



Proiect: Modele inovative de viori comparabile acustic și estetic cu viorile de patrimoniu – MINOVIS
cod PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148,
contract nr. 568PED/2020
Faza II/2021

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

Faza II/2021

01.01.2021 – 31.12.2021

Analiza modală experimentală a modelelor demonstrative de viori cu caracteristici structurale și geometrice diferite de cele produse la partenerul economic

Rezumatul etapei

Proiectul **Modele inovative de viori comparabile acustic și estetic cu viorile de patrimoniu – MINOVIS** a debutat la 01.01.2021 cu faza a II a a proiectului/2021: Analiza modală experimentală a modelelor demonstrative de viori cu caracteristici structurale și geometrice diferite de cele produse la partenerul economic

În cadrul acestei faze au fost stabilite următoarele activități principale:

Act. 2.1. Analiza modală a corpurilor de vioară - modele existente versus modele inovative, cu subactivitățile 2.1.1.: Realizarea de modele geometrice (virtuale) de viori. Simularea comportării dinamice a plăcilor de vioară ca structuri individuale (INCDFT Iași, CO-UNITBV) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului); Activitatea 2.1.2.: Simularea comportării dinamice a viorilor - modelarea numerică a diferitelor tipuri de viori (CO-UNITBV) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului); Activitatea 2.1.3.: Elaborarea setului de caracteristici structurale și geometrice ale lemnului utilizat pentru viorile obișnuite și cele pentru modelele demonstrative (Gliga Instrumente Muzicale) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului).

Act. 2.2. Realizarea de modele experimentale de viori cu caracteristici structurale, geometrice și tehnologice diferite (clase de grosimi diferite și clase de calitate structurală diferită) cu subactivitățile: Activitatea 2.2.1.: Elaborarea modelelor scalabile/demonstrative din punct de vedere geometric și structural pentru realizarea lor tehnologică (CO-UNITBV) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului); Activitatea 2.2.2.: Realizarea tehnică a modelelor demonstrative din punct de vedere geometric și structural conform specificațiilor (Gliga Instrumente Muzicale) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului).

Act. 2.3. Dezvoltarea metodei experimentale pentru analiza dinamică a modelelor demonstrative comparativ cu modelele de patrimoniu cu subactivitățile: Activitatea 2.3.1. Elaborarea metodei experimentale pentru analiza dinamică și testarea modelelor demonstrative și de patrimoniu, prelucrarea și interpretarea rezultatelor în concordanță cu caracteristicile structurale și elastice (CO-UNITBV) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului); Activitatea 2.3.2.: Determinarea prin metode nedistructive a caracteristicilor acustice ale modelelor demonstrative și a celor de patrimoniu (INCDFT Iași și CO-UNITBV) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului); Activitatea 2.3.3. Realizarea standului experimental conform metodei experimentale și asigurarea suportului tehnic pentru etapa experimentală (S.C. Gliga Instrumente Muzicale S.A. Reghin) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului);

Act. 2.4. Activități suport- Diseminarea activităților din proiect, prin intermediul cărora au fost valorificate parțial rezultatele cercetărilor, au fost create premisele vizibilității proiectului în mediul virtual; s-a realizat ședința de proiect și workshop-ul aferent proiectului.

Rezultatele preconizate și realizate în procent de 100% în cadrul proiectului, faza II/2021, au fost:

- Min. 60 modele demonstrative (viori) cu plăci superioare și posterioare diferite ca grosime
- Set de date (spectru de frecvențe, factori de amortizare) pentru viorile demonstrative și de patrimoniu;
- Programe personalizate dezvoltate în MatLab pentru testarea viorii; Raport de analiză

comparativă a violinelor demonstrative cu cele de patrimoniu;

- Studiu comparativ între modelele demonstrative și cele de patrimoniu cu privire la caracteristicile acustice.
- Raportul fazei II: site-ul proiectului actualizat; 2 participări la conferințe internaționale; min. 2 articole ISI (FI > 1.5), capitole din teza de doctorat, 2 workshop-uri; participare la evenimente precum Frankfurt Messe, Cremona, 2 workshop-uri.

DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

Act. 2.1. Analiza modală a corpurilor de vioară - modele existente versus modele inovative

În cadrul acestei activități, au fost realizate subactivități pe trei planuri ce au vizat: identificarea modelelor geometrice și constructive ale violinelor vechi/de patrimoniu considerate modele de comparație; realizarea modelelor geometrice virtuale ale violinelor cu parametrii geometrici modificați și simularea comportării dinamice a plăcilor de vioară.

Activitatea 2.1.1.: Realizarea de modele geometrice (virtuale) de violini. Simularea comportării dinamice a plăcilor de vioară ca structuri individuale (100% gradul de îndeplinire a obiectivului)

Identificarea modelelor anatomice ale lemnului din construcția violinelor vechi și a modelelor constructive, prin metode imagistice moderne (Computer tomograf și raze X)

Pentru identificarea modelelor constructive ale violinelor vechi utilizând tehnici moderne de analiză imagistică (scanarea structurii lemnului, analiza cu raze X și analiza la computer tomograf), au fost analizate șapte violini vechi, dintre care vioara Stradivarius – Elder – Voicu 1702 aparținând patrimoniului cultural al României, patru violini ale unor persoane private, acestea având eticheta cu informații privind datarea violinii și apartenența la o școală de lutieri (vioara Jacobus Stainer, 1716; vioara Johann Georg Leeb, 1742; vioara Joseph Klotz, 1747; vioara Babos Bela, 1920), iar două violini fără etichetă, însă pentru una dintre ele se cunoaște istoricul acesteia și faptul că este o copie Jacobus Stainer (codificată "Copie Stainer"), iar pentru cealaltă vioară (codificată "fără marcă"), nu se cunoaște proveniența și apartenența la o anumită școală de lutieri (Figura 1).



Figura 1. Violini vechi analizate prin metode neinvazive și nedistructive

Toate violinele luate în studiu sunt întregi din punct de vedere constructiv, fiind utilizate în activitățile muzicale de către proprietari. Din acest motiv, metodele de analiză ale elementelor constructive au fost alese astfel încât să nu fie deteriorate sau afectate violinele. Pentru obținerea modelelor structurale și geometrice, s-a apelat la trei metode de investigare:

a) Evaluarea caracteristicilor structurale ale lemnului din construcția violinelor cu sistemul WinDENDRO system, din cadrul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere (Figura 2). Inelele au fost măsurate pe două sau trei direcții, în funcție de dificultățile locale obiective de identificare a conturului inelului mai ales la violinele vechi, pornind de la marginea eclisei către linia de îmbinare a jumătăților feței (Figura 2). La inelele feței au fost separate și măsurate lemnul timpuriu și lemnul

târziu, în timp ce la inelele dosului s-a măsurat numai lățimea integrală. Pentru verificare, seriile de inele rezultate ale feței au fost crossdate reciproc. Crossdatarea s-a făcut în cadrul aceluiași soft, adoptându-se un prag de 0.60 pentru Gleichläufigkeit correlation coefficient (Pilcher 1990). Au fost măsurate un număr total de 2641 inele pentru față și 970 de inele pentru dos. Lungimea de undă a fibrei crețe a fost măsurată pe două direcții, una pentru fiecare din jumătățile dosului, paralele cu curba de contur a plăcii. Au fost efectuate un număr total de 855 de măsurători asupra lungimii de undă a fibrei crețe (Figura 2,a). Pentru aprecierea regularității inelelor, a fost adoptată modalitatea de calcul a regularity index RI recomandată de Dinulică et al (2015).

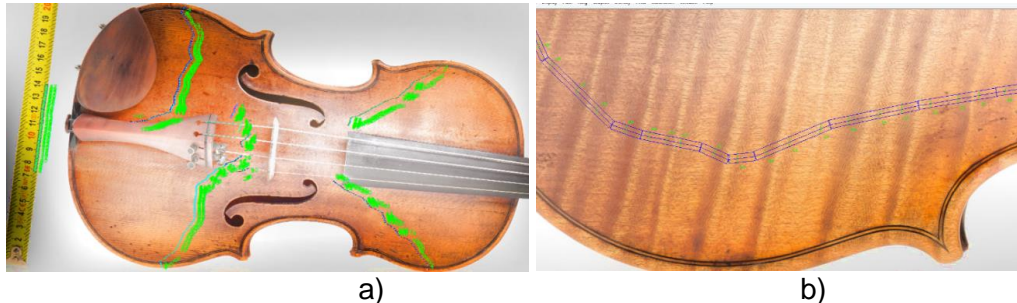


Figura 2. Modalitatea de măsurare a inelelor anuale pentru fețele/spatele violorilor – studiu de caz vioara Stradivarius Elder Voicu 1702 (forografie cu permisiunea Filarmonicii G.Enescu București și maestrului Tomescu Alexandru): a) măsurarea seriilor de inele anuale la placa de față; b) măsurarea lungimii de undă a fibrei crețe la placa de spate

b) Determinarea formei și geometriei violorilor, pe baza radiografiei cu raze X în Laboratorul de Radiologie și Imagistică Medicală, Facultatea de Medicină Veterinară din Cluj-Napoca. Expunerile la raze X au fost făcute utilizând un dispozitiv radiografic fix TEMCO Grx-01 (K&S Röntgenwerk Bochum GmbH&Co KG –Germania). Expunerile au fost făcute dorsovertral, câmpul vizual fiind setat să acopere corpul vioarei. Parametrii utilizați pentru obținerea imaginilor au fost de 50-56 kV și 13-20 mAs. Imaginile au fost achiziționate cu ajutorul unui detector cu ecran plat DR Reyance Xmaru 1717SGC / SCC (Reyance Inc., Coreea) și software de achiziție Xmaru VetView (Reyance Inc., Coreea) (Figura 3, a).

c) Analiza la computer tomograf a elementelor constructive, grosimi și arcuiri ale plăcilor din construcția violorilor vechi (Figura 3, b). Examenul CT a fost efectuat tot în Laboratorul de Radiologie și Imagistică Medicală, Facultatea de Medicină Veterinară din Cluj-Napoca, pe un dispozitiv Siemens Somatom Scope (Siemens, Germany) cu dispozitiv helicoidal CT cu 16 Slice. Scanările au fost efectuate folosind un nucleu de reconstrucție osoasă. Achiziția de imagini a fost făcută la 2 mm/felie și reconstrucția a fost efectuată la 0.75 mm/felie. Pentru fiecare vioară au fost efectuate două scanări axiale, una pentru corpul vioarei și a doua pentru gâtul vioarei. Parametrii de scanare au fost: Lățimea nominală de colimare totală: 9.6 mm, Factorul de pas: raportul 0.8, KVP: 130 kV, Curentul tubului de raze X: 96 mA, Expunere: 120 mA, Timp de expunere pe rotație: 1s, Matrice 512x512. Imaginile atât pentru radiografie cât și pentru scanare CT au fost achiziționate în format DICOM, citirea și postprocesarea fișierelor DICOM s-au efectuat utilizând software-ul 3DNET PACS și vizualizatorul Horos DICOM.



Figura 3. Viori vechi analizate prin metode neinvazive și nedistructive: a) radiografierea vioarei cu raze X; b) analiza la computer tomograf a violorilor vechi

Rezultate și interpretări

La analiza vizuală a violorilor, s-a identificat modul în care au fost debitate semifabricatele pentru obținerea plăcilor de vioară. Astfel, majoritatea lemnului care este folosit în construcția

plăcilor de vioară este tăiat pe sfert. Nyman, 1975 [20] evidențiază faptul că majoritatea violilor Cremonese au lemnul tăiat în sferturi (Figura 4, a), în comparație cu stilul fabricanților de vioară brescieni care foloseau tăierea directă (**Error! Reference source not found.** 4, b).

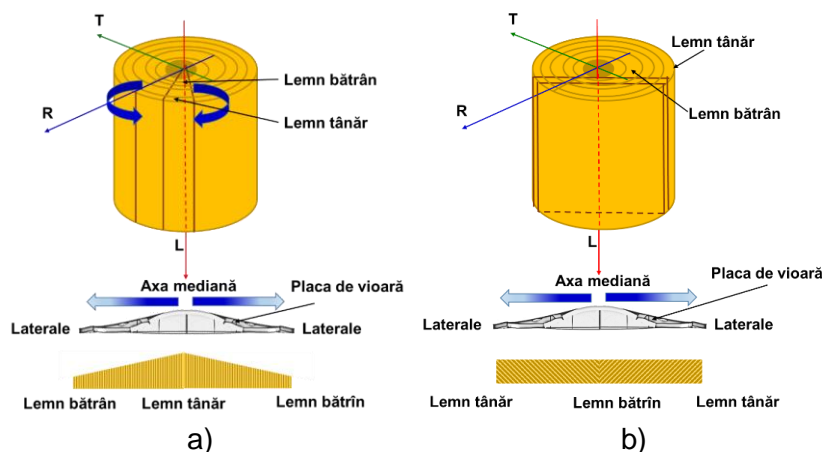


Figura 4. Modul de formare a plăcii de vioară din două semifabricate din lemn de molid debitate radial și împerecheate pe cant (secțiunea tangențială) (a);(b) tăiere pe plin (directă)

Pentru a obține arcuirea plăcilor prin degroșare, grosimea inițială a semifabricatelor tăiate din bușteni este mai mare spre mijlocul plăcii și mai mică spre laturi. Pentru violile care au plăcile obținute din două perechi de semifabricate debitate radial și incleiate pe cant, zona de încleiere corespunde cu zona de lemn tânăr (format cel mai recent), iar spre eclise se regăsește lemnul cel mai bătrân. Caracteristicile anatomice macroscopice ale lemnului de molid și paltin din construcția violilor analizate, prezentate ca valori medii și deviația standard, au fost centralizate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Caracteristicile anatomice ale lemnului de molid și arțar de pe plăcile superioare și posterioare ale violilor studiate

Caracteristici anatomice	Viori studiate									
	Valoarea medie (STDV)	Stradivarius 1702	Stainer 1716	Leeb 1742	Klotz 1747	Babos 1920	Copia Stainer	Fără marcă	Gliga S100	Gliga 2020
Fața de vioară (lemn de molid)										
Lățimea inelelor anuale (mm)	0.672 (0.363)	2.247 (0.567)	1.530 (0.490)	1.251 (0.403)	1.891 (0.612)	0.985 (0.527)	1.327 (0.336)	1.241 (0.363)	0.940 (0.234)	
Lățimea lemnului timpuriu (mm)	0.432 (0.300)	1.676 (0.518)	1.148 (0.467)	0.792 (0.304)	1.449 (0.601)	0.689 (0.450)	0.907 (0.293)	0.894 (0.329)	0.568 (0.190)	
Lățimea lemnului târziu (mm)	0.242 (0.087)	0.496 (0.178)	0.382 (0.122)	0.459 (0.162)	0.442 (0.158)	0.300 (0.118)	0.420 (0.130)	0.348 (0.079)	0.372 (0.100)	
Proporția de lemn timpuriu (%)	60.787 (10.269)	76.184 (9.152)	73.564 (8.507)	62.635 (8.700)	74.379 (9.942)	66.127 (11.286)	67.689 (8.921)	70.763 (7.004)	59.766 (8.388)	
Proporția de lemn târziu (%)	39.213 (10.269)	23.816 (9.152)	26.436 (8.507)	37.365 (8.700)	25.203 (9.942)	33.873 (11.286)	32.311 (8.921)	29.237 (7.004)	40.234 (8.388)	
Spatele de vioară (lemn de paltin)										
Lățimea inelelor anuale (mm)	1.081 (0.461)	1.908 (0.531)	1.246 (0.658)	1.063 (0.902)	1.026 (0.527)	1.277 (0.297)	4.563 (1.105)	2.127 (0.688)	1.623 (0.666)	
Lungimea de undă a fibrei crețe (mm)	5.754 (1.857)	4.021 (1.577)	6.421 (2.422)	NA	3.946 (1.256)	4.984 (1.589)	4.585 (1.057)	3.686 (1.288)	6.731 (3.371)	

Din perspectivă statistică, caracteristicile măsurate ale structurii lemnului cutiei sonore a violilor sunt variabile continue. În urma testului Shapiro-Wilk pentru testarea normalității distribuției datelor, s-a constatat că acestea nu sunt compatibile cu legea normală (W din testul Shapiro-Wilk = 0.886-0.992, $p < 0.001$), adoptându-se în continuare testul neparametric Kruskal-Wallis care arată că violile analizate se deosebesc între ele la nivel foarte semnificativ în privința tuturor caracteristicilor structurale ($H = 257-1272$, $p < 0.001$). Deci fiecare vioară are personalitatea ei structurală. De asemenea, s-a investigat și simetria structurală a fețelor de vioară care este prezentată în Figura 5. Se constată că placa de față prezintă cea mai mare simetrie structurală în cazul vioarei Klotz 1747, vioara fără marcă, vioara Gliga S100, vioara copie Stainer, vioara Gliga 2020. Celelalte viori –

Stradivarius 1702, Stainer 1716, Leeb 1742 și Babos 1920 prezintă în seria inelelor variații ale lățimii inelelor, însă tendința de variere de la un an la altul are aceeași curbă.

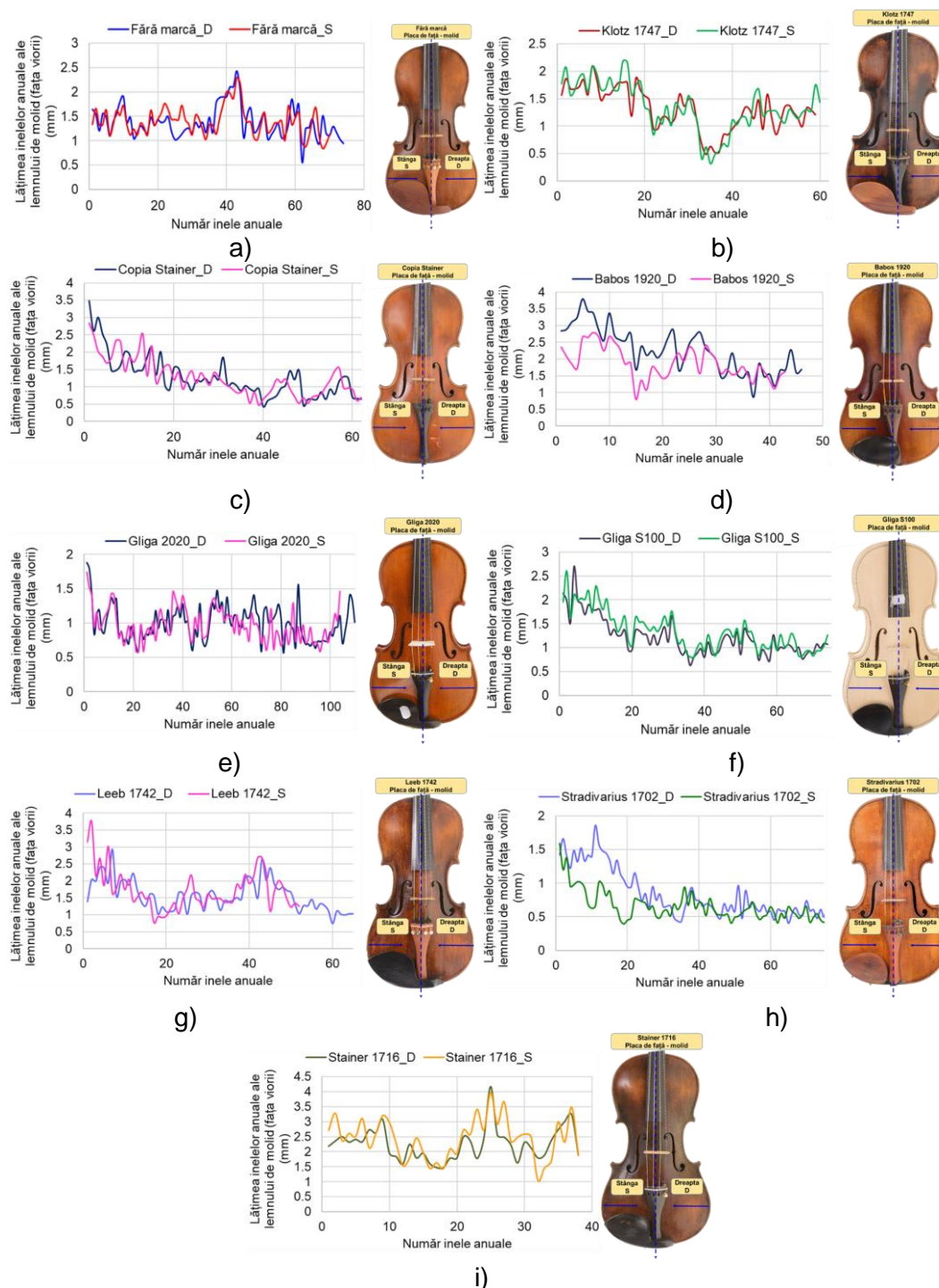


Figura 5. Analiza simetriei structurii anatomice a lemnului de molid din construcția fețelor de vioară

În Tabelul 2 sunt centralizate valorile indicatorilor de caracterizare a simetriei jumătăților fețelor de vioară, pe baza cărora se poate decela asupra gradului de simetrie anatomică a plăcilor de față, reieșind cantitativ, vioara Gliga S100 – realizată din lemn de molid recuperat dintr-o grindă veche de aproximativ 100 ani (coeficientul de corelație Gleichläufigkeit 75%). Totuși rezultatele prezentate sunt sub rezerva inaccesibilității măsurării tuturor inelelor ca urmare a finisajelor, accesoriilor de pe vioară și a formei constructive a instrumentelor, acestea fiind într-o bună stare de funcționare. Unul dintre elementele constructive evidente la analiza cu raze X îl reprezintă colțarele, acestea având rolul de a întări intersecția dintre curbura viorii ca urmare a schimbării razei de curbură, precum și de a mări suprafața de înclieiere dintre placa de față – placa de spate și eclise (Figura 5).

Tabelul 2. Indicatori de caracterizare a simetriei jumătăților feței în raport cu inelele anuale (*innacesibilă măsurării tuturor inelelor anuale din jumătatea respectivă)

Vioara	Numărul de inele conținute de jumătatea		Coeficientul de corelație Gleichläufigkeit între seriile de inele din jumătatea dreaptă respectiv stângă (%)
	dreaptă	stângă	
Fără marcă	74	70	63.2
Klotz 1747	59	68	65.8
Copia Stainer	102	97	60.6
Babos Bela 1920	46	58	57.4
Gliga A00C1	110	106	61.5
Gliga S100	74	78	75.8
Stradivarius Elder-Voicu 1702	94*	167	65.1
Leeb 1742	67	52	61.3
Stainer 1716	38	42	62.7

După cum se poate observa în Figura 6, viorile investigate se pot grupa în trei clase din punct de vedere al formei constructive a colțarelor: viori fără colțare pe interior (Stainer, 1716; Bela 1920) (Figura 6, a), viori cu colțare din lemn masiv tăiate după forma interioară a colțurilor, obținându-se un contur continuu în interiorul corpului de vioară (Leeb 1742, Gliga 2020) (Figura 6, b) și viori cu lamelă din lemn de rășinos (Klotz, 1747 și copia Stainer fără etichetă și vioara "fără marcă"), remarcându-se faptul că lamelele de întărire a colțurilor, la vioara Klotz 1747, se găsesc numai la colțurile dintre curbura centrală și curbura inferioară (Figura 6, c). Un alt aspect interesant de remarcat din analiza cu raze X este variația dimensională a corpului de vioară, dimensiunile și poziționarea f –urilor (găurilor acustice) față de axa longitudinală de simetrie structurală a plăcii de față (Figura 7); variația densității lemnului îmbătrânit la viorile vechi, acestea constituind provocări/direcții de cercetare pentru studiile viitoare.

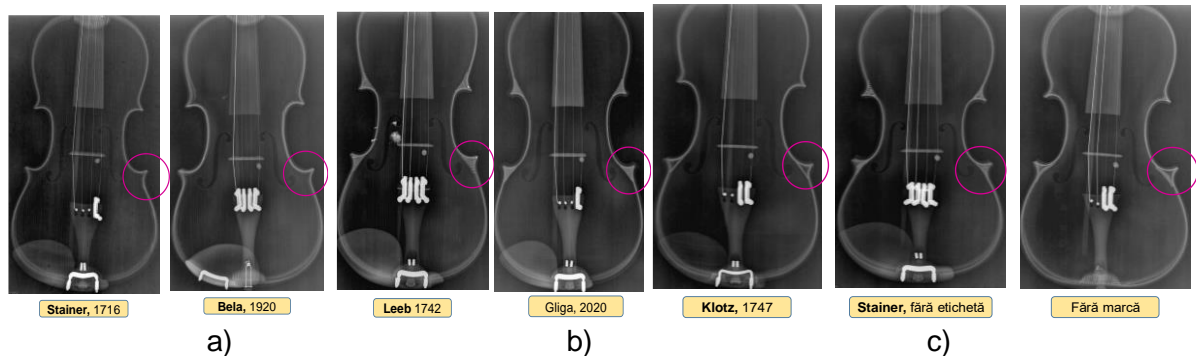


Figura 6. Analiza cu raze X a viorilor vechi: a) viori fără colțare; b) viori cu întărituri din lamele din lemn masiv; c) viori cu colțare din lemn masiv.

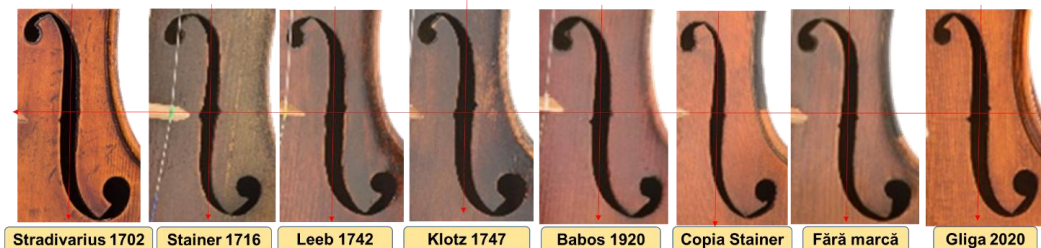


Figura 7. Geometria găurilor sonore f la viorile vechi și actuale analizate

Informații privind grosimea plăcilor de vioară, curbura plăcilor, forma barei de rezonanță, dimensiunile viorilor vechi, aspecte privind integritatea sau gradul de deteriorare al viorilor, toate acestea au fost obținute prin tomografia computerizată (CT) a viorilor luate în studiu. Tomografia computerizată cuprinde un set de imagini 2D axiale, volumul de date putând fi reformatat și reorganizat în imagini 3D, având avantajul obținerii unui contrast de aproximativ 16 ori mai mare decât la radiografia cu raze X. Viorile de patrimoniu au fost investigate prin această metodă în vederea identificării unor elemente constructive (forme/dimensiuni) inaccesibile prin analiză cu ochiul liber. În Figura 8 sunt prezentate imagini 3D și secțiuni transversale prin viorile vechi investigate, fiind astfel obținute modelele geometrice și constructive.

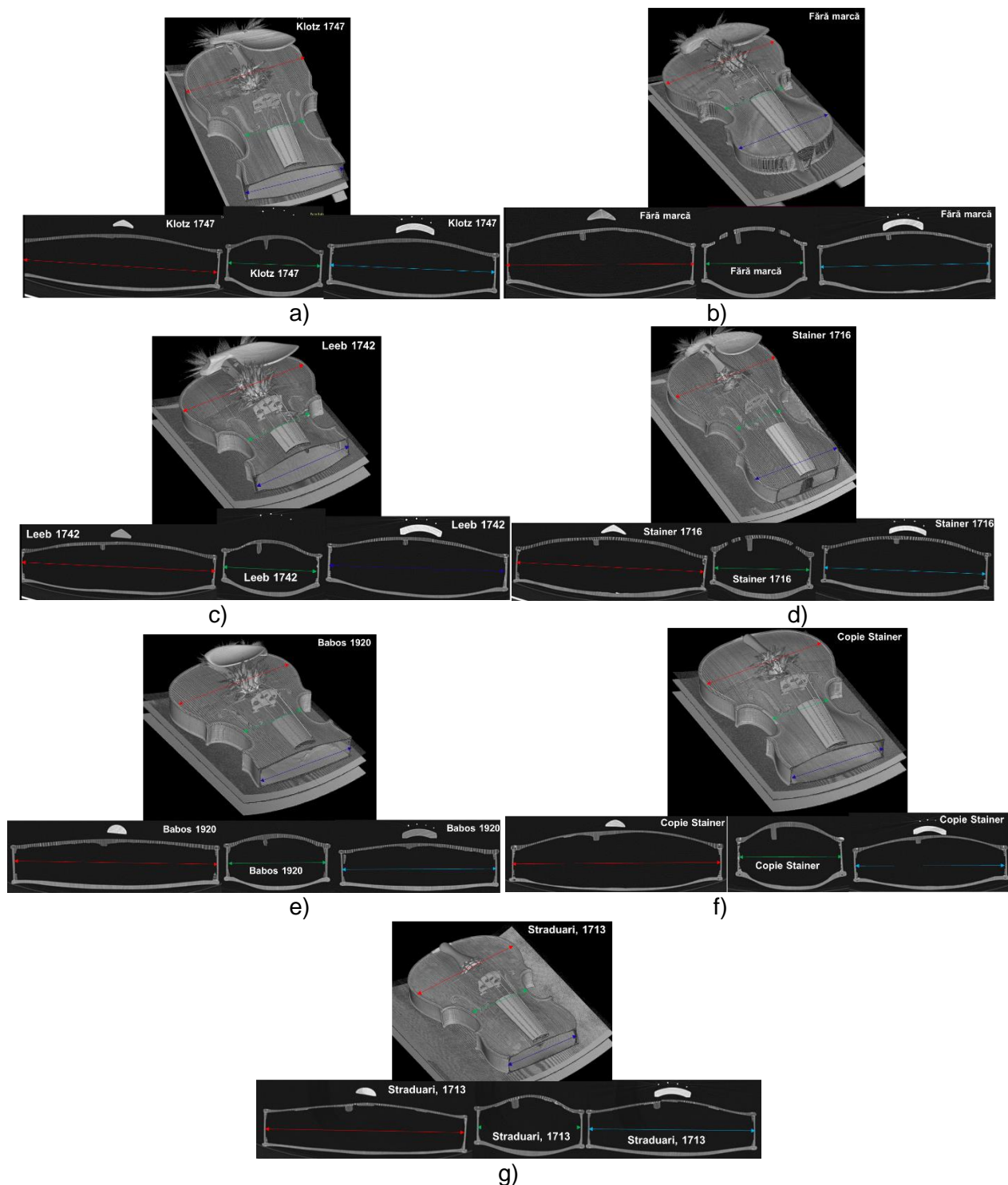


Figura 8. Scanarea la computer tomograf.

Diseminare: Detalii privind modul de realizare a acestei activități și rezultatele aferente se regăsesc în articolul științific publicat, precum și în lucrările prezentate la diferite evenimente științifice:

- Stanciu, M.D.; Mihălcică, M.; Dinulică, F.; Nauncef, A.M.; Purdriu, R.; Lăcătuș, R.; Gliga, G.V. X-ray Imaging and Computed Tomography for the Identification of Geometry and Construction Elements in the Structure of Old Violins. *Materials* 2021, 14, 5926. <https://doi.org/10.3390/ma14205926>
- Filimon Eugenia, Gall Roxana, Stanciu Mariana Domnica, Nauncef Alina, Dinulică Florin, Application of X-Ray Computed Tomography in geometrical analysis on the design of old violins, The International Student Innovation and Scientific Research Exhibition "Cadet INOVA'21", The "Nicolae Bălcescu" Land Forces Academy of Sibiu, Sibiu, 15 - 17 April 2021, Medalia de argint Cadet Inova2021, https://www.youtube.com/watch?v=9opcf_AhKuc

- Gall Roxana, Filimon Eugenia, Stanciu Mariana Domnica, Nauncef Alina, Năstac Silviu Marian, Research regarding the vibration analysis of heritage violins versus new unvarnished violins, The International Student Innovation and Scientific Research Exhibition "Cadet INOVA'21", The "Nicolae Bălcescu" Land Forces Academy of Sibiu, Sibiu, 15 - 17 April 2021, Medalia de aur Cadet Inova2021, Premiul special - FORUMUL INVENTATORILOR ROMANI, https://www.youtube.com/watch?v=9opcf_AhKuc
- Stanciu M.D., Savin A., Faktorova F., Nauncef A., Dinulica F., Gliga V. Gh. Marc R., Purdoiu R., Lăcătuș R Mihalcica M. X-ray and computer tomography imaging for identification of geometry and construction elements in the structure of old violins, the 13th International Conference Art21 on non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage, Buenos Aires, Argentina 3 – 5 November 2021.

Realizarea de modele geometrice (virtuale) de viori

Această subactivitate a constat în realizarea geometriei plăcilor de vioară cu grosimea modificată față de grosimea nominală a violinelor realizate în mod curent de către agentul economic. În Figura 9 sunt prezentate secțiunile prin violinile de referință și modificate geometric, iar în Figura 10 sunt prezentate secvențe privind proiectarea violinelor cu programul Catia.

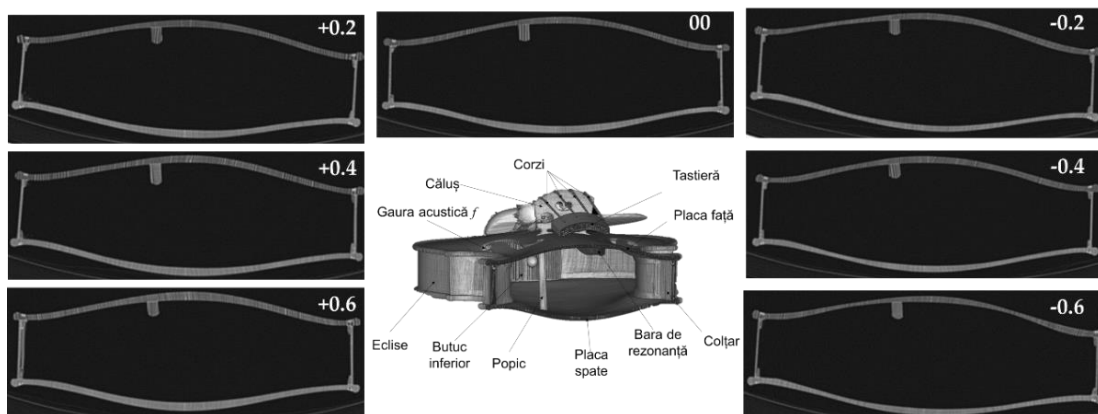


Figura 9. Tipurile de modele geometrice ale plăcilor de vioară (Legenda: 00 – grosimea nominală; +0.2; +0.4; +0.6 – grosimea nominală majorată cu fracțiunea respectivă, pe toată suprafața; -0.2; -0.4; -0.6 – grosimea nominală micșorată cu fracțiunea respectivă pe toată suprafața.

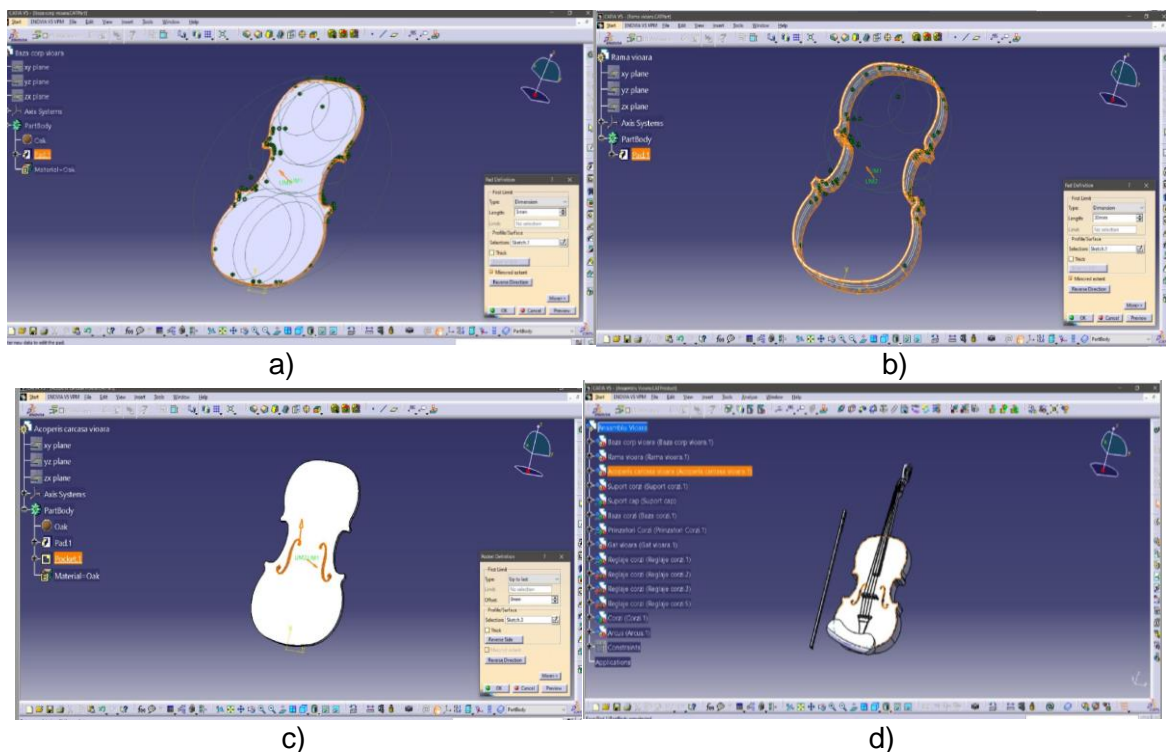


Figura 10. Etape din timpul proiectării geometrice a violinii, cu programul de proiectare Catia V5

Activitatea 2.1.2.: Simularea comportării dinamice a viorilor - modelarea numerică a diferitelor tipuri de viori (100% gradul de îndeplinire a obiectivului)

Pentru modelarea numerică a plăcilor de vioară și determinarea modurilor proprii ale acestora, s-a utilizat analiza cu elemente finite, cu softul ABAQUS, utilizând trei ipoteze privind proprietățile materialului - materialul este izotrop (constantele sunt aceleași în toate direcțiile); materialul este izotrop transversal (similar cu ortotropia, cu excepția faptului că în unul dintre planurile ortogonale, modulii elastici sunt aceiași în toate direcțiile); materialul este ortotrop (proprietățile elastice sunt simetrice față de trei planuri ortogonale; modulele elastice diferă între fiecare dintre cele trei axe ortogonale corespunzătoare, dar sunt aceleași de-a lungul oricărei axe). Caracteristicile elastice utilizate în modelarea FEA sunt prezentate în Tabelul 3. Scopul modelării a fost determinarea modurilor și frecvențelor proprii ale plăcilor de vioară libere, corespunzătoare pentru fața și spatele de vioară (Figura 11). În prima etapă au fost analizate plăcile cu grosimea de 3 mm, după care s-a variat grosimea de la 2 mm până la 4 mm cu un pas de 0.2 mm. Analiza elementelor finite a plăcilor de vioară a fost efectuată cu software-ul ABAQUS 2017, modelul fiind discretizat în elemente finite de tip tetraedru patratic cu 10 noduri C3D10: A10-node quadratic tetrahedron. Vibrația plăcilor ortotrope implică modurile de încovoieră care sunt bidimensionale și frecvența depinde de mai mulți parametri elastici ai mediului anizotrop. În ceea ce privește anizotropia ortotropă, ar trebui luate în considerare următoarele rapoarte: raportul dintre modulele Young E_L/E_R ; E_L/E_T ; raportul dintre modulele de forfecare G_{LR}/G_{RT} ; respectiv G_{LT}/G_{RT} și rapoartele dintre coeficienții lui Poisson [Bucur, 2006].

Tabelul 3. Caracteristicile elastice ale celor două specii lemnoase (*Curtu, 1982; ** Rodgers, 1988 și ***Szalai, 1994).

Parametrii fizici și elastici	Ipoteza I		A doua ipoteză*		A treia ipoteză**	
	Molid	Paltin	Molid	Paltin	Molid	Paltin
Densitatea (kg/m ³)	400	600	400	700	430	590
Modulul de elasticitate longitudinală (MPa)	15 000	10 000				
E_L (E1)			13000	10 000	13500	10 000
E_R (E2)			700	2 000	890	1 570
E_T (E3)			700*	2 000*	480	870
Modulul de elasticitate transversală (MPa)	840	700				
G_{RT}			60	720	32	290
G_{LT}			900	1600	500	1100
G_{LR}			900*	1600*	720	1222
Coeficientul lui Poisson	0.37	0.37				
ν_{LR}			0.37	0.47	0.45	0.46
ν_{RL}					0.03	0.093
ν_{LT}			0.42	0.50	0.54	0.50
ν_{TL}					0.019	0.038
ν_{RT}			0.47	0.50	0.56	0.82
ν_{TR}					0.30	0.40

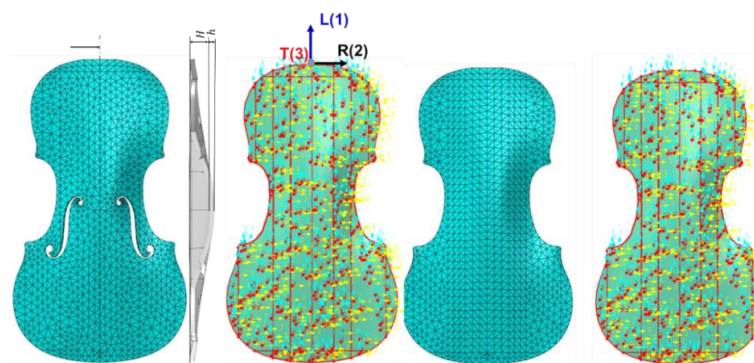
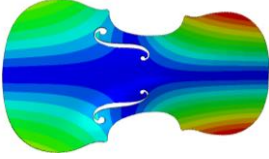
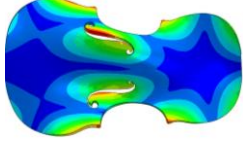
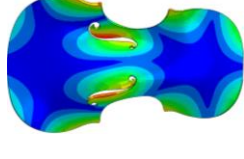
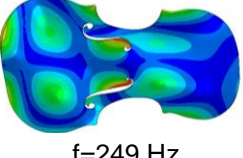
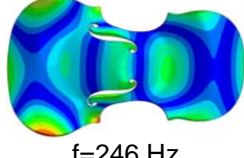
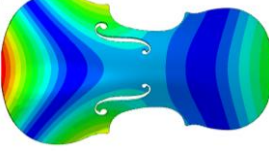
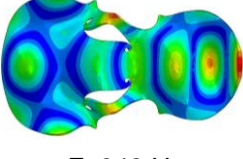
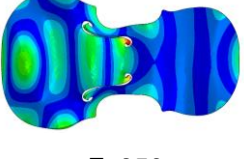
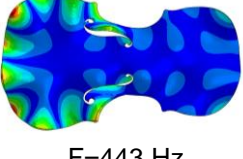
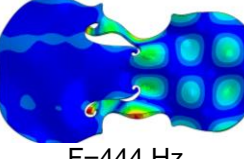
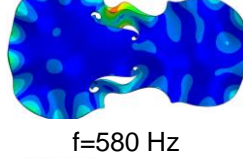
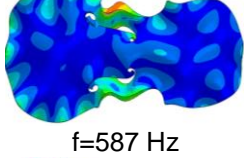
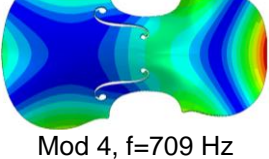
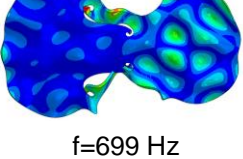
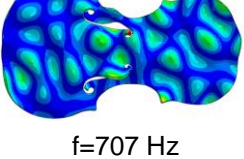
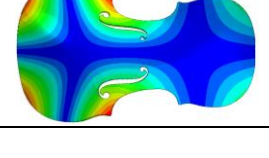
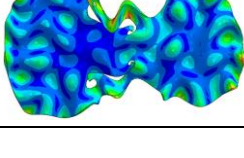
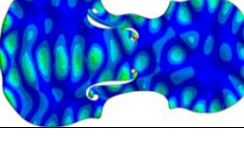


Figura 11. Modelarea cu elemente finite a plăcilor de vioară

În **Error! Reference source not found.** 4 sunt prezentate modurile și valorile proprii pentru placa de față a viorii, în cele trei ipoteze de material. Se observă că forma arcuită a plăcilor combinată cu caracteristicile isotrope transversale și ortotrope simetrice generează un răspuns modal diferit al plăcilor față de modelarea ca material izotrop și implicit diferite față de plăcile plane.

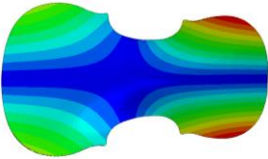
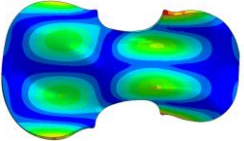
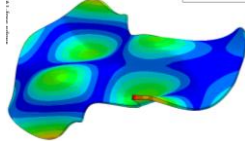
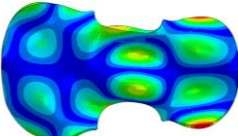
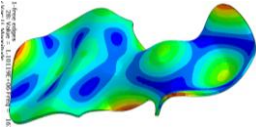
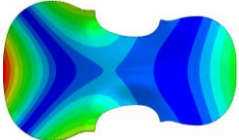
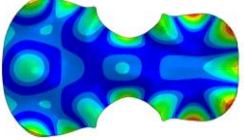
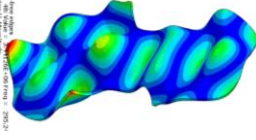
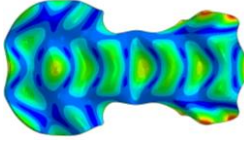

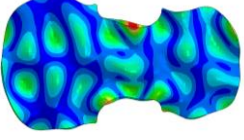
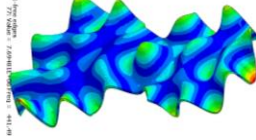

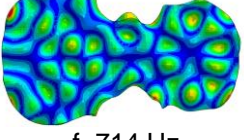
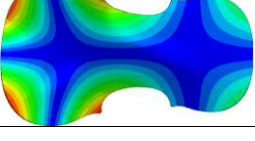
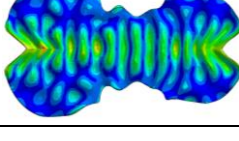
Tabelul 4. Placa de vioară arcuită, din lemn de molid, placa liberă

Izotropie (Izo)	Isotropie transversală (Izo T)	Ortotropie simetrică (Orto S)
Mod 1, $f=219$ Hz	$f=73$ Hz	$f=73$ Hz
		
	$f=143$ Hz	$f=140$ Hz
		
Mod 2, $f=371$ Hz	$f=249$ Hz	$f=246$ Hz
		
	$F=348$ Hz	$F=350$
		
	$F=443$ Hz	$F=444$ Hz
		
Mod 3, $f=586$ Hz	$f=580$ Hz	$f=587$ Hz
		
Mod 4, $f=709$ Hz	$f=699$ Hz	$f=707$ Hz
		

Diferențele sunt considerabile și între valorile proprii ale plăcilor izotrope, respectiv ortotrope. Se poate aprecia faptul că, deși placa este subțire, putându-se neglija proprietățile pe direcția grosimii, totuși pentru obținerea unor modele numerice cât mai apropiate de realitate, este recomandat să se modeleze structura lignocelulozică cu toate caracteristicile elastice. În cazul plăcilor de vioară din lemn de paltin, în funcție de ipoteza luată în studiu, comportarea este similară cu a plăcilor de molid (Tabelul 5). În Tabelul 6 preluat și adaptat după Gough, 2015, sunt centralizate valorile frecvențelor proprii extrase din literatura de specialitate și cele determinate în cadrul proiectului. O problemă interesantă abordată de Molin et al 1988 și Gough, 2015 este cea legată de corelație dintre analiza modală a plăcilor de vioară și raportul de anizotropie a lemnului pe cele două direcții principale din structura plăcilor – longitudinală și radială. Astfel, raportul de frecvențelor modurilor # 5/# 2 determinate cu FEA se modifică cu mai puțin de 4% pe întregul intervalul de anizotropie, de la o valoare inițială de 2.14 pentru un material izotrop, scăzând inițial la un minim de 2.10 pentru un raport de anizotropie în intervalul 2-3, și apoi crescând înapoi de la valoarea pentru un material izotrop la un material anizotrop, de aproximativ 16 și continuând să crească slab la 2.19 pentru un raport de anizotropie de 25. Valorile obținute în cadrul propriilor cercetări, au evidențiat rezultate similare cu cele din literatura de specialitate, acestea fiind

identificate prin analiza rapoartelor, modurilor de vibrații și intervalului de valori. Întrucât modelarea cu elemente finite diferă în funcție de diferiți factori, în Tabelul 6 au fost specificate în paranteza, în dreptul valorilor obținute, modurile din cadrul simulării proprii.

Tabelul 5. Placa de vioară arcuită, din lemn de paltin, placa liberă

Izotropie (Izo)	Isotropie transversală (Izo T)	Ortotropie simetrică (Orto S)
Mod 1, f=241 Hz	f=95 Hz	f=104 Hz
		
	f=168 Hz	f=167 Hz
		
Mod 2, f=401 Hz	f=244 Hz	f=295 Hz
		
	F=328 Hz	F=349
		
	F=354 Hz	F=440 Hz
		
Mod 3, f=631 Hz	f=556 Hz	
		
Mod 4, f=731 Hz	f=714 Hz	
		

Activitatea 2.1.3.: Elaborarea setului de caracteristici structurale și geometrice ale lemnului utilizat pentru viorile obișnuite și cele pentru modelele demonstrative (Gliga Instrumente Muzicale) (100% gradul de îndeplinire a obiectivului)

Pentru viorile vechi/de patrimoniu, setul de caracteristici structurale și geometrice au fost prezentate în secțiunea 1 din cadrul Act. 2.1.1 Pe lângă datele cunoscute în literatura de specialitate privind descriptorii anatomici ai lemnului de molid de rezonanță, în această etapă s-a realizat o analiză mult mai sensibilă a acestor descriptorii în funcție de cele patru clase de calitate anatomică a lemnului de molid, respectiv de paltin (clasa A, B, C, D) din care s-au construit ulterior tipurile de viori demonstrative. De asemenea, au fost determinați și parametrii de culoare ai lemnului de molid, respectiv de paltin. Probele analizate au fost debitate sub formă de cuburi cu dimensiunea de 40x40x40 (mm³), câte șase din fiecare clasă, așa cum se poate observa în Figura 12, respectându-se principalele secțiuni ale lemnului.

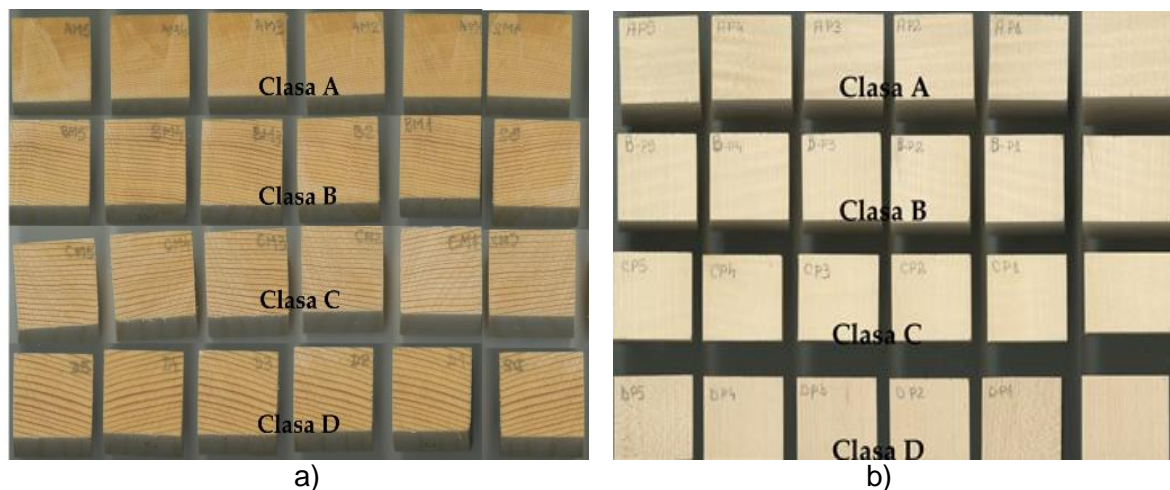


Figura 12. Tipuri de epruvete analizate pentru determinarea caracteristicilor anatomice, fizice, elastice și acustice ale lemnului: probe din lemn de molid; b) probe din lemn de paltin

Metode de investigare:

Densitatea lemnului de rezonanță în funcție de clasele de calitate anatomică

În ceea ce privește densitatea lemnului, aceasta a fost determinată cu ajutorul analizorului de densitate cu raze X, DPX300 din dotarea Laboratorului L5 al Centrului de cercetare - Tehnologii inovative și produse avansate în industria lemnului al ICD - Universitatea Transilvania din Brașov. Probele au fost cântărite și testate automat de dispozitivele echipamentului, după care fiecare specimen a fost introdus în trenul dispozitivului cu raze X, unde echipamentul a măsurat profilul densității folosind fluxul de raze X.

Culoarea lemnului de rezonanță

Scopul măsurării culorii lemnului a fost de a verifica corelațiile dintre culoarea lemnului și proprietățile acustice/elastice pentru fiecare clasă de calitate a lemnului de rezonanță. Măsurătorile de culoare au fost efectuate pe secțiunea longitudinală – radială a probelor, datorită modului de utilizare a semifabricatelor în construcția plăcilor de vioară sau chitară. Culoarea lemnului este afectată de caracteristicile fizice și rugozitatea suprafeței [16 - 20]. Pentru cuantificarea culorii s-a optat pentru spațiul cromatic CIELab, descris de următoarele coordonate: L^* reprezintă luminozitatea măsurată în procente (%); a^* reprezintă gradul de roșu, dacă valoarea indicată este pozitivă (+) sau gradul de verde, dacă valoarea indicată este negativă (-); și b^* reprezintă gradul de galben dacă valoarea indicată este pozitivă (+) sau gradul de albastru dacă valoarea indicată este negativă (-) (Hunt, 1998), fiind măsurată cu colorimetrul portabil CR-400 (Konica-Minolta 2007) din dotarea Facultății de Silvicultură și Exploatarea Forestiere - Unitbv, în trei puncte pe secțiunea radială a eșantioanelor.

Determinarea vitezelor de propagare a sunetelor în lemn

Evaluarea nedistructivă cu ultrasunete (US) realizată de partenerul P1 (INCDFT Iasi) în Laboratorul de Incercări Nedistructive, a constat în aplicarea undelor elastice pe probele din lemn (1) și analizarea interacțiunii dintre probele de material și câmp de unde [26, 29, 30]. Senzorii de ultrasunete au fost conectați la un echipament de recepție a impulsurilor 5073PR Pulse Receiver–Panametrics. Vizualizarea semnalului și măsurarea timpului de propagare au fost efectuate cu osciloscopul digital Le Croy Wave Run-ner 64Xi cu o frecvență de eșantionare de 10GS/s. Probele au fost marcate pentru a identifica poziția centrului traductorului de ultrasunete a punctelor de măsurare corespunzătoare a două fețe opuse și pentru a trasa harta distribuției vitezelor pe fiecare pereche de fețe inspectate [31- 34]. Măsurarea cu ultrasunete a fost efectuată pe o rețea de 8x8 mm² la punctele de intersecție a rețelei, astfel încât să includă cât mai multe inele de creștere anuale pentru a crește precizia determinărilor. Suma totală a punctelor de măsurare pentru fiecare secțiune s-a ridicat la 10 măsurători. Măsurătorile au fost efectuate la o temperatură de 24 ° C și o umiditate de 65%.

Rezultate și interpretări

Buletinele de măsurători și analiza statistică realizată în cadrul acestei activități sunt prezentate pe larg în anexa 1 și 2. În Tabelele 7 și 8 sunt prezentate valorile parametrilor acustici și elastici ai lemnului de rezonanță – molid/paltin.

Tabelul 7. Valorile parametrilor acustici și elastici ai lemnului de molid determinați prin metoda ultrasunetelor

Tipul variabilelor		Clasa de calitate molid / Valori medii			
		A	B	C	D
Densitatea (kg/m ³)	ρ	408.60	408.07	418.38	410.47
Viteza sunetului în lemn (m/s)	V_{LL}	5005.74	4856.55	4688.94	4283.40
	V_{RR}	1703.27	1594.62	1660.39	1687.40
	V_{TT}	1374.57	1227.63	1296.72	1409.18
Rapoartele vitezelor (gradul de anizotropie)	V_{LL}/V_{RR}	2.93	3.04	2.82	2.53
	V_{LL}/V_{TT}	3.64	3.95	3.61	3.03
	V_{RR}/V_{TT}	1.23	1.29	1.28	1.19
Modulul de elasticitate al lui Young (MPa)	E_L	10250.58	9421.53	9595.21	7011.00
	E_R	1193.65	993.40	1153.88	1221.37
	E_T	797.77	564.87	707.97	839.00
Modulul longitudinal specific de elasticitate (GPa*g ⁻¹ *cm ³)	E_L/ρ	25.09	23.09	22.93	17.08
	E_R/ρ	2.92	2.43	2.76	2.98
	E_T/ρ	3.36	3.01	3.10	3.43
Modul de forfecare (MPa)	G_{RT}	781.05	599.95	711.80	670.03
	G_{LR}	1007.50	759.28	899.97	1030.85
	G_{LT}	937.12	735.15	898.57	845.08
Modulul specific de forfecare a elasticității (GPa*g ⁻¹ *cm ³)	G_{RT}/ρ	1.91	1.47	1.70	1.63
	G_{LR}/ρ	2.47	1.86	2.15	2.51
	G_{LT}/ρ	2.29	1.80	2.15	2.06
Coeficientul lui Poisson	ν_{LT}	0.46	0.47	0.46	0.44
	ν_{LR}	0.43	0.44	0.43	0.40
	ν_{RT}	-0.38	-0.29	-0.33	-0.59

Tabelul 8. Parametrii acustici și elastici ai lemnului de paltin de rezonanță determinați prin metoda ultrasunetelor

Tipul variabilelor	Simbol	Clasa de calitate a lemnului de paltin de rezonanță/ Valori medii			
		A	B	C	D
Densitatea (kg/m ³)	ρ	610.28	600.70	591.97	624.41
Viteza sunetului în lemn (m/s)	V_{LL}	4238	3820	3750	3925
	V_{RR}	1773	1896	1866	1808
	V_{TT}	1326	1392	1360	1359
Rapoartele vitezelor	V_{LL}/V_{RR}	2.39	2.015	2.009	2.17
	V_{LL}/V_{TT}	3.19	2.74	2.75	2.88
	V_{RR}/V_{TT}	1.33	1.36	1.37	1.33
Modulul de elasticitate al lui Young (MPa)	E_L	10968	8775	8359	9626
	E_R	1920	2030	2044	2044
	E_T	1074	1164	1096	1157
Modulul specific de elasticitate (GPa*g ⁻¹ *cm ³)	E_L/ρ	17.97	14.60	14.12	15.41
	E_R/ρ	3.14	3.38	3.45	3.27
	E_T/ρ	1.76	1.93	1.85	1.85
Modul de forfecare (MPa)	G_{RT}	1259	1648	1560	1385
	G_{LR}	1371.6	1629	1544	1515
	G_{LT}	1061	1200	1129	1130.4
Modulul specific de forfecare (GPa*g ⁻¹ *cm ³)	G_{RT}/ρ	2.064	2.74	2.63	2.22
	G_{LR}/ρ	2.24	2.71	2.60	2.42
	G_{LT}/ρ	1.74	1.99	1.90	1.81
Coeficientul lui Poisson	ν_{LT}	0.445	0.423	0.422	0.431
	ν_{LR}	0.394	0.334	0.331	0.364
	ν_{RT}	0.14	0.085	0.0716	0.167

Rezultatele obținute prin metoda ultrasunetelor au evidențiat diferențele sensibile ale proprietăților acustice și elastice între clasele de calitate anatomică a lemnului. Se observă o tendință de creștere a mărimii nuanței de roșu (a*) și de temperare a nuanței de galben (b*) pe măsură ce inelele sunt mai late. În concluzie, se poate aprecia că lemnul de paltin cu fibră creață

deasă este mai întunecat și are un grad mai mare de roșu și de galben în compoziția culorii (Figura 13).

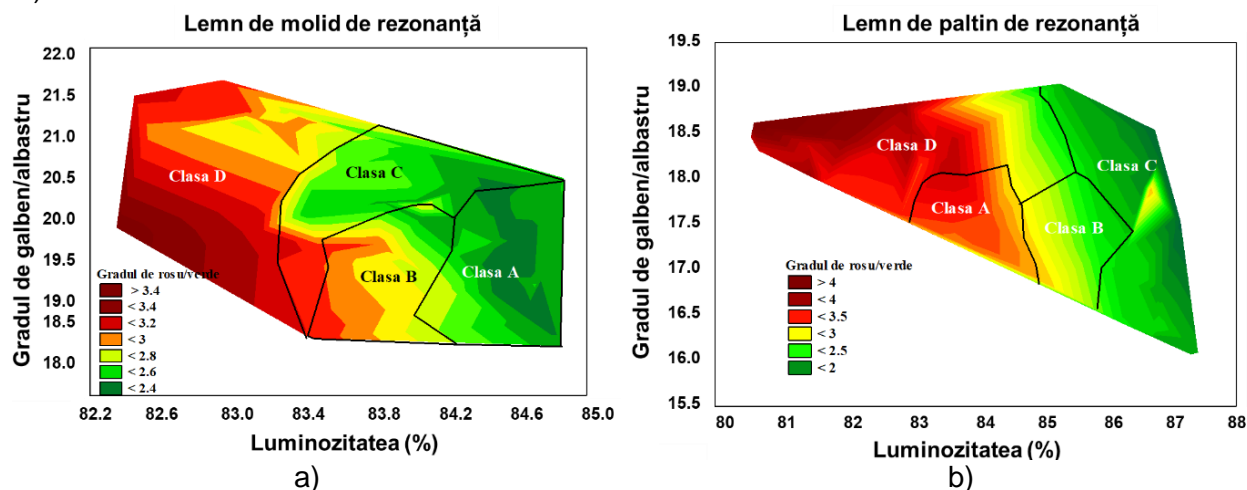


Figura 13. Corelația dintre gradul de strălucire a culorii, gradul de galben și clasa de calitate: a) lemnul de molid; b) lemnul de paltin

Diseminare: Rezultatele au fost prezentate și publicate detaliat în articole științifice și prezentate la simpozioane științifice:

- Dinulică, F.; Stanciu, M.D.; Savin, A. Correlation between Anatomical Grading and Acoustic–Elastic Properties of Resonant Spruce Wood Used for Musical Instruments. *Forests* 2021, 12, 1122. <https://doi.org/10.3390/f12081122>;
- Stanciu, M.D., Gliga, V. G., Georgescu, S.V., Savin, A., G. Dobrescu, G. Non-Destructive Determination of the Elastic and Acoustic Properties of Resonant Wood Used in the Manufacture of Violins, *The International Conference Modern Technologies in Industrial Engineering ModTech2021*, 23 – 26.06.2021, online, <https://modtech.ro/conference/book-of-abstracts.php#gsc.tab=0>
- Dobrescu G., Steigman R., Dandu I, Cârstea Cătălin, Stanciu M.D, Savin A., Mechanical non-destructive determination of the elastic properties of resonance wood, the 5th Edition of Innovation and Creative Education Fair for Youth ICE-USV, Universitatea din Suceava, 28.05.2021 (premiată cu medalia de argint).
- Lucrare de disertație stud. Dandu Ionel, îndrumător științific de Stanciu M.D., "Proprietăți fizice, mecanice și dinamice ale molidului de rezonanță", Facultatea de Inginerie Mecanică, Programul de master Simulare și Testare în Inginerie Mecanică, promoția 2021, Universitatea Transilvania din Brașov.
- N Iftimie, A Savin, R Steigmann, GS Dobrescu. 2021. Underground Pipeline Identification into a Non-Destructive Case Study Based on Ground-Penetrating Radar Imaging. *Remote Sensing*, 13(17), p.3494.

Act. 2.2. Realizarea de modele experimentale de viori cu caracteristici structurale, geometrice și tehnologice diferite (clase de grosimi diferite și clase de calitate structurală diferită)

Activitatea 2.2.1.: Elaborarea modelelor scalabile/demonstrative din punct de vedere geometric și structural pentru realizarea lor tehnologică (100% gradul de îndeplinire a obiectivului)

Activitatea 2.2.2.: Realizarea tehnică a modelelor demonstrative din punct de vedere geometric și structural conform specificațiilor (100% gradul de îndeplinire a obiectivului)

Pentru realizarea acestei activități, cele două subactivități prezentate mai sus au fost abordate dialectic întrucât, modelele scalabile și modelele fizice au fost analizate, realizate prin colaborarea directă cu agentul economic - partenerul economic P2 (S.C. Gliga Instrumente Muzicale S.A.) care realizează în etape succesive, plăcile din lemn de molid și paltin, apoi corpurile de vioară fără gât, apoi corpurile de vioară cu gât și în final instrumentele muzicale ca ansamblu

cu corzi, aparținând celor patru clase de calitate anatomică a lemnului, așa cum au fost definite și identificate macrostructural în activitățile anterioare: A (maestro), B (profesional), C (student), D (școlar), din cele șapte categorii diferite de grosimi: astfel, s-a notat cu **00** grosimea nominală, utilizată pentru construcția actuală a violorilor la fabrica de instrumente muzicale S.C. Gliga Instrumente Muzicale S.A.. Modelul de grosime utilizat implică grosimea plăcilor prezentată în Figura 14.

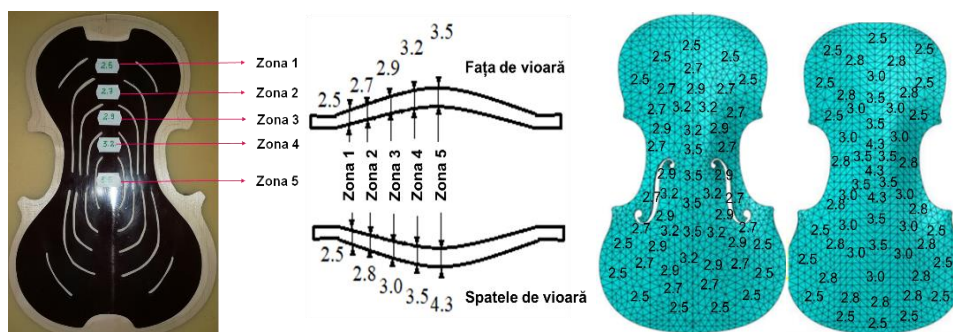


Figura 14. Topologia plăcilor din construcția violii

Codificarea plăcilor se bazează pe următorul principiu: prima litera reprezintă clasa de calitate structurală (A, B, C, D), următorul cod reprezintă tipul de grosime (0 – grosimea nominală utilizată în producția actuală de viori; P – grosimea majorată; M – grosime nominală micșorată); cifrele reprezintă zecimile cu care s-au modificat grosimea nominală (2; 4; 6 – reprezintă cantitatea 0.2; 0.4; 0.6 mm micșorat sau adăugat la grosimea nominală); litera F sau C – reprezintă tipul de structură (F – placa față molid, iar C – corpul de vioară); cifra 1 sau 2 reprezintă numărul probei de același tip, fiind analizate câte două probe din fiecare categorie. În Tabelul 9 sunt prezentate valorile grosimilor pe categorii de structuri, valorile din tabel fiind corelate cu topologia plăcilor de față și spate prezentată în Figura 14. Astfel, structurile au fost analizate progresiv, pornind de la plăcile de vioară ca structuri individuale, fiind investigat un număr total de 112 plăci de vioară (56 din lemn de molid și 56 din lemn de paltin), a căror caracteristici geometrice au fost descrise mai sus, precum și în Tabelul 9. Ulterior, aceste plăci au fost integrate în corpurile de vioară, fiind împerechiate fețele cu spatele, rezultând un număr de 56 corpuri din clasele A, B, C și D (Figura 15).

Tabelul 9. Profilul grosimilor plăcilor de vioară studiate

Tipul de modificare	Codul grosimilor	Codul clasei de calitate anatomică a lemnului	Grosimile plăcilor de față din lemn de molid (mm)					Grosimile plăcilor de spate din lemn de paltin (mm)				
			Zona					Zona				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Micșorare grosime	M6	A B C D	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	1.9	2.2	2.4	2.9	3.7
	M4		2.1	2.3	2.5	2.8	3.1	2.1	2.4	2.6	3.1	3.9
	M2		2.3	2.5	2.7	3.0	3.3	2.3	2.6	2.8	3.3	4.1
Referința	00		2.5	2.7	2.9	3.2	3.5	2.5	2.8	3.0	3.5	4.3
Majorare grosime	P2		2.7	2.9	3.1	3.4	3.7	2.7	3.0	3.2	3.7	4.5
	P4		2.9	3.1	3.3	3.6	3.9	2.9	3.2	3.4	3.9	4.7
	P6	3.1	3.3	3.5	3.8	4.1	3.1	3.4	3.6	4.1	4.9	

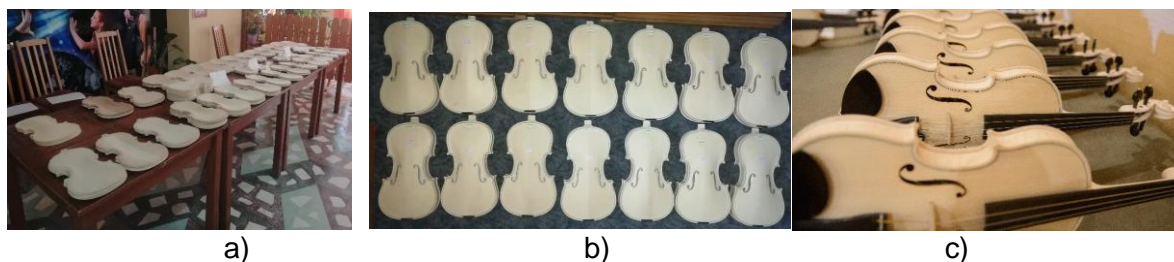


Figura 15. Tipurile de structuri testate dinamic: a) plăci individuale de vioară (față/spate); b) corpuri de vioară fără gât (plăcile asamblate); c) corpuri de vioară cu gât.

Astfel, a fost studiat comportamentul dinamic al corpurilor fără gât și cu gât, determinându-se compoziția spectrală a frecvențelor, frecvențele dominante și factorul de calitate. Se poate aprecia că, pe parcursul etapei II, structurile aflate în etape tehnologice diferite (plăci individuale,

corpuri fără gât și corpuri cu gât, iar în final corpuri cu corzi) au făcut drumul Reghin – Brașov – Reghin pentru studiul lor dinamic și acustic, așa cum este reprezentat în Figura 16.

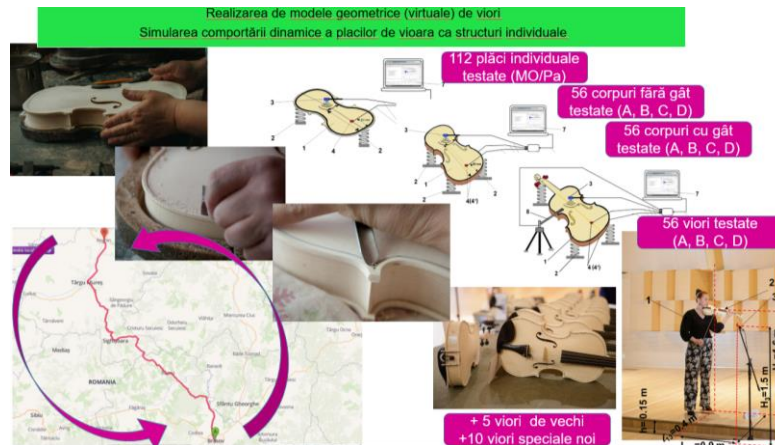


Figura 16. De la tehnologie la testarea modelelor demonstrative – circuitul Reghin - Brasov – Reghin

Act. 2.3. Dezvoltarea metodei experimentale pentru analiza dinamică a modelelor demonstrative comparativ cu modelele de patrimoniu

Activitatea 2.3.1. Elaborarea metodei experimentale pentru analiza dinamica și testarea modelelor demonstrative și de patrimoniu, prelucrarea și interpretarea rezultatelor în concordanță cu caracteristicile structurale și elastice (100% gradul de îndeplinire a obiectivului)

Activitatea 2.3.2. Determinarea prin metode nedistructive a caracteristicilor acustice ale modelelor demonstrative și a celor de patrimoniu

În cadrul acestei subactivități, metoda de studiu a pornit de la procedeul folosit de vechii lutieri care loveau ușor placa în zona cu cea mai mare suprafață, ascultau sunetul produs de aceasta și apoi stabileau prelucrări suplimentare ale plăcii pentru obținerea unei anumite frecvențe proprii [35]. Astfel, metoda de testare folosită în această cercetare a constat în analiza dinamică pentru a determina răspunsul în frecvență al violoncelului în comparație cu violoncelurile noi. Excitația structurală a constat în lovirea corpului violoncelului cu ciocanul de impact (Figura 17, a). În prima etapă, răspunsul modal al structurii a fost evaluat prin lovirea corpului violoncelului în diferite puncte de pe suprafață. Constatând că răspunsul în frecvență este aproximativ identic în ceea ce privește frecvențele de rezonanță, indiferent de locul de excitație, s-a stabilit ca punctul de lovire a violoncelului să fie la o distanță de 150 mm de piciorul cordarului, în partea înaltă a violoncelului (Figura 17, b).

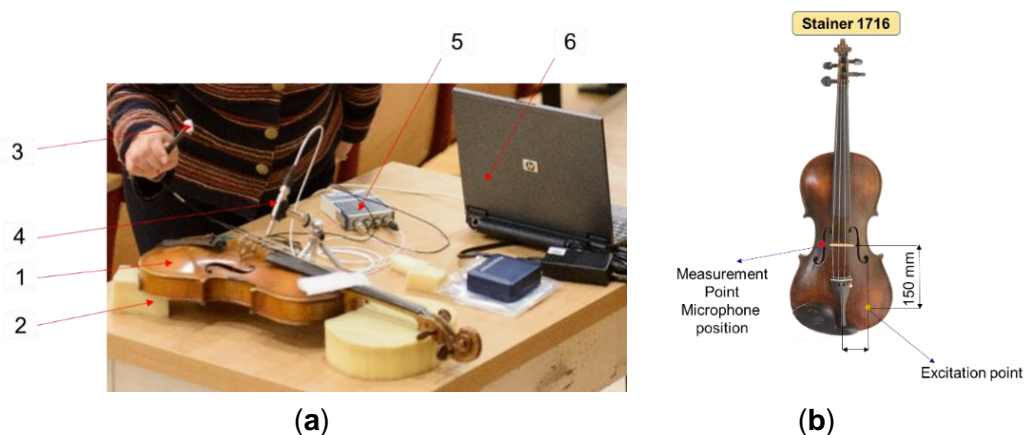


Figure 17. Violin testing: **(a)** excitation with the impact hammer; **(b)** the positions of excitation and measurement points. Legend: 1 – tested violin; 2 – elastic support; 3 – impact hammer for light structures; 4 – microphone; 5 – data acquisition board; 6 – laptop (software).

Pentru aceasta, fiecare vioară a fost sprijinită pe elemente elastice, simulând astfel o structură liberă. Apoi, corpul violoncelului a fost excitat folosind un ciocan de impact B&K 8204, iar semnalul de

ieșire a fost captat folosind un microfon tip PCB 130E20 ICP (PCB Piezotronics, New York, SUA). În aceste investigații s-a ales ca microfonul să fie amplasat deasupra orificiului f , la o înălțime de 150 mm, pe partea opusă zonei excitate. Înregistrările se efectuează în aceeași poziție față de echipament și instrument (Figura 16, b). Semnalele generate au fost transmise printr-un dispozitiv de condiționare a semnalului către o placă dinamică de achiziție a datelor NI USB-9233 produsă de National Instruments (Austin, SUA), conectată la un calculator. Semnalul a fost vizualizat folosind o aplicație specială dezvoltată în NI-LabVIEW ©, iar datele grafice au fost procesate folosind programul MATLAB ©. Înainte de fiecare înregistrare a sunetelor emise de vioara testată, s-a înregistrat zgomotul de fond din camera de testare. În etapa de prelucrare a datelor a fost prevăzut un filtru de zgomot în programul de procesare a semnalului, astfel încât să rezulte doar semnalele produse de vioară. Procedura a fost prezentată în cercetări anterioare [17 – 19]. După analiza în timp și frecvență a semnalelor, pe baza curbei exponențiale a amortizării și a compoziției spectrale a semnalului pentru fiecare vioară, valorile frecvențelor proprii ale viorilor testate, factorul de calitate și analiza în au fost extrase timpul, acestea fiind corelate cu aspecte ale structurii lemnului și geometriei viorii. Pentru fiecare vioară au fost luate semnalele de la două probe succesive. Factorul de calitate Q s-a calculat ca raport dintre frecvența de rezonanță și variația frecvenței la 0,707 din amplitudinea semnalului [40, 41].

Rezultate și interpretări

a) Viori vechi/de patrimoniu

Testarea dinamică a viorilor cu ciocanul de impact a rezultat atât în graficele de amortizare în timp a semnalului, cât și în analiza frecvenței acestora. Se poate observa că răspunsul modal al viorilor fluctuează de la o vioară la alta, dar în intervalul de joasă frecvență (Signature mode) sunt foarte distincte - cu vârfuri și jgheaburi, aceste aspecte fiind evidențiate de [3, 6, 9, 11, 34, 38] chiar dacă metoda de excitație a corpului viorii a fost diferită. Pentru fiecare vioară, au fost extrase valorile proprii specifice viorii (primele cinci valori) care au fost apoi analizate comparativ (Buletinul de măsurători 3). Factorul de calitate a fost calculat pe baza datelor extrase din analiza frecvenței pentru fiecare valoare.

Comparația valorilor proprii pentru modurile de cavitate și modurile de încovoiere a corpului sunt prezentate în Figura 18. Cea mai mică frecvență naturală este înregistrată în cazul viorilor noi iar cea mai înaltă este înregistrată la viorile Babos 1920, Klotz 1747 și Copy Stainer. Primul mod este modul A0, cunoscut sub numele de modul de vibrație al aerului din corpul viorii. În cazul modului 2, în jurul frecvenței de 400 Hz, se formează modul de vibrație romboidal (cunoscut în literatura de specialitate [6 – 9] ca modul CBR). Astfel, se constată că cele mai apropiate valori ale frecvenței modului CBR sunt înregistrate pentru vioara Stainer 1716 și copy Stainer (frecvență 389 Hz în ambele cazuri). Vioara Gliga 1 a înregistrat o frecvență de 399 Hz, care este aproape egală cu frecvența specifică CBR (Figura 18, a). Pentru celelalte viori, modul CBR are valori mai mari, interval între 410 – 440 Hz, după cum se poate observa în Figura 18, b. Pentru următorul mod de rezonanță (B1-), valorile proprii sunt în intervalul 430 Hz - 490 Hz, cea mai mică valoare de 430 Hz aduce prezentată de vioara Gliga 2, urmată de vioara copie Stainer (460 Hz). Viorile Leeb 1742, Gliga 1, Gliga 3, Unbranded, Klotz 1747 și Babos 1920 au înregistrat valori foarte apropiate ale modurilor (B1-) (Figura 18, c). În cazul modului de încovoiere B1+, valorile proprii sunt cuprinse între 523 Hz și 604 Hz, așa cum se poate observa în Figura 18, d. Singura vioară care nu are această armonică este vioara Gliga 1, 2020. Viorile Leeb, Klotz și Stainer prezintă valori apropiate ale modului B1 +, variind de la 550 la 600 Hz. Conform [11, 24, 47] viorile cu o frecvență de B1 + mai mică de 510 Hz, se caracterizează printr-un sunet moale, întunecat, iar cele cu o frecvență mai mare de 550 Hz, au un sunet luminos spre aspru. Astfel, viorile Babos 1920, Unbranded, Copy Stainer, Gliga 2 și Gliga 3 înregistrează frecvența modului B1 + în intervalul 510 - 550 Hz, în timp ce Stainer 1716, Leeb 1742, Klotz 1747 au o frecvență de peste 550 Hz, conform [11, 24, 47, 48]. În cazul modului 5, există o împărțire a viorilor în două grupe de valori: viorile Babos, toate viorile noi, Klotz 1747 și Leeb 1742 înregistrează frecvența în intervalul 660 - 690 Hz, comparativ cu viorile Stainer 1716, Stainer copy și Unbranded care formează al doilea grup de valori în intervalul 820 - 860 Hz. Valoarea lui Q pentru modul de rezonanță A0 este cea mai mică, pentru toate viorile testate, variind de la 7 la 25, fiind în bună concordanță cu literatura de specialitate [34 - 38], care raportează ca valoare medie pentru viorile testate de 14.5. În acest studiu, cea mai mică valoare este înregistrată pentru vioara Copy Stainer și Stainer 1716. În studiile de pionierat pe viorile vechi cremoneze [47], Saunders a identificat o valoare de 20 pentru Q pentru rezonanța principală a aerului, A0. În comparație cu această valoare raportată de [47], în studiul de față, viorile Klotz 1747 și Gliga 2 au un factor Q de 21. Pentru modurile B1- și B1 +, [37] raportează valori ale factorului Q de 32 (B1-) și 40 (B1 +), respectiv. În acest studiu, pentru modul B1-, viorile Stainer

1716, copia Stainer și Gliga 2 înregistrează un factor de calitate de 30, respectiv 32 și 33, iar celelalte viori au un factor Q mai mic, între 20–28. Pentru modul B1+, viorile Klotz 1747 și Babos 1920 prezintă valori ale factorului de calitate apropiate de valoarea raportată de [37], în timp ce celelalte viori se încadrează în valori mai mici.

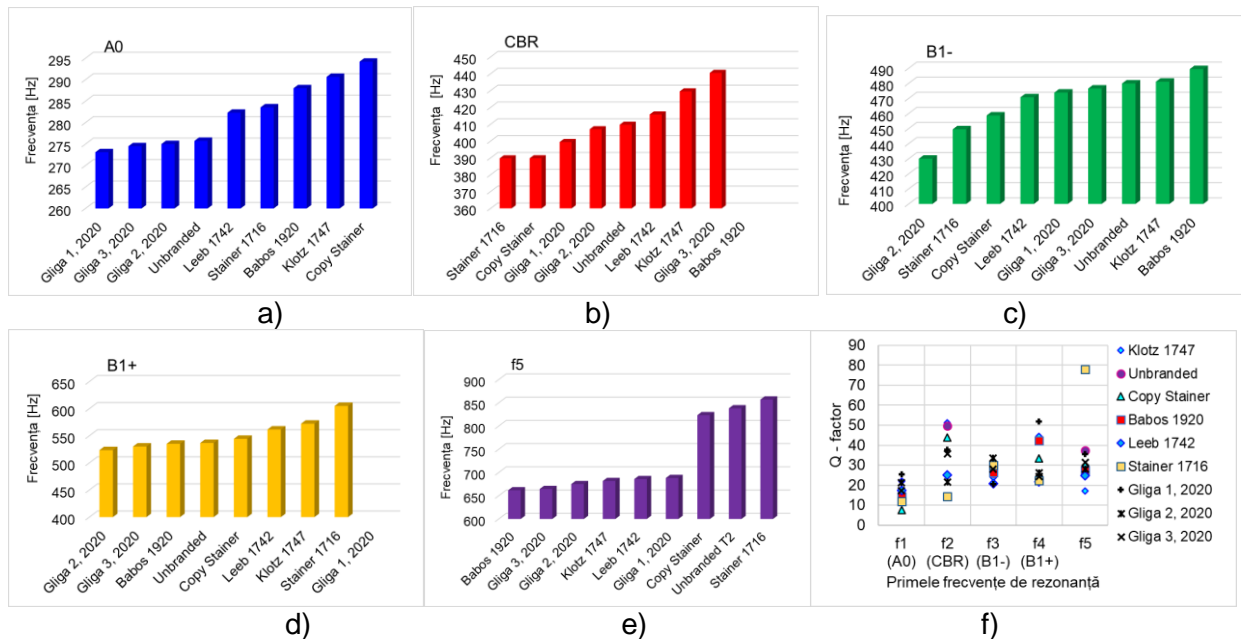


Figura 18. Variația parametrilor dinamici în funcție de tipul viorilor testate

a) Viori noi - Corpul de vioară fără gât

După testarea plăcilor de vioară ca structuri individuale, acestea au fost trimise la fabrică pentru a fi integrate în corpul de vioară, alături de placa de spate și toate celelalte elemente constructive. Sau obținut în următoarea etapă tehnologică, corpuri de vioară fără gât care au fost analizate în mod similar pentru a identifica modificările răspunsului dinamic al plăcilor în nouă structură (noi condiții de contur a plăcilor, decuparea găurilor acustice f-uri, atașarea barei bas și a popicului). Aplicând transformata Fourier, s-au obținut pentru fiecare structură analizată (în total 56 corpuri de vioară), răspunsul în timp și în frecvență din care s-au extras modurile specifice viorii (signature modes – engl.) conform studiilor evidențiate de Bissinger, 2008.

Valorile frecvenței fundamentale ale corpurilor de vioară fără gât, în funcție de clasa de calitate structurală și grosimea plăcii, prezentate comparativ în Figura 19, a. Se poate observa că valorile au tendință crescătoare cu creșterea grosimii plăcilor, precum și cu scăderea clasei de calitate a lemnului. Comparativ cu studiile din literatura, Gough, 2015, prezintă valoarea de 243 Hz determinată experimental pe corpul de vioară. Din Figura 19, b reiese faptul că viorile maestro, chiar și în primele etape ale procesului tehnologic, prezintă cele mai mici variații ale frecvenței de rezonanță în raport cu grosimea plăcilor. În schimb, cele mai mari variații se înregistrează pentru corpurile având în structura lor lemn din clasele C și D. Gough, 2015 menționează că în jurul valorii de 820 Hz, plăcile de față și spate vibrează în aceeași fază, dar cu amplitudini diferite, placa de față contribuind mai mult în schimbarea volumului din interiorul corpului de vioară. Ca mod de vibrație, pentru această frecvență, se obține un mod de încovoiere cu trei unde longitudinale staționare. În cazul plăcilor individuale din lemn de molid, în cadrul clasei de calitate A, atât primele frecvențe proprii cât și frecvențele dominante nu sunt influențate semnificativ statistic de modificarea grosimii plăcii, spre deosebire de plăcile din lemn de paltin cu fibră foarte creată, care reacționează semnificativ la modificarea grosimii plăcii în cazul primei frecvenței de rezonanță. Astfel, molidul reacționează diferit față de paltin la modificarea grosimii plăcii: dacă la molid prima frecvență proprie este practic direct proporțională cu quantumul modificării grosimii, la paltin tendința este de tip parabolic, cu vârful parabolei în dreptul grosimii nominale a plăcii.

În cazul corpurilor de vioară, s-a constatat că, din punct de vedere statistic, majoritatea variabilelor au distribuții neconforme cu legea normală, fapt care implică aplicarea mijloacelor statisticii neparametrice pentru identificarea influențelor. Astfel, aplicându-se testul Mann-Whitney, s-a constatat că primul mod de vibrație (A0 – modul de vibrație al cavității (aerului)/engl. cavity mode) reacționează puternic la modificarea grosimii plăcii cu toate componentele corpului viorii. În schimb, modul rhomboidal (CBR) este influențat de atașarea gâtului de vioară și formarea structurii complexe Helmholtz. Celelalte moduri B1+, B1-, nu sunt influențate de elementele constructive

adăugite. Însă, în cazul frecvenței dominante a plăcii de spate incorporate în structura vioii, se constată influența gîtului de vioară, gîtul influențând mărimea acestui parametru.

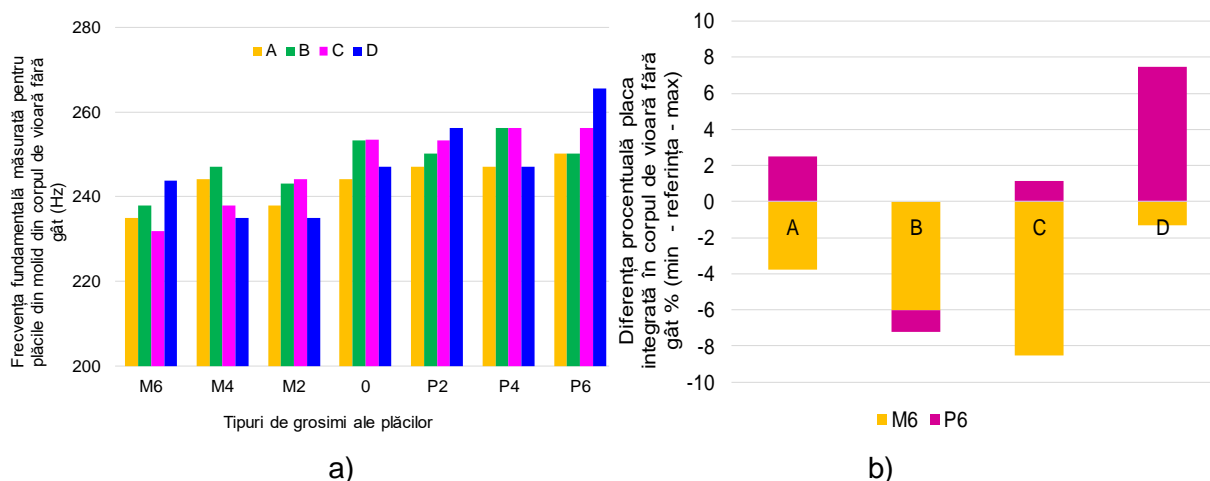


Figura 19. a) Variația frecvenței fundamentale a corpului de vioară (semnale achiziționate de pe placa de molid/fața vioii); b) diferența procentuală dintre valorile frecvenței de rezonanță a corpului de vioară, cu grosimea maximă și cea nominală (reprezentare cu roz), respectiv a plăcilor cu grosimea minimă și cea nominală (reprezentată cu galben)

Activitatea 2.3.2.: Realizarea standului experimental conform metodei experimentale și asigurarea suportului tehnic pentru etapa experimentală (100% gradul de îndeplinire a obiectivului)

S-au elaborate două tipuri de metode experimentale – una prin care sunt investigate caracteristicile structurale – dinamice, iar cealaltă prin care sunt înregistrate semnalele acustice produse prin excitarea vioilor chiar de către un violinist. Standul experimental pentru determinarea parametrilor dinamici este portabil fiind prezentat în cadrul raportului științific al activității 2.3.1. Al doilea metodă care va constitui și punctul de pornire al etapei 3/2022, constă în trei componente: metoda de testare acustică (alegerea fragmentelor muzicale astfel încât să fie excitate toate corzile, stabilirea protocolului experimental și a echipamentelor de înregistrare și prelucrare a datelor); elaborarea chestionarului privind criteriile de evaluare a calității acustice a vioilor (în trei faze distincte); evaluarea calității acustice a vioilor de către muzicieni/instrumentiști.

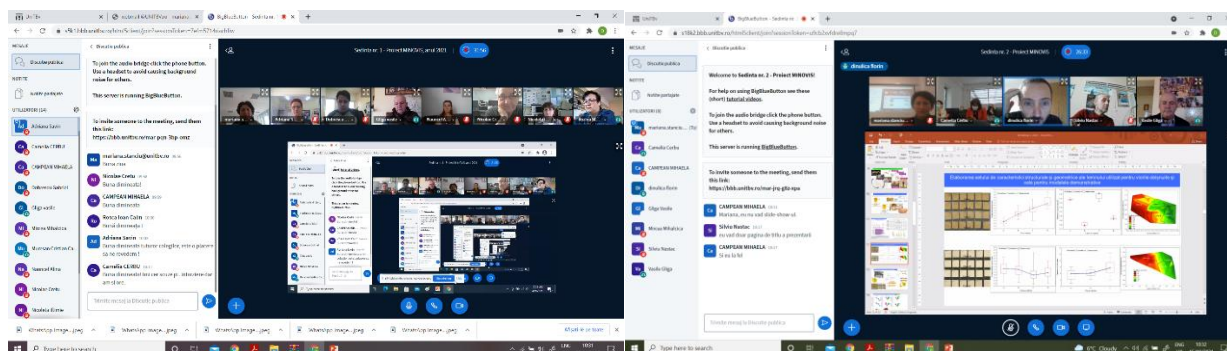
Diseminare: Rezultatele au fost prezentate și publicate detaliat în articole științifice și prezentate la simpozioane științifice sau în lucrări de disertație:

- Mihalciță, M., Stanciu, M.D., Nastac S.M., Dinulică F., Nauncef A.M., Roșca I.C., Savin A. Signature Modes of Old and New Violins with Symmetric Anatomical Wood Structure, Applied Science, in curs de publicare.
- Mihălcică M.; Nauncef A.M.; Gliga V., Câmpean M., Stanciu M.D. Acoustic Evaluation Of Violins With Modified Geometric Parameters, COMEC 2021, Brașov, ROMANIA, 21-23 October 2021.
- Stanciu M.D., Mihălcică M., Roșca I.C., Năstac S., Guțăș V., Identification of frequencies spectrum of old and new violins using dynamic analysis, COMEC 2021, Brașov, ROMANIA, 21-23 October 2021
- Stanciu M.D., Nauncef A.M., Crețu C., Câmpean M., Năstac S., Mureșan C. Music and Engineering - a new paradigm of arts and engineering education, Conferința internațională "Contemporary challenges in artistic education", 11-13 november 2021, organizată de Universitatea Națională de Arte „George Enescu” Iași.
- Nauncef A.M., Mihălcică M., Roșca I.C., Gliga G.V., Marc R. Interdisciplinary approach to assessing the acoustic quality of violins, Conferința internațională "Contemporary challenges in artistic education", 11-13 november 2021, organizată de Universitatea Națională de Arte „George Enescu” Iași.

Act. 2.4. Activități suport - Diseminarea pe scară largă prin comunicarea și publicarea națională sau internațională a rezultatelor

Rezultate Etapa II/2021 au fost prezentate și în cadrul raportului, la fiecare activitate realizată, iar mai jos sunt prezentate sumativ:

- ✓ **60 modele demonstrative** (viori) cu plăci superioare și posterioare diferite ca grosime
- ✓ 2 Set de date (spectru de frecvențe, factori de amortizare) pentru viorile demonstrative și de patrimoniu;
- ✓ 2 Programe personalizate dezvoltate în MatLab pentru testarea viorii;
- ✓ Raport de analiză comparativă a viorilor demonstrative cu cele de patrimoniu;
- ✓ 1 Studiu comparativ între modelele demonstrative și cele de patrimoniu cu privire la caracteristicile acustice.
- ✓ **Raportul științific și tehnic al fazei II**
- ✓ **9 participări la conferințe internaționale;**
- ✓ **4 articole ISI** (Materials FI=3.623; Forests FI=2.634; Remote Sensing FI=4.848; Applied Sciences FI=2.679), capitole din teza de doctorat,
- ✓ **3 premii naționale**
- ✓ **1 lucrare de disertație**
- ✓ Actualizarea site-ului proiectului: <http://minovis.unitbv.ro/>
- ✓ **2 workshop-uri:** Workshop-ul 1/2021, online, în data de **09.04.2021** și workshop-ul 2/2021, hybrid, **15.10.2021**
- ✓ **Inițierea procedurilor de testare acustică a viorilor de patrimoniu și noi, la Filarmonica din Brașov**



Director de proiect

Conf. univ. dr. ing. Mariana Domnica STANCIU