



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: INGINERIA LEMNULUI

Drd. Constantin Ştefan IONESCU

TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat/ Abstract

Conducător ştiinţific

Prof.dr.ing. Aurel LUNGULEASA

BRAŞOV, 2020

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: INGINERIA LEMNULUI

Drd. Constantin Ștefan IONESCU

TITLU (română): Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

TITLU (engleză): Stabilization and consolidation of wooden support for heritage objects, using classic and modern materials

REZUMAT/ ABSTRACT

Conducător științific

Prof. dr. ing. Aurel LUNGULEASA

BRAȘOV, 2020

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov
Nr. 10667 din 31. 07. 2020

- PREȘEDINTE: - Prof. dr. ing. COȘEREANU Camelia
Universitatea Transilvania din Brașov
- CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: - Prof. dr. ing. LUNGULEASA Aurel
Universitatea Transilvania din Brașov
- REFERENȚI:
- Prof. dr. ing. DOBROTĂ Dan
Universitatea Lucian Blaga din Sibiu
 - Conf. dr. ing. GHERMAN Laurian
Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, din Brașov
 - Prof. dr. ing. ISPAS Mihai
Universitatea Transilvania din Brașov

Data și ora susținerii în ședință publică online a tezei de doctorat: 29. 09. 2020,
ora 12:00

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise
electronic, în timp util, pe adresa lunga@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de
doctorat.

Vă mulțumim.



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

MULȚUMIRI

Cercetare prezentă, expresie a experienței, dobândite în urma activității profesionale de peste 25 ani însumați cu alți 20 de pregătire teoretică.

În primul rând doresc să exprim sincere mulțumiri conducătorului de doctorat, prof. univ. dr. ing. Aurel LUNGULEASA, pentru că a acceptat să mă îndrume în realizarea tezei, pentru răbdarea și înțelegerea oferită de-a lungul întregii perioade doctorale și care mi-a fost mentor științific, sub a cărei îndrumare s-a realizat această teză.

Doresc să mulțumesc colectivului Facultății de Ingineria Lemnului din Braşov, Comisiei de Îndrumare Doctorală: prof. dr. ing. Camelia COȘEREANU; prof. dr. chim. Silvia PAȚACHIA; prof. dr. ing. Mihai ISPAS, precum și doamnei prof. dr. ing. Cristina TIMAR, pentru sprijin științific și clarificarea direcțiilor de cercetare pe întreg stagiul doctoral.

Un cuvânt de respect și mulțumire pentru timpul acordat recenzării, doresc să adresez domnului prof. dr. ing. DOBROTĂ Dan de la Universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu și domnului conf. dr. ing. GHERMAN Laurian de la Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” din Braşov în calitatea de referenți științifici, în comisia de evaluare și susținere a tezei.

Mulțumesc mult partenerilor din Laboratorul de Conservare și Restaurare „I.C.Ș.” din Sibiu, expert restaurator Anamaria AVRAM și ing. Paul Roland MORARU pentru utilizarea aparaturii din laboratorul firmei, pentru ajutorul substanțial care mi-a fost oferit în timpul efectuării testelor, precum și pentru întreg suportul acordat în vederea realizării lucrării de cercetare.

În final dar nu în ultimul rând, aduc mulțumiri și recunoștință familiei mele, în special soției mele, pentru susținerea, devotamentul și răbdarea de care au dat dovadă, sprijinindu-mă pe toată perioada elaborării tezei.

Doctorand Constantin Ștefan IONESCU

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

CUPRINS

	TITLU/SUBTITLU	TEZĂ	REZ.
	MULȚUMIRI	III	IV
	CUPRINS	IV	V
	LISTA DE NOTAȚII ȘI DE ABREVIERI	1	-
	INDEX FIGURI ȘI TABELE	10	-
	INTRODUCERE	22	9
1	STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIU. CUNOAȘTERE, MATERIALE ȘI METODE DE INTERVENȚIE, PRIVIND STABILIZAREA ȘI CONSOLIDAREA LEMNULUI	25	10
1.1.	Problematika deteriorării lemnului aflat ca suport al Bunurilor Culturale de Patrimoniu, având consecințe asupra creației artistice.	26	10
1.2.	Stabilizarea lemnului.	31	12
1.3.	Consolidarea suportului lemnos cu rășini naturale	36	-
1.4.	Consolidarea suportului lemnos cu rășini sintetice	39	14
1.5.	Chimia verde	49	20
1.6.	Restaurarea lemnului policrom	50	-
1.6.1.	Tehnologia de restaurare. Flux tehnologic, schemă simplificată.	52	-
1.7.	Metode și aparatură de evaluare a degradării suportului lemnos.	53	-
1.8.	Analiza critică a cercetărilor în domeniu	55	21
2	OBIECTIVELE LUCRĂRII DE DOCTORAT	56	23
3	EVALUAREA GRADULUI DE DEGRADARE-FRAGILIZARE AL LEMNULUI DIN BUNURILE DE PATRIMONIU	61	24
3.1.	Determinarea gradului de fragilitate prin metoda densităților comparative	62	24
3.2.	Determinarea gradului de degradare a suprafeței panoului, prin metoda porozității excesive, provocat de atacul xilofag	69	27
3.2.1.	Simularea în laborator a unui atac xilofag prin găuriri mecanice	75	-
3.3.	Constatarea nivelului de degradare prin metoda determinării volumetrice a galeriilor larvare.	78	29
3.4.	Determinarea gradului de fragilitate prin metoda durităților	89	36
3.4.1.	Determinarea durității prin metoda Janka	91	-
3.4.2.	Determinarea durității lemnului, prin metoda Brinell	92	-
3.4.3.	Determinarea durității Mark, ca metodă alternativă, minim invazivă, pentru panourile policrome din bunurile de patrimoniu cultural	99	37
3.4.4.	Gradul de fragilitate prin metoda durității	106	41
3.5.	Concluzii	116	44
3.6.	Stabilirea unei ierarhii, cu privire la gradul de degradare	117	44
4	TRATAMENTE ȘI METODE APLICATE LEMNULUI DEGRADAT	122	49
4.1.	Stabilizarea lemnului.	122	49
4.2.	Consolidare cu soluții și substanțe lichide	129	52



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

4.2.1.	Note și observații privind comportamentul lemnului degradat la tratamentul de consolidare cu rășini sintetice	131	52
4.2.2.	Comportamentul lemnului degradat la acțiunea solvenților utilizați pentru consolidare	135	55
4.2.3.	Determinarea retenției de consolidant la tratamentul cu rășini sintetice	145	57
4.2.4.	Eficiența tratamentului condiționat de solventul utilizat și de numărul de repetări	150	60
4.2.5.	Modalități de analiză nedistructivă, privind verificarea penetrării consolidanților. Spectroscopia de absorbție în infraroșu cu reflexie totală atenuată (FTIR-ATR)	152	-
4.2.6.	Determinarea absorbției de apă după tratamentul cu consolidanți	158	62
4.2.7.	Determinarea eficienței tratamentului de consolidare prin metoda durității HM	166	65
4.3.	Consolidare cu lemn masiv și refacerea geometriei panoului, urmând linia de fracturare a policromiei (stratului pictural)	172	-
4.3.1.	Consolidarea cu lemn de balsa- alternativă pentru a înlocui completările cu lemn din aceeași esență care îngreunează suplimentar panourile deteriorate	172	67
4.3.2.	Posibilitatea utilizării lemnului supus tratamentului termic, în vederea consolidării panourilor policrome deteriorate din bunurile culturale	176	68
4.3.3.	Observații asupra lemnului de tei supus tratamentului termic. Modificări dimensionale și de masă (densitate).	178	69
4.3.4.	Comportamentul lemnului de tei, după tratament termic, supus condițiilor de mediu climatic controlat dar variabil din punct de vedere al temperaturii și umidității.	183	-
4.3.5.	Modificări dimensionale după imersie în apă, a lemnului de tei tratat termic	185	71
4.3.6.	Modificări dimensionale pentru lemnul de molid tratat termic	192	-
4.3.7.	Duritatea lemnului de tei și molid după tratamente termice	197	76
5	CONCLUZII GENERALE	201	79
5.1.	Contribuții originale	203	80
5.2.	Direcții viitoare de cercetare	204	81
5.3.	Diseminarea rezultatelor (lucrări publicate în perioada stagiului doctoral)	205	82
	BIBLIOGRAFIE	209	85
	ANEXE	226	-



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

CONTENTS

	TITLE / SUBTITLE	THESIS	SUMM.
	THANKS	III	IV
	CONTENTS	IV	V
	LIST OF NOTATIONS AND ABBREVIATIONS	1	-
	INDEX FIGURES AND TABLES	10	-
	INTRODUCTION	22	9
1	CURRENT STATE OF RESEARCH IN THE FIELD. KNOWLEDGE, MATERIALS AND METHODS OF INTERVENTION REGARDING WOOD STABILIZATION AND CONSOLIDATION	25	10
1.1.	The issue of deterioration of wood in support of Cultural Heritage, having consequences on artistic creation.	26	10
1.2.	Wood stabilization.	31	12
1.3.	Strengthening the wooden support with natural resins	36	-
1.4.	Reinforcement of the wooden support with synthetic resins	39	14
1.5.	Green chemistry	49	20
1.6.	Polychrome wood restoration	50	-
1.6.1.	Restoration technology. Technological flow, simplified scheme.	52	-
1.7.	Methods and apparatus for assessing wood degradation.	53	-
1.8.	Critical analysis of research in the field	55	21
2	OBJECTIVES OF THE DOCTORAL THESIS	56	23
3	EVALUATION OF THE DEGREE OF DEGRADATION-FRAGILIZATION OF WOOD FROM HERITAGE GOODS	61	24
3.1.	Determination of the degree of fragility by the method of comparative densities	62	24
3.2.	Determination of the degree of degradation of the panel surface, by the method of excessive porosity, caused by xylophagous attack	69	27
3.2.1.	Laboratory simulation of a xylophagous attack by mechanical drilling	75	-
3.3.	Finding the level of degradation by the method of volumetric determination of larval galleries.	78	29
3.4.	Determination of the degree of fragility by the method of hardness	89	36
3.4.1.	Determination of hardness by the Janka method	91	-
3.4.2.	Determination of wood hardness by the Brinell method	92	-
3.4.3.	Determination of Mark hardness, as an alternative, minimally invasive method, for polychrome panels in cultural heritage goods	99	37
3.4.4.	Degree of fragility by the method of hardness	106	41
3.5.	Conclusions	116	44
3.6.	Establishing a hierarchy, regarding the degree of degradation	117	44
4	TREATMENTS AND METHODS APPLIED TO DEGRADED WOOD	122	49



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

4.1.	Wood stabilization.	122	49
4.2.	Consolidation with solutions and liquid substances	129	52
4.2.1.	Notes and observations on the behavior of degraded wood in synthetic resin consolidation treatment	131	52
4.2.2.	Behavior of degraded wood due to the action of solvents used for consolidation	135	55
4.2.3.	Determination of consolidant retention in synthetic resin treatment	145	57
4.2.4.	Efficiency of treatment conditioned by the solvent used and the number of repetitions	150	60
4.2.5.	Ways of non-destructive analysis, regarding the verification of the penetration of consolidants. Infrared absorption spectroscopy with attenuated total reflection (FTIR-ATR)	152	-
4.2.6.	Determination of water absorption after treatment with consolidants	158	62
4.2.7.	Determination of the effectiveness of consolidation treatment by the HM hardness method	166	65
4.3.	Solid wood consolidation and restoration of the panel geometry, following the polychrome fracture line (pictorial layer)	172	-
4.3.1.	Reinforcement with balsa wood - alternative to replace wood fillings of the same essence that further complicate damaged panels	172	67
4.3.2.	Possibility of using wood subjected to heat treatment, in order to consolidate the damaged polychrome panels from the cultural goods	176	68
4.3.3.	Remarks on lime wood subjected to heat treatment. Dimensional and mass changes (density).	178	69
4.3.4.	The behavior of linden wood, after heat treatment, subject to controlled climate conditions but variable in terms of temperature and humidity.	183	-
4.3.5.	Dimensional changes after immersion in water, of heat-treated lime wood	185	71
4.3.6.	Dimensional changes for heat treated spruce wood	192	-
4.3.7.	Hardness of lime and spruce wood after heat treatments	197	76
5	GENERAL CONCLUSIONS	201	79
5.1.	Original contributions	203	80
5.2.	Future directions of research	204	81
5.3.	Dissemination of results (papers published during the doctoral internship)	205	82
	BIBLIOGRAPHY	209	85
	ANNEXES	226	-



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

INTRODUCERE

Prezenta teză se referă la conexiunea dintre ingineria lemnului și restaurarea bunurilor de patrimoniu, ale căror suport este lemnul. Corelarea rezultatelor cercetărilor din cele două domenii, au ca scop realizarea unor materiale, tehnici sau tehnologii care, deși pornesc de la „clasic” înglobează rezultate ale unor cercetări inovative, care țin cont de specificul, de principiile celor două domenii: inginerie și restaurare.

Lemnul este un material natural și ca atare este predispus la degradare, mai ales atunci când insectele și ciupercile xilofage vin în contact cu el, provocându-i modificări semnificative proprietăților de bază. Deteriorarea poate fi atât de severă încât pune în pericol existența în continuare a obiectului. Restaurarea poate fi interpretată ca un complex de acțiuni, materiale și tehnici, care au ca scop redobândirea unor proprietăți pierdute a materiei obiectelor de patrimoniu, a refacerii stării de echilibru din punct de vedere al stabilității structurale și redarea lizibilității mesajului, fie el și doar parțial păstrat. Salvarea, restaurarea științifică și păstrarea unui patrimoniu cultural are valoare de identitate și recunoaștere a apartenenței la civilizația și cultura națională sau universală. Conservarea și restaurarea sunt științe care observă, analizează, restaurează sau prezervă bunuri culturale, istorice și/sau de artă ale unui patrimoniu cultural identitar, folosind metode și principii, tehnici și aparatură, informații științifice de vârf, în vederea stabilirii factorilor condițiilor și mecanismelor de funcționare care produc acțiuni negative, asupra acestor bunuri.

Prezenta teză de doctorat este structurată pe 5 capitole, 20 subcapitole și 12 sub-subcapitole. Tema se dezvoltă pe un număr de 209 pagini, 151 figuri, 82 tabele, abrevieri, notații și definiții. La baza tezei a stat o studiere a literaturii de specialitate, peste 220 de lucrări publicate ale unor autori, articole sau cărți și studierea a peste 250 de site-uri de specialitate, cu articole, studii, imagini, legislație, etc.

Capitolul 3 prezintă 4 metode de evaluare a deteriorării panourilor din lemn, precum și o definire a nivelului de deteriorare, pe baza metodelor de evaluare și a formei de manifestare, dispusă pe 5 niveluri și o evaluare graduală, pe trei trepte, minimal, mediu și extins, ca efect al intensității atacului biologic.

Capitolul 4 arată metode, materiale, aparatură și tehnici care pot oferi lemnului grav deteriorat, stabilizare, consolidare, ameliorare sau refacere a unor proprietăți pierdute ale suportului lemnos din bunurilor de patrimoniu cultural degradate sau distruse de atacul biologic. Capitolele 3 și 4 reprezintă circa 65% din lucrare și însușează contribuții și soluții experimentale originale ale autorului cu privire la evaluarea nivelului de degradare, eficiența tratamentului de îmbunătățirea sau refacerea unor proprietăți diminuate ale panourilor degradate din lemn.

Capitolul 5 este o enumerare a elementelor de noutate care au produs această teză. Concluzii specifice ale unei etape de cercetare, observații și analize critice, contribuțiile originale, precum diseminarea rezultatelor cercetărilor și direcții viitoare de cercetare.



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIU.

CUNOAȘTERE, MATERIALE ȘI METODE DE INTERVENȚIE, PRIVIND STABILIZAREA ȘI CONSOLIDAREA LEMNULUI

Identitatea unei națiuni se poate face prin apartenența ei la spațiul geo-politic, social și cultural. „Amprenta” culturală este marcată de pașii lăsați în istorie, în „foaia de parcurs” a acelei națiuni, dar mai ales de civilizație, ca rod al culturii și educației care, dezvoltate și prezervate, identifică și perpetuează intrinsec un patrimoniu cultural identitar, patrimoniu compus din: „*oameni, construcții, bunuri cu semnificație artistică, mărturii materiale și documentare privind istoria politică, economică, socială, militară, religioasă, științifică, tehnică, artistică, etnografică etc., reprezentând evoluția mediului natural și ale relațiilor omului cu acesta, ale potențialului creator uman și ale contribuției românești, precum și a minorităților naționale la civilizația universală*” (Art. 1, 2, 3 din Legea 182/2000).

1.1 Problematika deteriorării lemnului aflat ca suport al Bunurilor Culturale de Patrimoniu, având consecințe asupra creației artistice.

Obiectul de artă trebuie să dăinuie peste secole, pentru mesajul său, istoric, estetic, identitar, etc. Bunul cultural este în fapt, un element compozit: **suportul din lemn și creația artistică**, cu materialele complexe care durează și se comportă diferit. **Cauzele** care conduc la deteriorarea obiectelor de patrimoniu sunt de natură **legislativă, umană, biologică, fizică și chimică**.

Alegerea unei teme de doctorat într-un asemenea domeniu poate părea restrictivă, o bibliografie relativ amplă, dar poate nu suficientă așa cum precizează și Macchioni ș. a., (2011), atât la nivel național dar și internațional, un domeniu (cel al Conservării și Restaurării obiectelor de artă, obiectelor de patrimoniu mobil sau al monumentelor istorice) care are reguli stricte în aplicarea și utilizarea unor materiale, substanțe sau tehnici sau poate, tocmai de aceea un asemenea demers poate aduce un beneficiu, domeniului de cercetare și restaurare științifică.

Macchioni, ș. a., (2011), vorbește despre necesitatea revizuirii standardelor internaționale de evaluare a structurilor din lemn. Autorii fac o sinteză asupra legislației, reduse la nivelul unor state importante la nivel cultural, având obiectiv principal protecția bunurilor de patrimoniu.

Macchioni, (2015), prezintă studierea stării de conservare a materialului lemnos din artefacte, în institutul de cercetare IVALSA, Italia. Cercetarea este subordonată principiilor directoare ale standardului, UNI 11161: 05, determinarea speciei, însemnând recunoașterea anatomică a structurii lemnului, a proprietăților mecanice, identificarea atacului biologic și evaluarea daunelor produse de ciuperci și insecte.

Fassina, (2014), prezintă în aceeași manieră reglementarea legală privind activitatea specifică europeană de standardizare în domeniul conservării patrimoniului cultural ca fiind esențială pentru dobândirea unei abordări comune unitare pentru conservarea și restaurarea bunurilor culturale.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Deteriorarea lemnului este un proces natural dependent de o serie de factori fie aceștia biotici sau abiotici. Boala bunurilor de patrimoniu provoacă procesul de biodeteriorare (fig. 1.2) Mustață ș. a., (2013). Deteriorarea poate fi atât de severă încât pune în pericol existența în continuare a obiectului. Degradările lemnului depind de structura lemnului, mai ales de duritatea acestuia și de conținutul de substanțe chimice secundare.

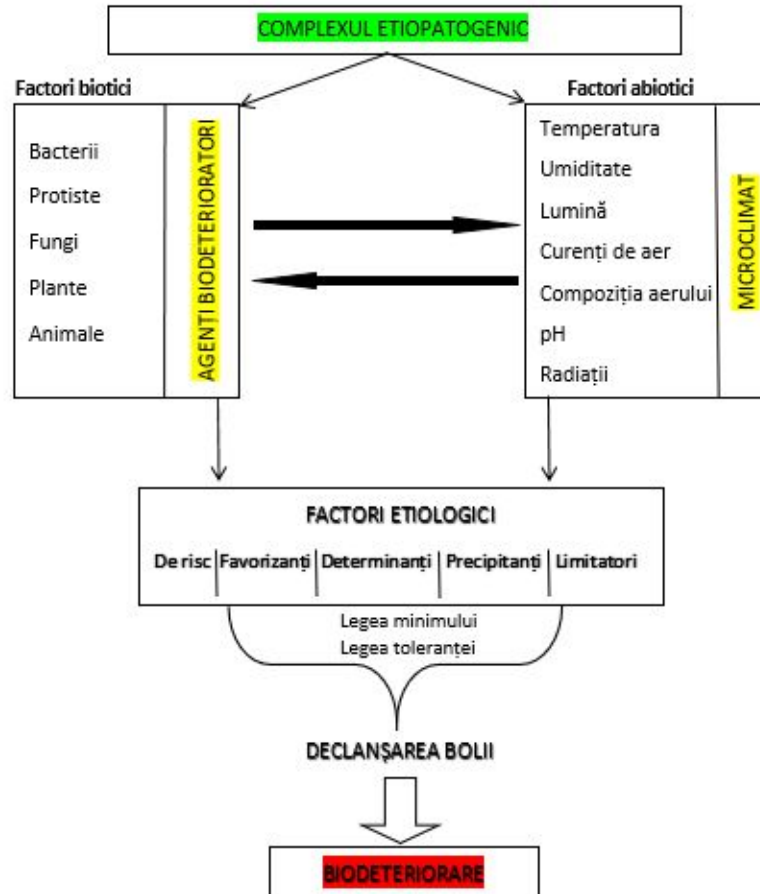


Fig. 1.2 Factorii biodeteriorării lemnului (după Mustață ș. a., 2013)

Factorii fizico-chimici, temperatura, umiditatea, etc., pot fi cei mai dăunători – produc reacții chimice, determină procese fizice de degradare a lemnului, și/sau de instalare și dezvoltare a dăunătorilor biologici, micro, macromicete, insecte etc. Moldoveanu (2010).

Ungurean (2011) susține că ciclul de viață al insectelor xilofage, este diferit în starea de larvă față de adult, iar temperatura și umiditatea influențează durata de împerechere, depunerea ouălor și întreaga evoluție. Insecta, la maturitate părăsește lemnul, forând galerii cu diametre diferite în funcție de specie „galerii de emergență” (Kurzeluk, 2017).

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Moşneagu (2012), arată că „larvele într-un ciclu de viață de 1-2 ani, produc galerii cu diametre între 1,5 și 4 mm, masticând lemnul în lungul fibrelor, galeriile spre ieșire devin sinuoase și cu diametre de 0,5-2,2 mm. Numărul găurilor indică intensitatea atacului”.

Ebeling W, de la Universitatea California, departamentul Entomologie, prezintă amănunțit, mediul, dezvoltarea și înmulțirea insectelor xilofage și arată că femelele depun ouă în fisurile sau găurile din lemn. Larvele gândacilor de pulbere, din familia Lyctidae și Anobiidae, (fig. 1.7 a, b), reduc lemnul la o masă și consistență de pulberi și excreții între suprafețele de lemn, atacă lemnul uscat, „mort” și re infestază în mai multe generații. (https://entomology.ucr.edu/ebeling_ch5_2#false%20powderpost%20beetles)

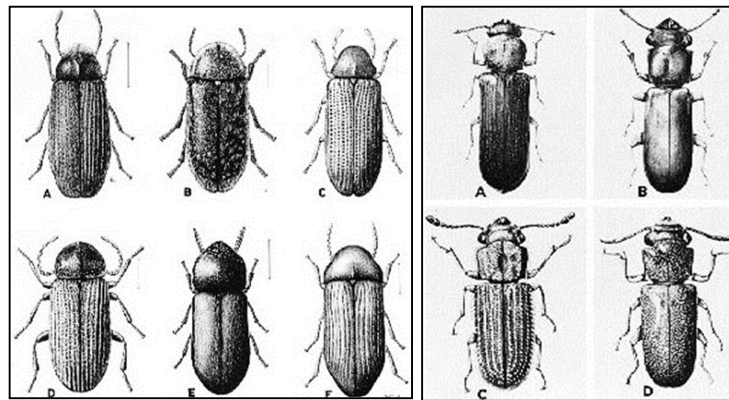


Fig. 1.7 Insecte xilofage; a. Anobiidae; b. Lyctidae

(sursa <https://insects.ucr.edu/ebeling/ebel5-2.html#powderpost%20beetles>)

1.2. Stabilizarea lemnului.

Pentru o bună înțelegere a conceptului de „stabilizare”, se poate prezenta afirmația făcută de Čermák ș. a., (2015), că lemnul este un material bio-deteriorabil și instabil dimensional, acesta își modifică dimensiunile, se umflă sau se contractează, la expunerea în aer liber sau la variații de umiditate chiar și în interior. Pentru reducerea „jocului lemnului” și a consecințelor provocate sunt necesare a fi aplicate metode de creștere a stabilității dimensionale, iar una dintre aceste metode este tratamentul termic. Proprietățile mecanice ale lemnului sunt modificate de conținutul de umiditate.

Bratasz, (2013), arată vulnerabilitatea lemnului (policrom) la schimbările și/sau variațiile de temperatură și umiditate, iar acești parametri produc modificări dimensionale la nivelul întregii structuri complexe a obiectului de patrimoniu cultural.

Uzielli ș. a., (2012), prezintă degradările produse de instabilitatea dimensională, cauzată la rândul său de fluctuația temperaturilor și a umidității relative. De asemenea aceștia raportează în studiul lor despre un echipament și o metodă de determinare a dinamicii deformărilor lemnului.

Rowel ș. a., (2008), arată că dimensiunea lemnului se modifică odată cu conținutul de umiditate și pune degradarea biologică a lemnului pe seama capacității organismelor de a identifica o sursă de hrană.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Tratamentele termice (Brenndörfer ș. a., 1979), cum ar fi uscarea la temperaturi înalte, aburire și fierbere, încălzirea în materiale topite sunt utilizate în scopul măririi stabilității dimensionale, prin eliminarea apei din lemn până la umiditatea de echilibru.

Homan ș. a., (2010), susține că tratamentul termic al lemnului a fost cunoscut de mult timp ca o metodă eficientă cu efecte benefice, în principal de reducere a higroscopicității, creșterea durabilității și rezistență crescută la biodeteriorare.

Modificarea proprietăților lemnului cu referire la tratamentul termic, este susținută de numeroși alți cercetători, (Runkel și Witt, 1953; Seborg ș. a., 1953; Stamm, 1956, Kollmann și Schneider, 1963; Kollmann și Fengel, 1965; Hillis, 1984) citați de Homan (2010). Autorii susțin că există **avantaje** obținute prin tratarea termică a lemnului: rezistența crescută la diferite tipuri de biodegradare, reducerea higroscopicității lemnului, o stabilitate dimensională și creștere a durabilității. Tratamentele termice diverse au ca rezultat diferite transformări chimice, iar ca **dezavantaje** pot fi aduse în discuție pierderea rezistenței mecanice și o fragilitate crescută.

Esteves și Pereira (2009), prezintă mai multe tipuri de tratament termic în mediu cu protecție (azot sau abur), desfășurat în etape, cu valori de temperatură cuprinsă între 160 și 260°C, și timp de 2-16 ore, astfel se obțin reduceri de densitate de 3-12%. Duritatea Brinell crește cu 48% pe direcția paralelă cu fibrele și cu 5% perpendicular pe fibre. Chiar dacă sunt reduse modificările dimensionale, caracteristicile anizotropiei vor rămâne. Ca limitări ale tratamentului termic, diminuarea rezistenței la încovoiere statică pentru elementele de structură, modificări cromatice (întunecare). Sunt de luat în seamă o reducere a capacității de udare precum și absorbția adezivilor în procesul de lipire.

Kaymakci și Akyildiz (2011), precizează că tratamentul termic conferă lemnului o rezistență și o stabilitate dimensională sporită. Valorile măsurate pentru contragere și umflare arată că acestea scad o dată cu creșterea temperaturii. (fig. 1.8 a, b)

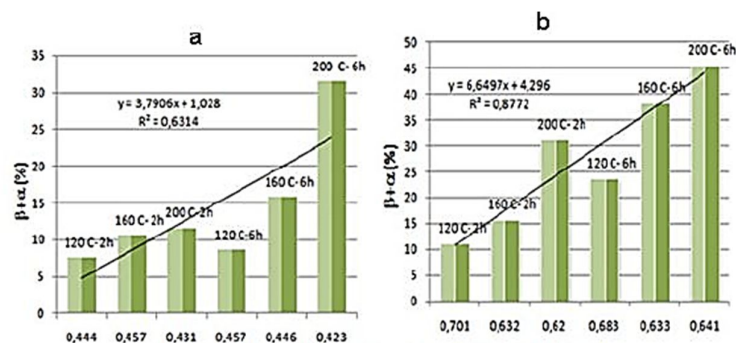


Fig. 1.8 Relația dintre masa volumetrică în stare anhidră și rapoartele de contragere - umflare (%β+α) la pinul silvestru (a) și fagul oriental (b) (sursa: Kaymakci și Akyildiz, 2011)

Dezavantajul acestui tratament, dacă se aplică direct lucrărilor de restaurare ale lemnului policrom, este că, temperaturile înalte provoacă destabilizarea straturilor de policromie, aplicate pe bunurile de patrimoniu. Însă tratamentul termic poate fi o soluție benefică, aplicabilă la nivelul elementelor din lemn

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

masiv, nou, pentru completări sau proteze adăugate în zone cu pierderi structurale importante. Olărescu (2015), a studiat influența termotratării lemnului la temperaturi de 160°C-260°C, timp de câteva ore asupra lemnului utilizat în exterior. Principalele efecte pe care le are termotratarea lemnului asupra proprietăților fizico-mecanice sunt legate de pierderea de masă de 12-35%, în funcție de regimul de tratare și specia lemnoasă dar și o scădere a absorbției de apă, respectiv de reducere a deformabilității și defectelor, o stabilitate dimensională ridicată. Influența pozitivă a termotratării lemnului asupra unor proprietăți viitoare, cum ar fi umflarea lemnului după imersie totală în apă este vizibilă în fig. 1.10 b.

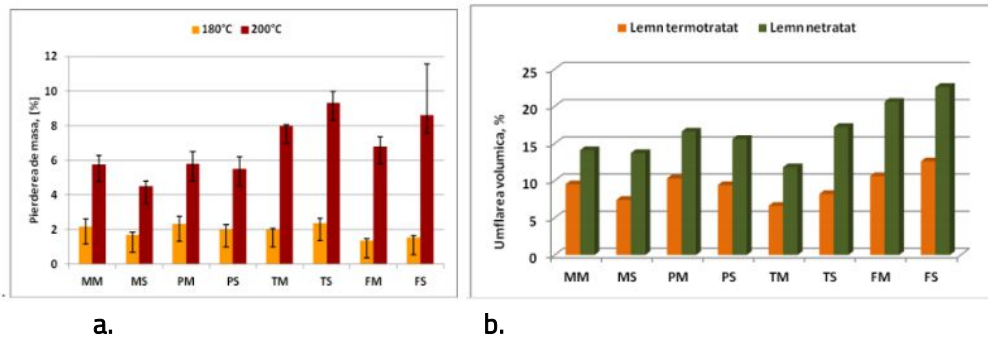


Fig 1.10 a. Pierderea de masă în urma termotratării timp de 4 ore a molidului (M), pinului (P), teiului (T) și fagului (F) pentru lemn matur (M) și subțire (S) (sursa: Olărescu 2015).
b. Influența termotratării asupra umflării lemnului, a molidului (M), pinului (P), teiului (T) și fagului (F) pentru lemn matur (M) și subțire (S) (sursa: Olărescu 2015)

În final, autorul remarcă 3 avantaje ale termotratării lemnului respectiv: micșorarea higroscopicității, îmbunătățirea stabilității dimensionale și de formă, creșterea rezistenței la biodegradare, fără adăugarea unor substanțe chimice.

1.4. Consolidarea suportului lemnos cu rășini sintetice

Consolidarea lemnului reprezintă acțiuni complexe în succesiune tehnologică, care au ca scop principal refacerea parțială și cât mai apropiat (posibil) de starea naturală a proprietăților fizico-mecanice, ale unui suport ce a fost afectat masiv de degradări fizice și biologice (Ionescu, 2016).

Un material comun utilizat pe o scară largă de către conservatori și restauratori este Paraloid B72, format din doi copolimeri – metacrilat de etil și acrilat de metil (*ethyl methacrylate și methyl acrylate, en.*), produs de Röhm și Haas, în 1935. Paraloid B72 este o rășină termoplastică, solubilă în acetonă, etanol, toluen, xilen, acetat etil, butil, etc.

Wang și Schniewind (1985), făcând referire la tratamentul de consolidare, susțin că, acesta urmărește ameliorarea și creșterea rezistenței unui suport, păstrând integritatea obiectului. Paraloid B72 a avut rezultate mai slabe decât precedentii datorită retenției mari de solvent în masa lemnului. **Viteza scăzută de eliminare a solventului a fost în acest ultim caz un mare dezavantaj.** Rășinile cu întărire la cald se pot utiliza în procesele de restaurare-consolidare, dar acestea nu vor fi niciodată reversibile.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Sakuno și Schniewind, (1990), au arătat importanța calității materialelor de consolidare utilizate în timpul restaurării, folosite în mod obișnuit și precizează că s-au efectuat investigații și măsurători privind rezistența lemnului. În cadrul experimentelor s-au folosit trei tipuri de polimeri sintetici, respectiv Paraloid B72, un butiral polivinilic, Butvarul B98 și un acetat polivinilic Ayat în soluție de 15%, fiecare din cele trei cu două tipuri de solvenți

Charola ș. a., (1986), precizează faptul că tratamentul aplicat nu va proteja materialul lemnos de deteriorarea ulterioară, dar va încetini procesul de deteriorare și va da obiectului de patrimoniu o durată mai lungă de viață. Acești cercetători afirmă că eficacitatea unui tratament de consolidare depinde fundamental de cantitatea de consolidant rămasă în obiectul consolidat, numită și retenția de consolidant, adâncimea de pătrundere, uniformitatea distribuției și în mod evident de proprietățile mecanice ale consolidantului solid de tip polimer.

Cataldi ș. a., (2014), au investigat utilizarea unor materiale compozite termoplastice realizate din praf de celuloză microcristalină, în diverse procentaje (până la 30%, procente de masă) ca și consolidant și Paraloid B72 ca matrice, în vederea creșterii proprietăților mecanice a compozitului.

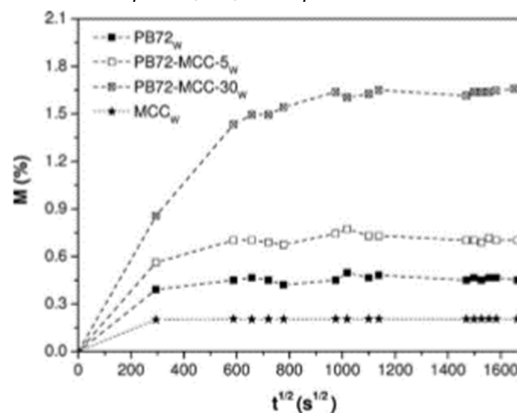


Fig. 1.18 Absorbția de apă a compozitului condiționat format din Paraloid B72 (PB72) cu celuloză microcristalină (MCC) M-umiditate, în%; t-timp, în s; (sursa: Cataldi ș. a., 2014)

În timpul experimentării s-a folosit pulbere de celuloză microcristalină (Sigma Aldrich) cu o greutate specifică de 1.56 g/cm³, ca umplutur de ranforsare. Rășina Paraloid B72 produsă de Rohm și Haas (Germania) cu o greutate specifică de 1.15 g/cm³ a fost folosită de asemenea ca matrice polimerică.. Absorbția de apă a crescut cu durata imersiei (fig. 1.18).

Lucrarea elaborată de Cataldi ș. a., (2015), ca și precedentă lucrare (Cataldi ș. a., 2014), face o analiză a utilizării celulozei microcristaline ca și umplutur-consolidant în cadrul unor materiale compozite care se vor folosi la consolidarea suportului lemnos ale obiectelor de patrimoniu. Testele reologice și de variație a masei au evidențiat faptul că celuloza microcristalină nu a afectat semnificativ vâscozitatea compozitului și absorbția de apă.

Ionescu (2016), Ionescu și Lunguleasa, (2017), au raportat în acord cu concluziile studiilor lui Schniewind (1985, 1992) și Mankovski (2015), că intervențiile de consolidare considerate „manuale”,

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

injectare, picurare, pensulare, au un caracter de consolidare de suprafață, sau unul redus în ceea ce privește pătrunderea în profunzimea celulelor lemnului, umplerea vaselor fiind relativ redusă. Pentru a aduce un efect evident în ceea ce privește îmbunătățirea rezistenței mecanice, trebuie ca injectarea sau pensularea să fie executată într-un număr considerabil de repetări și foarte important, trebuie ținut cont de vâscozitatea soluției și tipul de solvent. Substanța solidă remanentă, este necesar să depășească 25-30% din masa panoului afectat. O concluzie asemănătoare, o prezintă András Morgós (în Conferința Internațională Matcons, 2017, Craiova), care aduce în discuție practica utilizării Paraloidului B72, dar precizează că, acesta nu poate fi aplicat la orice obiect degradat.

Siau ș. a., (1984), prezintă complexitatea proceselor și a fenomenelor care se produc în lemn și sensibilitatea la variații structurale, în special cele legate de transferul de umiditate. Golurile intercelulare (spațiile) din structura lemnului, vor determina retenția soluțiilor de tratament.

Wang și Schniewind (1985) arată că polaritatea solventului afectează fluxul de pătrundere. Lemnul este mai permeabil la nepolar față de solvenții polari. Substanța nepolară are efect de pătrundere în profunzime, iar soluțiile cu polaritate ridicată, provoacă umflări lemnului. După evaporarea solventului, polimerii consolidează structura. Parametrul important este gradul de umflare a lemnului, ca rezultat al interacțiunii cu solventul. De exemplu, potrivit unui studiu al lui Paciorek, (1993), cel mai mare grad de saturare a lemnului a fost obținut utilizând Paraloid dizolvat în metanol, cu toate acestea, din cauza umflării puternice cauzate de metanol, acesta nu este indicat a fi aplicat în practica de conservare.

Schniewind (1995), citându-i pe (Stamm și Harris, 1953) arată că, pe măsură ce gradul de polaritate al solventului organic crește, la fel se întâmplă și cu umflarea lemnului. De exemplu, printre solvenții utilizați în mod obișnuit, toluenul (nepolar) practic umflă lemnul cu **numai 1,6%** în comparație cu umflarea în apă, **în timp ce acetona (polară), etanolul și metanolul produc umflări de 63%, 83% și, respectiv, 95%**. În probele deteriorate a lemnului de douglas (*Pseudotsuga menziesii*), impregnarea prin vid cu soluții 15% a consolidanților a produs valori de umflare în direcția tangențială măsurate imediat după tratament, așa cum se arată în (Tabelul 1.1). Atunci când toluenul nepolar a fost solventul, umflarea a fost mai mică de 0,1% cu două rășini diferite, în timp ce Butvar B98 în metanol a produs 3,31%. Această umflare nu a fost permanentă, chiar dacă după patru săptămâni, cea mai mare parte a umflării s-a redus considerabil. La picturile pe panou, chiar și umflarea temporară s-ar putea dovedi neplăcută, deoarece acest lucru ar putea duce la stresuri nedorite.

Tabel 1.1 Umflarea probelor de lemn imediat după tratamentul de consolidare, (sursa: Schniewind 1995, p. 93).

Consolidant și solvent	Umflare %
Paraloid B72 în Toluen	0,06
AYAT în Toluen	0,07
Paraloid B72 în Acetonă	1,03
AYAT în Acetonă	2,17
Butvar B98 în metanol	3,31

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Prin urmare, solventul cel mai frecvent utilizat este **toluenul**. **Soluția de Paraloid B72 cu o concentrație scăzută de polimer penetrează lemnul cel mai bine, dar pentru eficiență, necesită impregnare repetată.**

Saturația ridicată cauzează o penetrare redusă a solventului în profunzimea lemnului (Schniewind, 1990, Wang și Schniewind, 1985; Schniewind și Eastman, 1994). În cercetarea lor, au determinat conținutul de polimer în probele de lemn deteriorat impregnat cu Paraloid B72 soluție 20% în toluen și s-a constatat că există polimer la o adâncime mai mare de 7 mm, în aproximativ 10% din vasele lemnului. O mai bună suprasaturație s-a obținut prin dizolvarea Paraloidului în acetonă” (Mankowski, ș. a., 2015), numai că, acetona produce instabilitate dimensională lemnului, iar utilizarea ei în restaurare, ar trebuie judicios observată.

Mańkowski ș. a., (2015), au utilizat numai Paraloid B72 pe lemn vechi de tei cu frunza mică (*Tilia cordata*). Lucrarea a analizat retenția de consolidant Paraloid B72 soluție în acetat de butil În mod uzual, după uscare, consolidantul de tip polimer acrilic Paraloid B72 ranforsează lemnul degradat. Cel mai utilizat solvent al Paraloid B72 este toluenul și acetona. De asemenea, s-a observat că, retenția scade cu cât se mărește distanța față de suprafața pe care se aplică polimerul de consolidare și crește cu cât gradul de degradare al lemnului este mai mare. În cadrul lucrării s-a folosit noțiunea de porozitate a lemnului, determinată cu următoarea relație (1.1):

$P = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_s} \cdot 100 [\%]$	1.1
-----------------------------------------------------	-----

Unde avem:

P - porozitatea lemnului, exprimată în %;

ρ_s - densitatea substanței lemnoase, cu o valoare de 1,5 g/cm³,

ρ_0 - densitatea absolut uscată a lemnului exprimată în g/cm³.

Toate grupurile de epruvete au fost imersate în soluție de Paraloid B72, iar după uscare la o temperatură de 60°C, s-a determinat retenția de polimer cu ajutorul relației (1.2):

$R = \frac{m_p - m_0}{V_0} \cdot 100 [g/cm^3]$	1.2
------------------------------------------------	-----

Unde avem:

R - retenția de polimer, exprimată în g/cm³;

m_p - masa epruvetei lemnoase saturată cu polimer, în g;

m_0 - masa epruvetei uscate fără polimer, în g;

V_0 - volumul epruvetei lemnoase fără polimer, în cm³.

Determinarea porozității lemnului a avut ca scop aflarea volumului de goluri din lemn, respectiv disponibilitatea acestuia de a primi în interior soluție de Paraloid B72 până la saturație. Densitatea lemnului de tei a plecat de la 519 kg/m³, iar porozitatea de la o medie de 65%. Retenția de polimer a

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

fost de circa 0,10 g/cm³ la prima impregnare și de 0,05 g/cm³ la cea de-a doua impregnare, în total în jur de 0,15 g/cm³. Influența densității lemnului asupra retenției de polimer Paraloid B72 este prezentată în fig. 1.19.

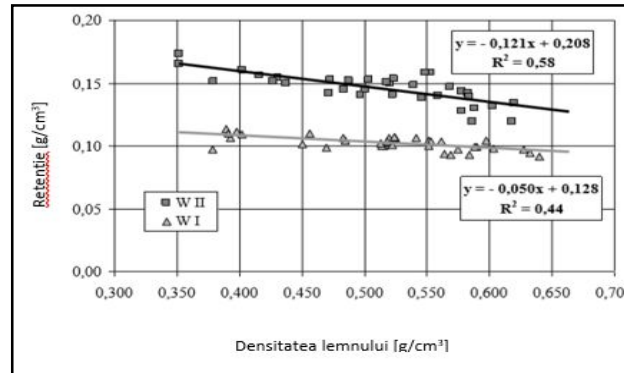


Fig. 1.19 Influența densității lemnului asupra retenției de Paraloid B72 (sursa: Mańkowski ș. a., 2015)

O scanare microscopică a lemnului impregnat arată că polimerul B72 se regăsește în special în lumenul celulelor, ceea ce arată o dată în plus cât de importantă este operația de determinare a porozității lemnului.

Timar ș. a., (2010), tratează tema retenției de consolidant, adâncimea de pătrundere a acestuia și distribuția uniformă pe suprafața și în interiorul lemnului. S-au folosit epruvete mici 10x10x15 mm din lemn de molid (*Picea abies*), având suprafețele configurate după cele trei planuri principale ale lemnului: transversal, longitudinal-radial și longitudinal-tangențial. Aceste epruvete confecționate din **lemn sănătos** și fără defecte, au fost condiționate la 200°C și o umiditate de 55%, rindeluite și șlefuite înainte de tratare. Produsele de consolidare au fost Paraloid B72, ceara de albine și alte două tipuri de parafină. Epruvetele din lemn au fost cântărite inițial, după care au fost imersate pe o perioadă de 15 minute în soluția de consolidare. După uscarea naturală timp de câteva zile, epruvetele sau cântărit din nou pentru a se determina cantitatea efectivă de consolidant rămasă în lemn. Timar ș. a., (2010), arată că s-a urmărit gradul de impregnare cu Paraloid B72, polimer sintetic și ceruri (ceară de albine și parafine modificate). Determinările au fost de natură cantitativă, privind retenția de consolidant și calitativă raportată la adâncimea de penetrare și distribuția consolidantului în lemn. Observațiile s-au făcut prin tehnici microscopice și de spectroscopie (TLM), (FTIR), asociate cu un mod original de preparare a epruvetelor. Tot mai mulți specialiști evidențiază tipuri noi de investigare, metode de măsurare și interpretare cât mai complexe FTIR, XRF, cu metode versatile de evaluare a procesului de consolidare, imagistică și tomografii computerizate CT, microscopia de înaltă rezoluție, investigații cu ultra sunete. Investigările ne distructive sunt metode tot mai des folosite în domeniul conservării obiectelor de patrimoniu, însă nu au o accesibilitate largă, iar ca o consecință acestui impediment, metodele clasice, sunt în continuare utilizate. Însă așa cum arată și Timar ș. a., (2010) citându-i pe Derik ș. a., (1999), Caretti și Dei, (2003), „*aceste metode, deși distructive, pot fi utilizate cu condiția prelevării judicioase și a pregătirii probelor cu maximă eficiență*”.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Acest studiu arată posibilitatea detectării unor defecte interne care nu sunt vizibile cu tehnici clasice. Retenția de consolidant a fost mica de 2-4% în cazul Paraloid B72 (soluții diluate 50-100g/l), dar mult mai mare la produsele pe baza de ceara și parafină de 20-26%. Lemnul consolidat a avut o absorbție de apă și o umflare în grosime cu mult mai mică decât a probelor martor. Pentru a se observa pătrunderea consolidantului în lemn s-au studiat imaginile microscopice (fig. 1.21).

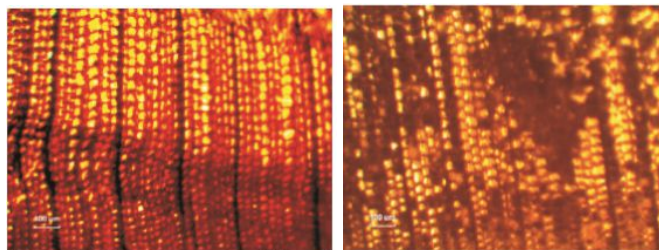


Fig 1.21 Imaginea microscopica pentru proba martor (stânga) și cu consolidant (dreapta) (după Timar ș. a., 2010)

În concluzie, lucrarea a făcut o analiză comparativă a utilizării Paraloid B72, ceară de albine și parafine modificate, ca material consolidant. Studiul este făcut pe un **lemn sănătos** de molid, tratamentul fiind realizat prin imersie. Retenția de substanță a fost diferită de la un consolidant la altul, dar și cu proprietăți hidrofobe îmbunătățite, față de probele martor.

Pornim de la premisa că materialele utilizate până astăzi pot fi îmbunătățite, dezvoltate pentru ca efectul lor să fie benefic intervenției. Sunt de luat în considerare, de exemplu, studii la nivel național și internațional:

- îmbunătățirea Paraloidului B72 cu Montmotrilonit (alumosilicat de magneziu) (Horie 2010)
- cu nanocompuși (Tuduce ș. a., face referire la **esențe - plop și molid** - (Timar ș. a., 2011; Tuduce ș. a., 2012; Kaymakci ș. a., 2017)
- microfibre de celuloză (Cataldi ș. a., 2014, 2015) - pot fi luate, de asemenea, în considerare și alte studii și cercetări pe diferite esențe și materiale de consolidare, solvenți, etc.

Consolidarea lemnului deteriorat prin impregnare cu rășini termoplastice solubile este considerată metoda cea mai promițătoare datorită proprietăților fizice și mecanice, precum și reversibilitatea acestora în comparație cu rășinile sintetice termorigide. Gradul de impregnare va depinde de: materialul de consolidare, solventul utilizat, concentrația și vâscozitatea soluției, permeabilitatea materialului lemnos ce va fi consolidat, tehnica utilizată (pensulare, injectare, imersie, impregnare în vid, etc.) și alți parametri de tratare precum durata, temperatura și polaritatea solventului (Wang și Schniewind, 1985), (Unger și Unger, 1994), (Unger ș. a., 2001), (Timar, 2003), (Timar, 2010), (Ionescu, 2016), (Ionescu și Lunguleasa, 2017). „Soluțiile de concentrație mai mari depozitează mai multă rășină și, prin urmare, vor da mai multă rezistență. Cu toate acestea, pentru aplicații practice în care trebuie consolidate obiecte mari sau panouri cu permeabilitate redusă, penetrarea completă nu este ușor de obținut. Absorbția poate fi mărită fie prin creșterea diferenței de presiune, prin aplicarea presiunii pozitive după tratamentul sub vid (care ar necesita un echipament mai elaborat), fie prin reducerea vâscozității

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

soluției de tratare. Aceasta din urmă poate fi realizată fie prin reducerea concentrației, care este într-o oarecare măsură contraproductivă, deoarece reduce retenția. Alegerea solventului sau a concentrației devine astfel o opțiune care nu poate fi făcută în termeni absoluți, ci trebuie să fie adaptată cerințelor și condițiilor particulare ale obiectului care trebuie tratat” (Wang și Schniewind, 1985, pp. 77-91).

Un alt material utilizat în restaurare, este **Regalrez 1126** – o hidrocarbură ciclică saturată asemănătoare cerii și parafinei (Crisci et. al. 2010).

Ionescu și Lunguleasa (2017), au constatat că, în amestecul concomitent al celor două substanțe (Paraloid B72 dizolvat în toluen și acetat de etil 1:1 și Regalrez 1126) se poate produce o precipitare (fig. 1.22 a, b), rezultând o suspensie care îngreunează procesul de injectare, ce ar putea avea consecințe negative asupra efectului așteptat. Se consideră optim ca tratamentul să se facă diferențiat. În concluzie aplicarea celor două substanțe se face independent, cu un interval de uscare de minim 24 ore.

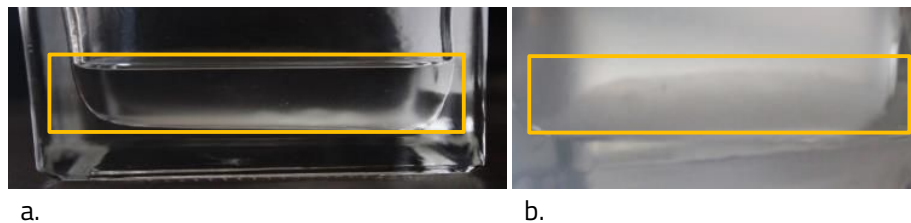


Fig. 1.22 Particule în suspensie. a. Depuneri b. Detaliu (Original LRCX)

După dublul tratament cu Regalrez și Paraloid, s-a observat un avantaj semnificativ în ceea ce privește rezistența mecanică, deși nu sunt evidențiate avantaje în ceea ce privește rezistența la procesele de foto-oxidare sau schimbările de culoare, afirmă Crisci ș. a., (2010) și concluzionează: Probele de plop tratate cu Paraloid B72 și Regalrez + Paraloidul B72 a arătat o reducere semnificativă a porozității (cu $6 \pm 2\%$), cu o valoare ușor mai mică în probele de molid. Eficiența unui tratament de consolidare depinde în ultimă instanță de cantitatea de consolidant rămasă în materialul/obiectul de consolidat (retenția de consolidant), adâncimea de pătrundere și uniformitatea distribuției acestuia, aspecte care pot fi cumulate sub termenul de grad de impregnare (Timar ș. a., 2011) lucru de altfel constatat în practica curentă. Dacă ținem cont de concentrația și volatilitatea solventului, penetrabilitatea este redusă cu atât mai mult când elementele anatomice ale lemnului sunt degradate de către atacul de fungi și xilofag, galeriile și orificiile de insecte sunt înfundate, blocate de rumegușul produs de masticarea lemnului de către insecte (Ionescu, 2015). În general, permeabilitatea este mai mare în alburn decât în duramen și este, de asemenea, mult mai mare în direcția longitudinală decât în aceea transversală. Permeabilitatea este cel mai important factor care afectează retenția în comparație cu presiunea și vâscozitatea, (Wang și Schniewind, 1985).

1.5. Chimia verde

Tendința actuală de implementare a proiectelor și programelor de ecologizare pentru înlocuirea materialelor poluante, dăunătoare omului și naturii, cu produse și soluții alternative cu impact redus,

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

ca toxicitate și cu descompunere naturală fără modificări negative aduse mediului înconjurător, are ca scop protejarea omului și a mediului.

Tuduce-Trăistaru ș. a., (2010), în studiul lor, autorii arată că pentru operații de restaurare, materialele introduse în operă, trebuie să fie cât mai puțin toxice, pentru obiect, restaurator și pentru mediu. Autorii raportează o cercetare teoretică cu direcție clară, de dezvoltare a unor noi tehnologii. Aceștia sintetizează totodată și rezultatele altor autori și având la bază o analiză critică, asupra materialelor de consolidare a lemnului, precum și alternativa oferită de nanoinsertii, au elaborat un set original de criterii de compatibilitate precum și o scală de evaluare a importanței pentru consolidarea lemnului.

Așa cum arată și Homan ș. a., 2010, tendința actuală în tratarea și îmbunătățirea proprietăților lemnului se îndreaptă înspre maniera ecologică, prin modificarea substratului, nu prin impregnarea și fixarea consolidanților toxici, atât pentru lemn, utilizator sau mediu.

Pațachia și Croitoru, (2013), prezintă o cercetare inovatoare și anume, lichidele ionice, ale căror principale proprietăți pot fi amintite: produc o bună conservare, cresc polaritatea de suprafață a lemnului, ceea ce înseamnă posibilitatea de reducere a sorbției apei, îmbunătățesc durabilitatea, dar, poate și mai important, sunt lichide care au caracter antibacterian și anti fungic.

Tratamentul termic al lemnului la temperaturi, mediu înalte, 135°C-150°C (Momohara, ș. a., 2003); înalte 160-235°C (Vitaniemi ș. a., 1997), (Homan ș. a., 2000), pot fi de asemenea soluții și metode tehnice ecologice, care pot fi aplicate pentru stabilizarea și consolidarea panourilor policrome deteriorate.

Lunguleasa și Spirchez (2007) confirmă și raportează că un astfel de tratament termic (tofeiere) la temperaturi de 180°C și 200°C conduce la o reducere a modificărilor dimensionale și o creștere a rezistenței la atacul de funghi și insectelor xilofage fără a fi necesară utilizarea substanțelor chimice.

Asemenea studii desigur trebuie continuate, pentru a afla răspunsuri, când și dacă pot fi utilizate în restaurarea bunurilor de patrimoniu. Deși sunt materiale care întrunesc condiția ecologizării, poluare redusă, efecte negative minore asupra personalului, însă nu este foarte clar comportamentul ansamblului, suport și operă de artă, în timpul tratamentului dar mai ales ulterior, cum reacționează individual sau în reacție cu alte materiale și substanțe din bunul cultural.

1.8. Analiza critică a cercetărilor în domeniu

Studiile în domeniul restaurării și conservării obiectelor de patrimoniu indică nivelul actual în acest domeniu. Se constată o lipsă a unei ierarhizări a degradărilor suportului din lemn, cu cauze clar explicate, cu metode de determinare, de clasificare a deteriorărilor. Foarte mulți cercetători, cu o bogată experiență în domeniul restaurării și conservării lemnului, prin articole, cursuri sau cărți de specialitate, abordează pe larg analiza factorilor și a mecanismelor care produc degradarea, fragilitatea și chiar distrugerea parțială a lemnului din cadrul obiectelor de patrimoniu. Aceștia identifică problema și o ameliorează, dar nu stabilesc o **scală a acestor degradări, un indice sau procentaj al degradării**. Aceasta ar fi o primă problemă care se observă din studiul cercetării în domeniu și căreia i-ar trebui o



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

soluție modernă de rezolvare. De asemenea, din analiza articolelor de specialitate nu s-a detașat clar cum se poate rezolva problema tehnică a lipsurilor lemnoase (a pierderilor de material) din obiectele de patrimoniu, prin completarea cu ajutorul unor alte bucăți de lemn. O structură fragilă poate fi consolidată simplu cu Paraloid B72 (rășini sintetice), dar nu același lucru se poate întâmpla în zonele fracturate și detașate sau pierdute, unde pentru consolidare sunt necesare completările cu lemn condiționat. Tehnologia de introducere a altui material lemnos în cadrul obiectului restaurat este foarte puțin dezvoltată în cadrul lucrărilor prezentate, în acest context nefiind precizate speciile lemnoase care ar putea fi folosite, modalitatea de înclieiere, adezivii utilizați, reversibilitatea procedurii și a materialelor folosite și chiar densitatea materialului folosit sau gradul de degradare al acestuia. Aceasta ar fi o a doua problemă identificată în cadrul cercetării articolelor și cărților din domeniul temei de doctorat, care ar necesita o investigație amplă pentru rezolvarea problemelor de compatibilitate a materialelor vechi cu cele nou introduse.

O a treia problemă identificată în studiile din domeniu a fost aceea a utilizării în cadrul lucrărilor de restaurare a unor materiale lemnoase vechi sau învechite artificial, cu un anumit grad de degradare și fragilitate, dar suficient de rezistente ca să dea o nouă viață produsului restaurat. Un singur caz a fost evidențiat în studiu, acela de utilizare a unor piloni de lemn îngropați timp de 70 de ani în pământul umed de pe malul unui râu (Sakuno și Schniewind, 1990; Schniewind and Eastman, 1994), dar și acesta numai la nivel de studiu individual și nu prin utilizarea acestui lemn în cadrul lucrărilor de restaurare.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

2. OBIECTIVELE LUCRĂRII DE DOCTORAT

Temă de actualitate, cu scopul principal de investigare a posibilităților de îmbunătățire a tratamentelor de stabilizare și consolidarea suportului din lemn, cu aplicarea rezultatelor în domeniului restaurării lemnului policrom. Această lucrare contribuie cu răspunsuri la cercetări experimentale originale, efectuate în premieră, pentru elaborarea, adaptarea sau dezvoltarea unor materiale și tehnici inovatoare sau cu grad de noutate, argumentate științific cu aplicabilitate țintă: restaurarea obiectelor de artă.

- **Obiectivul 1: Evaluarea degradării și fragilitatea lemnului din cadrul obiectelor de patrimoniu supuse restaurării.** Este necesar să se cunoască nivelul de degradare al lemnului, pentru a utiliza în consecință materialele și metodele adecvate. Se va urmări în consecință stabilirea unor trepte de degradare, cu mecanisme și măsurători, în vederea structurării intervențiilor de restaurare bazate pe niveluri de degradare. Dacă până în momentul de față restaurarea se face fără o ierarhizare concretă a degradărilor și a nivelului de complexitate a intervenției, propunerea prin acest obiectiv, vine cu stabilirea unui standard de degradare, organizat pe niveluri.
- **Obiectiv 2: Alegerea lemnului nou introdus în obiectul de patrimoniu degradat.** În momentul în care planșa lemnoasă are zone profund degradate sau zone lipsă este necesară completarea, introducerea de lemn nou și sănătos. Pentru aceasta este nevoie să se identifice specia lemnoasă originală, să se cunoască gradul de degradare a zonelor adiacente și să se aleagă materialul lemnos corespunzător.
De asemenea, reconstituirea pe urma de fracturare a unor elemente noi ale suportului, în scopul prelungirii vieții operei de artă, reprezintă un alt deziderat al acestui obiectiv. Lemnul lamelar (compozit sau nu) rezultat prin stratificarea unor planșe de lemn atât pe axa orizontală, cât și pe cea verticală (a grosimii), poate fi utilizat în tratamentele și tehnicile de restaurare ale lemnului.
- **Obiectivul 3: Elaborarea de metode și materiale pentru stabilizarea, consolidarea și reducerea variațiilor dimensionale ale lemnului degradat din obiectele de patrimoniu.** Pentru acele obiecte de patrimoniu care au o degradare medie se va urmări stabilizarea suportului lemnos și consolidarea acestuia cu substanțe clasice și moderne. Se va urmări determinarea cantității de substanță uscată reținută în lemn, gradul de impregnare, influența solventului asupra stabilității dimensionale a panoului lemnos.
- **Obiectivul 4: Utilizarea lemnului torefiat (supus tratamentului termic), pentru completările cu lemn ale panourilor.** Pentru a exista o compatibilitate între lemnul vechi, din obiectul de patrimoniu și lemnul nou utilizat pentru a fi introdus ca lemn de completare, ar trebui ca cele două materiale să aibă proprietăți fizice, chimice și mecanice identice sau cel puțin asemănătoare.

Cercetarea se dorește a fi una aplicabilă și măsurabilă de la nivelul teoretic la cel practic și transferul acestor informații de la nivelul laboratorului de cercetare la nivelul laboratorului de restaurare, utilizând materiale, tehnici și aparatură adaptată nevoilor și posibilităților laboratoarelor de restaurare.

3. EVALUAREA GRADULUI DE DEGRADARE-FRAGILIZARE AL LEMNULUI DIN BUNURILE DE PATRIMONIU

Obiectivul acestui capitol este acela de a obține metode de evaluare a deteriorării lemnului din bunurile de patrimoniu cultural, care să fie facile și ușor de aplicat pentru domeniul restaurării lemnului policrom. Este dificil de evaluat și elaborat o ierarhie a nivelurilor de degradare, interpretate ca defecte naturale sau produse de factori endogeni sau exogeni, întrucât, până în prezent, nu există o reglementare sau un standard în acest sens. De aceea, în prezenta cercetare se dorește să elaborăm o ierarhizare a nivelului de degradare al lemnului, care se exprimă practic printr-un grad de deteriorare, ca procent din parametrii inițiali ai acestuia.

În urma studiilor teoretice și practice s-au elaborat patru metode pentru determinarea gradului de degradare-fragilitate a suportului lemnos:

1. determinarea densității comparative (a masei volumetrice) a lemnului sănătos cu acela degradat
2. determinarea porozității excesive a lemnului, provocată de orificii și galeriile de insecte.
3. măsurarea durtății Brinell și compararea valorilor obținute pentru lemnul sănătos cu cel degradat
4. determinarea durtății cu ajutorul dispozitivului de înțepare a lemnului, Mark 10, ca metodă alternativă minim distructivă, comparativ cu metoda Brinell

3.1. Determinarea gradului de fragilitate prin metoda densităților comparative

Lemnul de tei (*Tilia sp.*) este un lemn frecvent regăsit în obiectele de patrimoniu, mai cu seamă în obiectele de artă și cult, fie ca suport al picturilor, fie ca sculptură policromă (polipticuri, iconostase, etc), dar putem regăsi și alte specii precum molid, larice, plop etc. Degradările sunt multiple și sunt cauzate de: instabilitatea dimensională, ca urmare a expunerii într-un micro climat necorespunzător, atacul ciupercilor xilofage, insectelor xilofage etc. **Kozłowski**, (2018), arată că un mediu climatic cu temperatură și umiditate necontrolată, cauzează deformări, fisuri, materialelor sensibile la acești parametri și pun în primejdie colecțiile din muzee și interioarele istorice. **Bucşa și Bucşa**, (2014), arată că un spațiu umed și o circulație a aerului redusă, sunt factori de dezvoltare a fungilor și/sau insectelor.



Fig 3.2 Degradări ale suportului lemnos; a. atac fungic (*Merulius lacrymas*); b. atac simbiotic; c. atac xilofag (Original LRCX)

Pentru diferențele de masă dintre cele două panouri (sănătos și cel degradat) prin metoda densităților, se determină:

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

- diferența totală de masă între panouri
- pierderile de masă, în funcție de procentul de umiditate a lemnului (degradat și cel de referință 12%) în raport cu volumul.
- alte valori de pierderi de masă.

Stabilirea gradului de **degradare-fragilitate (G_{fρ}) prin metoda densităților** se bazează pe determinarea densității suportului lemnos degradat (ρ_d) și a estimării densității suportului lemnos inițial, original (cel negradat, conform **tabel 3.1**) (ρ_i), respectiv:

$G_{f\rho} = \frac{\rho_i - \rho_d}{\rho_i} \cdot 100 [\%]$	3.1
-------------------------------------------------------------	-----

Unde,

G_{fρ} - gradul de fragilitate prin metoda densităților, când panourile au aceeași umiditate

ρ_i - densitatea panoului sănătos, la umiditate de echilibru, convenită (ex. 4%÷12%), exprimat în kg/m³

ρ_d - densitatea panoului degradat, la umiditatea (ex. 4%÷12%), exprimat în kg/m³

Numărătorul din relația (3.1) reprezintă pierderea de densitate, iar relația întreagă arată care este pierderea procentuală de masă. Calculul va ține cont de densitatea ipotetică a unui panou de referință (ρ_i), nou și sănătos, raportat la aceeași umiditate cu cea a panoului degradat (ρ_d) având aceleași dimensiuni și aceeași esență cu panoul degradat, la intrarea în restaurare. Valori intermediare de densitate s-au obținut adaptând, tabelul 3.1 după Lunguleasa (2007) pentru valori de umiditate intermediare 6÷12%, la lemnul de tei și molid, iar pentru un calculul facil, s-a elaborat tabelul 3.1a. În acest sens, s-au pregătit 60 de epruvete, cu dimensiuni 50 x 50 x 30 mm, din care, câte 10 au fost condiționate la U. lemn 6%, ÷ 12%, densitățile aparente s-au calculat și s-au obținut mediile.

Tabel 3.1a Densitatea speciei lemnoase (tei și molid) la valori de umiditate 6÷12%.

Specie	Densitatea lemnului, kg/m ³					
	ρ ₆	ρ ₇	ρ ₈	ρ ₉	ρ ₁₁	ρ ₁₂
Tei	509,8	512,2	514,4	516,7	521,3	523,6
Molid	448,4	450,8	453,2	455,6	460,4	462,8

Diferența totală de masă între cele două tipuri de panouri (nou și cel deteriorat de timp și atac xilofag) se obține prin scăderea masei panoului degradat din masa panoului (nou) estimat.

În urma calculelor determinate cu formulele mai sus menționate, se obțin două valori care reprezintă diferența totală de masă între cele două panouri (calculată cu formula 3.1a) și diferența de densitate raportată la aceeași umiditate a panourilor (formula 3.1). Se va utiliza ecuația 3.1b, atunci când panoul degradat are o umiditate diferită față de aceea a panoului de referință convențională (12%).

$\Delta_U = \frac{\rho_r - \rho_{pdx\%}}{\rho_r} \cdot 100$	3.1b
-------------------------------------------------------------	------

Unde,

Δ_U - diferența de masă sau de densitate ca raport al procentului de umiditate diferit, în %

ρ_r - masa sau densitatea panoului estimat, la umiditatea de referință, 12%

ρ_{pdx%} - masa sau densitatea panoului degradat, la umiditatea măsurată (ex: 7%, 8%, etc.)

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Pentru determinarea densității panoului degradat utilizăm relația 3.1 c,

$\rho_{pd} = \frac{m_d}{v_d} \quad [\text{kg/m}^3]$	3.1c
-----------------------------------------------------	------

Unde,

ρ_{pd} - densitatea panoului degradat

m_d - masa panoului degradat

v_d - volumul panoului degradat

Gradul de fragilitate prin metoda densităților (Gfp) a fost observat pentru 5 exemple (în teză), după cum urmează și sunt înregistrate în tabelul 3.2, unde sunt marcate, toate valorile pentru exemplele prezentate, (1÷5) cu diferențele de densitate în funcție de umiditatea panoului studiat.

Exemplul 1. Icoană *Întâmpinarea Domnului* (inv. 762), Sec. XVIII, AOR Buzău

Datele inițiale ale icoanei, la intrarea în atelierul de restaurare au fost următoarele: masa panoului degradat înainte de restaurare 818 g, dimensiunile exterioare 280 x 335 x 30 mm ($V= 0,002814 \text{ m}^3$), umiditatea 6% iar specia lemnoasă, tei pucios (*Tilia cordata Mill.*). S-a determinat densitatea panoului degradat, ca raport dintre masa și volumul degradat, conform **relației 3.1c**, obținându-se valoarea de 290,69 kg/m³. Pentru comparație s-au preluat câteva bucăți de cherestea din aceeași specie, tei pucios, s-au adus la aceeași umiditate de 6%, din care s-au debitat 10 epruvete cu dimensiunile de 50 x 50 x 30 mm, la care s-a determinat densitatea ca raport între masa și volumul acestora. S-a obținut o densitate medie de 509,8 kg/m³, (tabel 3.1a). Pentru a stabili diferența dintre densitatea lemnului de tei, nou și sănătos, la umiditatea de 12% și 6%, se vor prelua valorile de densitate din tabelul 3.1a și utilizând formula 3.1b, se obține o diferență între umidități exprimată în kg/m³, de 13,8, respectiv 2,65%. Utilizând aceeași formulă, 3.1b, dar aplicând de această dată valorile unui panou nou estimat la 12% umiditate și ale unui panou degradat la 6% umiditate, se obține o degradare totală de 44,46%, dar care include și diferența de densitate.

Când raportarea se face la aceeași umiditate a panoului degradat (6%) și a panoului nou estimat (6%), se utilizează formula 3.1 și se obțin valori de degradate exprimate în procente.

În tabelul 3.2, s-au consemnat valorile de densitate (exprimate în kg/m³), de masă (exprimate în g), numărul de orificii/ dm² și gradul de degradare exprimat în procente, pentru fiecare din cele cinci exemple.

Tabel 3.2. Determinarea degradărilor prin metoda densităților, aferente exemplilor 1÷5

Numărul exemplului	1	2	3	4	5
Număr inventar/înregistrare BC	762	764	760	690	115
Densitate panou degradat (ρ_{pd}) înainte de restaurare [kg/m ³] (eq. 3.1c)	290,67	316,86	344,31	399,25	435,64
Densitate [kg/m ³] panou nou la [6%]	509,8	509,8	509,8		
[8%]				514,4	514,4

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Numărul exemplului	1	2	3	4	5
Număr inventar/înregistrare BC	762	764	760	690	115
Pierderea de densitate între panoul nou și cel degradat [kg/m ³]	244,33	218,14	190,69	135,75	99,36
Masa panoului la intrare în restaurare [g]	818	1270	1380	9610	5135
Masa estimată a panoului nou [g] U=6%	1434	2043	2043		
U = 8%				12384	6066
U=12%	1473	2099	2099	12603	6173
Diferența de masă [g] între panoul la intrarea în restaurare și cel estimat 12%	- 655	- 829	- 719	- 2993	- 1038
Diferența de masă raportată la umiditate de referință 12% [g]	39	56	56	223	109
Alte pierderi de masă [g]	616	773	663	2774	931
Nr. orificii de insecte/dm ²	156-218	146-180	120-156	78-114	56-70
Media	187	163	138	96	63
Degradare total constatată la U 6% și U 8% (conform cu eq. 3.1)	42,96	37,84	32,45	22,37	15,34
Degradare total constatată la U12% (conform cu eq. 3.1b)	44,46	39,49	34,25	23,75	16,81
Grad de fragilitate rezidat din diferența procentului de umiditate a lemnului [%] (conform cu eq. 3.1b)	2,65	2,66	2,66	1,77	1,73

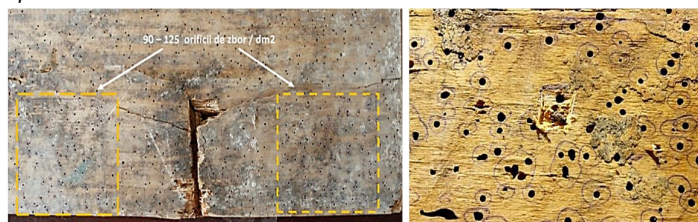
3.2. Determinarea gradului de degradare a suprafeței panoului, prin metoda porozității excesive, provocat de atacul xilofag

Porozitatea excesivă poate fi explicată ca fiind cauzată de atacul insectelor xilofage în interiorul lemnului, care provoacă orificii și galerii larvare, înzecit multiplicat față de cele de suprafață, cu lungimi și diametre diferite, produse de regulă în lungimea fibrelor, însă pot avea și direcții aleatorii, în special, când insecta ajunsă la maturitate, părăsește lemnul. Constatăm lipsa unei metode care să stabilească un nivel de degradare al suportului lemnos din bunurile de patrimoniu. Termenul de „porozitate suplimentară, rezultată din degradare” mai poate fi regăsit în literatura de specialitate și în lucrarea autorilor, Tuduțe-Trăistaru, ș.a, 2011.

Noțiunea de **orificiu de insectă** și **galerie larvară**, este explicată și argumentată cu bibliografia de specialitate; Sandu ș.a (1998) indică faptul că insectele xilofage produc degradări sub formă de galerii în materialul lemnos, iar la suprafață, sunt vizibile „găuri /orificii de zbor”. **Ungurean (2011)** utilizează

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

termenul de *galerii larvare*, și argumentează că „*speciile xilofage produc daune prin acțiunea larvelor care sapă galerii. Orificiile de eclozare produse de adulții care ies în exterior pentru împerechere, vin să completeze degradările provocate de săparea galeriilor de către larve*”. Florea Oprea (2012) „*Insecta degradează lemnul atât în stadiul larvar cât și ca adult. În primul caz forma de atac sunt galeriile din masa lemnului, iar în cel de al doilea caz orificiile circulare...*”. Se constată astfel că sunt două tipuri de degradare cauzată de insecta xilofagă – galeria larvară produsă de larvă (în interiorul lemnului) și orificiul de insectă (pe suprafața lemnului) provocat de insecta adultă la momentul părăsirii lemnului pentru împerechere. Ciclul de viață se reia prin depunerea pontei de către femele, în fisuri, pori sau în orificiile de insecte deja existente. În vederea determinărilor de degradare produse de atacul xilofag și pentru a exprima cât mai corect volumul pierderilor de elemente anatomiche din lemnul deteriorat de insecte, **este importantă cunoașterea atât a pierderile de masă cât și a celor volumetrice**. Astfel masa pierdută (m_p) reprezintă un reper de inventariere al nivelului de deteriorare, iar volumul pierdut, (v_p) arată cât din volumul total al lemnului este deteriorat și câtă cantitate de soluție de consolidant este necesară. Principiul metodei, constă în observarea unui perimetru redus, ca formă și dimensiune, un pătrat cu latura de 100 mm (fig. 3.8 a). Media numărului orificiilor/dm² se înmulțește cu suprafața în dm² a întregului panou, și cu diametru mediu al orificiilor. Considerăm că este benefic ca măsurarea diametrului orificiului de insectă, care nu este perfect rotund (fig. 3.8 b), să se facă pe intersecția diametrelor, iar valoarea medie să fie aceea de referință.



a.

b.

Fig. 3.8 a. Marcarea și numărarea orificiilor de insecte pe dm² (Icoană Sf. Gheorghe, aparține parohia Ciorani VN, dimensiuni 1115x735x26 mm) (după Ionescu ș. a., 2019); b. Forma orificiilor de insecte

Pe această suprafață cunoscută se determină numărul de orificiilor de insecte, dar și un diametru mediu al acestora. La modul general, intensitatea degradării se determină ca raport între suprafața orificiilor de insecte și suprafața luată în calcul, se utilizează relația 3.2) și se obține suprafața afectată de atacul xilofag:

$G_{fs} = \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot l_1 \cdot l_2} \cdot 100 \text{ [%]}$	3.2
--------------------------------------------------------------------------------------	-----

Unde :

G_{fs} - grad de fragilitate a suprafeței ca intensitate a orificiilor de insecte

n - numărul de orificii pe întreaga suprafață;

d^2 - diametrul mediu al orificiilor de insecte, în mm²;

l_1, l_2 - dimensiunile plane ale suprafeței luate în calcul, în mm

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Exemplul 1. Icoană *Întâmpinarea Domnului* (inv. 762), Sec. XVIII, AOR Buzău

Se marchează pe suportul obiectului de patrimoniu o zonă afectată de orificii de insecte xilofage (fig. 3.11), suprafața determinată are dimensiunile 172 x 100 mm, unde se identifică numărul de orificiilor de insecte. Se obține un număr de 346 orificii de insecte pe suprafața de 1,72 dm², de aici rezultă un număr de 201 orificii/dm².

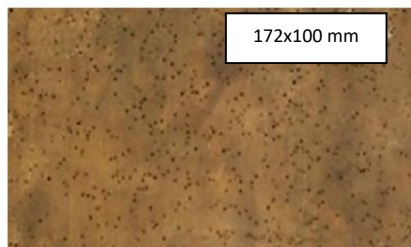


Fig 3.11 Orificii de insecte la panoul *Întâmpinarea Domnului* (exemplul 1), (Original LRCX)

Diametrul orificiilor de insecte a fost cuprins între 1,4-2,6 mm, cu o valoare medie de 2,00 mm. În acest moment există toate datele pentru determinarea gradului de fragilitate, introducând datele în relația (3.2) și obținem o valoare de 6,31%. Prin determinările aplicate obiectelor de mai sus, se poate constata că intensitatea și diametrul orificiilor de insecte, produc degradare pe suprafața plană, cu valori între 3,00 % și 6,31%. Considerăm că această determinare poate reprezenta o exprimare a unei degradări, însă nu este suficientă; de aceea, o raportare și la volumul degradat, va putea evalua cu precizie un panou degradat de atac xilofag.

3.3. Constatarea nivelului de degradare prin metoda determinării volumetrice a galeriilor larvare.

Cercetarea prezentă dorește să îmbunătățească evaluarea degradării produsă de intensitatea (*numărul de orificii / dm²*) atacului xilofag, luând în considerare diametrul, suprafața și volumul orificiilor (fig. 3.17).

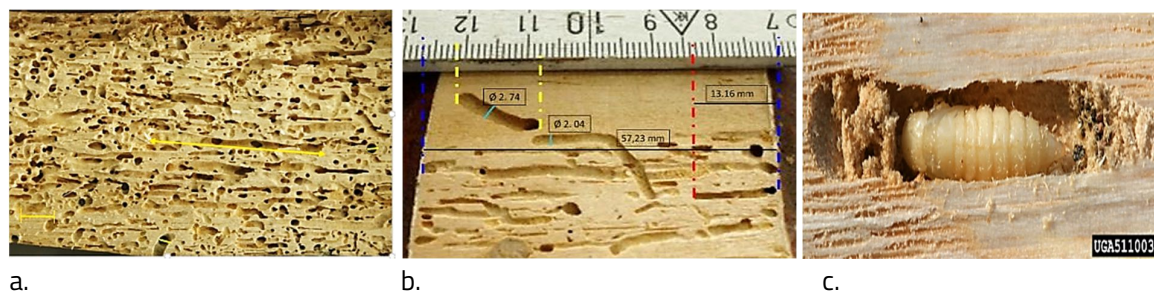


Fig 3. 17 Rețea de orificii și galerii pe lemn de tei a, b; c. insecta *Anobium punctatum*; (foto a. b. original LRCX); c. Insectă xilofagă (*Agrilus planipennis*) în timpul activității, după David Cappaert

<https://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5110032>

Un atac xilofag asupra obiectelor de artă produce consecințe greu estimabile, din cauză că, la suprafață se observă un număr orificiilor de insecte, însă în interiorul lemnului, de fapt sunt galerii larvare, înzecit multiplicat (fig. 3.17 a, b), față de cele de suprafață, cu lungimi diferite, produse de regulă în lungimea fibrelor, însă pot avea și alte direcții, în special, când insecta ajunsă la maturitate, părăsește lemnul.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

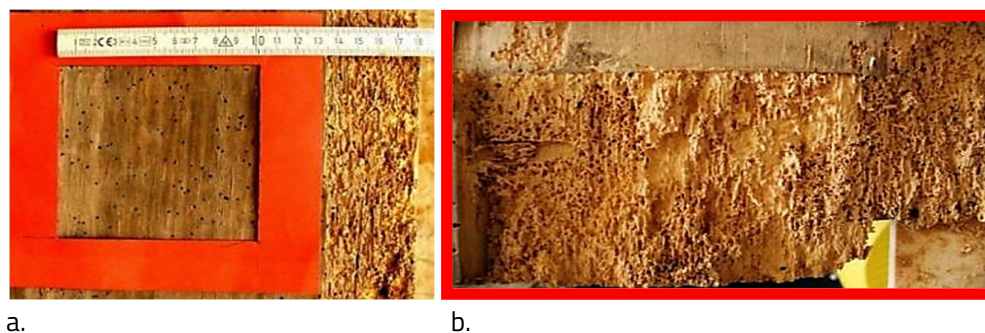


Fig. 3.18 Consecințe ale atacului xilofag (Original LRCX); a. Marcarea cu un pătrat a zonei de măsurarea intensității atacului xilofag; b. Lemnul pierde din structura anatomică și a rezistenței mecanice

Insectele xilofage, produc în lemnul sănătos orificii și galerii larvare circulare, cu diametre între 1 și 4 mm, degradări și deteriorări suportului din bunurile de patrimoniu (fig. 3.18 și 3.19).



Fig. 3.19 Orificii și galerii larvare, în volumul lemnului (Original LRCX)

În acest sens măsurările precise sunt dificil de realizat și astfel acestea pot fi substituite cu măsurători **estimative**, care să arate nivelul procentual de degradare al bunului de patrimoniu, mai ales atunci când nu sunt vizibile deteriorările în volum (fig. 3.20).

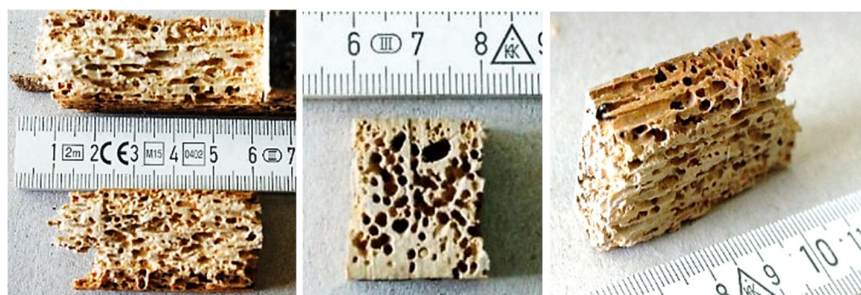


Fig. 3.20 Forma atacului xilofag vizibilă pe un lemn degradat în secțiuni longitudinală și transversală

Pornind de la o estimare (*caz ipotetic*): un panou din lemn, cu volumul $[V]$ de 1 dm^3 , este degradat de un atac xilofag, cu intensitatea (i_a) $350 \text{ orificii/dm}^2$, cu $\varnothing 2.00 \text{ mm}$, iar aria unui orificiu este ($A_o = 3.14 \text{ mm}^2$) obținută cu formula 3.4 (din teză).

Totodată, se observă că, galeriile larvare (fig. 3.17, 3.19; 3.20) se pot înscrie ca formă geometrică regulată, într-un cilindru. Diametrul mediu convenit pentru această cercetare este $\varnothing=2,00 \text{ mm}$. Pentru

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

a obține media acestor lungimi de galerie, s-au secționat 16 piese din lemn de tei deteriorat de insecte - 8 epruvete cu dimensiuni de 50x 19 x 99,4 mm; alte 8 piese 19 x19 x 5 mm. Pe 6 epruvete (E1÷ E6) s-au realizat 134 măsurători de lungime a rețelelor de galerii cilindrice din interior, cu o medie de 22,33 valori pe serie, de unde a rezultat o medie de lungime, de 16,64 mm, conform tabel 3.6 (din teză). Aceste valori sunt date de determinări luate aleatoriu, măsurând lungimi diferite ale galeriilor pe secțiunea tangențial longitudinală

Volumul cilindrului sau volumul unei galerii (*frezarea lăsată de insecta xilofagă are o formă cilindrică și în continuare, ea va fi denumită galerie larvară*) [V_g] se va determina cu relația (3.5), în cazul studiului prezent, va avea constant valoarea V_g= 52,25 mm³ (3,14 · 16,64 = 52,25).

$V_{cilindru} = \pi \cdot r^2 \cdot h [mm^3]$	3.5
-----------------------------------------------	-----

Unde,

V_{cilindru} = V_g = volum galerie larvară

r₂ - raza la pătrat a orificiului de insectă

h - înălțimea unei galerii larvare

În această cercetare, s-a pornit de la situația ipotetică și s-a comparat cu diferite fragmente din lemn deteriorat de atacul insectelor, provenite din cazuri reale. De aceea s-a estimat un paralelipiped dreptunghic cu dimensiuni (Lxlxh), 100x100x25 mm, ce reprezintă 0,25 dm³. Alegerea acestor valori este ușor comparabilă cu ipostaza panourilor de lemn policrom studiate, când înălțimea (grosimea) are valori de 18-34 mm, (medie de cca. 26 mm). Astfel, pot fi dispuse conform dimensiunilor stabilite: gabaritul formei (Lxlxh=100x100x25 mm), intensitatea atacului (ia) (350 orificii/dm²), diametrul orificiilor de insecte (Ø=2,00 mm), lungimea cilindrului (16,64 mm), volumul (V_g= 52,25 mm³). Pentru raportarea la unitatea de măsură convenită de 1 dm³, 0,25 dm³ se înmulțește cu 4.

Luăm în considerare ipoteza că într-un volum de 0,25 dm³, maximul de galerii (**N_{mg}**) este de 3600 și poate fi determinată cu relația 3.6. Dispunerea pe axe conform (fig. 3.22).

$N_{mg} = n_y \cdot n_x \cdot n_z \cdot 4$	3.6
--------------------------------------------	-----

L=y=6; l= x=50; h=z= 12 ; 6 x 50 x 12= 3600; 3600 x 4= 14400/1 dm³

Unde,

N_{mg} = numărul maxim de galerii (cilindri)/1dm³

n_{x,y,z} = numărul de galerii pe cele trei axe (L · l · h)

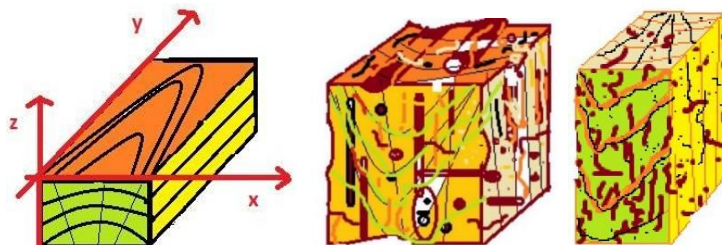


Fig. 3.22 Reprezentarea axelor de simetrie corespunzătoare dispunerii cilindrilor (galeriilor larvare)

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Volumul maxim degradat estimat, se va determina cu relația 3.7

$V_{md} = N_{mg} \cdot V_g \text{ [mm}^3\text{]}$	3.7
---------------------------------------------------	-----

Unde,

V_{md} = Volumul maxim degradat estimat (= 14400x52.25 = 752,400 mm³)

N_{mg} = numărul maxim de galerii (cilindri)/1 dm³

V_g = $V_{cilindru}$ = volum galerie larvară

Pentru a stabili degradarea procentuală maxim estimată, se va utiliza ecuația 3.8

$V_{md} = \frac{752.400}{10000} \text{ [%]}$	3.8
----------------------------------------------	-----

($V_{md} = 752.400/10000 = 75,24\%/1 \text{ dm}^3$). *Această valoare reprezentând degradarea maxim posibilă!*

Pentru a determina volumul degradat de galerii [V_{gd}] raportat la numărul de orificiilor de insecte (N_{oz}), se va calcula cu relația 3.9.

$V_{gd} = \frac{V_{md}}{N_{oz}} \text{ [mm}^3\text{]}$	3.9
--------------------------------------------------------	-----

Unde,

V_{gd} = volumul degradat de galerii/1 orificiilor de insecte [mm³]

V_{md} = volum maxim degradat estimat/real

N_{oz} = număr maxim estimat/real orificii de insecte/dm³ (1÷350/dm³)

La nivelul degradării volumetrice totale, acesta se împarte la numărul de orificiilor de unde rezultă volumul galeriilor degradate/1 orificiu (V_{gd}), în [mm³]. $V_{gd} = 752,400:350 = 2150 \text{ mm}^3$

Valoarea obținută, se va transforma din mm³ în dm³. ($2150 : 10^6 = 0,002150 \text{ dm}^3$).

Se consideră că 350 de orificii de insecte cu diametrul de 2,00 mm pot provoca un maxim de deteriorare raportat la suprafață și număr de orificii. Aria unui orificiu este de 3,14 mm² și se înmulțește cu numărul orificiilor de insecte de unde rezultă aria totală deteriorată a panoului exprimată în dm² (Exemplul de calcul pentru suprafața degradată a orificiilor de insecte: $3,14 \times 350 = 1099 \text{ mm}^2/\text{dm}^2$, reprezentând 11% din suprafața panoului).

Exemplul 6. Sf. Ioan Botezătorul, Inv. nr. 116, Secolul XIX, AOR Buzău

În vederea transpunerii metodei teoretice în practică, aceasta se va verifica în următorul studiu de caz. Panoul supus evaluării, Sf. Ioan Botezătorul, inv. nr. 116, are dimensiuni: 795 x 580 x 27 mm, aria totală a panoului = **46,11 dm²**, volumul = **0,0124497 m³ = 12,44 dm³**.

Masa panoului înainte de restaurare 5597 grame, la umiditatea de 12%. Densitatea panoului degradat = 449,57 Kg/m³, densitatea panoului nou, sănătos raportată la aceeași umiditate de 12% = 523,6 kg/m³.

Pentru a compara masa panoului degradat, s-a luat în considerare masa estimată a unui nou, sănătos și cu U_{lemn} 12%, determinăm aceasta la 6519 grame. Diferența între panouri este 6519 – 5597 = **922 grame**. Pentru a avea un rezultat corect, determinarea densităților trebuie să se facă la aceleași valori de umiditate conform **Tabel 3.1**. S-au făcut determinări ale atacului xilofag pe 9 zone diferite.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Intensitatea atacului xilofag a fost diferit: pentru o zonă foarte afectată de 5,8 dm², media atacului a fost de 106 orificii/dm², în altă zonă puțin afectată de 7,8 dm², media atacului a fost de 25 orificii de insecte /dm². Media celor doua valori este de 66 orificii/dm² (106 + 25= 131 : 2 = 66,5).

Alte trei zone determinate au avut atacul de 102; 54 și 38 orificii /dm² cu o medie de 64,6; constatăm valori apropiate pentru 16,6 dm² media rezultată este de 65,55, \cong 66 orificii/dm². Astfel putem aprecia ca atacul produs este de 66 orificii x 46,11 dm²= 3043 orificii de insecte /panou.

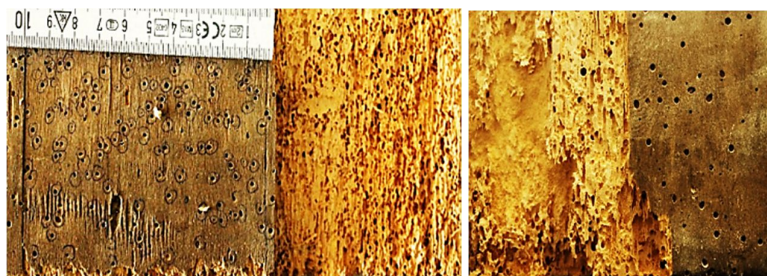


Fig. 3.24 Delimitarea unei suprafețe de 1 dm². Orificii de suprafață și galerii în profunzime (Original LRCX)

De asemenea s-au putut extrage 3 epruvete din zone diferite, care sunt codificate MI, MII, MIII și li s-au determinat următorii parametrii conform tabel 3.8 (fig. 3.25):

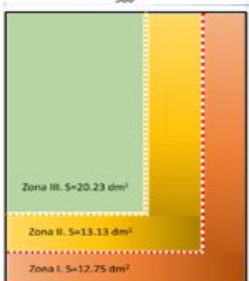
Tabel 3.8 Reprezentarea pierderilor de masă, în funcție de intensitatea atacului xilofag

Cod epruvetă	Dimensiuni Lxlxh (mm)	Masa (g)	Densitate (kg/m ³)	Atac xilofag		Pierderi Față de panou nou (%)
				Nr. orificii /dm ²	Diametru (mm)	
MI	80x38x7	7,38	347,27	190	2,00	33,67
II	81x40x8	5,97	230,32	216	2,00	56,01
MIII	62x56x10	16,03	461,69	107	1,60	11,82

Intensitate atacului xilofag este diferită pentru cele trei epruvete, precum și pierderea de elemente anatomice ale lemnului. Intensitatea atacului pe întreaga suprafață a panoului (46.11 dm²) este reprezentată schematic în figura (3.26), iar valorile aferente fiecărei zone sunt marcate în tabelul 3.9. Se pot distinge trei zone diferit degradate de intensitatea atacului xilofag; pe zona I. cu suprafața de 12,75 dm², numărul de orificii/dm² nu este uniform pentru întreaga suprafață marcată, intensitatea atacului, ajungând până la 247 de orificii//dm², însă media pentru întreaga suprafață este de 154 de orificii de insecte. Pentru zona II, intensitatea este redusă aproape la jumătate, comparativ cu zona I, în timp ce zona III, cu cea mai mare suprafață, are un atac ce nu depășește 30 de orificii/dm² în proximitatea zonei II, reducându-se la 1-10 orificii//dm², în zona cea mai puțin afectată.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Tabel 3.9 Intensitatea atacului xilofag repartizată pe zone



Marcarea zonelor în funcție de atacul xilofag	Suprafața totală afectată dm ²	Număr de găuri/zonă	Media intensității/dm ²
Z. I.	12.75	1963	154
Z. II.	13.13	801	61
Z. III.	20.23	283	14

Fig. 3.26 Reprezentarea schematică a intensității degradării pe întregul panou, Exemplul 6, Inv. 116

Numărul total de orificii de pe întreaga suprafață a unui panou, trebuie împărțită la suprafața totală exprimată în dm³, pentru a obține media intensității atacului xilofag per 1 dm³. Această valoare reprezintă parte (procent) din volumul panoului, iar acesta, înmulțit cu volumul galeriilor aferente unui orificiu (respectiv 2150 mm³). În final va rezulta un procent de degradare care înmulțit cu masa estimată a panoului nou și se obține o masă pierdută care se reflectă în diferențele dintre un panou nou și unul degradat (la aceeași umiditate). În practică, în situațiile reale, aceste galerii nu pot fi niciodată complet golite de rumegușul din interiorul lor, astfel, degradarea nu este pe deplin estimată, constatându-se în fapt diferențe de masă, de rezistență mecanică. Volumul maxim degradat estimat (**Vmd**) se împarte la intensitatea maximă estimată (**Noz**) de orificii/dm³, rezultând un volum al galeriilor degradate (**Vgd**), exprimat în mm³. Acest volum degradat (0,002150 dm³) se estimează a fi cel deteriorat și rezultat pentru un orificiu. Pentru a determina degradarea volumetrică a panoului (**Dvp**), volumul galeriilor degradate/1 orificiu, (**Vgd**) (conform studiului nostru 0,002150 dm³) se înmulțește cu media orificiilor de insecte (**Noz**) (66/dm²) raportată la întreaga suprafață a panoului (46,11 dm²), rezultând astfel o degradare volumetrică reală (**Vrd**= 0,1419 dm³), cu formula 3.10.

$V_{rd} = V_{gd} \cdot N_{oz} \text{ [dm}^3\text{]}$	3.10
------------------------------------------------------	------

Unde,

V_{rd} - degradarea volumetrică reală aferentă volumului luat în calcul

V_{gd} - volumul galeriilor degradate/1 gaură

N_{oz} - media numărului de orificii /suprafața luată în calcul

Astfel, valoarea unui dm³ degradat (0,1419) se înmulțește cu volumul total al panoului ($V_p = 12.44$) în dm³ și rezultă degradarea volumetrică totală a panoului (**Dvp**), respectiv 1,76 dm³, conform formulei 3.11.

$D_{vp} = V_{rd} \cdot V_p \text{ [dm}^3\text{]}$	3.11
---------------------------------------------------	------

Unde,

D_{vp} - degradarea volumetrică totală a panoului

V_{rd} - degradarea volumetrică reală aferentă volumului luat în calcul

V_p - volumul total al panoului

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Cunoscându-se masa totală a panoului sănătos (estimată, 6519 g), se împarte la volumul total (12,44) exprimat în dm³, rezultând, masa unui dm³ (6519 : 12,44 = 524 g/dm³) cu ecuația 3.12

$M_{ls} = \frac{M_{ep}}{V_p} [g/dm^3]$	3.12
----------------------------------------	------

Unde,

M_{ls} - masa/1dm³ lemn sănătos, exprimată în g/dm³

M_{ep} - masa estimată a panoului sănătos

V_p - volumul total al panoului, în dm³

Știind că volumul total degradat al panoului (V_{dp}) este 1,76 dm³, acesta se va înmulți cu masa unui dm³ (524g) de unde va rezulta masa totală pierdută, conform ecuației 3.13. Această valoare a rezultat și din diferența masei panoului nou, estimat, și masa panoului degradat, în real, determinată prin cântărire (6519-5597= 922g pierdere).

$M_{tp} = M_s \cdot D_{vp} [g/panou]$	3.13
---------------------------------------	------

Unde,

M_{tp} - masa totală pierdută a panoului

M_s - masa/1 dm³ lemn sănătos, exprimată în g/dm³

D_{vp} - degradarea volumetrică totală a panoului, în dm³

În aceleași condiții și utilizând aceeași metodă prezentată mai sus, s-a determinat gradul de fragilitate din punct de vedere al intensității atacului xilofag, pentru mai multe piese/obiecte de patrimoniu (tabel 3.10 din teză. Pentru a obține o formulă simplificată de calculare a degradării volumetrice a panoului (D_{vp}), în procente, se poate realiza cu următoarea ecuație 3.14

$D_{vp} = \frac{N_{oz} \cdot V_g \cdot N_{rg}}{1000000} \cdot 100 ; = \frac{N_{oz} \cdot V_g \cdot N_{rg}}{10000} [\%]$	3.14
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

Unde,

D_{vp} - degradarea volumetrică totală a panoului, exprimată în procente

N_{oz} - număr maxim estimat/real orificii de insecte/dm² (0 ÷ 350/dm²)

V_g - volum galerie larvară

N_{rg} - număr de galerii larvare aferentă unui orificiu de insectă, care se va obține cu formula (3.15)

$N_{rg} = \frac{V_{gd}}{V_g}$	3.15
-------------------------------	------

Unde,

N_{rg} - număr de galerii larvare aferentă unui orificiu de insectă (constantă 41,14)

V_{gd} - volumul galeriilor degradate/1 orificiu (constantă 2150 mm³)

V_g - volum galerie larvară (constantă 52,25 mm³)

Întreaga metodă de calcul fost subordonată valorilor următoare, pentru o epruvetă cu dimensiuni (Lxlxh), 100 x 100 x 25 mm: pentru diametrul orificiului de insectă s-a luat în considerare Ø 2,00 mm;

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

degradarea maximă estimată (posibil) 752400 mm³, intensitatea maximă a numărului de orificii de insecte, 350/dm², iar volumul unei galerii, 52,25 mm³. Punerea în formulă matematică (ipotetică) a metodei de calcul a degradării volumetrică poate fi verificată (susținută) prin metoda comparativă a densităților (**a pierderilor de masă obținute prin cântărire**) - a măsurării reale - care este una complementară și explică diferența de pierderi de densitate, diferite față de conținutul de umiditate; astfel se poate argumenta că în volumul lemnului degradat s-au produs galerii forate de insecte, iar golurile rămase sunt umplute parțial cu „rumeguș”, rezultat din mastică și descompunere enzimatică a unui volum a cărui densitate este similară cu masa lemnului uscat la procentul de umiditate stabilită, iar volumul de rumeguș are același volum cu cel dislocat, dar nu are aceeași masă. Evaluând rezultatele obținute prin cele două determinări, pot observa valori sensibil apropiate conform tabelului 3.11.

Tabel 3. 11 Valori comparative între metodele de evaluare a degradării

Nr. inv.	762	764	760	116
Valori conform metodei comparativă a densităților [%] <i>Vezi tabel 3.2</i>	42,96	37,84	32,45	14,14
Valori conform metodei determinării volumetrică a galeriilor larvare [%] <i>Vezi tabel 3.10 din teză</i>	40,20	35,25	29,66	14,19

Verificând această diferență de calcul, prin transpunerea studiului teoretic în situația reală, constatăm că se produce o diferență în medie de $\pm 5,65\%$, care poate fi explicată prin imposibilitatea de măsurare exactă a destrucției volumetrică, precum și a evacuării incomplete a fracțiilor din galerii. Apreciem că un astfel de decalaj, nu influențează considerabil posibilitatea de evaluare a degradărilor.

Metoda densităților nu explică suficient ce cauze au provocat aceste pierderi, pe când metoda pierderii volumetrică explică cauzele, care sunt mecanismele de deteriorare și modul de calcul al degradării.

Aceste două metode nu se exclud una pe cealaltă ci, din contră, vin să se completeze pentru a produce un răspuns concret, bazat pe valori obținute prin mai multe metode.

3.4. Determinarea gradului de fragilitate prin metoda durtăților

Prezenta teză este o cercetare cu aplicare concretă, în domeniul restaurării bunurilor de patrimoniu, cu suport din lemn. Una dintre determinările prezentate de cercetare aceasta se referă la măsurarea durtăților. Aceasta este comparativă: lemnul nou sănătos, cu lemnul deteriorat în timp îndelungat. Scopul stabilirii durtății este acela de a constata, nivelul de pierdere al parametrilor lemnului deteriorat, în comparație cu lemnul sănătos, în vederea stabilirii unor trepte de degradare al lemnului. În literatura de specialitate, având aplicare în sectorul industrial, evidențierea măsurării durtății lemnului prin metode standardizate Brinell (EN 1534-2000) sau Janka (ASTM D 143-94 2006) consemnează, valori de referință la lemnul sănătos, fără defecte, uscat, etc., specific mai ales pentru fabricarea pardoselilor din lemn. În ceea ce privește bibliografia cu referință la conservarea și restaurarea operelor de artă, a bunurilor culturale de patrimoniu, care au suportul din lemn, **utilizarea măsurării durtății panourilor din lemn policrom, pentru stabilirea nivelului de deteriorare/degradare al acestora, nu a fost dezvoltată, diseminată până în**

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

prezent. Referințele actuale sunt publicate în reviste de specialitate, Ionescu ș. a., (2019 a, b) și/sau diseminate în Conferințele Internaționale/Naționale (2019).

Scopul principal al acestei cercetări este: **Elaborarea unei metode alternative, minim invazive de determinare a durității lemnului, care să permită evaluarea nivelului de degradare și a eficienței tratamentelor de consolidare aplicat lemnului din bunurile de patrimoniu cultural.**

3.4.3. Determinarea durității Mark, ca metodă alternativă, minim invazivă, pentru panourile policrome din bunurile de patrimoniu cultural

Testarea **durității**, cu **dinamometrul Mark 10**, se bazează pe pătrunderea în lemn a unui vârf cilindric cu un diametru de 1,34 mm și o lungime de 6 mm (fig. 3.37), cu o forță de apăsare indicată pe ecranul digital al dinamometrului, exprimată în [N].

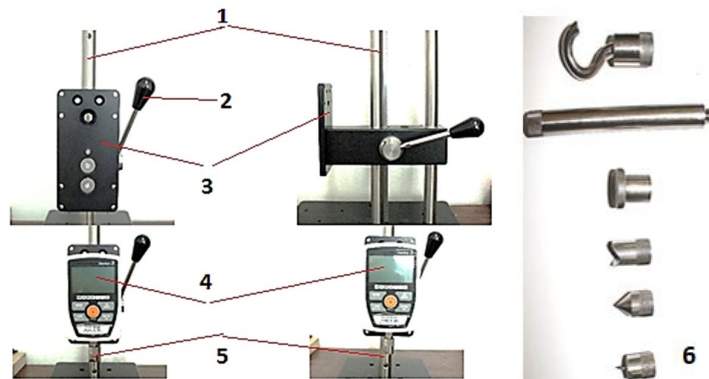


Fig. 3.37 Dispozitiv cu dinamometru Mark 10: 1 - coloane de deplasare a dinamometrului; 2 - maneta de acționare; 3 - placa suport a dinamometrului; 4 - dinamometru; 5 - palpatorul dinamometrului; 6 - vârfuri curente ale dinamometrului (Original LRCX)

Principiul de funcționare al aparatului se bazează pe înțeparea lemnului și determinarea forței opuse de lemn la pătrunderea acului în interiorul acestuia. Deoarece vârful de înțepare a lemnului nu face parte din trusa de vârfuri ale dinamometrului, ci a fost creat special pentru această încercare, trebuie să se determine suprafața exterioară a acestuia care vine în contact cu lemnul. Forma vârfului se observă în fig. 3.39 și este alcătuit din două zone distincte, respectiv zona de con și zona de cilindru circular drept.

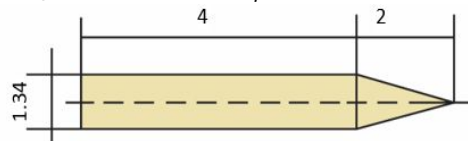


Fig. 3.39 Reprezentarea schematică a penetratorului

Aparatul digital Mark-10 (M3-200) măsoară forțele în N, pe un interval 0-1000 N și este proiectat pentru testarea forței de tracțiune și compresiune în numeroase aplicații (inclusiv în lucrările de restaurare și consolidare a suportului lemnos), prin utilizarea vârfurilor de diferite forme (fig. 3.39).

Pentru a constata nivelul distructiv al metodelor care determină duritatea lemnului, se compară diferitele arii ale amprentei lăsate de penetrator: de exemplu, pentru duritatea Janka, se constată că amprenta lăsată,

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

măsoară 100 mm^2 , pentru duritatea Brinell amprenta ajunge până la maximum 78 mm^2 , iar înțeparea cu Mark 10 este de numai $1,41 \text{ mm}^2$ (Ionescu ș. a., 2019). Deși toate cele trei metode pot fi considerate distructive, totuși se constată că amprenta lăsată de penetratorul adaptat pentru dinamometrul Mark, este de 1,41% (98,59%) în raport cu Janka, iar comparativ cu Brinell este de 1,81% (98,19%). În figura 3.43 se poate observa, comparativ, diametrul și aria amprentei penetratorului, în raport cu un orificiu, cauzat de insecta xilofagă.

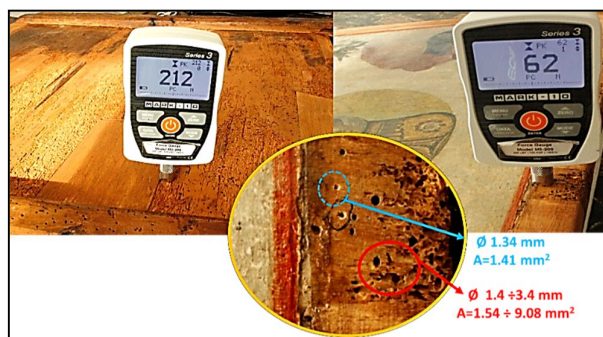


Fig 3.43 Compararea urmei vârfului de măsurare cu orificiul cauzat de insecta xilofagă: vârf Mark 10, cu $\varnothing 1,34 \text{ mm}$ și $A = 1,41 \text{ mm}^2$; orificiu de insectă, $\varnothing 1,4 - 3,4 \text{ mm}$ și $A = 1,54 - 9,08 \text{ mm}^2$

Materiale și metodă

Ca materiale pentru testare, s-au folosit aceleași epruvete care au fost testate anterior cu standul Brinell, iar determinarea HM (Duritatea Mark), s-a realizat în proximitatea testării Brinell, conform figurii 3.44.



Fig 3.44 Determinarea durității HM, în proximitatea durității Brinell (Original LRCX)

Metoda de testare Mark10 se bazează pe pătrunderea unui vârf cilindric cu un diametru de $1,34 \text{ mm}$ și o lungime de 6 mm în lemn, iar o forță de apăsare a penetratorului în lemn, este indicată pe ecranul digital al dinamometrului, măsurată în [N].

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

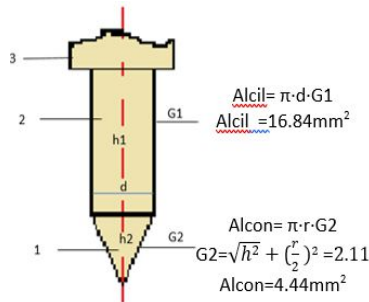


Fig. 3.45 Forma geometrică a vârfului penetratorului: 1-vârful conic ($h_2=2$ mm și $d=1.34$ mm); 2-zona cilindrică ($h_1=4$ mm și $d=1,34$ mm); 3-zona de fixare în dinamometru.

Pentru a obține aria laterală totală a penetratorului, ca sumă a ariilor laterale a celor două corpuri geometrice, conform figurii 3.45, se utilizează formulele 3.18 și 3.19 (din teză), obținându-se valoarea ariei laterale totale a penetratorului, de $21,28 \text{ mm}^2$.

Pornind de la principiul de calcul utilizat pentru determinarea durității Brinell (HB), s-a elaborat formula de calcul (3.20) pentru a obține duritatea Mark (HM).

$HM = \frac{2 \cdot F}{A_{l \text{ totală}}} = \frac{2 \cdot F}{21.28} \quad N/mm^2$	3.20
--------------------------------------------------------------------------------------	------

Unde,

HM - marcaj de duritate, în N/mm^2

F - Forța citită pe dinamometrul Mark 10, în N

$A_{l \text{ totală}}$ - suprafața laterală totală a penetratorului vârfului, determinată ca o sumă a părții cilindrice și conice (**$21,28 \text{ mm}^2$**), constant pentru toate determinările din această cercetare.

Se pot observa în figura 3.46, epruvete din aceeași esență, testate cu dinamometrul Mark, dar cu diferite niveluri de degradare.

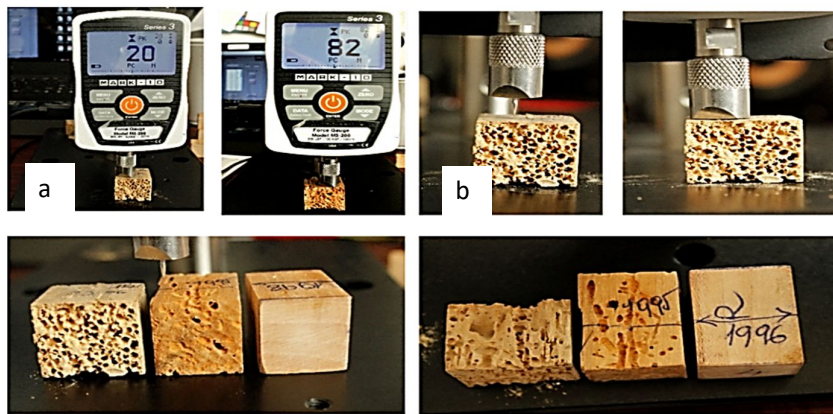


Fig 3.46 Materiale lemnoase (tei) folosite la determinarea durității HM (Original LRCX)

În cele mai multe cazuri, lemnul din bunurile culturale, este atât de degradat încât, prin aplicarea unei forțe chiar și de $20 \div 80$ N (conform figurii 3.48 a, b), lemnul își modifică planeitatea; ori, pentru o forță

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

considerată minimă în cazul măsurării durității Brinell, de 100 N, atunci, o suprafață de amprențare de 8 ori mai mare, și o forță de 10 ori mai mare, produce distrugerii de suprafață și în profunzime, cel puțin în același raport (fig. 3.49). În figura 3.47, se pot observa cele două epruvete, una din lemn sănătos și cealaltă din lemn foarte degradat, similare ca dimensiuni (50 x 50 x 24mm) și esență (tei). În timpul determinărilor de duritate HB, pentru epruveta din lemn degradat, valorile au fost măsurate la 100 N, iar la încercarea de a crește forța de apăsare, lemnul s-a despicat la 150 N, și secționarea s-a produs perpendicular pe direcția forței de apăsare; minima coeziune și rezistență între elementele anatomice ale lemnului, au cedat, producând despicarea epruvetei. Dacă aceste măsurători s-ar fi produs pe un bun cultural, ar fi rezultat o distrugere ireversibilă al acestuia. Valorile de duritate obținute pentru cele două piese, sunt exemplificate în tabelul 3.17.



Fig. 3.47 Compararea lemnului de tei sănătos (TD4) cu cel foarte degradat (TD7), supus testărilor de duritate HB și HM (Original LRCX)

Tabel. 3.17 Valorile medii de duritate HB și HM, pentru epruvete din lemn de tei sănătos (TD4) și foarte degradat (TD7)

Valori medii de duritate Brinell și Mark		
	HB N/mm ²	HM N/mm ²
Epruveta TD4	20,91	20,78
Epruveta TD7	6,40	6,16

Alternativa pentru măsurarea durității Brinell, efectuată cu metoda minim distructivă, MARK 10 pornește de la premisa că degradarea produsă de penetrator, este o metodă mai puțin distructivă (fig. 3.48).

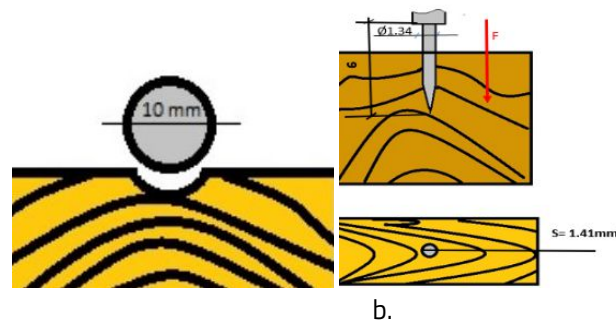


Fig. 3.48 Reprezentare grafică a amprenței în funcție de destrucție, pentru fiecare metodă de determinare a durității, a. Brinell și b. Mark

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Dacă analizăm rezultatele celor două metode de măsurare, putem concluziona, conform tabelului 3.18, că se obțin valori sensibil egale, că metoda minim distructivă, poate fi utilizată, în vederea determinărilor de duritate pentru bunurile de patrimoniu, care au suport din lemn.

De asemenea, crearea unei formule de calcul care să reprezinte duritatea HM, s-a elaborat în deosebi, pentru a verifica dacă, se pot corela cele două durități HB și HM;

Tabel. 3.18 Corelarea valorilor de duritate dintre cele două metode, pentru două tipuri de lemn, sănătos și degradat.

Epruvete	HB [N/mm ²]	HM [N/mm ²]
TD4. Lemn nou sănătos	17,20	16,81
TD9. Lemn foarte degradat	4,66	4,75
TD2. Lemn de balsa	1,47	2,03
TD10. Lemn de tei degradat cu tratament B72, 10%	9,66	10,64
TD14. Lemn de balsa cu tratament B72, 10%	1,79	2,50

Analizând valorile medii din cele 2 tabele (3.17 și 3.18), se constată că diferențele dintre cele două metode de măsurare a durității, sunt sub 1N/mm², rezultând o medie procentuală generală, de aproximativ ± 3,62 %.

3.4.4. Gradul de fragilitate prin metoda durității

O metodă de evaluare a degradării suportului lemnos este aceea de comparație a durității lemnului degradat cu aceea a lemnului inițial introdus în obiectul de patrimoniu (echivalată cu aceea a speciei lemnoasă identificată în obiectul de patrimoniu restaurat). Dacă se notează cu HB duritatea Brinell (Hardness Brinell), sau HM, duritatea Mark, gradul de degradare-fragilitate (exprimat ca **pierdere procentuală a durității lemnului**) se va determina cu relația următoare:

$G_f = \frac{HB_i - HB_d}{HB_i} \cdot 100 \text{ [%]}$	3.21
--------------------------------------------------------	------

Unde:

G_f – grad de fragilitate în %

HB_d - duritatea Brinell a lemnului degradat, în N/mm²;

HB_i - duritatea Brinell a lemnului nou sănătos (de referință), în N/mm².

Această ecuație este valabilă pentru oricare metodă de determinare a durității, (HB sau HM). Dacă analizăm valorile de duritate HM din tabelul 3. 18, unde epruveta din lemn foarte degradat are valoarea medie de 4,75 N/mm², cu tabelul 3.19, unde zonele puternic degradate au o valoare medie de 1,97 N/mm², atunci, observăm că degradarea este cu 241,14% mai mare la panoul ce constituie un bun cultural.

Exemplul 1. Icoană *Sf. Nicolae*, parohia Reghiu, Vrancea

Icoana a avut următoarele caracteristici: specia tei, dimensiunile 780 x 630 x 24 mm, umiditatea lemnului 9 %, densitate 435,40 kg/m³ și 142-178 orificii/dm². Deoarece suportul lemnos a avut

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

degradări variabile (fig. 3.50), valorile forței măsurate cu Mark 10 au fost diferențiate și sunt exemplificate în tabelul 3.19, atât forța de apăsare (în N) cât și duritatea HM (N/mm^2).

Tabel 3.19. Valori ale forței de apăsare și duritatea HM, măsurate cu Mark 10 (Exemplul 1, *Sf. Nicolae*)

Zonă de măsurare Exemplul 1, <i>Sf. Nicolae</i>	Forța de apăsare [N]	Duritatea HM [N/mm^2]
Extins degradată	21	1,97
Mediu degradată	73	6,87
Reper – lemn nou, sănătos	205	19,24

Pentru comparație s-a folosit tei sănătos, fără defecte, pe care s-au făcut măsurători cu dinamometrul Mark 10. Utilizând formula 3.21, s-a determinat un grad de fragilitate de 89,76% pentru zona puternic degradată, și de 64,29% pentru cea cu degradare medie; pe întregul panou, media gradului de fragilitate, este de 77,02%, mai mică față de un panou din lemn sănătos. Pentru un asemenea panou, a cărui duritate este redusă de 98,47 de ori (pe zona cea mai afectată, unde $HM=1,97 N/mm^2$) față de un panou similar, din lemn sănătos, se pune problema existenței operei de artă, a cărui suport este extrem de deteriorat. O asemenea valoare, stabilește timpul și nivelul intervenției de salvare al obiectului de patrimoniu.

Pentru exactitatea calculelor, sunt luate medii ale mai multor zone, cu intensitate diversă și media acestora se înmulțește cu suprafața panoului, așa cum a fost prezentată în exemplele 1-5. Astfel putem avea o înțelegere a deteriorării, raportată la întregul panou, și se determină cu ecuația 3.21. S-a observat că fragilitatea depinde foarte mult de numărul de orificii ale insectelor xilofage exprimate pe dm^2 , motiv pentru care s-a centralizat datele din cadrul cercetărilor anterioare, rezultând tabel nr. 3.24 și o diagrama (fig. 3.53) care exprimă forța de compresiune în funcție de numărul orificiilor de insecte.

Tabel 3.24 Influența numărului de orificii asupra densității și a forței de înțepare duritate (HM), pentru tabelele 3.19÷3.24 aferente celor 5 exemple

Exemplu 1÷ 5	Nr. orificii [$/dm^2$]	Media HM lemn nou [N/mm^2]	Media HM c.m.m [N/mm^2]	Media HM C.M.M [N/mm^2]	Degradare C.M.M [%]	Degradare c.m.m [%]
1 <i>Sf. Nicolae</i>	142-178	19,24	1,97	6,87	89,7	64,29
2 <i>Deisis</i>	120-145	17,59	2,98	7,41	83,06	57,87
3 <i>Sf. Ioan Botezător</i>	36-154	18,95	2,31	13,22	87,81	30,24
4 <i>Adormirea MD</i>	43-100	18,95	7,93	12,02	58,16	36,57
5 <i>Friză Apostoli</i>	149-250	17,75	3,34	9,48*	81,18	46,59*

cmm = cea mai mică; CMM = cea mai mare; *lemn după consolidare

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

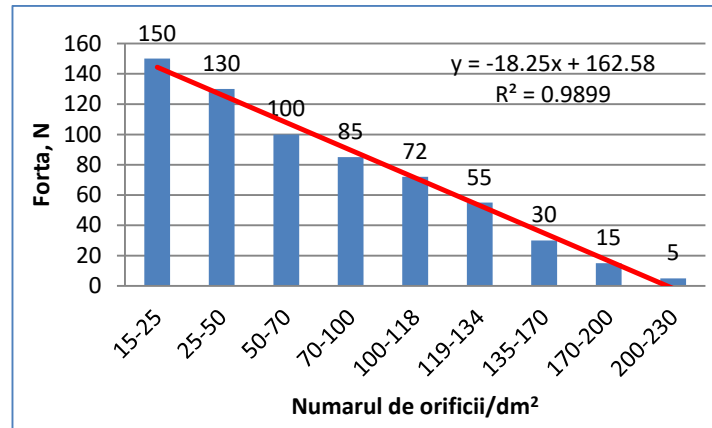


Fig. 3.53 Influența orificiilor de insecte asupra forței de înțepare a lemnului

Urmând principiul de calcul al gradului de fragilitate și a degradării lemnului prin metoda durității se utilizează ecuația (3.21), iar valorile generale pot fi schematizate în tabelul (3.25)

$G_f = \frac{HB_i - HB_d}{HB_i} \cdot 100 [\%]$	3.21
-------------------------------------------------	------

Unde:

G_f - grad de fragilitate în %

HB_d - duritatea a lemnului degradat, în N/mm²;

HB_i - duritatea a lemnului nou sănătos (de referință), în N/mm²

Tabel 3.25 Schematizarea efectului intensității atacului asupra durității lemnului.

	Nr orificii/dm ²	Forța pătrundere Valori medii [N]	Duritate Mark [N/mm ²]	Reducerea rezistenței[%]
Raportarea se face la măsurările din exemplele 1÷5 și tabelele 3.19÷ 3.23	Reper	210	19,74	
	0-25	205	19,27	≤2,4
	25-50	183	17,20	13,3
	50-70	140	13,16	33,3
	70-100	119	11,18	43,3
	100-120	109	9,73	50,7
	120-170	42	3,95	80,0
	>220÷350	9	0,85	>90

Când intensitatea atacului xilofag depășește 100/dm², conform tabelului 3.25 și fig. 3.53, lemnul devine fragil, iar duritatea se reduce considerabil, forța de apăsare a penetratorului scade sub nivelul mediu, respectiv 100-80 N. Ca o concluzie, se poate arăta că dacă numărul de orificii de insecte crește, atunci duritatea scade.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

3.5. Concluzii

În cadrul acestui capitol s-a determinat gradul de degradare-fragilitate prin 4 metode principale, respectiv prin metoda densităților, a suprafeței degradate de orificii de insecte, a degradării volumetrice și a durtății. Spre exemplu **metoda suprafeței degradate de orificii de insecte** este specifică **degradărilor de suprafață**, **metoda densităților** este specifică **evaluării totale a suportului lemnos**, **metoda determinării volumetrice și de duritate, cu dinamometrul Mark 10**, sunt specifice **degradărilor complexe**. Avantajele adaptării domeniului de restaurare, aparatului Mark 10 sunt evidențiate prin faptul că, tipul de măsurare este minim invaziv, orificiul lăsat de vârful penetrator este aproape imperceptibil în comparație cu diametrul amprentei Brinell.

Creșterea numărului de orificii de insecte/dm² reduce rezistența la pătrundere a vârfului aparatului de măsură. În acest sens, un număr mai mare de 60 de orificii de insecte/dm² reduce rezistența la înțepare la 110 N; la peste 100 orificii/dm² rezistența scade la 40 N, iar la mai mult de 220 orificii/dm² forța se reduce sub 10 N; Această constatare, conform prezentului studiu, se referă la lemnul de tei nou, sănătos și/sau deteriorat.

Metodele de evaluare a degradării panourilor lemnoase (din bunurile culturale) reprezintă în consecință indicatori practici și concreți de evaluare a degradării acestora și pot indica natura și volumul materialelor de consolidare care se vor folosi în continuare, dar și a tehnicilor de restaurare ce se vor pune în practică.

3.6. Stabilirea unei ierarhii, cu privire la gradul de degradare

Bunul cultural de patrimoniu trebuie exprimat și analizat ca o **structură compozită**: suport, strat de preparație (grund) și creație artistică (referire la prezenta teză).

Evaluarea nivelului de degradare al suportului lemnos din bunurile culturale de patrimoniu, este un concept aplicabil domeniului conservării și restaurării și are la bază, un demers științific, care prezintă metode cuantificabile de exprimare a nivelului de deteriorare al lemnului. Această evaluare, eșalonează pe cinci niveluri degradările și sunt exprimate procentual, pentru fiecare nivel și metodă. Fiecare metodă de evaluare, este structurată pe trei trepte de intensitate, din punct de vedere al atacului biologic, (minim-mediu-extins) și au valori limită, exemplificate în tabelul 3.26 și 3.27. Se remarcă, în literatura de specialitate, cercetări privind expertiza și autentificarea operei de artă (Sandu ș.a. 1998, Sandu ș.a. 2007, Sandu ș.a. 2017). Autorii indică metode de evaluare artistică, desfășurată pe cinci „*niveluri de conservare*”, subordonate prețului de catalog sau a cotei de bursă. Din punct de vedere al stării de conservare, aceasta este subordonată valorii intrinseci și nu se face referire clară la starea de conservare al suporturilor (bunurilor de patrimoniu) din lemn. De asemenea nu este dezvoltat un nivel măsurabil al degradării suportului, nu sunt indicați factorii care produc degradarea și nici metodele de evaluare.

Conform rezultatelor obținute în acest capitol, se poate concluziona o ierarhizare diferențiată a nivelului de degradare. În această clasificare sunt reținute numai acelea provocate de instabilitatea dimensională și atacul biologic. Această ierarhizare poate fi complementară acelor degradări provocate accidental, în urma unor dezastre naturale, a vandalismului, etc.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Tabel 3.26 Stabilirea nivelului de degradare

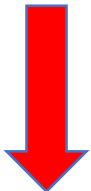
Tipul și modul de degradare	Acțiunea care produce degradarea		Nivelul în%	Metoda de evaluare	Forma de manifestare a degradării
Instabilitate dimensională	1 umflare : creșterea umidității		±4-10	Metoda densităților	- Creșterea dimensiunilor suportului. - Tensiuni, fisuri, deformări, la nivelul suportului și al stratului pictural. Reducerea dimensiunilor suportului.
	2 contragere: scăderea umidității				Pierderi de masă, cauzate de scăderea umidității . Tensiuni, fisuri, desprinderi la nivelul suportului și al stratului pictural. Dezlipiri ale planșelor(parțial/total).
Atac Biologic	Fungi				Atacul de fungi și insecte degradează parțial suportul, provocând pierderi de masă, fragilitate, reduceri ale rezistenței mecanice.
	Insecte xilofage			Metoda porozității excesive.	
	Orificii/ dm ²	Intensitate		A suprafeței degradate .	
	20 - 80	Minimal	0.31-3.62		
	81-160	Mediu	3.62-7.24		
	161- >220	Extins	7.24->9.95...		
<i>∅=1.4÷2.4mm;%/dm²; Conform Tabel 3.3;</i>					
Atac Biologic	Insecte xilofage			1.Metoda determinării Volumetrice	Fragilitatea lemnului în volumul său, fracturi, detașări, pierderi structurale, pierderea rezistenței mecanice. Intensitatea determină degradarea. Atacul minimal deteriorări parțiale ale suportului. Atacul extins însumează pierderi considerabile exitusul bunului de patrimoniu
	Orificii/ dm ²	Intensitate			
	20 - 80	Minimal	4.30 - 17.20		
	81 - 160	Mediu	17.42 -34.40		
	161- >220	Extins	34.61 -> 53.75		

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne


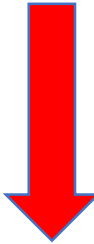
$\varnothing=2.0mm; \%/dm^3; conform Tabel 3.7$					
Atac Biologic	Insecte xilofage		13.37 - 43.3 45.10 - 57.87 57.90 - 91.18	2. Metoda determinării durității	Pierderea coeziunii elementelor anatomice ale lemnului, fisuri fracturi, detașări, pierderi de suport, reducerea severă a masei (densității),
	Orificii/ dm ²	Intensitate			
	35 - 100	Minimal			
	101- 150	Mediu			
	151- >250	Extins			
<i>Creșterea numărului de orificii reduce duritatea panoului afectat de atac xilofag. Conform tabel 3.24</i>					

Tabelul 3.27, indică ierarhizarea procentuală a nivelului de deteriorare, pe cinci trepte, unde, 1 este cel mai puțin afectat, iar 5 este cel mai deteriorat. Valorile procentuale finale s-au obținut din tabelul 3.26; pentru metoda durității valorile reprezintă media aritmetică a intervalului de măsurare, pentru fiecare limită (minim-mediu-extins). Pentru celelalte metode de determinare, valorile reprezintă suma din intervalul maxim al fiecărei limite.

Tabel 3.27 Definirea gradului și ierarhizarea nivelului de deteriorare.

Gradul de deteriorare	Definirea nivelului de deteriorare Procentul de deteriorare	Metoda de determinare	Starea/degradarea constatată
1	Optim	Observații cu ochiul liber, cu lupa.	Ideală-Bună. Bunul cultural nu prezintă stări negative. Îmbătrânirea naturală a materialelor.
2	Minimal <div style="text-align: center;">  </div> Duritatea se reduce cu 23,33%	1. Metoda densităților	Bună. Îngrijorătoare - modificări dimensionale ale suportului. - tensiuni, fisuri, deformări, la nivelul suportului și al stratului pictural. Pierderi de masă, cauzate de scăderea umidității. Tensiuni, fisuri, desprinderi la nivelul suportului și al stratului pictural. Dezlipiri ale planșelor(parțial/total).
		2. Metoda porozității excesive.	Atacul de fungi și insecte degradează parțial suportul, devine Friabil.
		3. Metoda determinării Volumetrice	Atacul minimal deteriorări parțiale ale suportului. Fragilitatea lemnului în volum, fisuri, reducerea rezistenței mecanice

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

3	<p>Mediu ÷ 41,64%</p>  <p>Duritatea se reduce cu 46,42%</p>	1. Metoda porozității excesive.	Alarmantă - Agravată Atacul de fungi și insecte provoacă degradări parțiale suportului, pierderi de masă, fragilitate, reduceri ale rezistenței mecanice.
		2. Metoda determinării Volumetrice	Fragilitatea lemnului în volumul său, fisuri fracturi, detașări, pierderi structurale reduse, pierderea rezistenței mecanice. Intensitatea determină degradarea.
		3. Metoda determinării durității	Pierderea coeziunii elementelor anatomice ale lemnului, fisuri fracturi, detașări, pierderi de suport, reduceri a rezistenței mecanice
4	<p>Extins ÷ 63,7%</p>  <p>Duritatea se reduce cu 63,37%</p>	1. Metoda porozității excesive.	Gravă Colaps-Exitus Fără intervenții de conservare urgente, se produce exitusul bunului de patrimoniu. Insectele degradează puternic suportul, pe suprafață extinsă provocând pierderi de masă, fragilitate, pierderea rezistenței mecanice.
		2. Metoda determinării Volumetrice	Atacul extins însumează pierderi considerabile, lemnul în volumul său prezintă aspect spongios, fisuri, fracturi, detașări, pierderi structurale însemnate, pierderea rezistenței mecanice. Manipulare dificilă, prăbușirea straturilor sub propria greutate.
		3. Metoda determinării durității	Fisuri, fracturi, detașări, pierderi de suport însemnate, reducerea severă a masei (densității)
5	Exitus >65%	Pierderea irecuperabilă a bunului de patrimoniu cultural	



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Aplicând valorile reprezentate în tabelele 3.26-3.27, la bunurile culturale utilizate ca exemple în cadrul acestei cercetări (exemplele 1 ÷5, tabel 3.2) se constată că acestea se încadrează între limitele nivelurilor de deteriorare (conform tabel. 3.28), exprimate procentual și rezultate în urma aplicării metodelor cercetate.

Tabel 3.28 Exemplificare de utilizare a gradului de degradare, pe exemple concrete

Număr Inv. / exemplu	762/ 1	764/ 2	760/ 3	690/ 4	115/ 5
Număr orificii /dm ²	187	163	138	96	63
Valori totale de degradare (%)	44,46	39,49	34,25	23,75	16,98
Nivel de degradare (%)	Extins ÷ 63,7	Mediu ÷ 41,64	Mediu ÷ 41,64	Mediu ÷ 41,64	Minimal ÷ 20,8

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

4. TRATAMENTE ȘI METODE APLICATE LEMNULUI DEGRADAT

4.1. Stabilizarea lemnului.

Stabilitatea dimensională reprezintă pentru bunurile culturale cu suport de lemn, unul dintre cei mai importanți factori care, o dată cu modificarea lor pot produce degradări și distrugerii acestora. Atât contragerea cât și umflarea lemnului produc modificări dimensionale panourilor policrome provocând cracluri (craquelure), fisuri, fracturi, cu detașare și pierderi de suport. „Jocul lemnului”, în ambele sensuri este factor de degradare (fig. 4.1).



Fig. 4.1 Umflarea și contragerea provoacă instabilitate dimensională și degradări lemnului policrom.
Arhanghelul Mihail, sec XVII, (Original LCRX)

Tratamentele de stabilizare, de suprafață sau de profunzime, trebuie să țină cont de: metode, aparatură, eficiență și/sau rentabilitatea tratamentului. Lemnul bunurilor culturale nu este recomandat a fi adus la starea de umiditate anhidră, ($U=0\%$). Umiditatea lemnului este stabilită la condițiile date de mediul de depozitare/expunere.

Experiment și aparatură

S-a dorit simularea spațiului și a condițiilor de micro climat **neconforme** cu normele de conservare/restaurare. Se urmăresc, pe parcursul a nouă luni (270 zile), modificările privind dimensiunile, umflarea-contragerea, precum și de masă ale epruvetelor, plasate liber, așezate pe rigle de 20x20x1000 mm (pentru circulația aerului), la înălțimea de 800 mm de la sol. Temperatura și umiditatea sunt lăsate în parametrii unui microclimat, natural, care să nu fie modificați, doar în condiții extreme: atunci când umiditatea și temperatura nu depășesc limitele stabilite: (temperatura ambientală (T) minimă $\geq +15^{\circ}\text{C}$ sau T maximă $\leq +30^{\circ}\text{C}$, iar umiditatea relativă a aerului (UR) minim $\geq 40\%$ sau UR maxim $\leq 65\%$). Pentru aceste situații limită sunt pregătite umidificator/dezumidificator, sistem de ventilare forțată, pentru reglarea și controlul centralei termice, termostat. Nu s-a utilizat aerul condiționat pentru această perioadă de observații.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Scopul experimentului. Observații și determinări ale influenței factorilor de microclimat asupra stabilității dimensionale asupra planșelor testate

Material: Lemn masiv, sănătos, uscat, și un panou din lemn cu pictură, cu degradări. S-au utilizat 30 de **piese de lemn sănătos** (câte 10 din fiecare specie), din trei esențe **Molid** (*Picea abies L., H. Karst.*), **Tei** (*Tilia cordata Mill.*), **Balsa** (*Ochroma pyramidale*). Lemnul este condiționat, având umiditatea de: Tei 9%, Molid 10%, Balsa 10%. **Panou pictat**, nr. inv. 700, datare secol XVII, cu dimensiuni: 850 x 565 x 30 mm (Lungime x lățime x grosime) și umiditate 11% cu degradări produse de atac xilofag panoul este realizat din două planșe (inegale) îmbinate cu cep, între ele producându-se o detașare de 4-7 mm, pe partea nepictată, iar fața cu pictură nu este pe de-a întregul detașată. (fig.4.1). Panoul prezintă o curbare concavă (dinspre verso), cu săgeată minima 8,86 mm și maximă 10,56 mm.

Se măsoară, se înregistrează, și se fac medii aritmetice ale măsurătorilor, în aceleași zone, câte trei puncte, pentru fiecare plan de secțiune (tangențial și radial), în mm. Masa și umiditatea sunt măsurate la începutul cercetării 08.06.2018, în 08.09.2018 și la final, în 08.03.2019. Metoda se bazează pe stabilirea coeficienților de umflare sau contragere, adică, umiditatea inițială (**Ui**) la care se găsește obiectul, la începerea observațiilor, și cea obținută în mediul corespunzător realizării studiului apoi, măsurarea umidității intermediare, (**Um**) și la finalul experimentului (**Uf**).

Marcăm cu (β), umflarea totală și cu (α) contragerea totală, iar umflarea parțială cu β_p (intervalul de umiditate) și contragerea parțială cu α_p (intervalul de umiditate), conform ecuațiilor 4.1 ÷ 4.3.

Pentru umflarea (4.1) și contragerea (4.2) **totală**

$\beta = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{min}} \cdot 100 \quad \%$	4.1
----------------------------------------------------------------	-----

$\alpha = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max}} \cdot 100 \quad \%$	4.2
-----------------------------------------------------------------	-----

Unde: L_{max} - reprezintă dimensiunea (tg) a epruvetei la umiditate U_x %;

L_{min} - reprezintă dimensiunea (tg) a epruvetei la umiditate U_y %

Iar pentru Umflarea (4.3) și Contragerea (4.4) **parțială liniară**:

$\beta_p = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \cdot 100 \quad \%$	4.3
------------------------------------------------------	-----

Unde: L_1 reprezintă dimensiunea la umiditatea inițială (U_i), sub punctul saturație a fibrei PSF.

L_2 reprezintă aceeași dimensiune după umflare la umiditatea $U_2 > U_1$

$\alpha_p = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \cdot 100 \quad \%$	4.4
-------------------------------------------------------	-----

Unde: L_1 reprezintă dimensiunea la umiditatea U_1 (U_{max})

L_2 aceeași dimensiune la umiditatea $U_2 < U_1$

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Stabilirea coeficienților se face prin calcul, dimensiunea pieselor, în diferite stări de umiditate și temperatură. Umiditatea pieselor: **nu** ating punctul de saturație a fibrei (PSF) și **nu** sunt aduse la stare anhidră (U0%).

Rezultate

S-au făcut măsurători și observații ale modificărilor dimensionale, pe secțiuni tangențială și radială. Aceste modificări sunt evidente pentru ambele secțiuni, relevant însă, pentru cercetarea prezentă, au fost cele pe secțiunea tangențială, care s-au și consemnat. Am ales **secțiunea tangențială**, ca fiind cea mai importantă, prin degradările care le poate provoca mișcarea lemnului, atât din punct de vedere al contragerii, cât și al umflării, asupra stratului de policromie (fig. 4.6).

Tabel 4.1 Înregistrarea modificărilor dimensionale și a umidității, pentru epruvetele din lemn de tei, molid, balsa, supuse observării într-o cameră climatică timp de 270 zile.

Determinări ale epruvetelor, din lemn de tei, molid și balsa, în aceleași 3 zone pe secțiunea tangențială.	U lemn [%]	Molid (LM) [mm]	U lemn [%]	Tei (LT) [mm]	U lemn [%]	Balsa (LB) [mm]	U lemn [%]	Panou din tei cu pictură sec. XVII (PP) [mm]
Început	Medie 10	112,95	9	150,82	10	100,10	11	568,36
Intermediar	Medie 12	114,26	11	153,30	13	100,65	11	569,06
Final	Medie 11	113,27	10	152,23	8	99,87	10	566,13

Utilizând formulele calcul (4.1, respectiv 4.2) și preluând datele din Tabel 4.1 s-a calculat umflarea și contragera pentru comparare, pentru epruvetele Tei sănătos (LT) și panou din tei cu pictură (PP), reprezentate în tabelul 4.2.

Tabel 4.2 Determinări în % a umflării (β) și a contragerii (α) comparative, pentru eșantioanele din lemn Tei sănătos (LT) și Panou pictat (PP)

Eșantion	Coeficient umflare pe secțiune tangențială (β)%	Coeficient contragere pe secțiune tangențială (α)%
LT	1,64	0,65
PP	0,12	0,51

Concluzii

Așa cum se observă din Tabel 4.1 în perioada de vară iunie-septembrie, cu temperaturi ridicate și umiditate crescută, eșantioanele au absorbit umiditatea modificându-și dimensiunile, respectiv acestea au crescut comparativ cu acelea de la începutul observațiilor. În perioada octombrie-februarie temperatura scade treptat și tot o dată și umiditatea atmosferică din cameră, în aceste condiții

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

dimensiunile se reduc, însă nu mai scad unitar și nu mai ating dimensiunile inițiale. Cea mai mare *Umflare* (creștere) o suportă Teiul sănătos LT1,64%, iar cea mai mică *Contragere* (scădere) se observă la lemnul de balsa LB. Lemnul panoului de tei cu pictură PP se comportă foarte bine având variații dimensionale reduse, pe întreg parcursul observațiilor. Aceste rămâne stabil dimensional și nu își modifică masa aceasta crescând între 5 și 32 grame ceea ce poate însemna din punct de vedere al densității lemnului, 500,58kg/m³ până la 503,01 kg/m³.

4.2. Consolidare cu soluții și substanțe lichide

Alegerea tratamentelor și a nivelului de intervenție trebuie să țină cont de materialele puse în operă care pot produce ele însele degradări ale suportului și implicit ale stratului pictural. Alegerea justificată a solvenților necesari pentru consolidarea suportului joacă un rol important în diminuarea sau, ceea ce este de nedorit, creșterea procentului de degradare a bunului cultural. Transferul informațiilor obținute în cercetarea de laborator, la nivelul aplicabilității acestora, în intervențiile de restaurare pentru bunurile culturale de patrimoniu cu suportul din lemn este și mai dificil de realizat.

- **dimensiunea:** *epruvetele* au dimensiuni reduse, nu au policromie,
- **importanța** acestora este redusă, din punct de vedere al **valorii** istorice, estetice sau financiare în comparație cu *panoul* pictat, sculptat, cu marchetărie, intarsie, etc. Exemplu, dacă sunt discutate modificări dimensionale de 2-5%, la epruveta de 20 mm acestea reprezintă 0,4-1 mm însă la un panou de 700 mm aste înseamnă 14-35 mm. Aceste modificări în ambele sensuri, umflare sau contragere, sunt transferate stratului policrom, care are și se comportă diferit, un alt grad de elasticitate față de lemn, provocând fisuri sau desprinderi. (fig. 4.6 a, b)

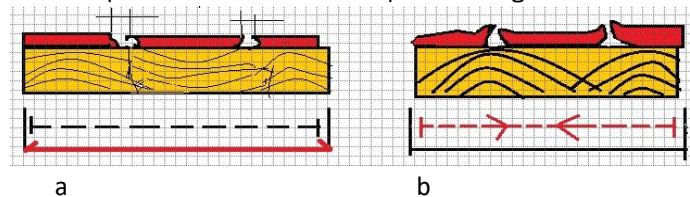


Fig.4.6 Jocul lemnului și influența asupra straturilor picturale; a. la umflarea lemnului, stratul pictural, rigid, nu își modifică dimensiunea, similar cu a lemnului, rezultând cracheluri; b. când lemnul se contracte, stratul pictural nu se poate comprima în același grad, aglomerându-se, produce destabilizare și ridicarea acestuia în formă de „acoperiș”

4.2.1 Note și observații privind comportamentul lemnului degradat la tratamentul de consolidare cu rășini sintetice.

Studiul dorește să arate eficiența tratamentului, pentru consolidant Paraloid B72, 10%, solubilizat în două tipuri de solvenți: Acetonă și separat, un Amestec Toluene + Acetat de Etil (1:1).

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

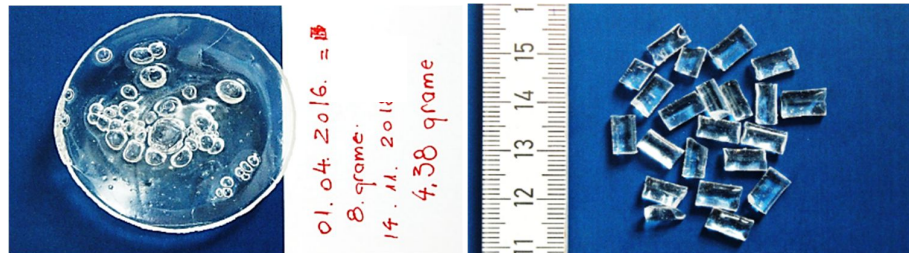


Fig.4.9 Pelicula de Paraloid B72 după solubilizare și uscare în aer liber 31 luni pierde încă din masa inițială 3.62 g. reprezentând 45.25%. Peleți B72 înainte de solubilizare (Original LRCX)

Scopul studiului este evaluarea eficienței tratamentului și a avut la bază mai multe repere, respectiv: reducerea modificărilor dimensionale așa cum arată și (Kucerova, ș. a., 2009), îmbunătățirea proprietăților mecanice privind duritatea și a **retenției** de consolidant în vederea limitării absorbției de apă (Ionescu și Lunguleasa 2017).

Ca element de noutate, semnalăm, în urma testelor și ținând cont și de condițiile mai sus enumerate, un amestec de dizolvant format din Acetat de Etil și Toluen, în proporție 1:1. Conform dispunerii în triunghiul de solubilitate (TEAS), valorile punctului acestui Amestec sunt reprezentate în zona central-medie. Afirmațiile de mai sus sunt produse de studiul următor, care a observat evoluția modificărilor și comportamentului lemnului degradat, la acțiunea solvenților, utilizați pentru tratamentele de restaurare.



Fig. 4.11 Orificii și galerii cu fracții de lemn care blochează sau reduc eficiența unui tratament de consolidare. Mărire 20x, 40x (Original LRCX)

Rezultate și discuții

Pentru cercetările realizate, s-a constatat că intervențiile de consolidare considerate „manuale”, injectare, picurare, pensulare, au un caracter de consolidare de suprafață, sau unul redus în ceea ce privește pătrunderea în profunzimea celulelor lemnului, umplerea vaselor fiind relativ redusă. De menționat de asemenea sunt și următoarele: - faptul că: rășina solubilizată nu are uscare imediată, masa acesteia, continuă să se reducă, chiar și la circa 36 de luni după tratament, cu până la 45-50% din masa inițială (fig. 4.9). Nivelul de degradare al panoului, fracțiile de lemn masticat și ne metabolizat de insectele xilofage din galerii vor influența și ele consolidarea, Ionescu (2014). Împreună cu substanța consolidantă ele vor forma o masă care poate contribui la stabilizarea suportului degradat, însă trebuie

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

avut grijă la posibila formare a unor „globuri” care pot împiedica pătrunderea materialului de consolidare. (fig. 4.11) Pentru a aduce un efect evident în cea ce privește îmbunătățirea rezistenței mecanice, trebuie ca injectarea sau pensularea să fie executată într-un număr considerabil de repetări, iar cantitatea de soluție (substanță solidă remanentă) să reprezinte procente apropiate de pierderile de volum decimate de atacul xilofag și, foarte importante, sunt vâscozitatea soluției și tipul de solvent. (Ionescu și Lunguleasa 2017). **Exemplu 1:** dacă luăm în considerare tabelele 3.1 și 3.1a adaptate după Lunguleasa (2007), masa de referință a teiului pucios la $U = 8\%$, ca având $514,4 \text{ kg/m}^3$, atunci prin raportare la dimensiunile epruvetelor din testele noastre, $20 \times 20 \times 30 \text{ mm}$, constatăm că masa și densitățile epruvetelor prezintă următoarele valori:

Masa epruvete estimate ($EE_{8\%}$) este = $6,17 \text{ g}$, și densitatea (ρ) EE (se obține cu relația 3.1c) = $514,4 \text{ kg/m}^3$

Masa epruvetei deteriorate la umiditatea de 8% ($E_{d8\%}$) = $4,97 \text{ g}$ și cu densitatea (ρ) = $414,16 \text{ kg/m}^3$

Masa în stare anhidră a epruvetei $E_{d0\%}$ (considerată pentru acest studiu, este obținută prin condiționarea epruvetelor la temperatură de 105°C timp de 2 ore) = $4,75 \text{ g}$ și densitatea (ρ) = $395,83 \text{ kg/m}^3$.

Gradul de fragilitate (Gdf) se obține cu relația 3.1b, iar dacă în acesta ecuație se înlocuiesc valorile de densitate cu acelea de masă, acestea vor evidenția pierderile de masă cauzate de degradare, în procente; Astfel rezultă următoarele valori procentuale de degradare, pentru:

$$Ed_{8\%} = 6,17 - 4,97 = 1,2 \text{ g} = 19,45\% ; \quad Ed_{0\%} = 6,17 - 4,75 = 1,42 \text{ g} = 23,01\%$$

Conform studiului Ionescu și Lunguleasa (2017), se poate desprinde următoarea concluzie: că, un bun cultural afectat intens de un atac xilofag, care pierde o cantitate de elemente anatomice ce pot reprezenta procente cuprinse între $8,23\% - 19,39\%$, pentru consolidare este necesară (în funcție de degradarea panoului), o masă de substanță solidă remanentă de cca. $24-60\%$ din masa pierdută (raportată la un panou sănătos) din volumul degradat de atacul xilofag. Observând pierderile de masă în grame și se ține cont că valorile de consolidant necesare unei eficiențe ridicate sunt estimate între 24% și 60% din masa pierdută a epruvetelor, atunci pentru epruvetele $Ed_{8\%}$ masa de consolidant remanentă trebuie să fie $0,29 \text{ g}$, iar pentru epruvetele $Ed_{0\%}$ masa trebuie să fie de $0,34 \text{ g}$. Tot astfel sunt calculate ipotetic și valorile procentuale pentru consolidare 60% de unde rezultă că $Ed_{8\%}$ are masa remanentă $0,72 \text{ g}$ și $Ed_{0\%}$ are masa remanentă de $0,85 \text{ g}$. Masa epruvetelor cu consolidant ajung de la $4,97 \text{ g}$ la minim $5,26 \text{ g}$ și maxim $5,69 \text{ g}$ pentru $Ed_{8\%}$, iar pentru epruvetele $Ed_{0\%}$ de la $4,75 \text{ g}$ se ajunge la minim $5,09 \text{ g}$ și maxim la $5,60 \text{ g}$. În experimentul din această cercetare, constatăm că epruvetele consolidate în Paraloid B72 au absorbit în medie, mase de la $0,52 \text{ g}$ până la $0,68 \text{ g}$. Acest rezultat susține afirmația că masa de consolidant remanentă trebuie să aibă valori de peste 24% și 60% din masa pierdută prin degradare. Analizând acestea, putem arăta că $Ed_{8\%}$ ar avea masa cuprinsă între $5,49 \text{ g}$ și $5,65 \text{ g}$ iar pentru $Ed_{0\%}$ sunt cuprinse între $5,27 \text{ g}$ și $5,43 \text{ g}$, ceea ce confirmă afirmația că sunt necesare pentru o eficiență ridicată, masa remanentă de consolidant trebuie să reprezinte $24-60\%$ din masa pierdută.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

4.2.2 Comportamentul lemnului degradat la acțiunea solvenților utilizați pentru consolidare.

Cercetările noastre doresc să determine comportamentul lemnului deteriorat, modificări dimensionale și/sau structurale, umflare/contragere, deformări sau tensiuni provocate de solvenții în care sunt solubilizate rășinile pentru consolidare (acetona, acetat, toluen, white spirit).

Evoluția umflărilor (fig. 4.12) pe secțiuni tangențială și radială și de masă, pentru următoarele tipuri de lemn (*Tilia cordata* Mill.) (fig. 4.13):

- Tei vechi foarte degradat (TFD)
- Tei vechi mediu degradat (TMD)
- Tei nou (sănătos) (TN)

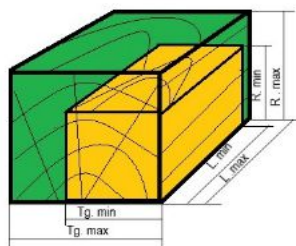


Fig.4.12 Reprezentarea schematică a contragerii/umflării lemnului pe cele trei direcții; Tangențial, Radial și Longitudinal (după Lunguleasa, 2011)

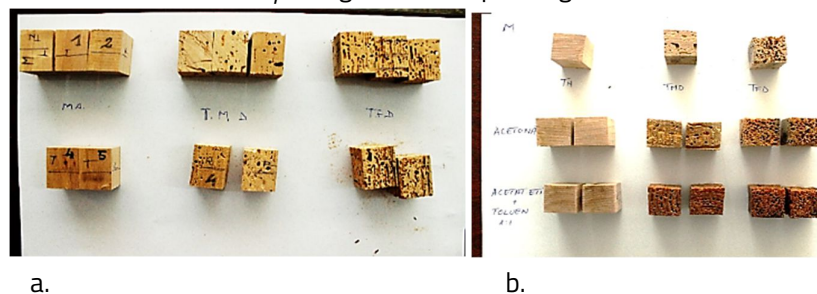


Fig. 4.13 Epruvete diferențiate, în funcție de stadiul de degradare; a. Tei nou (sănătos) (TN), Tei vechi mediu degradat (TMD), Tei vechi foarte degradat (TFD); b. După imersare în acetona și în amestec Acestea au fost debitate în epruvete cu secțiune pătrată 20 x 20 mm și lungime de 30 mm și imersate în două tipuri de solvenți (puri și amestec). Se dorește observarea modificărilor dimensionale și de masă a epruvetelor în două tipuri de imersie (fig.4.15, 4.16): 1. Acetonă și 2. Amestec (Acetat Etil și Toluen 1:1) Probele au fost marcate și determinate dimensiunile pe secțiune Radială(R), tangențială (T) și masa (M) pentru etape: de 1 oră, 2 ore și 24 ore. Materialul lemnos a fost condiționat timp de 60 de zile în mediu controlat cu umiditate 50%±5 și temperatură 20°C±1.

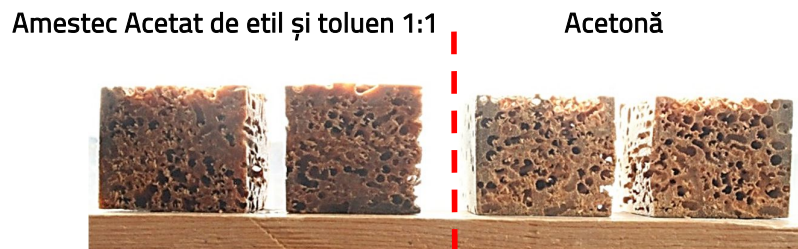


Fig. 4. 15 Diferențierea structurii lemnului în cele două soluții de imersare. Acetona eliberează mai mult orificiile și canaliculele de fracțiile depuse

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

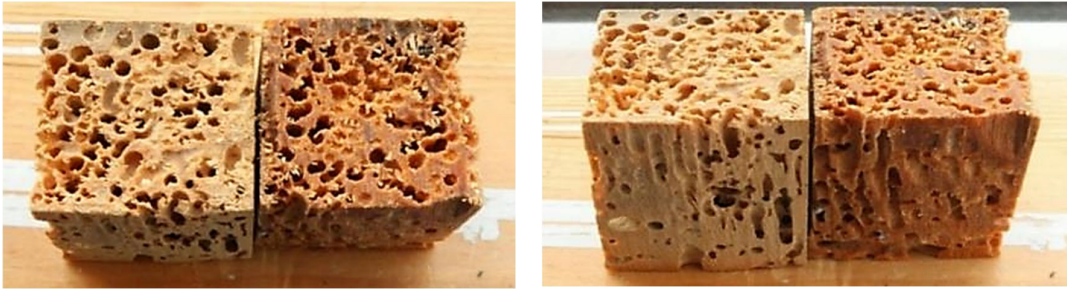


Fig.4.16 Comportamentul lemnului degradat în solvenți pe cele două secțiuni. Soluția amestec modifică (închide) culoarea lemnului

Pentru determinarea coeficienților de umflare, s-a folosit metoda măsurărilor dimensiunilor epruvetelor, după ce acestea au fost aduse la o masă constantă, ducă care au fost imersate în acetonă și amestec (Acetat etil + toluen 1:1).

În etape de 1, 2 și 24 ore, epruvetele au fost extrase din soluția de imersare, excesul de lichid a fost îndepărtat pe hârtie absorbantă apoi măsurate dimensiunile în mm și masa în grame.

Formula de calcul folosită pentru aflarea coeficientului de umflare (β), conform EN 317/1993, și Pescăruș, Cismaru, (1979)

$\beta_R = \frac{LR_{MAX} - LR_{MIN}}{LR_{MIN}} \cdot 100 [\%]; \beta_T = \frac{LT_{MAX} - LT_{MIN}}{LT_{MIN}} \cdot 100 [\%]$	4.1
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

$\alpha_R = \frac{LR_{MAX} - LR_{MIN}}{LR_{MAX}} \cdot 100 [\%]; \alpha_T = \frac{LT_{MAX} - LT_{MIN}}{LT_{MAX}} \cdot 100 [\%]$	4.2
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Unde,

LR_{MIN} = dimensiunea înainte de imersare, pe secțiunea radial

LR_{MAX} = dimensiunea la extragerea din imersie, pe secțiunea radial

LT_{MIN} = dimensiunea înainte de imersare, pe secțiunea tangențială

LT_{MAX} = dimensiunea la extragerea din imersie, pe secțiunea tangențială

Rezultate

În urma experimentului și a măsurărilor efectuate, s-au obținut următoarele valori dimensionale (umflare pe secțiune tangențială și radială, în mm) și de masă (în g), prezentate în tabele 4.5÷ 4.10 (din teză). De asemenea, în tabelele 4.5 a÷ 4.10 a, sunt notate valorile procentuale, pentru masă și umflare (tangențial și radial), aferente aceluiași probe, corespunzătoare din tabelele 4.5÷ 4.10 (din teză).

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

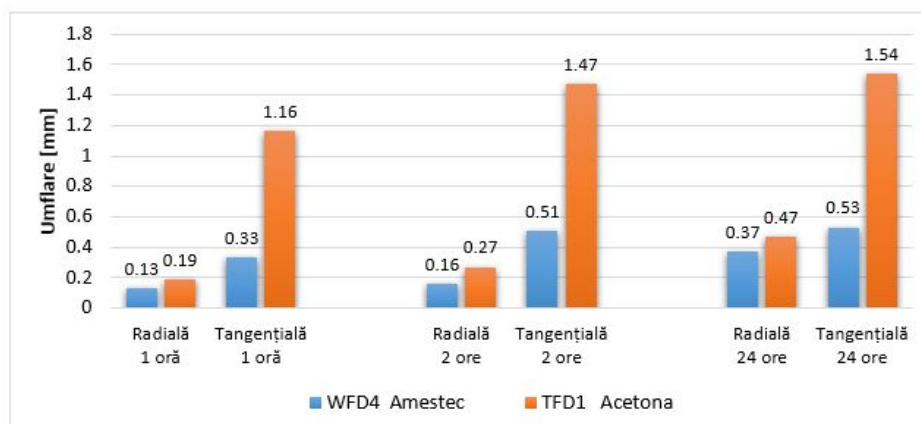


Fig. 4.20 Valori comparative privind Umflarea în mm, a epruvetelor TFD 1 și WFD 4, pe secțiunea Radială și Tangențială, la etapa 1 oră, 2 ore și 24 ore, imersate în: 1 Amestec Acetat de etil + Toluen 1:1, și 2 Acetonă

Concluzii

Acetona produce creșteri dimensionale și de masă mai mari decât amestecul Acetat de etil+ Toluen. Aceste teste de laborator argumentează rezultatele obținute în practica curentă, când panourile cu dimensiuni considerabile sunt tratate cu Acetonă (pentru consolidarea cu rășini sintetice, B72) acestea își modifică dimensiunea în special pe secțiunea tangențială, iar valori procentuale de 7,68 (fig. 4.18) raportate la un panou de 600-800 mm, produc creșteri de 45,72 mm – 60,96 mm. Creșterile sunt diferențiate, pe secțiunea tangențială, creșterea este mai mare, decât pe cea radială, pentru acetonă, comparativ cu Amestecul Acetat de Etil +Toluen 1:1, unde, umflările pe tangențial, raportându-ne la aceleași dimensiuni 600-800mm/panou, au valori de 15,96 mm – 21, 28 mm.

4.2.3 Determinarea retenției de consolidant la tratamentul cu rășini sintetice

În acest experiment, se dorește observarea comparativă a maselor de substanță solidă (consolidant B72 și/sau Regalrez 1126) absorbită și rămasă, în funcție de solvenul care solubilizează consolidantul și care devine un „vehicul de transport” al acestuia, în profunzimea lemnului.

Scopul acestui experiment este acela de a obține o eficiență cât mai crescută după tratamentul de consolidare, care să suplinească valorile pierdute ale proprietăților mecanice ale lemnului sănătos, dar și al efectului de reducere a sorbției de apă (impermeabilizare).

Epruvetele sunt supuse unor tratamente după care sunt observate modificările și îmbunătățirile proprietăților mecanice, duritate, rezistența la rupere, reducerea sorbției de apă (Eficiență), acelea care din punctul de vedere al bunurilor de patrimoniu, sunt în măsură să contribuie la stabilizarea, conservarea, prelungirea vieții, etc. al bunului de artă supus tratamentelor de restaurare.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Elementele pentru testare au fost debitate cu secțiune pătrată (20 x 20 mm) și lungime de 30 mm, în număr de 22 de piese (fig. 4.21), realizate din lemn de tei, degradate de atac xilofag similar cu problematica regăsită în obiectele de patrimoniu; epruvetele au un conținut de umiditate sub 4%.



Fig. 4.21 Epruvetele supuse tratamentelor de consolidare

Cele 22 de epruvete sunt împărțite în trei grupe în funcție de rășină și solvent astfel:

B.I. Epruvete 1-7 sunt imersate în consolidant Paraloid B72 10% solubilizat în **Amestec** 1:1 acetat de etil și toluen.

B.II. Epruvetele 8-14 sunt imersate în consolidant Paraloid B72 10% solubilizat în **Acetonă**.

B.III. Epruvete 15-22 sunt imersate în consolidant **Regalrez 1126** (Eastman Chemical Company) 25% solubilizat în white-spirit D40 (Crisci ș. a., 2010), iar denumirea comercială, ca produs autorizat pentru restaurare este **Rexil** (catalog CTS 2009).

Timpul de imersare este de 1 ore (60 min), iar măsurările sunt făcute imediat după extragere și la 24 ore de uscare în aer liber la temperatură de 30°C, UR 45% ±5%. Valorile consemnate în studiu sunt cele după uscare la 24 ore. Pentru a obține retenția de consolidant (**R_{C1}**) se va calcula diferența între **A6** și **A3** pentru cele trei tipuri de tratament (codificat după cum urmează: B.I; B.II; B.III).

Eficiența tratamentului după prima etapă de consolidare, se poate observa în tabelul 4.11 (**E_{T1}**) **BI** (Eficiență $A_6 - A_3/A_3$ în %).

Tabel 4.11 Valori ale absorbției de consolidant B72 10% în Amestec (Toluen, Acetat de etil 1:1) pentru epruvetele 1-7 din grupul BI. Retenție de consolidant în grame și eficiența tratamentului în procente.

Epruvetele 1-7	A 3. [g]	A 6 [g]	R _{C1} [g]	E _{T1} [%]
Medie	4,36	4,93	0,57	
Media eficienței				13,07

Valorile din tabelurile 4.11, 4.12, 4.13 se vor obține cu formula 4.7 și 4.8, în vederea obținerii retenției de consolidant și a eficienței acestuia în funcție de numărul de tratamente efectuate. unde:

A3 = masa epruvetei înainte de imersare în consolidant B72%

A6 = masa epruvetei după extragere din imersie și uscarea liberă 24 ore

R_{C1} = retenție consolidant tratament 1 se calculează cu formula (4.7)

E_{T1} = eficiență tratament 1 se calculează cu formula (4.8)

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

$R_{CT1} = A6 - A3$ [g]	4.7
$E_{T1} = \frac{A6 - A3}{A3} \cdot 100$ [%]	4.8

Pentru **BI** se obține **media** valorilor celor șapte epruvete imersate în consolidant B72 10% în Amestec. Din masa epruvetelor la 48 ore de la extragere din consolidant (A6) se scade masa înainte de imersie (A3), ecuația (4.3), rezultând masa consolidantului rămasă în epruvetă, denumită retenție de consolidat (MR_{T1}). Pentru a constata eficiența tratamentului (M_{ET1}) din punct de vedere al cantității de consolidant rămas în lemn, la 48 ore, utilizăm ecuația (4.4). Din tabelul 4.11 se pot observa valori diferite ale retenției de consolidant, de la 0,47 până la 0,64, rezultând **media** de 0,57 g, iar în medie, eficiența tratamentului este 13,07%.

B.II epruvetele 8-14 imersate în Paraloid B72 în Acetonă, concentrație 10%. Pentru calcul se procedează întocmai ca la exemplul de mai sus.

Tabel 4.12 Valori ale absorbției de consolidant B72 10% în Acetonă, pentru epruvetele 8-14 din grupul BII. Retenție de consolidant în grame și eficiența tratamentului în procente.

Epruvetele 8-14	A 3. [g]	A 6 [g]	R_{CT1} [g]	E_{T1} [%]
Medie	4,82	5,36	0,54	
Media Eficienței				11,20

Rezultă următoarea constatare că retenția este cuprinsă între 0,46 și 0,62 reprezintă o medie de 0,54 (g). Eficiența medie este de 11,20%

B. III epruvetele 15-22 imersate în Rexil (amestec rășina sintetică Regalrez 1126 și white-spirit D40, concentrație 25%) (CTS Europe, Castelli ș. a., 2002).

Tabel 4.13 Valori ale absorbției de consolidant Regalrez (Rexil) 25% solubilizat în White Spirit D40, pentru epruvetele 15-22 din grupul BIII. Retenție de consolidant în grame și eficiența tratamentului în procente.

Epruvetele 15-22	A 3. [g]	A 6 [g]	R_{CT1} [g]	E_{T1} [%]
Medie	5,14	6,99	1,85	
Eficiență%				35,99

Concluzii pentru tratamentul 1:

Analizând rezultatele obținute (conform tabelului 4.16) se constată o îmbunătățire, în ceea ce privește retenția de consolidant de 5,55%, iar eficiența este mai mare cu 16,7% pentru epruvetele 1-7 în Amestec în raport cu epruvetele 8-14, în Acetonă.

Epruvete 15 -22 au o retenție de 224,56% față de epruvetele 1-7 respectiv de 242,59% față de 8-14. Aceasta retenție superioară trebuie considerată prin o evaporare mai lentă a solventului D40 al Rexil-

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

ului, iar dacă se consideră și rezultatele cu Regalrez în conformitate cu studiul Crisci ș. a., (2010) acesta „se poate datora masei sale moleculare mai scăzute și poate avea tendința să penetreze mai adânc în zona celulară parenchimatică, față de lumen și să lase porozitatea generală nealterată”. În schimb, Paraloid B72, cu masă moleculară mai mare, ar putea tinde să se concentreze în lumenul celular și, astfel, diminuează porozitatea. Dacă uscare epruvetelor se face la minim 72-96 ore după extragere din consolidant, valorile de masă sunt apropiate de celelalte epruvete. De aici putem arăta că pentru a efectua un tratament de consolidare eficient cu Rexil combinat cu unul cu B72, este recomandat ca acesta să fie făcut la un interval mai mare 72 de ore de la primul tratament și în acord cu Crisci ș. a., (2010), Ionescu și Lunguleasa (2017), tratamentul dublu produce beneficii crescute pentru consolidarea lemnului degradat.

De asemenea, utilizarea în restaurare a rășinilor cu masă moleculară redusă, și a solvenților cu polaritate scăzută, prezintă printre avantajele o rezistență mărită la îngălbenire și posibilitatea rășinilor de a se solubiliza în aceiași solvenți, nepolari, chiar și după îmbătrânire (Smith și Johnson, 2008). Așa cum sunt prezentate în tabelele 4.5-4.10 (din teză) și fig.4.23, solventul acetonă produce modificări dimensionale sau deformări de la planeitate. Și din acest punct de vedere solventul amestec acetat de etil și toluen, este preferat acetonei.



Fig. 4.23 curbarea panoului după tratamentul de consolidare B72 în Acetonă (Original LRCX)

4.2.4 Eficiența tratamentului condiționat de solvenții utilizați și de numărul de repetări.

Pentru constatarea retenției de consolidant în tratament ($R_c(T)$) se iau în calcul aceleași 22 de epruvete cărora li s-au aplicat tratamente de consolidare și se va determina retenția de consolidant, în funcție de solvent. Analizând tabelul 4.15, se observă că retenția de consolidant în cea de a doua etapă este mai mare pentru epruvetele care au fost imersate în consolidant solubilizat în acetonă, față de epruvetele care au avut solvent amestec.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Tabel. 4.15 Valori medii ale retenției de consolidant în evoluția consolidării (de etapă 2) pentru cele trei tipuri de tratament.

Cod epruvete/tip de tratament	E 1-7	E8-14	E 15-22
A6 medie [g]	4,92	5,35	6,98
A8 medie [g]	5,41	5,97	7,65
Retenție medie consolidant [g]	0,49	0,62	0,67
Eficiența tratamentului la etapa II [%]	9,96	1,59	9,60

A6= Masa epruvetelor după extragere din imersie și uscarea liberă 48 ore

A8=Masa epruvetelor imediat după extragerea din tratamentul etapei 2 de consolidare

În această etapă (II) se poate observa că eficiența crește cu 9,96% față de etapa anterioară la tratamentul de consolidare cu B72 solubilizat în Amestec și de asemenea crește cu 11,59% la tratamentul B72 în solventul Acetonă pentru epruvetele E 8-14; Dacă se compară epruvetele E1-7, imersate în B72 solubilizat în Amestec, cu epruvetele E8-14, imersate în B72 solubilizat în Acetonă, constatăm că epruvetele care au tratament de consolidare în solventul Acetonă, au absorbit consolidant cu 26,53% mai mult decât epruvetele tratate cu consolidant în solvent Amestec. Din punct de vedere al eficienței între cele două tratamente (Amestec și Acetonă) este cu 16,37% mai bună pentru Acetonă.

De asemenea și la epruvetele E15-22, tratate în REXIL se constată că retenția este în creștere, cu 9,60%, totuși, cantitatea de consolidant absorbită este mai mică față de celelalte două tratamente din aceeași etapă, respectiv cu 3,75% mai puțin decât la B72 în Amestec și cu 20,72% mai puțin față de B72 în Acetonă.

Se constată că epruvetele au o absorbție și o masă remanentă a consolidantului diferită, în funcție de solvent. Întrucât se poate observa îmbunătățire, reflectată în masă remanentă, de la un tratament la altul, de aici rezultă că este importantă realizarea tratamentelor multiple; în acest sens se va continua cu efectuarea celui ce al treilea tratament.

Tratament III. Sunt utilizate aceleași 22 epruvete în aceeași separare iar tratamentul se face în aceleași materiale de consolidare (tabel 4.16).

Tabel 4.16 Valori medii ale retenției de consolidant după etapa 3 pentru cele trei tipuri de tratament

Cod epruvete/tip de tratament	E 1-7	E8-14	E 15-22
A9 medie [g]	4,86	5,81	7,48
A11 medie [g]	4,97	6,01	6,99
Retenție medie consolidant [g]	0,11	0,20	- 0,49
Creștere față de etapa anterioară [%]	2,26	3,44	- 7,01

A9- Masa epruvetelor după 24 de ore de la extragerea din tratamentul etapei 2 de consolidare

A11- Masa epruvetelor la 24 de ore de uscarea, după tratamentul 3

Cumulând valorilor retenției de consolidant aferentă fiecărei etape de tratament, conform tabelelor 4. 14; 4.15; 4.16, atunci, masa medie totală de consolidant absorbit, pentru fiecare tip de tratament este 1,17

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

g pentru E 1-7) 1,36 g (pentru E8-14) și 2,02 g (pentru E 15-22). În fapt, după alte două săptămâni de uscare liberă, valorile de masă a consolidantului rămas în epruvete sunt: 0,72 g (E 1-7); 0,71 g (E 8-14) și 1,54 g (E 15-22) conform tabelului 4.19. Pierderea de masă dintre acestea poate fi explicată în următorul mod: solventul din soluția de consolidare continuă evaporarea pentru o perioadă de minim 7÷14 (*vezi Note și observații 4.2.1, când masa consolidantului solubilizat are 8 g, iar după evaporarea lentă, ajunge, după 30 de luni la 4,38 g, conform fig. 4).*

Tabel 4.17 Retenția consolidantului (R_{T}) și eficiența totală a tratamentului (E_{T}) pentru cele trei tipuri de tratament și epruvete.

Cod epruvete/tip de tratament	E 1-7	E8-14	E 15-22
A3 medie [g]	4,36	4,82	5,14
A11 medie [g]	5,08	5,53	6,68
Retenție medie consolidant [g]	0,72	0,71	1,54
Creștere față de etapa inițială cu $U_{4\%}$ [%]	16,51	14,76	29,96

R_{T} și E_{T} se observă următoarele: retenția de consolidant și eficiența tratamentelor este îmbunătățită de la etapă la etapă. Se constată că solvenții Acetonă și Amestec pentru Paraloid B72, conduc la o retenție de consolidant, sensibil egală (≈ 70 g), doar că amestecul modifică dimensional și deformează lemnul mai puțin decât acetona (*vezi figura 4.16 din Note și observații 4.2.1*)

4.2.6 Determinarea absorbției de apă după tratamentul cu consolidanți

Odată cu aplicarea consolidanților lichizi, care au rol de „umplere și învelire” a elementelor anatomice din structura lemnului, al căror efect se constată în creșterea rezistenței mecanice și de reducere a sorbției de umiditate (impermeabilizare), implicit a stabilității dimensionale. Pentru a argumenta fenomenul, epruvetele tratate anterior în soluții consolidante, se vor imersa în apă timp de o oră, în vederea observării absorbției apei (**Sa**), comparativ cu epruvete similare, fără tratament (**SaT**).

Material: 22 Epruvete din lemn de tei (*Tilia cordata, Mill.*) în diferite stadii de degradare provocate de atacul xilofag, cu secțiune pătrată cu laturi de 20 mm $\pm 0,2$, lungime de 30 mm $\pm 0,2$.

Epruvetele sunt denumite astfel:

A1 = Epruvete în starea de umiditate inițială U8%.

A2 = Absorbția maximă a epruvetei imersată în apă distilată (T 20°C), $U \geq 35\%$ (peste PSF)

A3 = Epruvete condiționate la 103°C $\pm 2^\circ$, până la masa constantă $U < 4\%$

Epruvetele cu U8% (A1), sunt imersate timp de o oră în apă, după care, sunt extrase, depozitate pe hârtie absorbantă și cântărite de unde vor rezulta valori pentru A2. Epruvetele au fost lăsate la uscare liberă timp de 24 de ore, la T 20°C și UR 40%, după care au fost introduse în cuptor la 103°C, timp de două ore, până ce epruvetele au ajuns la o umiditate constantă (A3).

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Tabel 4.21 Absorbția de apă (în medie) a epruvetelor condiționate după imersia în apă timp de 1 oră

Cod tratament	Nr. epruvete	A 3. Masa după condiționare $U_{\text{lemn}} \leq 4\%$ [g]	A 2. Masa după imersie apă [g]	A2-A3. Cantitatea de apă absorbită în [g]
B I MEDIE	1÷7	4,36	9,60	5,24
B II MEDIE	8÷14	4,82	9,86	5,04
BIII MEDIE	15÷22	5,14	10,57	5,43
Media generală	1÷22	4,78	10,01	5,24

Media maselor pentru epruvetelor A2 = 10,01 (g) iar pentru A3 = 4,78 (g)

În grame se poate exprima (pentru media): A2-A3= 10,01 – 4,77 = 5,24 grame (masă apă absorbită)

SafT medie = 5,24 g apă absorbită; Lemnul fără tratament absoarbe mai mult cu $\cong 110\%$.

În etapa următoare, se dorește observarea comportamentului lemnului de tei supus tratamentului multiplu (S_{aTm}) de consolidare cu rășini sintetice, din punct de vedere al sorbției apei (S_a), ca eficiență în ceea ce privește stabilitatea dimensională, comparativ cu lemnul ne tratat. Se consideră, epruvetele A3 condiționate la 103°C, până la masa constantă $U_{<4\%}$ și epruvetele A18 ce cuprind valori ale masei lemnului uscat, a masei de consolidant și a sorbție de apă după tratamentul cu consolidant (tabel. 4.22).

Tabel 4.22 Valori (medii) diferențiate de masă pentru epruvetele aflate în diferite faze de tratament și cantitatea de consolidant remanent.

Cod tratament	Nr. epruvete	Masa epruvetei (L_i+C) * A17 g	Masa epruvetei $L_i+C+Apă^{**}$ A18 g	Cantitatea de apă absorbită		Cantitate consolidant remanent	
				g	%	g	%
B I MEDIE	1÷7	5,02	7,00	1,98	28,09	0,66	7,48
B II MEDIE	8÷14	5,50	6,86	1,36	20,38	0,68	9,95
B II MEDIE	15÷a22	6,56	10,24	3,67	35,84	1,42	13,88

A17= Masa epruvetei care cuprinde masa epruvetei condiționate inițial (L_i) și cantitatea de consolidant (C)

A18= Masa epruvetei care cuprinde masa epruvetei condiționate inițial (L_i) + cantitatea de consolidant (C) + apa absorbită prin imersie.

Constatăm în ceea ce privește absorbția de apă o îmbunătățire semnificativă a lemnului supus tratamentului de consolidare cu rășini sintetice, indiferent de solventul utilizat, (conf. Tabel 4.22) în comparație cu lemnul netratat (tabel 4.21) unde sunt marcate valori ale absorbției de apă și a retenției de consolidant, redate în procent pentru fiecare dintre epruvete: B I are absorbție de apă 28,09% și consolidant remanent 7,48%; pentru B II apa absorbită 20,38% și consolidant 9,95%; iar B III are absorbție de apă 35,83%

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

și consolidant remanent 13,88%. Pentru constatarea diferențelor de apă absorbită între lemnul fără tratament și acela cu tratament multiplu, dar și diferențiat, în funcție de tipul de consolidant și de solventul în care s-a solubilizat consolidantul, se pot observa în tabelul 4.25 media pentru cele trei tipuri de epruvete, utilizând ecuația 4.11.

$AT = \frac{S_{afT} - S_{aTm}}{S_{aTm}} \cdot 100; ETU = \frac{A_{17} - A_3}{A_3} \cdot 100 [\%]$	4.11
---------------------------------------------------------------------------------------------------	------

Unde,

AT= ameliorarea lemnului după tratamentul de consolidare, privind absorbția de apă [%]

S_{afT} = cantitatea de apă absorbită de lemnul fără tratament [g]

S_{aTm} = cantitatea de apă absorbită de lemnul după tratamente de consolidare [g]

Tabel 4.25 Absorbția de apă diferențiată, înainte și după tratamentul de consolidare

	Apa absorbită fără tratament [g]	Apă absorbită după tratament [g]	Reducerea de apă absorbită [%]
B I	5,24	1,98	164,64
B II	5,04	1,36	270,59
B III	5,43	3,67	47,96

Cele trei valori din tabelul 4.25, indică faptul că, tratamentul BII (consolidant B72 în Acetonă) prezintă varianta cea mai eficientă din punct de vedere a absorbției, aceasta fiind redusă cu 270,59%, reprezentând 1,36 g față de 5,04 g (absorbția lemnului netratat); tratamentul BI, (B72 solubilizat în Amestec) reducerea absorbției de apă este cu 164,64% mai mică, respectiv, 1,98 g, față de 5,24 g. Tratamentul care este cel mai puțin eficient, din punct de vedere al impermeabilizării, este cel de tip BIII, unde consolidantul Regalrez solubilizat în White spirit, reduce cu numai 47,96%, absorbția apei, iar în grame se reflectă 3,67 (după tratament) față de 5,43 (înainte de tratament).

În urma rezultatelor constatate mai sus, putem aprecia că tratamentul de consolidare are și efect de impermeabilizare asupra lemnului deteriorat acesta este diferit de la un tip de consolidant, la altul, dar și de solventii utilizați. Consolidanții testați în această cercetare, au produs un efect benefic, pentru toate cele trei grupe de epruvete testate; valorile absorbției de apă exprimate în procente, se reduc cu 47,96 % până la 270,59 %. Epruvetele consolidate cu Paraloid B72, solubilizat în Acetonă, au produs un efect mai bun, din punct de vedere al reducerii absorbției de apă cu 45,59% față de același consolidant, dar solubilizat în Amestec (Acetat de Etil + Toluen 1:1). Apreciem că, este importantă efectuarea tratamentelor de consolidare, acestea produc și efecte benefice „secundare”, traduse prin reducerea sorbției de apă și implicit creșterea stabilității dimensionale.

Observând valorile de mai sus, putem concluziona că cel mai bun efect (cea mai puțină cantitate de apă absorbită) îl produce consolidantul Paraloid B72 (10%+ 10%), dizolvat în acetonă (B II), urmat de Paraloid B72 (10%+ 10%) solubilizat în amestec Acetat Etil + Toluen 1:1 (B I), iar cel mai puțin eficient din punct

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

de vedere al absorbției apei, este grupa BIII, Rexil 25%, în White Spirit D40, urmat de un al doilea tratament cu B72, 10% în Acetat de Etil +Toluen 1:1. Cu toate că cel mai bun efect privind scăderea absorbției de apă, este produs de rășina B72 solubilizată în Acetonă, în acord cu numeroși cercetători (Timar ș. a., 2011, Schniewind, 1998 etc.) care afirmă că acetona este solventul cel mai potrivit pentru solubilizarea și distribuirea acestuia în profunzimea lemnului (Mankowski ș. a., 2015), cu toate acestea, utilizarea Acetonei în restaurarea panourilor policrome, degradate, produce modificări dimensionale și deformări panourilor. Pentru a evita acestea, considerăm că amestecul Acetat de etil + Toluen 1:1, cu valori de eficiență apropiate de cele ale acetonei, comportamentul lemnului la acești solvenți, este mai echilibrat, conferind o mai bună stabilitate. În ceea ce privește tratamentul cu Rexil, timpul de evaporare și recristalizare a consolidantului este mai mare, astfel, pot fi justificate sorbțiile de apă și masa crescută a epruvetelor, chiar și după 21 de zile de la tratament, acestea, datorându-se faptului că solvenții nepolari, au o penetrabilitate crescută, dar și o evaporare mai lentă.

4.2.7 Determinarea eficienței tratamentului de consolidare prin metoda durității HM

Metoda de determinare a durității lemnului, este în fapt o modalitate de evaluare a stării lemnului, atât pentru acela deteriorat, căruia i se stabilește nivelul de degradare, cât și ca măsură a eficienței tratamentului de consolidare, aplicat lemnului policrom din bunurile de patrimoniu supuse restaurărilor științifice.

Epruvetele din lemn deteriorat sunt aceleași 22 de piese folosite la tratamentul de consolidare, epruvete cu dimensiuni de, 20 x 20 x 30 mm; 20 x 20 x 300 mm; 50 x 50 mm. Similar sunt executate, cu aceleași dimensiuni, epruvete din lemn sănătos ca repere de comparație. Măsurările sunt efectuate la 21 de zile de la primul tratament și la 60 de zile de la ultimul tratament. Epruvetele sunt testate cu aparatul Mark 10 determinând duritatea HM, iar aceasta este comparată cu duritatea HB (Hardnes Brinell). Testele pentru HB au fost realizate pe standul din cadrul laboratorului de încercări mecanice al Universității Transilvania Braşov.

În acest capitol, folosindu-ne de versatilitatea aparatului Mark 10, arătăm că valorile de duritate sunt modificate la piesele cu tratamente de consolidare. Considerăm aceleași interpretări ale epruvetelor BI, BII, BIII ca reprezentând epruvetele:

BI 1-7 consolidate în Paraloid B72 solubilizat în Amestec (Acetat de Etil+ Toluen 1:1)

BII 8-14 consolidate în Paraloid B72 solubilizat în Acetonă

BIII 15-22 consolidate în Rexil solubilizat în D 40

Măsurările de duritate HM sau realizat ținându-se cont de etapele de consolidare, pentru a marca evoluția nivelului de consolidare, iar epruvetele se vor organiza astfel:

A14 = duritatea HM a lemnului netratat (**LF**)

A15 = duritatea HM a lemnului cu 1 tratament de consolidare (**LT1**)

A16 = duritatea HM a lemnului cu tratament multiplu (**LTM**)

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Pentru a determina duritatea lemnului pentru toate cele trei condiții, se va utiliza formula de calcul pentru HM (ecuația 3.7).

De aici valorile răspunsului la consolidare pentru **BI**, sunt corelate cu duritățile rezultate astfel:

Duritatea lemn fără tratament (LN, A14) cu lemnul după tratament (LT1,A15)

Lemnul tratat multiplu LTM A16 cu lemnul după tratament (LT1,A15)

Lemnul tratat multiplu LTM A16 cu lemn fără tratament (LN, A14)

Tabel 4. 27 Valori de duritate pentru epruvetele aflate sub tratamentul BI

	Codificare	A15 (LT1)	A14(LN)	A16(LTM)	A15 (LT1)	A16(LTM)	A14(LN)
BI	Valori HM (N/mm ²)	10,53	8,55	11,94	10,53	11,94	8,55
	Eficiență (%)	23,16		13,39		39,65	

În etapa I de consolidare (conform tabelului 4.27), duritatea se îmbunătățește cu 23,16% crescând de la 8,55 HM la 10,53 HM. În etapa II se îmbunătățește cu 13,39 % față de etapa anterioară 11,94 HM față de 10,53 HM. Pentru consolidarea multiplă produsă în etapa III, creșterile de duritate HM, sunt de 39,65% respectiv 11,94 HM față de 8,55 HM, față de lemnul fără tratament. Constatăm că Eficiența tratamentului este relevantă în creșterea durității de la o etapă la alta.

În tabelul 4.29 se vor evidenția mediile valorilor de duritate HM, pentru epruvetele tratate în B72 solubilizat în Acetonă.

Tabel 4. 29 Valori de duritate pentru epruvetele aflate sub tratamentul BII

	Codificare	A15(LT1)	A14(LN)	A16(LTM)	A15(LT1)	A16(LTM)	A14(LN)
BII	Valori HM (N/mm ²)	14,85	12,87	16,83	14,85	16,83	12,87
	Eficiență(%)	15,38		13,33		30,77	

Observând tabelul 4.29, la tratamentul BII obținem următoarele valori:

La finalul etapei I (A15) creșterea este de 15,38% față de lemnul netratat (A14), în etapa II de tratament creșterea (de la A15, la A 16) este de 13,33% iar diferența de creștere între lemnul cu tratament multiplu (A16) și cel ne tratat (A14) este 30,77%.

Însă, dacă analizăm cele două epruvete de referință BI și BII care au același număr de tratamente și același tip de consolidant B72, dar solubilizat în solvenți diferiți, observăm că la etapa I între cele două epruvete BI și BII epruvetele BI au duritate mai mare cu 31,08% (4,78 HM) față de epruvetele BII. În etapa a II-a valorile sunt sensibil egale, iar dacă comparăm lemnul fără tratament cu acela cu tratament multiplu, între cele două vase de tratament, constatăm că epruvetele din BI au duritate crescută față de acelea din BII, cu 28,86%, creștere evidentă în principal în etala I de tratament.

Cu toate acestea din punct de vedere al restaurării, considerăm că Paraloidul B72 solubilizat în Amestecul de solvenți (Acetat de etil și Toluen 1:1), nu afectează:

- stabilitatea dimensională și planeitatea

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

- permeabilitatea și penetrabilitatea consolidantului este cel puțin la fel de bună ca și pentru solventul Acetonă;
- duritatea se îmbunătățește, sensibil egal, pentru lemnul degradat consolidat cu B72, solubilizat în amestec, comparat cu Acetona, iar acestea pot fi argumente, ca acest amestec să fie utilizat pentru restaurarea lemnului policrom.

Măsurările au prezentat eficiența tratamentelor, determinată prin metoda durității HM, metodă elaborată în această cercetare a arătat valori diferite, care altfel, ar fi fost mai greu de sesizat și marcat. Acesta este un argument pentru utilizarea metodei minim invazive și a dispozitivului Mark 10 adaptat, pentru determinarea durității lemnului înainte, în timpul și după tratamentele de consolidare. Utilitatea acestei metode este pusă în valoare de posibilitatea determinărilor pe întreaga suprafață a panourilor, care indică efectiv în momentul măsurărilor, nivelul pentru acel moment al durității lemnului.

Prin aceste tratamente se confirmă că atât **duritatea**, cât și reducerea sorbției de apă prezintă îmbunătățiri considerabile, iar acestea, conduc la posibilitatea argumentării (eficienței) tratamentului efectuat.

4.3.1 Consolidarea cu lemn de balsa- alternativă pentru a înlocui completările cu lemn din aceeași esență care îngreunează suplimentar panourile deteriorate

Balsa, este un lemn provenit din pădurile tropicale ale Americii, Ecuadorul este unul din statele exportatoare importante, ale acestui tip de esență. Conform (*Wood database*) și (*Wood Handbook*, 2010), este un lemn ușor cu densitate medie 150-180kg/m³, cu o colorație alb-roz, cu aspect catifelat. Având peretele celular subțire, densitatea, rezistența mecanică și duritatea sunt reduse. Valori de contragere: R= 3%, T=7,6% și V=12%. Ca urmare a numeroaselor intervenții de restaurare, evidențiem un exemplu de intervenție, în care suportul a prezentat importante degradări și a fost necesară elaborarea unui concept privind refacere pe urme de fracturare, a completărilor (fig. 4.32. a, b). Faptul că, pe zona de față există un strat pictural, a necesitat o atenție deosebită, în sensul că „proteza” trebuia să se înglobeze în cadrul suportului deosebit de degradat, iar startul pictural, cu urme de fracturare neuniforme, a impus, urmărirea conturului neregulat, al celor două fragmente detașate.



a. Înainte de restaurare vedere față b. Înainte de restaurare vedere verso

Fig.4.32 Icoana Inv. 766. Înainte de restaurare. Fracturare diferențiată cu pierderea zonei mediane

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne



a. Vedere frontală b. Vedere dinspre verso

Fig.4.33 Icoana Inv. 766. După restaurare (Original LRCX)

Dimensiunile panoului constitutiv, prin similaritate cu alte panouri din același ansamblu, au fost 280x335 mm, iar suprafața panoului de cca 938 cm²; pierderile pe suprafața pictată – cca. 218 cm², iar cea a versoului cca. 183 cm² (fig. 4.34).

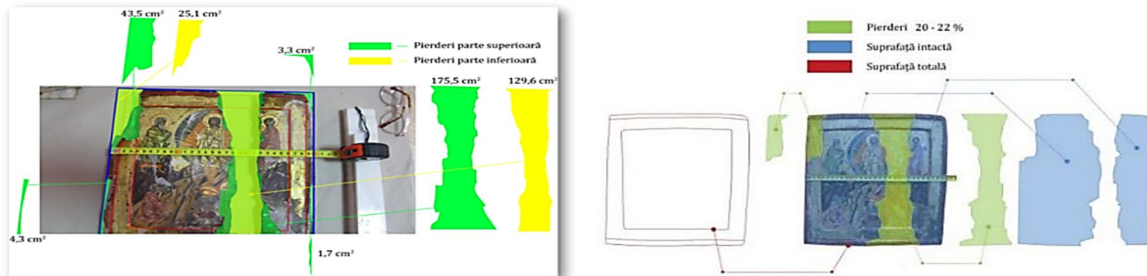


Fig. 4.34 Cartografierea și reprezentarea grafică a fragmentului original și a fracturilor cu pierderi de suport (după Ionescu 2014)

Această intervenție, a generat o serie de cercetări și studii care s-au încununat cu înregistrarea la OSIM (-RO 131858-A0 0981/07.12.2016), a unei cereri de Brevet de Invenție „Procedeu de consolidare - restaurare și monitorizare a obiectelor de patrimoniu pe suport din lemn” (Ionescu și Lunguleasa, 2016, 2017).

4.3.2 Posibilitatea utilizării lemnului supus tratamentului termic, în vederea consolidării panourilor policrome deteriorate din bunurile culturale

Termotratarea lemnului. Este un procedeu netoxic și ecologic, cu multe beneficii, cu posibilitatea aplicării în domeniul restaurării lemnului policrom. Viitaniemi, 1997, Olărescu ș. a., 2011 spun că temperatura înaltă îmbunătățește stabilitatea dimensională, reduce higroscopicitatea și produce o creștere a rezistenței lemnului la atacul fungilor. Prezenta cercetare dorește să implementeze și să coreleze rezultatele științifice, din domeniul industrial, cu privire la termotratarea lemnului și să le adapteze pentru domeniul de conservare și restaurare a obiectelor de patrimoniu cu suport din lemn. Observațiile pentru lemnul tratat termic se fac asupra a două esențe des regăsite în bunurile de patrimoniu: **lemn de tei** (*Tilia cordata*) și **lemn de molid** (*Picea abies*).

Procesul adaptat în acest studiu a fost în acord cu principiul ThermoWood, patentat de Viitaniemi și colab. (1997), însă valorile de referință sunt dezvoltate în trei etape, prima etapă este aceea de încălzire

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

la 105°C, o oră cea de a doua etapă ridicarea la temperatura de 180°C și menținerea ei timp de 1, 2 sau 3 ore, și etapa a treia, în care se face revenirea treptat pe un interval de 8 până la 24 de ore. Lemnul testat a avut umiditatea, înainte de tratament, sub 14%, iar „temperatura a fost ridicată treptat astfel ca lemnul să nu aibă diferențe mai mari de 30°C între temperatura cuptorului și aceea a lemnului și nici diferențele temperaturii lemnului să nu fie mai mari de 30°C între suprafața și miezul acestuia” (Viitaniemi ș. a., 1997).

4.3.3 Observații asupra lemnului de tei supus tratamentului termic. Modificări dimensionale și de masă (densitate)

Scopul acestui studiu: Observații privind pierderile de masă, odată cu reducerea procentului de umiditate (de la 12-14% la 0% U), în kg/m³; analizarea și observarea modificărilor dimensionale; efectul tratării termice asupra durității. Pentru realizarea, testelor a fost utilizat tei cu frunze mici (*Tilia cordata Mill.*). Eșantioane de lemn (dimensiuni de 335 x 75 x 14 mm) au fost tăiate conform principalelor secțiuni anatomice. S-a determinat masa și volumul la un număr de 5 eșantioane din lemn de tei (*Tilia cordata Mill.*), având inițial o umiditate de 13-14% și o densitate cu valori cuprinse între 518,84 și 577,86 kg/m³, cu o medie de 539,42 kg/m³, conform cu tabelul 4.32. Pentru acest experiment, s-a dorit observarea pierderilor de masă de la o etapă la alta, în funcție de creșterea valorilor de temperatură. Prin încălzirea la temperaturi înalte și în timp îndelungat, lemnul cedează umiditate până aproape de 0% ceea ce conduce la modificarea densității aparente, conform Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Diferențele pierderilor de masă, pentru lemnul de tei, în funcție de temperatura tratamentului termic

Cod	Densitate inițială pentru U < 14% kg/m ³	Densitate la 105°C kg/m ³	Pierderi de masă în urma echilibrării termice la 105°C		Densitate la 160°C	Pierderi de masă în urma Termotratării la 160°C		Densitate la 180°C	Pierderi de masă în urma Termotratării la 180°C	
			kg/m ³	%		kg	%		kg	%
TW1	526,18	514,85	11,33	2,20	493,56	32,62	6,61	474,62	51,56	10,86
TW2	521,70	511,11	10,59	2,07	487,34	34,36	7,05	471,36	50,34	10,67
TW3	518,84	506,81	12,03	2,37	483,54	35,30	7,30	470,48	48,36	10,28
TW4	577,86	563,53	14,33	2,54	532,78	45,08	8,46	512,85	65,01	12,67
TW5	552,55	538,73	13,81	2,56	513,87	38,68	7,53	496,24	56,31	11,35
Medie	539,42	527,01	12,41	2,35	502,22	37,20	7,41	485,11	54,31	11,19

Dacă analizăm valorile din figura 4.41, sunt vizibile modificări dimensionale diferite pe cele două secțiuni (tangențial și radial) în funcție de temperatura de tratament la care au fost supuse epruvetele. Diferențe între contragerile produse de temperaturile de tratare, prezintă următoarele valori medii (fig. 4.41): contrageri pe tangențial la: 160°C = **0,95 mm** și **1,14%**, iar la 180°C = **1,30 mm** și **1,64%**;

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

pentru radial la: 160°C = 0,25 mm și 0,33%, iar la 180°C = 0,94 mm și 1,35%

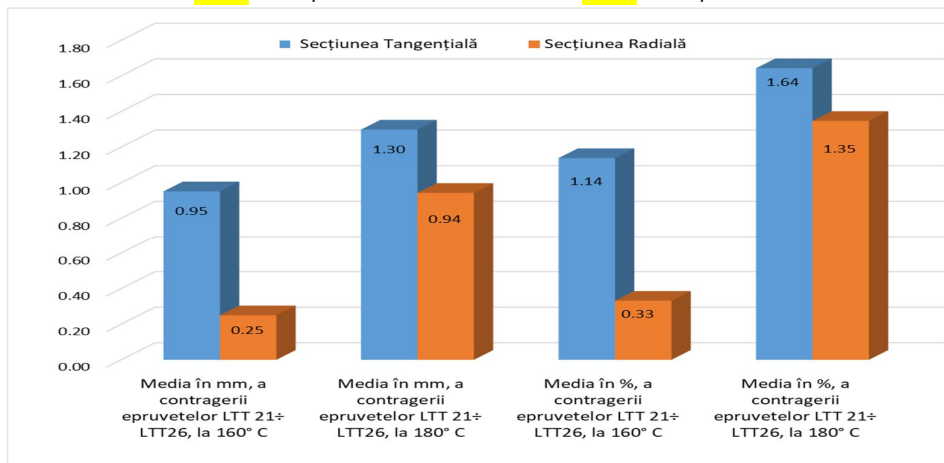


Fig 4.41 Reprezentarea mediilor contragerilor celor cinci epruvete LTT21÷ LTT26 produse de temperaturile de tratare 160°C și 180°C, în (mm) și (%)

Pentru determinarea pierderilor de masă (PM) a epruvetelor, prezentate în tabelele 4.34 și 4.35, în funcție de tratamentul termic, se va utiliza ecuația (4.12).

$PM = \frac{m_i - m_f}{m_f} \cdot 100$	4.12
----------------------------------------	------

Unde: PM = pierderi de masă

m_i = masa inițială

m_f = masa finală

Tabel 4.34 Pierderi de masă a lemnului de tei, în urma tratamentul termic la 160°C

Codificare epruvetă	Masa inițială (M_i) [g]	Masa finală (M_f) [g]	Diferența pierderilor de masă între M_i și M_f	
			[g]	[%]
TT21	193,66	187,76	5,90	3,14
TT22	194,54	188,53	6,01	3,19
TT23	158,07	154,22	3,85	2,49
TT24	160,15	154,97	5,18	3,34
TT25	159,86	154,92	4,94	3,18
TT26	190,02	185,25	4,77	2,75
Valori medii			5,11	3,02

Tabel 4.35 Pierderi de masă a lemnului de tei, în urma tratamentul termic la 180°C

Codificare epruvetă	Masa inițială (M_i) [g]	Masa finală (M_f) [g]	Diferența pierderilor de masă între M_i și M_f	
			[g]	[%]
TT21	193,66	185,30	8,36	4,51

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

TT22	194,54	186,14	8,40	4,52
TT23	158,07	152,37	5,70	3,74
TT25	159,86	153,39	6,47	4,22
TT26	190,02	182,00	8,02	4,41
Valori medii			7,39	4,28

În aceeași notă, constatăm că la temperatura de 160°C și timp de două ore, pierderile de masă au valori medii de 5,11 g, respectiv, 3,02%, iar pentru temperatura de 180°C, două ore, valorile medii ale pierderile de masă sunt 7,39 g și 4,28%. Diferența între cele două tratamente este de 2,28 g și respectiv 30,85%, pierderile sunt mai mari la temperatura de 180°C, în comparație cu tratamentul făcut la 160°C (fig.4.42 a, b).

4.3.5 Modificări dimensionale după imersie în apă, a lemnului de tei tratat termic

S-a pregătit un număr de 9 epruvete, cu dimensiuni 40x 74x 14 mm ±1, din care 6 termotratate iar 3 epruvete sunt fără tratament.

Scop: Se dorește observarea comportamentului lemnului termotratat, comparativ cu lemnul fără tratament. Modificări dimensionale pe cele două secțiuni anatomice și a masei absorbite, în funcție de tratamentul termic aplicat, după imersia în apă până la PSF.

Tabel 4.37 Determinări de masă și dimensionale- umflare pe direcția tangențială și radială imediat după extragerea din apă și la 24 de ore de uscare liberă, pentru cele trei tipuri de epruvete din lemn de tei, netratat termic, cu tratament la 160 °C și cu tratament termic la 180 °C timp de 2 ore.

	Cod epruv.	Valori măsurate					
		Mărimi determinate	Inițial	După imersare în apă 60 min. până la PSF		După uscare 24 h	
			A *	B*	C*	D *	E *
TM. Epruvete din tei fără tratament termic, 11% U. lemn	TM 01	Masă (g)	23,76	28,24	4,48	26,16	2,40
		Dim. Tg. (mm)	73,81	75,98	2,17	76,38	2,57
		Dim. Rad. (mm)	13,40	14,01	0,61	14,06	0,66
	TM 02	Masă (g)	23,79	27,69	3,90	26,02	2,23
		Dim. Tg. (mm)	73,71	75,61	1,90	76,01	2,30
		Dim. Rad. (mm)	13,44	14,12	0,68	14,17	0,73
	TM 03	Masă (g)	23,67	28,04	4,37	25,42	1,75
		Dim. Tg. (mm)	73,94	75,94	2,00	76,34	2,40
		Dim. Rad. (mm)	13,39	14,09	0,65	14,14	0,75
Epruvete din tei	TT 5.1	Masă (g)	19,73	24,67	4,94	21,81	2,08
		Dim. Tg. (mm)	73,66	74,81	1,15	76,28	2,62
		Dim. Rad. (mm)	13,22	13,38	0,16	13,64	0,42
	TT 5.2	Masă (g)	19,92	23,58	3,66	21,53	1,61

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

	Cod epruv.	Valori măsurate						
		Mărimi determinate	Inițial	După imersare în apă 60 min. până la PSF		După uscare 24 h		
			A *	B*	C*	D *	E *	
Epruvete din tei termotratat la 180 °C (2ore) < 4% U.lemn		Dim. Tg. (mm)	73,77	74,69	0,92	74,73	0,96	
		Dim. Rad. (mm)	13,25	13,42	0,17	13,57	0,32	
		TT 5.3	Masă (g)	19,78	23,52	3,74	20,95	1,17
		TT 5.3	Dim. Tg. (mm)	73,61	74,58	0,97	74,30	0,69
			Dim. Rad. (mm)	13,12	13,38	0,26	13,44	0,32
			TT 6.1	Masă (g)	19,39	22,86	3,47	20,90
		TT 6.1	Dim. Tg. (mm)	73,57	74,10	0,53	74,26	0,69
			Dim. Rad. (mm)	13,09	13,18	0,09	13,19	0,10
			TT 6.2	Masă (g)	19,29	22,47	3,18	20,58
		TT 6.2	Dim. Tg. (mm)	73,24	73,98	0,74	74,73	1,49
			Dim. Rad. (mm)	13,09	13,20	0,11	13,33	0,24
			TT 6.3	Masă (g)	19,54	23,67	4,13	20,76
	TT 6.3	Dim. Tg. (mm)	73,08	73,87	0,79	74,42	1,34	
		Dim. Rad. (mm)	13,27	13,35	0,08	13,32	0,05	

*A** = Parametrii inițiali ai epruvetelor; *B** = Mărimea epruvetelor după imersia în apă;

*C** = Diferența dintre parametru B și A; *D** = Mărimea epruvetelor după 24 de ore de uscare;

*E** = Diferența dintre parametru A și D;

Conform tabelului de mai sus (tabel 4.37) putem constata următoarele modificări de **masă** și dimensionale - **umflare**, pentru trei tipuri de epruvete: lemn de tei fără tratament, cu umiditatea de 11%. Lemn de tei tratat termic la 160°C, timp de 2 ore și lemn de tei tratat termic la 180°C timp de 2 ore.

Epruvetele au fost imersate în apă până la atingerea punctului de saturație al fibrei (PSF) 30% (măsurat la lemnul fără tratament, control), timp de o oră; după extragere, epruvetele au fost dispuse pe o hârtie absorbantă, după care cântărite și măsurate pe direcția tangențial și radial. Se dorește observarea modificărilor dimensionale și de masă, inițiale, imediat după extragerea din imersie și după uscare liberă timp de 24 ore.

În tabelul 4.38 se pot observa modificările de masă (g), privind absorbția apei pentru epruvetele din lemn netratat și lemn tratat termic, imediat după extragerea din imersie. Calculul absorbției de apă se efectuează cu formula 4.13.

$S_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{M_{min}} \cdot 100\%$	4.13
-------------------------------------------------------	------

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Unde,

Sa= procentul de apă sorbit

M_{max} = Masa epruvetei imediat după extragerea din apă

M_{min} = Masa epruvetei la $U \leq 4\%$

Tabel. 4.38 Cantitatea totală de apă absorbită (până la PSF) în (%) pentru următoarele epruvete TM, TT 160°C, TT 180°C.

Cantitatea de apă absorbită [%]			
	*TM	**TT 160°C	**TT 180°C
	18,85	20,02	15,17
	16,39	15,52	14,15
	18,46	15,9	17,44
Medie	17,90	17,14	15,58

*TM - *tei martor*

**TT 160°C; TT180°C- *tei tratat termic la temperaturile indicate*

(PSF se referă doar la lemnul fără tratament)

Constatăm că valorile medii ale absorbției de apă tabel 4.40 pentru lemnul netratat sunt de 17,90%, pentru lemnul tratat la 160°C sunt de 17,14 %, iar pentru lemnul cu tratament termic la temperatura de 180°C absorbția de apă este de 15,58 %. Diferența de absorbție între lemnul fără tratament și acela cu tratament termic la 180°C este de 14,89 %, mai redusă pentru lemnul tratat termic, iar dacă raportul se face la lemnul tratat termic la 160°C față de acela netratat, absorbția de apă este de 4,43%. Absorbția de apă este diferită în funcție de tipul de tratament termic. Comparând absorbția de apă dintre tratamentele la 160°C și 180°C, se constată o absorbție mai redusă cu 10,01%, pentru lemnul tratat la 180°C. Lemnul supus tratamentului termic își modifică proprietățile chimice, la nivelul componentelor organice, celuloză, hemiceluloză, lignină, odată cu creșterea temperaturii tratamentului, în acord cu Kaymakci și Akyildiz, 2011, Oltean ș. a., (2007), care arată că „atunci când lemnul este expus la temperaturi ridicate, hemicelulozele sunt parțial descompuse, influențând astfel capacitatea de absorbție a apei în lemn.”

După 24 de ore de uscare liberă se poate observa că lemnul netratat menține, în medie, 2,13 g apă respectiv 8,95%. Comparativ cu 1,62 g și 8,17%, pentru epruvetele tratate la 160°C iar pentru cele tratate la 180°C, 1,34 g, respectiv 6,90%. Se constată că lemnul la 160°C a cedat umiditate de 9,54%, iar lemnul tratat la 180°C, a cedat 29,71% din cantitatea de apă, comparativ cu lemnul fără tratament. Lemnul cu tratament termic la 180°C, cedează umiditatea mult mai repede decât lemnul tratat la 160°C sau cel fără tratament. În tabelul 4.40 se poate observa absorbția și desorbția diferențiată pentru cele trei tipuri de epruvete.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Tabel 4.40 Modificările de masă, comparativ pentru cele trei tipuri de epruvete, tei netratat, tei tratat la 160°C și tei tratat la 180°C.

Masa apei absorbite și a cele rămase după 24 ore de uscare [g]								
TM01÷03			TT 5.1 ÷ TT5.3 160°C			TT6.1÷ TT6.3 180°C		
Imediat după extragere a din apă <i>A</i>	La 24 ore după uscare a liberă <i>B</i>	Apa rămasă în lemn. Raport <i>B</i> și <i>A</i> %	Imediat după extragere a din apă <i>A</i>	La 24 ore după uscare a liberă <i>B</i>	Apa rămasă în lemn. Raport <i>B</i> și <i>A</i> %	Imediat după extrager ea din apă <i>A</i>	La 24 ore după uscarea liberă <i>B</i>	Apa rămasă în lemn. Raport <i>B</i> și <i>A</i> %
4,48	2,40	53,57	4,94	2,08	47,27	3,47	1,51	43,51
3,90	2,23	57,18	3,66	1,61	43,98	3,18	1,29	40,56
4,37	1,75	40,04	3,74	1,17	31,28	4,13	1,22	29,53
Media masei absorbite aferentă fiecărui grup de epruvete								
4,25	2,13	50,26	4,11	1,62	40,84	3,59	1,34	37,87

A= masa, imediat după extragere, a apei absorbite;

$$\% \text{ de apă rămasă} = \frac{B}{A} \cdot 100$$

B= masa apei rămase în lemn după 24 de ore de uscare liberă;

Analizând tabelul 4.37, modificările dimensionale pe cele două secțiuni, tangențială și radială, continuă și după extragerea din apă, în proporții variabile, în funcție de tratamentul la care a fost supus lemnul.

Comportamentul lemnului netratat, comparativ cu lemnul tratat termic din punct de vedere al stabilității dimensionale (în mm) valorile medii de umflare pe secțiunea tangențială și pe aceea radială (tabel 4.43) se constată că lemnul netratat (LnT= TM) prezintă un coeficient maxim de umflare, determinat cu formula (4.1) pe secțiunea tangențială, este de 2,42 mm; lemnul tratat la 160°C se umflă 1,42 mm și respectiv pentru acela tratat la 180°C, umflarea este 1,17mm. Pe secțiunea radială, umflarea este de 0,71mm pentru lemnul netratat (LNT/TM), 0,35mm pentru lemnul tratat termic la 160°C, respectiv 0,13mm pentru lemnul tratat termic la 180°C.

Tabel 4.41 Umflarea pe secțiune tangențială și radială, a lemnului de tei, în funcție de tratamentul fiecărui grup de epruvete, (TM) tei martor, (TT160°C) tei tratat termic, (TT180°C) tei tratat termic

Grup epruvete	Modificări dimensionale pe secțiune tangențială [mm]		Modificări dimensionale pe secțiune radială [mm]	
	Umflare în apă o oră	După 24 ore uscare liberă	Umflare în apă o oră	După 24 ore uscare liberă

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

TM	Medie	2,02	2,42	0,65	0,71
TT 160°C	Medie	1,01	1,42	0,20	0,35
TT 180°C	Medie	0,69	1,17	0,09	0,13

Analizând modificările dimensionale din tabelul 4.41, constatăm că mediile parametrilor de umflare atât pe secțiunea tangențială, cât și pe aceea radială, sunt mai crescute la lemnul netratat, iar modificările cele mai reduse sunt la lemnul tratat termic la 180°C.

O altă constatare în urma acestui experiment, este că, după 24 de ore de uscare liberă, a epruvetelor imersate în apă, acestea încă mențin în interior o cantitate de apă, care le modifică dimensiune continuând umflarea pe ambele secțiuni; Argumentul că există apă în epruvete se observă și din tabelul 4.37, pe coloana D, unde masa epruvetelor este mai mare decât la momentul inițial (coloana A) dar în scădere față de etapa extragerii imediate din apă (conform coloanei B).

Lemnul are joc dimensional, în funcție de tratament. Coeficienții de umflare volumetrică (Sw), sunt determinați cu formula (4.14). Pentru determinarea umflării volumetrice (Sw) este necesar să se calculeze volumul inițial (V_1) al epruvetei, după care, volumul lemnului saturat (V_2), ca rezultat al umflării epruvetei imersată în apă.

$Sw = \frac{V_2 - V_1}{V_2} \cdot 100 \quad (\%)$	4.14
---------------------------------------------------	------

Unde:

Sw = coeficienți de umflare, exprimați în procente (%)

V_2 = volumul lemnului saturat;

V_1 = volumul lemnului inițial

Rezultatele stabilității dimensionale în termeni de coeficient de umflare volumetrică (Sw) (Islam ș. a., 2012) sunt reprezentate în tabelul 4.42 (în Teză) iar rezultatele eficienței anti-umflare (ASE) sunt reprezentate în tabel 4.45, (în Teză) pentru probele de lemn netratate și tratate.

Analizând valorile obținute se constată că lemnul netratat (TM/ LNT) își modifică volumul, în medie, la 8,11%, față de 4,21% cât se modifică lemnul tratat la 160°C, respectiv la 2,56% cât este modificarea volumetrică a lemnului tratat termic la 180°C.

Pentru a obține valori ASE (eficiență anti-umflare) pentru lemnul tratat termic la 160°C și 180°C, raportat la lemnul netratat, se va calcula cu formula (4.15).

$ASE = \frac{LnT - LT}{L nT} \cdot 100\%$	4.15
-------------------------------------------	------

Unde,

LnT - este coeficientul de umflare volumetric al eşantioanelor netratate (conform cu tabelul 4.42

LT - este coeficientul de umflare volumetric al probelor tratate termic (160°C, respectiv 180°C, conform cu tabelul 4.42 din teză).

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Astfel observăm că din punct de vedere al ASE, lemnul tratat termic are stabilitate diferită în funcție de tratamentul la care a fost supus (tabel 4.43). Comparând eficiența anti umflare (ASE) între tratarea lemnului la 180°C și 160°C media este 68,32% față de 47,87%, de unde, rezultă o diferență între cele două tipuri de tratamente de 29,93%.

În concluzie, pentru cele două condiții de observare (mediu climatic controlat (4.3.4) și imersie (4.3.5) se constată că lemnul netratat absoarbe mai multă apă, producând în medie, o instabilitate dimensională- umflare, **cu 60% mai mare** față de lemnul căruia i s-a aplicat tratament termic.

Conform experimentului prezentat și în concordanță cu *Termowwod handbook*, care arată că lemnul se ameliorează prin tratamentul termic la temperaturi cuprinse între 185°C și 215°C, cercetarea raportează că, pentru intervențiile de restaurare (unde se intervine cu lemn nou, sănătos) valorile de 160°C și 180°C cu un timp expunere de 1 oră, pot aduce îmbunătățiri din punct de vedere al stabilității dimensionale. Lemnul de tei tratat termic are o bună stabilitate dimensională cu circa o treime față de lemnul netratat (Tabel 4.37 și 4.41) masa este mai redusă cu 3,41 % până la 18.38% (Tabel 4.38) și de asemenea din punct de vedere al durității, lemnul tofeiat până la 180°C, prezintă o creștere a acestui parametru cu valori cuprinse între 9,01% și 6,48% .

4.3.7 Duritatea lemnului de tei si molid după tratamente termice

S-au pregătit 5 eşantioane din lemn de tei (*Tilia cordata*) sănătos, condiționate timp de 60 de zile, în mediu controlat, T= 20 ±2°C, URH= 50 ±5%, care au fost supuse tratamentului termic, conform tabelului 4.32. Premergător tratamentului termic, s-au făcut determinări de duritate HM marcate în tabelul 4.51 pentru probele (TM W2 W3), iar după tratamentul termic, în zonele imediat apropiate primelor determinări, s-au repetat măsurările de duritate (pentru eşantioanele TTW2, TTW3) care se pot observa în tabel 4.52.

Tabel 4.51 Duritatea lemnului de Tei înainte de tratarea termică

	Valori HM înaintea tratamentului N/mm ²					Medie
TM	18,85	21,36	19,57	20,17	18,17	19,64
W2	18,55	19,15	20,76	20,15	19,65	19,65
W3	20,58	20,73	20,65	19,85	20,82	20,53

Tabel 4.52 Duritatea lemnului de Tei după tratarea termică la 160°C și 180°C 2 ore

	Valori HM după tratamentul termic N/mm ²					Medie
TTW2 160°C	19,25	21,85	23,87	21,36	20,76	21,42
TTW3 180°C	21,46	25,47	19,85	20,86	21,66	21,86

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Separat, s-au pregătit o a doua serie de epruvete din lemn de tei, cărora li s-a aplicat tratare termică timp de o oră, conform tabelelor 4.34 și 4.35. Densitatea medie a epruvetelor înainte de tratare termică a fost de $507,2 \text{ kg/m}^3$, având umiditatea $\leq 6\%$, obținută în urma echilibrării termice la temperatura de 105°C . Epruvetele tratate la 160°C , au ajuns la densitatea de $501,7 \text{ kg/m}^3$, iar acelea tratate la 180°C , au avut densitatea $496,1 \text{ kg/m}^3$. În vederea observării parametrilor de duritate HM, s-au măsurat și comparat, conform tabelului 4.53, valorile durității HM, a lemnului de tei netratat și acela tratat termic.

Tabel 4.53 Valori de duritate HM pentru lemnul de tei, înainte și după tratarea termică

Cod epruvete/ Temperatura de tratare	Media durității HM a epruvetelor testate fără tratament termic N/ mm ²	Media durității HM a epruvetelor testate cu tratament termic 160°C/ 1 oră N/ mm ²	Media durității HM a epruvetelor testate cu tratament termic 180°C/ 1 oră N/ mm ²	Creșterea durității HM după tratamentele termice %
TT 2.1; 2.2, 2.3. 2.6 180°C	27,43	-	29,14	6,27
TT 2.4; 2.5 160°C	22,75	24,65	-	8,35

Media generală pentru epruvetele TT 21, 22, 23 și 26 arată că duritatea HM este de $27,43 \text{ N/mm}^2$, pentru lemnul netratat, iar după tratament termic la 180°C timp de 1 oră, duritatea crește până la $29,14 \text{ N/mm}^2$; se remarcă o eficiență a durității HM cu $6,27\%$, obținută cu formula 4.18. Pentru epruvetele TT24 și TT25, duritatea lemnului înainte de tratament este de $22,75 \text{ N/mm}^2$, iar după tratamentul la 160°C , timp de 1 oră, duritatea crește la $24,65 \text{ N/mm}^2$, se constată o îmbunătățire de $8,35\%$.

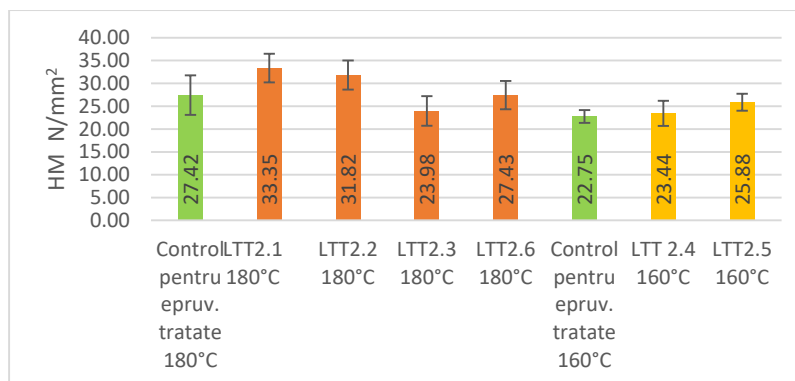


Fig. 4.47 Abaterea standard pentru duritate (HM), a epruvetelor tratate termic la 160°C și 180°C , comparate cu epruvetele netratate

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

În prezenta cercetare, constatăm o creștere a durității lemnului pentru tratamentul termic la 160 °C, timp de o oră, cu 8,35%, iar la temperatura de 180 °C, cu timp de 1 oră, creșterea este de 6,27%, comparativ cu lemnul netratat. Astfel se observă că o dată cu creșterea temperaturii și/sau a timpului de expunere mai mare de 1 oră, duritatea scade. În acord cu Percin ș. a. (2016) care raportează, în studiul lor în tabelul 2 și 3, pp.448-449, că duritatea prezintă creștere a în urma tratamentului termic la temperatura de 150°C timp de 1 oră, pe secțiune tangențială, cu 5,20% față de lemnul netratat însă, începând cu expunerea lemnului la temperatură în creștere și chiar la aceeași temperatură dar la un timp mai mare de 3 ore, duritatea scade sub aceea de la începutul tratamentului.

În aceeași manieră, s-a procedat și cu epruvetele din lemn de molid, care, conform tabelului 4.44, au fost tratate termic la 180 °C la 3 ore și 6 ore și tratare termică la 200 °C timp de 3 și 6 ore; s-a măsurat duritatea HM înaintea tratării termice și ulterior tratării. Epruvetele din lemn de molid, netratate termic au avut valori de duritate de 15,03 N/mm². Se constată că temperatura de tratare influențează duritatea lemnului de molid; Duritatea a scăzut la epruvetele tratate termic la 180 °C/3 ore, iar valorile medii au fost 14,26 N/mm², duritatea este (- 5,12%), în comparație cu lemnul fără tratament. Duritatea epruvetelor tratate la 200 °C/3 ore, a scăzut și mai mult, iar media valorilor au fost 13,08 N/mm², (- 12,97%) raportate la lemnul fără tratament. În consecință, se remarcă faptul că, la temperaturi mai înalte de 180 °C și timp de tratare mai mare de 1 oră, duritatea lemnului se reduce sub valorile de dinainte de tratamentul termic, iar când tratarea termică trece de 200 °C, constatăm o pierdere a durității cu 12,97% față de lemnul netratat termic.

În concluzie, duritatea HM a lemnului (de tei și molid) se ameliorează prin tratamentul termic la temperaturi de până la 180 °C, cu timp de tratare de 1 oră; cercetarea arată că pentru intervențiile de restaurare (atunci când sunt necesare completări cu lemn nou) tratarea termică la 160 °C și 180 °C, timp de tratare de o oră, poate aduce îmbunătățiri din punct de vedere al durității.

În acord cu literatura de specialitate, unde se arată că proprietățile mecanice ale lemnului tratat termic, sunt diminuate, cu valori între 0-30% (Jämsä și Viitaniemi, 2001; Homan 2015) însă, din punct de vedere al durității, raportările sunt diferite: Jämsä și Viitaniemi (2001) nu au raportat modificări de duritate a suprafeței, Araújo ș.a. (2016) susțin că modificările de duritate (Janka) sunt diferite în funcție esență și de temperatura de tratare. De asemenea, autorii nu raportează influențe negative semnificative, dimpotrivă, pentru anumite esențe duritatea se îmbunătățește după tratamentul termic. Won ș.a. (2012) prezintă că la o specie de mesteacăn (Betula costata) duritatea HB a crescut cu 16% în urma tratamentului termic la 175°C, în timp ce aceeași esență, la temperatura de tratare de 200°C, duritatea scade cu 6%. Rezultate similare, de scădere a durității în urma tratamentului termic, au obținut și Karamanoğlu și Akyildiz (2013) care susțin că tratamentele termice la temperaturi joase cresc duritatea, dar o dată cu creșterea temperaturii de tratament, duritatea scade considerabil. Percin ș.a. 2016, afirmă că duritatea lemnului de fag, este în creștere în fazele de început ale tratamentului la 150°C timp de 1 și 3 ore, după care, o dată cu creșterea temperaturii și a timpului de tratare, duritatea scade.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

5. CONCLUZII GENERALE

Lucrarea de cercetare prezintă pornește de la premise teoretice și ajunge în urma experimentelor efectuate să ofere o bază de date consistentă și să facă recomandări pentru domeniul restaurării și conservării bunurilor de patrimoniu. Dată fiind problematica complexă a consolidării și stabilizării lemnului conținut în obiectele de patrimoniu, în vederea rezolvării problematicii cercetării, s-au utilizat metode tehnologice, chimice și mecanice.

Toate activitățile de cercetare din cadrul lucrării au fost subordonate obiectivelor principale (conform cap. 2) stabilite la începutul cercetării și în urma studiului critic al cercetărilor (conform cap. 1) în domeniul temei.

În ceea ce privește rezolvarea problematicii **primului obiectiv**, s-au identificat 4 metode principale (conform cap. 3), respectiv prin utilizarea densităților lemnului; prin determinarea porozității excesive a lemnului pe suprafață și în volum, provocat de insectele xilofage; prin duritatea Brinell, și cu ajutorul dispozitivului de înțepare a lemnului, cu aparatul Mark 10. Fiecare metodă este demonstrată prin câte 5 exemple concrete, specifice unor obiecte de patrimoniu restaurate în cadrul laboratorului de restaurare.

În ceea ce privește concluziile legate de rezolvarea problematicii celui de-**al 2-lea obiectiv** al cercetării, respectiv alegerea lemnului nou care să completeze lipsurile din suportul lemnos al obiectului de patrimoniu, s-a găsit că lemnul de balsa (*Ocroma lagopus*) este cea mai buna soluție. Aceasta specie exotică cu o densitate foarte mică de 150-180 kg/m³, nu încarcă excesiv panoul lemnos, nu creează tensiuni suplimentare și deformații în noua structură lemnoasă și este compatibil cu alte specii lemnoase cum este teiul care se regăsește în obiectele de patrimoniu degradate.

Ample cercetări s-au realizat pentru rezolvarea problematicii **obiectivului 3** al lucrării respectiv dezvoltarea de **metode și materiale pentru stabilizarea, consolidarea și reducerea variațiilor dimensionale ale lemnului degradat** din obiectele de patrimoniu. De asemenea, prin observarea unui panou degradat s-a constatat că acesta are umflări și contrageri minore, comparativ cu cele ale lemnului nou.

Pe direcția consolidării cu rășini sintetice s-a constatat ca epruvetele folosite în cercetare au absorbit consolidant ce reprezintă valori de 24% pana la 60% din masa pierduta prin degradare.

În ceea ce privește influența solventului asupra stabilității dimensionale a lemnului, s-a observat că acetona produce creșteri dimensionale cu mult mai mari decât amestecul de acetat de etil + toluen, valoarea creșterilor la umflare pe secțiunea tangențială este cuprinsă între 2 și 7,68%.

Eficiența tratamentului de consolidare cu rășini sintetice este mai bună când se fac tratamente combinate cu Rexil și B72, al doilea tratament fiind făcut la un interval mai mare de 72 ore de la primul tratament. De asemenea utilizarea la consolidare a rășinilor cu masa moleculară redusă și a solvenților cu polaritate scăzută prezintă ca avantaje principale o rezistență mărită la îngălbenire și o solubilitate mărită în solvenți nepolari.

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

În ceea ce privește retenția de consolidant în lemn s-au remarcat valori mai mari la tratamentul cu Rexil, cu o retenție cu 216,9% mai mare decât tratamentul cu B72 și acetonă dar cu o evaporare mai lentă. De aici concluzia ca amestecul de Rexil și B72 conduce la o creștere a rezistențelor mecanice chiar dacă există un timp de evaporare mai mare între tratamente.

În ceea ce privește comportamentul la imersia în apă a lemnului tratat s-a constatat că tratamentul cu Paraloid B72 în acetonă a fost varianta cea mai eficientă. Absorbția de apă fiind mai mică cu 270% față de lemnul netratat. Tratamentul cu B72 solubilizat în amestec a redus absorbția cu 164%, iar cel mai puțin eficient a fost tratamentul cu Regalez solubilizat în White spirit care a redus absorbția de apă cu numai 47%.

Ameliorarea, în urma tratamentului de consolidare cu rășini sintetice, a fost stabilită prin determinarea durtății Mark, ale căror valori au pus în evidență chiar mărirea caracteristicilor după fiecare etapă a tratamentului de consolidare. Aceste valori intermediare nu ar fi putut fi evidențiate fără această metodă de determinare, care a evaluat întreaga suprafață consolidată. Se evidențiază de asemenea faptul că mărirea durtății lemnului conduce la creșterea rezistențelor acestuia și la reducerea absorbției de apă.

Rezolvarea experimentală a **obiectivului 4** al lucrării respectiv **utilizarea tehnicilor de tratare termică și învechire artificială a lemnului care se introduce în obiectele restaurate**, folosind teiului tratat termic (cap. 4.3.3) și a molidului tratat termic (cap. 4.3.6). S-a demonstrat că lemnul de molid vechi din recuperări este mai stabil dimensional iar tratamentul termic la 160 și 180°C conduce la reducerea sorbției de apă cu 62-72% față de lemnul netratat. De asemenea duritatea lemnului de tei, testată cu aparatul Mark, a crescut de la 27,42 N/mm² pentru lemnul netratat la 29,14 N/mm² la tratarea la 180°C timp de 1 oră, adică o îmbunătățire cu 6,27%. Dacă tratamentul se face la 160°C timp de 1 oră s-a constatat creșterea durtății Mark de la 22,75 N/mm² înainte de tratare, la 24,65 N/mm² după tratare adică, o creștere cu 8,35%.

În ceea ce privește utilizarea lemnului tratat termic pentru restaurare, pot exista dezavantaje sau incompatibilități: - lemnul tratat termic nu este recomandat pentru structuri de rezistență; lipirea panourilor cu cleiuri proteice în soluții apoase, pot produce neajunsuri din punct de vedere al rezistenței la înclieiere; întunecarea lemnului după tratamentul termic, ar putea crea o problemă din punct de vedere estetic, în vederea integrării cromatice unitare (a versoului).

5.1 Contribuții originale

Prin cercetările teoretice și experimentale efectuate în această lucrare s-a dorit obținerea de soluții și metode originale care să vină în sprijinul cercetătorilor, inginerilor, tehnicienilor și restauratorilor de bunuri culturale de patrimoniu. Aceste contribuții originale se adresează mediului academic, dar mai ales personalului din laboratoarele de restaurare și constau în următoarele:

- S-a efectuat un studiu exhaustiv asupra literaturii de specialitate existente la ora actuală în țară și străinătate (cap. 1), cu intenția clară de a găsi punctele vulnerabile, mai puțin studiate sau

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

- neabordate. Pe baza acestui studiu și a concluziilor acestuia s-au găsit direcțiile de cercetare ale lucrării, stabilite sub forma obiectivelor cercetării (cap. 2);
- S-au identificat 4 metode de determinare a gradului de fragilitate a suportului lemnos folosit în obiectele de patrimoniu, respectiv metoda densităților, metoda porozității excesive cauzată de insecte, metoda durităților și metoda înțepării lemnului cu ajutorul dinamometrului Mark 10 cu vârf special (cap. 3).
 - S-a elaborat o definiție a nivelului de deteriorare, pe baza metodelor de evaluare și a formei de manifestare, dispusă pe 5 niveluri (trepte) de la 1 la 5, nivelul 5 fiind cel mai grav. Totodată s-a raportat o evaluare graduală, pe trei trepte, minimal, mediu și extins, rezultat al nivelului procentual de deteriorare ca efect al intensității atacului biologic. (cap. 3.6)
 - S-au evidențiat metodele și materialele tehnologice utilizate pentru stabilizarea și consolidarea suportului lemnos degradat, dar și a materialului lemnos nou introdus (Cap. 4);
 - A fost observat comportamentul lemnului degradat la acțiunea solvenților utilizați pentru consolidare (cap. 4.2.2);
 - S-a determinat retenția de consolidant la tratamentul cu rășini sintetice (cap. 4.2.3);
 - A fost determinată eficiența tratamentului în funcție de solvent și repetitivitatea fiecărui tip de tratament (cap. 4.2.4);
 - Stabilirea eficacității tratamentului de consolidare prin aplicarea metodei durității HM (Cap 4.2.6);
 - Au fost identificate metode și tehnici de consolidare a suportului degradat și completarea cu lemn masiv de balsa sau lemn de tei și molid tratat termic (Cap. 4.3);
 - Prin determinarea stabilității dimensionale și reducerea jocului lemnului este prezentată oportunitatea utilizării în procesul de restaurare a lemnului tratat termic sub formă de segmente lamelare sau panouri stratificate pentru consolidarea acelor panouri cu degradări și pierderi de suport. (Cap. 4.3.2)
 - S-a stabilit efectul tratamentelor termice prin metoda de determinare a durității HM a lemnului cu ajutorul aparatului Mark 10 (Cap. 4.3.7)

5.2 Direcții viitoare de cercetare

Această lucrare de cercetare nu epuizează problematica stabilită prin obiectivele sale, ci ca orice altă lucrare de cercetare, pune accent pe anumite activități și acțiuni. De aceea se poate spune că există alte probleme care pot fi abordate sau extinse pe viitor (desprinse direct din studiul efectuat) printre care se pot aminti următoarele:

- găsirea de noi specii lemnoase autohtone sau exotice care să poată fi utilizate ca material nou introdus în obiectele de patrimoniu deteriorate, mărindu-se prin aceasta baza de materie primă;
- utilizarea altor materiale tehnologice decât cele utilizate în lucrare, care să conducă la consolidarea suportului lemnos fragil sau degradat;
- dezvoltarea unor cercetări mai aprofundate în legătură cu materiale cât mai puțin toxice, care astăzi se concretizează în sintagma „*chimia verde*” și tind să înlocuiască materiale sau tehnologiile

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

prezente cu rol de îmbunătățire atât a tratamentelor cât și a mediului de lucru în timpul restaurărilor.

- cercetarea altor metode și tehnici de aplicare a materialelor de consolidare a suportului lemnos, care sa ofere o mai mare flexibilitate și eficiență a tratamentului;
- soluții tehnice noi de protezare, a suportului din lemn degradat în vederea reducerii semnificative a agresivității intervenției, a materialul lemnos introdus, care să nu încarce excesiv masa panoului lemnos și să nu inducă tensiuni noi, suplimentare în suport.
- testarea rezistenței la înclieiere între un panou din lemn sănătos fără tratament termic și unul cu tratament termic. Observații privind comportamentul în timp al unui panou degradat care are inserat o „proteză” din lemn tratat termic, în urma procesului de restaurare.

5.3 Diseminarea rezultatelor (lucrări publicate în perioada stagiului doctoral)

1. Ionescu C. Ş, Lunguleasa A., Spîrchez C., Avram A. (2019) Determination of a wood damage assessment system by mathematical methods and minimally invasive mechanical tests. PRO LIGNO Vol. 15 N° 4 2019 pp. 75-81 www.proligno.ro, BDI

2. Ionescu C. Ş, Lunguleasa A., Spîrchez C., Dumitraşcu R. (2019) Restoration of Wood Support for the Old Depreciated Icons, International Journal of Cultural Heritage, Vol.4 pp20-27, ISSN:2367-9050, <http://iaras.org/iaras/journals/ijch>, BDI

3. Ionescu C. Ş, Lunguleasa A., Spîrchez C., Avram A. (2019) Alternative method for minimally invasive determination of the wood fragility from cultural heritage assets, MATEC Web Conf., Volume 290, 9th International Conference on Manufacturing Science and Education – MSE 2019 “Trends in New Industrial Revolution” https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/39/mateconf_mse2019_01004.pdf ISI (în procedură de indexare)

4. Spîrchez C., Lunguleasa A., Ionescu C. Ş., (2019) Physical and calorific properties of wheat straw briquettes and pellets MATEC Web Conf., Volum 290, 2019, ediția 9, Conferință internațională în Manufacturing Science and Education – MSE 2019 “Trends in New Industrial Revolution” https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/39/mateconf_mse2019_01004.pdf ISI (în procedură de indexare)

5. Ionescu C. Ş, Lunguleasa A., (2017) Problems and solutions of classical and innovative interventions on cultural objects with wood supports, PRO LIGNO Vol. 13 N° 4 2017 pp. 447-454 www.proligno.ro, BDI



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

6. Ionescu C. Ş, Lunguleasa A. (2017) Procedeu de consolidare- restaurare și monitorizare a obiectelor de patrimoniu pe suport din lemn, Înregistrare brevet invenție, OSIM, RO-BOPI 5/2017, 30. 05. 2017, pp. 25-26 https://www.osim.ro/publicatii/brevete/bopi_2017/bopi_inv_05_2017.pdf
7. Ionescu C. Ş. (2016) Consolidarea lemnului. Intervenții de restaurare asupra unor bunuri culturale, ale căror suport este lemnul și care este afectat de atacul biologic-fungic sau xilofag, ajunse în pragul colapsului, Studii și articole de restaurare -Conservare., Drobeta XXVI, Mega, Drobeta Turnu Severin, pp. 161-169, ISSN2393-2767
8. Ionescu C. Ş, Lunguleasa A, Spîrchez C, Avram A (2019) Determination of a wood damage assessment system by mathematical methods and minimally invasive mechanical tests, ICWSE Conferință internațională, ediția 12, 7-9 noiembrie, Braşov
9. Ionescu C. Ş, Lunguleasa A, Avram A. (2019) Metode de determinare a degradării a lemnului, suport al bunurilor culturale, operelor de artă sau cult, în vederea stabilirii nivelului de intervenție al restaurării, MATCONS, În lucrările Conferinței Internaționale, „Materie și materiale în/pentru conservarea patrimoniului”, ediția a-VII-a.8-12 octombrie 2019, Craiova, pp.33-46
10. Ionescu C.Ş (2019) Metode de tratament aplicate lemnului, pentru intervențiile de restaurare a panourilor policrome, Sesiune națională de comunicări științifice. Importanța abordării interdisciplinare în restaurarea obiectelor patrimoniale, Sibiu, 3-4 Octombrie
11. Ionescu C.Ş (2019) Lemnul termotratat- substituit în intervențiile de restaurare pentru panourile de lemn grav deteriorate, Simpozion internațional, Drobeta Turnu Severin 11-13 Septembrie
12. Ionescu C.Ş, Lunguleasa A, Spîrchez C, Avram A (2019) Alternative method for minimally invasive determination of the wood fragility from cultural heritage assets, MSE, conferința internațională, în Manufacturing Science and Education –“Trends in New Industrial Revolution”, 5-7 Iunie
13. Ionescu C.Ş (2018) Consolidarea lemnului. Tratament necesar în vederea restabilirii funcționalității parțiale sau complete pentru bunurile culturale de patrimoniu, Sesiune științifică, Unitate, continuitate și independență în istoria poporului român, Alba Iulia, 26-29 Noiembrie
14. Ionescu C.Ş (2017) Dezvoltarea unui cadru elastic în vederea controlării, limitării sau stopării curburilor naturale la panourile din lemn Sesiune științifică, Unitate, continuitate și independență în istoria poporului român, Alba Iulia, 23-24 Noiembrie



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

15. Ionescu C.Ş, Lunguleasa A (2017) Problems and solutions of classical and innovative interventions on cultural objects with wood supports, ICWSE, conferință internațională, ediția 11, 2-4 November, Braşov
16. Ionescu C.Ş (2017) Tipuri și modalități de stabilizare, consolidare și protejare a panourilor din lemn policrom, Simpozion internațional Drobeta Turnu Severin 15-16 Iunie
17. Ionescu C.Ş (2016) Restaurarea bunurilor culturale de patrimoniu și a obiectelor de artă, Sesiune științifică, Unitate, continuitate și independență în istoria poporului român, Alba Iulia, 17-18 Noiembrie
18. Ionescu C.Ş (2016) Alternative la intervențiile de conservare și restaurare asupra bunurilor culturale ce au ca suport lemnul Simpozion internațional Drobeta Turnu Severin 22-23 Septembrie
19. Ionescu C.Ş (2016) Studiu științific privind determinarea unor mase de substanță activă necesară tratamentului de consolidare a panourilor din lemn, degradate, Simpozion național de conservare restaurare, 13-14 Iunie
20. Ionescu C.Ş (2016) Modalitate de monitorizare a operelor de artă și cult, bunuri de patrimoniu, supuse riscului de export ilegal, de falsificare sau furt, Conferința Creativitate și inventică, Braşov, 03 Iunie
21. Ionescu C.Ş (2016) Restaurarea virtuală a obiectelor de patrimoniu- reprezentare grafică digitală, imprimare în format 3D, a unor fragmente lipsă și recompuse pe urma de fracturare, Conferința națională Creativitate și inventică, Braşov, 03 Iunie



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

BIBLIOGRAFIE

1. ASTM D 950 American Society for Testing and Materials. 1987. Standard test for impact strength of adhesive bonds, D950–82. In Annual Book of ASTM Standards. Vol. 15.06, Adhesives. Philadelphia: ASTM.
2. Araújo S O, Vital B R, Oliveira B, Carneiro A C O, Lourenço A, Pereira H (2016) Physical and mechanical properties of heat treated wood from *Aspidosperma populifolium*, *dipteryx odorata* and *mimosa scabrella*, *Maderas, Cienc. tecnol.* vol.18 no.1
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2016000100015
3. Beldean E., (2004) **Contribuții la studiul ameliorării instabilității dimensionale a lemnului de fag prin tratamente superficiale**, rezumat teză doctorat, coordonator științific M.D.Mihai, Univ. Transilvania, Braşov
4. Bratasz, Ł. (2013) **Allowable microclimatic variations for painted wood**, în *Studies in Conservation*, 58, pp. 65-79, 2013
https://www.researchgate.net/publication/272310464-Allowable_microclimatic_variations_for_painted_wood extras 26.1. 2019
5. Brenndörfer D., Zlate Gh., Bistriceanu Gh., (1979) **Studiul lemnului**, Ed. Universitatea Transilvania, Braşov
6. Bucşa L, Bucşa C (2014 b): **Degradări biologice ale structurilor de lemn la monumentele istorice din România**, Universitatea Lucian Blaga Sibiu,
http://www.transsylvania.ro/download/05_livia_Bucşa_degr_biologice_str_lemn.pdf accesat în 27. 05. 2018
7. Castelli C, Gigli M C, Lalli C, Lanterna G, Weiss C, Speranza L, (2002), **Un composto organico sintetico per il consolidamento del legno. Sperimentazione, misure e prime applicazioni.** Journal article OPD Restauro No. 14 (2002), pp. 144-152 Published by: Centro Di Della Edifimi SRL <https://www.jstor.org/stable/24395150>
8. 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.
https://www.researchgate.net/publication/280155909-Microcrystalline_cellulose_filled_composites_for_wooden_artwork_consolidation_Application_and_physics-mechanical_characterization
9. Cataldi A., Dorigato F., Deflorian A., Pegoretti A., (2014) **Effect of the Water Sorption on the Mechanical Response of Microcrystalline Cellulose-Based Composites for Art Protection**

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

- and Restoration Department of Industrial Engineering and INSTM Research Unit, University of Trento, Journal of Applied Polymer Science, DOI: 10.1002/app.40741, Wiley Periodicals 131, Materials Views.com, 40741-40747.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.712.1810&rep=rep1&type=pdf>
10. Čermák P, Rautkari L, Horáček P, Saake B, Rademacher P, Sablík P, (2015) **Analysis of Dimensional Stability of Thermally Modified, Wood Affected by Re-Wetting Cycles In BioResources** 10(2), pp.3242-3253.
 11. Charola A. E., Tucci A., Koestler R. J., (1986) **On the reversibility of treatments with acrylic/silicone resin mixtures**, în JAIC, Volume 25, Number 2, Article 3 (pp. 83 to 92)
 12. Crisci G. M., La Russa M. F., Malagodi M., Ruffolo S. A., (2010) **Consolidating properties of Regalrez 1126 and Paraloid B72 applied to wood** în Journal of Cultural Heritage, Number 11 (pp. 304–308) July 2010. [accessed 03Mar 2019].
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207410000142>
 13. Esteves B., Pereira H., (2009) **Wood modification by heat treatment**, în Bioresources 4(1) pp :370-404
https://www.researchgate.net/publication/279900105_Wood_modification_by_heat_treatment_A_review [accesat 22.12.2018]. extras ianuarie 2019
 14. Filipovici J (1964) **Study of wood** (in Romanian), vol. I. Ed. Didactica si Pedagogica, Bucureşti
 15. Homan W., Tjeerdsmā B., Beckers E., Jorissen A., (2000) **Structural and other properties of modified wood**, conţinutul articolului a fost încărcat de Andre Jorissen la 17 august 2015 pe:
https://www.researchgate.net/publication/242734311_Structural_and_other_properties_of_modified_wood
 16. Horie V., (2010) **Materials in Conservation**,
<http://www.amazon.co.uk/Materials-Conservation-C-V-Horie/dp/0750669055>
 17. Ionescu C. Ş., Lunguleasa A., Spîrchez C., Avram A. (2019a), **Alternative method for minimally invasive determination of the wood fragility from cultural heritage assets**. Presented in the 2019 MSE Conference at Sibiu, will be published after the 15th of Aug. 2019 online at <https://www.webofconferences.org>
 18. Ionescu C. Ş., Lunguleasa A., Spîrchez C., Avram A. (2019b), **Determination of a wood damage assessment system by mathematical methods and minimally invasive mechanical tests**. PRO LIGNO Vol. 15 N° 4 2019 pp. 75-81 www.proligno.ro
 19. Ionescu C. Ş., (2014) **Problematika stabilizării și consolidării structurale a suportului din lemn al unor icoane brâncovenești**, sec. al XVII-XVIII. Studiu de caz, Mega, Drobeta Turnu Severin, pp. 95-118



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

20. Ionescu C. Ş., (2016 a) **Consolidarea lemnului. Intervenții de restaurare asupra unor bunuri culturale, ale căror suport este lemnul și care este afectat de atacul biologic-fungic sau xilofag, ajunse în pragul colapsului**, Drobeta XXVI, Mega, Drobeta Turnu Severin, pp. 161-169
21. Ionescu C. Ş., (2016 b) **Studiul științific privind determinarea unor mase de substanță activă necesară tratamentului unor panouri, din lemn, degradate de atacul xilofag**. Sesiune de comunicări la Muzeul Etnografic al Transilvaniei, Cluj
22. Ionescu C. Ş., Lunguleasa A., (2017 a) **Procedeu de consolidare - restaurare și monitorizare a obiectelor de patrimoniu pe suport din lemn**, OSIM, RO-BOPI 5/2017, 30. 05. 2017, pp. 25-26
https://www.osim.ro/publicatii/brevete/bopi_2017/bopi_inv_05_2017.pdf
23. Ionescu C. Ş., Lunguleasa A., (2017 b) **Problems and Solutions of Classical and Innovative Interventions on Cultural Objects with Wood Supports**, PRO LIGNO, Volumul 13, Numărul 4: pp.447-454.
24. Islam S., Hamdan S., Rusop M., Rezaur R, Ahmed A. S, Idrus M. (2012) **Dimensional stability and water repellent efficiency measurement of chemically modified tropical light hardwood in BioResources** (2012)7(1), pp. 1221-1231. Extras 01.01.2020
https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_07_1_1221_Islam_HRRAM_I_Dimen_Stabil_Water_Repell_Modified_Wood/1393
25. Janka G., (1915), **Mitteilungen aus dem forstlichen versuchswesen österreichs**, Ed. K. U. K. Hof-Buchhandlung W. Frick, I. Graben, 27, Wien <https://www.mark-10.com/about.html>
26. Jämsä S și Viitaniemi P (2001) Heat treatment of wood - better durability without chemicals în Review on Heat treatments of wood, Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.580.4865&rep=rep1&type=pdf>
27. Karamanoğlu M și Akyildiz H M (2013) **Colour, gloss and hardness properties of heat treated wood exposed to accelerated weathering** în Proligno Vol.9, nr. 4, pp 729-738
28. Kaymakci A., Akyildiz H. M. (2011), **Stabilitatea dimensională a lemnului de pin silvestru și fag oriental tratat termic**, PRO LIGNO Volumul 7 Numărul 4 pp. 32-38
29. Kozłowski R, (2018), **Collection environments and evidence-based decision-making** in the GCI newsletter, Volume 33 - NUMBER 2 - FALL 2018
https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/pdf/v33n2.pdf
extras in 20.03.2020
30. Kuerová I., Schillinger B., Calzada E., Lehmann E., (2009), **Monitoring transport of acrylate consolidants through wood by neutron radiography** In Wood science for conservation of cultural heritage – Florence 2007 PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE HELD

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

- BY COST ACTION IE0601 IN FLORENCE (ITALY), 8-10 NOVEMBER 2007 EDITED BY LUCA UZIELLI ISBN 978-88-8453-396-8 (online) FIRENZE UNIVERSITY PRESS 2009, extras 23.01.2019 <http://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/34918/343706.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Conținutul accesat prin adresa IP 82.79.185.196 pe 23/01/2019
31. Kurzeluk D., K., (2017), **Studiul bioecologiei coleopterului xilofag Anobium punctatum DeGeer, 1774**, Dăunător pe obiectele de patrimoniu din lemn
November 2017 Conference: Protecția plantelor - cercetare interdisciplinară în slujba dezvoltării durabile a agriculturii și a protecției mediului
At: Institutul Agronomic al României, București

https://www.researchgate.net/publication/321033584_STUDIUL_BIOECOLOGIEI_COLEOPTERULUI_XILOFAG_Anobium_punctatum_DeGeer_1774_DAUNATOR_PE_OBIECTELE_DE_PATRIMONIU_DIN_LEMN extras în 8. 2. 2018
32. Lahtela V, Kärki T., (2017), **MECHANICAL PROPERTIES OF SCOTS PINE (Pinus sylvestris) WITH IMPREGNATION MODIFIERS** in PRO LIGNO Vol. 13 N° 3 2017, pp. 3-10 editie on line <http://www.proligno.ro/ro/articles/2017/3/lahtela.pdf> extras în ian. 2019
33. Lică D., Coșereanu C., (2014), **Investigation on the properties of pedunculate oak wood affected by oak decline**, în PRO LIGNO Vol. 10 N° 4 2014 pp. 69-78 www.proligno.ro , <https://pdfs.semanticscholar.org/93d5/29c71ec76a0fc0725b72ea877c2862def1d9.pdf>
34. Lunguleasa A., (2007), **Wood Physics and mechanics**, Editura Universității Transilvania din Brașov, Brașov, pp. 129, 2007, ISBN 978-973-598-128-0.
35. Lunguleasa A., (2011), **Efectul temperaturii asupra contragerii lemnului** în RECENT, Vol. 12, nr. 2(32), July, 2011 (ref 138)
36. Macchioni N., (2015), **Diagnosis and Conservation of Wooden Cultural Heritage**, <http://www.ivalsa.cnr.it/en/research/diagnosis-and-conservation-of-wooden-cultural-heritage.htm> extras iunie 2018
37. Macchioni N., Bertolini C., Tannert T., (2011), **Review of Codes and Standards** https://www.researchgate.net/publication/225217655_Review_of_Codes_and_Standards
38. 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)
<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.agro-8b53b299-fa6d-4463-a783-b31e7b07c83b/tab/jContent?searchConf=journal&searchPhrase=%09Ma%C5%84kowski>



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

39. Moldoveanu A., (2010) **Conservare preventivă a bunurilor culturale**, ediția a-V-a, Ed. Cetatea de scaun, Târgoviște
40. Momohara I., Ohmura W., Kato H., Kubojima Y., (2003) **Effect of High-Temperature Treatment on Wood Durability against the Brown-rot Fungus, Fomitopsis palustris, and the Termite, Coptotermes formosanus**. 8th International IUFRO Wood Drying Conference – 2003 extras.2018 <http://www.thermallytreatedwood.com/Researches/Momohara%20-%20Ohmura%20-%20Kato%20-%20Kubojima.pdf>
41. Morgos A., Halpart A., Lucacs K., Paraszlai I., (2006), **On-site conservation/reconstruction of an Iron Age tumulus with timber grave chamber**, Százhalombatta, Hungary Conservation and Management of Archaeological Sites 7(3):139-162. DOI:10.1179/13505030 6793137458
42. Morgoş A., (2017) **Scientific conservation of fragile deteriorated dry or dried out archaeological woods**, 18-21 Septembrie, susținere publică în Salonul Național de Restaurare, „Matcons 2017”, Craiova
43. MOSNEAGU M., (2012), **The preservation of cultural heritage damaged by anobiids (Insecta, Coleoptera, Anobiidae)** Academy of Romanian Scientists Annals Series on Biological Sciences Volume 1, No. 2, 2012, pp. 32 - 65 Online Edition ISSN 2285 - 4177 ORIGINAL PAPER 32 extras în 20 07 2019 <http://aos.ro/wp-content/anale/BVol1Nr2Art.2.pdf>
44. Mustață M., Mustață Gh., Ungurean B., Moşneagu M., Gămălie G., Axinte L., (2013) **Etopatologia operei de artă**, Ed. Academiei Oamnelilor de Ştiinţă din Românie, Bucureşti
45. Olărescu C. M., (2015), **Îmbunătățirea unor proprietăți ale panourilor reconstituite din lemn masiv prin realizarea acestora din frize termotratate în vederea utilizării acestora în condiții de exterior. Improvement of some properties of solid wood panels made from heat-treated wood strips for outdoor uses**, Ph. D Thesis, Transilvania University of Braşov. Conducător științific Prof.dr.ing. Mihaela CÂMPEAN
46. Olărescu A. M., Câmpean M., Gurău L., (2011), **Efectul tratamentului termic asupra stabilității dimensionale, rezistenței și modului de elasticitate la încovoiere statică a lemnului de gorun subțire**, în PRO LIGNO Vol. 7 N° 3 2011 pp. 29-38 , www.proligno.ro
47. Oltean L., Teischinger A., Hansmann C., (2007), **Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during wood drying – a review**, în BioResources2(4), pp 789-811 https://www.academia.edu/14643519/INFLUENCE_OF_TEMPERATURE_ON_CRACKING_AND_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_WOOD_DURING_WOOD_DRYING_-_A_REVIEW?auto=download extras 20 02 2020
48. Pescarus P., (1983), **Studiul lemnului. Îndrumar de lucrări practice**, Universitatea din Brasov.



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

49. Pescăruş P., (1978), **Proprietățile fizice ale lemnului și a materialelor pe bază de lemn.** În Tehnologia prelucrării lemnului, pp. 64-92. Vol. I sub coordonarea Râmbu I. și Florescu I, Editura Tehnică 1978, București.
50. Pescăruş P., Cismaru M., (1979), **Studiul lemnului. Îndrumar pentru lucrări practice,** Universitatea din Braşov
51. Percin O, Peker H, Atilgan A (2016) The effect of heat treatment on the some physical and mechanical properties of beech (*fagus orientalis lipsky*) wood, în Wood Research, 61 (3), pp 443-456 <http://www.woodresearch.sk/wr/201603/10.pdf>
52. Regalez (2005) **Nuovi prodotti - consolidamento del legno (parte 3)** 30/06/2005 caratteristiche chimico fisiche del regalrez 1126
53. REXIL (2009) **New products- REXIL: in the universe of wood** <https://www.ctseurope.com/en/dettaglio-news.php?id=218>
54. Rowell R. M., Kattenbroek B., Ratering P., Bongers F., Leicher F., Stebbins H., (2008), **Production of Dimensionally Stable and Decay Resistant Wood Components Based on Acetylation**, în 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components ISTANBUL - TURKEY] May 11-14th, 2008. Preluat din <https://www.accsysplc.com/wp-content/uploads/2014/10/Production-of-Dimensionally-Stable-and-Decay-Resistant-Wood-Components-Based-on-Acetylation.pdf> -Extras 28.05.2019
55. Sakuno T., Schniewind A. P., (1990) **Adhesive qualities of consolidants for deteriorated wood**, JAIC, Volume 29, Number 1, Article 3 (pp. 33 to 44) <http://cool.conservation-us.org/jaic/articles/jaic29-01-003.html>
56. Schniewind A. P., (1995), **The Structural Conservation of Panel Paintings**, partea I, pp. 87-109, Proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, Edited by Kathleen Dardes and Andrea Rothe, THE GETTY CONSERVATION INSTITUTE LOS ANGELES, ISBN 0-89236-384-3

<https://books.google.ro/books?id=79FOAgAAQBAJ&pg=PA98&dq=schniewind+1995&hl=ro&sa=X&ved=0ahUKEwj4mq3DqtHeAhXttYsKHXYCskQ6AEIKDAA#v=onepage&q=schniewind%201995&f=false>
57. Schniewind A. P., Eastman P. Y., (1994) **Consolidant distribution in deteriorated wood treated with soluble resins**, JAIC, Volume 33, Number 3, Article 2 (pp. 247 -255) <http://cool.conservation-us.org/jaic/articles/jaic33-03-002.html>
58. 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

Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

- G.Thomson. London: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. 146–50 citat de Sakuno T, Schniewind A P (1990)
59. Siau J. F., Davidson R. W., Meyer J. A., Skaar C., (1984). **Transport Processes in Wood**. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG Berlin Berlin DOI: 10.1007/978-3-642-69213-0
60. Timar M. C., Sandu I. C. A., Beldean E., Sandu I., (2014) **FTIR Investigation of Paraloid B72 as Consolidant for Old Wooden Artefacts Principle and Methods în Materiale Plastice**, Volumul 4 <http://www.revmaterialeplastice.ro/pdf/TIMAR%20M.pdf%204%2014.pdf>
61. Timar M. C., Tuduțe Trăistaru A. A., Pațachia S., Croitoru C., (2011), **Investigarea experimentală a pătrunderii unor produse de consolidare în lemn partea a 2-a: spectroscopie FTIR**, Pro Ligno, Vol. 7 Nr.1 (pp. 25-38) http://www.proligno.ro/ro/articles/2011/1/timar_full.pdf
62. Timar M. C., Tuduțe -Traistaru A., Porojan M., Gurau L., (2010), **Investigarea experimentală a pătrunderii unor produse de consolidare în lemn**, Partea 1, Metodologie generală și tehnici microscopice, ProLigno, Vol. 6, Nr. 4, Braşov: pp: 13-27 <http://www.proligno.ro/en/articles/2010/4/timar.pdf>
63. Tuduțe A. A., (2012), **Cercetări privind oportunitatea modificării produselor de consolidare pentru lemn prin adaos de nano-inserații**, rezumat teză doctorat, coordonator științific Mihaela Câmpean, Univ. Transilvania, Braşov
64. Tuduțe Trăistaru A. A., Timar M. C., Câmpean M., (2011), **Studies Upon Penetration Of Paraloid B72 Into Poplar Wood By Cold Immersion Treatments**, în Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series II: Forestry - Wood Industry - Agricultural Food Engineering - Vol. 4 (53) No. 1 – 2011, pp81-88. https://pdfs.semanticscholar.org/d639/d176fe6c8ab71d9f1c0886cc005c734811d4.pdf?_ga=2.34859560.86216885.1534329848-133152309.1534329848
65. Tuduțe-Trăistaru A. A., Câmpean M., Timar M. C., (2010), **Compatibility indicators in developing consolidation materials with nanoparticle insertions for old wooden objects** in INTERNATIONAL JOURNAL OF CONSERVATION SCIENCE Volume 1, Issue 4, October-December 2010: pp.219-226 <http://ijcs.ro/pub/IJCS-10-22-Traistaru.pdf>
66. Ungurean B., (2012), **The conservation of wooden heritage items exhibited in the open against the attack of noxious insects** în Academy of Romanian Scientists Annals - Series on Biological Sciences, Vol. 1, No. 2, (2012) , pp 5 - 31 Online Edition ISSN 2285 - 4177 Received for publication, october, 1, 2012. Accepted, november, 15, 2012 <http://aos.ro/wp-content/anale/BVol1Nr2Art.1.pdf>
67. Ungurean B., (2011) **Insecte dăunătoare bunurilor de patrimoniu din lemn expuse în natură și combaterea lor**, Ed. Artes, Iași



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

68. Uzielli L., Cocchi L., Mazzanti P., Togni M., Jullien D, Dionisi-Vici P. (2012) **The deformometric kit: a method and an apparatus for monitoring the deformation of wooden panels.** <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00700825/document>
69. Vitaniemi P., Jimisi S., Elk P., Vitanen H., (1997), **Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products** United States Patent, Patent Number: 5, 678, 324, Date of Patent: Oct. 21, 1997, extras in 2.08 2019 <https://patentimages.storage.googleapis.com/de/b4/07/d1869f4e3157f8/US5678324.pdf>
70. Wang Y., Schniewind A. P., (1985) **Consolidation of deteriorated wood with soluble resins,** JAIC, Volume 24, Number 2, Article 3 (pp. 77 to 91) http://cool.conservation-us.org/jaic/articles/jaic24-02-003_indx.html doi.org/10.1179/019713685806028141 extras 2014
71. Won K R, Kim T H, Hwang K K, Chong S H, Hong N E, și Byeon H S (2012) Effect of Heat Treatment on the Bending Strength and Hardness of Wood, în Journal of the Korean Wood Science and Technology https://www.researchgate.net/publication/264102001_Effect_of_Heat_Treatment_on_the_Bending_Strength_and_Hardness_of_Wood/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic
72. Wood Handbook, (2010), **Wood as an Engineering Material**, Forest Products Laboratory - United States Department of Agriculture Forest Service - Madison, Wisconsin April, Forest Products Laboratory. 2010. 508 p.- General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S.



Stabilizarea și consolidarea suportului lemnos pentru obiectele de patrimoniu, utilizând materiale clasice și moderne

Scurt rezumat

Problematica complexă a consolidării și stabilizării lemnului conținut în obiectele de patrimoniu, pentru a rezolva tematica cercetării, s-au utilizat metode tehnologice, chimice și mecanice. Lucrarea de cercetare prezintă pornește de la premise teoretice și ajunge în urma experimentelor efectuate să ofere o bază de date consistentă și să facă recomandări pentru domeniul restaurării și conservării obiectelor de patrimoniu. S-au identificat 4 metode principale, respectiv prin utilizarea densităților lemnului; prin determinarea porozității excesive a lemnului, (la suprafață și în volum), provocat de insectele xilofage; prin duritatea Brinell, și cu ajutorul dispozitivului de înțepare a lemnului, cu aparatul Mark 10, sunt puse în evidență avantajele de necontestat ale aparatului Mark 10, prin amprenta vârfului penetratorului de numai 1,34 mm. Ameliorarea tratamentului de consolidare cu rășini sintetice a fost stabilită și prin determinarea durității Mark, ale căror valori au pus în evidență chiar mărirea caracteristicilor după fiecare etapă a tratamentului de consolidare. Aceste valori intermediare nu ar fi putut fi evidențiate fără această metodă de determinare. Totodată a fost stabilită o definiție a gradului de deteriorare, pe baza metodelor de evaluare și a formei de manifestare, dispusă pe 5 niveluri. De asemenea sunt raportate două modalități privind alegerea lemnului nou care să completeze lipsurile din suportul lemnos al obiectului de patrimoniu, s-a găsit că lemnul de balsa (*Ocroma lagopus*) este o soluție bună iar utilizarea lemnului de tei tratat termic până la 180°C este avantajos domeniului restaurării lemnului.

Cuvinte cheie : stabilitate dimensională, consolidare, duritate, nivel de degradare

Abstract

The complex issue of consolidating and stabilizing the wood contained in the heritage objects, in order to solve the research topic, technological, chemical and mechanical methods were used. The present research work starts from theoretical premises and ends from the experiments performed to provide a consistent database and to make recommendations for the field of restoration and conservation of heritage objects. 4 main methods were identified, respectively by using wood densities; by determining the excessive porosity of the wood, (surface and volume), caused by xylophagous insects; by the hardness of Brinell, and with the help of the wood prick device, with the Mark 10 device, the undisputed advantages of the Mark 10 device are highlighted, by the imprint of the tip of the penetrator of only 1,34 mm. The improvement of the consolidation treatment with synthetic resins was also established by determining the hardness of Mark, whose values even highlighted the increase of the characteristics after each stage of the consolidation treatment. These intermediate values could not have been highlighted without this method of determination. At the same time, a definition of the degree of deterioration was established, based on the evaluation methods and the form of manifestation, arranged on 5 levels. There are also reported two ways to choose new wood to fill the gaps in the wooden support of the heritage object, it was found that balsa wood (*Ocroma lagopus*) is a good solution and the use of heat-treated linden wood up to 180°C is advantageous the field of wood restoration.

Keywords: dimensional stability, consolidation, hardness, level of degradation