



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: DESIGN DE MOBILIER ŞI INGINERIE A LEMNULUI

Ing. Vasile Ghiorghe GLIGA

**Cercetări privind influenţa unor factori specifici de material
asupra calităţii sunetului viorilor din lemn**

**Researches regarding the influence of some material-
specific factors upon the sound quality of wooden violins**

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiinţific:

Prof.dr.ing. Mihaela Câmpean

Domeniul de doctorat: Inginerie forestieră

BRAŞOV, 2022



D-lui (D-nei)

COMPONENŢA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universităţii Transilvania din Braşov
Nr. 11762 din 10.02.2022

PREŞEDINTE: Conf.dr.ing. Alin OLĂRESCU, Decan - Facultatea DMIL,
Universitatea Transilvania din Braşov

CONDUCĂTOR ŞTIINŢIFIC: Prof.dr.ing. Mihaela CÂMPEAN,
Universitatea Transilvania din Braşov

REFERENŢI: Conf.dr.ing. Csilla CSIHA,
Universitatea din Sopron (Ungaria)
Cercet.ş.t.l.dr.ing. Ionel POPA,
INCDS „Marin Drăcea”, staţiunea Câmpulung-Moldovenesc
Prof.dr.ing. Mihai ISPAS,
Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora şi locul susţinerii publice a tezei de doctorat: **24.03. ora 12:00**

Online (link acces: <https://conf.bbb.unitbv.ro/mih-hg5-ezj-dhi>)

Eventualele aprecieri sau observaţii asupra conţinutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa: campean@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luaţi parte la şedinţa publică de susţinere a tezei de doctorat.

Vă mulţumim.



CUPRINS

	Pg. teza	Pg. rezu mat
LISTA DE NOTAȚII	1	-
INTRODUCERE	2	7
Capitolul 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘI TENDINȚE ÎN FABRICAREA VIORILOR DIN LEMN	6	7
1.1 Scurt istoric	6	7
1.2 Structura viorii. Primele cercetări	10	8
1.3 Cercetări privind lemnul de rezonanță și proprietățile sale	13	10
1.4 Cercetări privind calitatea sunetului unei viori. Factori de influență și metode de evaluare	25	11
1.5 Concluzii	35	13
Capitolul 2. OBIECTIVELE TEZEI	36	13
Capitolul 3. PROCESUL DE FABRICARE A VIORILOR DIN LEMN	39	15
Capitolul 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA MATERIEI PRIME LEMNOASE UTILIZATĂ LA FABRICAREA VIORILOR	87	32
4.1. Clasificarea pe clase de calitate a lemnului de rezonanță în funcție de indicii macroscopici ai inelelor anuale	88	33
4.1.1. Metodă, material, aparatură	88	33
4.1.2. Rezultate experimentale și discuții	90	33
4.2. Determinarea densității lemnului	91	35
4.2.1. Metodă, material, aparatură	91	35
4.2.2. Rezultate experimentale și discuții	92	35
4.3. Determinarea parametrilor acustici și elastici ai lemnului	95	36
4.3.1. Metodă, material, aparatură	95	36
4.3.2. Rezultate experimentale și discuții	97	36
4.4. Evaluarea potențialului utilizării unor specii lemnoase alternative pentru placa-spate a viorii	99	38
4.4.1. Material, metodă, aparatură	100	38
4.4.2. Rezultate experimentale și discuții	106	42
4.5. Concluzii	114	45



Capitolul 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INFLUENȚA PROFILULUI DE GROSIME AL PLĂCILOR DE VIOARĂ ASUPRA CALITĂȚII SUNETULUI VIORII	116	46
5.1. Obiectivul cercetării	116	46
5.2. Analiza modală	117	47
5.2.1. Material, metodă, aparatură	117	47
5.2.2. Rezultate experimentale și discuții	121	49
5.2.2.1. Rezultate obținute pe plăcile de vioară ca structuri individuale	121	52
5.2.2.2. Rezultate obținute pe corpurile de vioară fără gât	128	52
5.2.2.3. Rezultate obținute pe corpurile de vioară cu gât	132	53
5.2.2.4. Modificarea comportamentului dinamic al plăcilor de vioară: înainte și după înglobarea în corpul de vioară	136	53
5.2.3. Concluzii	140	57
5.3. Evaluarea psiho-acustică	141	58
5.3.1. Metoda de evaluare	141	58
5.3.2. Rezultate și discuții	147	59
5.3.3. Concluzii	153	61
Capitolul 6. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	155	62
6.1. Concluzii generale	155	62
6.2. Contribuții originale	157	64
6.3. Diseminarea rezultatelor	158	65
6.4. Direcții viitoare de cercetare	160	65
BIBLIOGRAFIE	161	66
INDEX DE FIGURI ȘI TABELE	169	-
ANEXA 1. Fișe tehnologice pentru placa-fața și placa-spate a viorii	179	-
ANEXA 2. Graficele de variație în timp a frecvenței, înregistrate în cadrul cercetărilor experimentale	216	-
SCURT REZUMAT	237	69



CONTENTS

	Pg. thesis	Pg. sum mary
LIST OF NOTATIONS	1	-
INTRODUCTION	2	7
Chapter 1. PRESENT STATE OF RESEARCH AND TENDENCIES IN THE MANUFACTURING OF WOODEN VIOLINS	6	7
1.1 History	6	7
1.2 Structure of a violin. First researches	10	8
1.3 Researches concerning resonance wood and its properties	13	10
1.4 Researches concerning the sound quality of a violin. Influencing factors and evaluation methods	25	11
1.5 Conclusions	35	13
Capitolul 2. THESIS OBJECTIVES	36	13
Capitolul 3. MANUFACTIRNG PROCESS OF A WOODEN VIOLIN	39	15
Capitolul 4. EXPERIMENTAL RESEARCH CONCERNING THE QUALITY OF THE WOODEN RAW MATERIAL USED FOR THE MANUFACTURING OF VIOLINS	87	32
4.1. Classification of resonance wood according to the macroscopic characteristics of the annual rings	88	33
4.1.1. Method, material, equipment	88	33
4.1.2. Experimental results and discussion	90	33
4.2. Determination of wood density	91	35
4.2.1. Method, material, equipment	91	35
4.2.2. Experimental results and discussion	92	35
4.3. Determination of the acoustic and elastic parameters of wood	95	36
4.3.1. Method, material, equipment	95	36
4.3.2. Experimental results and discussion	97	36
4.4. Evaluation of the potential of using alternative wood species for the back-plate of the violin	99	38
4.4.1. Method, material, equipment	100	38
4.4.2. Experimental results and discussion	106	42
4.5. Conclusions	114	45



Capitolul 5. EXPERIMENTAL RESEARCH CONCERNING THE INFLUENCE OF THE THICKNESS PROFILE OF THE VIOLIN PLATES UPON THE SOUND QUALITY	116	46
5.1. Objective	116	46
5.2. Modal analysis	117	47
5.2.1. Material, method, , equipment	117	47
5.2.2. Experimental results and discussion	121	49
5.2.2.1. Results obtained from the violin plates tested as individual structures	121	52
5.2.2.2. Results obtained from the neckless violin bodies	128	52
5.2.2.3. Results obtained from the necked violin bodies.....	132	53
5.2.2.4. Modification of the dynamic behaviour of the violin plates before and after being embedded in the violin body.....	136	53
5.2.3. Conclusions	140	57
5.3. Psiho-acoustic evaluation	141	58
5.3.1. Evaluation method	141	58
5.3.2. Results and discussions	147	59
5.3.3. Conclusions	153	61
Capitolul 6. CONCLUSIONS. ORIGINAL CONTRIBUTIONS. DISSEMINATION OF THE RESULTS. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS	155	62
6.1. General conclusions	155	62
6.2. Original contributions	157	64
6.3. Dissemination of the results	158	65
6.4. Future research directions	160	65
BIBLIOGRAPHY	161	66
INDEX OF FIGURES AND TABLES.....	169	-
ANNEX 1. Technological sheets for the manufacturing of the top plate and back plate of the violin	179	-
ANNEX 2. Time-frequency graphs recorded during the experimental researches	216	-
SHORT SUMMARY	237	69

INTRODUCERE

Teza de doctorat intitulată "*Cercetări privind influenţa unor factori specifici de material asupra calităţii sunetului viorilor din lemn*" reprezintă o investigaţie aprofundată a proprietăţilor materiei prime lemnoase utilizate la fabricarea viorilor, cu scopul de a descoperi soluţii, fundamentate ştiinţific, de îmbunătăţire a calităţii sunetului acestora.

Prezenta teză propune analizarea unor factori specifici de material şi implementarea soluţiilor formulate pe viori reale, nu prin modelare, aspect care constituie o acţiune de pionierat şi asigură caracterul de noutate şi originalitate al tezei

Prin tematica abordată, teza este de actualitate şi interes internaţional, ea înscriindu-se în prioritatea europeană (H2020) Leadership industrial – Obiectivul 3 – Creşterea rolului inovaţiei în întreprinderi mici şi mijlocii. Totodată, tematica se înscrie şi în priorităţile programului naţional PNIII – Programul 2 - Creşterea competitivităţii economiei româneşti prin cercetare, dezvoltare şi inovare.

Lucrarea este structurată pe şase capitole, pornind de la stadiul actual al cercetărilor pe tematica aleasă şi formularea obiectivelor propuse, prezentarea rezultatelor cercetărilor experimentale proprii, cu evidenţierea permanentă a direcţiilor de aplicare a acestora în practică, urmând ca la final să fie prezentate concluziile generale, precum şi teme şi oportunităţi pentru cercetări viitoare în cadrul unor proiecte cu echipe multidisciplinare.

Capitolul 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ŞI TENDINŢE ÎN FABRICAREA VIORILOR DIN LEMN

1.1. Scurt istoric

Făcând un scurt istoric, descoperim că primele mărturii despre existenţa viorii au apărut în nordul Italiei, în prima parte a secolului al XVI-lea (Woodfield 1984). Cel mai probabil a fost inspirată de trei tipuri de instrumente: *rebec*-ul (care exista încă din secolul al X-lea), *viola da gamba* şi *viola da braccio*. Una din primele descrieri explicite ale instrumentului, inclusiv a folosirii lui a fost furnizată de Jambe de Fer în lucrarea intitulată *Epitome musicale* (1556).

Cea mai veche vioară cunoscută care avea patru corzi (aşa cum au viorile moderne) a fost construită în 1555 de către Andrea Amati. El a standardizat forma de bază, dimensiunea, materialele şi metoda de construcţie. Tot el a fost cel care a stabilit practic profilul viorii moderne. Instrumentele produse de Andrea Amati se remarcă prin materialele de înaltă calitate, eleganţa în construcţie, lac transparent şi fin obţinut din chihlimbar şi utilizarea ingenioasă a principiilor geometrice şi acustice.

Comparativ cu celelalte instrumente cu corzi şi arcuş (viola, violoncelul şi contrabasul), vioara este cel mai mic instrument şi generează sunetele cele mai înalte.

1.2. Structura viozii. Primele cercetări

Vioara este un instrument muzical complex, format din peste 40 de elemente cu rol acustic/funcţional şi/sau estetic (Fig. 1.5).

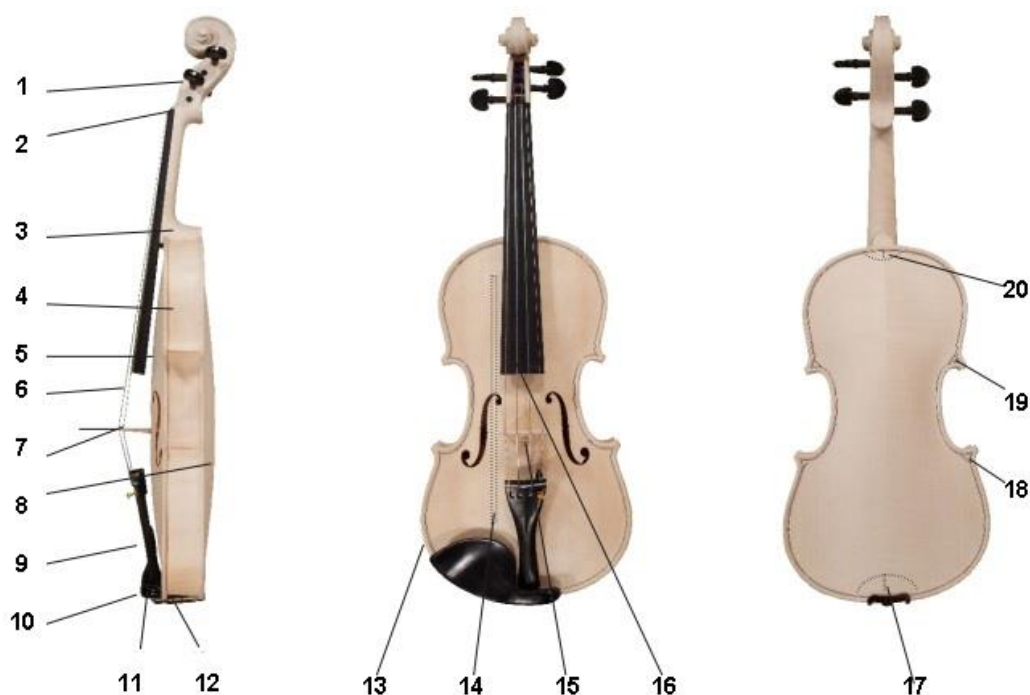


Fig. 1.5. Elementele structurale ale viozii: 1 – chei; 2 – prăguş superior; 3 – gât; 4 - eclisă; 5 – placa-faţa; 6 – corzi; 7 – căluş; 8 – placa-spate; 9 – cordar; 10 – prăguş inferior; 11 – legătură cordar; 12 – buton; 13 – fileu; 14 – bara de rezonanţă; 15 – popic; 16 – limba; 17– butuc inferior; 18 – colţar inferior; 19 – colţar superior; 20 – butuc superior.

Din punct de vedere acustic, vioara este alcătuită din două subansambluri: cutia de rezonanţă cu rol de amplificare a sunetelor muzicale (corpul viozii) şi sistemul de generare a sunetelor, alcătuit din corzi, gât şi arcuş. Corpul viozii este alcătuit din placa de faţă, placa de spate, eclise şi contraeclise.

Pe partea interioară a plăcii de faţă este aplicată longitudinal o bară de rezonanţă (Fig. 1.6), din lemn de molid de rezonanţă, care are rolul de a transmite/difuză sunetul/vibraţiile către placa de faţă şi către aerul din interiorul corpului.

Prin aplicarea popicului (Fig. 1.6) se asigură tensionarea plăcii de faţă şi a plăcii de spate, acesta contribuind la modificarea tonalităţii muzicale a viozii.

Placa de faţă mai este prevăzută cu două degajări (găuri acustice), numite "f – uri", care asigură modificarea volumului fluidului din interiorul corpului ca urmare a vibraţiilor plăcilor, corpul de vioară fiind considerat astfel un rezonator de tip Helmholtz.

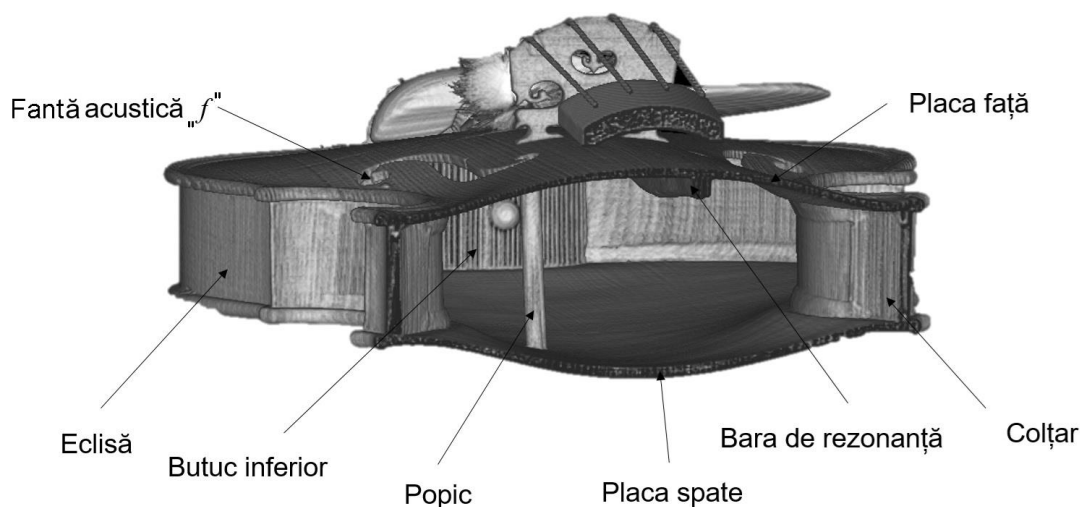


Fig. 1.6. Secțiune printr-o vioară, obținută prin computer-tomografie (Stanciu et al. 2021)

Primele cercetări pe viori datează din sec. al 16-lea și îi aparțin lui Marin Mersenne (1588–1648), care descrie avantajele pieselor reglabile tip „popic”, situate asimetric sub partea dreaptă a călușului viorii, pentru a ranforșa structural în zona cu presiune mare a corzilor.

Antonio Stradivari (1644-1737) a făcut următorii pași importanți ducând mai departe inovația cu scopul de a maximiza volumul sonor la toate frecvențele importante. Astfel, el a început să crească lungimea incintei acustice, apoi a progresat cu lățirea acesteia, concomitent cu aplatizarea parțială a anumitor zone ale incintei. Combinând aceste soluții arhitecturale cu ranforsările axiale, cu piesele reglabile „popic” (pentru balansarea sunetului în funcție de individualitatea fiecărui instrument) și cu bara de rezonanță. O varietate de soluții sunt combinate pentru prima dată într-un instrument cu un nivel de sofisticare nemaîntâlnit până atunci.

Studii interesante pe viori au fost efectuate de Felix Savart (1791–1841), Jean-Baptiste Vuillaume (1798–1875), Hermann von Helmholtz (1821–1894) și Lothar Cremer.

În 1929 s-au pus bazele Societății Acustice din America, iar în 1963 s-a înființat Societatea Acustică Catgut (CAS), care va deveni în anul 2004 Societatea Americană a Viorii (VSA). Ambele societăți au contribuit semnificativ la promovarea cercetării viorii în lume, și mai mult de atât, la diseminarea cunoștințelor dobândite prin cercetare științifică în rândul lutierilor.

Unele dintre aceste cercetări au evidențiat importanța calității lemnului de rezonanță utilizat în construcția instrumentelor muzicale (*e.g.* Bucur 2006, Wegst 2006, Stanciu 2009, Bremaud 2012, Carlier *et al.* 2018; Perez și Marconi 2018, Alkadri *et al.* 2019, Dinulică *et al.* 2015).

Altele au analizat prin mijloace tehnice moderne vibrațiile corpului de vioară determinând frecvențele și modurile proprii (*e.g.* Bretos *et al.* 1999, Bissinger 2004, 2008; Gough 2013; Mania *et al.* 2017; Stanciu *et al.* 2020). S-au evaluat materiale alternative (altele decât lemnul) pentru construcția viorilor, cum ar fi materiale compozite, polimeri ranforșați cu fibre vegetale (*e.g.* Damodaran *et al.* 2015; Duerinck *et al.* 2018).

De asemenea, există cercetări care au vizat caracteristicile acustice ale viorilor de patrimoniu determinate atât în condiții de laborator cât și în condiții reale de utilizare a viorilor de către artiști (*e.g.* Bissinger and Olivier 2007, Buen 2005, Frohlich *et al.* 2009, Ravina 2012, Fritz *et al.* 2014, Stanciu *et al.* 2021).

1.3. Cercetări privind lemnul de rezonanță și proprietățile sale

Prin *lemn de rezonanță* se înțelege materialul lemnos cu structură foarte fină, cu proprietăți fizice, mecanice și acustice corespunzătoare construcției instrumentelor muzicale.

Se spune că cel mai bun lemn de molid de rezonanță din lume este în nordul Carpaților Orientali, în Munții Gurghiului.

Lemnul de rezonanță se recoltează în sezon de repaus vegetativ, cu cât mai puțină sevă, deoarece aceasta conține și rășină, ceea ce depreciază caracteristicile acustice ale lemnului. Arborii trebuie să fie tăiați când temperatura exterioară este de 3-5°C, în condiții de zăpadă abundentă. În cazul în care sunt tăiați la temperaturi negative (ger), prin cădere pot căpăta defecte.

Cele mai apreciate specii cu lemn de rezonanță sunt: molidul, paltinul de munte, bradul, castanul porcesc, platanul, salcia, plopul, abanosul, salcâmul și nucul.

Molidul este folosit pentru fața instrumentelor cu corzi și arcuș, cu corzi ciupite, funduri de pian, claviatură și elemente de bară. Se prelucrează ușor, are o structură omogenă, este ușor, moale, are o colorare uniformă plăcută: alb-aurie și luciu mătășos.

Paltinul de munte se folosește pentru spatele și eclisele instrumentelor cu corzi. Deosebit de apreciat este paltinul creț. În cazul acestui tip de lemn sunt multe criterii de diferențiere în funcție de gradul de ondulare a fibrei. De fapt, fibra crețată este un defect natural al lemnului care conferă o frumusețe extraordinară, în special după finisare.

Bradul se utiliza pe scară largă în trecut pentru instrumentele de dimensiuni mari, acum mai puțin.

Castanul porcesc, platanul, salcia și plopul sunt folosiți ca înlocuitor al paltinului, pentru spatele și eclisele instrumentelor.

Abanosul, salcâmul, nucul se utilizează pentru elementele supuse la uzură (limba, cordarul, cheile, butonul și prăgușele).

Caracteristica de bază care diferențiază lemnul de rezonanță de cel obișnuit este structura anatomică foarte omogenă, dată în principal de lățimea mică și uniformă a inelelor anuale, precum și de proporția mică de lemn târziu.

Densitatea lemnului trebuie să fie cât mai mică, iar modulul de elasticitate să fie cât mai mare pentru utilizarea acestuia la fabricarea instrumentelor muzicale.

Literatura de specialitate (Ghelmeziu și Beldie 1972; Bucur 2006; Cismaru 2009 ș.a.), arată că densitatea lemnului de molid de rezonanță este situată în jurul valorii de 400kg/m^3 , cu cca. 17% mai mică decât cea a lemnului de molid obișnuit din același areal. Pentru lemnul de paltin, determinările efectuate de Holz (1974) citat de Bucur (2006) arată că lemnul cu fibră creț are densitate și modul de elasticitate mai mari decât cele ale lemnului de paltin de munte obișnuit (Tabelul 1.4).

Tabelul 1.4

Proprietăți acustice ale lemnului de rezonanță (Beldeanu 2001)

Proprietatea	Molid de rezonanță	Paltin de rezonanță (creț)
Viteza de propagare longitudinală a sunetului, m/s	4800-5700	4500
Radiația acustică, m^4/Ns	10,00 – 13,90	7,8
Impedanța acustică specifică, Ns/m^3	$(2,16 - 2,5) 10^6$	nu s-au găsit date
Factorul de calitate	> 100 (105)	35
Densitatea, kg/m^3	400 - 500	570

1.4. Cercetări privind calitatea sunetului unei vioi. Factori de influență și metode de evaluare

Sunetele vioii sunt produse în urma vibrației corzilor la atingerea acestora de către arcuș. Între arcuș și coarda excitată există un unghi care descompune în plan orizontal forța produsă de arcuș, într-o componentă longitudinală (paralelă cu coarda) și una perpendiculară pe coardă.

Deoarece fața și spatele de vioară au o formă arcuită, eforturile interioare se determină prin metode asemănătoare calculului din construcția bolților și arcadelor. Forța de compresiune F se descară atât pe direcție longitudinală cât și pe direcție transversală, variind în funcție de dimensiunile arcelor (Stanciu 2021).

În domeniul ingineresc și în cel dedicat identității culturale și de patrimoniu, există numeroase cercetări la nivel național și internațional care abordează studiul vioilor și al calității sunetelor produse de acestea. Când vorbim despre calitatea sunetului unei vioi trebuie să luăm în calcul atât o evaluare obiectivă, bazată pe măsurarea unor mărimi cuantificabile, precum și o evaluare subiectivă, psiho-acustică, bazată pe percepția de către specialiști în domeniul muzical.

Analiza modală - cea mai frecvent utilizată metodă de evaluare acustică a vioilor moderne sau de patrimoniu.

Calitatea sunetului oricărui instrument este determinată în mare parte de modurile sale normale. Un mod normal, numit și „mod propriu”, este un model de vibrație al unei

structuri care corespunde unei frecvențe de rezonanță individuale, numită „frecvență proprie”. Odată ce sistemul începe să vibreze cu o anumită formă de mod, acesta va continua în acea formă, oscilând la frecvența naturală corespunzătoare și stingându-se treptat din cauza efectului de amortizare. În absența frecărilor care determină amortizarea, sistemul ar continua să vibreze pentru totdeauna.

În urma unei analize modale, mărimile dinamice pot fi legate de unii parametri ai sunetelor generate de vioară astfel:

Prima frecvență proprie (f_1), numită și *frecvență fundamentală* corespunzătoare *modului 1# de vibrație* este esențială în acordarea instrumentului muzical. În cazul viorii, frecvența fundamentală se situează în intervalul 270 – 280 Hz.

A doua frecvență proprie (f_2), corespunzătoare *modului 2# de vibrație*, reflectă contribuția plăcii-față în cadrul corpului de vioară care acționează ca un rezonator de tip Helmholtz.

Numărul de frecvențe proprii variază de la o specie lemnoasă la alta. El depinde de structura lemnului, densitatea și caracteristicile elastice ale acestuia. Numărul de frecvențe proprii determină *numărul de armonice*. Cu cât acesta este mai mare, cu atât spectrul de sunete acoperit de vioara respectivă este mai larg.

Capacitățile de simulare asistate de calculator au oferit posibilitatea de alăturare a tehnologiei experimentale cu tehnologia simulării. Avantajul simulării asistate de calculator înseamnă reducerea de costuri (nu este necesară construcția unui noi model), reducerea timpului (odată un model construit, nu este nevoie de reconstrucție în afară de ajustarea unor simpli parametri) și nu în ultimul rând capacitatea de a împinge metodele tehnologice la limită.

Proprietățile vibro-mecanice ale viorii sunt cel mai adesea simulate printr-o simplificare în structuri bidimensionale cu pereți subțiri de diferite forme. Acestea sunt conectate prin structuri distincte care au rolul de a rigidiza local construcția.

Un astfel de model a fost folosit de Gough (2013), aplicând metoda elementelor finite (MEF), Gough (2013) a folosit modelul într-un studiu privitor la poziționarea popicului. Studiul a concluzionat că mutarea popicului cu 2cm înspre partea inferioară a viorii cauzează reducerea intensității sunetului.

Progrese semnificative s-au realizat și în tehnologia materialelor. Un studiu în acest sens a fost realizat în Canada (Lu 2013), pornind de la validarea experimentală a unei componente a viorii.

Validarea experimentală s-a realizat printr-o metodă inventată de Ernst Chladni pentru studiul modurilor de vibrație ale plăcilor supuse vibrațiilor, conform căreia placa se acoperă cu un strat fin de nisip, iar în momentul în care aceasta începe să vibreze, nisipul se redistribuie, concentrându-se în lungul liniilor nodale.

Rezultatele experimentale au confirmat utilitatea modelului simulat. Aşadar, autorul a continuat testând diferite alte materiale, inclusiv compozite. Unul din factorii decisivi în concluzionarea rezultatelor a fost dificultatea mare de a prelucra din alte materiale anumite repere specifice care sunt relativ ușor de prelucrat în lemn. Totuși, s-a studiat răspunsul în frecvență pentru aceeași placă având material compozit

Folosind programul COMSOL Multiphysics, Ravina (2010) a efectuat un studiu unde s-a analizat comportamentul diferitelor componente principale ale viorii, printre care analiza modală a viorii și influența acesteia asupra dinamicii călușului.

Studiul sunetului viorilor are componente fundamentale multidisciplinare, care fac testarea experimentală să rămână o piatră de fundație în atingerea sunetului perfect. Ca ajutor la acestea, se pot considera metode de calcul de felurite tipuri, încă în dezvoltare în momentul prezent.

Analiza psiho-acustică este o altă metodă științifică de evaluare a calității sunetului, frecvent aplicată în evaluarea instrumentelor muzicale, atât a celor vechi (de patrimoniu), cât și a celor moderne.

Principalele criterii pe care se bazează o astfel de evaluare sunt: amplitudinea sunetelor, claritatea sunetelor, strălucirea și puterea tonului, culoarea timbrală ș.a.

1.5. Concluzii

Studiul bibliografic întreprins în cadrul prezentei lucrări a avut menirea sintetizării principalelor cunoștințe și rezultate obținute atât prin cercetare științifică, cât și din experiența practică a maeștrilor lutieri, încercând corelarea și valorificarea informațiilor existente atât din lucrări de fizica și mecanica materialelor, de acustică, dar și privind proprietățile lemnului și istoria și arta fabricării viorilor din lemn.

Capitolul 2. OBIECTIVELE TEZEI

Obiectivul general al prezentei cercetări l-a constituit investigarea unor factori specifici de material asupra calității sunetului viorilor din lemn, în vederea formulării unor soluții fundamentate științific de îmbunătățire a construcției acestora. Cercetările s-au concentrat pe viorile cele mai pretențioase, și anume viorile de maestru.

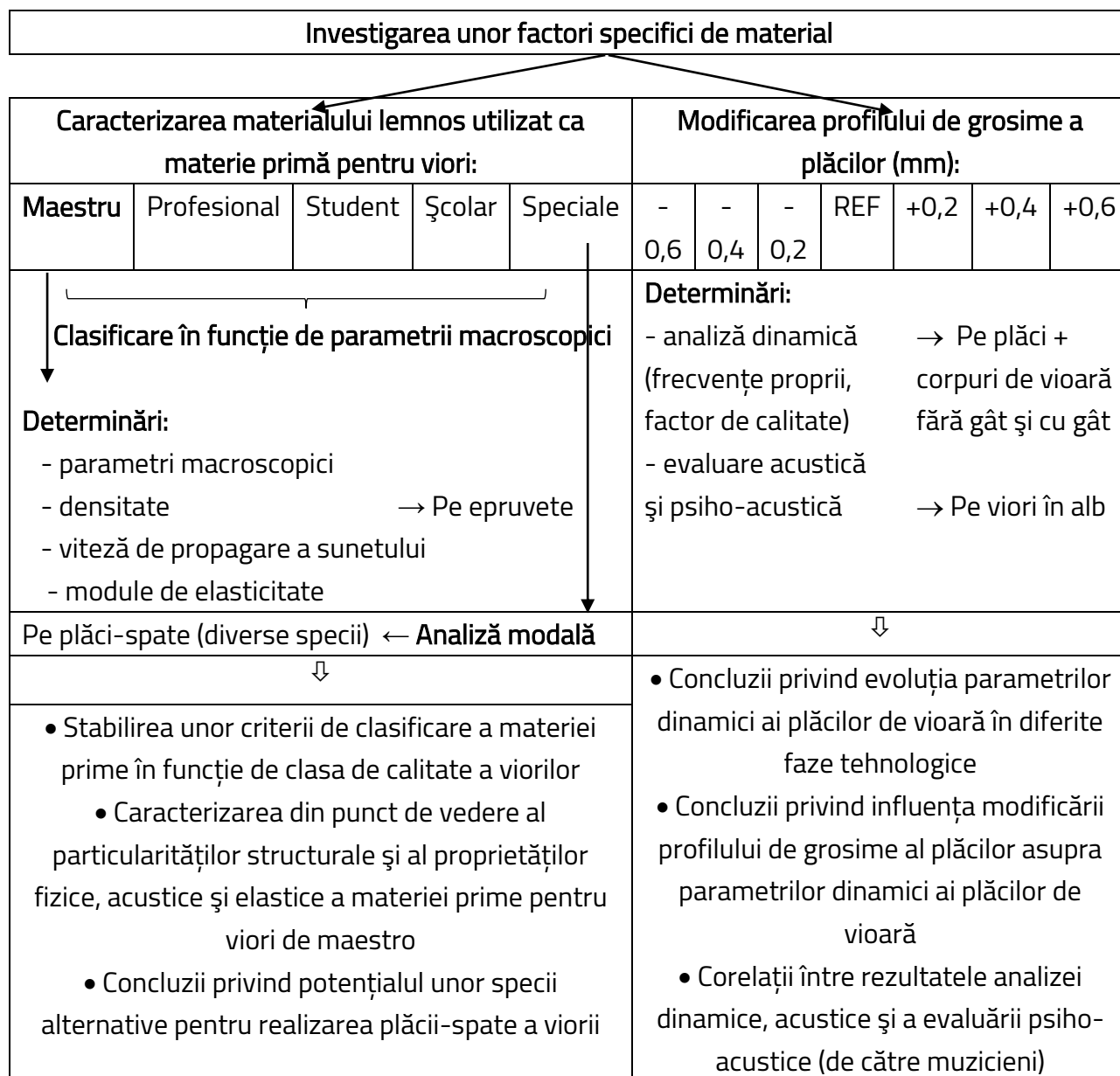
Primul obiectiv specific al tezei a constat în caracterizarea materialului lemnos folosit la fabricarea viorilor experimentale. S-au determinat parametrii structurii macroscopice, densitatea și proprietățile acustice și elastice ale materiei prime - lemnul de rezonanță.

Al doilea obiectiv specific a constat în efectuarea unor teste dinamice, acustice și psiho-acustice pentru investigarea influenței profilului de grosime al plăcilor de vioară asupra calității sunetului. S-au analizat plăci de vioară, atât plăcile-față, cât și plăcile-spate, cu profil de grosime modificat - majorat și respectiv subțiat cu 0,2; 0,4 și 0,6mm - comparativ cu plăcile cu profil de referință specific modelului 4/4.

Analiza dinamică a fost efectuată atât pe plăcile ca structuri individuale, libere, cât și după încorporarea acestora în corpurile de vioară, fără gât, și apoi după adăugarea gâtului. Ulterior, aceste corpuri de vioară au fost transformate în viori, prin adăugarea limbii, prăgușelor, cordarului, corzilor, cheilor, călușului, popicului și a tuturor celorlalte accesorii specifice unei viori "în alb" (nefinisate).

Viorile au fost supuse unei analize acustice și psiho-acustice pentru evaluarea artistică a calității sunetului. În acest scop s-a înregistrat o secvență muzicală, identică pentru fiecare dintre cele șapte viori evaluate, înregistrările fiind ulterior analizate acustic pentru determinarea amplitudinii puterii spectrale, precum și de către muzicieni, pe baza unui chestionar cu criterii stabilite ca esențiale pentru aprecierea calității sunetului.

În Fig. 2.1 sunt prezentate schematic obiectivele tezei de doctorat în succesiunea lor logică și interdependența gândită a conduce către îndeplinirea obiectivului principal.





Concluzii privind posibilități de îmbunătățire a calității sunetului violilor din lemn

Fig. 2.1. Obiectivele tezei de doctorat

Toate violurile și componentele de vioară necesare pentru cercetările vizate, au fost realizate la SC GLIGA Instrumente Muzicale Reghin.

Capitolul 3. PROCESUL DE FABRICARE A VIORILOR DIN LEMN

Procesul fabricării instrumentului muzical începe în pădure, cu selectarea și recoltarea arborilor. Lemnul de rezonanță este recoltat în timpul perioadei de repaus vegetativ pentru că seva conține rășină și aceasta depreciază caracteristicile acustice ale lemnului. Arborii sunt doborâți când temperatura mediului exterior este de 3-5°C și, pe cât posibil, zăpadă abundentă, care să atenueze impactul căderii, astfel încât să nu se producă crăpături.

În Tabelul 3.1 este prezentată succesiunea operațiilor tehnologice necesare pentru realizarea unei viori.

Tabelul 3.1

Tehnologia fabricării violurilor din lemn

PREGĂTIRE SEMIFABRICATE			
<ul style="list-style-type: none"> - selectare și debitare bușteni - însemnare bușteni - eliminare impurități de pe suprafața bușteanului - debitare radială a semifabricatelor pentru plăci, eclise, gât, accesorii - stivuire semifabricate; aplicare parafină pe capete; uscarea naturală până la U=15-20% - uscarea artificială până la U=8-10% 			
↓			
PRELUCRARE SEMIFABRICATE			
Plăci față/spate (molid/paltin)	Eclise/contraeclise (paltin)	Gât (patin)	Alte elemente constructive și accesorii
<ul style="list-style-type: none"> - Debitare semifabricate-pereche - Îndreptare față și cant - Încleiere și presare - Însemnare contur după șablon și decupare contur - Îndreptare - Frezare grosime contur - Frezare prin copiere la exterior - Frezare prin copiere la interior - Prelucrare manuală suprafețe - Însemnare zone acustice și realizarea profilului de grosime - Însemnare și decupare f-uri 	<ul style="list-style-type: none"> - Îndreptare față și cant - Debitare în lamele - Calibrare - Umezire (sau tratare termică) - Curbare - Împerechere elemente eclisă - Confecționare butuci și colțare - Asamblare - Calibrare - Frezare 	<ul style="list-style-type: none"> - Îndreptare față și cant - Frezare prin copiere - Găurire pentru chei - Sculptare melc - Șlefuire melc - Teșire cant - Șlefuire - Fixare provizorie limbă și prăguș superior - Prelucrare butuc 	<p>Limba (abanos)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confecționare semifabricat - Debitare la lățime, grosime și lungime - Frezare interior-exterior - Șlefuire <p>Prăgușe (abanos)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Debitare baghete la lățime și grosime - Frezare muchii - Secționare la lungime <p>Butonul din spatele violii (abanos)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confecționare semifabricat



<ul style="list-style-type: none"> - Debitare și aplicare bară de rezonanță - Teșire cant și șlefuire bară de rezonanță 	<ul style="list-style-type: none"> - Șlefuire contraeclise la exterior 	<p>gât</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prelucrare mâner gât - Șlefuire 	<ul style="list-style-type: none"> - Debitare la lungime, lățime și grosime - Strunjire - Șlefuire+lustruire
<p>↓</p> <p>ASAMBLAREA CORPULUI VIORII</p> <ul style="list-style-type: none"> - Încleiere față+spate+eclise - Rotunjire cant prin frezare - Corectare colțuri și adâncime contur - Găurire pentru buton - Frezare locaș fileu; corectare locaș și aplicare fileu - Șlefuire 			<p>Cheile (abanos)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strunjire - Șlefuire+lustruire <p>Cordarul (abanos)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Secționare (multiplu în plăci) - Însemnare contur - Decupare - Îndreptare cant, capete - Șlefuire - Dăltuire locaș pentru legătură cordar
<p>↓</p> <p>ASAMBLARE CORP/GÂT</p> <ul style="list-style-type: none"> - Scobire locaș gât - Pășuire și încleiere gât în corp - Modelare talon - Umectare și șlefuire <p>↓</p> <p>FINISARE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Băițuire - Lăcuire - Uscare și șlefuire între straturi - Aplicare strat final (lac incolor) 			<ul style="list-style-type: none"> - Frezare locaș pentru prăgușul cordarului - Încleiere prăguș pe cordar - Găurire - Tăiere locașuri corzi - Șlefuire+lustruire <p>Căluș (paltin)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prelucrare la grosime prin șlefuire (multiplu, în plăci) - Însemnare contur - Decupare - Șlefuire <p>Popicul (paltin)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Debitare baghete - Strunjire - Șlefuire - Secționare la lungime - Prelucrare înclinație la capete <p>Bărbia (abanos)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Însemnare contur - Decupare - Modelare profil prin șlefuire - Lăcuire+lustruire - Aplicare tălpi din plută - APlicare montură picioare metalice
<p>↓</p> <p>MONTAJUL FINAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pășuire și aplicare limbă 		<ul style="list-style-type: none"> - Montaj fix-uri 	

- Montaj buton	- Montaj corzi
- Alezare găuri chei	- Montaj căluş
- Montaj chei	- Montaj bărbie
- Montaj cordar	- Ajustare şi montaj popic

a. Pregătirea semifabricatelor

Însemnarea buşteanului. După recoltare, se stabilesc şi se însemnează semifabricatele ce urmează a fi debitate din arborele respectiv. Această operaţie ţine cont de aspectul secţiunii buşteanului şi de aspectul exterior al acestuia, astfel încât volumul de lemn să fie valorificat la maxim.

Înainte de debitare, suprafeţele buştenilor se verifică şi se curăţă cu o perie de sârmă pentru a se elimina nisipul, pietrele sau alte materiale care pot deteriora dinţii pânzelor.

Debitarea semifabricatelor. Lemnul se debitează în funcţie de diametru, structura în secţiune transversală şi defectele exterioare ale buşteanului. Pentru buştenii cu diametru mai mare de 60mm se face tăiere longitudinală cu ferăstrăul mecanic, deoarece majoritatea ferăstraierilor panglică disponibile în România nu au posibilitatea să taie diametre mai mari.

Semifabricatele pentru plăcile de vioară se debitează radial în prisme cu secţiune trapezoidală (numite şi "felii"), având următoarele dimensiuni: $L=450-500\text{mm}$; $l > 130\text{mm}$ $g_1=45\text{mm}$ şi $g_2=20\text{mm}$ (Fig. 3.3), cu ajutorul unui ferăstrău panglică (Fig. 3.4).

Pentru instrumentele de calitate, semifabricatele pentru plăcile de vioară trebuie să fie lipsite de noduri, devieri de fibră şi punji de răşină. Elementele mai mici sau cu defecte, care nu corespund plăcilor de vioară, se stivuiesc la dimensiuni cât mai mari, pentru că vor fi folosite pentru butuci, colţare, bare de rezonanţă, popice şi contraeclise.

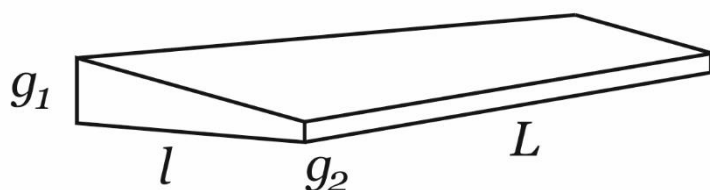


Fig. 3.3. Semifabricat pentru o placă -faţă de vioară



Fig. 3.4. Debitare radială pe ferăstrăul-panglică

Uscarea semifabricatelor. Un aspect important al tehnologiei de pregătire a materiei prime constă în procedeul aplicat pentru uscarea lemnului de rezonanţă şi durata acesteia. Lemnul de rezonanţă se usucă, în general, natural, în aer liber, până la umiditatea de cca. 15-20%. În acest scop, semifabricatele sunt stivuite sub şopron.

Pentru a evita producerea crăpăturilor la capete, frecvente în cazul uscării în aer liber din cauza evaporării rapide a apei libere din această zonă, capetele pieselor se acoperă cu

pelicule de parafină. Pe durata depozitării în aer liber, din cauza căldurii, parafina pătrunde în lemn pe o adâncime de câțiva centimetri și ulterior se va impune îndepărtarea capetelor pentru eliminarea acestui strat.

S-a demonstrat că atunci când este poziționat pe verticală, lemnul proaspăt elimină apa liberă de două ori mai repede decât în poziție orizontală (Marinescu 1979), confirmând astfel tradiția de la sate unde scândurile se lasă la zvântat rezemate de clădiri.

Pentru uscarea până la umidități mai mici, când eliminarea apei legată prin adsorbție de substanța lemnoasă devine aproape imposibilă fără aport de energie termică în condițiile unei clime temperate (Câmpean și Marinescu 2012), se trece la uscarea artificială.

Uscarea artificială trebuie evitată cât mai mult posibil, întrucât chiar și în cazul aplicării unui regim blând, ea conduce la acumularea de tensiuni la nivel microcelular, care distrug calitățile acustice ale lemnului de rezonanță (Stanciu și Curtu 2007; Obataya *et al.* 2020).

Uscarea lemnului pentru instrumente muzicale poate dura între 3 și 12 ani, sau chiar mai mult, în funcție de clasa de calitate a viorii.

b. Prelucrarea semifabricatelor pentru plăcile față / spate

După uscare, prismele *se secționează la jumătatea grosimii* (Fig. 3.7) pe ferăstraie-panglică mai mici (FP8 sau FP10), sau pe ferăstraie circulare de rezezat.



Fig. 3.7. Debitarea semifabricatelor-pereche

Semifabricatele obținute se sortează pe mai multe clase de calitate în funcție de performanțele instrumentelor pentru care sunt prevăzute.

Încleierea se realizează prin adezivi de tip Urelit. Încleierea se face la rece. Se prepară în doze mici, pentru maxim 20 de părți (fețe sau spate) de instrumente, pentru a nu face priză înainte de presare. Pentru aplicarea cleiului se folosesc șpacluri din lemn de rezonanță în secțiune tangențială, ca să fie elastice. După fiecare aplicare de adeziv și presare se spală imediat vasul pentru preparare și șpaclul.

Presarea se face în rame de metal cu șuruburi cu filet pătrat. Cele două jumătăți de fețe sau spate se pun în presă și se fixează între două piese de lemn tare (paltin sau fag).

Aceste piese fie au pe capete adăugat lemn (2-3 mm), fie au o degajare pentru a se realiza o presare în 2 sau 3 puncte, cu o singură strângere. Pentru evitarea deformării în timpul presării sau deschiderea îmbinării se utilizează pene de lemn.

Însemnarea conturului plăcii (Fig. 3.11) se face după șabloane din tablă de aluminiu, cu grosimea de 1mm. Pentru însemnare se folosește axa feței, spatelui sau linia de îmbinare, deoarece șabloanele sunt numai pe jumătate. La capete trebuie să se elimine minim 30-40mm pentru eliminarea stratului de parafină folosit pentru protejarea capetelor la uscare și care, dacă rămâne în lemn, poate crea probleme la finisare.

Decuparea pe contur se realizează pe o mașină de frezat de sus cu o freză cu diametru de 3mm (fig. 3.12).



Fig. 3.11. Insemnarea conturului plăcii



Fig. 3.12. Decuparea plăcii

Calibrarea grosimii pe contur. Pentru aceasta, fața sau spatele se fixează pe un șablon între opritoare, pe o mașină normală de frezat. Șablonul urmărește pe un rulment traseul pe care trebuie să-l aibă vârful frezei. Grosimea finală a conturului viorii de 4/4 este de 4mm; prin frezare se obțin 4,2mm, iar la instrumentele de maestru 5mm; acestea trebuie să aibă la colțuri și la vârful talonului 4,8 mm.

Frezarea prin copiere la exterior se face pe sistem pantograf. În mijloc se află șablonul identic cu profilul dorit, iar frezele-oală sunt prinse câte trei în capete de freză. Ascuțirea frezelor-oală se face în seturi de câte trei, pentru a se pune pe un cap de freză întotdeauna cuțite egale ca lungime sau greutate.

Frezarea prin copiere la interior se execută pe mașina de copiat, printr-o mișcare longitudinală, urmată de mișcări transversale între 5 și 10 mm. Palpatorul are exact dimensiunile traiectoriei frezelor și este confecționat din lemn stratificat densificat.

În continuare, plăcile de vioară sunt prelucrate manual, folosind rindele-degetar mari - pentru zonele concave ale lobului mic și mare, rindele-degetar mici - pentru zonele concave de la C-uri și cuțitul englez - pentru zonele convexe.

Principalele unelte, specifice prelucrării manuale în industria fabricării viorilor din

lemn, sunt prezentate în Tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Unelte de mână utilizate la prelucrarea manuală a viorilor

Denumire	Aspect	Descriere și utilizare
Cuțit englez		Este folosit, în principal, pentru obținerea profilului la plăcile față și spate, interior și exterior. Cuțitul drept cu talpă dreaptă se folosește la exterior, iar cel cu talpă semirotondă se folosește pentru modelarea în interior.
Daltă		Dălțile, cu diferite raze de curbură, sunt folosite, în principal, pentru sculptura melcului, dar sunt multe faze în care se folosesc și dălțile drepte, de diferite lățimi și unghiuri.
Dichici		Este un cuțit special, care constă într-o lamă de oțel cu înclinații diferite ale vârfului și lățimi diferite, în funcție de faza la care este folosit.
Rindea degetar mare, Rindea degetar mică		Sunt folosite, în principal, pentru modelarea plăcii- față și spate de vioară la interior și exterior. Ele pot avea talpa dreaptă sau semirotondă. Se mai utilizează și la prelucrarea profilului la prăgușurile de vioară și la bara de rezonanță.
Țicling		Țiclingurile sunt lamele din oțel, debitate din pânze-panglică de 0,8mm sau 1mm grosime, de diferite forme, după cum necesită profilele care urmează a fi prelucrate.
Țulag		Țulagurile sunt piese de pâslă sau lemn, pe care se aplică pânză abrazivă de diferite granulații. Suportul de lemn poate avea dimensiuni și forme diferite, folosindu-se la aproape toate fazele de construcție a viorii.

Executarea manuală a conturului pentru viorile de maestru se realizează cu dalta semirotondă. Aceasta este o fază pe care o execută cu dificultate chiar și sculptorii cu experiență, deoarece, atât la lemnul de paltin creț cât și la lemnul de rășinoase, mai ales în direcția transversală, apar smulgeri de fibre dacă nu se detașează așchii de grosimi mici sau

dacă dalta se mişcă mai mult prin răsucire decât prin apăsare.

Urmează însemnarea zonelor acustice (Fig. 3.18), cea mai folosită formă a acestora fiind cea eliptică. Grosimea plăcii diferă în lungul axei longitudinale, valorile fiind diferite la placa-faţă și respectiv la placa-spate (Fig. 3.19) și în funcție de mărimea viorii (Tabelul 3.4).



Fig. 3.18. Insemnarea zonelor acustice

Tabelul 3.4

Profilul de grosime în funcție de mărimea viorii

		Grosimea plăcii, mm					Înălțimea, mm
4/4	Față	3,5	3,2	2,9	2,7	2,5	16
	Spate	4,3	3,5	3,0	2,8	2,5	
3/4	Față	3,3	3,1	2,8	2,6	2,4	14,5-15
	Spate	4,1	3,4	2,9	2,7	2,5	
1/2	Față	3,2	3,0	2,7	2,5	2,2	14
	Spate	3,9	3,3	2,8	2,6	2,3	
1/4	Față	3,1	2,7	2,5	2,1		14
	Spate	3,6	3,2	2,7	2,2		
1/8-1/10	Față	3,0	2,6	2,3	2,0		13
	Spate	3,4	3,0	2,5	2,0		
1/16	Față	2,8	2,5	2,2	2,0		12,5
	Spate	3,1	2,7	2,4	2,0		
1/32	Față	2,6	2,3	2,0	2,0		12,5
	Spate	2,8	2,4	2,0	2,0		

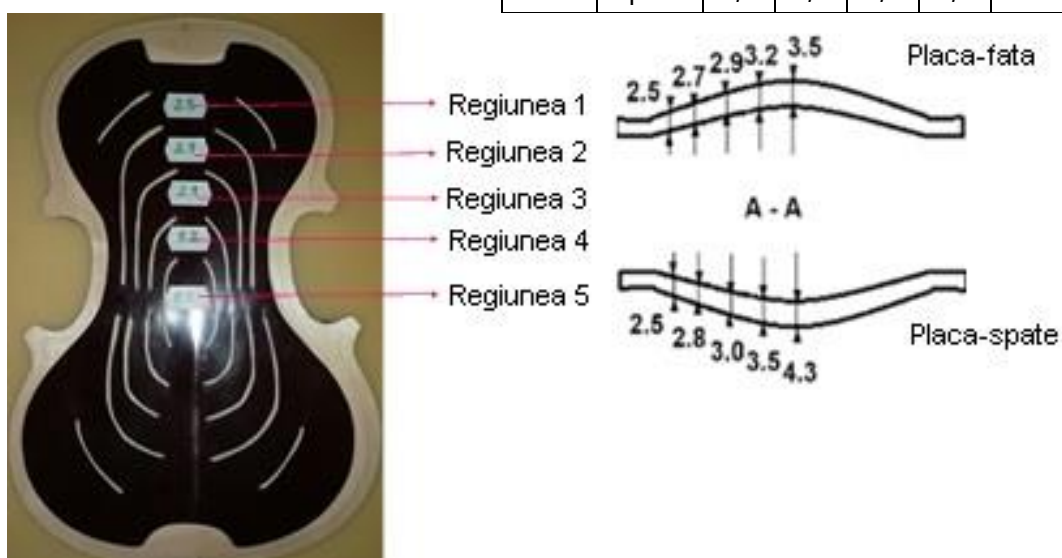


Fig. 3.19. Zonele acustice ale unei viori 4/4

Verificarea calităţii suprafeţei se face prin deplasarea palmei pe exteriorul plăcilor. După răzuire, se face şlefuirea cu pânză abrazivă cu granulaţie de 100-150.

Însemnarea f -urilor pe placa-faţă. Poziţionarea f -urilor înseamnă stabilirea lungimii de vibraţie, deoarece în centrul f -ului este locul de poziţionare a piciorului căluşului. De aceea, această fază este foarte importantă pentru calitatea sunetului. La poziţionare se mai centrează şi găurile mari faţă de C -uri şi distanţa dintre marginile găurilor mici. După însemnare, f -urile se decupează cu ajutorul unei pânze de traforaj (Fig. 3.24, a) sau cu laser (Fig. 3.24,b).



a. *b.*
Fig. 3.24. Tăierea f -urilor: a – cu pânză de traforaj; b – cu rază laser

Tăierea la traforaj este foarte dificilă, deoarece pânza tinde să intre în lemnul timpuriu; de aceea, tăierea nu se face exact pe forma desenată, ci în așa fel încât să rămână neatins desenul.

Forma f -urilor diferă de la un lutier la altul, fiind un criteriu de recunoaştere a viorilor vechi. Lungimea f -ului la viorile mai vechi, mărimea 4/4, poate varia de la 6,8 mm la 7,8 mm, iar lăţimea de la 5,5 mm la 8 mm. Giuseppe Guarneri del Gesù a creat f -uri lungi şi largi, iar Nicola Amati, mai scurte şi mai înguste. Antonio Stradivari a folosit la majoritatea instrumentelor dimensiuni în intervalele menţionate mai sus.

Prelucrarea barei de rezonanţă este o fază destul de uşor de realizat, cu o daltă şi hârtie abrazivă de diferite granulaţii, dar este deosebit de importantă forma pe direcţie longitudinală şi transversală, aceasta determinând tonalitatea viorii.

Dacă bara de rezonanţă este prea groasă, faţa viorii este prea rigidă şi nu vibrează. Dacă bara de rezonanţă este prea subţire, faţa viorii nu rezistă presiunii corzilor şi se prăbuşeşte. Totodată este importantă structura lemnului (numărul de inele anuale).

Densitatea optimă a fibrelor barei de rezonanţă este cea a feţei în zona de încliere. Obligatoriu trebuie ca bara să fie debitată perfect radial. Pentru aceasta se determină mai întâi planul unei fibre şi apoi se secţionează lemnul pentru bare. Pentru a afla direcţia fibrelor este bine să se despice semifabricatul pentru bare cu o pană, pe direcţie tangenţială şi

radială, pentru a se obține două fețe paralele cu fibrele.

Îndreptarea pe cant a barei de rezonanță se face pentru a obține un plan perpendicular pe planul tangent la fibre.

Spintecarea se face tangențial, la o grosime constantă, iar apoi bara se rindeluește, pentru a se obține în față o grosime mai mică cu 0,5 mm.

Trasarea locului barei de rezonanță se face astfel încât axa longitudinală a barei să fie exact în linie cu a patra coardă (coarda groasă) și sub centrul piciorului călușului.

Păsuirea barei de rezonanță (Fig. 3.25) este foarte importantă pentru calitatea sunetului. Dacă îmbinarea nu este perfectă și în același plan apar deformări ale feței sau înclieirea nu este corectă se ajunge la distorsionarea sunetului.

Ajustarea barei se face pentru a crea un spațiu, adică, după păsuire, în poziție liberă, capetele barei trebuie să fie ridicate de la 0,5 la 1 mm, pentru ca la înclieiere să se creeze o pretensionare care să preia o parte din tensiunile create de presiunea corzilor.

Prelucrarea barei de rezonanță este o operație care se execută pentru a stabili înălțimea la linia creștăturilor interioare ale f -urilor, apoi se profilează un bombament longitudinal simetric față de această linie (Fig. 3.26). La vioară, înălțimea maximă a barei poate fi la nivelul planului inferior al feței sau mai înaltă cu max. 1,5 mm.



Fig. 3.25. Aplicarea barei de rezonanță pe spatele plăcii-față



Fig. 3.26. Teșirea canturilor barei de rezonanță

c. Confecționarea ecliselor și contraecliselor



Eclisa constituie partea laterală a viozii, care permite asamblarea plăcii de faţă cu placa-spate în vederea formării corpului viozii. Ea se compune din mai multe elemente care se confecţionează din lemn de paltin (Fig. 3.28).

Fig. 3.28. Elementele unei eclise

Înainte de debitarea în lamele se formează prin *îndreptare* o faţă şi un cant, apoi ele se dimensionează în funcţie de lăţime, care diferă în funcţie de mărimea viozii.

Debitarea ecliselor în lamele se face pe un ferăstrău circular. Eclisele se debitează radial. Numai în cazuri excepţionale, când spatele şi gâtul au tăiere tangenţială, cu desen "ochi de pasăre" sau alte desene specifice, se face o tăiere semiradială, dar în niciun caz tangenţială, pentru că nu ar avea rezistenţa necesară şi s-ar deforma.

Se recomandă ca pânza să aibă ceapraz mic, pentru a se putea tăia eclisele la grosime de 1,5 mm fără a mai fi nevoie de calibrare grosieră. Calibrarea fină se face cu hârtie abrazivă cu granulaţie de 100 sau 120, pe ambele feţe, până la 1,3 mm.

Contraeclisele se confecţionează fie din molid de rezonanţă, fie din lemn de foioase moi (plop, salcie sau tei).

Debitarea contraecliselor se face tot pe un ferăstrău circular simplu sau multiplu, după dimensionarea la lăţime. Lăţimea contraecliselor la viozile mici este de 5 mm, iar la viozile de 4/4 şi 3/4 este de 6,5 mm. Grosimea contraecliselor este de 2 mm la viozi. Pentru a se putea prelucra şi pentru a se evita desprinderea fibrelor este obligatoriu ca şi contraeclisele să fie debitate radial.

Împerecherea ecliselor. După debitare, eclisele trebuie împerecheate, adică se formează seturi de câte 6 elemente cu aceeaşi structură şi desen al lemnului. După alegerea lamelor se face secţionarea şi numerotarea acestora, precum şi o împerechere stânga - dreapta, pentru a avea înclinaţia fibrei creşte către spatele viozii, pe ambele laterale ale eclisei.

Înainte de curbare, eclisele şi contraeclisele se umezesc, fie în apă caldă, fie în apă rece, minim 1 oră.

Curbarea se face la câte două elemente deodată, în perechi. Pentru a se evita ruperile de fibre se folosesc două bucăţi de tablă, nituite, prinse cu nituri de două mânere de lemn.

Realizarea îmbinării la elementele eclisei din spate este importantă, pentru că aceasta este punctul de referinţă la centrarea întregului instrument: la găurirea pentru buton, la

centrarea feței și spatelui, la poziționarea prăguşului etc.

Urmează etapa de *asamblare a eclisei*. Prinderea elementelor la mijloc se face după ce acestea au fost tăiate și teșite la vârful. Prinderea se face cu contraşabloane și şuruburi metalice.

Teșirea *C*-urilor se face astfel încât la vârfurile eclisei să se vadă în secțiune numai elementul din față sau spate al eclisei.

Şabloanele de eclisă (Fig. 3.33) se pot executa din lemn stratificat densificat sau chiar din placaj. Inițial se trasează o axă de simetrie, apoi conturul eclisei viorii. Se face o gaură unde se introduce pânză panglică de 6 - 10 mm, după care se face lipirea pânzei cu ajutorul ferăstrăului panglică sau cu o mașină de decupat.

Odată cu şablonul se confecționează contraşabloanele (Fig. 3.34), cu ajutorul cărora se încheiază contraeclisele.

De fiecare dată când se comandă un model nou de vioară este necesară confecționarea acestor şabloane, iar dacă se comandă doar un instrument, costul este foarte mare (de cca. cinci ori mai mare decât normal).



Fig. 3.33. Şablon pentru confecționarea ecliselor



Fig. 3.34. Prinderea și presarea contraecliselor cu contraşabloane

Butucii și colțarele se execută din molid de rezonanță sau foioase moi - salcie, plop și tei. *Prelucrarea colțarelor* se face cu dalta semirodună pentru a avea pierdere cât mai mică de lemn, dar și pentru o notă de eleganță care să ateste îndemânarea lutierului. Chiar dacă vorbim de elemente situate la interiorul viorii și se consideră că nu se vede cum sunt lucrate, există aparate cu ajutorul cărora se poate vedea la interior sau, în cazul reparațiilor, se observă imediat calitatea lucrului executat și se poate aprecia nivelul constructorului de vioară.

Pentru frezare se folosesc freze monobloc, profilate după profilul colțarelor și al butucilor sau capete de freză cu cuțite amovibile cu profilul dorit.

Înclierea butucilor și a colțarelor se face cu clei de oase, iar prinderea și presarea se face cu şuruburi metalice.

Păsuirea (fixarea) contraecliselor se face prin încastrarea în butuci și colțare. Locașul

se face fie cu dichiciul, fie cu un ferăstrău coadă-de-vulpe mic. Contraeclisele *se* încheiază cu clei de oase și se strâng cu șuruburi metalice, folosindu-se contrașabloane.

Calibrarea eclisei se face în două etape. Mai întâi, cu eclisa prinsă în șuruburi pe butuci și colțare pentru a nu se deplasa față de acestea, se face o îndreptare pe mașina de șlefuit cu bandă lată. Apoi se desfac șuruburile și, cu distanțier între butuci, se execută calibrarea propriu-zisă, în urma căreia rezultă dimensiunea de 30mm în partea de sus și 31mm în partea de jos.

Inițial elementele de eclisă au cu 2mm în plus față de dimensiunea finală, de aceea urmează faza de *îndreptare a eclisei*, fază la care se îndepărtează cca. 0,5mm de pe fiecare parte. Calibrarea se poate face pe un panou perfect plan, pe care este prinsă o pânză abrazivă cu granulație de 60.

Teșirea se poate face cu dichiciul sau la freză. Contraeclisele se teșesc pentru a fi vioara mai ușoară și pentru un aspect mai deosebit, putând avea diferite secțiuni.

Scoaterea din șablon se face treptat, de jur-împrejurul șablonului. Urmează șlefuirea atât la interior cât și la exterior, precum și prelucrarea manuală a ecliselor.

Șlefuirea interioară se face manual, iar *șlefuirea la exterior* se face pe mașina de șlefuit vertical. Părțile convexe se șlefuiesc în porțiunea dreaptă a benzii, în spatele benzii fiind un suport perpendicular pe masa mașinii, iar părțile concave se șlefuiesc pe tamburul de capăt al mașinii, unde rola are un diametru de 25mm, astfel încât să poată urmări conturul eclisei la colțuri și la C-uri.

d. Asamblarea corpului viorii

Fixarea eclisei pe spatele plăcii-față a viorii se face după desenul de pe spatele instrumentului. Eclisa fiind elastică se poate așeza după desen. Înainte de încheiere se ung butucii și colțarele cu clei și se lasă cleiul la uscat. După 20-30' se aplică clei și pe eclisă, iar spatele plăcii se udă cu apă fierbinte în zona de îmbinare cu eclisa pentru a asigura adeziunea cât mai rapidă.

După uscare se face *șlefuirea finală* a tuturor suprafețelor interioare ale eclisei, ale spatelui și feței, această fază având denumirea de *șlefuire interioară după apă*. Pentru a mări duritatea lemnului, unii lutieri pun în baiț soluție de sare sau bicromat, care, la finisarea cu hârtia cu granulație de 180, conferă un aspect sticlos interiorului viorii, ceea ce duce la o îmbunătățire a tonalității instrumentului.

Tăierea lungimii colțurilor se face după scoaterea din șablon, astfel încât să fie egale câte două și perfect perpendiculare, lungimea verificându-se cu șablonul de aluminiu.

Găurirea pentru buton se face pe o mașină de găurit, folosindu-se un tampon de lemn, pentru a nu avea rupturi de fibră la străpungerea burghiului. Fibrele desprinse sau rupte la găurirea butonului în interior pot perturba sunetele produse de vioară în timpul utilizării instrumentului.

Rotunjirea canturilor se realizează pe o maşină portabilă, fixată într-un dispozitiv care permite urmărirea cantului eclisei cu un inel de ghidare (rulment). La faţă se evită înaintarea frezei contra fibrei, pentru că apar smulgeri de fibră sau chiar despicări la colţuri.

Tăierea lungimii la colţuri este o fază care trebuie executată de o persoană cu experienţă, deoarece colţurile trebuie să fie egale şi cu aceeaşi formă două câte două, stânga cu dreapta. *Corectarea profilului colţurilor* se face cu dichiciul sau cu ţulagul, care poate fi de diferite forme şi dimensiuni.

Frezarea locaşului pentru fileu se poate face cu dispozitivul care foloseşte o freză formată din trei piese din oţel cu dinţi intercalaţi, cu diametru de 7-8mm şi o maşină cu aer comprimat. Locaşul pentru fileu poate fi tăiat şi manual, dar mai corect este să se taie locaşul prin frezare până aproape de colţuri, unde se poate tăia şi cu mâna. Se foloseşte un cuţit special, introdus într-un mâner. Se taie linia exterioară a fileului, apoi linia interioară, având ca şi ghidaj conturul exterior al feţei sau spatelui. Se scobeşte cu o dală îngustă câteva zecimi de mm, apoi se scobeşte din nou cu dalta, până la adâncimea necesară.

După frezare se desenează forma fileului la colţuri, care diferă foarte mult de la lutier la lutier, de la atelier la atelier sau de la o persoană la alta, fiind un criteriu de bază în aprecierea constructorilor de viori. Forma fileului depinde mult de forma colţului dar, pentru un "colţ potrivit", vârful fileului poate fi orientat spre mijlocul colţului sau spre vârful dinspre C-uri. Vârful fileului poate fi lung, scurt, drept sau vârf orientat curb spre C-uri. Este important să fie două câte două simetrice şi la toate cele patru colţuri, acelaşi stil. Se ştie că cele mai ieftine instrumente sunt cele cu fileu desenat, urmate de cele cu fileul imperfect introdus, apoi de cele cu fileul asimetric introdus.

Fileul (Fig. 3.43) este format din trei straturi de furnir sau două straturi de fibră de hârtie colorată în negru şi la mijloc, un strat alb. Furnirul exterior al fileului poate să fie din nuc sau alte esenţe închise la culoare şi impregnate cu un colorant puternic, negru.

Cel mai scump şi mai greu de introdus este fileul cu exteriorul din abanos, iar cel mai uşor de introdus este fileul cu exteriorul din fibră, care se îndoaie mai uşor la colţuri, iar după şlefuire rămâne perfect negru. Stratul din mijloc, de culoare deschisă, este din paltin.

Colţurile se curăţă cu dichiciul, dar nu prin apăsare, ci prin alunecarea tăişului pe fibră. Se crează un vârf ascuţit al colţului, unde va fi introdus ulterior fileul, după ce acestuia i se ascute cu dichiciul un vârf.

Fileul, împreună cu cleiul de oase folosit la introducerea acestuia, formează o armătură care nu lasă plăcile instrumentului să crape în lungul fibrei. Acest aspect este important mai ales la placa-faţă. De asemenea, fileul are şi un rol estetic, fiind un criteriu de apreciere a măiestriei şi simţului artistic al lutierului care a construit instrumentul.

Pentru introducerea fileului, se teşeşte vârful acestuia în funcţie de lungimea şi forma lui. Se introduce cleiul cald, apoi fileul cu grijă mai ales la colţuri şi la final se bate cu un ciocan de lemn (Fig. 3.44).



Fig. 3.43. Fileu de vioară



Fig. 3.44. Introducerea fileului în locaş

La *corectarea conturului*, se foloseşte o daltă semirotundă, cu care se iau cele câteva zecimi de mm rămase în afară la introducerea fileului. Odată cu fileul se îndepărtează și o parte din contur, în funcție de forma cerută: contur rotunjit, contur cu muchie la interior, contur cu muchie la centru sau contur cu muchie la exterior.

Șlefuirea pe contur se face cu pânză abrazivă pe suport foarte moale cu colțul răsucit, făcut sul foarte strâns pentru a putea fi foarte ușor condus pe contur și a realiza șlefuirea corectă.

Suprafețele bombate sau până la contur se șlefuiesc cu ajutorul unor tampoane de pâslă. La început, până la eliminarea denivelărilor și a eventualelor rupturi de fibre, se șlefuieste în sensul curburii, iar la sfârșit se șlefuieste în lungul fibrei. Pentru denivelări și corecturi se folosește pânză abrazivă de 120, iar apoi de 150 și 180, până se elimină toate denivelările și zgârieturile, fără a strica forma conturului și a colțurilor.

Șlefuirea corpului viorii se realizează cu hârtie abrazivă de granulație de 120, pentru eliminarea denivelărilor obținute după corectarea cu dalta și cu țiclingul. Urmează șlefuirea întregii suprafețe a viorii, cu hârtie de granulație de 150. Se recomandă ca șlefuirea să se facă în lungul fibrei. Pentru șlefuire se poate utiliza și mașina cu aer comprimat, de dimensiuni mici, care are fixată hârtie abrazivă pe un suport de burete foarte elastic.

Montarea prăgușului inferior. Acesta este din lemn de abanos, are o lungime de 42mm, lățime de 7mm și înălțime de 5mm.

Prăgușul se încastrează pe jumătate din grosimea feței, fiind centrat față de axa viorii. Locașul prăgușului se execută cu o daltă dreaptă, până la marginea interioară a locașului fileului, fiind eliminat fileul pe acea porțiune.

Pentru că prăgușul este în direcție longitudinală și intercalat între fibrele feței (care sunt orientate radial) este obligatoriu să se lase la capete un spațiu între 0,4mm și 0,6mm deoarece, în timp, lemnul feței și al butucului mai lucrează (se umflă și se contrage câte puțin), iar prin prezența acestui spațiu se evită crăparea feței viorii.

După *încleierea prăgușului* cu clei de oase, acesta se prelucrează prin *teșirea capetelor* până la nivelul plăcii-față, iar partea exterioară se rotunjește la nivelul cantului acesteia cu o

rindea-degetar dreaptă.

e. Prelucrarea gâtului viorii

Semifabricatele pentru gâtul viorii sunt realizate din lemn de paltin. Mai întâi se efectuează *îndreptarea unei fețe și a unui cant*, apoi se debitează la lățime și grosime, astfel încât să nu rămână mai mult de 4 mm față de dimensiunea maximă în secțiune a gâtului; apoi se retează la lungime, cu supradimensiune, circa 5 cm, pentru fixarea în mașina de frezat prin copiere.

După retezarea capetelor se însemnează conturul semifabricatului pentru prinderea corectă între vârfurile de fixare ale mașinii de frezat prin copiere.

Frezarea prin copiere. Mașina de frezat prin copiere trebuie reglată astfel încât să nu existe nicio diferență între cele douăsprezece gâturi care rezultă.

Este foarte important ca modelul de copiere să fie cât mai aproape de forma finală și să fie executat de cel mai bun sculptor de gâturi sau lutier, deși modelul este bine să fie din fontă. Același sculptor, cu puține cunoștințe despre forme de turnare pentru metale, poate executa modelul din lemn, după care se toarnă modelul din metal, pentru a fi cât mai puțin de modelat în metal. Pentru fiecare mărime de instrument trebuie executat modelul de gât corespunzător.

După copiere, se taie surplusul de prindere a melcului, după care se retează la ferăstrăul circular pendulă călcâiul gâtului, la înclinația de montaj a gâtului în corp.

Urmează prelucrarea manuală a gâtului, prima operație fiind cea de *executare a găurilor pentru chei*, urmată de *scobirea cutiei cheilor* și apoi *sculptarea melcului*.

Sculptarea melcului este o operație care necesită o mare atenție și pricepere. Melcul trebuie să crească uniform și continuu de la urechea melcului spre exterior. Creșterea trebuie să fie constantă și uniformă, pentru ca urechile să fie de jur împrejur perpendiculare pe axa gâtului, să fie egale și să nu fie una mai sus față de cealaltă.

Șlefuirea melcului se face cu mare atenție, pentru a obține o suprafață continuă și descrescătoare de la urechea melcului spre cutia cheilor, fără valuri și fără a forma linii discontinue pe conturul melcului. Se formează apoi canturile, de jur împrejurul gâtului, prin *teșire*, cu țulagul.

Chiar dacă dimensiunile sunt foarte precise și aceleași la toți lutierii, există particularități de sculptură, mai adâncită (Fig. 3.50) sau mai puțin adâncită, cu urechi mai subțiri sau mai groase, cu urechi rotunjite sau mai plate. Toate aceste detalii variază de la lutier la lutier și pot constitui o marcă de recunoaștere a instrumentului construit de acesta.

Se îndreaptă talpa gâtului și se montează provizoriu limba din abanos (Fig. 3.51) și prăgușul superior al viorii. Se numerotează limba și gâtul, pentru că, după șlefuire, limba este îndepărtată, în vederea lăcuirii viorii și se re-atașează în faza de montaj final.



Fig. 3.50. Melc cu profil adâncit



Fig. 3.51. Fixarea limbii pe talpa gâtului

Prelucrarea mânerului gâtului care se realizează după şlefuire, la dimensiuni fixe, pentru că acesta este partea de care se prinde instrumentul şi care va determina poziţia degetelor pe corzi. În partea din faţă, mânerul trebuie să aibă 19 mm grosime şi 24 de mm lăţime, iar în partea din spate - spre corpul vioarei - acesta trebuie să aibă 21 mm grosime.

f. Asamblarea corpului de vioară cu gâtul

Scobirea locaşului pentru fixarea gâtului în corpul vioarei se realizează cu o daltă dreaptă, după ce marginile locaşului au fost tăiate cu un ferăstrău de păşuit.

În timpul scobirii, se verifică înălţimea limbii pe partea de vioară, cu un şablon şi se centrează gâtul după axa vioarei, cu un alt şablon.

Încleierea gâtului. Gâtul se fixează de corpul vioarei, folosindu-se clei de oase. Se încleiază călcâiul gâtului de butucul superior al eclisei, de marginile eclisei şi de talonul spatelui. După încleiere se modelează talonul vioarei. Acesta poate diferi ca formă de la un lutier la altul, unii dintre aceştia adăugând chiar un inel de abanos ca semn distinctiv şi pentru a conferi un plus de rezistenţă.

Şlefuirea se face după ce vioara a fost ştearsă în întregime, inclusiv eclisa şi gâtul, în prealabil cu o cârpă sau un burete puţin umed. Se lasă vioara să se usuce. Şlefuirea se realizează cu hârtie de granulaţie 180, ţinută pe un tampon de pâslă, ca să poată fi urmărit profilul vioarei. Se obţine astfel o suprafaţă lucioasă, căutându-se eliminarea tuturor zgârieturilor rezultate din folosirea anterioară a hârtiei abrazive.

g. Finisarea vioarei

Băiţuirea. Se face la început, pentru închiderea culorii lemnului. Baiţurile scot în evidenţă fibra creaţă a lemnului, dar sunt cumpărători care preferă culoarea naturală a lemnului, folosindu-se în acest caz baiţuri mai gălbui. Se folosesc în general baiţuri pe bază

de apă.

Lăcuirea. Se aplică în continuare mai multe straturi succesive de lac. Viorile de şcoală se finisează cu lacuri nitrocelulozice prin pulverizare, această lăcuire fiind mai ieftină, mai rapidă şi cu mai puţină manoperă. Se aplică între 7 şi 10 straturi, în decursul a 3-4 zile, cu mare atenţie să nu existe scurgeri de lac. La final vioara se lustruieşte cu discuri de pâslă.

Viorile din categoria *maestru* şi *profesional* se lăcuiesc cu lacuri pe bază de ulei sau spirit, în care se dizolvă răşini naturale - şelac, mastic, benzoe şi sandarac. Se aplică între 10 şi 15 straturi, cu pensula, în lungul fibrei, folosind coloranţi în diferite straturi, de la deschis spre închis, în funcţie de cerinţele clienţilor. Fiecare strat de lac necesită minim 24 de ore de uscare şi după fiecare strat se face şi o şlefuire.

După obţinerea nuanţei dorite, se mai aplică două straturi de lac incolor, cu şlefuire intermediară, după care se şlefuieste mat întreaga suprafaţă a vioarei, cu hârtie abrazivă cu granulaţie de 800 sau 1000.

Ultimul strat de lac se aplică într-o cameră foarte curată, unde nu există praf, cu o altă pensulă foarte curată. Rezultă astfel o peliculă foarte uniformă. Unii preferă ca vioara să rămână lucioasă, alţii un pic mai mată, caz în care se foloseşte o pastă de lustruit, obţinută dintr-un praf cu granulaţie de 10000-12000, înmuiat în ulei de parafină.

După lăcuire se curăţă de lac canturile, *f*-urile, după care se vopsesc, preferabil cu o vopsea de culoare maro.

h. Confecţionarea accesoriilor şi montajul final

Accesoriilor se confecţionează de obicei din lemn de abanos. Ele pot fi obţinute din lobde sau direct din semifabricate. Din lobdele de abanos se secţionează mai întâi elementele cu dimensiuni mai mari - limbile, care trebuie să fie tăiate radial şi să fie fără crăpături sau alte defecte ale lemnului; apoi, în ordinea mărimii, se debitează semifabricatele pentru prăguşe, bărbii, cordare, chei şi butoni. Căluşul şi popicul se confecţionează din lemn de paltin.

Montajul final constă în fixarea definitivă a limbii pe talpa gâtului (Fig. 3.74), montarea butonului (Fig. 3.77), şi a cheilor (Fig. 2.79). Apoi se prelucrează prăguşul superior prin şlefuire şi lustruire şi se execută locaş pentru fiecare coardă (Fig. 3.80).

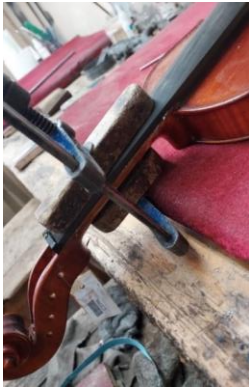


Fig. 3.74. Fixarea definitivă a limbii pe gâtul vioii



Fig. 3.77. Introducerea și fixarea butonului

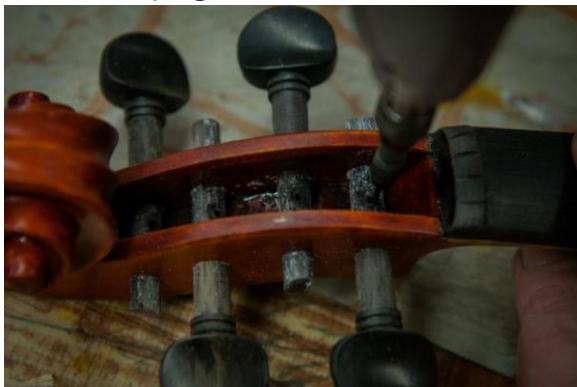


Fig. 3.79. Introducerea cheilor și găurierea acestora pentru introducerea corzilor



Fig. 3.80. Executarea locașului pentru corzi

Apoi se montează corzile, începând cu cele laterale, se poziționează călușul, apoi se montează celelalte două corzi. Poziția călușului este centrată în dreptul creștăturilor f -urilor astfel încât să se asigure o distanță de 195mm până la marginea vioii.

Popicul se poziționează în interiorul vioii astfel încât să fie cu o grosime de placă-față de 3,5mm, în spatele piciorului călușului, de regulă axat pe centrul piciorului acestuia.

Cu o tijă metalică cu locaş pentru popic se reglează partea de jos a popicului pe spatele vioarei (Fig. 3.86), astfel încât să fie perpendicular. În timpul montajului popicului, trebuie avut grijă ca acesta să nu fie prea scurt, pentru că va cădea ușor sau va fi poziționat prea în margine. În timpul reglajului acestuia, trebuie creată o presiune ușoară între față și spate, pentru a prelua din presiunea corzilor pe fața vioarei. Lutierii foarte experimentați fixează poziția popicului înainte de montarea călușului și a corzilor, orientându-se după creștătura f -ului, după care se fixează și bărbia (Fig. 3.88).

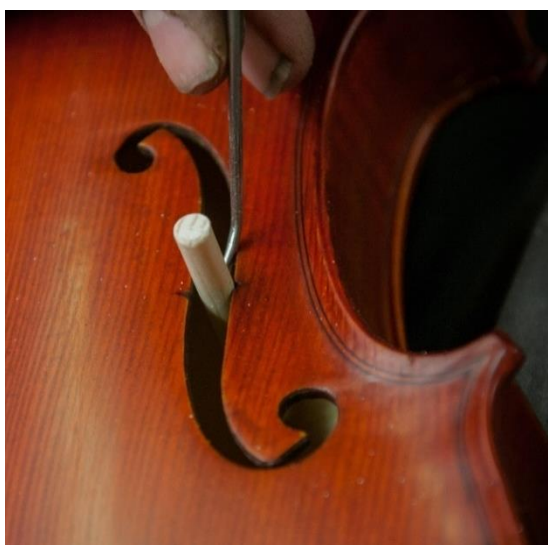


Fig. 3.86. Poziționarea popicului



Fig. 3.88. Vioara montată

Durata totală a manoperei pentru realizarea unei vioari de maestru, începând cu prelucrarea semifabricatelor până la montajul complet, este de cca. 300h, în decurs de un an.

Capitolul 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA MATERIEI PRIME LEMNOASE UTILIZATĂ LA FABRICAREA VIORILOR

Clasa de calitate a lemnului de rezonanță materialului este dată de:

- indicii macroscopici ai inelelor anuale (lățimea inelului anual, proporția de lemn târziu în cadrul unui inel anual, uniformitatea lățimii inelelor anuale, gradul de ondulare al fibrei crețe ș.a.);
- proprietățile fizice (densitatea, umiditatea);
- proprietățile acustice (în principal, viteza de propagare a sunetului în lemn) și
- proprietățile elastice (modulele de elasticitate longitudinală și transversală și coeficienții Poisson) ale acestuia.

Valorile de referință ale acestor proprietăți, publicate în diferite surse bibliografice, pentru lemnul de molid de rezonanță și paltin de rezonanță au fost prezentate în cadrul §1.3.

În continuare sunt prezentate rezultatele cercetărilor proprii, realizate pe epruvete prelevate din lemnul utilizat pentru fabricarea elementelor de vioară și a viorilor testate în cadrul prezentei teze. Lemnul utilizat în cadrul acestor cercetări, atât lemnul de molid de rezonanță, cât și cel de paltin de rezonanță provine din Valea Gurghiului

4.1. Clasificarea pe clase de calitate a lemnului de rezonanță în funcție de indicii macroscopici ai inelelor anuale

4.1.1. Metodă, material, aparatură

Determinările au fost efectuate în Laboratorul de Dendrologie al Facultății de Silvicultură al Universității Transilvania din Braşov. Metoda de investigare a constat în scanarea la o rezoluție de 2200dpi a câte 20 de probe cu dimensiuni de 40x40x40mm din fiecare specie, urmată de determinarea cu sistemul WinDENDRO Density 2007 image-analysis system (WinDENDRO 2007) a caracteristicilor inelelor anuale cu o precizie de 0,001mm.

Caracteristicile inelelor anuale au fost măsurate în direcție radială, pe secțiunea transversală. La probele din lemn de molid, odată cu identificarea inelelor anuale au fost separate digital zonele de lemn timpuriu și lemn târziu, pentru a determina proporția de lemn timpuriu / lemn târziu.

Astfel, pe aceste probe s-au determinat:

- lățimea totală a inelului anual, în vederea stabilirii uniformității acesteia;
- lățimea zonei de lemn timpuriu și lățimea zonei de lemn târziu;
- proporția de lemn timpuriu și proporția de lemn târziu.

Pe probele din lemn de paltin s-au măsurat lățimea inelului anual și lungimea de undă a ondulației fibrei crețe, conform recomandărilor din literatura de specialitate.

Analiza de imagine a permis detectarea automată a inelelor anuale, dar și intervenția corectivă a operatorului. Caracteristicile inelelor anuale au fost măsurate în direcție radială, pe secțiunea transversală, iar lungimea de undă a ondulațiilor (la lemnul de paltin creț), în direcție tangențială, pe secțiunea radială.

4.1.2. Rezultate experimentale și discuții

Caracteristicile macroscopice ale lemnului de molid și de paltin de rezonanță analizat sunt prezentate în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Caracteristicile inelelor anuale ale lemnului de rezonanță de molid și paltin provenit din Munții Gurghiului și utilizat la fabricarea violoncelor în cadrul SC Gliga Instrumente Muzicale

Specia	Caracteristica structurală	Interval valori (min...max)	Coefficient de variație
Molid	Lățimea medie a inelelor anuale (mm)	0,408...3,067	48,74
	Lățimea zonei de lemn timpuriu (mm)	0,212...2,305	49,11
	Lățimea zonei de lemn târziu (mm)	0,071...0,992	53,96
	Proporția de lemn timpuriu (%)	50,45...91,43	7,31
	Proporția de lemn târziu (%)	8,57...49,55	24,03
Paltin	Lățimea medie a inelelor anuale (mm)	0,744...1,504	19,07
	Lungimea de undă a fibrei crețe (mm)	4,746...10,085	19,88

Mărimile absolute ale indicatorilor inelelor anuale prezentând un grad ridicat de împrăștiere, este evidentă necesitatea stabilirii unor criterii cantitative clare pentru departajarea calității lemnului de rezonanță în funcție de clasa de calitate a violoncelului.

Experiența personală de lutier a autorului și colaborarea în timp cu diverși specialiști de la Universitatea Transilvania din Braşov (Albu 2010, Stanciu și Curtu 2012, Dinulică 2020) au permis stabilirea în cadrul prezentei teze a unor astfel de criterii, pe baza stratificării valorilor obținute. Limitele de variație eligibile ale fiecărui indicator în funcție de clasa de calitate a violoncelului sunt prezentate în Tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

Indicatori pentru sortarea lemnului de rezonanță în funcție de clasa de calitate a violoncelului

Specia	Caracteristica structurală	Interval de valori pentru clasa de calitate:			
		A (maestru)	B (profesional)	C (student)	D (școlar)
Molid	Lățimea medie a inelelor anuale (mm)	< 1,0	1,0 ... 1,5	1,5 ... 2,0	2,0 ... 3,0
	Indicele de regularitate a lățimii inelelor anuale*	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,75	≤ 1
	Proporția zonei de lemn târziu (%)	≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 30

Paltin	Lăţimea medie a inelelor anuale (mm)	< 2,0	2,0 ... 3,0	3,0 ... 4,0	4,0 ... 6,0
	Lungimea de undă a fibrei creţe (mm)	10 ... 20	15 ... 30	30 ... 40	> 40

Pentru determinările prezentate s-a selectat material lemnos care să corespundă strict, din punct de vedere al indicilor macroscopici ai inelelor anuale, cerinţelor pentru clasa A de viori, întrucât acestea au constituit obiectul principal al cercetărilor experimentale efectuate în cadrul tezei.

4.2. Determinarea densităţii lemnului

4.2.1. Metodă, material, aparatură

Determinarea densităţii lemnului de rezonanţă a fost realizată la Institutul de Cercetare-Dezvoltare al Universităţii Transilvania din Braşov, folosind un analizor de profil de densitate cu raze X, tip DPX300. Au fost utilizate câte 4 eşantioane cu dimensiuni de 50mm × 50mm × 30mm din fiecare specie. Acestea au fost cântărite şi apoi introduse pe rând în trenul dispozitivului cu raze X.

4.2.2. Rezultate experimentale şi discuţii

S-a determinat profilul densităţii pe cele trei secţiuni principale, longitudinal-radială LR, longitudinal-tangenţială LT şi transversală TR, sunt prezentate pentru lemnul de molid şi pentru lemnul de paltin.

În cazul lemnului de molid, s-a remarcat faptul că variaţia densităţii depinde de zonele de lemn timpuriu şi lemn târziu, această analiză permiţând obţinerea densităţii celor două zone de lemn din structura inelului anual, cu precădere în secţiunea longitudinal-radială.

S-a remarcat şi faptul că profilul densităţii redă lăţimea inelelor anuale care sunt regulate şi înguste cu trecere treptată de la lemnul timpuriu. Conform măsurărilor efectuate, densitatea medie a lemnului de molid de rezonanţă este între 390 – 430 kg/m³, puţin mai scăzută faţă de densitatea lemnului de molid obişnuit, pentru care literatura de specialitate indică o valoare medie de 485kg/m³ (Beldeanu 2001, Bucur 2006).

Spre deosebire de lemnul de molid, lemnul de paltin prezintă o structură uniformă, fără diferenţă pronunţată între lemnul timpuriu şi lemnul târziu. Conform măsurărilor efectuate, densitatea medie a lemnului de paltin de rezonanţă variază între 650 – 680 kg/m³. Ca şi în cazul lemnului de molid de rezonanţă, aceasta este puţin mai mică faţă de densitatea lemnului de paltin de munte obişnuit, care este, în medie, de 700kg/m³ (Bucur 2006).

4.3. Determinarea parametrilor acustici și elastici ai lemnului

4.3.1. Metodă, material, aparatură

Determinarea vitezei de propagare a sunetului în lemn a fost efectuată la Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică Tehnică Iași, aplicând metoda cu ultrasunete cu ajutorul undelor Lamb (Duqumbe *et al.* 2004).

Caracteristicile elastice (modulele de elasticitate E , G) și coeficienții Poisson (ν) pe cele trei direcții de orientare structurală au fost determinați apoi prin calcul, pe baza unor formule preluate din literatura de specialitate.

Vitezele de propagare a undelor în lemn s-au determinat, în condiții de laborator, la 23°C și umiditate relativă a aerului de 65%. Generarea undelor Lamb s-a realizat cu traductori cu contact Hertzian având frecvența centrală de 100 kHz. Semnalul de emisie a fost generat de un generator de funcții, WW 1074 Tabor, semnalul fiind amplificat și transmis către traductorul de emisie.

Traductorul de recepție este cuplat la un NSIA 4395A, forme de undă și măsurarea timpilor de propagare realizându-se cu ajutorul osciloscopului digital Wave Runner 64 Xi. Prin interfața GPIB IEEE 488.2, osciloscopul a fost conectat la calculator pentru înregistrarea datelor experimentale.

S-au utilizat în acest scop câte 2 epruvete cu dimensiuni de 50mm x 50mm x 50mm din fiecare specie. Pentru convergența rezultatelor și identificarea omogenității probelor, punctele de măsurare au fost stabilite prin trasarea pe suprafețele probelor a unui caroiaj, care să permită o exprimare mai facilă și mai exactă a locului de măsurare, respectiv o mai bună precizie de poziționare a emițătorului și receptorului.

Viteza de propagare a sunetului în lemn nu depinde numai de direcția de propagare a undelor, ea variază și în funcție de specie. Fiecare specie prezintă caracteristici care afectează transmisia energiei ultrasonice în funcție de proprietățile fizice ale pereților celulari sau structura celulelor.

Procedura de identificare a vitezelor de propagare aplicată în cadrul prezentei cercetări a arătat că viteza de propagare a sunetului este puternic influențată de o gamă largă de caracteristici anatomice, de densitate și de umiditatea lemnului.

4.3.2. Rezultate experimentale și discuții

Rezultatele privind valorile medii ale vitezelor de propagare a sunetului în lemn sunt prezentate în Tabelul 4.4.

Valorile rapoartelor vitezelor rezultate atât pentru lemnul de molid:

$$v_{LL} / v_{RR} = 3,9; v_{LL} / v_{TT} = 3,56 \text{ și } v_{RR} / v_{TT} = 0,9,$$

cât și pentru lemnul de paltin:

$$v_{LL} / v_{RR} = 3,1; v_{LL} / v_{TT} = 2,3 \text{ și } v_{RR} / v_{TT} = 0,7,$$

sunt puțin mai mari decât cele raportate de Bucur (2006).

Tabelul 4.4

Viteza de propagare a ultrasunetelor in lemn determinată pe epruvete din lemn de molid și de paltin de rezonanță provenit din Munții Gurghiului

Proba Secțiunea	Probe molid MoR1			Probe molid MoR2		
	V_{LL}	V_{RR}	V_{TT}	V_{LL}	V_{RR}	V_{TT}
Viteza medie (m/s)	5269	1425	1323	5246	1522	1335
STDV	121,243	47,687	21,986	190,164	23,478	24,833
Proba Secțiunea	Probe paltin P1			Probe paltin P2		
	V_{LL}	V_{RR}	V_{TT}	V_{LL}	V_{RR}	V_{TT}
Viteza medie (m/s)	4263	1949	1378	4599	1987	1438
STDV	141,065	39,101	121,962	135,766	16,158	23,639

Rezultatele privind valorile coeficienților elastici pentru mostrele din lemn de molid și de paltin de rezonanță analizate sunt prezentate în Tabelul 4.5.

Tabelul 4.5

Coeficienții elastici calculați pentru lemnul de rezonanță de molid și paltin utilizat la realizarea viorilor testate în cadrul prezentei cercetări

Specia	Cod eșantion	E_L	E_R	E_T	ν_{LR}	ν_{LT}	G_{LT}	G_{LR}
		[MPa]	[MPa]	[MPa]			[MPa]	[MPa]
Molid	MoR1	10938	800	689	0,465	0,390	689	800
	MoR2	11476	912	743	0,460	0,380	743	965
Paltin	P1	11358	2374	1186	0,442	0,373	1186	965
	P2	13028	2434	1273	0,446	0,380	1273	2432

Ele sunt în bună corelație cu cele indicate în literatura de specialitate. Micile diferențe se datorează sursei eșantionului - zona de recoltare a arboretului, dimensiunilor diferite ale epruvetelor utilizate, cât și faptului că metodele de determinare au fost diferite, iar determinarea s-a făcut la frecvență diferită.

4.4. Evaluarea potenţialului utilizării unor specii lemnoase alternative pentru placa-spate a vioarei

Cercetările efectuate de numeroşi specialişti (*e.g.* Barlow 1997; Bucur 2006; Beldeanu 2008; Stanciu şi Curtu 2012) au arătat că în ceea ce priveşte materia primă pentru faţa vioarei, nicio altă specie lemnoasă nu a putut întrece caracteristicile şi performanţele acustice ale molidului de rezonanţă.

Referitor la materia prima lemnoasă pentru spatele vioarei însă, lutierii au un mai mare grad de libertate decât în cazul plăcii de faţă. Deşi placa de spate joacă şi ea un rol acustic important ca parte a cutiei de rezonanţă, în care ansamblul format din placa de faţă şi cea de spate trebuie să opereze ca o membrană, capabilă să transmită vibraţii şi să le amplifice, caracteristicile de material impuse acestei componente a vioarei sunt mai puţin stricte.

Prin urmare, s-a considerat oportună testarea în acest sens şi a unor specii autohtone, care cresc şi sunt exploatate şi industrializate pe teritoriul României.

4.4.1. Material, metodă, aparatură

Materialul utilizat în cadrul prezentei cercetări a constat în 14 plăci-spate de vioară, câte două din fiecare specie, având caracteristici geometrice identice, specifice vioarelor 4/4, dintre care, două plăci-spate (de referinţă) au fost realizate din lemn de paltin creţ (*Acer pseudoplatanus*), iar celelalte au fost realizate din şase specii alternative: carpen (*Carpinus betulus*), nuc (*Juglans regia*), salcie (*Salix alba*), frasin (*Fraxinus excelsior*), plop negru (*Populus nigra*) şi paltin măzărat (*Acer saccharinum*) (Fig. 4.12).

Important de subliniat este că principalul criteriu de selectare a speciilor a fost aspectul estetic (Fig. 4.13). Pentru a obţine plăci cu un desen deosebit, au fost admise chiar şi piese de lemn cu defecte naturale (de ex: noduri, pete medulare etc.) debitate şi tangenţial, nu numai radial. Acesta este, de altfel, criteriul pentru care a fost ales la începuturi şi lemnul de paltin creţ. Abia ulterior au fost demonstrate şi valenţele sale acustice deosebite.

Se observă că s-au ales atât specii cu densitate similară lemnului de paltin (frasinul, nucul, paltinul măzărat), precum şi specii mult mai dense (*de ex.* carpenul), dar şi mult mai puţin dense (*de ex.* salcia şi plopul).

Metoda de testare a constat în analiza modală experimentală (EMA), prin metoda încercării dinamice, cu ciocanul de impact (Alm şi Walker 2002).

Toate plăcile de vioară testate în cadrul acestei cercetări au fost realizate la SC *Gluga Instrumente Muzicale*, Reghin (România).



a. Paltin creţ



b. Carpen



c. Nuc



d. Salcie



e. Frasin



f. Plop



g. Paltin măzărat

Fig. 4.12. Plăci-spate de vioară realizate din specia de referinţă (paltin creţ) şi din şase specii lemnoase alternative



a. Vioară cu spate din lemn de carpen



b. Vioară cu spate din lemn de nuc



c. Vioară cu spate din lemn de salcie



d. Vioară cu spate din lemn de frasin



e. Vioară cu spate din lemn de plop



*f. Vioară cu spate din lemn de paltin
măzărat*

Fig. 4.13. Viori cu placa spate realizată din specii alternative

Plăcile au fost mai întâi cântărite, apoi s-a trecut la încercarea dinamică. Fiecare placă, pe rând, a fost rezemată cu ajutorul unor elemente elastice, simulând astfel o structură liberă. Apoi placa a fost excitată cu ajutorul unui ciocan de impact tip B&K 8204, iar semnalul de ieşire a fost captat cu ajutorul unui accelerometru tip B&K 4517-002. Atât ciocanul, cât și accelerometrul utilizate sunt produse de firma Brüel&Kjær (Nærum, Danemarca).

Semnalele generate au fost transmise prin intermediul unui dispozitiv de condiționare a semnalului către o placă de achiziție de date tip NI USB-9233 produsă de firma National Instruments (Austin, SUA), conectată la un laptop. Semnalul a fost prelucrat și vizualizat cu ajutorul unei aplicații speciale, dezvoltată în MatLab© de dl. prof.dr.ing. Silviu Năstac de la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați.

În Fig. 4.15 este prezentat un exemplu privind modul de vizualizare a semnalului captat. Aceste grafice au fost procesate cu ajutorul transformatei Fourier în programul MatLab©, obținându-se graficele spectrelor de frecvență. Pe baza acestuia se pot determina valorile frecvențelor proprii, $f_1, f_2, \dots, f_5, \dots, f_n$, precum și frecvența dominantă, cu amplitudine maximă - f_{Amax} și numărul de armonice (n). Factorul de calitate (Q) poate fi și el determinat

pentru oricare frecvență de rezonanță aplicând ecuația (1.4). În cazul prezentei cercetării, factorul de calitate (Q) a fost calculat la frecvența dominantă.

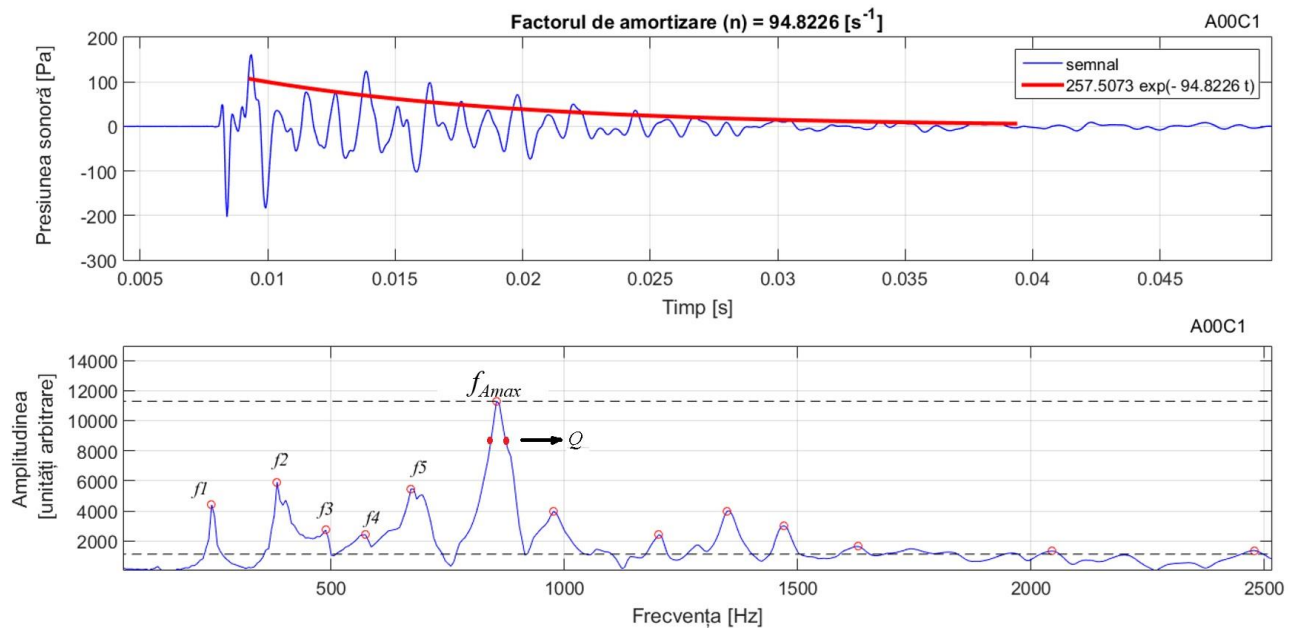


Fig. 4.15. Determinarea frecvențelor proprii din graficul spectrului de frecvență

4.4.2. Rezultate experimentale și discuții

Din graficele spectrului de frecvență au fost extrase conform principiului ilustrat în Fig. 4.15 valorile celor mai reprezentativi indicatori dinamici ai fiecărei plăci testate: prima frecvență fundamentală (f_1), a doua frecvență fundamentală (f_2), frecvența dominantă (f_{Amax}), numărul de armonice în intervalul de frecvență selectat (0...2000 Hz) și factorul de calitate (Q), calculat pentru frecvența dominantă. Acestea sunt prezentate în Tabelul 4.8.

Tabelul 4.8

Rezultatele analizei modale efectuată pe plăcile-spate de vioară, realizate din diferite specii lemnoase

Nr. Ref.	Specia	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_{Amax} (Hz)	Numărul de armonice	Q
A00S1	Paltin creț	317	556	1416	30	111
A00S2	Paltin creț	323	585	1477	29	100
S00S1	Carpen	293	421	933.8	24	141
S00S2	Carpen	275	421	1416	30	114
S00S3	Nuc	177	342	1544	29	92
S00S4	Nuc	177	323	1825	19	74

S00S5	Salcie	61	305	1019	29	83
S00S6	Salcie	61	323	1147	22	78
S00S9	Frasin	164	336	1599	25	106
S00S10	Frasin	153	317	1068	29	97
S00S13	Plop	128	280	842	23	96
S00S14	Plop	128	274	830	29	100
S00S11	Paltin măzărat	305	524	1700	30	130
S00S12	Paltin măzărat	330	543	988	18	105

Referitor la valorile primei frecvențe fundamentale (Fig. 4.17), s-a constatat că plăcile din salcie și plop, specii caracterizate prin densitate mică, prezintă valorile cele mai mici ale frecvenței fundamentale, de 61Hz, în cazul plăcilor din lemn de salcie, respectiv 125 - 129Hz în cazul plăcilor din lemn de plop. În ordine crescătoare, ele au fost urmate de plăcile realizate din frasin ($f_1=153-164$ Hz) și nuc ($f_1=177$ Hz), apoi carpen ($f_1=275-293$ Hz).

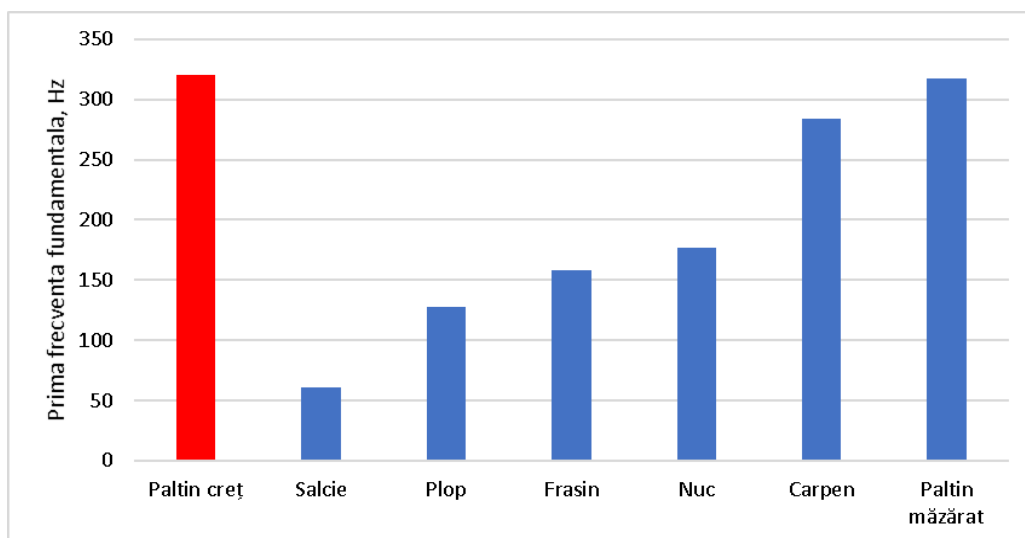


Fig. 4.17. Prima frecvență fundamentală pentru plăci-spate de vioară realizate din diferite specii

Valoarea cea mai apropiată de paltinul creț s-a obținut pentru plăcile din paltin măzărat ($f_1= 305-330$ Hz). Același ordine se respectă și în cazul celei de a doua frecvențe fundamentale.

Frecvența cu amplitudinea cea mai mare s-a înregistrat în cazul plăcilor realizate din lemn de nuc (Fig. 4.18), valoarea medie fiind cu 16% mai mare decât în cazul plăcilor din paltin creț.

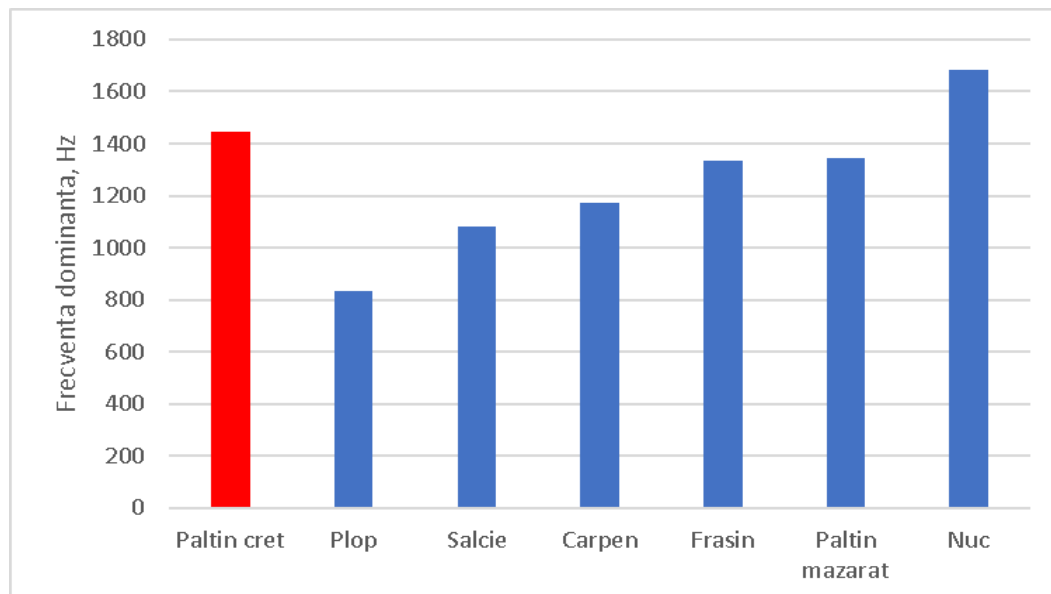


Fig. 4.18. Frecvența dominantă pentru plăci-spate de vioară realizate din diferite specii

Referitor la numărul de armonice obținut pentru plăcile-spate din specii alternative (Fig. 4.19), s-a observat că acesta se încadrează în intervalul 18...30. După cum era de așteptat, valorile cele mai mari s-au obținut la plăcile din paltin creț, pentru toate celelalte specii valorile fiind mai mici.

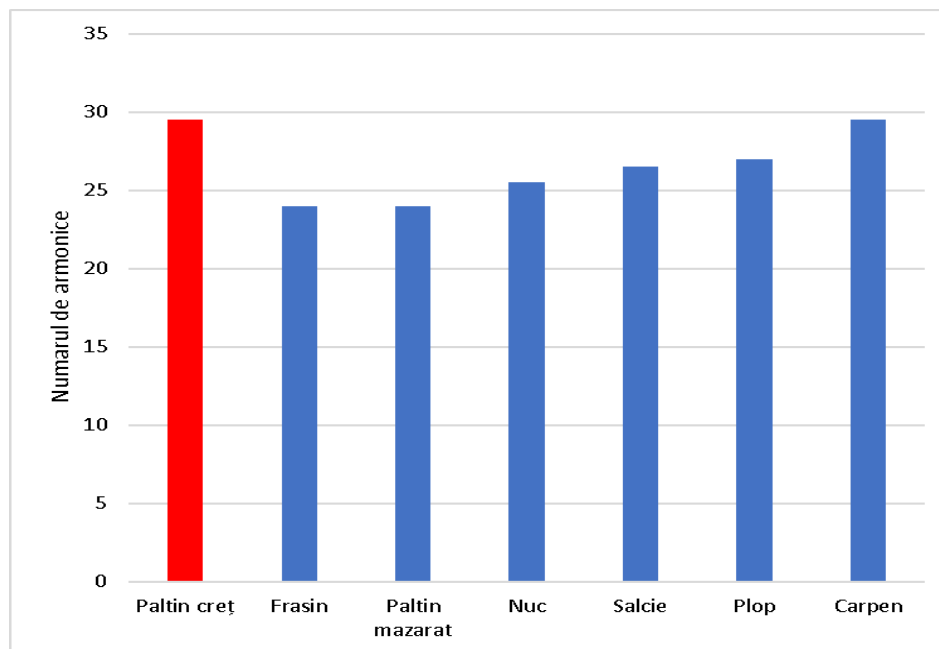


Fig. 4.19. Numărul de armonice pentru plăci-spate de vioară realizate din diferite specii

În cazul factorului de calitate (Q), valorile sunt cuprinse în intervalul 91...100. Valori mari ale acestui indicator s-au obținut în cazul lemnului de salcie și plop (Fig. 4.20). O valoare comparabilă cu lemnul de paltin creț s-a obținut în cazul lemnului de carpen.

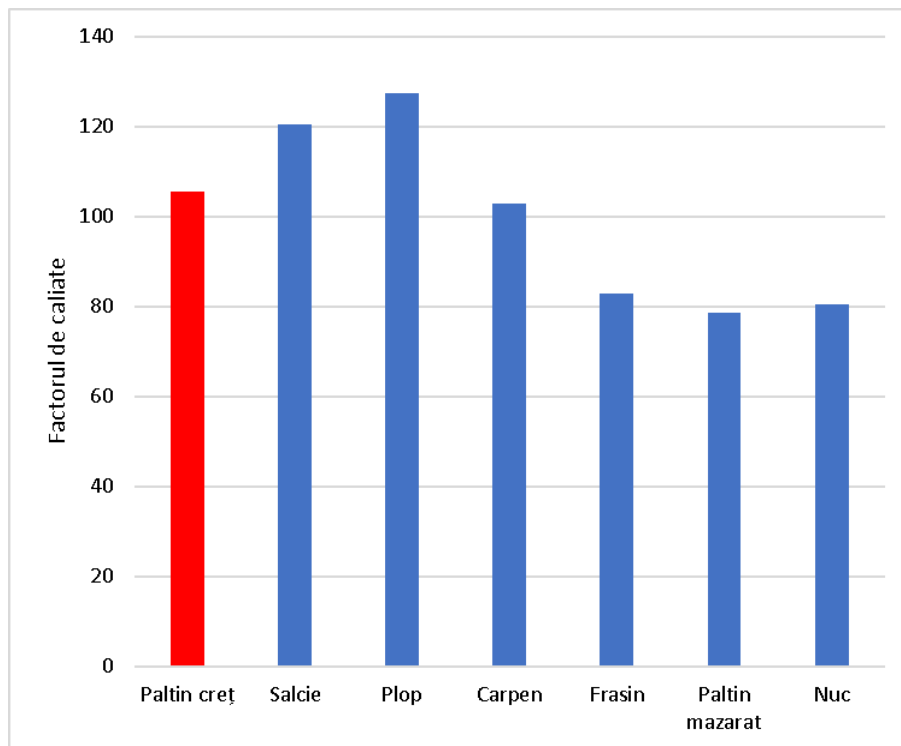


Fig. 4.20. Factorul de calitate pentru plăci-spate de vioară realizate din diferite specii

4.5. Concluzii

Conform rezultatelor obținute, niciuna dintre speciile analizate nu s-a apropiat la toate criteriile de performanțele acustice ale lemnului de paltin creț.

Lemnul de paltin măzărât s-a apropiat cel mai mult de referință, cu excepția numărului de armonice. Lemnul de nuc se remarcă printr-o estetică deosebită și prin cea mai mare valoare a frecvenței dominante, dar primele frecvențe fundamentale (f_1 , f_2) sunt foarte mici din cauza porilor mari care favorizează producerea sunetelor grave. De asemenea, din cauza structurii neomogene, la fel ca și în cazul paltinului măzărât, nu oferă garanția unor parametrii dinamici predictibili.

Dintre speciile de foioase tari testate, lemnul de carpen și frasin au o structură mai omogenă și oferă performanțe acustice acceptabile, în timp ce lemnul de foioase moi (salcie și plop), deși oferă avantajul unei viori mai ușoare, cu un factor de calitate ridicat ($Q > 120$), s-au dovedit deficitare la valorile frecvențelor proprii, care au valorile cele mai scăzute dintre toate speciile analizate.

Având în vedere rezultatele obținute pentru speciile alternative, devine evident că cea mai bună soluție pentru viorile de maestru rămâne folosirea lemnului de paltin creț pentru realizarea plăcii-spate, iar cercetările din cadrul prezentei teze de doctorat au fost îndreptate în continuare spre investigarea altei caracteristici de material, și anume profilul de grosime al plăcilor.

Capitolul 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INFLUENŢA PROFILULUI DE GROSIME AL PLĂCILOR DE VIOARĂ ASUPRA CALITĂŢII SUNETULUI VIORII

5.1. Obiectivul cercetării

Principalul obiectiv al cercetărilor prezentate în cadrul acestui capitol a constat în investigarea influenţei profilului de grosime al plăcilor (faţă şi spate), asupra proprietăţilor dinamice, acustice şi psiho-acustice ale violor de tip maestru „în alb” (nefinisate).

Faţă de profilul clasic de grosime, corespunzător violorilor 4/4, s-au testat plăci cu profil de grosime majorat cu 0,2mm, 0,4mm şi 0,6mm), respectiv cu profil subţiat cu 0,2mm, 0,4mm şi 0,6mm (Fig. 5.1). Atât placa-faţă, cât şi placa-spate asamblate într-un corp de vioară au avut aceeaşi modificare de profil.

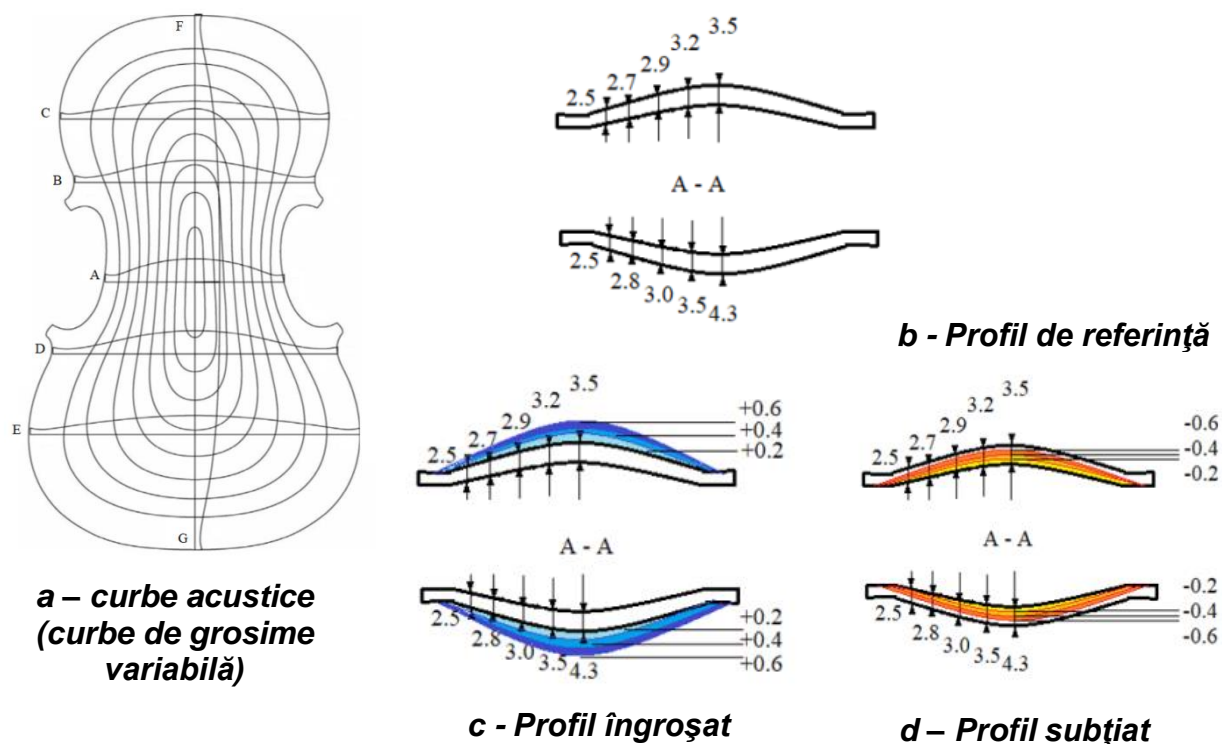


Fig. 5.1. Profilul grosimii plăcilor de vioară: testate

Evaluarea a constat în:

- *Analiza modală* prin metoda încercării cu ciocan de impact, efectuată atât asupra plăcilor, faţă şi spate, ca structuri individuale, cât şi asupra corpului de vioară fără gât şi apoi a violii cu gât (în alb, nefinisată); în urma acestei evaluări s-au obţinut pentru fiecare structură analizată, graficele de variaţie în timp a frecvenţei, din care s-au obţinut pentru fiecare structură analizată (placă sau vioară) o serie de parametri dinamici (frecvenţele proprii, frecvenţa dominantă şi factorul de calitate), relevanţi pentru calitatea sunetului;

• *Analiza psiho-acustică*, efectuată de către muzicieni cu experiență; în urma acestei evaluări, fiecare respondent, din perspectiva de interpret sau de ascultător, a acordat note pe baza unui chestionar cu criterii impuse, stabilite anterior, tot pe bază de chestionar de un grup de muzicieni cu experiență.

La final s-a urmărit corelarea rezultatelor celor două tipuri de evaluări, care să permită întregirea matricei de caracterizare a influenței profilului de grosime al plăcilor asupra calității sunetului violii și care să permită formularea unor concluzii ferme în ceea ce privește oportunitățile de optimizare a construcției violilor prin modificarea profilului de grosime.

5.2. Analiza modală

5.2.1. Material, metodă, aparatură

Au fost supuse analizei modale atât plăcile ca structuri individuale, cât și corpul violii obținut prin împerecherea și îmbinarea câte unei plăci-față cu o placă spate, mai întâi fără gât, dar și după adăugarea gâtului.

Structurile evaluate au fost următoarele (Fig. 5.2):

- 14 plăci-față pentru violi tip maestru, realizate din lemn de molid de rezonanță (*Picea abies*), fără *f*-uri în această fază a cercetării și având caracteristici geometrice (formă și dimensiuni) identice, specifice violilor 4/4, cu excepția grosimii, astfel: 2 plăci (de referință) au fost realizate cu profilul clasic și câte două cu profilul îngoșat și respectiv subțiat;
- 14 plăci-spate pentru violi tip maestru, realizate din lemn de paltin creț (*Acer pseudoplatanus*), având și ele caracteristici geometrice identice, specifice spatelui de vioară 4/4, câte două din fiecare profil descris mai sus;
- 14 corpuri de vioară, rezultate prin împerecherea fiecărei plăci-față, cu bara de rezonanță adăugată și *f*-uri executate, cu câte o placă-spate având aceeași modificare a profilului de grosime ca și placa-față; au rezultat astfel câte 2 corpuri de vioară (replici) pentru fiecare profil de grosime al plăcilor;
- 14 corpuri de vioară la care s-a adăugat și gâtul, fără limbă, tastieră, cordar sau alte accesorii, câte 2 replici pentru fiecare profil de grosime al plăcilor.



Fig. 5.2. Părți de vioară supuse analizei modale:
a-placă față; b-placă-spate; c-corp de vioară; d-corp de vioară cu gât

Atât plăcile de vioară, cât și asamblarea lor în corpuri de vioară au fost realizate la SC *Gluga Instrumente Muzicale*, Reghin (România).

Metoda de testare utilizată în cadrul prezentei cercetări a constat în analiza modală experimentală (EMA) în trei etape, cu ajutorul standului experimental din Fig. 5.3:

- în prima etapă au fost testate cele 28 de plăci de vioară (14 plăci-față și 14 plăci-spate), ca structuri individuale;
- în etapa a doua au fost testate cele 14 corpuri de vioară, la care semnalele de ieșire au fost captate de pe ambele plăci (față și spate) simultan, cu ajutorul a două accelerometre;
- în etapa a treia au fost testate cele 14 corpuri de vioară cu gât.

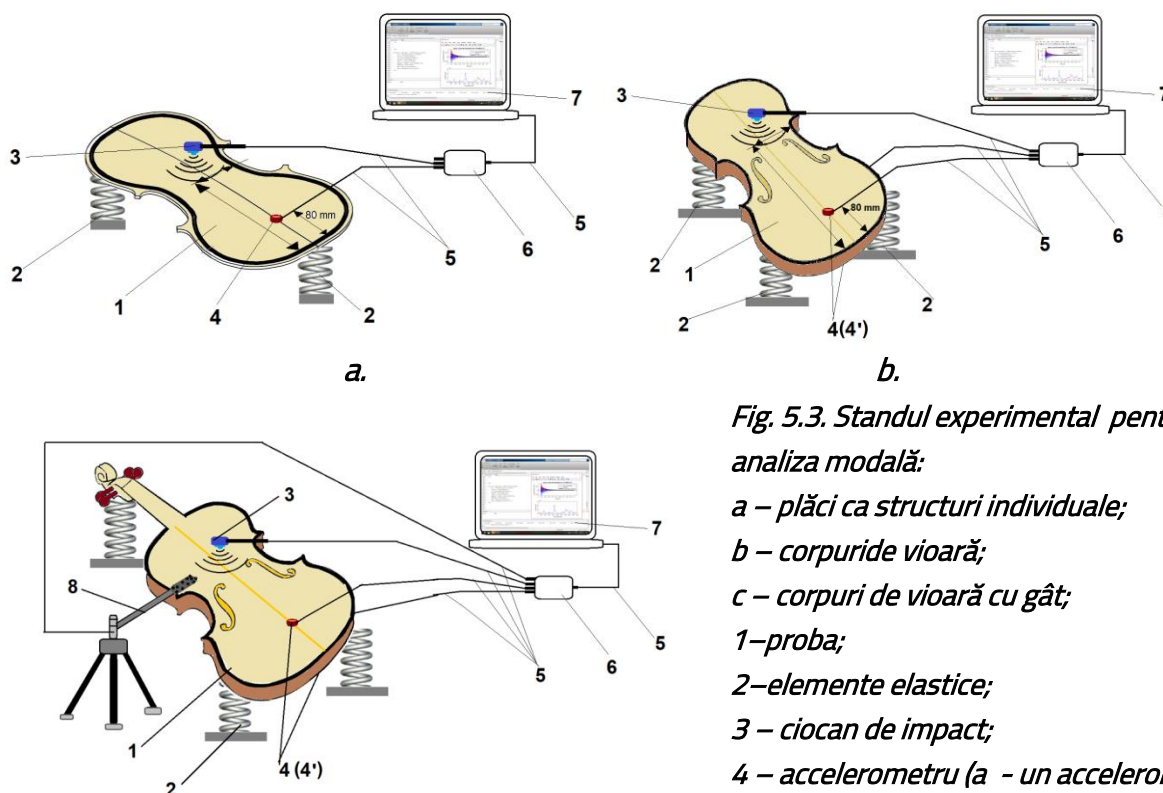


Fig. 5.3. Standul experimental pentru analiza modală:

a – plăci ca structuri individuale;

b – corpuri de vioară;

c – corpuri de vioară cu gât;

1–proba;

2–elemente elastice;

3 – ciocan de impact;

4 – accelerometru (a - un accelerometru; b și c - două accelerometre, unul dispus pe placa-față și unul dispus pe placa-spate);

5–conexiuni;

6 – sistem de achiziție de date;

7–laptop;

8–microfon.

După cântărirea fiecărei probe, a plăcilor individuale, respectiv a corpurilor de vioară, s-a trecut la analiza modală, prin metoda încercării dinamice, cu ciocan de impact, standul experimental fiind același, doar că în cazul corpurilor de vioară fără gât s-au utilizat două accelerometre identice, unul amplasat pe fața de vioară, iar celălalt pe placa-spate, iar

vibrația aerului în cazul corpurilor de vioară cu gât a fost măsurată și cu ajutorul unui microfon (Stanciu *et al.* 2008; Curtu *et al.* 2009; Gliga *et al.* 2020).

Graficele obținute în urma analizei modale a semnalelor captate pentru fiecare structură în parte au fost transformate în grafice ale spectrelor de frecvență (similar modelului prezentat în Fig. 4.15), din care, au fost extrase aceleași mărimi dinamice, respectiv frecvențele proprii (f_1 , f_2 , f_{Amax}) și a fost calculat factorul de calitate (Q) pentru frecvența dominantă.

5.2.2. Rezultate experimentale și discuții

5.2.2.1. Rezultate obținute pe plăcile de vioară, ca structuri individuale

Influența modificării profilului de grosime asupra primei frecvențe a plăcilor-față este ilustrată în Fig. 5.4.

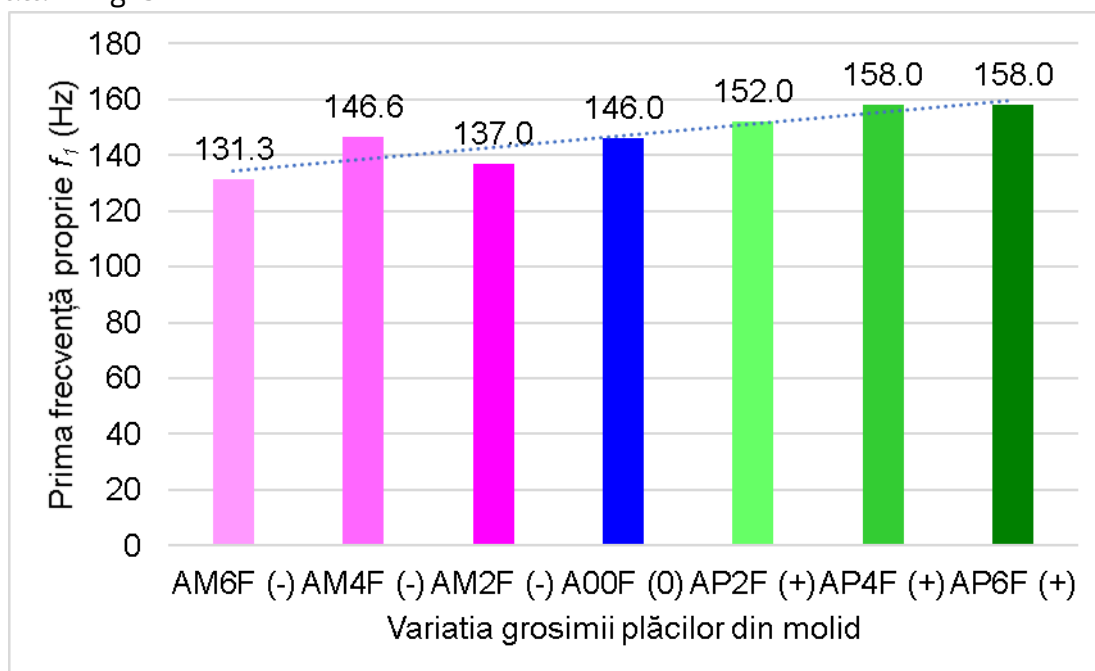


Fig. 5.4. Influența modificării profilului de grosimii al plăcii-față asupra primei frecvențe fundamentale

Se poate observa că f_1 crește odată cu creșterea grosimii plăcii. Scăderea grosimii plăcilor cu 0,6mm pe întreaga suprafață duce la o scădere a valorii primei frecvențe proprii cu aproximativ 10% din valoarea frecvenței plăcii de referință (A00F).

Creșterea grosimii plăcii cu 0,6mm duce la o creștere medie cu 8,2% din prima frecvență proprie. Datorită faptului că lemnul este un material neomogen și anizotrop, pot exista abateri de la această regulă, așa cum se poate observa în cazul plăcii AM4F. Valoarea peste tendință înregistrată pentru aceste plăci trebuie pusă pe seama masei ușor mai ridicate decât a plăcilor A00F și AM2F.

Referitor la valorile înregistrate pentru a doua frecvență proprie (f_2) a plăcilor de față, s-a constatat că tendința de creștere a frecvenței cu creșterea grosimii se menține. Atât creșterea, cât și scăderea grosimii plăcii cu 0,6mm duce la o modificare medie cu 7% față de frecvența f_2 a plăcii cu profil de referință. Această tendință este normală, având în vedere că prin îngroșare, masa plăcii crește și aceasta devine mai rigidă (Fig. 5.5).

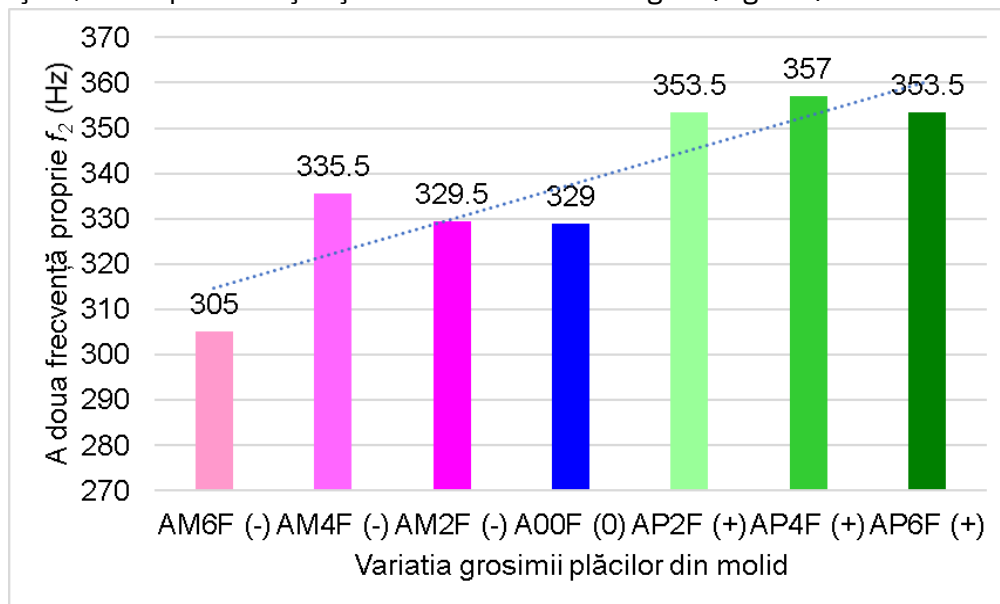


Fig. 5.5. Influența modificării profilului de grosimii al plăcii-față asupra celei de a doua frecvențe fundamentale

Ca urmare a faptului că în muzică, impresia artistică se bazează pe raportul psiho-acustic dintre doi stimuli, s-au calculat și valorile raportului dintre a doua frecvență fundamentală și prima frecvență (f_2/f_1), apoi dintre frecvența dominantă și prima frecvență (f_{Amax}/f_1)(Fig. 5.6).

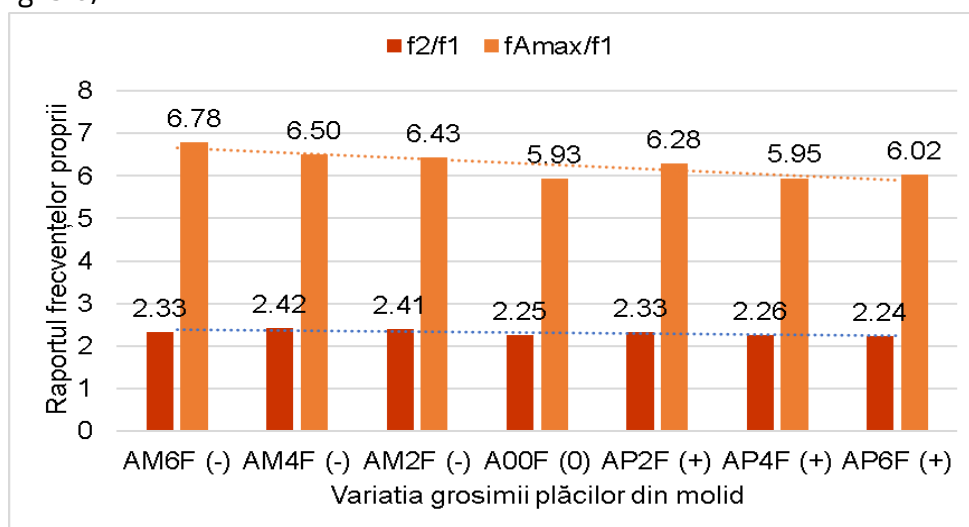


Fig. 5.6. Valorile raportului f_2 / f_1 și respectiv f_{Amax}/f_1 pentru plăcile-față cu profil de grosime modificat față de placa cu grosimea de referință (A00F)

S-a constatat că raportul f_2/f_1 are o valoare aproape constantă la toate plăcile indiferent de grosime, cu o ușoară tendință de scădere de la placa cea mai subțire către cea mai groasă. Aceasta demonstrează că toate plăcile sună armonios, dar cele subțiri au un elan mai mare în atingerea următoarei octave, fiind mai elastice. În cazul raportului f_{Amax}/f_1 tendința de scădere de la placa cea mai subțire către cea mai groasă este mai evidentă, subliniind că plăcile din molid de rezonanță, cu cât sunt mai subțiri, cu atât vibrează mai puternic și reușesc să atingă frecvențe de amplitudine mai mare.

În cazul plăcilor-spate, se observă o diferență mai clară între plăcile îngroșate și cele subțiate (Fig. 5.8). Față de plăcile de referință A00S, ale căror valori medii ale primei frecvențe proprii sunt de 320 Hz, creșterea grosimii cu până la 0,6mm conduce la o creștere a valorii primei frecvențe proprii cu 4,6% (*de ex*, la AP4S față de A00S); scăderea grosimii influențează și mai mult răspunsul plăcii, cu până la 14% (*de ex*, la AM2S față de A00S).

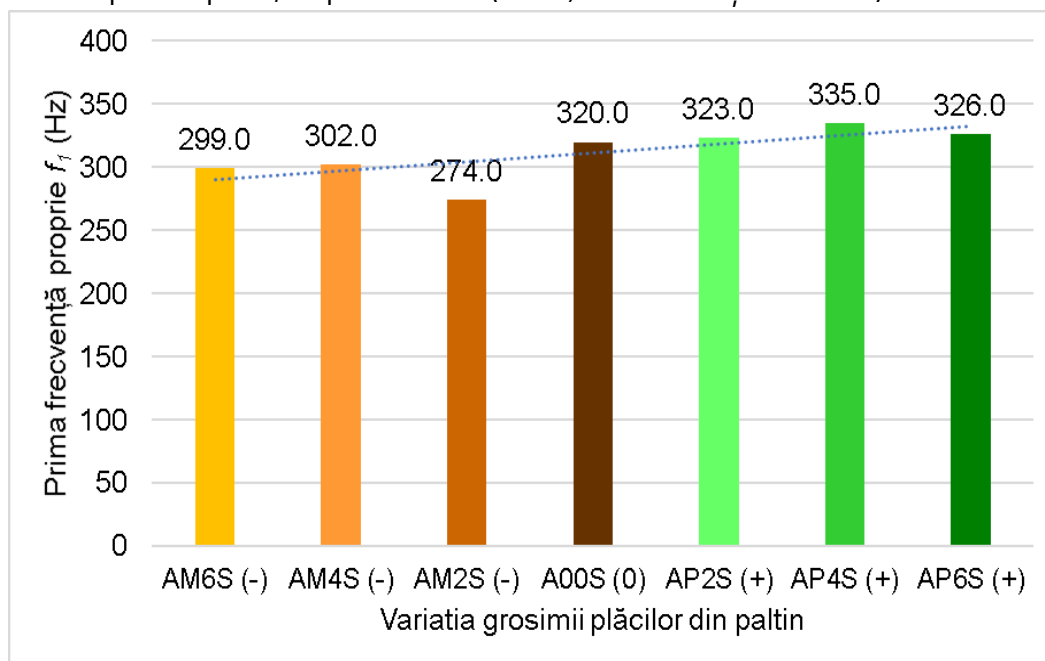


Fig. 5.8. Influența modificării profilului de grosimii al plăcii-spate asupra primei frecvențe fundamentale

Analiza statistică pe baza testului Shapiro-Wilk a dovedit că majoritatea variabilelor au distribuții care nu respectă legea normală, ceea ce ne-a determinat să folosim în continuare mijloacele statisticilor neparametrice pentru a identifica influențele. Aplicând testul Kruskal-Wallis, s-a constatat că, pentru plăcile de față, niciunul dintre parametrii studiați (f_1 , f_2 , f_{Amax} , Q).

Specia are o mare importanță. Plăcile de molid se comportă diferit de plăcile de paltin atunci când grosimea plăcii se modifică. Astfel, la plăcile de molid, f_1 este practic direct

proporţională cu creşterea grosimii, în timp ce tendinţa la lemnul de paltin este parabolică, cu vârful parabolei aproape de grosimea de referinţă.

Pentru f_2 , variaţia frecvenţelor înregistrate în funcţie de modificarea grosimii plăcii este descrisă printr-o funcţie polinomială de gradul 2, pentru ambele tipuri de plăci, respectiv pentru ambele specii de lemn.

Variaţia frecvenţei dominante în raport cu modificarea grosimii plăcilor de molid nu prezintă o tendinţă modelabilă matematic. În schimb, la plăcile de paltin, frecvenţa dominantă creşte curbiliniu odată cu modificarea grosimii nominale.

Factorul de calitate tinde să crească odată cu creşterea grosimii plăcii.

5.2.2.2. Rezultate obţinute pe corpurile de vioară fără gât

Parametrii dinamici măsuraţi pe corpurile de vioară fără gât sunt prezentaţi în Tabelul 5.4.

Tabelul 5.4

Parametrii dinamici măsuraţi pe corpurile de vioară fără gât

Codul corpului de vioară		Frecvenţa dominantă f_{Amax} (Hz)			Factorul de calitate Q		
		Placa faţă (molid)	Placa spate (paltin)	Aer	Placa faţă (molid)	Placa spate (paltin)	Aer
AM6C	Media	817,5	689	234,5	28,42	27,84	22,2
	STDV	43,13	8,49	4,95	2,96	3,59	1,07
AM4C	Media	930,5	738	323	37,63	14,77	21,68
	STDV	142,13	111,72	111,72	2,94	1,73	2,14
AM2C	Media	845	796	314	24,44	27,45	17,65
	STDV	65,05	4,24	107,48	10,66	8,09	2,62
A00C	Media	777,5	823,5	393	17,04	29,62	14,8
	STDV	108,19	77,07	4,24	1,61	8,02	0,55
AP2C	Media	783,5	891	253	27,29	25,27	21,64
	STDV	125,16	0,00	4,24	8,70	0,57	0,16
AP4C	Media	829,5	820,5	253	24,63	33,52	20,195
	STDV	95,46	99,70	4,24	5,87	3,19	2,16
AP6C	Media	808,5	805,5	253	25,68	28,51	20,312
	STDV	116,67	129,40	4,24	11,22	7,54	2,52

Datorită excitației produsă de ciocanul de impact, întreaga structură vibrează în fază, prima frecvență proprie (f_1) fiind aceeași pentru toate cele trei componente analizate: placa-față, aerul și placa-spate (Fig. 5.14, a). În ceea ce privește frecvența dominantă (f_{Amax}), valoarea acesteia diferă în cele trei componente analizate. Singura structură în care cele două plăci rezonează la aceeași frecvență este structura AP6C (805 - 808 Hz). Cu cât plăcile sunt mai subțiri, cu atât diferența dintre placa-față și spate este mai evidentă în ceea ce privește frecvența maximă (Fig. 5.14, b).

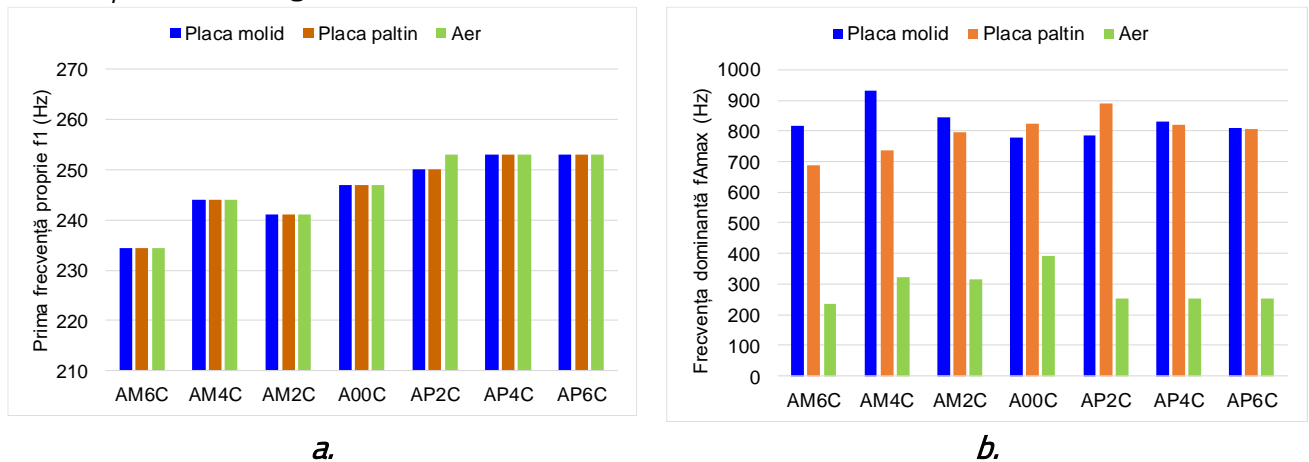


Fig.5.14. Influența profilului de grosime al plăcilor asupra parametrilor dinamici măsurați pe corpurile de vioară fără gât în care au fost asamblate:
a- prima frecvență fundamentală; b- frecvența dominantă.

5.2.2.3. Rezultate obținute pe corpurile de vioară cu gât

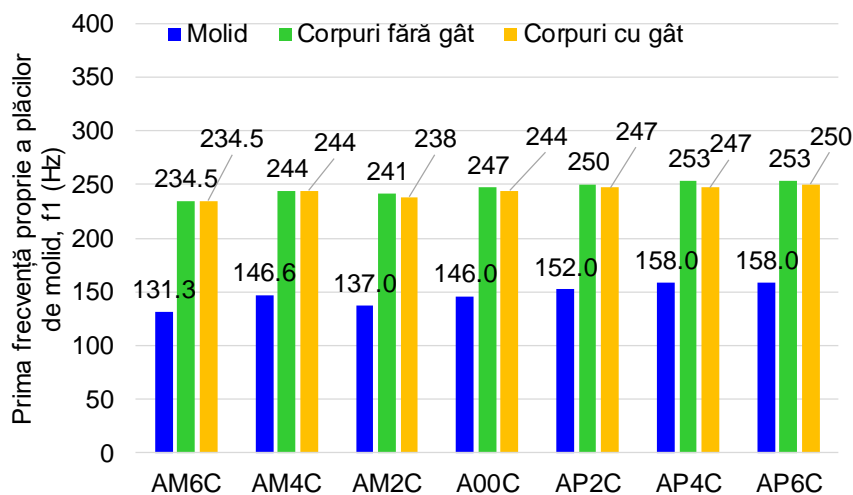
După adăugarea gâtului, masa corpului de vioară crește, dar comportamentul dinamic nu se modifică semnificativ în comparație cu corpurile de vioară fără gât. Acest lucru era de așteptat, având în vedere că gâtul este fixat prin intermediul butucului și a talonului de corpul de vioară, elemente existente încă de la construcția corpului de vioară fără gât.

Doar în cazul factorului de calitate se observă modificări importante la adăugarea gâtului, în sensul scăderii acestuia ca urmare a rigidizării plăcilor.

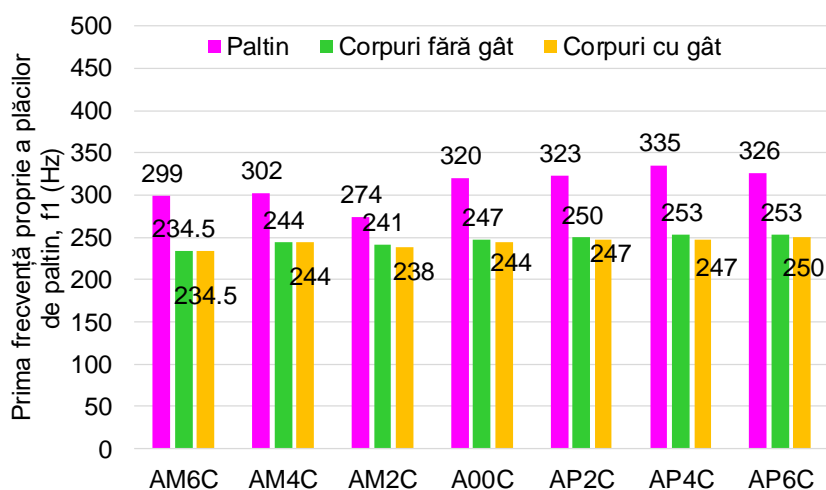
5.2.2.4. Modificarea comportamentului dinamic al plăcilor de vioară: înainte și după înglobarea în corpul de vioară

Analizând comparativ răspunsul dinamic al plăcilor de molid ca structuri individuale și apoi ca structuri încastrate pe contur de eclise (cazul corpului de vioară fără gât/cu gât), s-a observat că plăcile libere de molid prezintă valori ale primei frecvențe fundamentale cu 37 – 44% mai reduse (Fig. 5.16, a). Acest lucru se datorează creșterii rigidității acestora prin încastrarea pe contur, dar și faptului că testarea ca structuri individuale a plăcilor-față s-a făcut fără ca acestea să abia atașată bara de rezonanță și nici f -urile executate.

Spre deosebire de plăcile din lemn de molid, plăcile din lemn de paltin și-au modificat invers răspunsul dinamic: prima frecvență proprie a plăcilor fixate în corpul de vioară înregistrează valori diminuate cu aproximativ 19 – 24% față de plăcile libere (Fig. 5.16, b).



a.

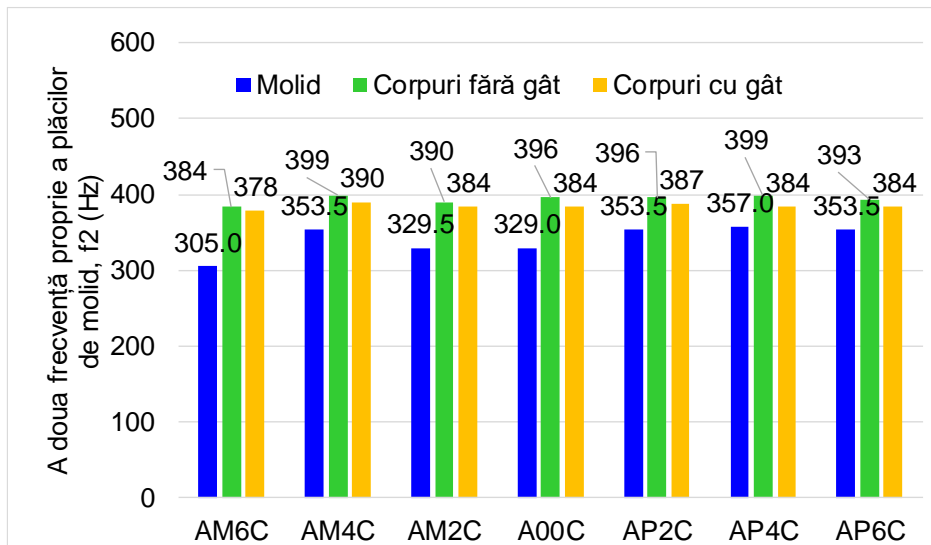


b.

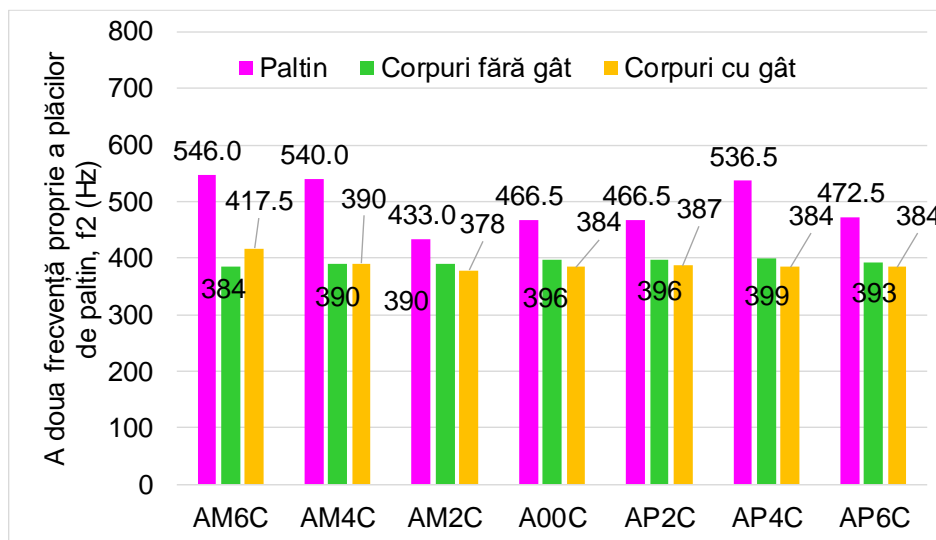
Fig.5.16. Modificarea primei frecvențe fundamentale a plăcilor de molid (a) și respectiv de paltin (b) după înglobarea în corpul de vioară

Din punct de vedere al celei de a doua frecvențe proprii, plăcile din molid înglobate în corpul de vioară prezintă creșteri de până la 25% (AM6C) față de valorile plăcilor libere. Cele mai reduse creșteri sunt pentru corpul de tip AP6C (aprox. 11%)(Fig. 5.17, a).

În cazul plăcilor din lemn de paltin creț, se constată că plăcile fixate în corpul de vioară prezintă valori ale celei de a doua frecvențe proprii cu aproximativ 30% mai reduse în cazul plăcii cu grosimea diminuată cu 0,6 mm (AM6C), respectiv cu 27% mai reduse în cazul plăcii AM4C (Fig. 5.17, b).



a.

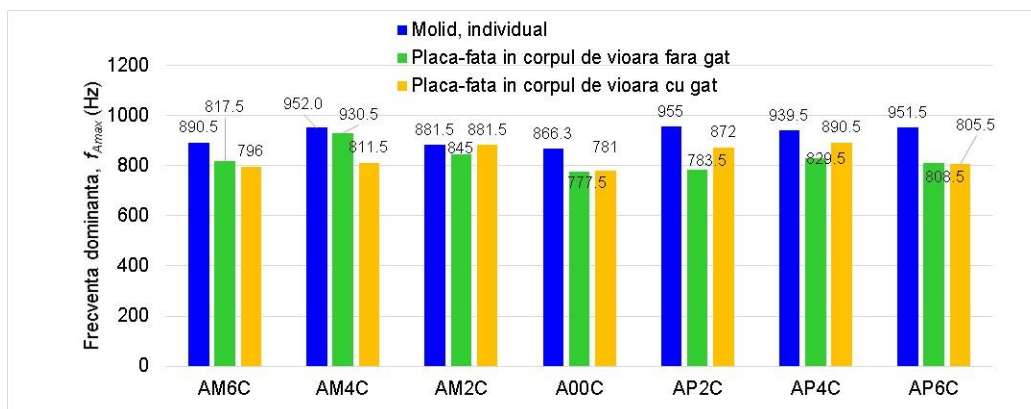


b.

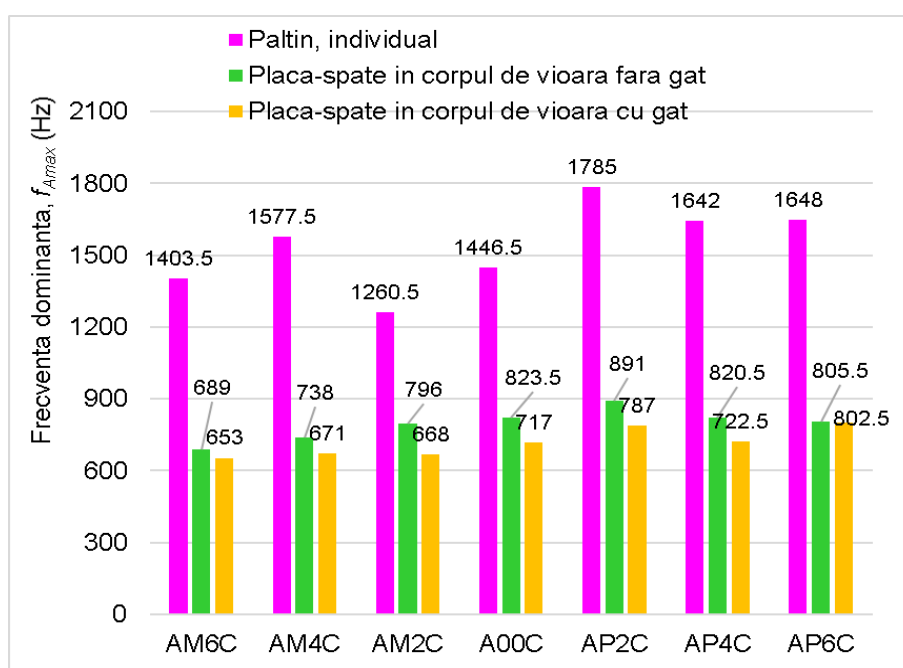
Fig.5.17. Modificarea celei de a doua frecvențe fundamentale a plăcilor de molid (a) și respectiv de paltin (b) după înglobarea în corpul de vioară

Valorile frecvenței dominante în cazul plăcilor din molid se situează între 780 Hz și 920 Hz, fiind ușor mai mari pentru plăcile libere, cu maxim 18% pentru placa AP6F față de cea din structura corpului cu gât (Fig. 5.18, a).

Influența fixării plăcilor în corpul de vioară este mult mai evidentă în cazul plăcilor de paltin care își diminuează frecvența dominantă de aproximativ 2 ori. De remarcat este faptul că lemnul de molid intră în rezonanță la frecvențe mult mai înalte, comparativ cu lemnul de paltin care rezonază la frecvențe mai joase (Fig. 5.18, b).



a.



b.

Fig.5.18. Modificarea frecvenței dominante a plăcilor de molid (a) și respectiv de paltin (b) după înglobarea în corpul de vioară

Factorul de calitate scade pentru plăcile din lemn de molid după fixarea în corpul de vioară, atingând valoarea de 70 la corpurile cu gât (Fig. 5.19, a). Pentru plăcile de spate, din lemn de paltin creț, factorul de calitate nu prezintă variații atât de mari ca lemnul de molid, menținându-și valorile între 65 și 85 la corpurile cu gât (Fig. 5.19, b).

5.2.3. Concluzii

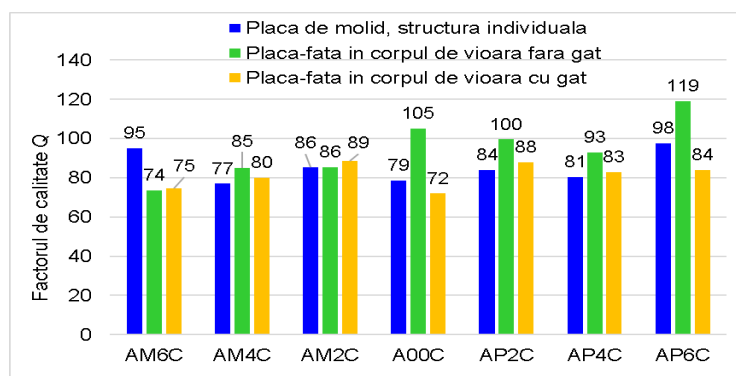
Principalele concluzii care se desprind în urma analizei modale efectuate sunt următoarele:

1. Comportamentul dinamic al plăcilor care alcătuiesc corpul vioarei diferă între placa-față și placa-spate. Astfel, placa-spate, din lemn de paltin reacționează mai rapid la variațiile

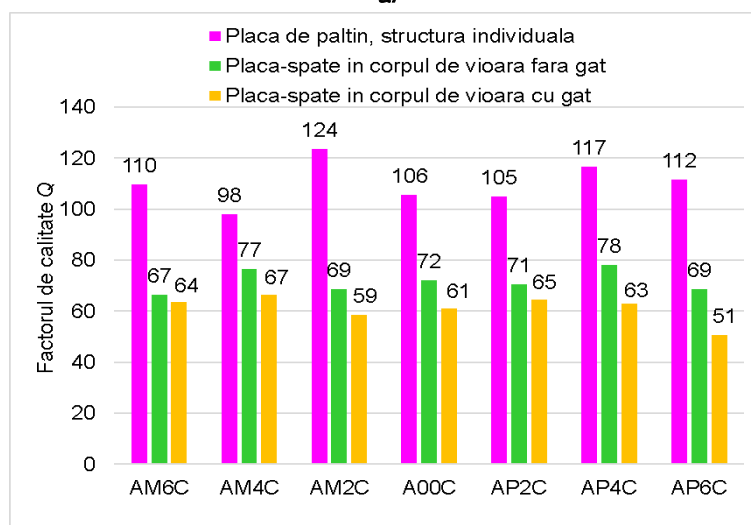
de grosime a plăcii decât placa-față, din lemn de molid de rezonanță, prin modificarea spectrului de frecvențe de rezonanță. S-a observat că, deși cele două specii folosite ca materie primă pentru viorile studiate (de tip maestru) sunt diferite ca structură, densitate și caracteristici dinamice, atunci când sunt integrate într-o singură structură precum corpul vioarei, fiecare împrumută din caracteristicile celeilalte specii și își modelează răspunsul dinamic ca răspuns la cealaltă.

2. Adăugarea gâtului reduce amortizarea și conduce la scăderea factorului de calitate.

3. Referitor la influența profilului de grosime al plăcilor, rezultatele obținute arată că plăcile cu profil îngoșat (AP2, AP4 și AP6) au, dintre variantele analizate, cele mai bune performanțe (frecvențe proprii mai mari și factor de calitate mai mare decât plăcile subțiate și decât cele cu profilul de referință), în special în cazul plăcilor-spate. În schimb, plăcile-față cu profil subțiat (AM6) au cel mai mare factor de calitate. Aceste rezultate conduc la o concluzie importantă privind aspectul constructiv al plăcilor, și anume: placa de molid să fie realizată în variantă subțiată cu 0,6mm (AP6), iar placa de spate să fie construită ca placă îngroșată (AP4)



a.



b.

Fig.5.19. Modificarea factorului de calitate al plăcilor de molid (a) și respectiv de paltin (b) după înglobarea în corpul de vioară

5.3. Evaluarea psiho-acustică

5.3.1. Metoda de evaluare

Evaluarea psiho-acustică a celor şapte vioari "în alb" (nefinisate), câte o vioară din fiecare profil de grosime, a constat în:

- stabilirea criteriilor de evaluare dintr-un set de criterii; realizarea chestionarului nr. 1, de sondare a opiniei privind criteriile cele mai relevante pentru evaluarea calităţii sunetului unei vioari;
- difuzarea chestionarului nr. 1 în rândul filarmonicilor, universităţilor de arte cu secţii de muzică, facultăţilor de muzică din ţară, din partea cărora, specialiştii (profesori şi interpreţi) au fost solicitaţi să completeze în regim de voluntariat acest chestionar;
- prelucrarea statistică a răspunsurilor la sondajul pe baza chestionarului nr. 1; selectarea criteriilor care au întrunit punctajele cele mai mari, pentru realizarea chestionarului nr. 2, de evaluare efectivă;
- realizarea chestionarului nr. 2 de evaluare a calităţii sunetului unei vioari;
- înregistrarea secvenţei muzicale şi evaluarea de către interpret a fiecărei vioari;
- difuzarea chestionarului nr. 2 în rândul specialiştilor din domeniul muzical, însoţită de secvenţa muzicală înregistrată cu fiecare vioară, pentru evaluarea din perspectiva ascultătorului avizat;
- analiza acustică a secvenţelor înregistrate cu cele şapte vioari, prin determinarea amplitudinii puterii spectrale şi a indicatorului *Spectral Kurtosis*;
- prelucrarea răspunsurilor acordate de interpret şi corelarea acestora cu cele ale testului de analiză acustică;
- prelucrarea statistică a răspunsurilor acordate în urma audiţiei secvenţei muzicale, în sondajul pe baza chestionarului nr. 2;
- formularea unor concluzii cumulative privind influenţa modificării profilului de grosime a plăcilor de vioară asupra calităţii sunetului acestora, din perspectiva evaluării psiho-acustice.

Criteriile de evaluare luate în considerare pentru evaluarea calităţii sunetului unei vioari au fost stabilite pe baza recomandărilor din literatură de specialitate (Wegst 2006; Rossing 2010; Fritz *et al.* 2014, 2017; Saitis *et al.* 2015, 2017).

La sondajul bazat pe primul chestionar, de selectare a criteriilor cele mai relevante, au participat 31 de respondenţi, având o experienţă îndelungată în domeniu (38,7% dintre respondenţi având peste 25 de ani de experienţă).

În urma prelucrării statistice a răspunsurilor, s-au detaşat ca fiind cele mai relevante criterii de evaluare:

- Claritatea sunetului – care a obţinut un punctaj mediu de 2,8 (din maxim 3);
- Sunetul cald – care a obţinut un punctaj mediu de 2,67 (din maxim 3);
- Poziţionarea popicului – care a obţinut un punctaj mediu de 2,61 (din maxim 3);

- Calitatea corzilor - care a obținut un punctaj mediu de 2,52 (din maxim 3);
- Tonul strălucitor și puternic - care a obținut un punctaj mediu de 2,5 (din maxim 3);
- Amplitudinea sunetelor – care a obținut un punctaj mediu de 2,5 (din maxim 3);
- Culoarea timbrală - care a obținut un punctaj mediu de 2,5 (din maxim 3);
- Sonoritate egală pe corzi –care a obținut un punctaj mediu de 2,5 (din maxim 3).

Dintre acestea, pentru evaluarea din cadrul prezentei cercetări au fost eliminate criteriile privind poziționarea popicului și calitatea corzilor, acestea fiind identice la toate viorile testate (ele fiind realizate de către același producător), precum și culoarea timbrală, considerată nerelevantă în contextul testării viorilor "în alb" (nefinisate).

Criteriile selectate pentru a fi incluse în al doilea chestionar au fost așadar cinci la număr și sunt: claritatea sunetelor, sunetul cald, mățâsos, tonul strălucitor și puternic, amplitudinea sunetelor și sonoritate egală pe corzi.

Evaluarea acustică a viorilor din partea interpretului s-a efectuat în timpul înregistrării secvenței muzicale. Interpretul a răspuns chestionarului acordând note de la 1 la 5 (unde 1 reprezintă cel mai slab scor, iar 5 maxim/excelent) pentru parametrii cuprinși în chestionarul nr. 2, la care s-au mai adăugat două criterii, și anume: culoarea timbrală și obținerea ușoară a sunetelor. Prin urmare, evaluarea de către interpret s-a bazat pe șapte criterii de evaluare (cu un scor sumativ maxim de 35 de puncte).

Înregistrarea acustică a viorilor s-a realizat în sala de concerte a Filarmonicii Braşov, iar interpretarea muzicală pentru toate viorile studiate, a fost asigurată de doamna conf.dr. Alina Maria Nauncef, violonist vioara I la Filarmonica Braşov și cadru didactic la Facultatea de Muzică, Universitatea Transilvania din Braşov.

Secvența muzicală a constat din patru părți (4 fragmente muzicale selectate astfel încât să testeze diferite calități ale vioarei), cu o durată totală de cca. 1 minut.

Chestionarul privind impresia acustică a fost completat prin acțiunea voluntară a 31 de muzicieni cu experiență (48,4% dintre respondenți având peste 20 de ani de experiență în domeniu, și alți 41,9% având experiență de peste 11 ani în domeniu).

În urma audierii secvenței muzicale înregistrate, respondenții au acordat pentru fiecare vioară câte o notă de la 1 (slab) la 5 (excelent).

5.3.2. Rezultate și discuții

a. Evaluarea realizată de interpret

Rezultatele obținute în urma prelucrării răspunsurilor acordate de interpret și a obținerii scorului total pentru fiecare vioară prin însumarea notelor acordate la cele șapte criterii sunt prezentate în Fig. 5.21.

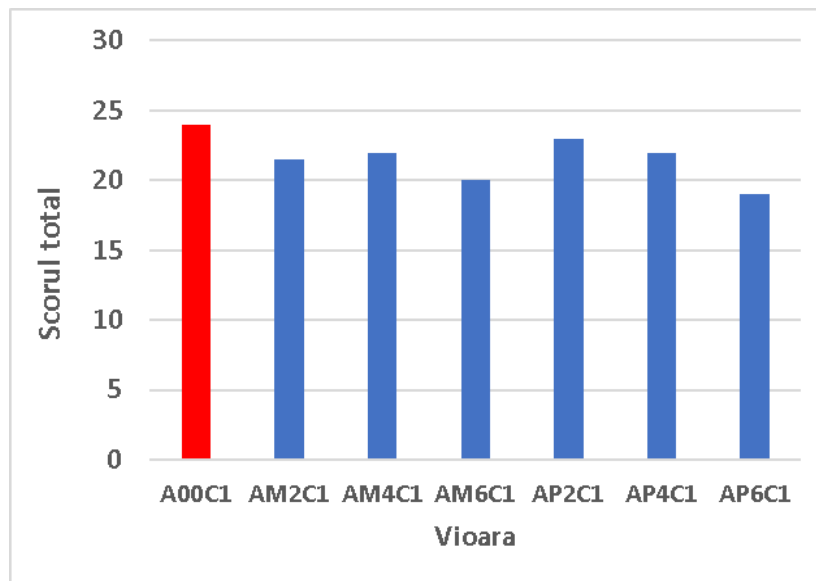


Fig. 5.21. Clasificarea violilor cu profil de grosime modificat față de vioara cu profilul de referință (A00C1), din perspectiva interpretului

Cu un scor total situat între 20 și 25 (din maxim 35), cele șapte viori se încadrează ca având performanțe medii, diferențele între ele fiind foarte fine. Cele mai bune rezultate au fost obținute de vioara cu profilul de referință (A00C1), urmată de violile cu profil îngroșat (AP2C1 și AP4C1) și cele mai slabe pentru vioara cu plăci maxim subțiate (AM6C1).

Aceste rezultate sunt în bună concordanță cu rezultatele obținute în urma analizării spectrale a înregistrărilor (sub formă de fișiere wave), prin care s-a determinat amplitudinea puterii spectrale pentru fiecare coardă.

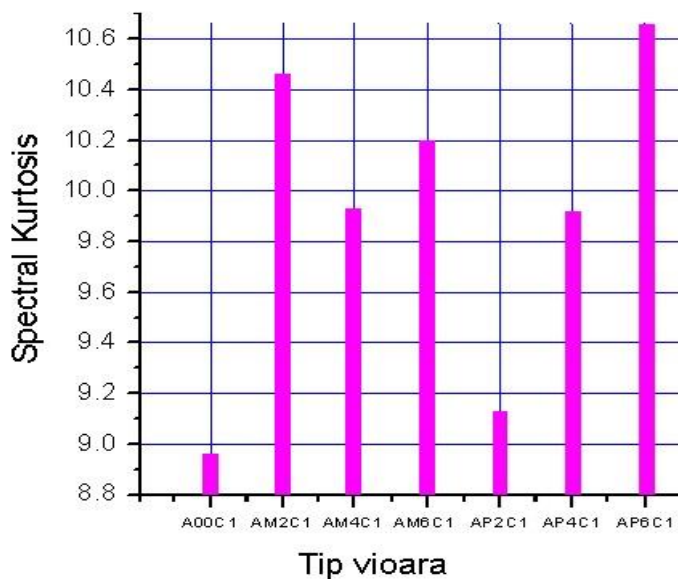


Fig. 5.22. Valoarea medie a parametrului Spectral Kurtosis pentru cele șapte viori analizate

În Fig. 5.22 este reprezentată valoarea medie a parametrului statistic *Spectral Kurtosis* (*SK*) (Niță și Gary 2010), calculată pentru cele șapte viori de maestru pe baza datelor obținute din graficele de variație a puterii spectrale la fiecare vioară cu profil de grosime modificat, față de vioara A00, luată drept referință. Cu cât valorile acestui parametru sunt mai mici, cu atât calitatea sunetului este mai bună.

Se observă că cele mai mici valori s-au obținut pentru vioarele A00C1 și AP2C1, ceea ce susține rezultatul evaluării efectuată de interpret (vezi Fig. 5.21).

b. Evaluarea realizată în urma audierii secvenței muzicale înregistrate

Notele (de la 1 la 5) acordate de cei 31 de respondenți care au audiat secvența muzicală înregistrată cu fiecare vioară în parte sunt sintetizate în Tabelul 5.10.

Tabelul 5.10

Influența modificării profilului de grosime a plăcilor de vioară asupra calității acustice a acestora - rezultatele evaluării psiho-acustice pe bază de audiție

Criteriul	AM6C	AM4C	AM2C	A00C	AP2C	AP4C	AP6C
Claritatea sunetului	3,452	3,903	3,484	3,677	3,903	3,774	3,968
Sunetul cald	3,290	3,355	3,355	3,516	3,645	3,516	3,742
Tonul strălucitor și puternic	3,419	3,710	3,258	3,290	3,774	3,677	3,774
Amplitudinea sunetelor	3,452	3,581	3,387	3,355	3,677	3,645	3,806
Sonoritate egală pe corzi	3,323	3,548	3,323	3,516	3,645	3,710	3,871

Se observă că cele mai bune rezultate s-au obținut pentru vioarele cu profil îngroșat (AP2C1, AP4C1, AP6C1), iar cele mai slabe la cele cu profil subțiat.

5.4.3. Concluzii

Pentru stabilirea clasamentului final în urma parcurgerii tuturor etapelor din cadrul evaluării psiho-acustice, s-au acordat pentru fiecare test efectuat, punctaje de la 1 (cel mai slab rezultat) la 5 (cel mai bun rezultat) pentru fiecare vioară analizată. La final, punctajele au fost însumate și s-a obținut clasamentul din Tabelul 5.11.

Tabelul 5.11

Clasamentul final în urma evaluării psiho-acustice a vioarelor cu diferite profiluri de grosime

Vioara	Interpret	Kurtosis (radiația acustică)	Audiții					Total
			Sunet clar	Sunet cald	Ton strălucitor	Amplitudine	Sonoritate egala	
A00C1	5	5	3	3	2	1	2	21
AM2C1	3	1	2	2	1	2	1	12
AM4C1	3	3	5	2	4	3	3	23
AM6C1	2	2	1	1	3	2	1	12
AP2C1	4	4	5	4	5	4	3	29
AP4C1	3	3	4	3	4	3	4	24
AP6	1	1	5	5	5	5	5	27

Se observă că majoritatea viorilor analizate se clasează peste media calităţii acustice, obţinând scoruri totale între 60% și 83% din punctajul maxim posibil (35 de puncte), care exprimă excelenţa. Pe baza scorului total, cele mai apreciate viori sunt, în ordine descrescătoare: AP2; AP6; AP4; AM4 și A00.

Evaluarea interpretului coincide aproape total cu evaluarea indicatorului *Spectral Kurtosis*, în ambele cazuri vioara cu calităţile acustice cele mai bune fiind considerată cea cu profilul de grosime nemodificat (A00C1), urmată de cea cu profil îngroşat cu 0,2mm (AP2).

În urma audiţiilor însă, majoritatea respondenţilor au apreciat cu note mai bune viorile cu plăci îngroşate, iar dintre acestea cele mai bune rezultate au fost obţinute de vioara AP6.

Majoritatea viorilor cu profil subţiat au obţinut note mai slabe atât din partea interpretului, cât și în urma audiţiilor, cu excepţia viorii AM4 care s-a remarcat atât ca și claritate a sunetului, cât și datorită tonului cald și a sonorităţii egale pe corzi. Scoruri apropiate de acestea la exact aceleași criterii a obţinut și vioara AP4, similitudinea între cele două fiind remarcată și de către interpret și de către analiza spectrală.

În concluzie, dacă se doreşte o apreciere care să satisfacă atât preferinţa auditoriului cât și pe cea a interpretului, viorile cele mai bune sunt, în ordine descrescătoare: AP2; A00; AP4 și AM4.

Corelaţia între rezultatele analizei modale și ale analizei psiho-acustice poate fi considerată, aşadar, convergentă către ideea că viorile cu plăci îngroşate cu 0,2mm (AP2) ar avea, dintre variantele analizate, cele mai bune performanţe (frecvenţe proprii mai mari și factor de calitate mai mare decât cele subţiate și decât profilul de referinţă plus calificative maxime din punct de vedere al clarităţii sunetului și al tonului strălucitor), urmate de viorile cu profil de referinţă (A00) care au performanţe dinamice puțin mai scăzute, dar calificativ maxim din punct de vedere al interpretului și al analizei acustice a puterii spectrale.

Capitolul 6. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIREȚII VIITOARE DE CERCETARE

6.1. Concluzii generale

Prin rezultatele obținute, obiectivul general al tezei, acela de a investiga influența anumitor factori specifici de material (specie și dimensiuni) asupra calității sunetului viorilor, a fost îndeplinit.

S-au determinat cele mai relevante caracteristici structurale și proprietăți fizice, elastice și acustice ale principalelor două specii lemnoase utilizate ca materie primă în construcția viorilor (lemnul de molid de rezonanță și de paltin creț din Munții Gurghiuului).

Stabilirea unor criterii clare de clasificare a materiei prime în funcție de anumite caracteristici structurale, pe clase de calitate a viorilor constituie o importantă contribuție originală a autorului, cu aplicabilitate practică în fabricile de instrumente muzicale.

S-a investigat oportunitatea utilizării unor specii lemnoase alternative (carpen, nuc, frasin, salcie, plop și paltin măzărât) pentru înlocuirea lemnului de paltin creț (specie rară, mult râvnită și în industria mobilei) la realizarea plăcii-spate a vioarei. Analizarea spectrului de frecvențe și a curbei de amortizare care se obțin prin metoda încercării dinamice cu ciocanul de impact a fiecărei plăci-spate a relevat că lemnul de paltin creț este și rămâne specia cu cele mai bune performanțe acustice dintre cele 7 specii analizate.

Plăcile din lemn de salcie și plop au avantajul unei mase mai mici (viori ușoare), care conduce la o rigiditate mai mică și generează un număr mare de armonice, apropiat de cel al paltinului creț, dar frecvențele fundamentale sunt mult mai mici decât ale acestuia (ele absorb vibrația). În schimb, plăcile realizate din specii de foioase tari, datorită densității mari, au și un modul de elasticitate mare, care conduce la obținerea unor frecvențe fundamentale (f_1, f_2) ridicate, apropiate de cele ale plăcilor din paltin creț.

Cea mai consistentă parte de cercetare a lucrării a fost concentrată pe evaluarea influenței profilului de grosime al plăcilor asupra calității sunetului. Această evaluare s-a efectuat atât prin metode obiective (analiza modală a spectrului de frecvențe), cât și prin metode subiective (analiza psiho-acustică prin evaluarea de către interpret și prin audiție de către muzicieni cu experiență).

În evaluarea obiectivă, au fost surprinse diferite etape tehnologice ale devenirii vioarei, acesta fiind alt element original al lucrării demn de evidențiat, având în vedere că este prima lucrare care abordează pas cu pas evaluarea vioarei (și a componentelor sale), în diferite faze tehnologice. S-au determinat mai întâi parametrii dinamici pe plăcile față și spate ca structuri individuale libere (neîncastrate), apoi după înglobarea lor în structura corpului de vioară, și în încă o fază ulterioară, aceea a corpului de vioară cu gât atașat.

Concluziile formulate în urma rezultatelor obținute pot fi sintetizate după cum urmează:

- Pentru lemnul de molid de rezonanță, s-a constatat în urma analizării inelelor anuale, că toate variabilele acestora pot fi stratificate în funcție de clasa de calitate a materialului. La lemnul de paltin, s-a observat că tendința este de creștere a lățimii inelelor și descreștere a pasului undulației fibrei cu îmbunătățirea clasei de calitate;
- Parametrii dinamici (frecvențele proprii și factorul de calitate) ai plăcilor de vioară sunt influențați de specia lemnoasă, grosime și condițiile de contur ale plăcilor. Speciile cu densitate mică precum lemnul de salcie, plop prezintă valori ale primei frecvențe proprii de 5 ori (la plăcile din lemn de salcie), respectiv de 2,4 ori (la plăcile din lemnul de plop) mai mici decât la plăcile realizate din lemn de paltin cu fibră creață;
- Cu creșterea grosimii plăcilor, frecvența proprie crește atât pentru plăcile de molid cât și pentru cele de paltin: pentru molid creșterea primei frecvențe de rezonanță este de 16%, iar pentru paltin este de 8%;

- Fixarea plăcilor de vioară pe eclise duce la modificarea răspunsului dinamic al acestora. După rigidizarea plăcilor prin asamblarea lor în coprul viorii, influența variației grosimii acestora asupra comportamentului dinamic mai este sesizabilă doar la frecvența modului cavitare;
- Comportamentul dinamic al plăcii-față (din lemn de molid) diferă de cel al plăcii-spate (din lemn de paltin) după înglobarea în corpul de vioară, datorită diferențelor de structură, densitate și caracteristici elastice ale celor două specii. Placa-spate reacționează mai rapid la variațiile de grosime a plăcii decât placa-față. Atunci când sunt testate ca structuri individuale, ele își modifică vizibil spectrul de frecvențe de rezonanță. Dar atunci când sunt integrate într-o structură precum corpul viorii, fiecare împrumută din caracteristicile celeilalte specii și își modelează răspunsul dinamic ca răspuns la cealaltă, corpul de vioară fiind o structură rezonatoare cu parametrii dinamici diferiți de cei ai plăcilor individuale;
- În ceea ce privește comparația între corpurile fără gât și cele cu gât, modurile și valorile proprii de vibrație ale acestora sunt aproape identice;
- Factorul de calitate al lemnului de rezonanță este influențat de geometria și principiul constructiv al viorii în sensul că acesta scade cu aproximativ 40% după formarea corpului de vioară cu plăcile cele mai subțiri (AM6), respectiv cu 54% în cazul corpurilor de vioară cu plăcile cele mai groase (AP6);
- Din punct de vedere al analizei modale, plăcile cu profil îngroșat sunt caracterizate, în general, de frecvențe proprii mai mari decât cele subțiate și cele cu profil de referință. Această concluzie converge cu clasamentul stabilit în urma evaluării psiho-acustice a viorilor de către interpret și ascultători, care a arătat că vioara cu plăcile îngroșate cu 0,2mm (AP2) a obținut cel mai bun scor total;
- Cercetările efectuate au relevat foarte clar că fiecare vioară are personalitatea sa, imprimată atât de caracteristicile individuale ale materialului folosit, cât și de măiestria lutierului, iar evaluarea acustică a performanțelor sale este una subiectivă, care depinde nu numai de experiența profesională, ci și de preferințele specifice fiecărui interpret sau ascultător.

6.2. Contribuții originale

Contribuțiile originale ale autorului se regăsesc în toate fazele de elaborare a lucrării. Dintre cele mai importante pot fi amintite următoarele:

- Sintetizarea datelor bibliografice privind tehnologia de fabricare a viorilor și cercetările efectuate până în prezent asupra calității sunetului viorilor;
- Stabilirea unor criterii valorice de clasificare a materiei prime lemnoase pe clase de calitate a viorilor;

- Realizarea efectivă a tuturor componentelor de vioară și a viorilor testate în cadrul prezentei cercetări;
- Evaluarea unor specii lemnoase alternative pentru realizarea plăcii-spate a viorii; crearea unei baze de date valoroase privind principalii parametri dinamici și acustici (prima și a doua frecvență fundamentală, frecvența dominantă, numărul de armonice și factorul de calitate calculat pentru frecvența dominantă) ai plăcilor de vioară realizate din aceste specii;
- Evaluarea influenței modificării profilului de grosime al plăcilor viorii, prin îngroșarea și respectiv prin subțierea acestora, asupra principalilor parametri dinamici și acustici, dar și asupra impresiei artistice și a calității sunetului perceput de muzicieni cu experiență;
- Corelarea rezultatelor obținute în urma evaluării obiective (prin analiza spectrelor de frecvențe obținute cu ajutorul metodei dinamice, cu ciocanul de impact, dar și cu ajutorul metodei acustice de analizare a înregistrărilor) cu rezultatele obținute în urma analizei psiho-acustice;
- Formularea, pe baza rezultatelor obținute, a unor recomandări utile pentru practica industrială, de care vor putea beneficia Asociațiile Constructorilor de Viori din întreaga lume.

6.3. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele cercetărilor efectuate în prezenta teză de doctorat au fost diseminate printr-un număr de 6 articole științifice, dintre care 2 ca prim autor, publicate în diverse reviste de specialitate sau prezentate în cadrul unor conferințe internaționale.

O parte dintre cercetările prezentate în cadrul acestei teze de doctorat au fost efectuate în colaborare cu specialiști din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică Iași, ai Universității "Dunărea de Jos din Galați, ai Facultăților de Muzică, Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Mecanică, Silvicultură și respectiv Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului din cadrul Universității Transilvania din Brașov, în cadrul proiectului PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148 – MINOVIS, din al cărui colectiv face parte și autorul prezentei teze de doctorat.

6.4. Direcții viitoare de cercetare

Cercetările efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat au condus la rezultate interesante, ce pot fi valorificate în fabricile de viori din lemn, în vederea îmbunătățirii calității sunetului acestora. Totodată însă, ele au deschis o serie de întrebări care merită investigații mai profunde în cadrul unor cercetări viitoare, cum ar fi: evaluarea influenței finisajului asupra calității sunetului viorilor; evaluarea influenței vechimii lemnului la momentul înglobării sale în construcția viorii; analiza comparativă a viorilor moderne față de cele de patrimoniu.



Bibliografie (selectivă)

- Albu, C.T. (2010). Cercetări privind caracteristicile lemnului de molid de rezonanță din bazinul râului Gurghiu (Ocoalele silvice Gurghiu și Făncel), în corelație cu exigențele industriei instrumentelor muzicale. Teză de doctorat. Universitatea Transilvania din Braşov.
- Alm, J.F., Walker, J.S. (2002). Time-frequency analysis of musical instruments. In: 2002 Society for Industrial and Applied Mathematics 44(3):457–476.
- Barlow, C. Y. (1997). Materials selection for musical instruments. Proceedings of the Institute of Acoustics 19, 69–78.
- Beldeanu, E.C. (2001). Produse forestiere si studiul lemnului. Vol 1. Editia a II-a. Editura Universității Transilvania, Braşov, ISBN 973-9474-40-3, 362p.
- Beldie, I.P. (1965). Measurement of resonant frequencies of violin plates in the tuning process. Industria Lemnului, 16(4):141-147.
- Beldie, I.P. (1975). Acoustics of violin. Ph D thesis, Technische Universitaet Berlin.
- Bissinger, G. (2004). The role of radiation damping in violin sound. Acoustics Research Letters Online 5(3):82-87.
- Bremaud, I. (2012). What do we know on resonance wood properties? Selective review and ongoing research. Société Française d'Acoustique. Acoustics 2012, Apr 2012, Nantes, France. hal-00811117.
- Bucur, V. (1976). Proprietățile acustice ale lemnurilor de rezonanță utilizate în luterie. Industria Lemnului 27(1), 23-29.
- Bucur, V. (1980). Anatomical structure and some acoustical properties of resonance wood. Catgut Acoustical Society Newsletter 33(1), 24-29.
- Bucur, V. (2006). Acoustics of wood, 2nd Ed., Springer-Verlag, New York, NY, USA.
- Bucur, V. (2016). Handbook of materials for string musical instruments.. Chapter 3 - Mechanical characterization of materials for string instruments: 93 – 132 and Chapter 8 - Ageing of musical instruments – about the old and new instruments 325 – 372 Springer Verlag, Berlin.
- Budău, G., Ispas, M. (2014). Maşini-unelte pentru prelucrarea lemnului. Editura Lux Libris, Braşov. ISBN 97 8-973-1 3 1 -302-3.
- Câmpean, M., Marinescu, I. (2012). Tratamente termice ale lemnului. Uscarea cherestelei. Editura Universității Transilvania, Braşov, Romania.
- Cotta, N. (1983). Proiectarea și tehnologia fabricării produselor industriale din lemn. Editura Didactică și Pedagogică, Bucureşti.
- Curtu, I., Ghelmeziu, N. (1984). Mecanica lemnului și a materialelor pe bază de lemn. Editura Tehnică, Bucureşti.
- 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. BioResources 10(4), 7525-7543. DOI: 10.15376/biores.10.4.7525-7543.
- Dinulică, F. (2020). Descriptori morfologici și structurali ai calității acustice a lemnului arborilor de molid pe picior. Teză de abilitare. Universitatea Transilvania din Braşov.
- Fritz, C., Curtin, J., Poitevineau, J., Borsarello, H., Wollmann, I., Tao, F.C., Ghassarossian, T. (2014). Soloist evaluations of six old Italian and six new violins. In: Proceedings of the National Academy



- of Sciences of the United States of America, 111, pp. 7224–7229.
- Fritz, C., Curtin, J., Poitevineau, J., Tao, F.C. (2017). Listener evaluations of new and old Italian violins. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, National Academy of Sciences.
- Ghelmeziu, N. (1961). Îmbunătățirea calității instrumentelor muzicale. *Industria Lemnului* 9, 332–340.
- Ghelmeziu, N., Beldie, I.P. (1972). On the characteristics of resonance spruce wood. *Catgut Acoust Soc Newsl* 17:10–16.
- Gluga V.Gh.**, Stanciu M.D., Nastac S.M., Dinulica F., Campean M. (2019). Study concerning the natural frequency and damping factor of the top and back plate for different types of violins. *PRO LIGNO* 15(4):67–74.
- Gluga, V.Gh.**, Stanciu, M.D, Nastac, S.M., Câmpean, M. (2020). Modal analysis of violin bodies with back plates made of different wood species. *BioResources* 15(4): 7687–7713.
- Gough, C. (2017). Influence of the bridge, island area, bass bar and soundpost on the acoustic modes of the violin. In: Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, 18–22 June, Montreal, Canada, pp. 66–69.
- Gough, C. (2021) Acoustic characterization of string instruments by internal cavity measurements. *J. Acoust. Soc. Am.* 2021, 150, 1922, doi: 10.1121/10.0006205
- Gurău, L. (2020). Proprietăți ale lemnului. Editura Univ.ersității Transilvania, Braşov, ISBN: 978-606-19-1275-9.
- Hutchins, C. M. (1981). The acoustics of violin plates. *Scientific American* 245(4), 170 ff, 1–11.
- Hutchins, C. M. (1983). A history of violin research. *Journal of the Acoustical Society of America* 73(5), 1421–1440. DOI: 10.1121/1.389430.
- Jansson, E. (2002). Vibration properties of the wood and tuning of violin plates. *Acoustics for violin and guitar makers*. Online at: <http://www.speech.kth.se/music/acviguit4/part5.pdf>, Accessed 20 Jan 2020.
- Kruskal, W., Wallis, W.A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583–621, doi:10.1080/01621459.1952. 10483441.
- Lomte, C.J. (2013). Vibration analysis of anisotropic aates, Special case: Violin. Cleveland, ETD Archive.
- Lu, Y (2013). Comparison of finite element method and modal analysis of violin top plate. Department of Musical Research, Schulich School of Music, McGill Univesrity. Montreal, Canada.
- Mania, P., Fabisiak, E., Skrodzka, E. (2017). Investigation of modal behaviour of resonance spruce wood samples (*Picea abies* L.). *Archives of Acoustics* 42(1):23–28.
- Marinescu, I. (1979). *Uscarea lemnului*. Vol. I. Editura Tehnică, București.
- Marshall, K. D. (1985). Modal analysis of a violin. *Journal of the Acoustical Society of America* 77(2), 695–709. DOI: 101121/1.3922338.
- Mersenne, M. (1636). *Traité de l'harmonie universelle*, Paris.
- Moens, K. (1987). *Der frühe Geigenbau in Süddeutschland*. *Studia organologica, Liber Amicorum*.
- Nauncef, A.M., Mihălcică, M., Roșca, I.C., **Gluga, V.Gh.**, Marc, R. Interdisciplinary approach to assessing the acoustic quality of violins. Proceedings of International Conference "Contemporary challenges in artistic education", 11–13 November 2021, Universitatea Națională de Arte „George Enescu”, Iași.



- Năstac, S. (2019). Analiza comportării în regim dinamic a sistemelor de acţionare hidrostatică. Editura Universităţii "Dunărea de Jos, Galaţi.
- Niţă, G.M., Gary, D.E. (2010). The generalized spectral kurtosis estimator. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 406, 60–64, doi:10.1111/j.1745-3933.2010.00882.x.
- Ravina, E. (2010). Vibro-acoustics of violins based on a multi-physic approach. In: Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Acoustics & Music: theory & applications, Iasi (Romania), pp. 46–50.
- Ravina, E. (2012). Violins characterization through vibro-acoustic experiments. In: Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference.
- Rocaboy, F., Bucur, V. (1990). About the physical properties of wood of twentieth century violins. *Catgut Acoust Soc J Ser 2* 1(6):21–28.
- Rossing, T.D. (2010). The science of string instruments. Springer New York, Dordrecht, Heidelberg, London.
- Saitis, C., Fritz, C., Scavone, G. P., Guastavino, C., Dubois, D. (2017). Perceptual evaluation of violins: a psycholinguistic analysis of preference verbal descriptions by experienced musicians. *J. Acoust. Soc. Am.* 141, 2746–2757. doi: 10.1121/1.4980143.
- Schelleng, J.C. (1982). Wood for violins. *Catgut Acoustical Society Newsletter* 37, 8-19.
- Stanciu, M.D., Coşereanu, C., Dinulică, F., Bucur, V. (2020). Effect of wood species on vibration modes of violin plates. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(4):785-799
- Stanciu, M.D., Mihălică, M., Dinulică, F., Nauncef, A.M., Purdoiu, R., Lăcăţus, R., **Gliga, V.Gh.** (2021). X-ray imaging and computed tomography for the identification of geometry and construction elements in the structure of old violins. 14(20): 5926-5941
- Stanciu, M.D, **Gliga, V.Gh.**, Georgescu, S.V., Savin, A., Dobrescu, G (2021). Non-destructive determination of the elastic and acoustic properties of resonant wood used in the manufacture of modern violin technologies. *Lucrare prezentată la: International Conference "Modern Technologies in Industrial Engineering" - ModTech2021, Eforie Nord (România).*
- Stanciu, M.D. (2021). Comportamentul mecanic și dinamic al structurilor complexe lignocelulozice de tip Helmholtz. *Teză de abilitare, Universitatea Transilvania din Braşov*
- Torres, J. A., Torres-Martinez, R. (2015). Evaluation of guitars and violins made using alternative woods through mobility measurements. *Archives of Acoustics* 40(3), 351-358, doi: [10.1515/aoa-2015-0038](https://doi.org/10.1515/aoa-2015-0038).
- Waltham, C. (2009). A balsa violin. *American Journal of Physics* 77(1), Article number 30, doi: 10.1119/1.2996482.
- Wegst, U. G. K. (2006). Wood for sound. *American Journal for Botany* 93(10), 1439-1448, doi: 10.3732/ajb.93.10.1439.
- Woodfield, I. (1984). The early history of the viol. Cambridge University Press, Cambridge.
- Woodhouse, J. (2002). Body vibration of the violin – What can a maker expect to control. *Catgut Acoustical Society Journal*, 4(5), pp.43-49.



SCURT REZUMAT

Teza de doctorat intitulată "*Cercetări privind influenţa unor factori specifici de material asupra calităţii sunetului viorilor din lemn*" reprezintă o investigaţie aprofundată a proprietăţilor materiei prime lemnoase utilizate la fabricarea viorilor, cu scopul de a descoperi soluţii, fundamentate ştiinţific, de îmbunătăţire a calităţii sunetului acestora. S-a investigat importanţa calităţii materiei prime şi s-au stabilit criteriile de clasificare a acestora în funcţie de clasa de calitate a instrumentului muzical. S-a investigat oportunitatea utilizării, pentru realizarea plăcii-spate, a unor specii lemnoase alternative (carpen, nuc, frasin, salcie, plop şi paltin măzărat) pentru înlocuirea lemnului de paltin creţ, dar acesta s-a dovedit a fi specia cu cele mai bune performanţe acustice. De asemenea, s-a investigat influenţa profilului de grosime al plăcilor atât prin analiză modală, prin determinarea unor parametri dinamici (frecvenţe proprii), cât şi prin evaluare psiho-acustică de către muzicieni cu experienţă. Recomandările formulate pe baza rezultatelor obţinute sunt deosebit de utile pentru practica industrială. Toate cercetările din cadrul prezentei teze de doctorat s-au efectuat pe viori reale, nu prin modelare, aspect care constituie o acţiune de pionierat şi subliniază caracterul de noutate şi originalitate al tezei.

SHORT SUMMARY

The doctoral thesis entitled "*Research regarding the influence of some material-specific factors upon the sound quality of wooden violins*" is an in-depth investigation of the properties of wood as a raw material used in the manufacture of violins, in order to discover scientifically-based solutions to improve their sound quality. The importance of the quality of the raw material was investigated and criteria for classifying it according to the quality class of the musical instrument were established. The opportunity to use alternative wood species (hornbeam, walnut, ash, willow, poplar and bird-eye maple) to replace the curly maple wood for the back-plate of the violin was investigated, but curly maple proved to be the species with the best acoustic performance. Also, the influence of the thickness profile of the violin plates was investigated, both by modal analysis, in order to determine some dynamic parameters (natural frequencies), and by psycho-acoustic evaluation performed by experienced musicians. The recommendations formulated based on the results obtained are extremely useful for the industrial practice. All the researches within this doctoral thesis were carried out on real violins, not by modeling, an aspect that constitutes a pioneering action and emphasizes the novelty and originality of the thesis.