić, N. Jambreković, V. Klarić, M. (2018) Basic chemical composition of wood as a parameter in raw material selection for biocomposite production, *Cellulose Chemistry and Technology*, 52 (3-4) 163–169.
- Stanciu, M.D.**, Curtu, I., Groza, M., Savin, A. (2016) The Evaluation of Rheological Properties of Composites Reinforced with Hemp Subjected to Photo and Thermal Degradation. CONAT 2016

- International Congress of Automotive and Transport Engineering (A. Chiru and N. Ispas Eds.), DOI 10.1007/978-3-319-45447-4_62
- Stanciu, M.D.,** Savin, A., Nastac, S.M. (2018a) Mechanical and Surface Properties of Lignocellulosic Fibres Reinforced Composites. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 64(11), 698-705, <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2018.5352>.
- Stanciu M.D,** Bucur V., Valcea C. S., Savin A., Sturm R., (2018b) Oak particles size effects on viscous-elastic properties of wood polyester resin composite submitted to ultraviolet radiation, *Wood Sci Technol* 52 (2): 365-382.
- Stanciu, M.D.,** Ardeleanu, A.F., Teodorescu Draghicescu, H. (2018c) Reverse engineering in finite element analysis of the behaviour of lignocellulosic materials subjected to cyclic stresses, in *Procedia Manufacturing* 22 (2018), pp 65-72, 11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2017, 5-6 October 2017, Tirgu Mures, Romania.
- Stanciu, M.D.** Cosereanu, C.; Dinulică, F.; Bucur, V. (2020a) Effect of wood species on vibration modes of violins plates. *Eur. J. Wood Prod.*, 78, 785–799.
- Stanciu, M.D.,** Teodorescu, H.D., Vlase, S. (2020b) Degradation of Mechanical Properties of Pine Wood Under Symmetric Axial Cyclic Loading Parallel to Grain. *Polymers*, 12, 2176.
- Stanciu, M.D.,** Sova, D., Savin, A., Ilias, N., Gorbacheva, G.A. (2020c) Physical and Mechanical Properties of Ammonia-Treated Black Locust Wood. *Polymers*, 12 377.
- Stanciu M.D.,** Teodorescu D. H., Tămaş F., Terciu O.M. (2020d) Mechanical and Rheological Behaviour of Composites Reinforced with Natural Fibres, *Polymers*, 12 (6), 1402; doi:10.3390/polym12061402.
- Stanciu, M.D.,** Teodorescu, H.D., Roşca, I.C. (2021a) Mechanical Properties of GFRPs Exposed to Tensile, Compression and Tensile–Tensile Cyclic Tests. *Polymers*, 13, 898.
- Stanciu, M.D.,** Mihălică, M., Dinulică, F., Nauncef, A.M., Purdoi, R., Lăcătuş, R., Gliga, G.V. (2021b) X-ray Imaging and Computed Tomography for the Identification of Geometry and Construction Elements in the Structure of Old Violins. *Materials*, 14 5926.
- Stanciu, M.D.,** Dinulica, F., Bucur, V.; Gliga, G.V.; Nastac, S.M.; Campean, M. (2022a) Changing the vibrational behavior of the wooden thin arched plates – the maestro violins experimental study case. *Thin-Walled Structures*, 174, 109042, <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109042>.
- Stanciu, M.D.** (2022b) Comportamentul mecanic și dinamic al structurilor complexe lig-nocelulozice de tip Helmholtz, Habilitation Thesis, Transilvania University of Bra-sov, Romania.
- Stanciu, M.D. (coordonator),** Mihalcica M., Campean, M., Cerbu C., Cretu N.C., Dinulica, F., Gliga V. Gh., Nauncef A.M., Nastac S.M., Rosca I.C., Savin A. (2022c) *Dinamica viorii*, Ed. Universitatii Transilvania din Brasov, Brasov, Romania.
- Stanciu, M.D.,** Nastac, S.M., Dinulica, F., Cosereanu, C., Gall, R., Gliga, V.G., Filimon R (2022d) Identification of resonance frequencies of tone wood used for musical instruments, *Proceedings of the 27th International Conference „Noise and Vibration*, University of Niš, Faculty of Occupational Safety, 19 – 21.10.2022, Nis, Serbia.

- Stanciu M.D.,** Nastac S.M., Dinulica F., Cosereanu C., Gall R., Gliga V.Gh., Filimon R. (2022e) Identification of resonance frequencies of tone wood used for musical instruments, Proceedings of the 27th International Conference „Noise and Vibration, University of Niš, Faculty of Occupational Safety, 19 – 21.10.2022, Nis, Serbia, ISBN 978-86-6093-111-7. <https://www.znrfak.ni.ac.rs/NOISE2022/Programme.html>.
- Stanciu M.D.,** Gliga G.V., Lungu A., Ghereș E., Tismanar I. (2022f) The Surface Energy of Coating Layers used for Violins Varnishing, The 10th edition of the ModTech2022 International Conference (Modern Technologies in Industrial Engineering), 22 – 26.06.2022; Constanța, Romania (prezentare orală); <https://modtech.ro/#gsc.tab=0>
- Stanciu, M.D.,** Nastac, S.M., Savin, A. (2023a). Comparison Between Acoustic Spectral Evolutions of Violins Before and After Varnishing. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 16th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-Eng 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 605. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22375-4_18, pp 210–222.
- Stanciu M.D.,** Dinulica F., Sabo L.C., Rotaru M.G., Câmpean M., Savin A., Steigmann R., Năstac S.M. (2023b) The influence of artificial aging on the acoustic and dynamic properties of resonant wood, Buletin Științific Supliment – Catalogul oficial al Salonului Cadet-Inova 4 – 6 May 2023, nr. 8/2023, Ed. Academiei Forțelor Terestre N. Bălcescu, Sibiu.
- Stanciu M.D.,** Dinulica F., Gliga V.Gh., Câmpean, M., Savin A., Nauncef A.M. (2023c) The music of wood - the connection between the forest ecosystem, the manufacturing technology and art, The 6th Edition of the Integrated Management of Environmental Resources Conference Suceava – Romania, 23 – 24 noiembrie 2023. Universitatea Stefan cel Mare din Suceava, Romania.
- Stanciu, M.D.,** Cosnita, M., Gliga, G.V., Gurau, L., Timar, C.M., Guiman, M. V., Năstac, S.M., Roșca, I.C., Bucur, V., Dinulică, F. (2024a) Tunable Acoustic Properties Using Different Coating Systems on Resonance Spruce Wood. Adv. Mat. Interfaces, 1, 2300781 <https://doi.org/10.1002/admi.202300781>.
- Stanciu, M.D.,** Gurau, L., Dinulica, F., Roibu, C.C., Hiciu, C., Mursa, A., Stirbu, M. (2024b) The surface morphology of sanded curly maple in comparison with straight grain maple selected for musical instruments. 11th Hardwood Conference Proceedings, Sopron, Hungary, 30-31 May 2024, 178 – 182
- Stanciu, M.D.,** Teodorescu, HD., Vlase, S., Mihalcica, M., Cosnită, M., Savin. A. (2024c) Multiscale assessment of artificial aging treatment of polysaccharides from tonewood species, Int. J. Biol. Macromol., 274(1), 133310, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133310>.
- Stanciu, M.D. (autor corespondent),** Dinulică, F., Roibu, C.C., Guiman, M.V., Cerbu, C., Savin, A. (2025a). Quality Classes of Blanks for Violins and Some Relevant Physical Parameters of Wood. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) Interdisciplinary Approach to the Violin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_2.

- Stanciu, M.D.,** Coșniță, M., Coșereanu, C., Guiman, M.V., Năstac, S.M., Roșca, I.C. (2025b). Effects of Violin Varnish on Some Physical, Mechanical and Acoustical Properties of Resonance Spruce and Curly Maple Samples. In: Stanciu, M.D., Bucur, V. (eds) *Interdisciplinary Approach to the Violin*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81734-2_6.
- Stanciu, M.D.** (2025c). Multiscale Assessment of Strings Musical Instruments. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 18th International Conference Interdisciplinarity in Engineering*. Inter-Eng 2024. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1250. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81378-8_5.
- Stanciu, M.D.;** Timar, M.C.; Mihalcica, M.; Cosnita, M.; Dinulică, F. (2025d) Comparisons of the Effects of Polymer and Alcohol Varnishes on Norway Spruce Wood Surface Modifications. *Polymers* 2025, 17, 2131. <https://doi.org/10.3390/polym17152131>.
- Stanciu, M.D.;** Guiman, M.V.; Năstac, S.M. (2025e) New Challenges in Assessment of the Acoustic Properties of Coating Polymers. *Polymers* 2025, 17, 1418. <https://doi.org/10.3390/polym17101418>.
- Stanciu, M.D.,** Nauncef, A.M., Năstac, S.M., Amariei, N. (2025f). Analysis of Signal Amplitude of Violins with Modified Physical Parameters. In: Auer, M.E., Rüttemann, T. (eds) *Futureproofing Engineering Education for Global Responsibility*. ICL 2024. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1281. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83520-9_59.
- Straže, A., Jerman, J., Brus, R., Merela, M., Gorišek Z., Krajnc, L. (2020) Selected structural, physical and acoustic properties of sycamore maple wood with fiddleback figure, 9th Hardwood Conference Proceedings Pl. University of Sopron Press, Sopron, Hungary, pp 261–268.
- Stoel. B.C., Borman, T.M. A (2008) Comparison of Wood Density between Classical Cremonese and Modern Violins., *PLOS One* 3(7e) 2554.
- Strömbro, J.; Gudmunson, P. (2008) Mechano-sorptive creep under compressive loading – A micromechanical model, *Int J Solids Struct*; Volume 45, pp. 2420–2450.
- Su, C.K., Chen, S.Y., Chung, J.H. Li, G.C., Brandmair B. (2021) et al. Materials Engineering of Violin Soundboards by Stradivari and Guarneri. *Angew Chem Int Ed Engl.* 60(35) 19144–19154. doi: 10.1002/anie.202105252. Epub 2021 Jun 27. PMID: 34062043; PMCID: PMC8457145.

Ș

- Șandor, D.C. (2023) Studiul structurii și proprietăților lemnului de molid destinat construcției instrumentelor musicale (in Romanian language), Bachelor project, Transilvania University of Brasov, Romania.
- Ștefănescu P (1964). Contribuții la cunoașterea molidului de rezonanță din Munții Gurghiului. *Revista pădurilor*. 79(9), 511-517.

T

- Tai, H.C., Shen, Y.P., Lin, J.H., Chung, D.T. (2018) Acoustic evolution of old Italian violins from Amati to Stradivari, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(23) 201800666, DOI:10.1073/pnas.1800666115.

- Tankut, N., Tankut, A. N., Zor, M. (2014) Finite Element Analysis of Wood Materials, *Drvna Industrija* vol. 65 159-171.
- Tjeerdsma, B.F. Boonstra, M. Pizzi, A. Tekely, P. Militz, H. (1998) Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56(3) 149-153.
- Timar, M.C. Varodi, A.M. Gurau, L. (2016) Comparative study of photodegradation of six wood species after short-time UV exposure. *Wood Sci. Technol.*, 50, 135–163.
- Tiuc, A.-E.; Borlea, S.I.; Nemeş, O.; Vermeşan, H.; Vasile, O.; Popa, F.; Pinţoi, R. (2022) New Composite Materials Made from Rigid/Flexible Polyurethane Foams with Fir Sawdust: Acoustic and Thermal Behavior. *Polymers*, 14, 3643 <https://doi.org/10.3390/polym14173643>.
- Tolvaj, L., Molnár, S. (2008) *Photodegradation and thermal degradation of outdoor wood*. Joseph Gril (edited by), *Wood Science for Conservation of Cultural Heritage –Braga 2008: Proceedings of the International Conference held by COST Action IE0601, Braga - Portugal, 5-7.11.2008*, 67–72.

V

- Varenik, K.A.; Varenik, A.S.; Sanzharovskij, R.C. (2018) Boltzmann principle of superposition in the theory of wood creep for deformations in time. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 441, 012057, IOP Publishing; doi:10.1088/1757-899X/441/1/012057
- Viala, R., Cabaret, J., Sedighi-Gilani, M., Placet, V. Cogan, S. (2024) Effect of indented growth rings on spruce wood mechanical properties and subsequent violin dynamics. *Holzforschung*, 78(3), 189-201 <https://doi.org/10.1515/hf-2023-0090>.

X

- Xie, Z., Wang, J., Zhang, Q., "Complete 3D measurement in Reverse Engineering using a multi-probe system", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45 (2005) 1474-1486.

Z

- Zeniya, N., Obataya, E., Endo-Ujiie, K., Matsuo-Ueda, M. (2019) Changes in vibrational properties and colour of spruce wood by hygrothermally accelerated aging at 95–140 °C and different relative humidity levels, *SN. Appl. Sci.*, 1, 7.
- Zhu, J., Tadooka, N., Takata, K., Koizumi, A. (2005) Growth and wood quality of sugi (*Cryptomeria japonica*) planted in Akita prefecture (II). Juvenile/mature wood determination of aged trees. *J Wood Sci* 51, 95-101.

Y

- Yang, X., Gong, M. Chui, H. (2014) Short Term Creep Behaviour of CFRP-Reinforced Wood Composites Subjected to Cyclic Loading at Different Climate Conditions, *BioResources* 9, 1845-1857.
- Yildiz, S. Gezer, E.D. Yildiz, U.C. (2006) Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building and Environment*, 41(12)1762-1766.

- Yildirim, M.N., Uysal, B., Ozcifci, A., Ertas, A.H. (2015) Determination of fatigue and static strength of scots pine and beech wood. *Wood Research*, 60(4)679 – 686.
- Yokoyama, M., Gril, J. Matsuo, M. Yano, H. et al, (2009) Mechanical characteristics of aged Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) wood from Japanese historical buildings. International conference on wooden cultural heritage, Evaluation of deterioration and management of change, 8p fahal-00795997.
- Yoshimoto, T. (1972) Photochemical analysis of wood and related sunstances." J Japan *Wood Res Soc.*, 18(1)45-49.

W

- Wang, D. Lin, L. Fu F. et al. (2019) The fracture mechanism of softwood via hierarchical modelling analysis. *J Wood Sci* 65:58, 1–11.
- Weiland, J.J. Guyonnet, R. (2003) Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61(3)216–220.
- Wessels, C. B., Malan, F. S., 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(6), 881–893 DOI: 10.1007/s10342-011-0484-6.
- Wegst, U.G.K. (2006) Wood for sound. *American Journal for Botany* 93(10), 1439-1448 (2006). DOI: 10.3732/ajb.93.10.1439.
- Wikberg, H., Maunu, S.L. (2004) Characterisation of thermally modified hard- and softwoods by C-13 CPDAS NMR. *Carbohydrate Polymers*, 58(4)461-466.