

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Design de Mobilier şi Ingineria Lemnului

Anamaria AVRAM

**Utilizarea lemnului de Paulownia pentru consolidarea şi
refacerea geometriei panourilor de lemn deteriorat al
obiectelor de patrimoniu cultural**

**Application of Paulownia wood in the structural
reinforcement and geometric restoration of deteriorated
wooden panels in cultural heritage artifacts**

REZUMAT

Conducător ştiinţific

Prof.dr. ing. Aurel LUNGULEASA

BRAŞOV, 2025



CUPRINS

INTRODUCERE	5
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND UTILIZAREA LEMNULUI DE PAULOWNIA (<i>Paulownia spp.</i>) PENTRU CONSOLIDAREA PANOURILOR DETERIORATE ALE OBIECTELOR DE PATRIMONIU CULTURAL	7
1.1. Caracteristici şi proprietăţi generale ale lemnului, care au impact asupra calităţii produselor finite în aplicaţiile artistice, laice şi de cult	7
1.1.1. Durabilitatea lemnului - clasificarea şi evaluarea factorilor biotici şi abiotici care îi produc degradarea	7
1.1.2. Proprietăţile fizice şi mecanice ale lemnului care prezintă importanţă pentru tema de cercetare. Îmbunătăţiri aduse prin tratamente de ameliorare	10
1.2. Procedee privind intervenţiile asupra restaurării obiectelor culturale de patrimoniu cu suport din lemn, ținând cont de legislaţia patrimoniului şi de principiile de conservare	12
1.2.1. Tratamente prin impregnări aplicate suportului lemnos degradat, din obiectele de patrimoniu. Raportări privind impactul solvenţilor asupra proprietăţilor fizice ale lemnului	14
1.2.2. Consolidări prin completări cu material lemnos în cazul obiectelor sever deteriorate	14
1.3. Specii lemnoase utilizate în realizarea obiectelor de artă şi cult în Europa	15
1.5. Caracteristici ale lemnului de Paulownia (<i>Paulownia spp.</i>). Argumente privind posibilitatea utilizării pentru domeniul restaurării bunurilor culturale	16
CAPITOLUL 2. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	18
CAPITOLUL 3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND UTILIZAREA LEMNULUI DE PAULOWNIA PENTRU COMPLETĂRI ŞI CONSOLIDĂRI ALE BUNURILOR CULTURALE DE PATRIMONIU SEVER DETERIORATE, UTILIZÂND STANDARDE ŞI TEHNOLOGII DERIVATE DIN INGINERIA LEMNULUI	19
3.1. Caracterizarea macroscopică şi microscopică a celor două specii lemnoase: tei (<i>Tilia spp.</i>) şi Paulownia (<i>Paulownia spp.</i>)	20
3.1.1. Caracterizarea lemnului de tei (<i>Tilia spp.</i>). Analiza comparativă privind proprietăţile lemnului sănătos cu acela degradat de insecte xilofage	20
3.1.2. Caracterizarea lemnului de Paulownia (<i>Paulownia spp.</i>)	21
3.2. Studiu comparativ privind proprietăţile fizice şi mecanice ale lemnului de Paulownia (<i>Paulownia spp.</i>), tei (<i>Tilia spp.</i>) şi balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>)	21
3.2.1. Metodica determinărilor proprietăţilor fizice şi mecanice	22
3.2.2. Rezultate obţinute privind proprietăţile fizice	23

3.2.3. Rezultate obținute privind proprietățile mecanice	24
3.2.4. Concluzii	26
3.3. Observații privind comportamentul lemnului de tei (degradat și sănătos) și Paulownia sub acțiunea solvenților (apă- white spirit - acetonă)	26
3.3.1. Materiale, metodă și aparatură utilizată	27
3.3.2. Rezultate obținute pentru lemnul de tei degradat: absorbție și deformări apărute în timpul imersiei	29
3.3.4. Rezultate obținute pentru lemnul sănătos de tei (<i>Tilia spp.</i>) și Paulownia (<i>Paulownia spp.</i>): absorbție și deformări apărute în timpul imersiei	33
3.3.5. Concluzii	37
3.4. Rezistența la forfecare a adezivilor	37
3.4.1. Materiale, metodă și aparatură utilizată	38
3.4.2. Rezultate	39
3.4.4. Concluzii	39
3.5. Teste privind îmbătrânirea accelerată pentru panouri compozite	40
3.5.1. Materiale, metodă și aparatură utilizată	40
3.5.2. Rezultate	40
3.5.4. Concluzii	41
CAPITOLUL 4. STUDIU DE CAZ. PROPUNERE DE CONSOLIDARE CU LEMN DE PAULOWNIA A UNUI FRAGMENT DE ICONOSTAS	42
4.1. Istoricul fragmentului de Iconostas	42
4.2. Caracterizare fragment	42
4.3. Propunere completare cu material lemnos masiv - Paulownia	43
CAPITOLUL 5. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, DISEMINAREA REZULTATELOR, DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	45
5.1. Concluzii generale	45
5.2. Contribuții originale	46
5.3. Direcții viitoare de cercetare	48
5.4. Diseminarea rezultatelor	48
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	50

INTRODUCERE

Prezenta cercetare doreşte să vină în întâmpinarea domeniului restaurării obiectelor de artă cu suport lemnos şi să contribuie la obţinerea de soluţii alternative pentru alegerea unei specii lemnoase, cu proprietăţi şi calităţi apropiate de acelea ale lemnului constitutiv -aflat în suportul bunurilor culturale de patrimoniu, dar care au suferit deteriorări severe şi se impun completări cu lemn masiv a acelor părţi (fragmente) distruse/ pierdute, pentru a salva un obiect de artă.

Domeniul conservării bunurilor culturale, a operelor de artă cu suport din lemn, este unul diferit faţă de alte activităţi înrudite (cum ar fi meşteşugurile) prin faptul că scopul principal al conservării este de a păstra patrimoniul cultural, în opoziţie cu crearea de noi obiecte sau întreţinerea şi recondiţionarea lor în sens funcţional. Cercetarea structurii materiei operei de artă, a suportului din lemn, este definitorie în formarea unui conservator sau restaurator, prin înţelegerea proceselor care influenţează materialul. Aceasta este esenţială pentru analiza, în baza principiului cauză–efect, a metodelor şi tehnicilor utilizate, sau care urmează a fi aplicate în procesul de intervenţie. Orice intervenţie, indiferent de amploarea sa aparentă, nu se reduce la aplicarea unei metodologii ştiinţifice standardizate, ci implică, în mod necesar, stăpânirea tehnicilor fundamentale necesare alegerii celor mai adecvate soluţii de restaurare.

Multidisciplinaritatea ştiinţelor pot duce la investigaţii şi cercetări, care oferă argumente cu privire la vechimea bunului cultural, la materialele constitutive sau ulterior utilizate, infestări sau degradări biologice şi stabilirea naturii şi a cauzei care le-a produs. Poate cel mai important aspect este că, toate aceste informaţii constituie fundamentul elaborării unui proiect eficient de conservare. Scopul fiind de a limita sau chiar de a stopa degradarea evolutivă, prin înţelegerea comportamentului materialelor în timp. În acest context, considerăm că extinderea cercetărilor şi către domeniul ingineriei lemnului poate genera oportunităţi valoroase pentru o mai bună înţelegere a materialului lemnos, suport al operei de artă, afectat de diverşi factori de degradare. Totodată, această direcţie poate conduce la identificarea unor soluţii tehnice şi materiale alternative, menite să susţină intervenţiile de conservare, contribuind astfel la salvarea bunurilor de patrimoniu cultural.

Prezenta teză este dezvoltată pe două părţi: partea întâi, constă în Stadiul actual al cercetărilor în domeniul temei, care a stat la baza formării şi dezvoltării Scopului principal şi a Obiectivelor secundare şi Partea a doua, reprezintă Cercetările experimentale efectuate. Conţinutul tezei cuprinde un număr total de 166 de pagini plus Anexa 2, în care se regăsesc fişele tehnice cu materialele utilizate: solvenţi şi adezivi, preluate de la diverşi producători: CTS – producător de materiale pentru restaurare precum şi ale altor producători de reactivi.

Aşadar, teza este structurată pe 5 capitole, după cum urmează:

Capitolul 1, intitulat „Stadiul actual al cercetărilor în domeniul temei”, oferă o sinteză structurată a etapelor parcurse până în prezent în domeniul investigat, evidenţiind contribuţiile relevante, metodele de cercetare aplicate, precum şi limitele sau direcţiile insuficient explorate. Prin această analiză critică, s-a stabilit contextul în care se înscrie demersul actual, fiind argumentată atât

relevanţa temei, cât şi necesitatea aprofundării acesteia în cadrul cercetării propuse. Pentru înţelegerea acestui studiu au fost parcurse un număr de 158 de referinţe bibliografice.

Capitolul 2, intitulat „Obiectivele tezei de doctorat” prezintă scopul principal şi obiectivele specifice, pe baza cărora au fost dezvoltate cercetările experimentale realizate în teza de doctorat.

Capitolul 3 al lucrării, este dedicat cercetărilor experimentale şi s-au dezvoltat o serie de analize detaliate asupra comportamentului a două specii lemnoase – *tei* şi *Paulownia* – prin caracterizarea acestora. În cadrul studiului au fost investigate proprietăţile fizice şi mecanice ale celor două specii, precum şi ale lemnului de balsa, recunoscut pentru utilizarea sa în consolidarea obiectelor de patrimoniu cultural. De asemenea, a fost evaluată reacţia acestor materiale la acţiunea solvenţilor frecvent utilizaţi în tratamentele de restaurare, în special în procesele de consolidare şi antiseptizare. Cercetarea a inclus şi analiza comportamentului lemnului degradat, dar şi al celui folosit ca material de completare, în raport cu diverşi adezivi, înainte şi după aplicarea ciclurilor de îmbătrânire accelerată. Totodată au fost propuse noi abordări de încheiere a materialului lemnos sever deteriorat cu lemnul sănătos. Rezultatele obţinute au oferit date relevante privind compatibilitatea şi stabilitatea materialelor în contextul conservării bunurilor culturale.

Capitolul 4, este conceput ca un demers aplicativ, urmărindu-se valorificarea practică a materialului studiat şi a rezultatelor obţinute printr-un exerciţiu experimental desfăşurat în laboratorul de restaurare. Scopul principal a fost acela de a pune în aplicare completarea cu materialul lemnos propus şi cercetat şi de a observa în timp comportamentul structural al lemnului de *Paulownia* în raport cu ansamblu bunului cultural.

Capitolul 5, încheie teza de doctorat printr-o sinteză structurată a principalelor rezultate obţinute în urma cercetării, evidenţiind contribuţiile originale aduse domeniului. De asemenea, sunt prezentate modalităţile de valorificare practică a concluziilor formulate, alături de propuneri privind direcţii de cercetare viitoare, deschise de problematica investigată şi de perspectivele generate de această lucrare.

În ceea ce priveşte diseminarea rezultatelor acestei teze de doctorat, pe parcursul celor 4 ani de studii doctorale au fost publicate în total 6 lucrări ştiinţifice indexate ISI şi a fost înregistrat la OSIM un brevet de invenţie dezvoltat împreună cu colectivul de cercetare: dr. ing. Ionescu Constantin Ştefan – expert restaurator şi prof. dr. ing. Lunguleasa Aurel. De asemenea, au fost făcute prezentări cu susţineri publice pe subiecte din tema de cercetare la conferinţe internaţionale, organizate în cadrul Universităţii Transilvania din Braşov şi Lucian Blaga, Sibiu precum şi la conferinţe naţionale, organizate de către muzee din ţară.

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND UTILIZAREA LEMNULUI DE PAULOWNIA (*Paulownia spp.*) PENTRU CONSOLIDAREA PANOURILOR DETERIORATE ALE OBIECTELOR DE PATRIMONIUL CULTURAL

1.1. Caracteristici şi proprietăţi generale ale lemnului, care au impact asupra calităţii produselor finite în aplicaţiile artistice, laice şi de cult

1.1.1. Durabilitatea lemnului - clasificarea şi evaluarea factorilor biotici şi abiotici care îi produc degradarea

În funcţie de structura sa anatomică şi de compoziţia chimică, lemnul diferitelor specii prezintă un grad diferit de durabilitate. Lemnul cu densitate mare şi lemnul din zona de duramen va avea o durabilitate crescută la acţiunea factorilor biotici şi abiotici faţă de lemnul din zona de alburn sau cel cu densitate mai mică (Filipovici, 1965).

Prună (2009) evidenţiază faptul că durabilitatea lemnului poate fi definită în moduri variate, subliniind că aceasta reprezintă capacitatea materialului lemnos de a rezista la degradări provocate de factori fizici, chimici şi biologici. În acest sens, durabilitatea unei specii lemnoase faţă de acţiunea diferitelor organisme xilofage este evaluată pe baza metodologiilor prevăzute în standardele europene SR EN 350-1 şi SR EN 350-2, iar clasificarea acestora se face în conformitate cu clasele de risc stabilite de standardele SR EN 335-1 şi SR EN 335-2, în funcţie de nivelul de durabilitate naturală. Astfel, sunt 5 niveluri de durabilitate în raport cu ciupercile xilofage (unde 5 reprezintă clasa fără durabilitate şi 1 clasa cu durabilitate foarte mare) şi 2 niveluri de durabilitate (durabil sau fără durabilitate) pentru coleopterele xilofage.

Randall (2000), descrie dăunătorii lemnului, fungi şi insecte xilofage, precum şi controlul şi combaterea acestora. În lucrare este structurată, din punct de vedere entomologic, diversitatea de insecte distrugătoare ale lemnului şi tipul de lemn care este atacat: atât lemnul ecarisat şi condiţionat, cât şi lemnul proaspăt debitat. De foarte multe ori lemnul este infestat (încă din perioada creşterii) înainte de a fi dispus în structuri sau ca produs finit (mobiliier, obiecte decorative etc.), remarcă menţionată şi de Watkinson şi Eastwood, (2012).

Noldt (2009), prezintă o serie de insecte distrugătoare ale lemnului din arealul Europei Centrale. Autorul menţionează că infestarea cu insecte xilofage precum *Hylotrupes bajulus*, *Xestobium rufovillosum* (De Geer), *Anobium punctatum* (De Geer) şi specia anobiidae *Coelostethus pertinax*, pot ameninţa grav statica pieselor, iar infestarea poate dura zeci de ani. În cazul gândacului de mobilă (*Anobium punctatum*), lemnul ajunge în starea de pulverizare. De asemenea, Noldt şi Noldt (2013), dezvoltă observaţii cu privire la evaluarea şi identificarea tipului de deteriorare şi a insectei care a provocat acesta, în funcţie de orificiul de emergenţă, pulberea de lemn colectată, forma, volumul şi densitatea acestuia. Peletele de excreţie, cu forme şi compoziţie diferită, nu întotdeauna înseamnă numai lemnul frezat, ci de cele mai multe ori, conţine particule fine de nisip, excreţii, sau spori de ciuperci.

Ali (2017) explică înmulțirea rapidă a infestării și daunele provocate de insecte în lemnul istoric și arheologic, dar și gravitatea și dificultatea de a o detecta încă din stadii incipiente. Apariția găurilor, pulberii sau excrețiilor, nu pot fi observate de îndată ce instalarea insectelor a fost produsă, iar Mustață *et al.* (2013) susține că, printre cele mai dăunătoare insecte, după termite, sunt *anobiidele*. Acestea atacă lemnul din construcții, mobilier, icoane, etc. Preferă lemnul vechi, întrucât, infestat în prealabil de bacterii sau fungi - acestea „prelucrează lemnul”, astfel devenind mai ușor (pentru insecte) de a descompune fibrele celulozice.

Goodell *et al.* (2003), evidențiază factorii biotici ca fiind cei care degradează lemnul provocând daune, ducând la cheltuirea de miliarde de dolari pentru conservarea, repararea și înlocuirea structurilor din lemn în fiecare an. Deși degradarea lemnului are ca rezultat o risipă enormă de resurse, fără organismele care degradează lemnul, lumea noastră ar fi îngropată sub resturile de celuloză și lignină, deoarece aceste organisme sunt printre puținele care reciclează eficient carbonul ligno-celulozic.

În ceea ce privește evaluarea degradării produsă asupra obiectelor din patrimoniul mobil cu suport din lemn, Ionescu (2020), clasifică pe 5 niveluri starea de conservare a obiectelor: optim-minimal-mediu-extins-exitus și elaborează patru metode de evaluare a acestor degradări: metoda densităților comparative, porozitatea excesivă a lemnului, metoda determinării volumetrice, metoda durității HB și HM. Determinarea prin metoda durităților este una extrem de sugestivă, un exemplu poate fi urmărit în Tabelul 1. De asemenea, pe baza acestor clasificări și metode se poate evalua eficiența tratamentelor de consolidare (Ionescu *et al.* 2021, Juliana *et al.* 2021).

Tabelul 1. Duritatea Brinell și Mark, pe cele trei tipuri de eșantioane, lemn nou și sănătos lemn degradat fără tratament, și lemn cu tratament de consolidare (*după Ionescu et al. 2019*)

Epruv.	No.	HB, N/mm ²	HM, N/mm ²	Nivel de deteriorare %	
				în HB	în HM
TD4, Lemn sănătos	1	18.36	19.07	-	-
	2	17.35	17.95	-	-
	3	15.11	13.43	-	-
	4	17.45	17.00	-	-
	5	16.95	16.62	-	-
	Medie	17.20	16.81	-	-
	DEVIAȚIE STANDARD	1.07	1.89		
	COEFICIENT VARIAȚIE	0.06	0.11		
TD9, Lemn de tei degradat	1	4.14	2.91	77.4	84.7
	2	4.56	3.85	73.7	78.5
	3	5.30	7.51	64.9	44.0
	4	4.46	4.85	74.4	71.4
	5	4.76	4.65	71.9	72.0
	Medie	4.66	4.75	72.9	71.7
	DEVIAȚIE STANDARD	0.38	1.54	4.18	13.93
	COEFICIENT VARIAȚIE	0.08	0.32	0.06	0.19
TD10, Lemn de tei	1	11.52	10.53	37.2	44.7
	2	7.72	5.35	55.5	70.1

degradat cu	3	9.75	8.74	35.4	34.9
tratament de	4	9.86	8.35	43.4	50.8
consolidare	5	9.46	8.05	52.5	51.5
Paraloid B72	Medie	9.66	8.20	43.8	51.2
	DEVIATIE STANDARD	1.21	1.67	8.02	11.51
	COEFICIENT VARIATIE	0.13	0.20	0.18	0.22

Deteriorarea severă a suportului lemnos poate fi observată atât din datele privind duritatea determinată, conform Tabel 1, cât și în Fig. 1 și 2. Lemnul atinge un stadiu avansat de degradare, substanța lemnoasă ajungând în stadiu de pulverulență, iar fragmentele anatomic și structurale rămase nu mai oferă rezistență mecanică. În aceste condiții statica obiectelor este pusă în pericol de prăbușire sub propria greutate și de pierdere definitivă.



Fig. 1. Structura lemnului de tei degradată de insectele xilofage: rumeguș rezultat în urma masticăției, galerii și galerii cu rumeguș compactat (*imagini originale din Laboratorul de restaurare*)



Fig. 2. Deteriorarea severă a suportului lemnos rezultat în urma decimării produse de insectele xilofage (*imagini originale din Laboratorul de restaurare*)

1.1.2. Proprietăţile fizice şi mecanice ale lemnului care prezintă importanţă pentru tema de cercetare. Îmbunătăţiri aduse prin tratamente de ameliorare

Diversitatea lemnului diferă considerabil între diferite specii, inclusiv în cadrul aceluiaşi gen şi familie. Această variaţie poate fi observată chiar şi în cadrul aceleiaşi specii de lemn, influenţată de factori precum tipul de sol, condiţiile climatice şi zona geografică. Pentru a obţine produse finite sau semifabricate de calitate, este crucială utilizarea unei specii de lemn omogene (WoodDataBase, Lark-Horovitz 1936), deoarece diferenţele în densitate, structură şi alte caracteristici pot duce la deficienţe majore sau la o calitate redusă a produselor.

Proprietăţile fizice şi mecanice ale lemnului sunt determinate, în mod fundamental, de specia arborelui din care provine şi de orientarea planului de secţionare în raport cu structura internă a acestuia. Lemnul este un material cu multiple întrebuiţări, frecvent utilizat ca materie primă în fabricarea mobilei şi a obiectelor decorative.

Gezici-Koc et al., (2016) vorbeşte despre lemn ca fiind un „material higroscopic şi poros în care distribuţia şi interacţiunea apei joacă un rol crucial în prelucrarea şi durabilitatea lemnului. Acesta suferă fluctuaţii ale conţinutului de umiditate din cauza absorbţiei şi desorbţiei apei”. Înţelegerea caracteristicilor de absorbţie şi desorbţie a apei lemnului este de importanţă practică, deoarece proprietăţile mecanice sau stabilitatea dimensională a lemnului sunt influenţate de conţinutul de umiditate.

Umiditatea lemnului influenţează atât proprietăţile fizice cât şi cele mecanice. Umflarea şi contragerea sunt rezultatele absorbţiei/desorbţiei apei, iar consecinţele se reflectă în instabilitatea dimensională, pe toate cele trei axe structurale- lemnul fiind un material anizotrop (Avramidis, 2018).

Conform literaturii de specialitate, rezistenţa lemnului la solicitări mecanice este determinată de o serie de factori structurali şi fizico-mecanici. Aceşti factori includ: dimensiunile epruvetelor (lungime şi suprafaţă), viteza şi amplitudinea aplicării sarcinii, proprietăţile fizice ale materialului (densitate, conţinut de umiditate, temperatură), compoziţia chimică, precum şi particularităţile anatomice ale lemnului (lăţimea inelelor anuale, proporţia de lemn timpuriu şi lemn târziu). Rezistenţa lemnului depinde în mare măsură şi de constituţia sa anatomică.

În Tabelul 2 se pot observa principalele proprietăţi fizice şi mecanice ale speciilor lemnoase tei (*Tilia spp.*), frecvent întâlnit în bunurile de patrimoniu, balsa (*Ochroma pyramidale*) şi Paulownia (*Paulownia spp.*), regăsite în literatura de specialitate. Au fost selectate aceste trei specii, întrucât sunt acelea care fac subiectul acestei cercetări. Lemnul de balsa este utilizat ca reper privind cercetările actuale pentru aplicaţii în domeniul restaurării (utilizat ca material de completare pentru obiectele puternic deteriorate), în timp ce, pentru lemnul de Paulownia şi tei se vor desfăşura cercetări suplimentare, aplicate aceluiaşi domeniu (restaurare), prezentate în capitolele următoare.

Tabel 2. Comparație privind proprietățile fizice și mecanice între speciile de lemn: tei, balsa, Paulownia, regăsite în literatura de specialitate (wooddatabase; Ionescu, 2020; Koman *et al.* 2017; Kusiak, 2020; Avram *et al.* 2023)

Nr. crt.	Caracteristici fizico-mecanice		Specia lemnoasă		
			Tei	Balsa	Paulownia
1	Zona de creștere		Europa	America	Asia și America de Nord
3	Densitate	0%	420	120	250
4	[kg/m ³]	12%	535	150	280
5	MOR [MPa]		85	19.7	37.9
6	MOE [GPa]		11.72	3.72	4.39
7	Rezistența la compresiunea [MPa]		44.9	11.7	20.8
	Duritate	Janka (N)	3100	300	1330
		Brinell (N/mm ²)	20.24	1.80	9.13
	Umflare [%]	Radial	4.44	-	2.17
		Tangențial	7.94	-	3.73
		Volumetric	13.39	-	6.28
		Raport T/R	1.78	-	1.71
8	Contragerea [%]	Radial	5.01	2.35	2.49
9		Tangențial	7.48	6.18	3.94
10		Volumetric	12.59	8.62	6.5
11		Raport T/R	1.5	2.6	1.6

Chiar dacă cele trei specii au zone de distribuție diferite (tei în Europa, balsa în America și Paulownia în Asia și America de Nord), ele se găsesc la nivel mondial și sunt utilizate în diverse aplicații. Teiul este considerat o specie uniformă, cu o densitate mare, în timp ce balsa are o densitate redusă cu 71,5% față de lemnul de tei iar Paulownia are o reducere de densitate de 47,6% față de lemnul de tei (pentru 12% conținut de umiditate). Astfel, din punct de vedere al densității, Paulownia este mai apropiat de tei decât de Balsa. În concluzie, este esențial să se înțeleagă și să se evalueze omogenitatea lemnului în diverse aplicații și să se aleagă speciile potrivite în funcție de proprietățile fizico-mecanice și de cerințele specifice ale fiecărei aplicații.

Dacă ne raportăm la domeniul restaurării, tratamentele de ameliorare sau consolidare utilizate sunt cele aplicate prin impregnare sau peliculizare cu rășini naturale sau sintetice (Wang și Schniewind 1985, Schniewind și Eastman 1992, 1994; Schniewind și Kronkright 1984; Mańkowski *et al.* 2015). Acestea se aplică unui lemn vechi (de cele mai multe ori aflat în diverse etape de degradare) și se subordonează obiectului de patrimoniu. Asemenea tratamente nu au scopul de a crește performanțele lemnului, ci de a limita deteriorarea evolutivă și a-i prelungi „durata de viață” (a suportului lemnos), care susține o creație artistică de importanță identitară.

Ionescu (2020) afirmă că stabilizarea dimensională trebuie conceptualizată ca un ansamblu de intervenții orientate spre ameliorarea instabilității formei și dimensiunilor, generate de variațiile de umiditate, defectele de structură etc., prin aplicarea unor tratamente specifice. În acest context, devine esențială înțelegerea profundă a proprietăților fizice și mecanice ale lemnului, precum și a

comportamentului său în diferite stadii de degradare. În cadrul studiului său, autorul şi-a propus să obţină informaţii şi să formuleze răspunsuri referitoare la influenţa microclimatului asupra obiectelor de patrimoniu, acestea fiind monitorizate pe o perioadă determinată de timp.

Froidevaux (2012) evidenţiază necesitatea unei înţelegeri profunde a factorilor de deteriorare a bunurilor culturale de patrimoniu, subliniind că „înţelegerea stării actuale a picturilor pe panouri şi predicţia comportamentului lor în diverse condiţii climatice este esenţială pentru conservare şi restaurare”. Autorul analizează procesele mecanice, fizice şi chimice asociate îmbătrânirii naturale a lemnului şi a straturilor de pictură, subliniind că, deşi suportul lemnos este mai puţin afectat de fluctuaţiile climatice moderate, straturile de grund şi vopsea sunt mult mai vulnerabile, fiind predispuse la fisurare. Acest fenomen poate duce la degradarea iremediabilă a operei artistice.

1.2. Procedee privind intervenţiile asupra restaurării obiectelor culturale de patrimoniu cu suport din lemn, ţinând cont de legislaţia patrimoniului şi a principiilor de conservare

Restaurarea este definită de Brandi (1996) ca fiind un cumul de intervenţii care urmăresc restabilirea funcţionalităţii unui obiect aparţinând creaţiei umane. Orice intervenţie trebuie să se bazeze pe o argumentaţie ştiinţifică. **Se restaurează numai materia operei de artă.** Vizarea stabilităţii materialului garantează potenţialul unic al lucrării fără să se producă un fals istoric şi artistic. Potrivit lui Brandi (1996), durata de viaţă a operei de artă trebuie prelungită şi, mai presus de toate, trebuie să i se permită întoarcerea ei la locul de origine sau să îi fie atribuită o nouă funcţie sau destinaţie.

Articolul 12 din Carta de la Veneţia (1977) subliniază, de asemenea, că elementele destinate înlocuirii părţilor care s-au pierdut (lipse) trebuie să se integreze armonios în ansamblul obiectului. Acestea trebuie să-şi păstreze totodată caracterul distinct faţă de elementele originale, astfel încât procesul de restaurare să nu conducă la falsificarea documentului de artă şi istorie.

Utilizarea altor materiale/ specii lemnoase pentru completări ale elementelor lipsă, degradate sever sau pierdute sunt prezentate şi de Abdallah *et al.* (2016) când, în urma descoperirii unei mese antice de ofrandă, egipteană, realizată din lemn de chiparos, în procesul de restaurare aceştia au utilizat pentru refacerea elementelor noi, lemnul de fag şi dibluri din lemn de balsa.

Săvescu şi Săvescu (2010) susţin că dezvoltarea unui atac biologic are ca efect scăderea în greutate a masei lemnoase constatând că „suportul lemnos este supradimensionat pentru greutatea stratului pictural pe care îl susţine”, mai mult, agenţii biologici atacă atât de sever lemnul, rupe structurile de rezistenţă, întrucât pune în pericol existenţa obiectului de cult.

În acord cu Săvescu 2010, Ionescu (2014, 2016, 2020) susţine că atacul biologic, îndeosebi cel xilofag, produce o deteriorare puternică. Proprietăţile lemnului (fizice chimice şi mecanice) sunt atât de afectate încât, bunul cultural ajunge în pragul colapsului. Autorul propune consolidarea bunurilor de patrimoniu puternic deteriorate prin realizarea de *proteze cu lemn de balsa*. Autorii (Săvescu 2010, Ionescu, 2014, 2016, 2020) argumentează decizia în aceste cazuri extreme, prin înlocuirea materialului de completare original, a lemnului de tei (frecvent utilizat la confecţionarea panourilor policrome - icoane, iconostase, tablouri pe lemn din patrimoniul cultural românesc), şi utilizarea lemnului de balsa întrucât, acesta are densitate scăzută ($160 \div 180 \text{ kg/m}^3$) şi o bună stabilitate dimensională.

Un asemenea exemplu de deteriorare a obiectelor din patrimoniul național (Fig. 3. a., b.), am întâlnit în activitatea curentă din cadrul laboratorului de restaurare. La fragmentele de iconostas de secol XVII ce au aparținut Mănăstirii Vizantea, Vrancea, deteriorările lemnului au fost atât de severe, încât, și la cea mai atentă manipulare, panoul prezenta risc crescut de a se prăbuși sub propria greutate (Fig. 3. a., b., c., d., e.). Deteriorarea a fost atât de accentuată încât, chiar și identificarea speciei lemnoase utilizate, a fost dificil de examinat deoarece lemnul prezenta aspect pulverulent, produs de insectele xilofage.



Fig. 3. a, b, c, d, e. Deteriorare severă a suportului lemnos. a. Fața cu pictură; b. Verso-ul panoului; c., d., e. Detalii privind deteriorarea în miezul lemnului (*imagini originale din Laboratorul de restaurare*)

Obiectivul principal al tratamentelor de consolidare, din perspectiva conservării, este de a proteja substanța originală. Cu toate acestea, alegerea unei metode de consolidare depinde primordial de starea de conservare a obiectului și dacă statica acestuia nu este pusă în pericol. Consolidarea radicală este necesară atunci când lemnul atinge pragul colapsului (Unger *et al.* 2001, Ionescu 2016, 2020) și apare riscul de a se prăbuși sub propria greutate.

În asemenea condiții, când se pune problema existenței în continuare a unui bun cultural sau sunt necesare îmbunătățiri privind proprietățile fizice și mecanice, nu de reversibilitate ar trebui să se mai țină cont, ci de salvarea prin orice mijloace a bunului cultural (Unger *et al.* 2001).

1.2.1. Tratamente prin impregnări aplicate suportului lemnos degradat, din obiectele de patrimoniu. Raportări privind impactul solvenţilor asupra proprietăţilor fizice ale lemnului

În timpul intervenţiilor de restaurare a obiectelor de artă, este crucial să luăm în considerare comportamentul materialelor, deoarece acestea pot influenţa suportul şi straturile de pictură (Avram *et al.* 2023). O îmbunătăţire a performanţei lemnului ar trebui făcută fără efecte suplimentare nebenefice (Lahtela şi Kärki 2016). Solvenţii sunt folosiţi frecvent, fie pentru dizolvarea polimerilor în scopuri de consolidare, fie pentru tratamente de antiseptizare iar impregnarea controlată cu monomeri în lemn poate îmbunătăţi rezistenţa acestuia la deteriorare (Wu *et al.* 2017). Evaluarea gradului de impregnare (Ionescu *et al.* 2021) trebuie să fie un raport între nivelul maxim al tratamentului şi eficienţa sa, şi poate fi evaluat prin creştere în greutate (WPG) (Wu *et al.* 2017) şi prin determinări de duritate (Ionescu *et al.* 2021).

Tratamentele de consolidare aplicate obiectelor de artă sunt în strânsă legătură cu gradul de deteriorare: un suport poate fi degradat pe o suprafaţă şi un volum redus însă pot fi situaţii, frecvent întâlnite, când suprafaţa şi volumul îndeosebi, sunt puternic deteriorate rezultând pierderi marcante, prin reducerea de densitate a lemnului, între 20% până la 70% faţă de lemnul constitutiv/ de referinţă, sănătos. Asemenea situaţii vor impune tratamente multiple şi complexe (Ionescu 2021, Avram *et al.* 2022).

În funcţie de natura lichidului absorbit, amplitudinea umflării variază. Nayer (1948) citat de Bossu *et al.* (2018) au raportat, umflări mai mari în lichidele polare, caracterizate prin capacitate mare de legare, care se explică prin pătrunderea mai mare şi mai rapidă a lichidelor în pereţii celulelor din lemn. Rezultate confirmate, de altfel şi de Mantanis *et al.* (1994, 1995), care a testat o mare varietate de solvenţi puri aplicaţi pe mai multe specii de lemn (Maher 2006; Lahtela şi Kärki 2016) şi au raportat că atât capacitatea de legare a hidrogenului, cât şi dimensiunea moleculelor de solvent contribuie la gradul de umflare a lemnului. S-a observat că umflarea lemnului în solvenţi organici nepolari sau slabi polari, au produs o umflare semnificativ mai mică faţă de apă sau solvenţi cu polaritate crescută (Avram *et al.* 2023).

1.2.2. Consolidări prin completări cu material lemnos în cazul obiectelor sever deteriorate

Necesitatea intervenţiilor asupra obiectelor de artă grav deteriorate denumite radicale, impun completări (Fig. 4), refaceri de geometrie (Fig. 5), înlocuiri parţiale sau transpuneri prin consolidări cu lemn masiv cu rol de preluare a funcţiilor şi proprietăţilor pierdute ale lemnului deteriorat. Acest suport lemnos, are rolul de a prelungi „durata de viaţă” a creaţiei artistice, care pe lângă valoarea economică, are importanţă culturală, de identitate şi apartenenţă geopolitică.



Fig. 4. Panou deteriorat consolidat cu lemn masiv- balsa (*Ochroma pyramidale*) (imagini originale din Laboratorul de restaurare)



Fig. 5. Completări şi reconstrucţie, cu lemn masiv de Balsa, intervenţie realizată în cadrul laboratorului „Ionescu Constantin” din Sibiu (*imagini originale din Laboratorul de restaurare*)

Înţelegerea aprofundată a compoziţiei materialelor şi a tehnicilor de execuţie reprezintă un element esenţial în procesul de restaurare. Această cunoaştere permite utilizarea unor materiale compatibile cu cele originale, reducând riscul apariţiei degradărilor ulterioare cauzate de interacţiunile chimice sau fizice dintre materialele cu caracteristici şi comportament diferit în timp. Astfel, în procesele de „protezare” a obiectelor sever deteriorate, pentru a obţine rezultate optime şi benefice obiectului de artă, trebuie să se țină cont de alegerea adezivului dar şi de calităţile materialului lemnos ales pentru a fi integrat în structura obiectului de artă. Un factor important în procesul de înţeleiere îl reprezintă atât calitatea adezivului dar şi gradul de umectare a lemnului.

1.3. Specii lemnoase utilizate în realizarea obiectelor de artă şi cult în Europa

Obiectele de artă şi cult din lemn sau având suportul din lemn, ce compun o mare parte a patrimoniului cultural mobil, de pe teritoriul României, au fost în principal realizate din lemn de tei (*Tilia spp.*) (icoane, iconostase) sau pe lemn de răşinoase. Această observare, poate fi argumentată prin volumul mare de icoane/ panouri intrate în laboratorul de restaurare IONESCU CONSTANTIN ŞTEFAN, din Sibiu (cca. 30-50 de icoane/ an-rezultat dintr-o activitate intensă de cca. 13-15 ani); de asemenea, Popescu *et al.* (2005) menţionează că lemnul de tei este des folosit pentru realizarea obiectelor de artă şi cult; în studiul lor, autorii investigând câteva obiecte de cult din inventarul a două lăcaşe de cult din Nordul României.

Desigur că „preferinţa” alegerii unei specii lemnoase ţinea cont în mod deosebit de zona geografică şi de accesibilitatea procurării materiei prime, costuri, precum şi de calitatea speciei lemnoase. Ca o concluzie generală, analizând Tabelul 3, se poate observa că, în Europa, stejarul a fost specia cea mai des utilizată pentru realizarea obiectelor de artă şi cult, urmată de răşinoase, plop şi tei.

Tabel 3. Listă cu principalele specii lemnoase utilizate pentru realizarea panourilor obiectelor de artă şi cult din arealul Europei

Zonă geografică Regiune / Ţară	Specie lemnoasă		Sursa bibliografică
	Frecvent utilizată	Rareori întâlnită	
Italia	plop, brad	nuc, tei, castan, stejar	<i>Uzielli (1995), Wadum (1995)</i>
Spania	plop, pin	nuc, stejar	<i>Veliz (1995)</i>
Portugalia	cedru roşu, castan, pin	stejar	<i>Veliz (1995)</i>
Olanda	stejar		<i>Wadum (1995), Wadum et al. (2022)</i> <i>Davies şi Moortgat (2021)</i>
Nordul Germaniei	stejar		<i>Wadum (1995)</i> <i>Davies şi Moortgat (2021)</i>

Sudul Germaniei	stejar		<i>Wadum (1995)</i>
Bavaria	tei , molid, pin	fag	<i>Wadum (1995)</i>
Franţa	stejar	nuc, plop	<i>Wadum (1995)</i>
Tyrol	pin		<i>Wadum (1995)</i>
Saxonia	brad		<i>Wadum (1995)</i>
Anglia	stejar		<i>Wadum (1995)</i>
Danemarca	stejar		<i>Wadum (1995)</i>
Norvegia	brad	stejar, pin	<i>Wadum (1995)</i>
Rusia	tei	chiparos	https://russianicons.wordpress.com/2013/12/13/an-icon-begins-with-wood/
Nordul Rusiei	brad, zadă, cedru, pin, molid, stejar		https://russianicons.wordpress.com/2013/12/13/an-icon-begins-with-wood/
România	tei , stejar (<i>de regulă în Nord-estul şi sudul ţării</i>) brad, molid (<i>de regulă în centrul ţării</i>)	plop, nuc	Conform practicii din laboratorul de restaurare IONESCU CONSTANTIN ŞTEFAN, Sibiu; Popescu <i>et al.</i> (2005); Ionescu 2014, 216.

1.5. Caracteristici ale lemnului de Paulownia (*Paulownia spp.*). Argumente privind posibilitatea utilizării pentru domeniul restaurării bunurilor culturale

Fiind un lemn cu potenţial în diverse aplicaţii ingineresti sau industriale, Paulownia devine tot mai populară şi în spaţiul european. Demonstrând o bună stabilitate dimensională şi o fibră predominant dreaptă (Dogu *et al.*, 2017; Barbu şi Tudor, 2023) şi datorită densităţii sale reduse şi ritmului accelerat de creştere, Paulownia se conturează ca o specie cu potenţial semnificativ de integrare pe pieţele europene ale lemnului, fiind adecvată pentru o varietate largă de aplicaţii, în special în domeniul utilizărilor uşoare. Totodată, aceasta poate reprezenta o alternativă sustenabilă la speciile tropicale de înaltă valoare economică, precum balsa (Barbu şi Tudor 2023).

Deşi prezintă o vastă arie de utilizare, lemnul de Paulownia nu se foloseşte, până în prezent, în domeniul restaurării obiectelor de artă, ca material de completare, în cazul obiectelor sever deteriorate.

Cu toate acestea, fiind cunoscute calităţile acestei specii în ceea ce priveşte stabilitatea dimensională, există practica utilizării acestui lemn pentru confecţionarea de cutii de depozitare a artefactelor cu sensibilitate crescută la factorii de mediu, în special la variaţiile de umiditate relativă. În acest context, Murose (2009) prezintă complexitatea conservării, restaurării şi păstrării artefactelor *urushi*- obiecte cu deosebită importanţă în cultura Japoneză. Astfel că, după realizarea restaurării unui asemenea obiect, acesta necesită deosebită atenţie privind păstrarea şi depozitarea. Autorul susţine că lemnul de Paulownia „funcţionează bine în absorbţia şi epuizarea umidităţii din aer, protejând mediul din interiorul cutiei de modificări bruşte exterioare.”

Analizând informaţiile din literatura de specialitate, putem concluziona că proprietăţile lemnului Paulownia pot fi luate în considerare pentru domeniul restaurării.

Atunci când intensitatea atacului de insecte depăşeşte 250 de orificii pe dm² şi au diametre cuprinse între 1.4 şi 2.4 mm, se produce o deteriorare severă de peste 55% din volumul lemnului. Distrugerile structurale ale elementelor anatomice conduc la pierderea coeziunii elementelor şi a reducerii densităţii şi a rezistenţei mecanice.

Odată cu pierderea densităţii provocate de pierderile volumetrice, consecinţă a atacului xilofag, masa panourilor se reduce până la 30-40% din masa iniţială; În aceste situaţii, prin introducerea unor completări ample, cu lemn masiv, masa acestor completări poate depăşi masa panoului existent şi poate provoca instabilitate dimensională cu consecinţe asupra straturilor de policromie. Astfel, este de preferat a se introduce un material de completare, cu proprietăţi mecanice apropiate de cele ale materialului constitutiv, dar proprietăţile fizice trebuie să fie cât mai reduse. Aşadar, alegerea unei specii - în cazul de faţă Paulownia, un lemn de foioase uşor şi cu o stabilitate dimensională superioară teiului - poate fi o opţiune pentru intervenţii de restaurare la panourile puternic deteriorate.

Kusiak *et al.* (2020) prezintă creşterea în diametru a arborelui de tei (*Tilia cordata* Mill), aflat în diferite etape de vârstă şi diferite zone de plantare (zonă cu stres redus, moderat sau crescut).

Analizând informaţiile oferite de autorii mai sus menţionaţi, se poate concluziona că lemnul de Paulownia are o creştere în diametru de până la 90 mm/an, în timp ce lemnul de tei (*Tilia cordata*), de exemplu, ar avea o creştere anuală cuprinsă între 41÷52 mm (Fig. 6) astfel, se poate lua în considerare posibilitatea împăduririlor atât pentru stabilizarea solurilor, dar mai ales pentru utilizarea Paulowniei, ca material înlocuitor, pentru a reduce exploatarea pădurilor tradiţionale şi păstrarea speciilor autohtone.

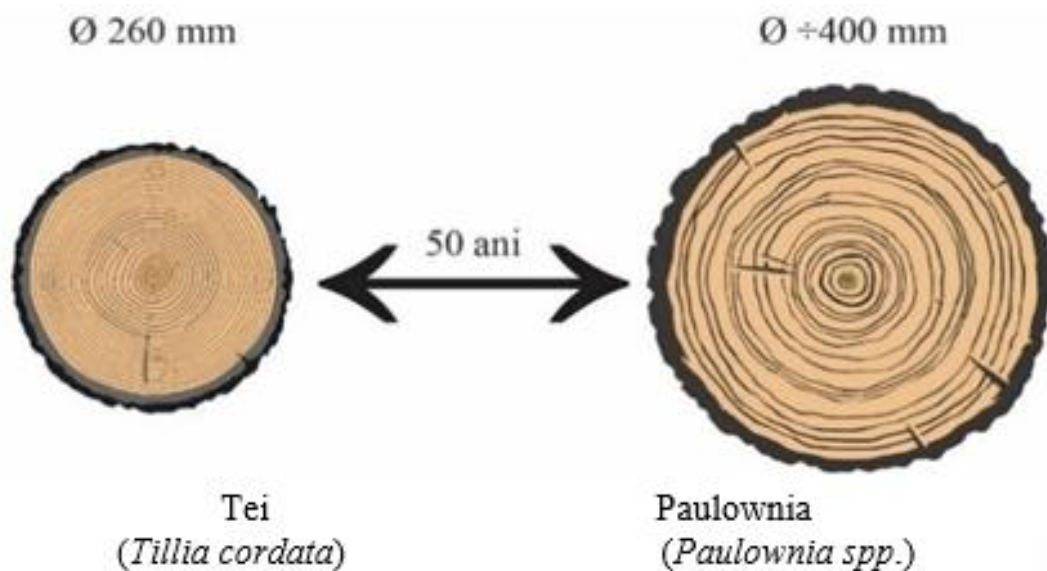


Fig. 6. Diferenţa de creştere în diametru a celor două esenţe lemnoase

Din punct de vedere economic dar şi pentru a păstra sau salva pădurile autohtone putem aduce argumente privind utilizarea Paulowniei în anumite domenii de producţie -mobilier, obiecte decorative, lambrisări, etc, sau utilizarea, unde se impune, în restaurarea obiectelor de patrimoniu prin completări/consolidări parţiale etc, cu scop multiplu: 1. De salvare/păstrare a pădurilor de tei, care reprezintă un procent mai mic de 6% din fondul forestier total de pe teritoriul ţării, conform INVENTARULUI FORESTIER NAŢIONAL (2008-2012), în timp ce, datele statistice publicate în 2021 (INS) anunţau un procent de 7.7% pentru foioasele moi, care cuprind tei, plop şi salcie; 2. Din punct de vedere economic, cheresteaua din lemn de Paulownia poate avea costuri mai mici comparativ cu aceea din lemn de tei sau balsa – în cazul aplicaţiilor în restaurare; 3. Timpul de creştere al arborelui ajuns la maturitatea de a oferi cherestea de calitate este mai redus în cazul Paulowniei.

CAPITOLUL 2. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Prezenta lucrare urmăreşte să aducă o contribuţie semnificativă în domeniul studiilor asupra patrimoniului cultural prin oferirea unor răspunsuri la cercetări experimentale originale, orientate către elaborarea, adaptarea sau dezvoltarea de materiale şi tehnici inovatoare, validate ştiinţific, cu aplicabilitate directă în conservarea şi restaurarea bunurilor culturale.

Pe baza analizei critice a cercetării în domeniu s-au identificat câteva problematici care nu au fost studiate şi analizate, sau care au fost mai puţin studiate. Pe baza acestor probleme, s-au dezvoltat obiectivele principale ale tezei, obiective care vor fi detaliate în continuare:

Scopul principal al tezei este integrarea lemnului de Paulownia (*Paulownia spp.*) - specie neutilizată în restaurare- şi investigarea posibilităţilor de îmbunătăţire a tratamentelor de consolidare a panourilor din lemn, puternic deteriorate de insectele xilofage, pentru a salva bunurile culturale de patrimoniu.

Obiective secundare:

01. Studiu privind cercetările actuale în concordanţă cu domeniul temei de cercetare.

Analizarea şi investigarea operelor de artă, tehnicile şi materialele utilizate curent în restaurarea bunurilor culturale de patrimoniu. Acest studiu a luat în considerare latura legislativă dar şi practica curentă din literatura de specialitate privind implementarea şi utilizarea de noi materiale, altele decât cele din care a fost constituit iniţial obiectul de patrimoniu (în cazul de faţă- teiul), datorită diferenţelor semnificative dintre proprietăţile lemnului vechi şi acelea ale lemnului nou introdus, din punct de vedere al caracteristicilor fizice şi mecanice.

02. Investigarea din punct de vedere fizic şi mecanic al materialului lemnos Paulownia.

Acest material lemnos poate suplini sau să compenseze rolul şi funcţia (pierdută) a materiei iniţiale, fără a produce el însuşi prejudicii şi degradări suplimentare bunurilor culturale de patrimoniu sever deteriorate.

03. Urmărirea comportamentului lemnului de tei (*Tilia spp.*) istoric (deteriorat) şi tei sănătos, şi a lemnului de Paulownia la acţiunea solvenţilor frecvent utilizaţi în tratamente de restaurare: consolidare sau antiseptizare. Aceşti solvenţi interacţionează cu materialul lemnos şi pot produce efecte negative asupra creaţiei artistice, respectiv a stratului pictural valoros.

04. Compararea lemnului de Paulownia cu alte specii deja utilizate pentru completări

Compararea se face atât cu specia/lemnoasă- tei, regăsită cel mai frecvent în bunurile culturale de patrimoniu mobil dar şi cu lemnul de Balsa, care nu îngreunează excesiv obiectul de patrimoniu consolidat.

05. Cercetări şi observaţii asupra calităţii încleierilor lemnului de tei istoric deteriorat cu lemn sănătos de tei şi Paulownia. Analiza se face atât din punct de vedere al rezistenţei la forfecare a încleierilor cât şi din punct de vedere al observării calităţilor adezivilor comercializaţi/ utilizaţi în restaurare când sunt supuşi testelor de îmbătrânire accelerată.

06. Analizarea şi compararea distrugerilor produse de lemnul de tei sănătos şi de lemnul de Paulownia asupra lemnului istoric deteriorat, în urma aplicării forţelor mecanice. Această analiză este necesară pentru a observa compatibilitatea din punct de vedere a încleierilor.

CAPITOLUL 3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND UTILIZAREA LEMNULUI DE PAULOWNIA PENTRU COMPLETĂRI ŞI CONSOLIDĂRI ALE BUNURILOR CULTURALE DE PATRIMONIU SEVER DETERIORATE, UTILIZÂND STANDARDE ŞI TEHNOLOGII DERIVATE DIN INGINERIA LEMNULUI

Cercetarea unui material lemnos care să permită intervenţii de restaurare poate fi considerat de viitor, cu impact benefic din punct de vedere ecologic şi cu aplicare directă domeniului de conservarea bunurilor de patrimoniu. În alegerea cercetărilor experimentale care să aducă beneficii domeniului restaurării s-a ținut cont de câteva dintre principiile de restaurare, evidenţiate Brandi, 1996, care au fost considerate repere pentru prezenta cercetare: stabilitatea, reversibilitatea, compatibilitatea, lizibilitatea estetică şi potenţiala unitate.

Este important ca bunul cultural să fie înţeles şi interpretat în ansamblu, ca un element compozit. Acesta este realizat din materiale diferite, alăturate sau suprapuse (Fig. 7), care au comportament diferit şi este compus, după cum urmează: suportul lemnos, straturi succesive de clei, în diferite concentraţii, stratul de preparaţie- grundul, peste care este aşezat stratul pictural- creaţia artistică şi lacul de protecţie- vernisul. Astfel suportul din lemn şi preparaţiile complexe, au rol de ranforsare, echilibrare, egalizare şi finisare, peste care este dezvoltată creaţia artistică (cu rol estetic şi tematic). Acest ansamblu compozit, în parcursul său istoric, acumulează şi transmite: educaţie, cultură, civilizaţie şi nu în ultimul rând, identitate.

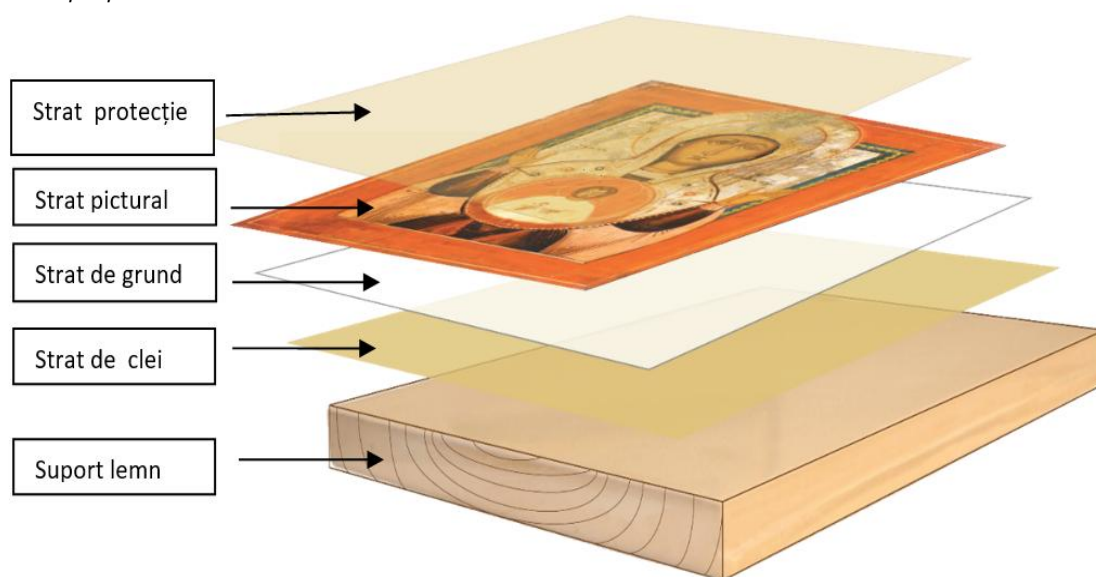


Fig. 7. Elementele care compun un bun cultural de artă (o pictură pe lemn)

3.1 Caracterizarea macroscopică şi microscopică a celor două specii lemnoase: tei (*Tilia spp.*) şi Paulownia (*Paulownia spp.*)

Acest studiu a avut ca scop observarea caracteristicilor celor două specii lemnoase: tei şi Paulownia.

3.1.1 Caracterizarea lemnului de tei. Analiza comparativă privind proprietăţile lemnului sănătos cu acela degradat de insecte xilofage

Din punct de vedere a caracterizării macroscopice, lemnul de tei a avut nu număr de inele anuale cuprins între $85 \div 105$ şi o densitate medie de 518.75 kg/m^3 . Umiditatea în interiorul inelului anual a fost cuprinsă între $6.5\% \div 10\%$, în timp ce între inelele anuale umiditatea a fost de $7.6\% \div 9.8\%$.

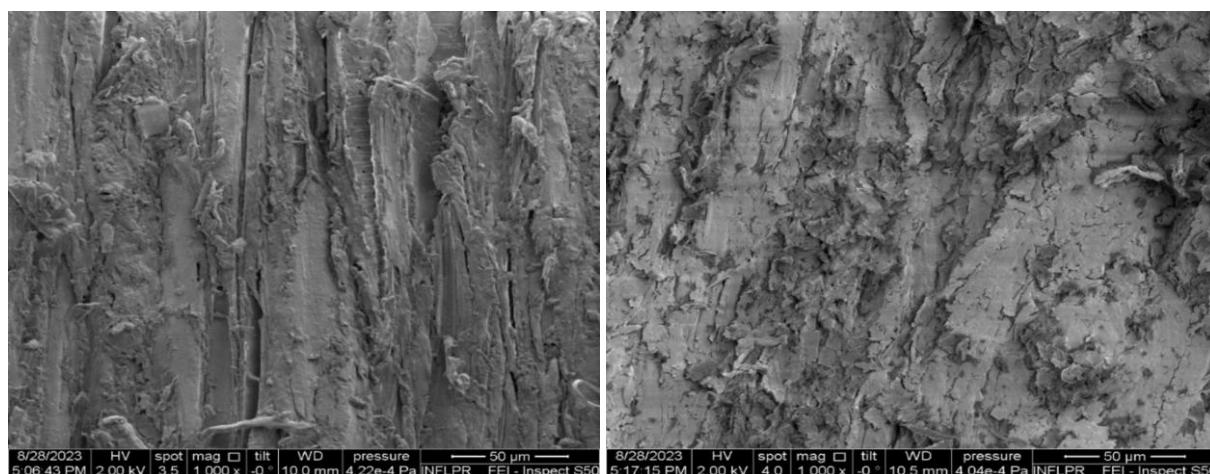


Fig. 8. Imagine SEM - tei sănătos (stânga) şi tei deteriorat (dreapta, cu mărire de 1000x)

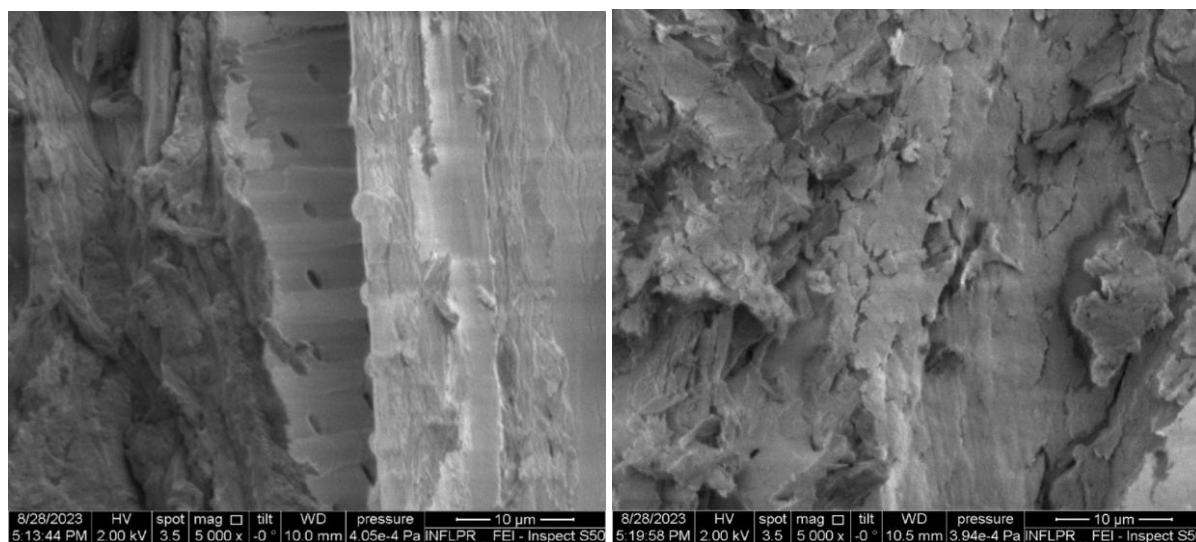


Fig. 9. Imagine SEM - tei sănătos (stânga) şi tei deteriorat (dreapta, cu mărire de 5000x)

În Fig. 8 şi 9, unde măririle sunt de 1000x, respectiv 5000x, se pot observa degradările în profunzime a lemnului de tei pe secţiunea tangenţială. Teiul deteriorat prezintă un aspect uscat, deshidratat şi rigid.

Investigaţia SEM a fost realizată în cadrul Institutului de Fizică Atomică, Măgurele, prin bunăvoinţa şi implicarea doamnei dr. Andrada Lazea-Stoyanova.

3.1.2 Caracterizarea lemnului de Paulownia (*Paulownia spp.*)

Din punct de vedere a caracterizării macroscopice, lemnul de tei a avut nu număr de inele anuale cuprins între 4 ÷ 8 și o densitate medie de 295.66 kg/m³. Umiditatea în interiorul inelului anual a fost cuprinsă între 6.8% ÷ 11.5%, în timp ce între inelele anuale umiditatea a fost de 8.52% ÷ 10.3%.

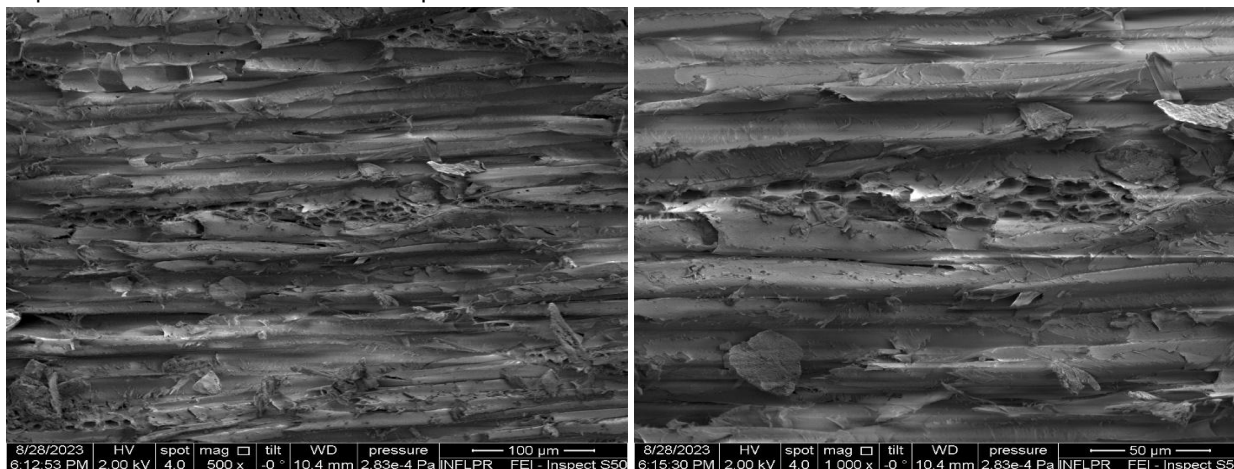


Fig. 10. Secţiunea tangenţială a lemnului de Paulownia. Imagine SEM, cu mărire de 500-1000x

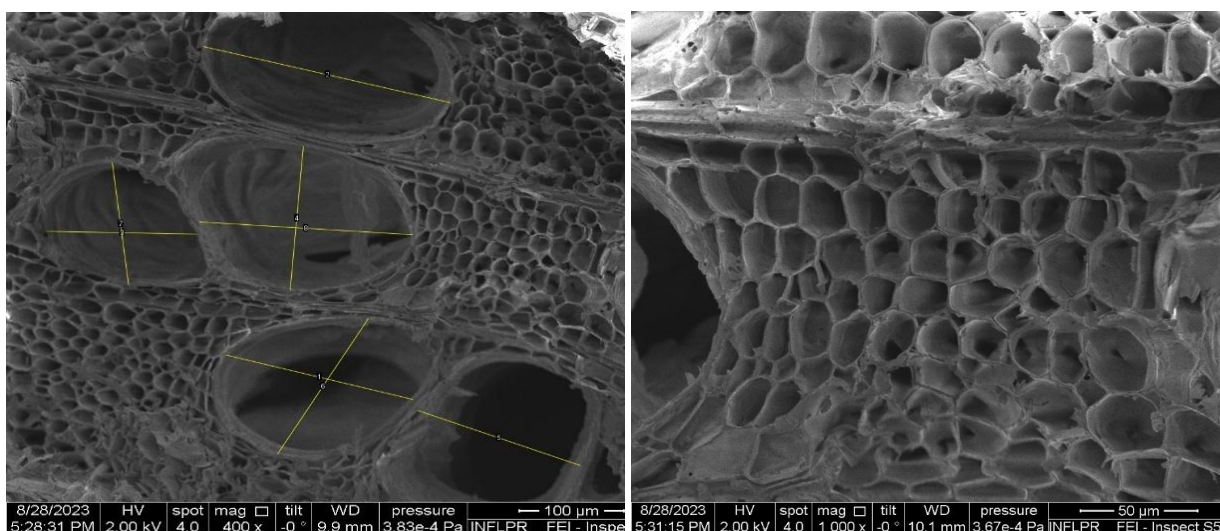


Fig. 11. Secţiunea transversală a lemnului de Paulownia. Imagine SEM, cu mărire de 500-1000x

Vasele din lemnul timpuriu au un diametru considerabil, de aproximativ 100–200 µm, măsurători confirmate și de literatura de specialitate. Distribuția acestora este uniform radială, evidențiată în Fig.35 ca un aliniament circular sau semicircular în secțiune transversală.

Structura lemnului include raze medulare scurte și înguste, formate din celule cu pereți subțiri.

În concluzie, conform literaturii de specialitate (Park *et al.* 2023, Zhao *et al.* 2022, Dogu *et al.* 2017), imaginile SEM analizate (Fig. 10, 11) corespund caracteristicilor anatomice cunoscute ale lemnului de Paulownia: evidențierea porozității speciei și aspectul de fațure specific.

3.2 Studiu comparativ privind proprietățile fizice și mecanice ale lemnului de Paulownia (*Paulownia spp.*), tei (*Tillia spp.*) și balsa (*Ochroma pyramidale*)

Prezentul studiu își propune să analizeze uniformitatea a trei specii omogene de lemn – tei (*Tillia spp.*), balsa (*Ochroma pyramidale*) și Paulownia (*Paulownia spp.*) – din perspectivă structurală, în corelație cu proprietățile lor fizico-mecanice și comportamentul față de apă (absorbția apei, umflare și contragere).

În cadrul acestui studiu, lemnul de tei este utilizat ca element de referință. Se dorește evidențierea proprietăților particulare ale lemnului de Paulownia, propus ca alternativă viabilă pentru substituirea lemnului de tei în diverse aplicații. Lucrarea se fundamentează pe premisa conform căreia teiul și balsă nu reprezintă opțiuni adecvate pentru înlocuirea parțială sau consolidarea lemnului foarte vechi din obiectele de patrimoniu, în timp ce Paulownia poate constitui o soluție mai avantajoasă din punct de vedere al proprietăților sale și al conservării.

3.2.1. Metodica determinărilor proprietăților fizice și mecanice

Pentru caracterizarea proprietăților fizice și mecanice, s-au pregătit epruvete din lemn de tei, balsă și Paulownia, conform standardelor specifice fiecărui tip de determinare, care au fost condiționate în microclimat controlat $U=55-60\%$ $T=20^{\circ}\text{C}$.

Lemnul de tei a provenit din depozitul Laboratorului de restaurare „Ionescu Constantin Ștefan” din Sibiu, care a pus la dispoziție lemn de înaltă calitate, cu o vechime de 30 de ani, condiționat termo-higroscopic, uscat natural și fără defecte. Lemnul de Paulownia a fost achiziționat de la societatea Paulownia Europa, din Cristian, Braşov recoltat din producția proprie, iar lemnul de balsă a provenit din import, fiind achiziționat din magazin specializat pentru crearea de aeromodele.



Fig. 12. Epruvetele pentru testări mecanice

Calcularea densității lemnului a fost realizată în baza standardului ISO 3131:1975, definită ca raportul dintre masa și volumul probei.

Absorbția de apă, a fost calculată în baza standardului EN 13183-1/2002 iar **contragerea și umflarea** pe secțiunea radială și tangențială a fost determinată în baza standardelor ISO 4858:1981, ISO 4859-1982.

Modulul de rezistență și modulul de elasticitate la încovoiere statică au fost realizate în laboratorul de încercări mecanice a Universității Transilvania din Braşov și determinate în baza standardelor ISO 13061-4:2014 și 13061-3:2014. Înainte de testare, probele au fost condiționate pentru a obține un conținut mediu de umiditate de 12%. Epruvetele au avut dimensiunea de 20x 20x 300 mm.

Distanța dintre reazăme a fost de 240 mm. Aplicarea forței a fost dispusă central pe epruvetă, la o viteză de 10 mm/minut.

Rezistența la compresiune paralelă cu fibra utilizate în lucrare s-a obținut în momentul ruperii, când straturile de lemn din probe au fost forfecate sau zdrobite, iar forța a scăzut brusc. Viteza de aplicare a forței a fost de 10 mm/ minut. Prin urmare, rezistența la compresiune paralelă cu fibra lemnului a fost determinată ca raport între forța maximă de rupere și aria suprafeței de rupere, conform standardului ISO 13061-17.

Duritate Brinell a fost realizată în baza standardului EN 1534:2003; au fost pregătite şi testate epruvetele din cele trei specii: tei – balsa – Paulownia, câte 10 epruvete/specie, cu dimensiunea de 50x 50x 20 mm. Pentru duritatea Brinell poansonul cu bilă de 10 mm, a avut o forţă de presare prestabilită, de 100 N pentru lemnul de balsa şi 400 N pentru lemnul de tei şi Paulownia, cu timp de presare 25 secunde.

3.2.2 Rezultate obţinute privind proprietăţile fizice

Densitatea lemnului

Pentru comparaţie, a fost examinată densitatea probelor în stare absolut uscată. S-a observat că densitatea lemnului de tei a avut cea mai mare valoare, respectiv 461.8 kg/m³, iar cea a lemnului de balsa a avut cea mai mică valoare, 118.3 kg/m³, în timp ce, Paulownia a avut densitatea de 304.2 kg/m³ (Fig. 13.).

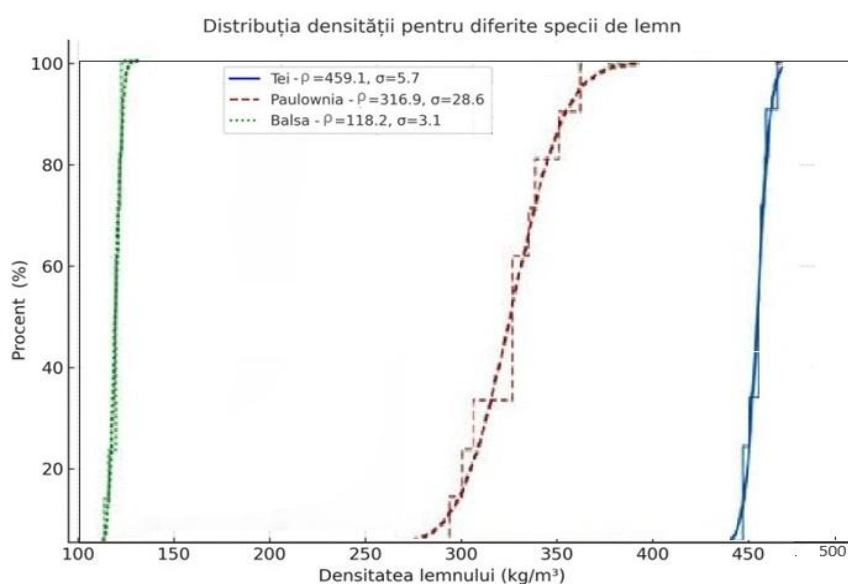


Fig. 13. Diagramă de distribuție cumulativă (Cumulative Distribution Function) care compară densitatea a trei tipuri de lemn: tei, Paulownia și balsa, exprimate în kg/m³.

Forma abruptă sau graduală a curbelor reflectă gradul de omogenitate sau variație al densității în cadrul fiecărui tip de lemn. Prin comparație, se poate concluziona că balsa cu densitate foarte scăzută și uniformă (deviație standard mică) este adecvată pentru aplicații unde greutatea minimă este esențială. Paulownia, cu densitate intermediară, dar cu o variație mai mare între probe, este un lemn ușor și are o structură mai eterogenă. oferă un echilibru între greutate redusă și rezistență. Teiul este cel mai dens dintre cele trei testate, concentrată într-un interval îngust de valori, ceea ce indică o structură stabilă și omogenă.

Rezultate privind absorbția de apă

Valorile privind absorbția de apă pentru cele trei specii de lemn sunt prezentate în Figura 14. Se remarcă faptul că lemnul de Paulownia a înregistrat cea mai scăzută absorbție de apă, cu un procent de 27,3%, în timp ce lemnul de balsa a prezentat cea mai ridicată capacitate de absorbție, atingând 85,3%.

În timpul experimentului, s-au realizat măsurători din oră în oră, pentru a observa care este timpul necesar de a atinge punctul de saturație al fibrei, pentru lemnul de tei și Paulownia: în cazul teiului, au fost necesare 27 de ore, în timp ce, pentru lemnul de Paulownia, au fost necesare 9 ore. După aceste intervale orare, lemnul a încetat să își modifice dimensiunea.

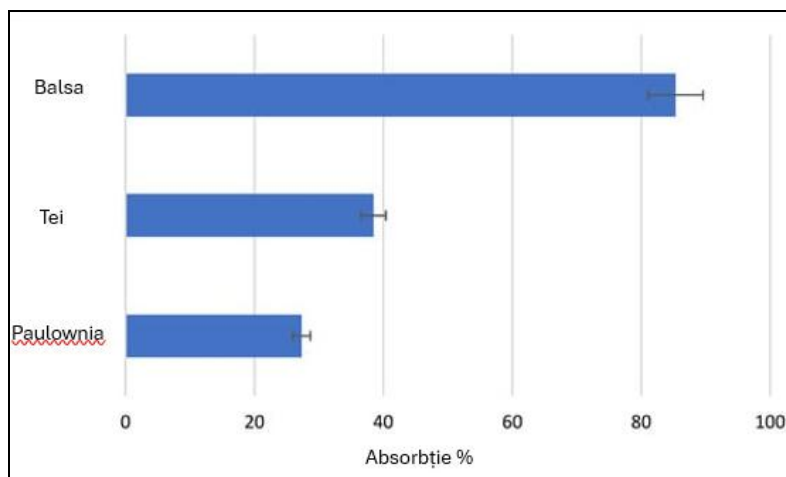


Fig. 14. Absorbția de apă pentru cele trei specii lemnoase: balsa-tei-Paulownia

Rezultate privind umflarea și contragerea celor trei specii lemnoase

În raport cu lemnul de tei, Paulownia se are o umflare volumetrică mai redusă cu 64.69%, iar balsa, cu 67.11%. Diferența de contragere între balsa și Paulownia este de 6.84%. Se poate observa că cea mai mare contragere volumetrică este evidentă la lemnul de tei (12.28%), în timp ce, lemnul de Paulownia are o contragere volumetrică de 5.37% iar lemnul de balsa, de 5.39%. În raport cu lemnul de tei, Paulownia are o contragere volumetrică mai redusă cu 56.27%, iar balsa, cu 56.10%. Diferența de contragere între Paulownia și balsa este de cca. 1%.

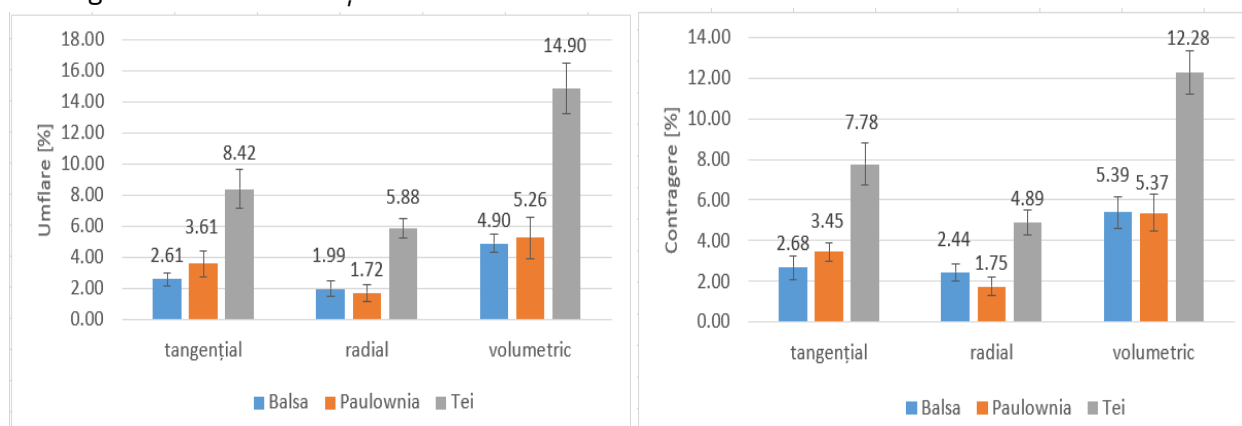


Fig. 15. a, b. Valori medii privind Umflarea și Contragerea pe cele două secțiuni: tangențial, radial dar și volumetric, pentru cele trei specii testate

3.2.3 Rezultate privind proprietățile mecanice

Modulul de elasticitate (MOE) și modulul de rupere (MOR)

Din datele obținute rezultă că lemnul de tei a înregistrat cea mai ridicată rezistență, cu un MOR de 92,3 N/mm², urmat de lemnul de Paulownia cu 62,1 N/mm², iar cea mai scăzută valoare a fost observată în cazul lemnului de balsa, cu 14,1 N/mm² (Fig. 16. a.).

În ceea ce privește modulul de elasticitate (MOE) la încovoiere statică (Fig. 16. b.), se constată că: lemnul de tei a prezentat cea mai mare elasticitate dintre cele trei specii testate, cu un MOE de 6782 N/mm², urmat de Paulownia (4890 N/mm²), în timp ce lemnul de balsa a avut cea mai redusă valoare, de doar 927 N/mm².

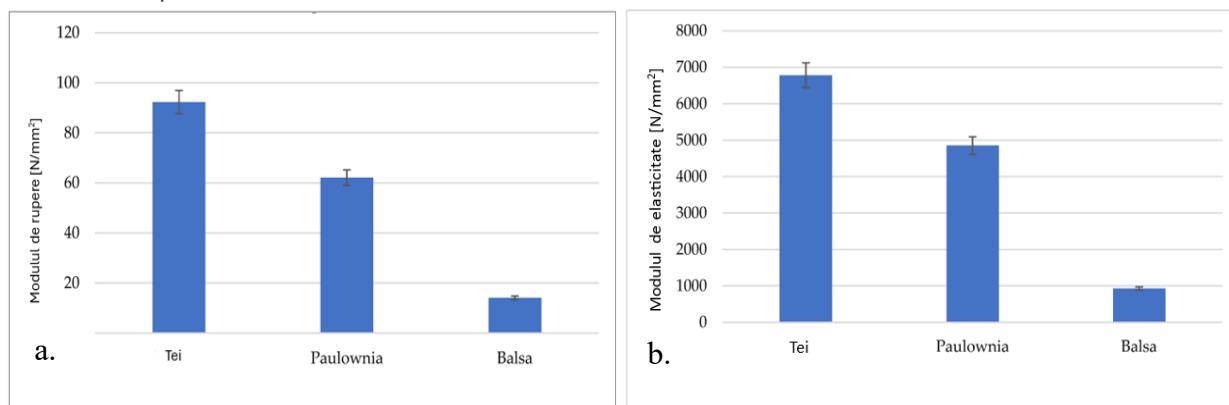


Fig. 16. a., b. MOR rezultat pentru cele trei specii testate (a); MOE rezultat pentru cele trei specii testate (b)

Rezistența la compresiune II cu fibra

Rezistența la compresiune a lemnului de Paulownia este cu 19.40% mai mică decât la lemnul de tei, iar în cazul lemnului de balsa rezistența la compresiune este mai redusă cu 82.59%. Comparând lemnul de Paulownia cu lemnul de balsa, se constată că, lemnul de Paulownia are o rezistență la compresiune cu 78.66% mai mare. Curbele arată distribuția valorilor măsurate și ilustrează cât de frecvente sunt anumite niveluri de rezistență. Teiul a avut cea mai mare rezistență la compresiune, respectiv 52.85 MPa, dar și o variație mai mare între probe. Paulownia a prezentat o rezistență de 42.47 MPa, fiind mai constantă în valori. Balsa, a înregistrat cea mai scăzută rezistență, în medie de doar 9 MPa, dar se constată și o variație mai mare între probe.

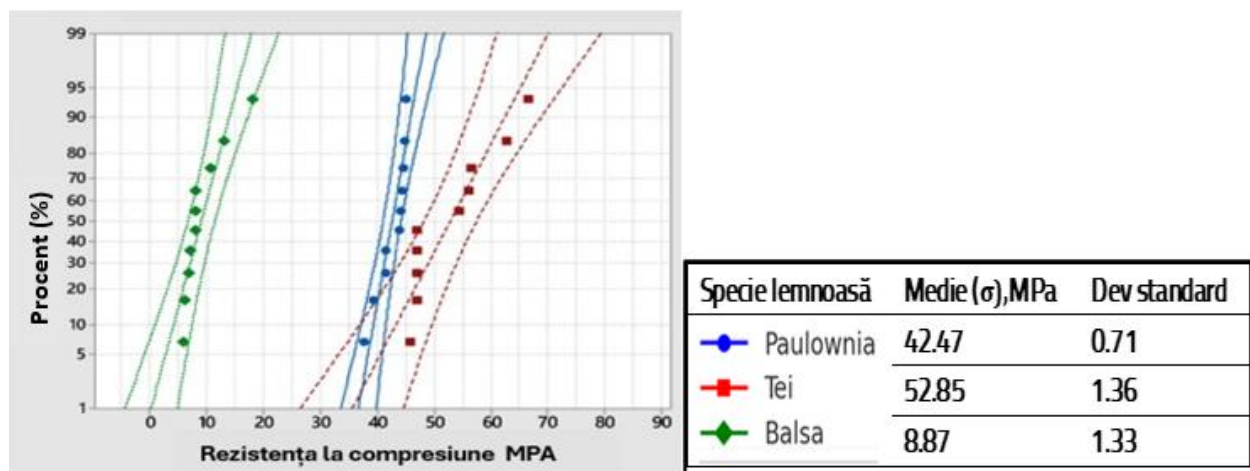


Fig. 17. Distribuția rezistenței la compresiune (MPa)

Duritatea Brinell

Valorile obținute pentru duritatea Brinell (BH) sunt prezentate în Fig. 18 și evidențiază diferențe semnificative între cele trei specii de lemn analizate, în special în cazul lemnului de balsa în raport cu celelalte două specii. Lemnul de tei a înregistrat cea mai mare duritate, cu o valoare de 20,4 N/mm², urmat de Paulownia, cu 14,45 N/mm², ceea ce înseamnă o duritate cu aproximativ 30% mai mică față de tei. Balsa a avut cea mai redusă duritate, de 9,45 N/mm², adică aproximativ 50% mai mică față de tei și cu 35% mai mică față de Paulownia.

De asemenea, se constată că, pentru toate cele trei specii, valorile durității Brinell sunt mai ridicate în secțiunea tangențială față de cea radială.

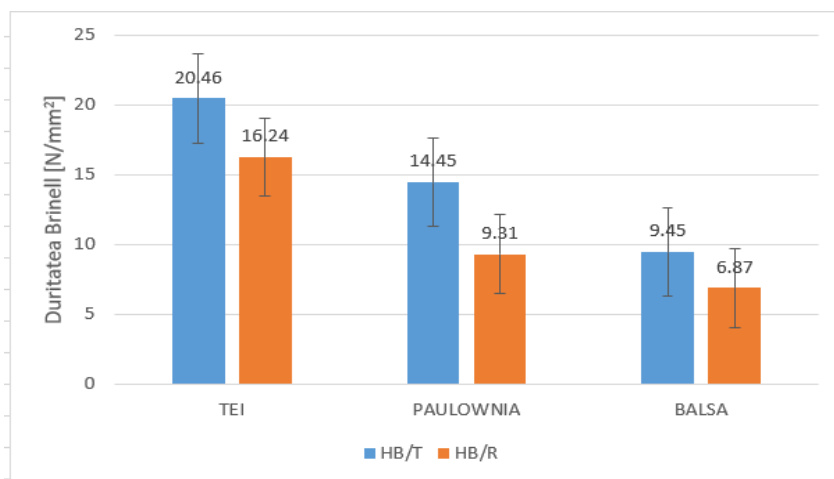


Fig. 18. Duritatea Brinell pentru cele trei specii lemnoase testate. Secţiune radială şi tangenţială

3.2.4. Concluzii

În cadrul acestui studiu a fost urmărită realizarea unei analize comparative între cele trei specii lemnoase investigate, cu scopul de a evalua potenţialul lor de utilizare în conservarea şi restaurarea obiectelor de patrimoniu.

O tendinţă generală observată a fost aceea că gradul de contragere al lemnului a scăzut proporţional cu scăderea densităţii, acest comportament fiind constant indiferent de direcţia de analiză – radială sau tangenţială.

Punctul de referinţă al analizei a fost lemnul de tei sănătos (*Tilia* spp.), întrucât acesta constituie materialul tradiţional utilizat pentru completări structurale în cazul obiectelor de artă sever deteriorate. Necesitatea identificării unui înlocuitor adecvat se bazează pe dorinţa de a folosi o esenţă lemnoasă care să nu afecteze caracterul artistic sau echilibrul fizico-chimic al piesei restaurate – fie prin comportament dimensional incompatibil (umflare/contragere), fie printr-o masă specifică excesivă raportată la gradul de degradare al obiectului.

Analiza datelor obţinute a evidenţiat faptul că lemnul de Paulownia prezintă proprietăţi comparabile cu cele ale lemnului de tei, ceea ce îl recomandă drept un posibil substitut viabil în aplicaţii precum modelare, restaurare, conservare sau sculptură.

3.3. Observaţii privind comportamentul lemnului de tei (degradat şi sănătos) şi Paulownia sub acţiunea solvenţilor (apă- white spirit - acetona)

Tratamentele de restaurare, fie că sunt preventive sau curative, aplicate cu rol de prevenţie sau de stopare a bio-dăunătorilor sau cu scopul de consolidare, de cele mai multe ori, necesită repetare multiplă. În acest context, lemnul suferă modificări dimensionale prin umflare şi contragere repetată, dar şi deformări. Acest stres, se transferă inevitabil asupra straturilor de policromie.

Diferit faţă de literatura de specialitate, partea de noutate din prezentul studiu, se referă atât la modificările dimensionale produse de umflare, dar mai ales, la deformări: curbări şi torsionări apărute în timpul imersiei parţiale la contactul lemnului cu solvenţii selectaţi. De asemenea, studiul aduce în prim plan şi evaluează comportamentul lemnului istoric, deteriorate sever de insectele xilofage, care se regăseşte în obiectele de patrimoniu cultural, unde pe una dintre suprafeţe (suprafaţa tangenţială) este prezent un strat policrom compus din clei proteic-grund-pigmenţi.

Scopul cercetării a fost de a observa și de a înțelege efectul solvenților utilizați în tratamentele de restaurare, asupra lemnului de tei istoric, deteriorat mediu sau sever, al obiectelor de artă. Totodată experimentul a fost extins și asupra lemnului de tei sănătos și Paulownia. Prin acest experiment am observat doar comportamentul la solventul selectat, ca vector de pătrundere a tratamentelor în tipul restaurărilor, fără a dezvolta fluxul unui proces de tratament specific.

3.3.1. Materiale, metodă și aparatură utilizată

Au fost utilizați trei solvenți frecvent regăsiți în diverse tratamente de restaurare a lemnului policrom, cu scop curativ sau preventiv: apă, white spirit, acetonă. Atât apa cât și white spirit-ul sunt vectori care transportă substanțele active de combatere a bio- dăunătorilor: fungi și insecte xilofage. De asemenea, atât white spirit-ul cât și acetona sunt frecvenți întâlniți și pentru solubilizarea rășinilor cu rol de consolidare.

În alegerea materialului lemnos istoric s-a ținut cont ca pe una dintre fețe să existe policromie, dar fără importanță estetică sau culturală și a fost recuperat din ansambluri care necesitau înlocuire cu material lemnos sănătos, din considerente statice. Utilizarea epruvetelor cu policromie au avut rol de a simula comportamentul unui strat cu pictură, care poate suferi modificări în diverse condiții. Policromia a constat în: grund (amestec de clei proteic și carbonat de calciu) și o peliculă de vopsea unitară de nuanță roșu (oxid de fier).

Nouă epruvete au fost secționate manual pe direcția longitudinală, obținându-se astfel 18 epruvete cu dimensiuni de $L=90 \times l=130 \times h=12$ mm (± 2 mm)- din care 9 epruvete având o suprafață cu policromie (P) și 9 epruvete fără policromie (FP)- respectiv versoul panoului. Alte 6 epruvete rămase la grosimea de 27 mm, au fost imersate câte două în fiecare tip de solvent. Am dorit observarea modificărilor atât pe epruvete cu grosime de 27 mm, dar și de pe acelea secționate 10-12 mm.

S-a optat pentru scufundarea parțială în solvenți (Fig. 19), respectiv 1/2 din grosimea epruvetelor, argumentată de faptul că, în practica curentă, obiectele de artă cu policromie nu pot fi imersate total în solvenți sau în lichidele de tratament.



Fig. 19. Exemplificarea modalității de imersie a epruvetelor.

Pornind de la această analiză, s-a considerat că este necesară extinderea cercetării și asupra lemnului sănătos din tei și Paulownia.

Scopul acestor observații asupra lemnului sănătos a fost de a înțelege comportamentul privind modificările dimensionale și creșterile de masă în condiția absorbției de solvent atunci când sunt necesare tratamente preventive și asupra unor panouri policrome degradate, unde s-a realizat o

completare cu lemn nou. Astfel am considerat că este necesară o simulare pe lemnul nou a efectelor produse de solvenţii utilizaţi în timpul tratamentului preventiv sau curativ.

Atât lemnul de tei cât şi lemnul de Paulownia a fost prelucrat pe maşini combinate de tâmplărie, efectuându-se următoarele operaţii: îndreptare şi egalizare la grosime, formatizare, debitare şi retezare la dimensiunile stabilite. Pentru desfăşurarea experimentului au fost pregătite două tipuri distincte de epruvete, având grosimi de 20 mm (± 1 mm) şi 10 mm (± 1 mm) şi dimensiuni de 90x 130 mm (lungime x lăţime). Din fiecare categorie dimensională au fost realizate câte 30 de exemplare pentru fiecare specie lemnoasă. Această repartizare a permis o evaluare comparativă riguroasă între cele două tipuri de material.

Determinarea variaţiilor de deformare a fost realizată utilizând un dispozitiv magnetic dotat cu ceas comparator marca HBM Machines, cu domeniu 10 mm şi gradaţie de 0.01 mm, în timp ce adâncimea curburii a fost măsurată cu ajutorul aparatului digital Parkside PTM 2 A1. Ceasul comparator a fost calibrat la începutul fiecărui set experimental, în funcţie de tipul epruvetelor analizate (groase sau subţiri), şi a rămas nemodificat pe întreaga durată a măsurătorilor pentru acel set. Ceasul comparator măsoară abateri dimensionale şi de formă geometrică, şi poate fi util pentru compararea cu dimensiunea de referinţă, prin urmare, el nu măsoară dimensiuni absolute ci diferenţe faţă de referinţă. Are un interval de rotaţie de 1 mm şi scală de la 0-100.

Umflarea lineară a fost calculată în conformitate cu standardul ISO 4859- 1982, iar determinarea a fost dată în procente.

Cantitatea de solvent absorbită (M_{ABS}) în grame a fost calculată cu formula (1a.), iar pentru determinarea volumului absorbit (V_{ABS}) a fost utilizată formula (1b.).

$$M_{ABS} = m_u - m_i \text{ [g]} \quad (1 a.)$$

Unde,

M_{ABS} = cantitatea absorbită exprimată în g

m_u = masa umedă, după extragerea din solvent în g; m_i = masa iniţială, înainte de tratament în g

$$V_{ABS} = \frac{M_{ABS}}{\rho_{solvent}} \text{ [cm}^3\text{]} \quad (1 b.)$$

Unde,

V_{ABS} = volumul absorbit exprimat în cm^3

M_{ABS} = cantitatea absorbită exprimată în g; $\rho_{solvent}$ = densitatea solventului exprimat în g

Deformarea, exprimată ca variaţie dimensională, a fost determinată conform relaţiei prezentate în ecuaţia (2). Valorile experimentale au fost obţinute utilizând atât un dispozitiv cu magnet şi ceas comparator, cât şi un aparat digital de măsurare. Punctele de reper au fost marcate pe suprafaţa epruvetei, iar măsurătorile au fost realizate în aceleaşi zone înainte şi după procesul de imersie, pentru a asigura acurateţea determinărilor comparative.

$$\Delta = l_u - l_i \text{ [mm]} \quad (2)$$

Unde,

Δ = variaţia exprimată în mm

l_u = valoare punctului măsurat pe axa de măsurare după imersie exprimat în mm

l_i = valoare punctului măsurat pe axa de măsurare iniţial (înainte de imersie) exprimat în mm

Pentru preluarea şi echilibrarea deformărilor atât iniţiale cât şi acelea rezultate în urma extragerii din lichid, s-au utilizat pene de compensare cu lungimea de 60 mm şi înclinăţie de la 1mm până la 70 mm. Au fost luate în considerare puncte convenţionale de măsurare pe axele orizontale D-YD-C; A-YA-B; XA- XB, conform Fig. 20 a., b.

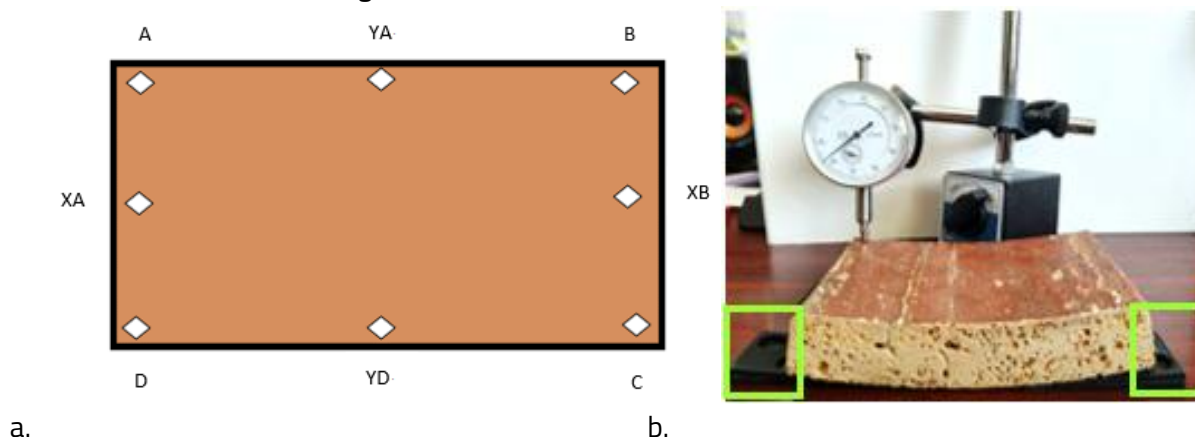


Fig. 20. a., b. Marcarea punctelor de măsurare pe epruvete şi coordonatele pe axe (a); Măsurarea deformării cu ceasul comparator şi evidenţierea penelor de compensare (b.)

3.3.2. Rezultate obţinute pentru lemnul de tei degradat: absorbţie şi deformări apărute în timpul imersiei

Alegerea solventului cu evaporare rapidă, va produce suportului lemnos atât modificări dimensionale, cât şi fisuri şi fracturi. În cazul solventilor cu rată de evaporare lentă, se evidenţiază avantajul penetrării în profunzime a tratamentului aplicat, ceea ce poate asigura o eficienţă sporită în consolidare. Pe de altă parte, această caracteristică este însoţită de dezavantajul acumulării unei mase suplimentare asupra suportului, iar procesul de evaporare se desfăşoară pe o durată semnificativ extinsă, fapt ce poate influenţa negativ timpii de lucru din procesul de restaurare.

Absorbţia de lichid şi modificările dimensionale de umflare

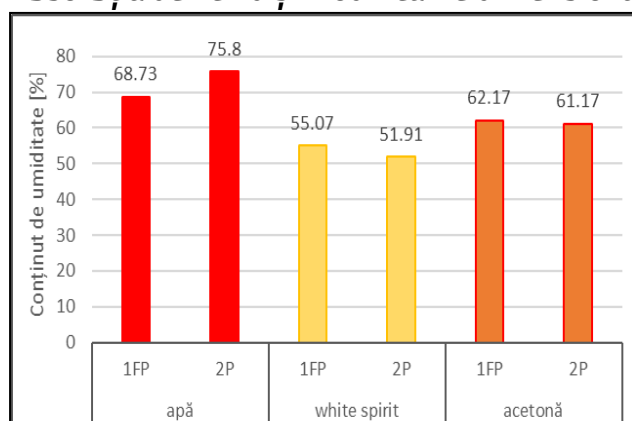


Fig. 21 Conţinutul de umiditate al epruvetelor în procente, după imersia în solvenţi 15 minute

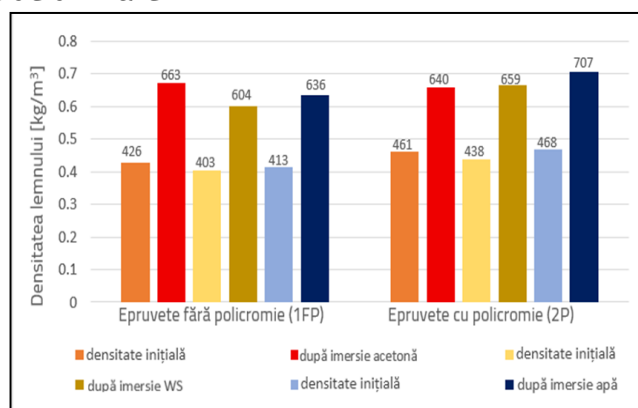


Fig. 22 Densităţile (kg/m³) epruvetelor secţionate înainte de tratament şi după extragerea din solvenţi. Fiecare bloc de culori, grupat câte două reprezintă epruvetele înainte şi după imersia în solvent

Tabel 4. Umflări pe direcția tangențială a epruvetelor subțiri (fără policromie și cu policromie) cu secțiune de 12 mm grosime

Solvent		Diferența de umflare între inițial și după imersie parțială (15 minute)			
Cod epruvete		Dimensiuni inițiale	Dimensiuni după imersie	Umflare	Modificare dimensională
		mm	mm	mm	%
Apă	1FP**	130.89 (0.98)*	136.28 (0.84)*	5.39	4.12
	2P***	130.84 (0.73)*	137.56 (0.98)*	6.72	5.14
White spirit	1FP**	132.07 (0.68)*	132.48 (0.68)*	0.41	0.31
	2P***	132.85 (0.82)*	132.91 (0.25)*	0.06	0.05
Acetonă	1FP**	130.05 (0.87)*	138.97 (2.61)*	8.92	6.86
	2P***	130.05 (0.87)*	140.28 (0.90)*	10.23	7.87

*Abatere standard; **1FP lemn fără policromie; ***2P lemn cu policromie

Tabel 5. Umflări pe secțiune tangențială a epruvetelor cu grosime de 27 mm.

Solvent/		Diferența de umflare între inițial și după imersie parțială (15 minute)			
Cod epruvete		Dimensiuni inițiale	Dimensiuni după imersie	Umflare	Modificare dimensională
		mm	mm	mm	%
Apă	1	130.40	133.02	2.62	2.00
	2	129.15	131.53	2.38	1.84
White spirit	3	128.94	129.63	0.69	0.53
	4	129.83	130.19	0.36	0.27
Acetonă	5	129.61	134.69	5.08	3.92
	6	129.46	134.61	5.15	3.97

În cazul epruvetelor fără strat policrom, modificarea dimensională rezultată în urma imersiei în acetonă este cu 60,38% mai mare comparativ cu cea provocată de apă. Pentru epruvetele cu strat policrom, această diferență este și mai accentuată, acetona cauzând o variație dimensională cu 65,66% mai mare decât apa.

Comparativ cu solventul white spirit, acetona provoacă deformări semnificativ superioare: de peste 203 ori mai mari în cazul epruvetelor fără policromie și de aproximativ 212,7 ori mai mari în cazul celor cu policromie.

Aceste diferențe evidențiază impactul major al naturii solventului asupra comportamentului higroscopic și dimensional al lemnului degradat, aspect esențial în contextul conservării și restaurării patrimoniului cultural, pentru alegerea materialelor, a metodelor de pregătire și realizare efectivă a unui flux tehnologic de restaurare curativă sau preventivă.

Totodată se poate concluziona că raportul de umflare este influențat atât de grosimea eșantionului de lemn, cât și de durata expunerii acestuia la acțiunea solventului, manifestându-se cu intensitate variabilă în funcție de acești factori.

Modificările dimensionale- deformări ale lemnului produse de solvenţi

În urma experimentului, se constată că apar modificări şi din punct de vedere al planeităţii. Se pot observa că apar atât curbări concave sau convexe, cât şi torsiuni.

Rezultate pentru epruvete în apă

Epruvetele imersate în apă s-au curbat concav şi convex. În Fig. 23 se observă exemplificarea unei situaţii de curbare concavă spre faţa cu policromie, producând aglomerarea, desprinderi în acoperiş şi apoi lacune pe suprafaţa cu pictură. Atunci când curbarea este convexă faţă de stratul de policromie, acesta se va întinde o dată cu curbarea lemnului, însă neavând aceeaşi elasticitate, se vor produce fisuri şi lacune.

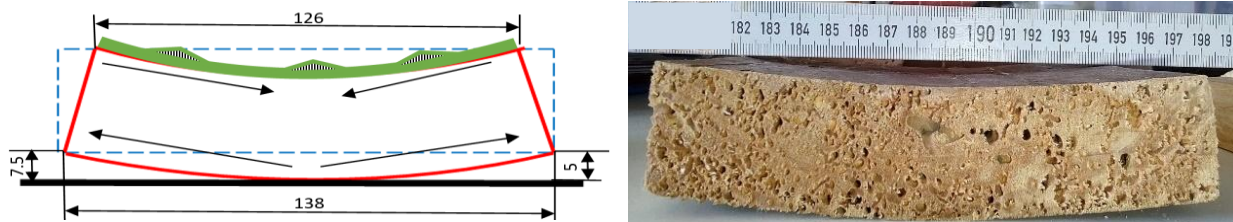


Fig. 23. Reprezentare grafică a deformărilor concave raportat la suprafaţa cu policromie, producându-se desprinderi în acoperiş (în două ape similar cu arhitectura).

Se remarcă o deformare pronunţată, orientată în sens opus faţă de forma iniţială a probei, sugerând o reacţie mecanică accentuată la absorbţia de apă. Diferenţele dintre valorile măsurate anterior şi ulterior tratamentului indică un grad de deformare situat în intervalul 13,96% – 26%, reflectând un comportament higroscopic semnificativ.

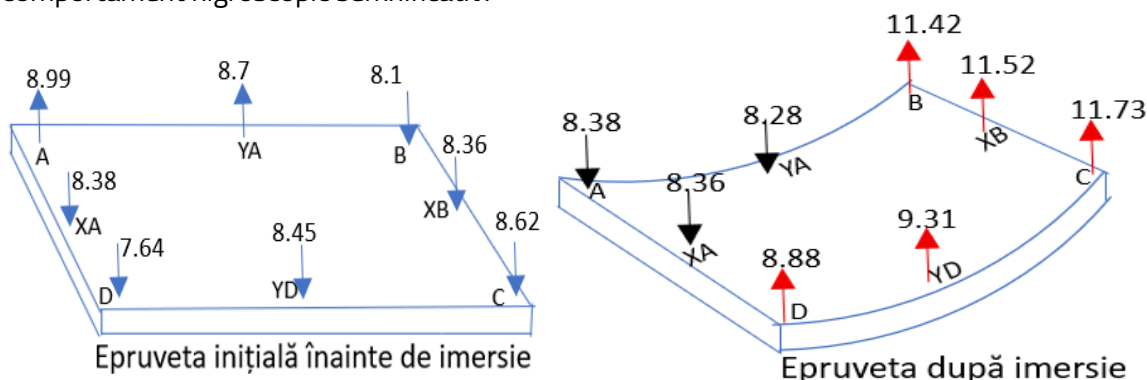


Fig. 24. Reprezentarea schematică a deformărilor pe cele trei axe de măsurare, la epruveta din lemn de tei istoric (deteriorat) cu grosimea de 27 mm, imersată parţial în apă

Epruvetele subţiri s-au modificat de asemenea: în timpul imersiei parţiale şi după extragerea din apă s-au produs puternice curbări, cu săgeată de curbare cuprinsă între 4 mm ÷ 10 mm (Fig. 25, Fig. 26 a.) dar şi torsiuni (Fig. 26 b.) cu valori cuprinse între 4 ÷ 7 mm.



Fig. 25. Curbări puternice după extragerea din apă a epruvetelor secţionate

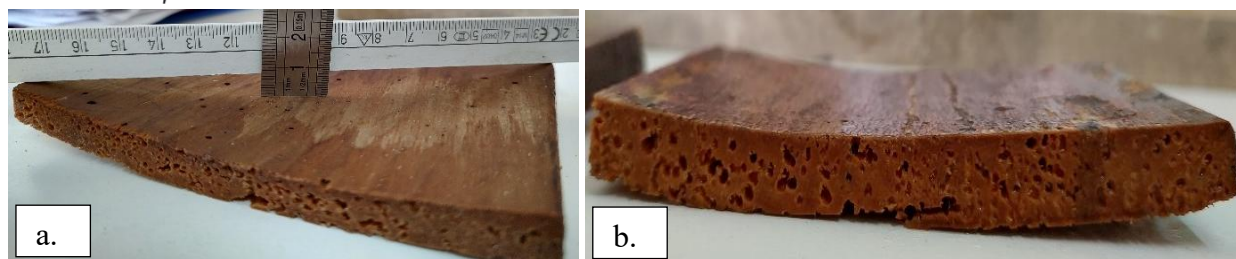


Fig. 26. a., b. Curbare de 10 mm după extragerea din apă (a.); torsiune după extragerea din apă (b.)

Rezultate obținute white spirit

Umflările dar mai ales deformările sunt unitare pe întreaga epruvetă și foarte reduse, aproape nesemnificative în raport cu ceilalți solvenți, atât pentru epruvetele cu grosimea de 27 mm cât și pentru cele de 12 mm grosime. Aceste deformări nu afectează forma și stabilitatea epruvetelor și nici a stratului de policromie (Fig. 27, 28).

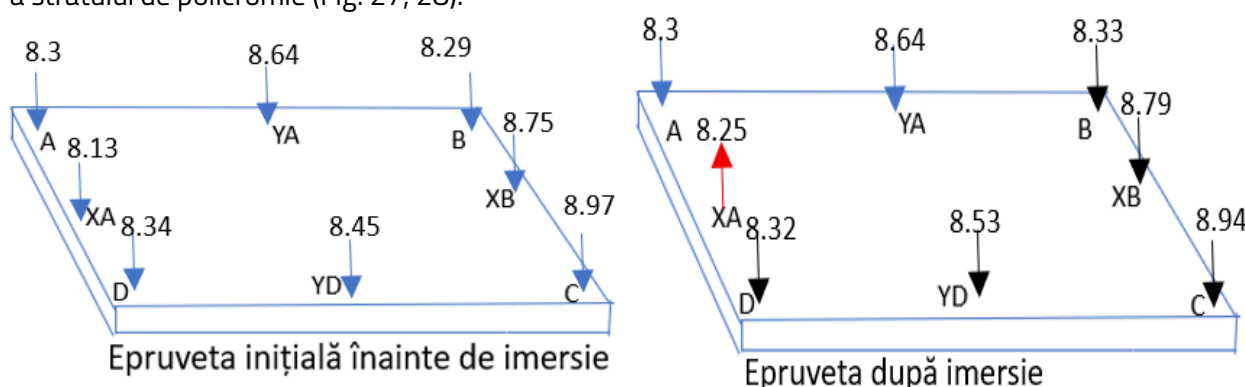


Fig. 27. Representarea schematică a epruvetei groase, după imersia în white spirit, unde se poate observa atât vizual cât și valoric- conform măsurătorilor, deformările nesemnificative.

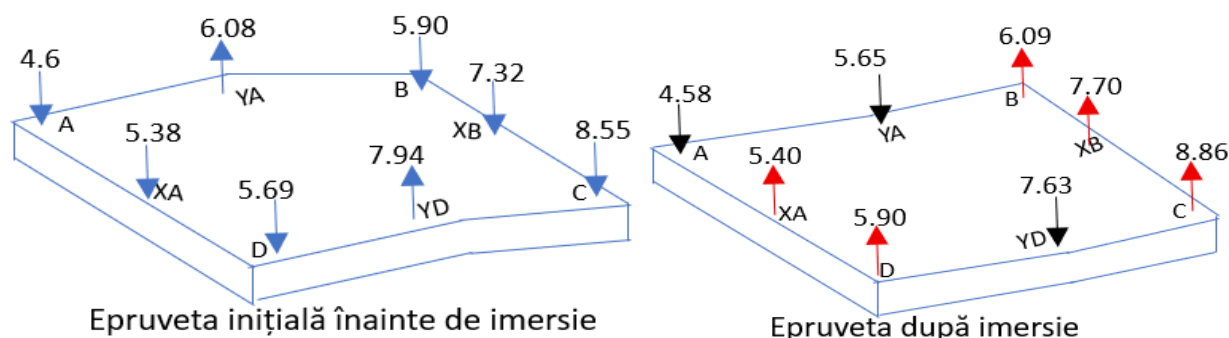


Fig. 28. Representarea schematică a unei epruvete subțiri, după imersia în white spirit, unde se poate observa atât vizual cât și valoric- conform măsurătorilor, că deformările produse sunt foarte reduse

Rezultate obținute pentru acetonă

În urma imersiei în acetonă, epruvetele cu grosime de 27 mm au manifestat deformări semnificative de tip curbare, în timp ce fenomenul de torsiune a fost relativ redus, totodă, a fost remarcată o accentuare a tendinței de umflare a materialului. În cazul epruvetelor secționare, cu grosimea de 12 mm, s-au înregistrat deformări de tip curbare și torsiune de cca. 5-6 mm. cu manifestări inegale, variind în funcție de natura probei.

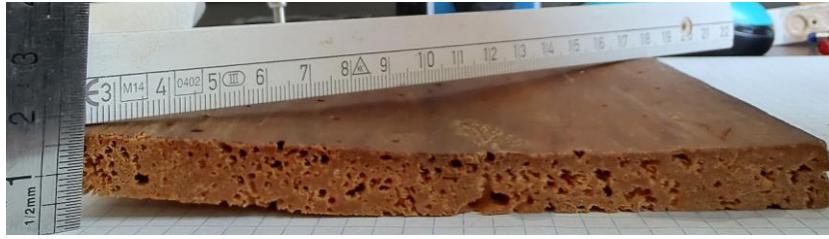


Fig. 29. Epruveta subțire fără pictură cu puternice torsiuni.

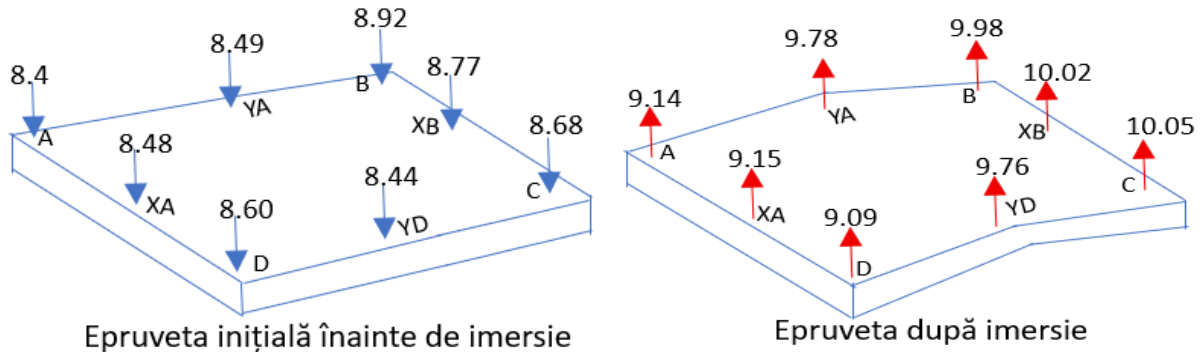


Fig. 30. Reprezentarea schematică cu modificările în urma imersiei în acetona a unei epruvete groase

Deformările identificate la epruvetele subțiri includ torsiuni cu amplitudini cuprinse între 2 și 6 mm, iar curbările medii se situează în intervalul 1,5–4 mm.

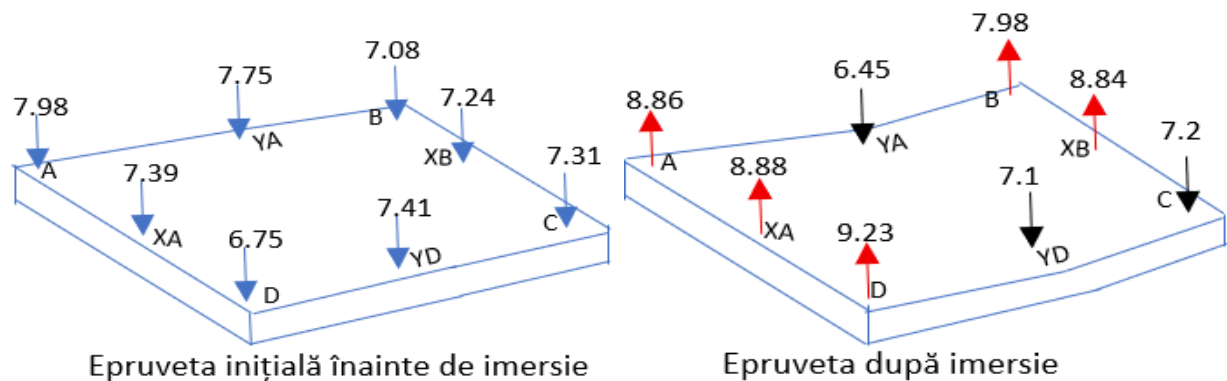


Fig. 31. Reprezentarea schematică a deformărilor accentuate observate la epruvetele subțiri (12 mm) din lemn de tei istoric

3.3.4. Rezultate obținute pentru lemnul sănătos de tei (*Tilia spp.*) și Paulownia (*Paulownia spp.*): absorbție și deformări apărute în timpul imersiei

Absorbția de lichid și modificările dimensionale de umflare

Deoarece acest studiu a fost realizat cu raportare punctuală domeniului restaurării, când sunt necesare completări cu lemn sănătos tipo-dimensional (păstrând tipul de debitare, de dispunere a fibrelor și a speciei lemnoase) pe obiecte sever deteriorate, măsurătorile privind umflarea au fost consemnate doar pe direcția tangențială, unde, influența umflărilor, contragerilor sau deformărilor pot avea efecte negative asupra stratului de policromie.

Analizând informațiile obținute în urma umflării pe direcție tangențială, se poate concluziona că, deși, absorbția este mai mare în cazul lemnului de Paulownia în probele subțiri, se constată că umflarea este evident mai redusă cu aproximativ 50% față de lemnul de tei.

În timp ce, în cazul probelor groase, acetona umflă lemnul de tei cu aproximativ 90% mai mult decât lemnul de Paulownia, iar apa produce umflare mai mare lemnului de tei cu cca. 80% comparativ cu Paulownia. În cazul solventului white spirit, se constată că umflarea este extrem de redusă la ambele specii lemnoase, indiferent de timpul de imersie și de grosimea epruvetelor.

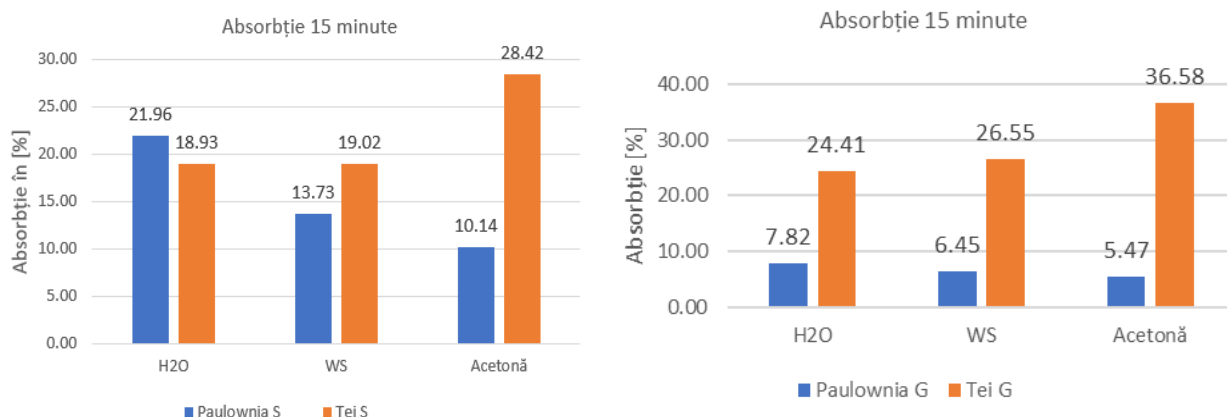


Fig. 32. Absorbție lichid în primele 15 minute, de imersi parțială pentru cele două tipuri de epruvete: Paulownia tei sănătos cu grosime de 10 și 20 mm

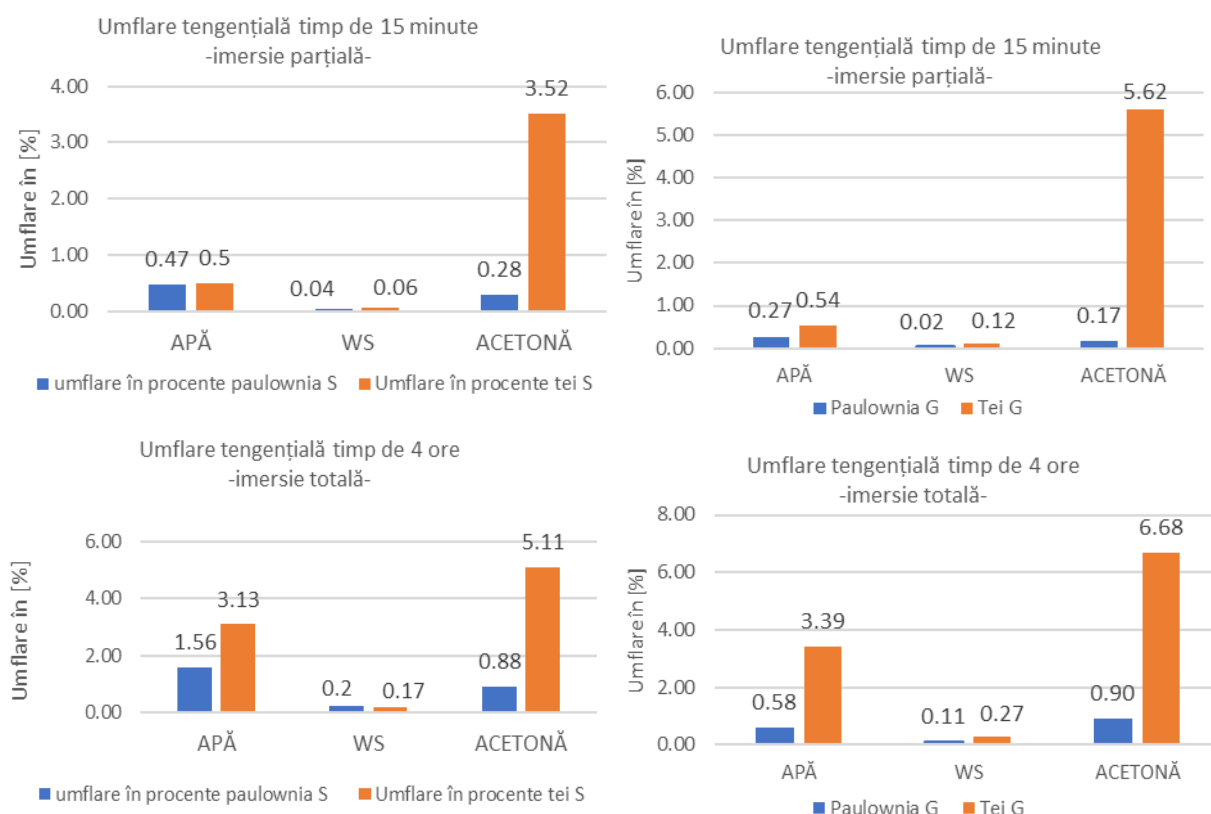


Fig. 33. Umflarea rezultată în primele 15 minute și după 4 ore de imersie totală pentru cele două tipuri de epruvete: Paulownia tei sănătos cu grosime de 10 și 20 mm

Modificările privind deformarea epruvetelor din lemn sănătos

După desfășurarea experimentului, s-au observat schimbări în ceea ce privește planaritatea. Este evident că au apărut atât curbări concave, cât și convexe, precum și torsiuni. De asemenea, s-a

constatat că deformările nu au fost mereu influenţate de inelele anuale, iar curbările nu au apărut exclusiv în direcţia opusă celei de creştere a inelelor anuale.

În motivarea alegerii acestor timpi de exemplificare, am ținut cont de practica în restaurare, când tratamentele sunt de scurtă durată, cca. 15-20 de minute. În cazul imersiei timp de 4 și 24 de ore, am dorit o consemnare a comportamentului lemnului sănătos din punct de vedere al ingineriei lemnului.

Rezultate pentru imersia în apă

În timpul imersiei parţiale a lemnului de Paulownia, timp de 15 minute, la probele subţiri, se constată că apar deformări variate dar uşoare, puţin concave (exemplu, în cazul epruvetei IV), sau deformări produse pe o singură axă. În cazul epruvetelor groase imersate în apă, timp de 15 minute modificările sunt foarte reduse, cu valori cuprinse între $0.04 \div 0.19$ mm, deformarea poate fi observată atât vizual cât şi valoric în Fig. 35.

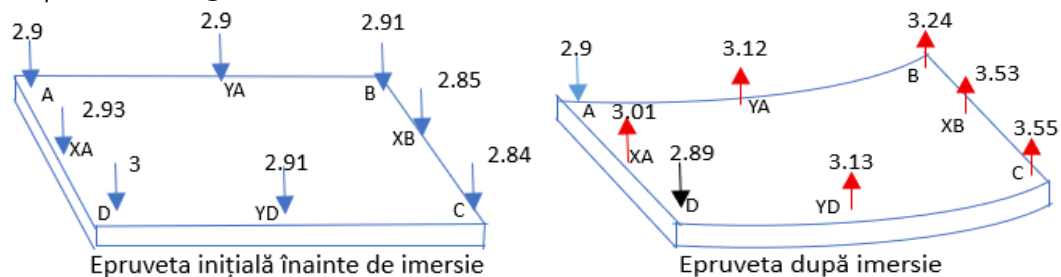


Fig. 34. Reprezentarea schematică a deformărilor obținute în urma măsurătorilor cu ceasul comparator a epruvetelor subţiri (10 mm) din lemn de Paulownia imersat 15 minute în apă

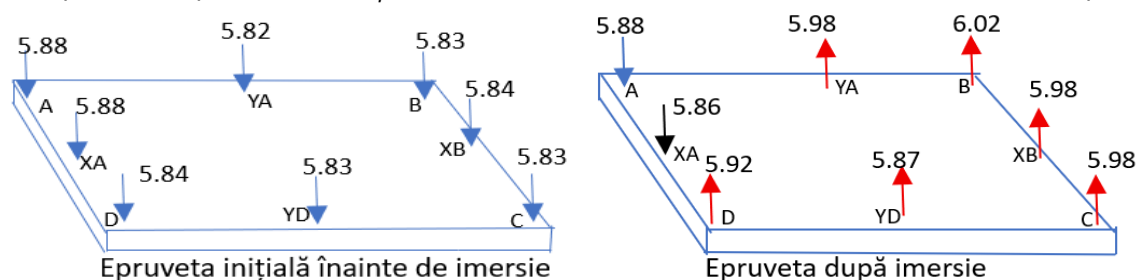


Fig. 35. Reprezentare schematică a deformărilor produse la epruvetele din lemn de Paulownia, cu grosime de 20 mm, imersat parțial în apă timp de 15 minute

În cazul lemnului de tei, epruvetele subţiri supuse tratamentului prin imersie parţială prezintă în primele 15 minute umflări accentuate, deformări evidente de tip concav, sau individuale, localizate pe axe, dar şi torsiuni. Deformările sunt evidente la toate epruvetele

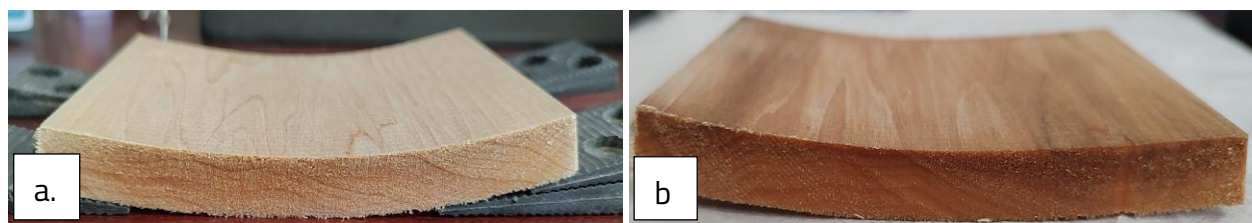


Fig. 36. a., b. Epruveta subţire din lemn de tei la 4 ore de imersie în apă (a.). Aceeași epruvetă după 24 de ore de imersie în apă (b.)

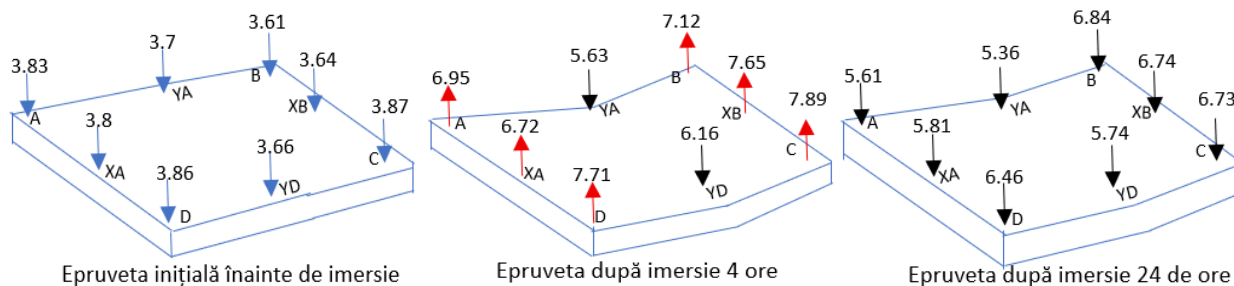


Fig. 37. Reprezentarea schematică a epruvetei nr. II din lemn de tei sănătos, cu secțiunea 10 mm. Etape ale deformării de la inițial la 24 de ore de imersie în apă

În cazul epruvetelor groase din lemn de tei imersat în 4 ore și 24 de ore, se produc deformări, torsionări și umflări, mai reduse, față de epruvetele subțiri supuse aceluiași condiții.

Lemnul de Paulownia prezintă o stabilitate dimensională superioară, înregistrând variații mult mai reduse atât din punct de vedere al modificărilor dimensionale, cât și al deformărilor, comparativ cu lemnul de tei.

Rezultate pentru imersia în white spirit

În cazul epruvetelor subțiri, s-a observat o ușoară deformare în primele 15 minute de imersie, însă în toate celelalte condiții experimentale, respectiv la intervalele de 4 și 24 de ore, atât epruvetele subțiri, cât și cele groase la ambele specii lemnoase, s-a evidențiat o tendință clară de comprimare a lemnului, fără manifestarea fenomenelor de umflare sau deformare. Aceste modificări structurale sunt distribuite uniform pe întreaga suprafață a probelor, sugerând un comportament echilibrat al materialului lemnos în prezența solventului white spirit.

Rezultate pentru imersia în acetonă

În urma analizei informațiilor obținute în condițiile unei imersii de 15 minute în acetonă a epruvetelor din lemn de Paulownia, s-a constatat că materialul nu prezintă deformări sau torsionări vizibile, manifestând în schimb o ușoară umflare dimensională, fără afectarea integrității structurale (Fig. 38). Un comportament similar a fost observat și în cazul epruvetelor cu grosime mai mare, indicând o bună stabilitate dimensională, indiferent de secțiune (10 mm sau 20 mm).

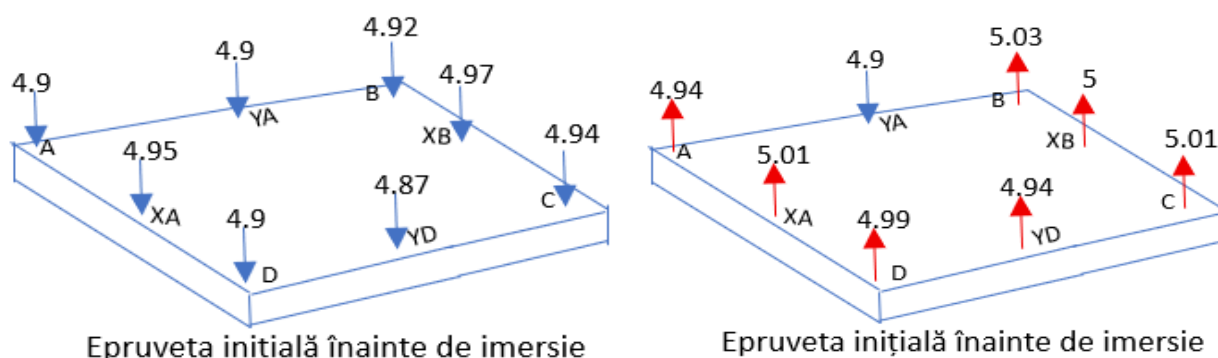


Fig. 38. Reprezentarea schematică prin care se evidențiază deformarea și umflarea epruvetelor din lemn de Paulownia, în urma imersiei în acetonă, timp de 15 minute

Epruvetele din lemn de tei imersate parțial 15 minute se deformează excesiv (Fig. 38), de la forma inițială, plană la curbare concavă sau convexă și chiar torsionări (Fig. 39). Totodată apar și umflări

majore. Curbări accentuate sunt evidențiate și în cazul epruvetelor groase din lemn de tei imersate parțial în acetona.

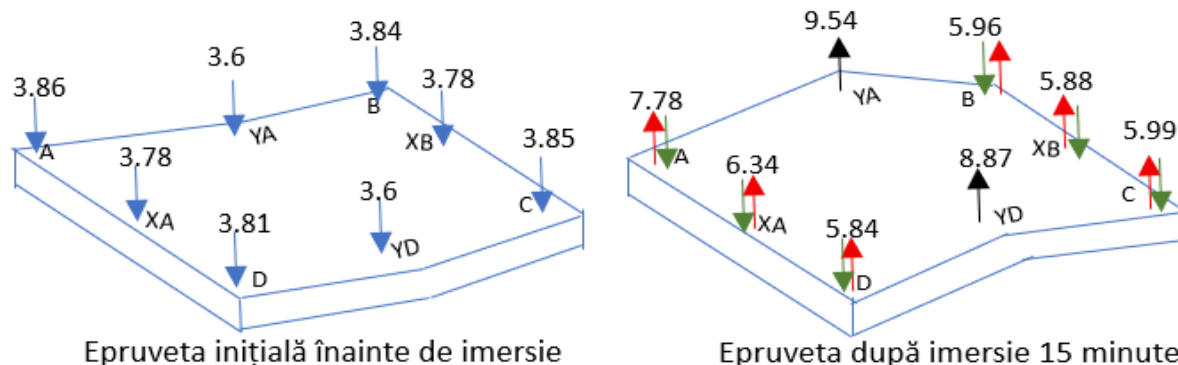


Fig. 39. Exemplificarea schematică a curbărilor excesive apărute la epruvetele subțiri din lemn de tei

3.3.5. Concluzii

Acest studiu s-a concentrat pe înțelegerea modificărilor și deformărilor apărute în panourile cu policromie ale bunurilor de patrimoniu în timpul tratamentelor de restaurare.

Datele obținute ne oferă o mai bună înțelegere a mecanismelor din spatele acestor schimbări. Aceste informații sunt esențiale pentru dezvoltarea unui proces de intervenție care să reducă sau să limiteze deteriorările fără a le accentua prin reacția la tratament

Tratamentele umede aplicate asupra panourilor policrome, care prezintă o degradare importantă provocată de insectele xilofage, trebuie pregătite și aplicate cu rigurozitate.

Soluțiile lichide utilizate pentru efectuarea tratamentelor pot produce:

1. modificări dimensionale- umflare în timpul tratamentului și contragere, după evaporarea și uscarea lemnului.
2. deformări-de tip curbare concavă/ convexă și torsiuni.

Modificările și deformările se produc concomitent asupra compozitului operei de artă.

Elasticitatea componentelor matricei bunurilor culturale, nu este unitară și similară și ca atare se comportă diferit la tensiunile și forțele la care sunt supuse, în timpul tratamentelor. Necunoașterea limitelor și mai ales imposibilitatea controlului acestora, provoacă fisuri, lacune, fracturi și deteriorarea obiectului de artă.

3.4.Rezistența la forfecare a adezivilor

Scopul acestui studiu a fost de a observa calitatea încheierii lemnului sănătos cu lemnul deteriorat, pentru aplicațiile de completări și consolidări în intervențiile de restaurare a bunurilor culturale. Totodată am considerat că este relevant pentru această cercetare și interpretarea calității adezivilor și a încheierii sub acțiuni ale forțelor mecanice, dar și impactul asupra lemnului de tei deteriorat. În vederea efectuării măsurătorilor privind rezistența la forfecare a adezivilor, am efectuat, în prealabil, determinarea unghiului de contact pentru speciile de lemn utilizate în experiment: tei degradat, tei sănătos și Paulownia.



Fig. 40. a., b., c., d., f. Măsurarea unghiului de contact pentru cele trei tipuri de epruvete: a., b. - tei sănătos; c., d. - tei degradat; e., f. - Paulownia

3.4.1. Materiale, metodă și aparatură utilizată

Pentru rezistența la forfecare a adezivilor, am pregătit două tipuri de epruvete, cu dimensiuni conform standardului ASTM D905/98. Epruvetele au fost pregătite după cum urmează: lemn de tei (*Tilia spp.*) deteriorat înleiat cu tei sănătos și lemn de Paulownia (*Paulownia spp.*) înleiat cu tei deteriorat.

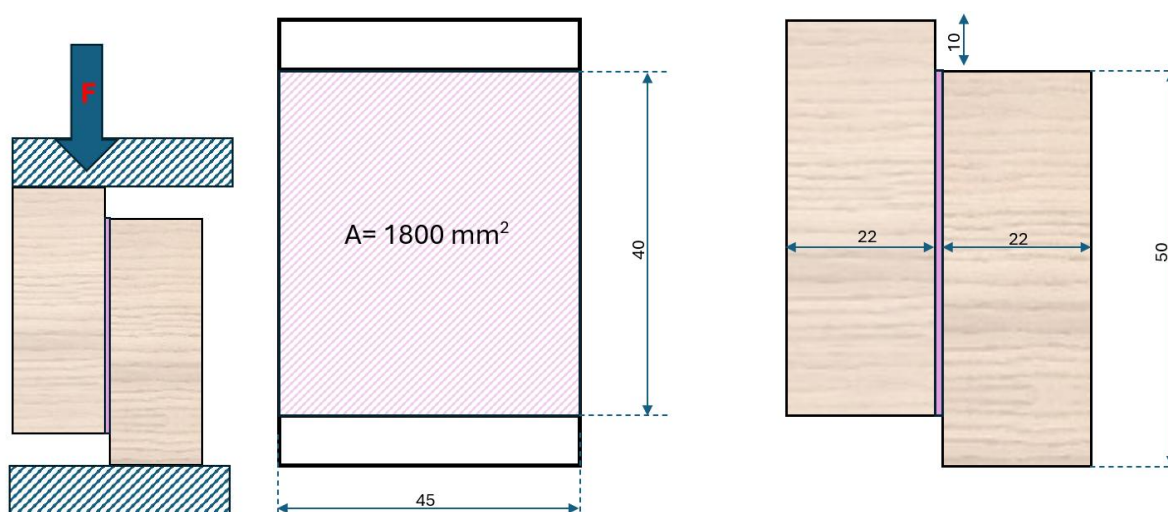


Fig. 41. Schema epruvetelor pentru testarea forfecării adezivului, conform standardului ASTM905-98

Adezivii aleși pentru înleieri au fost selecționați din gama adezivilor utilizați pentru restaurarea bunurilor de patrimoniu și au fost selectați atât adezivi cu înleiere la cald cât și cu înleiere la rece. Adezivul cald a fost cleiul proteic forte (de oase- marca CTS) în concentrație de 40 %, iar adezivul aplicat la rece a fost unul sintetic de tip aceto-vinil din marca de produse CTS. Celelalte două tipuri de înleieri au constat în utilizarea bicomponentului epoxidic Basite K și W- cu caracteristici adezive și o combinație a bicomponentului Balsite K+W și a adezivului sintetic Vinavil 59.

Forța de presare a tuturor pieselor înleiate a fost cuprinsă între 0.42 N/mm^2 și 0.6 N/mm^2 , în funcție de nivelul de degradarea lemnului de tei (istoric), pentru a evita strivirea acestuia sub presiunea preselor. Testele au fost realizate în cadrul Laboratorului de încercări mecanice al Universității Transilvania din Braşov.

3.4.2. Rezultate

Cleul proteic în concentrație 40% a înregistrat cele mai bune rezultate dintre toți adezivii testați, urmat de adezivul sintetic Vinavil 59. În comparație cu aceștia, adezivul Balsite a prezentat o eficiență adezivă semnificativ mai redusă, cu variații între 5% și 53%, influențate de specia lemnoasă utilizată și de starea de conservare a lemnului istoric.

Combinatia Balsite + Vinavil 59 a condus la o ușoară îmbunătățire a proprietăților de încheiere, însă fără a egala performanțele cleiului proteic. Dintre toate variantele testate, cleiul proteic 40% și Vinavil 59 s-au remarcat prin cele mai ridicate valori ale rezistenței la forfecare.

Balsite, atât în formă pură, cât și în combinație cu Vinavil 59, a înregistrat rezultate moderate, dar care pot fi considerate acceptabile și necesare sau importante în contextul aplicării în restaurare.

Rezultatele obținute evidențiază importanța tipului de adeziv ales asupra comportamentului mecanic al îmbinărilor structurale.

3.4.4. Concluzii

Analizând calitatea adezivilor, se constată că aceștia au bune proprietăți adezive, pentru aplicații în domeniul restaurării. În funcție de materialul de completare și de adezivul ales, se produc distrugerii la lemnul istoric, în diverse procente.

În cazul adezivului clei proteic 40%, la epruvetele lemn de Paulownia cu tei degradat, se produc distrugerii ale lemnului de Paulownia în proporție de 80%. În timp ce, 20% reprezintă degradarea lemnului istoric, prin deformarea sub acțiunea forțelor mecanice.

La epruvetele tei sănătos încheiat cu tei degradat, se distruge 60% lemnul istoric, 20% reprezintă ruperea suprafeței de adeziv, și alte 20%, fisurarea lemnului de tei sănătos.

Pentru adezivul Vinavil 59, la epruvetele din lemn de Paulownia încheiat cu tei degradat, se distrug în proporție de 40%, ambele specii, rezultând deformări (tasare). Alte 40% reprezintă distrugerea lemnului de completare-Paulownia, iar 20% reprezintă fracturarea în lemnul istoric.

În cazul teiului sănătos încheiat cu cel degradat, se distruge 80% lemnul istoric, prin fracturarea acestuia, iar 20% reprezintă fracturarea la nivelul suprafeței de adeziv.

Poate fi consemnată următoarea situație: lemnul istoric care a suportat fracturarea în suprafața de adeziv, prezintă un nivel optim sau minimal de deteriorare.

În cazul încheierii epruvetelor cu bicomponentul Balsite K și W, a epruvetelor Paulownia cu tei degradat, se observă că la 70% dintre epruvete se fracturează suprafața de adeziv și lemnul de Paulownia, fără a produce stres sau degradare lemnului istoric. 30% reprezintă distrugerea parțială a lemnului de tei istoric și a suprafeței de adeziv.

La epruvetele din tei sănătos asociat cu tei degradat, în 60% din cazuri se fracturează suprafața de adeziv, iar 40% reprezintă distrugerea asupra lemnului istoric.

În cazul încheierilor combinate: bicomponent Balsite K+W + Vinavil 59, în 60% dintre cazuri reprezintă ruperea suprafeței de adeziv a Balsitului și a lemnului de Paulownia, iar 40% rezultă distrugerea parțială a lemnului istoric.

Pentru epruvetele tei sănătos cu tei degradat, în 80% dintre cazuri, se fracturează suprafața de Balsite K+W, iar suprafața adezivului Vinavil 59 rămâne intactă; 20% reprezintă distrugerea lemnului istoric.

3.5. Teste privind îmbătrânirea accelerată pentru panouri compozite

Testul îmbătrânirii accelerate, a avut ca scop simularea unor situații reale care se pot afla în foaia de parcurs istoric al obiectelor culturale, unde pot exista variații extreme de temperatură și umiditate. Totodată scopul secundar a fost și de a observa posibile modificări de deformare/ torsiune, desprinderi de adeziv sau fisuri ale lemnului apărute în perioada de îmbătrânire accelerată.

3.5.1. Materiale, metodă și aparatură utilizată

Pentru îmbătrânirea accelerată s-au pregătit două tipuri de epruvete, încleiate cu adezivi utilizați în restaurarea bunurilor de patrimoniu și au fost selectați atât adezivi cu încleiere la cald cât și cu încleiere la rece. Adezivii selectați au fost aceiași cu cei utilizați în subcapitolul 3.4.-*Rezistența la forfecare a adezivilor*.

Pentru rezistența la forfecare a adezivilor, după extragerea din camera climatică, de îmbătrânire accelerată, au fost debitate și pregătite epruvete (Fig. 24), cu dimensiuni conform standardului SR EN 302-1/ 2013.

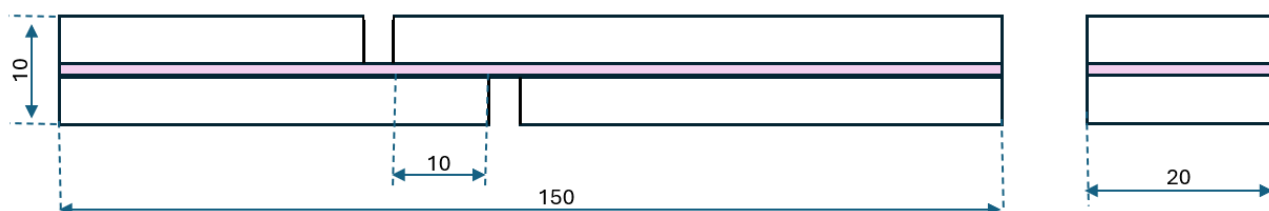


Fig.42. Reprezentarea tipului de epruvetă testată, conform standard SR EN 302-1/ 2013

3.5.2. Rezultate

În urma aplicării tratamentului de îmbătrânire accelerată, se constată că, epruvetele testate în camera climatică timp de 24 ore/ fază, nu au prezentat, la finalul procesului celor 4 zile, modificări vizibile de deformări, descleieri de adeziv sau fisuri ale stratului pictural ori despicări la nivelul superficial sau de profunzime a lemnului istoric.

Conform rezultatelor prezentate în Tabelele 37 ÷ 44 (*din teză*), adezivii nu au suferit modificări semnificative de ordin negativ în urma procesului de îmbătrânire accelerată. Se poate constata că, după acest tratament, fracturile s-au manifestat predominant la nivelul lemnului degradat, și nu în zona stratului de adeziv.

Acest comportament susține ipoteza conform căreia procesul de îmbătrânire accelerată accentuează deteriorarea lemnului istoric, în timp ce performanța adezivului se menține stabilă.

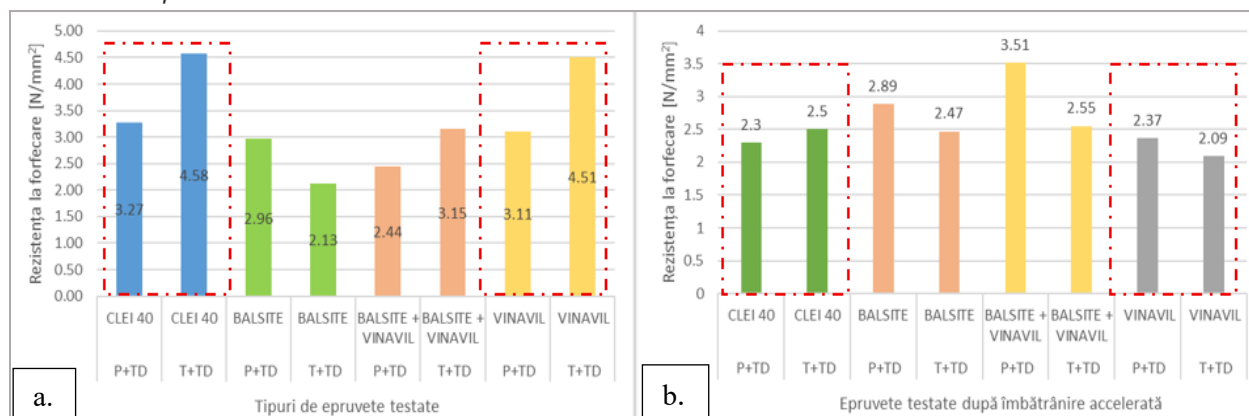


Fig. 43. a., b. Rezultatele diferențiate privind forfecarea adezivilor: a. epruvete fără aplicarea tratamentului de îmbătrânire accelerată, testate cu ASTM 905/98 (înainte) și b. epruvete după îmbătrânire accelerată, folosind standardul SR-EN 302-1/ 2013.

3.5.4. Concluzii

Analizând rezultatele obținute în urma încercărilor mecanice privind rezistența la forfecare a adezivului, atât pentru probele supuse îmbătrânirii accelerate, cât și pentru acelea cărora nu li s-a aplicat un asemenea tratament, se concluzionează că: înclieirea lemnului degradat cu lemnul sănătos nu prezintă rezistență crescută, indiferent de adezivul ales. Nu din punct de vedere al calității adezivilor, ci din punct de vedere al lemnului istoric deteriorat de insectele xilofage, care prezintă neregularitate în deteriorare și nivel diferit de degradare.

Din punct de vedere al calității adezivilor, pentru aplicațiile de restaurare a patrimoniului mobil, constatăm că, toate variantele alese pentru testare au clasificat acești adezivi ca având bune proprietăți de înclieire. Se recomandă selectarea adeziului în funcție de starea de conservare a lemnului istoric.

De asemenea, se poate observa că, lemnul de Paulownia (*Paulownia spp.*) produce prejudicii mai mici lemnului istoric deteriorat cu cca. 30% ÷ 70%, în raport cu lemnul sănătos de tei (*Tilia spp.*), însă desigur, în funcție de nivelul de deteriorare al lemnului istoric.

În ceea ce privește îmbătrânirea accelerată, nu au fost vizibile modificări de planeitate sau fisuri/ fracturi de suprafață pe epruvetele testate. Cu toate acestea, am observat o mai mare frecvență a fracturării lemnului istoric, apreciind astfel că, lemnul istoric își continuă degradarea în timpul acțiunilor de îmbătrânire accelerată.

CAPITOLUL 4. STUDIU DE CAZ. PROPUNERE DE CONSOLIDARE CU LEMN DE PAULOWNIA A UNUI FRAGMENT DE ICONOSTAS

4.1. Istoricul fragmentului de Iconostas

Fragment cu poziționare incertă într-o friză de iconostas, provenit de la vechea biserică/mănăstire-Vizantea, cu Hramul Sfintei Cruci, identificat în LMI cu codul MI-A-06569, astăzi aflată în ruine parțial. Când a fost descoperit și adus în laboratorul de restaurare „Ionescu Constantin Ștefan” din Sibiu, acest fragment nu mai avea nici un reper de poziționare corectă în ansamblul panoului grav afectat (Fig. 43) de insectele xilofage, suportul lemnos din tei (*Tilia spp.*), fiind puternic deteriorat și necesita consolidare și salvare de urgență.



Fig. 43. Panoul din ansamblul frizei de iconostas, datat 1650. Zona marcată unde se presupune că ar fi fost poziționat fragmentul.



Fig. 44. Fragmentul recuperat al frizei de iconostas.

4.2. Caracterizare fragment

Intensitatea infestării insectelor xilofage a fost de 270 orificii/dm² și un diametru mediu al orificiilor de 1.54 mm și au fost determinate cu programul de procesare a imaginilor Image J (Fig. 46.). Aceste degradări au rezultat din infestarea cu insecte xilofage, care au produs degradări de suprafață și de profunzime (volumul degradat, cca. 55.86%). Din punct de vedere mecanic, a fost testată duritatea acestui fragment, cu aparatul Mark 10 (prin metoda Ionescu 2020), și comparată cu valorile de referință. S-a constatat că acest fragment a avut o duritate medie de 2.39 N/mm², respectiv o pierdere de 86.1 %, raportată la duritatea de referință a teiului sănătos de 17.2 N/mm².

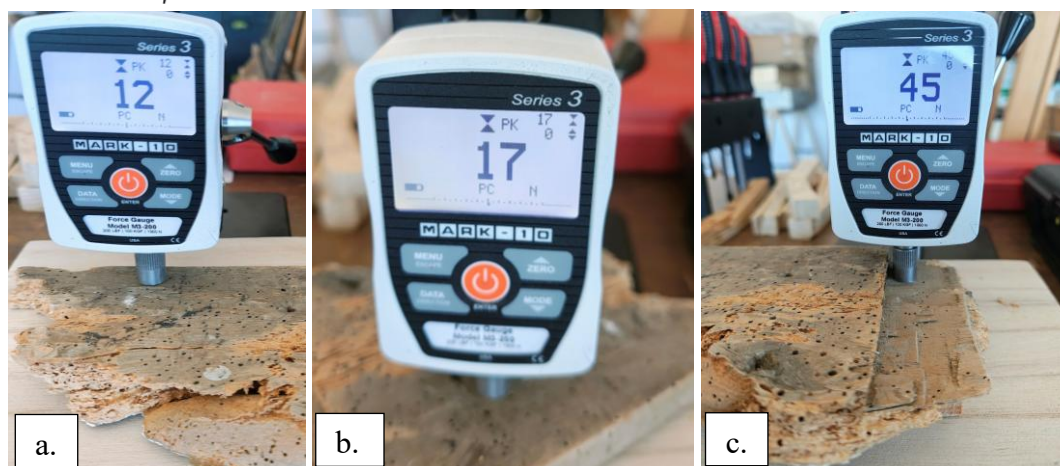


Fig. 45. a., b., c. Măsurarea durităţii fragmentului istoric, utilizând aparatul Mark

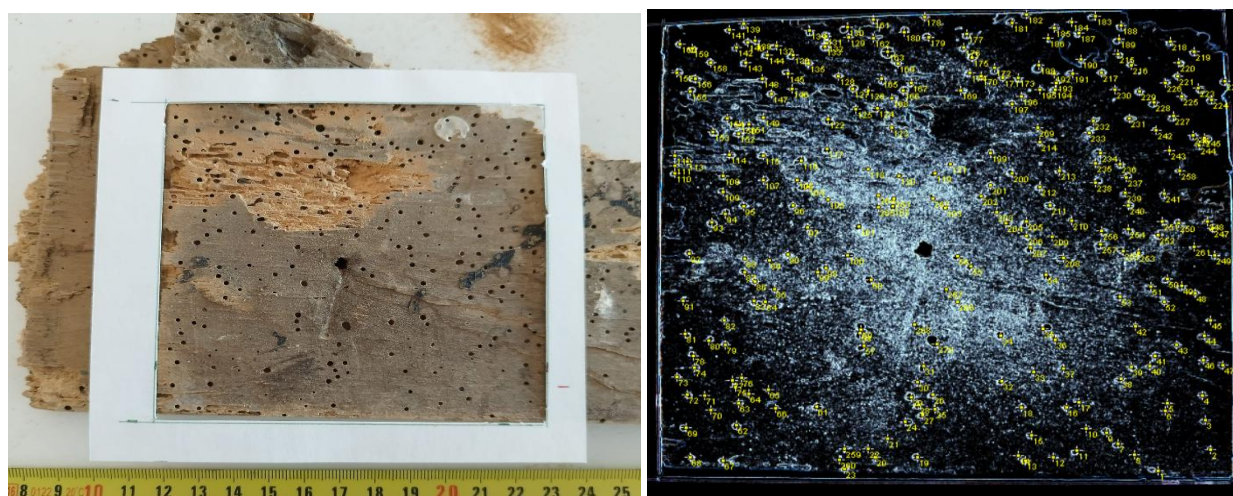


Fig. 46 a., b. Intensitatea atacului xilofag per 1 dm² (a); Identificarea şi numărarea cu programul Image J (b).

4.3. Propunere completare cu material lemnos masiv- Paulownia

Se propune abordarea pe acelaşi fragment de a utiliza două modalităţi de completare, astfel, jumătate din fragment va avea un tip de completare şi cea de-a doua jumătate un alt tip.

Pentru a consolida fragmentul istoric, se vor realiza şi pregăti două tipuri de completări

1. Lemn de Paulownia dintr-o singură planşă, dispus pe direcţie tangenţială, similar cu lemnul din fragmentul istoric
2. Lemn de Paulownia lamelar stratificat, cu miez dispus transversal, la 90°

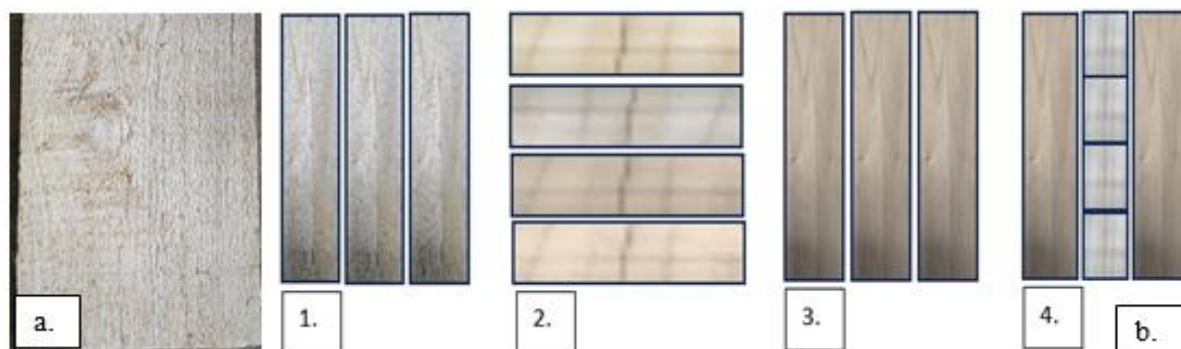


Fig. 47. a., b. Cele două modalităţi de realizare a completărilor. a. dintr-o singură planşă. b. panou lamelar stratificat cu miez dispus transversal

Am dorit un exercițiu de a pune în practică materialul cercetat și rezultatele obținute și monitorizarea în laboratorul de restaurare a comportamentului în ansamblu: lemn istoric cu strat de policromie și lemn de Paulownia, pregătit în cele două modalități: lemn masiv dintr-o singură planșă și lemn lamelar stratificat.



Fig. 48. Exemplificarea dispunerii celor două tipuri de completări pe fragmentul istoric

CAPITOLUL 5. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINARE, DISEMINARE ȘI DORECȚII VIITOARE DE CERCETARE

5.1. Concluzii finale

Alegerea unui material precum lemnul de Paulownia (*Paulownia spp.*) pentru operațiunile de consolidare a suportului lemnos din cadrul obiectelor de patrimoniu cultural poate fi o soluție alternativă, cu avantaje superioare, în comparație cu proprietățile oferite de lemnul de balsa (*Ochroma pyramidale*) sau acelea ale lemnului sănătos de tei (*Tilia spp.*).

Lemnul de Paulownia are proprietăți fizice și mecanice superioare (modificări dimensionale reduse, densitate crescută, proprietăți mecanice superioare) lemnului de balsa și apropiate lemnului de tei (des întâlnit în operele de patrimoniu cultural), cu mențiunea că nu se poate utiliza în structuri de rezistență, acolo unde sarcinile portante sunt mari.

Din studiul densității lemnului de Paulownia, tei și balsa, s-a desprins concluzia că o densitate curentă de 340 kg/m^3 a lemnului de Paulownia este suficient de redusă pentru a nu încărca excesiv obiectul de patrimoniu cultural deteriorat, dar și destul de mare ca să asigure rezistențe optime noului ansamblu creat prin completarea geometriei.

Din punctul de vedere a impactului cu apa, lemnul de Paulownia a avut cea mai mică absorbție, respectiv 27%, comparativ cu 38% a lemnului de tei și 85% a lemnului de balsa. Umflarea în grosime a avut același efect asupra speciilor lemnoase analizate, respectiv a fost de 5.2% la lemnul de Paulownia și de 14.9% la lemnul de tei.

Au fost abordate studii și observații privind comportamentul la solvenți a lemnului de tei degradat, din timpul unor tratamente de curățire, antiseptizare sau consolidare, unde sunt utilizați diferiți solvenți-apă, white spirit și acetona. Au fost obținute valori maxime ale umflării în acetona de 6.8%, de 4.1% în apă și de numai 0.3% în white spirit. Corespunzător acestor umflări au rezultat și deformații proporționale, respectiv deformații reduse pentru lemnul de Paulownia.

Proprietățile mecanice ale lemnului de Paulownia s-au dovedit a fi în concordanță cu densitatea sa scăzută, evidențiind valori moderat reduse în comparație cu alte specii. Astfel, rezistența la încovoiere statică a fost de 62 N/mm^2 , comparativ cu 92 N/mm^2 înregistrată la lemnul de tei; rezistența la compresiune a fost de 42 N/mm^2 , față de 52 N/mm^2 la tei, iar duritatea Brinell a atins valoarea de 14 N/mm^2 , în raport cu 20 N/mm^2 la aceeași specie de referință. Prin comparație, lemnul de balsa a prezentat valori semnificativ mai reduse pentru toate caracteristicile analizate, însă acestea sunt în concordanță cu densitatea extrem de scăzută a acestei specii.

În urma elaborării unor studii dedicate comportamentului lemnului degradat, utilizat ca material suport în panourile policrome din lemn de tei sever afectate, comparativ cu lemnul de tei sănătos, s-au evidențiat diferențe semnificative în ceea ce privește proprietățile mecanice. Astfel, lemnul sănătos a prezentat o duritate Brinell de 17.2 N/mm^2 , în timp ce lemnul degradat a înregistrat o valoare de doar 6.4 N/mm^2 , ceea ce indică o scădere de aproape trei ori a acestei caracteristici esențiale pentru integritatea structurală a suportului lemnos.

Umectabilitatea lemnului de Paulownia, evaluată prin măsurarea unghiului de contact al picăturii cu suprafața materialului, s-a dovedit a fi foarte apropiată de cea a teiului degradat. În contrast, teiul

nedeegradat a prezentat un comportament slab hidrofil din acest punct de vedere. Valoarea unghiului de contact situată în domeniul moderat spre puternic hidrofil indică o compatibilitate adecvată între suprafeţele puse în contact prin încheiere, ceea ce favorizează o aderenţă eficientă şi o integrare coerentă a materialului de consolidare.

Studiile şi observaţii privind calităţile de încheiere pentru patru adezivi/ materiale cu caracter adeziv, utilizaţi pentru încheierea fragmentelor din lemn de tei deteriorat şi lemn nou sănătos (prin testul de încheiere al stratului de adeziv, au demonstrat că, în combinaţia tei sănătos cu tei degradat a rezultat distrugerea lemnului degradat, în urma testelor de forfecare. Considerăm că este avantajoasă utilizarea lemnului de Paulownia ca material de completare, deoarece, în situaţia unor acţiuni mecanice, distrugerea se produce asupra lemnului de Paulownia, rămânând intact lemnul de tei deteriorat. De asemenea în acelaşi context putem aprecia şi o mai uşoară reversibilitate a acestui material lemnos, fără a crea stres lemnului original. Putem aprecia că există şi o compatibilitate între aceste două specii lemnoase, din punct de vedere al încheierilor: lemnul de Paulownia se lipeşte uşor fără a produce tensiuni suplimentare lemnului original de tei deteriorat.

Pentru testul de îmbătrânire accelerată s-au realizat panouri din lemn deteriorat pe diferite niveluri, cu completări de material sănătos din lemn de tei şi Paulownia, încheiate cu diferiţi adezivi şi au fost supuse unor condiţii extreme de umiditate şi temperatură într-o cameră de aclimatizare. În timpul testului, adezivii nu au avut modificări negative, fracturile fiind în lemnul deteriorat. S-au obţinut rezistenţe medii ale încheierii, de 3 N/mm².

Din punct de vedere economic dar şi pentru a păstra sau salva pădurile autohtone putem aduce argumente privind utilizarea Paulowniei în anumite domenii de producţie - mobilier, obiecte decorative, lambrisări, utilizarea în restaurarea obiectelor de patrimoniu prin completări/consolidări parţiale etc, cu scop multiplu: 1. De salvare/păstrare a pădurilor de tei, care reprezintă un procent mai mic de 6% din fondul forestier total de pe teritoriul ţării, conform INVENTARULUI FORESTIER NAŢIONAL (2008-2012), în timp ce, datele statistice publicate în 2021 (INS) anunţau un procent de 7.7% pentru foioasele moi, care cuprind tei, plop şi salcie; 2. Din punct de vedere economic, cheresteaua din lemn de Paulownia poate avea costuri mai mici comparativ cu aceea din lemn de tei; 3. Timpul de creştere al arborelui ajuns la maturitatea de a oferi cherestea de calitate este mai redus în cazul Paulowniei. Paulownia se evidenţiază ca o specie cu perspective promiţătoare de valorificare pe pieţele europene ale lemnului, fiind compatibilă cu o gamă diversificată de aplicaţii, în special în domeniul utilizărilor uşoare. În plus, această specie prezintă potenţialul de a înlocui esenţele tropicale costisitoare, precum balsa, oferind astfel o alternativă durabilă şi economică.

5.2. Contribuţii originale

În cadrul lucrării, am făcut un studiu amplu al bibliografiei în acest domeniu, abordând o problemă complexă referitoare la lemnul de Paulownia, în comparaţie cu cel de tei şi balsa. Totodată am analizat literatura de specialitate din domeniul restaurării lemnului în ceea ce priveşte conservarea lemnului istoric sever deteriorat de insectele xilofage al bunurilor culturale de patrimoniu.

Am constatat o amplă bibliografie în ceea ce priveşte investigarea acestor bunuri culturale, însă din punct de vedere al intervenţiilor de consolidare asupra lemnului degradat sever, literatura este limitată.

1. În baza cercetărilor efectuate, consider că am reuşit să produc beneficii pentru domeniul restaurării obiectelor de patrimoniu, ceea ce rezultă că am îndeplinit scopul principal şi obiectivelor secundare.
2. Am testat, propus posibilitatea implementării lemnului de Paulownia ca specie neutilizată până în prezent în domeniul restaurării lemnului de patrimoniu, pentru completări şi consolidări.
3. Am efectuat caracterizarea proprietăţilor fizice şi mecanice ale speciei lemnoase Paulownia, în vederea implementării în domeniul restaurării pentru completarea şi restabilirea geometriei obiectelor de patrimoniu cultural degradate. Aceste proprietăţi au fost comparate cu două specii lemnoase: tei sănătos şi, lemnul de balsa. Comparaţiile între speciile lemnoase menţionate s-a realizat după cum urmează: tei sănătos cu tei deteriorat;

tei deteriorat cu Paulownia

tei sănătos cu Paulownia

tei deteriorat cu balsa

tei sănătos cu balsa
4. Am cercetat, testat şi propus lemnul de Paulownia- ca material de completare şi consolidare pentru panourile sever deteriorate. Din urma testelor rezultă că lemnul de Paulownia are bună stabilitate dimensională, densitate redusă, astfel nu îngreunează excesiv şi suplimentar panoul istoric sever deteriorat. Are proprietăţi mecanice apropiate de lemnul de tei sănătos, oferind totodată şi rezistenţă mecanică a-panoului istoric, a cărei statică este pusă în pericol. Din punct de vedere al umectabilităţii, acesta este puternic hidrofil, făcându-l compatibil cu lemnul de tei deteriorat, în contextul încheierilor. De asemenea, stabilitatea dimensională raportată la deformare sub acţiunea mediului umed (apă, solvenţi) este nesemnificativă, rezultând transfer minim de stres asupra unui ansamblu compus din lemn istoric cu policromie şi completare cu lemn sănătos.
5. Cu ajutorul softul-ui Image J am realizat măsurarea unghiului de contact a picăturii pe suprafaţa lemnului, pentru a determina nivelul de umectabilitate a speciilor lemnoase testate.
6. Am dezvoltat un nou concept de încheiere prin utilizarea bicomponentului Balsite. Acesta poate fi luat în considerare ca material de încheiere, întrucât în urma testelor de forfecare a adezivului, s-a dovedit a că are bune proprietăţi adezive. Mai mult, acesta este un bun egalizator pentru suprafeţele deteriorate sau cu porozitate excesivă, iar după uscare, poate fi aplicat un alt adeziv cu proprietăţi superioare, pentru a completa şi consolida panourile obiectelor de patrimoniu sever deteriorate.
7. Am argumentat că acest material lemnos (Paulownia), introdus ca element de noutate în domeniul restaurării, în aplicaţiile de consolidare a suportului lemnos sever deteriorat de insectele xilofage nu produce stres suplimentar obiectului istoric, iar degradările evolutive sunt reduse semnificativ.
8. Am transferat cercetarea de la nivel teoretic la cel practic, şi am propus a o soluţie tehnică viabilă pentru salvarea panourilor istorice cu pictură şi sculptură din patrimoniul cultural românesc. În acest context am realizat un panou lamelar stratificat, cum miezul dispus transversal, din lemn de Paulownia pentru a completa un fragment de panou istoric de secol XVII, pe o parte a fragmentului, iar pentru cealaltă parte s-a realizat o completare din lemn masiv de Paulownia dintr-o singură planşă. Ansamblul va fi monitorizat timp de minim 12 luni.
9. Înregistrarea la OSIM a unui brevet de invenţie, dezvoltat în cadrul colectivului de cercetare format din Avram Anamaria, Ionescu Constantin Ştefan, Lunguleasa Aurel. Brevetul are numărul de înregistrare (11) 137192 AO (RO-BOPI 12/2022), cu titlul *Dispozitiv minim invaziv utilizat la restaurarea obiectelor de*

patrimoniu din lemn pentru determinarea durităţii şi rezistenţei prin intermediul unui dinamometru cu vârf de înţepare. Această metodă vine în întâmpinarea domeniului restaurării pentru a evalua starea de conservare şi degradarea a panourilor din lemn, ale obiectelor de patrimoniu cultural.

Aşadar, consider că obiectivele stabilite în cadrul tezei au fost atinse în totalitate, atât din perspectiva demersului teoretic, cât şi a aplicaţiilor practice dezvoltate. Rezultatele obţinute evidenţiază un aport semnificativ la îmbogăţirea cunoaşterii în domeniul restaurării obiectelor de artă cu suport lemnos, contribuind la fundamentarea ştiinţifică a intervenţiilor şi la optimizarea strategiilor de conservare.

5.3. Direcţii viitoare de cercetare

Prezenta lucrare de cercetare nu îşi propune să epuizeze tematica definită prin obiectivele stabilite, ci, asemenea oricărui demers ştiinţific, se concentrează asupra unor activităţi şi acţiuni specifice. În consecinţă, se poate afirma că există numeroase direcţii de cercetare care pot fi abordate sau extinse în viitor, acestea derivând în mod direct din rezultatele studiului realizat, dintre care pot fi menţionate următoarele:

- ✓ Cercetări privind durabilitatea lemnului de Paulownia la putregaiuri şi ciuperci xilofage
- ✓ Teste şi cercetări privind durabilitatea lemnului la insecte xilofage
- ✓ Cercetări privind aplicarea tratamentelor termice- torefierea lemnului de Paulownia. Cercetări suplimentare privind aplicaţiile lemnului de Paulownia după tratamente termice
- ✓ Caracterizarea altor specii lemnoase regăsite ca suport în bunurile de patrimoniu şi observate din punct de vedere al compatibilităţii cu lemnul de Paulownia, când sunt necesare completări şi consolidări în aplicaţii de restaurare.
- ✓ Cercetarea şi observarea comportamentul lemnului istoric în contactul cu alţi solvenţi utilizaţi în tratamentele de restaurare.
- ✓ Realizarea unei ierarhii privind raportul dintre toxicitate şi efectele asupra lemnului istoric (cu repercusiuni asupra creaţiei).

5.4. Diseminarea rezultatelor

Pe parcursul celor 4 ani ai stagiului doctoral, am publicat şase articole ISI, am înregistrat un brevet de invenţie şi am participat la conferinţe internaţionale şi naţionale. Toate acestea sunt prezentate după cum urmează:

6 ARTICOLE PUBLICATE (ISI Web of science)

1. **Avram, A., Lunguleasa, A., Spirchez, C., Ionescu, C.Ş. (2023).** Differences and Similarities between the Wood of Three Low-Density and Homogenous Species: Linden, Balsa, and Paulownia. Appl. Sci. 13, 10209. <https://doi.org/10.3390/app131810209>
2. **Avram (Moraru-Avram), A., Ionescu, C.Ş. and Lunguleasa, A. (2023).** Effects of Solvents Used for Conservation/Restoration Treatments on Damaged Linden Panels of Cultural Heritage Assets, Applied Sciences, 13 (20) 11148. <https://doi.org/10.3390/app132011148>
3. **Avram, A., Ionescu, C.Ş., Lunguleasa, A. (2023).** A consolidation of degraded lime wooden support from heritage objects using two types of consolidant, *BioResources*, 18(3):4580-4597. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/consolidation-degraded-lime-wooden-support/docview/2857625777/se-2>. doi: <https://doi.org/10.15376/biores.18.3.4580-4597>

4. Spîrchez, C., Lunguleasa, A., Popescu, C.M., **Avram, A.**, Ionescu, C.Ş (2023). Properties of Un-Torrefied and Torrefied Poplar Plywood (PW) and Medium-Density Fiberboard (MDF). *Appl. Sci.*, 13, 11950. <https://doi.org/10.3390/app132111950>
5. **Avram, A.**, Ionescu, C.Ş., Lunguleasa, A.(2022). Some Methods for the Degradation-Fragility Degree Determination and for the Consolidation of Treatments with Paraloid B72 of Wood Panels from Icon-Type Heritage Objects. *Forests*, 13, 801. <https://doi.org/10.3390/f13050801>
6. Ionescu, C.Ş., Lunguleasa, A., **Avram, A.**, Spîrchez, C. (2021). Evaluation of the efficiency of the consolidation treatment with Paraloid B72, performed on artworks with degraded wood support, MATEC Web Conf., 343, 02001, DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134302001>

1 BREVET INVENȚIE

Avram, Anamaria; Ionescu, Constantin Ștefan; Lunguleasa Aurel Dispozitiv minim invaziv utilizat la restaurarea obiectelor de patrimoniu din lemn pentru determinarea durității și a rezistenței prin intermediul unui dinamometru cu vârf de înțepare, **RO137192 (A0) – 2022-12-30**. Număr cerere brevet RO20220000532 20220831. https://www.osim.ro/images/Publicatii/Inventii/2022/bopi_122022.pdf

PARTICIPĂRI LA CONFERINȚE INTERNAȚIONALE ȘI NAȚIONALE

2023 – noiembrie- Universitatea Transilvania din Braşov, Facultatea de Design de mobilier și ingineria lemnului, Braşov, **Anamaria Avram**, Constantin Ștefan Ionescu and Aurel Lunguleasa „Effects of Solvents Used for Conservation/Restoration Treatments on Damaged Linden Panels of Cultural Heritage Assets”, The 13th edition-Wood science and engineering in the third millennium (ICWSE 2023)

2021 – iunie – Universitatea Lucian Blaga, Facultatea de Inginerie, Sibiu, Ionescu Constantin Ștefan, Lunguleasa Aurel, **Avram Anamaria**. and Spirchez Cosmin Gheorghe „Evaluation of the efficiency of the consolidation treatment with Paraloid b72, performed on artworks with degraded wood support” The 10th International Conference on Manufacturing Science and Education (**MSE 2021**)

2021 – noiembrie – Muzeul Național al Unirii, Alba Iulia, **Avram Anamaria** „Bunul cultural interpretat ca element compozit. Distrugerii provocate de matrice” Sesiunea Științifică UNITATE, CONTINUITATE ȘI INDEPENDENȚĂ ÎN ISTORIA POPORULUI ROMÂN.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Abdallah, M., Kamal, H.M., Abdrabou, A. (2016). Investigation, preservation and restoration processes of an ancient egyptian wooden offering table, International Journal Of Conservation Science, Volume 7, Issue 4, October-December 2016: 1047-1064
https://www.academia.edu/33540452/INVESTIGATION_PRESERVATION_AND_RESTORATION_PROCESSES_OF_AN_ANCIENT_EGYPTIAN_WOODEN_OFFERING_TABLE
2. Abubakar, S., Liu, X. and Xiong, X. (2023). Biological Deterioration and Conservation of Archaeological Wood: a review. 10.5281/zenodo.8106396.
Ali, M. (2017). Damage Caused by the Furniture Beetle (*Anobium punctatum*) on Cultural and Historic Hardwood types "Case Study", Article 11, Volume 12, Issue 1 - Serial Number 12, 2017, Page 17-63 https://journals.ekb.eg/article_158576.html
3. Amaral Leopaci, J., Boelsums, M., Bredariol, F. (2021). Restoration of polychrome wood sculpture: a case study with highly weakened polychrome, RECH6 - 6th International Meeting on Retouching of Cultural Heritage Valencia, Spain | 4th-6th November, 2021 Doi: <https://doi.org/10.4995/RECH6.2021.13579>
4. **Avram, A., Ionescu, C.Ş., Lunguleasa, A. (2023).** A consolidation of degraded lime wooden support from heritage objects using two types of consolidant, *Bio Res.*, 18, 4580-4597
5. **Avram, A., Ionescu, C.Ş.; Lunguleasa, A. (2022).** Some Methods for the Degradation-Fragility Degree Determination and for the Consolidation of Treatments with Paraloid B72 of Wood Panels from Icon-Type Heritage Objects. *Forests*, 13, 801.
6. **Avram, A., Lunguleasa, A., Spirchez, C., Ionescu, C.Ş. (2023).** Differences and Similarities between the Wood of Three Low-Density and Homogenous Species: Linden, Balsa, and Paulownia. *Appl. Sci.* 13, 10209. <https://doi.org/10.3390/app131810209>
7. **Avram, A., Ionescu, C.Ş., Lunguleasa, A.(2022).** Some Methods for the Degradation-Fragility Degree Determination and for the Consolidation of Treatments with Paraloid B72 of Wood Panels from Icon-Type Heritage Objects. *Forests*, 13, 801. <https://doi.org/10.3390/f13050801>
8. Avramidis, S. (2018). Bound water migration in wood, In book: Advances in the drying of wood https://www.researchgate.net/publication/326045407_Bound_water_migration_in_wood
9. Barbu, M.C. and Tudor, E.A. (2023). Potential of Paulownia wood from European plantations, *ProLigno*, Vol 19, Nr. 4, pp.12-27 https://proligno.ro/ro/articles/2023/4/BARBU_Final.pdf
10. Barbu, M.C., Buresova, K., Tudor, E.M., Petutschnigg, A. (2022). Physical and Mechanical Properties of Paulownia tomentosa x elongata Sawn Wood from Spanish, Bulgarian and Serbian Plantations. *Forests*, 13, 1543. <https://doi.org/10.3390/f13101543>
11. Bernard, M.F. (2003). Conservation of Historic Buildings Third edition https://www.academia.edu/82194001/Feilden_M_B_Conservation_of_Historic_Buildings_Architectural_Press_2003_

12. Bellou, A., Karydis, C., Filopoulou, M., Oikonomou, A., & Boyatzis, S. (2025). A Wood-Carved and Painted Chest from Epirus, Greece: Analysis Prior to Preservation. *Heritage*, 8(5), 154. <https://doi.org/10.3390/heritage8050154>
13. Blanchet, P. and Pepin, S. (2021). Trends in Chemical Wood Surface Improvements and Modifications: A Review of the Last Five Years, *Coatings*, 11, 1514, MDPI, <https://corpus.ulaval.ca/server/api/core/bitstreams/761f2510-40c2-49b1-a56a-032388492a84/content>
14. Blanchette, R.A. (2000). A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments <http://forestpathology.cfans.umn.edu/pdf/IBBreview2000.pdf>
15. Bodîrlau, R., Spiridon, I., Teaca, C.A. (2005). Chemical investigation on wood tree species in a temperate forest, east-northern Romania https://www.researchgate.net/publication/26460110_Chemical_investigation_on_wood_tree_species_in_a_temperate_forest_east-northern_Romania
16. Brandi, C. (1996). Teoria restaurării, Editura Meridiane
17. Cartwright, C.R. (2020). Understanding Wood Choices for Ancient Panel Painting and Mummy Portraits in the APPEAR Project through Scanning Electron Microscopy <https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/part-one/2/>
18. Carta de la Veneția (1977) <https://arhitectura.info/acasa/proiectare/restaurare/carta-de-la-venetia/> -accesată în ianuarie 2024
19. Cataldi, A., Deflorian, F., Pegoretti, A., (2015). Microcrystalline cellulose filled composites for wooden artwork consolidation: Application and physic-mechanical characterization, University of Trento, Department of Industrial Engineering and INSTM Research Unit Materials & design 83:611-619, DOI: 10.1016/j.matdes.2015.06.037.
20. Chang, S.S; Quignard, F., Di Renzo, F., Clair, B. (2012). Solvent polarity and internal stresses control the swelling behavior of green wood during dehydration in organic solution, *Bio Res.*, 7, 2418-2430.
21. Codul de deontologie (2002)- Document promovat de Confederația Europeană a Organizațiilor Conservatorilor-Restauratori și adoptat de Adunarea Generală, Bruxelles, Ghid profesional (II) ECCO https://www.academia.edu/2905696/Cod_deontologic_E_C_C_O_E_C_C_O_PROFESSIONAL_GUIDE_LINES
22. Dogu, D., Tuncer, F.D., Bakir, D. and Candan, Z. (2017). Characterizing Microscopic Changes of Paulownia Wood under Thermal Compression, *Bioresources*, 12(3):5279-5295
23. Fang, Q., Cui, H.W., Du G.B. (2016). Surface wettability, surface free energy, and surface adhesion of microwave plasma-treated *Pinus yunnanensis* wood https://www.researchgate.net/publication/286413208_Surface_wettability_surface_free_energy_and_surface_adhesion_of_microwave_plasma-treated_Pinus_yunnanensis_wood
24. Frunză, L., Zgura, I., Cotorobai, F. (2012). Cercetare , Măsurători de unghi de contact: aplicații la suprafețe rugoase/funcționalizate , *Revista >> Septembrie - Octombrie 2012* [Nr. 148] 05 Octombrie 2012

https://www.marketwatch.ro/articol/11421/Masuratori_de_unghi_de_contact_aplicatii_la_suprafete_rugoase/functionalizate/

25. Filipovici, J. (1965). Studiul lemnului, vol. 2Ed. Didactică şi pedagogică, Bucureşti
26. Sorace, F., Bacci, M. (2020). The reintegration of losses în a wooden late baroque polychrome crucifix: issues and ways to approach the selection of materials, DOI: <https://doi.org/10.37558/gec.v18i1.823>
27. Froidevaux, J. (2012). Wood and paint layers aging and risk analysis of ancient panel painting, https://www.researchgate.net/publication/278642583_Wood_and_paint_layers_aging_and_risk_analysis_of_ancient_panel_painting
28. Guidelines on cultural heritage guidelines on cultural heritage, technical tools for heritage conservation and management 2012, <https://rm.coe.int/16806ae4a9>
29. Ionescu, C.Ş. (2014). Problematika stabilizării şi consolidării structurale a suportului din lemn al unor icoane brâncoveneşti, sec. al XVII-XVIII-lea. Studiu de caz, în Drobeta, Ed. Mega, Drobeta Turnu Severin, p. 95- 117
30. Ionescu, C Ş (2016). Consolidarea lemnului. Intervenţii de restaurare asupra unor bunuri culturale ale căror suport este lemnul şi care este afectat de atacul insectelor xilofage. Studiu de caz, în Drobeta, Ed. Mega, Drobeta Turnu Severin, p. 161-169.
31. Ionescu, C.Ş. (2020). Stabilizarea şi consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice şi moderne, Teză de doctorat, Universitatea Transilvania Braşov
32. Ionescu, C.Ş., Lunguleasa, A., Avram, A. and Spîrchez, C. (2021). Evaluation of the efficiency of the consolidation treatment with Paraloid B72, performed on artworks with degraded wood support, MATEC Web Conf., 343 (2021) 02001 DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134302001>
33. Ionescu, C.Ş., Lunguleasa, A., Spîrchez, C. and Avram, A. (2019). Alternative method for minimally invasive determination of the wood fragility from cultural heritage assets MATEC Web Conf., 290 (2019) 01004 DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929001004>
34. Kaymakci, A., Bektas, I., and Bal, B.C. (2013). Some Mechanical Properties of Paulownia (Paulownia elongata) Wood www.researchgate.net/publication/275287592_Some_Mechanical_Properties_of_Paulownia_Paulownia_elongata_Wood
35. Kim, Y., and Singh, A.P. (2016). Wood as cultural heritage material and its deterioration by biotic and abiotic agents. *Secondary xylem biology*, 233-257.
36. Hussain, K., Nasir, G.M. and Hussain, T. (2016). Comparison of wood anatomy of different Paulownia species grown in Pakistan, The Pakistan Journal of Forestry [https://www.pfi.gov.pk/control_panel/pdf/026622016_Comparison_of_wood_anatomy_of_different_by_Khalid_Hussain_\(S.No.353\).pdf](https://www.pfi.gov.pk/control_panel/pdf/026622016_Comparison_of_wood_anatomy_of_different_by_Khalid_Hussain_(S.No.353).pdf)

37. Koman, S., Feher, S., Vityi, A. (2017). Physical and mechanical properties of Paulownia Tomentosa wood planted in Hungaria
38. Kusiak, W., Majka, J., Ratajczak, I., Górska, M., and Zborowska, M. (2020). Evaluation of Environmental Impact on Selected Properties of Lime (*Tilia Cordata* Mill.) Wood, *Forests*, Vol. 11(7), 746; <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/7/746/htm>
39. Kusiak, W., Majka, J., Zborowska, M., Ratajczak, I. (2022). Chemical Composition and Related Properties of Lime (*Tilia cordata* Mill.) Bark and Wood as Affected by Tree Growth Conditions. *Materials*, 15, 4033. <https://doi.org/10.3390/ma15114033>
40. Lahtela, V., Kärki, T. (2016). Effects of impregnation and heat treatment on the physical and mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris*) wood. *Wood Mater. Sci. Eng.*, 11, 217–227.
41. Mańkowski, P., Kozakiewicz, P., Krzosek, S. (2015). Retention of polymer in lime wood impregnated with Paraloid B-72 solution in butyl acetate, Department of Wood Science and Wood Preservation, Faculty of Wood Technology, Warsaw Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology No. 92, 2015: 263-267 (Ann. WULS - SGGW, For. and Wood Technol. 92, 2015)
42. Murose, K. (2009). Preservation of Urushi Artifacts, JAPAN SPOTLIGHT, March / April https://www.jef.or.jp/journal/pdf/164th_japanese_craft_art.pdf
43. Mustăţ, M., Mustăţ, G., Ungurean, B., Moşneagu, M., Gămălie, G., Axinte, L., (2013). Etiopatologia Operei de Artă, Ed.Academiei Oamenilor de Ştiinţă din România, Bucureşti
44. Noldt, U. (2009). Monitoring wood-destroying insects in wooden cultural heritage, Proceedings of the International Conference held by cost action in Florence (Italy) pp.71 -80
45. Noldt, U. and Noldt, G. (2013). Manual on Wood-destroying Insects and their monitoring, University of Hamburg, Department Biology, Centre of Wood Science ,Hamburg/Germany. The project is part-financed by the European Union Central Baltic INTERREG IVA programme 2007-2013 http://projects.centralbaltic.eu/images/files/result_pdf/FABBI_result1_Manual_on_wood_destroying_insects_and_their_monitoring.pdf
46. Parlamentul României - LEGE nr. 182 din 25 octombrie 2000 privind protejarea patrimoniului cultural naţional mobil, <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/24761>
47. Pescăruş, P. (1978). Proprietăţile fizice ale lemnului, în Râmbu I., Tehnologia prelucrării Lemnului, Ed. Tehnică, Bucureşti, pp 64-89
48. Petrie, E. (2001). Handbook of Adhesives and Sealants https://www.academia.edu/44443124/Handbook_of_Adhesives_and_Sealants
49. Petrie, E.M. (2001). Handbook of Adhesives and Sealants https://www.academia.edu/44443124/Handbook_of_Adhesives_and_Sealants
- Popescu, C.M., Sakata, Y., Popescu, M.C., Osaka, A. and Vasile, C. (2005). Degradation of lime wood painting supports, în Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, https://www.researchgate.net/publication/281462314_Degradation_of_lime_wood_painting_supports

50. Prună, M. (2009). Durabilitatea naturală a lemnului din construcții https://www.revistaconstrucțiilor.eu/wpcontent/uploads/2009/12/nr_55_decembrie_pdf
51. Råberg, U., Edlund, M.L., Terziev, N., Land, C.J. (2005). Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe – an overview article in Journal of Wood Science · October 2005 DOI: 10.1007/s10086-005-0717 https://www.researchgate.net/publication/227299446_Testing_and_evaluation_of_natural_durability_of_wood_in_above_ground_conditions_in_Europe_-_An_overview
52. Radoglou, K., Dobrowolska, D., Spyroglou, G., Nicolescu, V.N. (2008). A review on the ecology and silviculture of limes (*Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop. and *Tilia tomentosa* Moench.) în Europe. 29 pp. <http://www.valbro.uni-freiburg.de/>
53. Randall, C. J. (2000). Management of Wood-destroying Pests, Extension Bulletin E-2047, Major revision-destroy old stock, Michigan State University Extension
54. Reinprecht, L., (2016 a.). Wood Durability and Lifetime of Wooden Products https://www.researchgate.net/publication/316104949_Wood_Durability_and_Lifetime_of_Wooden_Products
55. Reinprecht, L., (2016 b.). Wood Deterioration, Protection and Maintenance, Ed. John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, , United Kingdom
56. Săvescu, C., Săvescu, D., (2010). Intervenții de conservare-restaurare aplicate în cazuri extreme, <https://paginarestaurarii.ro/2010/05/29/interventii-in-cazuri-extreme/> accesat iunie, 2021
57. Schniewind A. P., Kronkright D. P., (1984) Strength evaluation of deteriorated wood treated with consolidants. In Adhesives and Consolidants, ed.N. S.Brommelle, E.M.Pye, P.Smith, and G.Thomson. London: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.
58. Schniewind, A.P. (2007). On the reversibility of consolidation treatments of deteriorated wood with soluble resins <https://www.wag-aic.org/1988/schniewind88.pdf>
59. Unger, A. (2012). Decontamination and "deconsolidation" of historical wood preservatives and wood consolidants in cultural heritage, Journal of Cultural Heritage, Volume 13, pp S196-S202, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207412000295>
60. Unger, V.A., Schniewind A.P., Unger W. (2001). Conservation of Wood Artifacts, book, Springer
61. Wadum, J, Domínguez-Delmás M., Jager A., (2022). Unraveling a 17th-Century North Netherlandish Panel Maker în International Journal of Wood Culture. <https://brill.com/view/journals/ijwc/aop/article-10.1163-27723194-bja10013/article-10.1163-27723194-bja10013.xml>
62. Wood Database. Available online: <https://www.wood-database.com/> (accessed on 12 June 2023).
63. Young, S.N.R. and Lundgren, M.R. (2023). C 4 photosynthesis în Paulownia? A case of inaccurate citations. Plants, People, Planet, 5(2), 292–303. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10343>

64. Zhu Zhao-Hua, Chao Ching-Ju, Lu Xin-Yu and Xiong Yao Gao (1986). Paulownia in China: Cultivation and utilization by Chinese Academy Of Forestry Staff, Published by Asian Network for Biological Sciences and International Development Research Centre
65. Zhao, X., Liu, Y., Zhao, L. *et al.* (2023). A scalable high-porosity wood for sound absorption and thermal insulation. *Nat Sustain* **6**, 306–315 <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01035-y>

Standarde utilizate în cercetarea experimentală

66. ISO 13061-4:2014 - Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 4: Determination of modulus of elasticity in static bending
67. 13061-3:2014 - Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 3: Determination of ultimate strength in static bending
68. ISO 13061-17 - Determination of ultimate stress in compression parallel to grain
69. EN 1534:2003 - Wood and parquet flooring - Determination of resistance to indentation (Brinell) - Test method
70. ISO 3131:1975 - Wood - Determination of density for physical and mechanical tests
71. EN 13183-1/2002 - Moisture content of a piece of sawn timber - Part 1: Determination by oven dry method
72. ISO 4859- 1982 - Wood - Determination of radial and tangential swelling
73. ASTM905-98 - Standard test method for determining the shear strength of adhesive bonds in compression loading, specifically for wood and similar materials.
74. SR EN 302-1/ 2013 - Method for determining the strength in longitudinal shear of adhesive bonds