

Universitatea "Ovidius" din Constanța
Școala Doctorală de Științe Aplicate
Domeniul de Doctorat : Inginerie Civilă

*Studiul teoretic și experimental privind comportarea
planșelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu.
Soluții de restaurare*

Rezumatul tezei de doctorat

3

Conducatori de doctorat:
Prof.dr.ing. Grănescu Ana Maria
(Universitatea Ovidius din Constanța)
Conf.dr.ing. João Gomes Ferreira
(Institutul Superior Tehnic din Lisabona)

Student-doctorand,
Ing. Pericleanu Bucur Dan

Constanța - 2014

UNIVERSITATEA “OVIDIUS” DIN CONSTANȚA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE
DOMENIUL DE DOCTORAT : INGINERIE CIVILĂ

***Studiul teoretic și experimental privind comportarea
planșeelor caracteristice construcțiilor de
patrimoniu. Soluții de restaurare***

- Rezumatul tezei de doctorat -

Conducatori de doctorat:

Prof.dr.ing. Grănescu Ana Maria
(Universitatea Ovidius din Constanța)

Conf.dr.ing. João Gomes Ferreira
(Institutul Superior Tehnic din Lisabona)

Student-doctorand,
Ing. Pericleanu Bucur Dan

Constanța - 2014



ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA "OVIDIUS" DIN CONSTANȚA
B-dul Mamaia 124, 900527 Constantza
Tel. Fax: 40-241- 606467, 511512, 618372, 0723151222
E-mail: rectorat2@univ-ovidius.ro
Webpage: www.univ-ovidius.ro

Către

.....

Vă facem cunoscut că în data de 19.06.2014, ora 14⁰⁰, în Sala de Ședințe a Consiliului de Administrație, B-dul Mamaia nr.124, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat, cu titlul ***"Studiul teoretic și experimental privind comportarea planșelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu. Soluții de restaurare."*** elaborată de doctorand inginer Bucur Dan Pericleanu, în vederea conferirii titlului științific de "doctor", în domeniul fundamental „Științe Aplicate”, domeniul de doctorat „Inginerie Civilă”.

Comisia de doctorat este formată din:

Președinte:

Prof.univ.dr. Popa Constantin

(Universitatea Ovidius din Constanța)

Conducători de doctorat:

Prof.univ.dr.ing. Grănescu Ana Maria

(Universitatea Ovidius din Constanța)

Conf.univ.dr.ing. João Gomes Ferreira

(Institutul Superior Tehnic din Lisabona)

Referenți oficiali:

Prof.univ.dr.ing. Vacăreanu Radu Sorin

(Universitatea Tehnică de Construcții București)

Prof.univ.dr.h.c.ing. Bratu Polidor - Paul

(Universitatea Dunărea de Jos Galați)

Prof.univ.dr.ing. Florea Mihai

(Universitatea Ovidius din Constanța)

Vă trimitem rezumatul tezei de doctorat, cu rugămintea de a ne comunica în scris aprecierile și observațiile dumneavoastră. e-mail: pericleanu_dan@yahoo.com
fax – 0241-545093 tel:0722290873

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.



Secretar Șef ISD
Budur Elena

Mulțumiri

Adresez respectuoase mulțumiri mentorilor și îndrumătorilor mei științifici, prof.dr.ing. Ana Maria Grănescu și conf.dr.ing. João Gomes Ferreira, care prin exigență și dăruire, profesionalism și răbdare, munca și a lor înțelepciune, mi-au acordat sprijin, îndrumare și ajutor pe parcursul întregii perioade de cercetare și elaborare a lucrării științifice, contribuind la formarea mea de specialist, în cunoașterea adevărului științific.

Elaborarea și fundamentarea științifică a lucrării de cercetare a fost posibilă, sub îndrumarea de specialitate, realizată cu profesionalism, a domnilor profesori din comisia de îndrumare: decan prof.dr.ing. Florea Mihai, prof.dr.ing. Dan Hâncu și prof.dr.ing. Gabriela Stanciu. Le mulțumesc pentru sfaturile utile, încrederea și sprijinul acordat pe întreaga perioadă de desfășurare a doctoratului,

Studiile și cercetările experimentale din această lucrare științifică le-am realizat în cadrul programului doctoral efectuat la Universitatea „Ovidius” din Constanța precum și la „Institutul Superior Tehnic” – Universitatea Tehnică din Lisabona, cu un real sprijin din partea colegilor, cărora le mulțumesc pentru dărnicia și cunoștințele împărtășite.

De asemenea, doresc să mulțumesc domnilor profesori, prof.dr.ing. Fernando Brânco, șl.dr.ing. Ana Paula Pinto și șl.dr.ing. Sunai Gelmambet, atât pentru discuțiile utile și încurajările permanente acordate pe tot parcursul pregătirii tezei de doctorat cât și pentru asigurarea unor materiale și dispozitive necesare în toată această pregătire.

Mulțumesc colectivului de cercetare, ing. João Guerreiro, ing. João Firmo, ing. Ana Maria Gonçalves și ing. Bruna Amarilis Silva, pentru ospitalitate și sprijinul de care am beneficiat de-a lungul stagiului de cercetare efectuat în Lisabona.

Mulțumesc domnișoarei arhitecte Katherine Both, domnului Dan Costache și doamnei prof.dr.ing. Herea Constanța, pentru ospitalitatea și sprijinul acordat în Portugalia.

În mod deosebit, îi mulțumesc din suflet, doamnei Enid Abreu pentru ajutorul oferit, sprijinul moral și sfaturile practice. Îi mulțumesc pentru încrederea acordată și pentru amintirile de neuitat realizate în stagiul doctoral din Portugalia.

Dedic această teză de doctorat și îi mulțumesc din tot sufletul, soției mele, pentru suportul moral, ajutorul, înțelegerea și răbdarea acordată în permanență și nu în ultimul rând, mulțumesc familiei, care a avut încredere în mine și m-a sprijinit în toate activitățile desfășurate.

Teza de doctorat cuprinde: 302-pagini, 42-tabele, 302-figuri și o listă cu 336 titluri bibliografice.

Rezumatul lucrării de doctorat păstrează structura acesteia în ceea ce privește cuprinsul, numerotarea capitolelor, figurilor, tabelelor și a relațiilor de calcul, precum și lista titlurilor bibliografice.

Cuprins

Capitolul 1 Introducere	1
1.1. Considerații privind importanța conservării și restaurării, construcțiilor de patrimoniu la nivel internațional și național.....	1
1.2. Importanța și actualitatea lucrării de cercetare științifică.....	1
1.3. Justificarea lucrării de cercetare științifică.....	1
1.4. Obiectivele lucrării de cercetare științifică.....	1
1.5. Structura lucrării de cercetare științifică.....	2
Capitolul 2 Planșeul, element structural caracteristic construcțiilor de patrimoniu.....	4
2.1. Unicitatea construcțiilor de patrimoniu; cadrul legislativ.....	4
2.1.1. Protejarea construcțiilor de patrimoniu; convenții și carte.....	4
2.1.2. Evoluția istorică a planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu	5
2.2. Planșeele boltite, subansambluri de structură caracteristice construcțiilor de patrimoniu.....	6
2.2.1. Elemente privind clasificarea planșeelor boltite.....	6
2.2.2. Prezentarea subansamblurilor de planșee boltite	6
2.3. Tehnici de realizare și restaurare ale planșeelor boltite.....	8
Capitolul 3 Tehnici și soluții de investigare și restaurare a planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu.....	9
3.1. Investigarea construcțiilor de patrimoniu.....	9
3.2. Tehnici, metode și aparate pentru investigare și diagnosticare.....	9
3.2.1. Tehnici de testare nedistructive	9
3.2.2. Tehnici de testare semidistructive	11
3.3. Tehnici de restaurare nestructurală a planșeelor.....	12
3.4. Tehnici de restaurare structurală a planșeelor.....	12
3.4.1. Tehnici de restaurare a planșeelor boltite, cu elemente metalice	14
3.4.2. Tehnici de restaurare cu elemente din beton armat.....	14
3.4.3. Tehnici de restaurare cu lanți de legătură.....	15
3.4.4. Tehnici de restaurare cu materiale compozite.....	15
3.5. Tehnici și soluții de investigare și restaurare adoptate – studii de caz.....	15
3.5.1. Investigare și restaurare “Tribunalul Vechi din Brăila”.....	15
3.5.2. Investigare și restaurare “Castelul de Apă din Brăila”	16
3.5.3. Investigare și restaurare “Grup Școlar Sportiv nr.2 din Constanța”	17
3.5.4. Investigarea și restaurarea “Spitalul Sf. Pantelimon din Brăila”	17
Capitolul 4 Studii și cercetări experimentale privind restaurarea planșeelor construcțiilor de patrimoniu.....	18
4.1. Cercetări privind reabilitarea planșeelor și a zidărilor portante la structuri de tip “Pombalina” ...	18
4.1.1. Studii privind îmbunătățirea capacității portante a planșeelor și a zidărilor prin utilizarea plaselor din armături STNB.....	18
4.1.2. Lucrări experimentale privind îmbunătățirea capacității portante a planșeelor și a zidărilor prin utilizarea plaselor din armături galvanizate.	18
4.2. Cercetări privind zidăria specifică planșeelor boltite, supusă la compresiune pe diagonală și pe vertical	22
4.2.1. Obiectivele testului.....	22
4.2.2. Tehnologia și echipamentul utilizat.....	22
4.2.3. Prezentarea testului.....	22
4.2.4. Rezultate	23
4.2.5. Concluzii.....	24
4.3. Cercetări privind caracteristicile mecanice ale zidăriei specifice planșeelor boltite.....	24
4.3.1. Obiectivele testului.....	24
4.3.2. Tehnologia și echipamentul utilizat.....	24
4.3.3. Prezentarea testului.....	24
4.3.4. Rezultate	25
4.3.5. Concluzii.....	25

4.4.	Cercetări privind comportarea și evaluarea rezistenței la tracțiune a tiranților metalici folosiți la consolidarea planșelor boltite.....	25
4.4.1.	Obiectivele testului.....	25
4.4.2.	Tehnologia și echipamentul utilizat.....	26
4.4.3.	Realizarea probelor destinate încercării tiranților.....	26
4.4.4.	Prezentarea testului.....	26
4.4.5.	Rezultate.....	28
4.4.6.	Concluzii.....	29
4.5.	Cercetări privind îmbunătățirea comportării în timp prin creșterea capacității portante a planșelor boltite restaurate cu armături din fibre de carbon.....	29
4.5.1.	Obiectivele testului.....	29
4.5.2.	Tehnologia și echipamentul utilizat.....	29
4.5.3.	Prezentarea testului.....	30
4.5.4.	Rezultate.....	30
4.5.5.	Concluzii.....	31
Capitolul 5 Studiu de caz – Biserica "Sf. Mare Mucenic Gheorghe" din Constanța.....		32
5.1.	Descrierea lăcașului de cult, evenimente și fapte.....	32
5.1.1.	Prezentarea generală.....	32
5.1.2.	Prezentarea stării tehnice.....	32
5.1.3.	Pictura murală – factor decisiv în consolidare.....	33
5.2.	Investigarea și diagnosticarea construcției.....	33
5.2.1.	Investigarea tehnologică și a concepției structurale de ansamblu.....	33
5.2.2.	Investigarea factorilor patologici și a degradărilor.....	33
5.2.3.	Investigarea amplasamentului.....	34
5.2.4.	Diagnosticarea stării tehnice.....	34
5.3.	Monitorizarea structurii și dinamica degradărilor.....	35
5.4.	Analiza planșelor caracteristice bisericii și măsurile de consolidare cu soluție Tegovakon.....	36
5.4.1.	Obiectivele tratamentului de consolidare cu soluție Tegovakon.....	36
5.4.2.	Tehnologia și echipamentul folosit.....	36
5.4.3.	Prezentarea testelor experimentale și a tratamentului de consolidare.....	36
5.4.4.	Rezultatele modificărilor înregistrate în urma tratamentului de consolidare.....	41
5.4.5.	Considerații finale și măsuri de intervenție propuse asupra întregii structuri.....	44
5.5.	Modelarea matematică și analiza comportării în timp a planșelor boltite.....	45
5.5.1.	Cuantificarea parametrilor matematici în analiza performanțelor structurale.....	45
5.5.2.	Alegerea modelului de calcul și comportarea în timp a planșelor boltite.....	47
5.5.3.	Principiu general în calculul matematic al bolților.....	47
5.5.4.	Exemplu de calcul matematic.....	48
Capitolul 6 Concluzii și direcții viitoare de cercetare.....		49
6.1.	Contribuții la dezvoltarea cunoașterii în domeniul protejării și restaurării construcțiilor de patrimoniu.....	49
6.2.	Rezultatele cercetării experimentale și validarea științifică a acestora.....	50
6.3.	Contribuții personale și elemente de originalitate în cadrul activității de cercetare efectuate.....	53
6.4.	Valorificarea rezultatelor obținute pe parcursul elaborării lucrării.....	56
6.5.	Direcții viitoare de cercetare.....	56
Bibliografie selectivă.....		57
Cărți, lucrări și cursuri de formare profesională.....		57
Reviste, jurnale, conferințe și articole.....		58
Legislație.....		61
Pagini web.....		61

Capitolul 1 Introducere

1.1. Considerații privind importanța conservării și restaurării, construcțiilor de patrimoniu la nivel internațional și național

Pentru construcțiile monument istoric, definiția clasică a planșeului, de element structural capabil de a prelua acțiunile induse de o mișcare seismică și de a le transmite în mod echilibrat la componentele de rezistență verticale precum și de compartimentare pe verticală a funcțiunilor, devine insuficientă deoarece, acestor exigențe li se adaugă cele legate de necesitatea conservării, a restaurării elementelor originale și totodată de a îmbunătăți rezistența și stabilitatea construcției în ansamblu.

1.2. Importanța și actualitatea lucrării de cercetare științifică

Subiectul tezei de doctorat, compoziția planului de cercetare urmărit în cadrul lucrării, contribuie la crearea unei baze documentare deosebit de utile pentru etapa actuală și viitoare, înscriindu-se în direcția preocupărilor naționale și internaționale ale instituțiilor în drept cu atribuții în conservarea și protejarea monumentelor istorice. Studiile și cercetările efectuate au contribuit la lărgirea bazei de cunoaștere și la crearea și fundamentarea unor soluții de intervenție, deosebit de importante pentru crearea unui cadru de normative și prescripții aferente reabilitării construcțiilor cu valoare de patrimoniu.

1.3. Justificarea lucrării de cercetare științifică

În etapa actuală construcțiile de patrimoniu se confruntă cu riscuri de natură antropică sau naturală iar cunoașterea efectelor acestor factori distructivi coroborat cu o cunoaștere aprofundată de detaliu a construcției monumentelor reprezintă un element esențial, capabil de a selecta metode și tehnici adecvate restaurării structurilor, cu protejarea componentelor valoroase, a substanței istorice și a valorii culturale.

În acest context, prin proiectul de cercetare științifică am propus ca pentru construcțiile de patrimoniu studiate să fie efectuate cercetări teoretice și experimentale, contribuții în cadrul unei viitoare baze de date și a unor măsuri de intervenție, care să fundamenteze activitatea de conservare și restaurare, să contribuie la elaborarea unei metodologii de evaluare a siguranței structurale precum și la constituirea unui suport valoros de rezultate ce va face parte în viitor, din prescripții tehnice în domeniul conservării și restaurării construcțiilor.

Analiza efectuată asupra clădirilor de patrimoniu, asupra comportării acestora cât și asupra măsurilor de intervenție necesare, au evidențiat faptul că, planșeul ca element structural ridică probleme deosebite. În decursul timpului acest element a suferit o evoluție progresivă atât din punct de vedere al materialelor, tehnologiilor dar și din punct de vedere al soluțiilor constructive (utilizarea componentelor plane, a bolților, a arcelor cât și a altor forme de curbură).

1.4. Obiectivele lucrării de cercetare științifică

Am analizat comportarea în timp a acestor planșee, am identificat parametrii care influențează conformarea structurală și factorii care definesc vulnerabilitatea în exploatare, metodele și tehnicile de îmbunătățire a comportării mecanice a planșeelor, necesare în cadrul acțiunii de restaurare și conservare a clădirilor de patrimoniu.

În cadrul activităților desfășurate conform planului de cercetare am studiat un număr apreciabil de construcții de patrimoniu la care am investigat materialele utilizate, atât cele în structura omogenă cât și cele în structura compozită, tehnologiile folosite, astfel încât soluțiile de restaurare nou propuse să poată fi fundamentate pe elementele autentice ale monumentului.

Am identificat parametri care au influențat comportarea în timp precum și elementele care asigură conformarea structurală, rezistența, stabilitatea și totodată am identificat factorii care influențează defavorabil capacitatea portantă cuantificată într-un grad de vulnerabilitate. Toate aceste constatări au fost sintetizate în fișe, planuri, detalii, contribuind la aprofundarea și lărgirea bazei de cunoaștere în acest domeniu, pe un eșantion complex de planșee, specifice unei game variate de construcții de patrimoniu identificate fie ca monument istoric clasa A sau B, fie ca edificii valoroase amplasate în zone istorice urbane sau în zone de protecție istorică.

Am urmărit să obțin informații despre integrarea soluțiilor de consolidare adoptate în ansamblul structurii și modalitatea acestora de conlucrare cu materialele constitutive.

Studiile și investigațiile efectuate în cadrul cercetării au avut drept scop final, elaborarea unor metode și tehnici de intervenție adecvate diferitelor compoziții structurale de planșeu, în vederea îmbunătățirii comportării mecanice a acestuia. Această măsură s-a dorit a veni în sprijinul preocupărilor generale ale specialiștilor în restaurare și conservare a monumentelor istorice și în general a clădirilor de patrimoniu.

1.5. Structura lucrării de cercetare științifică

În capitolul 1 – Introducere – am prezentat importanța și actualitatea lucrării de cercetare științifică în contextul actual al conservării și protejării valorilor de patrimoniu, a obiectivelor propuse în vederea investigării și diagnosticării reale a construcțiilor existente cât și a alegerii soluțiilor de intervenție propuse, compatibile cu soluțiile tehnice și materialele constitutive.

În capitolul 2 - Planșeul, element structural caracteristic construcțiilor de patrimoniu - am prezentat unicitatea construcțiilor de patrimoniu, importanța lor în cadrul societății în decursul timpului, prin conlucrarea stilurilor arhitecturale cu evenimentele desfășurate de-a lungul istoriei, cu tehnologia și materialele constitutive, având o valoare științifică și educațională. Am evidențiat legislația și metodologii ce reglementează conservarea, restaurarea și protejarea construcțiilor de patrimoniu pe plan național și internațional. Am prezentat evoluția istorică a planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu, a științei și tehnicii în acest domeniu, a materialelor utilizate precum și a tehnologiilor de execuție.

Subansamblurile de planșee boltite și clasificarea lor am prezentat-o în cercetările, studiile de caz și expertizele efectuate în situ, în România precum și în cadrul stagiului de cercetare din Portugalia, realizând o clasificare în funcție de stilul arhitectural, tehnologiile și materialele folosite în execuție precum și în funcție de alcătuirea mecanică și geometrică.

În capitolul 3 - Tehnici și soluții de investigare și restaurare a planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu – am efectuat investigarea și diagnosticarea construcțiilor și a elementelor componente. Prin investigațiile și cercetările efectuate am urmărit evaluarea unor probleme cu caracter static, materializate prin verificarea comportamentului structural al zidăriei, problemele cu caracter higrotermic și determinarea stării de umiditate.

Am prezentat tehnicile de restaurare caracteristice planșeelor, atât cele nestructurale cât și cele structurale. Am studiat tehnicile de restaurare cu elemente metalice, prin introducerea în structura de rezistență a armăturilor de tip tiranți, pentru a prelua împingerile bolților în zidărie, tehnici de restaurare cu elemente din beton armat, tehnici de restaurare cu lianți de legătură și tehnici de restaurare cu materiale compozite.

La sfârșitul capitolului, investigațiile, metodele și tehnicile de restaurare au fost adoptate și prezentate în studii și cercetări efectuate în situ, în studii de caz:

- *„Tribunalul Vechi” din municipiul Brăila; monument istoric clasa B, cu planșeu din boltișoare de cărămidă care descarcă pe profile metalice*

- *„Castelul de Apă” din municipiul Brăila; monument istoric clasa B, cu planșeu din beton armat*

- *„Grup Școlar Sportiv nr.2” din Constanța; monument istoric clasa B, cu planșeu din lemn*

- *„Spitalul Sf. Pantelimon” din municipiul Brăila; monument istoric clasa B, cu planșee din boltișoare de cărămidă care descarcă pe profile metalice și planșee din lemn*

În capitolul 4 - Studii și cercetări experimentale privind restaurarea planșeelor construcțiilor de patrimoniu, - pentru a menține și conserva integritatea structurală a clădirilor am propus implementarea unor soluții de consolidare, adaptate fiecărei situații în parte.

În acest capitol, am realizat diferite teste experimentale cu privire la restaurarea planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu care au nevoie de lucrări de reabilitare, din cauza degradării lor și a intervențiilor inadecvate la care au fost supuse.

Testele experimentale le-am efectuat atât în situ, în laboratoarele Universității „Ovidius” din Constanța precum și la „Institutul Superior Tehnic” – Universitatea Tehnică din Lisabona. Studiile și cercetările experimentale realizate au vizat cuantificarea parametrilor de calcul ai structurii de rezistență, a rezultatelor comportării în timp, în vederea propunerii unor măsuri, soluții de restaurare și consolidare ale planșeelor boltite din zidărie de cărămidă caracteristice monumentelor istorice.

Cercetări privind reabilitarea planșeelor și a zidăriilor portante la structuri de tip ”Pombalina”

Cercetări privind zidăria specifică planșeelor boltite, supusă la compresiune pe diagonală și uniaxială

Cercetări privind caracteristicile mecanice ale zidăriei specifice planșeelor boltite

Cercetări privind comportarea și evaluarea consolidării planșeelor boltite cu tiranți metalici

Cercetări privind îmbunătățirea comportării în timp prin creșterea capacității portante a planșeelor boltite restaurate cu armături din fibre de carbon

În capitolul 5 - Studiu de caz – Biserica “Sf. Mare Mucenic Gheorghe” din Constanța - În cadrul studiului de cercetare am efectuat investigații asupra degradărilor structurale de ansamblu cât și ale unor componente specifice, acestea fiind evidențiate prin inventarierea degradărilor prin relevee și materiale ilustrative. Am urmărit identificarea zonelor de degradare, măsura acestora, direcția de propagare a fisurilor, localizarea lor în ansamblul structurii bolții, toate aceste elemente contribuind la punerea în evidență a zonelor solicitate care nu mai prezintă capacitatea asigurării continuității elementului.

În investigarea tehnologică am cuprins descrierea construcției din punct de vedere al componentelor și anume: tipul elementelor structurale, materialele și tehnologiile utilizate, dimensiunile caracteristice ale componentelor structurale, tipul legăturilor și capacitatea lor funcțională, eventualele vicii de alcătuire.

Măsurile de intervenție prezentate în lucrare le-am propus, cu scopul de a elimina cauzele care au condus la apariția degradărilor, de a îmbunătăți conlucrarea structurală și de a reface componentele degradate în aceeași soluție constructivă cu cea a construcției inițiale, fără a afecta valoarea monumentului.

În capitolul 6 – Concluzii, contribuții și direcții viitoare de cercetare - finalizez lucrarea de cercetare științifică prezentând toate contribuțiile aduse, în urma analizelor documentare și a celor experimentale. Am detaliat contribuțiile aduse la dezvoltarea cunoașterii în domeniul protejării și restaurării construcțiilor de patrimoniu precum și rezultatele cercetării experimentale și validarea științifică a acestora.

Am concluzionat activitatea de cercetare efectuată atât în țară cât și în Portugalia precum și valorificarea rezultatelor obținute. Nu în ultimul rând, am propus direcții viitoare de cercetare științifice cu privire la comportarea și restaurarea planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu.

Capitolul 2 Planșeul, element structural caracteristic construcțiilor de patrimoniu

2.1. Unicitatea construcțiilor de patrimoniu; cadrul legislativ

Construcțiile de patrimoniu reprezintă expresia unor trăsături ale societăți (creștere economică, nivelul dezvoltat al creației, stabilitate pe plan politic) cuantificate în dimensiunea timpului. Valoarea unei clădiri de patrimoniu are o structură compozită, fiind armonia dintre componenta artistică și tehnologia constitutivă, între compoziția structurală și conformarea spațială, coroborat cu evenimentele care s-au derulat la un moment dat în aceste construcții.

2.1.1. Protejarea construcțiilor de patrimoniu; convenții și carte

În contextul legii 422/2001 protejarea și conservarea unei construcții de patrimoniu, este o activitate cu caracter științific, juridic, administrativ, financiar, fiscal și tehnic, cu rol de a asigura cercetarea, conservarea, întreținerea, restaurarea, punerea în valoare și integrarea în viața culturală a comunității.

2.1.2. Evoluția istorică a planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu

Analiza soluțiilor tehnice de realizare a planșeelor a pus în evidență o adevărată evoluție a științei și tehnicii în acest domeniu iar componentele structurale ale acestora, materialele utilizate și tehnologiile de execuție exprimă clar și cuprinzător creația științifică, tehnică și artistică a timpului.

Datorită existenței unei mari diversități de materiale utilizate precum lemnul, piatra, produsele ceramice, metalul, etc., am realizat o prima clasificarea a planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu.

Planșee din lemn

Planșeele din lemn au fost folosite din cele mai îndepărtate vremuri datorită materialului utilizat, al consumului redus de energie și al unei tehnologii și execuție relativ simple. În principiu sunt realizate cu o structură simplă, din grinzi principale paralele între ele (dispuse la distanțe ce pot varia în funcție de diferiți factori), elemente de umplutură, podina de rezistență și elemente de finisaj.



Fig. 2.6 - Planșeu din lemn - (foto autor)

Planșee din cărămidă

Planșeele din zidărie de cărămidă de tip boltă, s-au utilizat pe scară largă din cele mai vechi timpuri, în România existând astfel de soluții, la construcțiile realizate până la începutul sec XX. Pentru perioada în care au fost folosite, s-au realizat arhitecturi și forme impresionante pentru construcțiile (fig.2.8), în care elementul principal de rezistență al planșeelor din cărămidă îl constituia bolta sau cupola realizate din cărămidă sub alcătuirii constructive și forme geometrice diferite.



Fig. 2.8 - Planșeu din cărămidă – boltă tip Vela - (foto autor)

Planșee din piatră

Cu toate că materialul constitutiv de bază este roca, ușor de procurat și de găsit pe plan local, planșeele din piatră (fig.2.11), au cunoscut o utilizare destul de restrânsă în țara noastră. [70].

Fig. 2.11 - Planșeu din piatră de tip boltă - (foto -



Grămescu Ana Maria)

Planșee metalice

Planșeele metalice (fig.2.12), au apărut odată cu dezvoltarea tehnologiei oțelului din secolului XIX. În țara noastră planșeul metalic s-a dezvoltat extrem de puțin în realizarea construcțiilor de patrimoniu, oțelul fiind utilizat mai mult în combinații cu materiale locale.

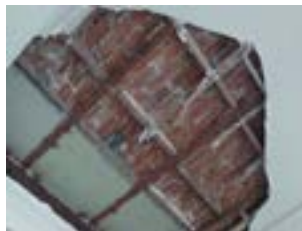


Fig. 2.12 - Planșeu metalic -Banca Portugaliei/Lisabona - (foto autor)

Planșee mixte

În secolul XIX odată cu dezvoltarea tehnologiei oțelului, au apărut și planșeele din lemn cu profile metalice cu secțiuni I (fig.2.15). Utilizarea profilelor metalice de tip I a dus și la rezolvarea unor probleme privind dimensiunile mari ale grinzilor de lemn.

Fig. 2.15 - Planșeu din boltișoare din cărămidă cu profile metalice tip I -Banca Portugaliei/Lisabona - (foto autor)



2.2. Planșeele boltite, subansambluri de structură caracteristice construcțiilor de patrimoniu

Localizarea bolților în timp și spațiu este realizată prin identificarea tehnologiilor folosite la realizarea lor, prin materialele utilizate precum și alcătuirea structurală, geometrică și mecanică. De obicei au fost realizate din două părți distincte, una structurală portantă supusă la încovoiere pentru planșee plane și la împingeri cu compresiune la planșee boltite iar cealaltă, nestructurală, alcătuită din pardoseală și finisaje.

2.2.1. Elemente privind clasificarea planșeelor boltite

Planșeele boltite se pot clasifica în funcție de stilul arhitectural, tehnologiile și materialele folosite în execuție și în funcție de alcătuirea mecanică și geometrică.

2.2.2. Prezentarea subansamblurilor de planșee boltite

Bolțile din zidărie de cărămidă sau din piatră au fost primele planșee boltite caracteristice construcțiilor monument istoric și clădirilor de patrimoniu, fiind planșee ce trebuiau să acopere atât suprafețe mici: holuri, pasaje, subsoluri, cât și suprafețe mari precum săli, saloane, lăcașuri de cult, etc.

Bolta Vela /Boema

Este o boltă cu suprafața parțial emisferică, ce descărca eforturile pe patru arce semicirculare și este folosită pentru a închide spații mici ca suprafață (închideri de holuri, pasaje, spații de trecere). Este folosită la construcțiile cu stil arhitectural gotic, mai ales la sfârșitul secolului XIX.

Bolta cilindrică

Este un planșeu boltit folosit din timpuri străvechi fiind o boltă în plin cintru cu arcul frontal semicircular (fig.2.26). Denumirea îi este dată după curba directoare ce o descrie, în Evul Mediu fiind realizată cel mai des din segmente de boltă numite și centuri sau dublouri [157].

Fig. 2.26 - Boltă cilindrică cu nervuri din zidărie -(foto autor)



Bolta în cruce

Se constituie din întrepătrunderea ortogonală a două bolți cilindrice, identice, rezultând bolta cu patru calote. În realizarea planșeului boltit, se zidesc mai întâi nervurile după care se trece la zidirea bolții între ele, de multe ori, arcele fiind construite mai înalte decât calotele bolții. [56].

Bolta în cruce romană (bolta cu muchii întrânde)

Realizarea bolții în cruce romană, se face prin intersecția a două bolți cilindrice cu axele intersectate perpendicular și cu diametrele egale. Cheile bolților formează linii perfect drepte orizontale, intersectate între ele. Arcele frontale au formă de semicercuri iar cele diagonale descriu jumătăți de elipsă.

Bolta în cruce gotică (bolta în ogivă)

Este o boltă realizată cu nervuri portante din piatră sau zidărie de cărămidă, cu arce frontale sau dezvoltate pe diagonală. Se construiește din două bolți cilindrice ce se intersectează, cu linia cheilor ascendentă sau orizontală (fig. 2.34). **Fig. 2.34 - Boltă în cruce gotică – Jeronimo/Lisabona - (foto autor)**



Bolta în cruce romanică

Este o boltă derivată din bolta în cruce, construită în stilul arhitectural roman cu liniile cheilor celor două bolți cilindrice intersectate, perfect drepte în proiecție orizontală, ascendente în plan vertical (fig.2.36). [157].

Fig. 2.36 - Boltă în cruce romanică -biserica Santa Caterina/Lisabona - (foto autor)



Bolta stelată

Din punct de vedere tehnologic, se realizează mai întâi nervurile apoi zidăria dintre ele, calotele putând fi construite fără cinte și cofraje datorită nervurilor dese. Este un planșeu boltit (fig.2.40), folosit pentru a acoperi deschideri mari, realizat din bolți în cruce cu calotele sectionate de nervuri dese.



Fig. 2.40 - Boltă stelată - Catedrala Să/Lisabona - (foto autor)

Bolta în evantai

Bolta în evantai (fig.2.41), este de fapt o boltă stelată cu nervuri radiale încastate în stâlpi de susținere. Bolta este casetată cu nervuri ce dau și forma de evantai. Aparține stilului arhitectural gotic fiind folosită pentru a acoperii suprafețe mari în stil decorativ. **Fig. 2.41 - Boltă în evantai - (foto autor)**



Bolta în oglindă

Este o boltă folosită pentru a acoperii suprafețe mari și de aceea a fost folosită în perioada renascentistă, în realizarea frescelor și a picturilor (fig.2.44). Este un planșeu din lemn cu grinzi principale, boltit la colțuri, fiind utilizat și ca pardoseală pentru nivelul superior [157].



Fig. 2.44 - Bolți în oglindă -Catedrala Să/ Lisabona - (foto autor)

Bolta în segmente

Este un planșeu boltit deoparte și de alta cu sferturi oarbe de boltă, fiind denumit și boltă cilindrică în arc frânt.

Bolta mânăstirească

Este o boltă cu origini în bolta cilindrică, construită din patru sferturi oarbe.

Bolta în plasă

Bolta în plasă este o boltă de translație cu curbura simplă, realizată din mai multe câmpuri, delimitate de nervuri (fig.2.46).



Fig. 2.46 - Boltă în plasă -biserica Jeronimo/Lisabona - (foto autor)

Bolta sferică – cupolă

Bolțile de tip cupolă sunt planșee caracteristice perioadei renaștentiste în special la realizarea domurilor când se realizau cupole duble, cu tambur sau cu lanternă, pentru iluminarea spațiilor interioare (fig.2.47). **Fig. 2.47 - Boltă sferică -palatul Ajuda/Lisabona - (foto autor)**



Bolțișoara – bolta prusească

Profilele de tip I susțin bolțișoarele din cărămidă și descarcă eforturile către structura de rezistență fiind poziționate paralel între ele la o distanță interax de până la 1,2 m.

Fig. 2.48 - Boltă prusească –banca

Portugaliei/Lisabona - (foto autor)



Bolțile moldovenești

Stilul bolților moldovenești este caracterizat prin îndepărtarea punctelor de sprijin de la baza lor și prin faptul că se pot realiza turle zvelte prin transformarea bazei din dreptunghi în pătrat și mai apoi în cerc.

2.3. Tehnici de realizare și restaurare ale planșeelor boltite

Bolțile din cărămidă se execută cu grosime constantă sau cu grosime neuniformă, mai subțiri în zona centrală și mai groase spre nașteri, unde solicitările sunt mai mari. Realizarea bolților din cărămidă se bazează în principiu pe tehnica de țesere a cărămizilor [56]. Grosimea bolților, la cele cu deschideri mari, este realizată prin țeserea zidăriei de cărămidă [71], pe mai multe rânduri, cu diferite tipuri de cărămizi astfel încât să se realizeze țeserea și între rândurile verticale ale bolții (fig.2.51).



Fig. 2.51 - Sisteme de țesere a

zidăriei pentru bolțile cu deschideri mari – (desen autor)

Pentru consolidarea și restaurarea planșelor boltite trebuie să se realizeze mai întâi un sistem de sprijinire a elementelor structurale și nestructurale pentru a evita eventuale prăbușiri. Împreună cu sistemul de sprijiniri se construiește și platforma pe care se va lucra la intradosul planșeului și sistemul de schele [33].



Fig. 2.54 - Cofrarea bolților cu cintre de lemn – (desen autor)

Capitolul 3 Tehnici și soluții de investigare și restaurare a planșelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu

3.1. Investigarea construcțiilor de patrimoniu

Odată cu progresul tehnologic la care suntem martori, cu apariția noilor aparate și tehnologii de investigare, s-a mărit domeniul de cercetare și corectitudinea datelor culese. Prin noile aparate se ușurează procesul de investigare al construcțiilor de patrimoniu și o eficacitate mai mare a metodelor de încercări nedistructive și semidistructive.

3.2. Tehnici, metode și aparate pentru investigare și diagnosticare

Cu ajutorul aparatelor moderne, prin tehnici de investigare și diagnosticare a construcțiilor de patrimoniu, am colectat date și informații importante pentru a realiza caracterizarea structurală a obiectivului și caracteristicile materialelor.

Prin investigațiile și cercetările efectuate am urmărit evaluarea unor probleme cu caracter static, materializate prin verificarea comportamentului structural al zidăriei (tipul zidăriei, compoziția materialelor constitutive, prezența eventualelor discontinuități, valoarea încărcărilor, distribuția eforturilor, caracteristicile elastice ale zidăriei), probleme cu caracter higrotermic și determinarea stării de umiditate [34].

Analizele le-am realizat prin investigații în situ și în laborator pe probe prelevate. Am urmărit verificarea dinamicii avariilor constatate, am determinat caracteristicile zidăriei cu privire la morfologia și omogenitatea elementelor, caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor constitutive și gradul de avariere.

Colectarea datelor cu privire la eventuale deficiențe structurale, degradări și defecte ale construcției a fost utilă, pentru a întocmi planurile de consolidare și restaurare, la stabilirea măsurilor de intervenție și determinarea cauzelor ce au dus la degradarea construcției.

3.2.1. Tehnici de testare nedistructive

Tehnicile nedistructive oferă rezultate suficiente pentru caracterizarea structurală completă a clădirii și sunt de obicei aplicate într-o primă fază a inspecției, obținându-se cu ajutorul lor, informații cu privire la caracteristicile mecanice ale zidărie, degradările materialelor și ale structurii [34].

Tehnica inspecției vizuale

Inspecția se face cu ochiul liber sau cu ajutorul unor dispozitive optice, evaluându-se caracteristicile geometrice ale structurii, materialele generale constitutive și simptomele patologice prezente.

Reprezentarea grafică a anomaliilor observate poate fi foarte utilă, având în vedere posibilitatea de a detecta modele care conțin informații valoroase, pentru a înțelege mecanismele de deteriorare. Este cazul unor crăpături în pereții fațadelor, fisuri deschise și apariția organismelor biologice (prezența plantelor, ciuperci, mucegaiuri, etc), semnale de apariția apei în capilaritate, degradări și fisurări ale fundațiilor.

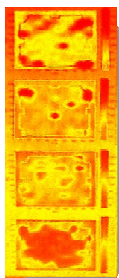
Tehnica ultrasonică de impuls

Testul cu ultrasunete constă în determinarea vitezei de propagare a unui impuls ultrasonic, prin materialul de studiu, între două puncte (unul emisie și altul recepție), care permite predicții cu privire la proprietățile mecanice ale materialelor, asupra omogenității și eventual prezența fisurilor, gurilor sau alte defecte. Cu cât este mai omogen și mai dens materialul, cu atât va fi mai mare viteza de propagare a undei ultrasonice.



Fig. 3.4 - Componenta aparatului ultrasonic Tico - (foto autor)

Tehnica cu tomografia sonică



Metoda constă în înregistrarea timpului realizat de impulsurile sonice, prin secțiunea studiată. Calculul vitezei se face prin inversarea timpului de propagare, presupunând că într-un câmp neuniform, impulsurile sonice nu se propagă după o linie dreaptă ci după o linie curbă, ca urmare a refracției [50]. Rezultatele măsurătorilor sunt înregistrate pe o hartă a distribuției vitezei de propagare a sunetului, care permite identificarea omogenității și a zonelor cu rezistența scăzută.

Fig. 3.5 - Rezultatul unei inspecții tomografice – (foto -João Ferreira)

Tehnica vitezei impulsurilor mecanice în zidărie

Această tehnică se bazează pe generarea unui impuls mecanic într-un punct din structură (emițător) și captarea acestuia la un alt punct (receptor). Înregistrarea timpului (calcularea vitezei de propagare a impulsurilor) este un răspuns al rigidității materialului. Impulsurile de joasă frecvență sunt induse prin lovirea zidăriei cu un ciocănel iar semnalul este captat de receptori, care pot fi poziționați în locuri diferite.

Tehnica de explorare cu radar

Viteza de propagare a undelor electromagnetice și producerea ecourilor este direct legată de proprietățile dielectrice, care pot fi corelate cu proprietățile mecanice ale materialelor.

Tehnica de termografie

Termografia în infraroșu constă în captarea imaginii zonelor calde (termograme), nevizibile cu ochiul uman ci doar cu ajutorul unei camere de termoviziune, care

permite identificarea unor tipuri diferite de anomalii (fisuri, goluri) și pentru a detecta diferențele dintre materialele din interiorul structurii.

Tehnica durității superficiale

Sclerometrul (fig.3.8), este un dispozitiv care permite, într-un mod simplu, determinarea rezistenței la compresiune a zidăriei și evaluarea omogenității materialului. Metoda se bazează pe relația care există între rezistența la compresiune și duritatea suprafeței materialului, prin măsurarea energiei elastice remanente.



Fig. 3.8 - Sclerometru mecanic pendular – (foto -João Ferreira)

3.2.2. Tehnici de testare semidistructive

Tehnicile nedistructive de testare descrise mai sus nu permit cuantificarea în mod direct a parametrilor care caracterizează comportamentul mecanic al materialelor constitutive din structuri. Tehnicile semidistructive oferă o vedere calitativă a componenței structurale și cuantificarea rigidității globale [40].

Tehnica de carotaj

Această metodă constă în extragerea de probe (fig.3.9), denumite carote, din punctele reprezentative ale construcției pentru teste de laborator, în scopul de a evalua proprietățile mecanice, fizice și chimice ale materialelor. Sunt în general efectuate, asupra probelor extrase, teste de rezistență și de deformabilitate sub efectul compresiunii și tracțiunii. **Fig. 3.9 - Tehnica de carotaj – (foto -Vítor Cóiás)**



Tehnica de extragerea a unei probe elicoidale

Metoda este folosită în situ, determinând rezistența opusă la extragerea zidăriei, fiind o metodă indirectă a rezistenței la tracțiune. Echipamentul necesar pentru această testare este un burghiu, o mașină de găurit cu ancore, accesoriile aferente și un dispozitiv de extragere.

Tehnica cu boroscopul

Boroscopia este o tehnică nedistructivă, bazată pe utilizarea unui instrument optic, boroscopul (fig.3.11), care permite vizionarea în interiorul zidărie a eventualelor cavități interne, propagarea fisurilor interne și deschiderea lor. Boroscopul este o tijă subțire, prevăzută la capăt cu un obiectiv cu lentile și prisme.



Fig. 3.11 - Echipamentul boroscop – (foto -Vítor Cóiás)

Tehnica cu dilatometru

Această tehnică permite evaluarea directă a modului de elasticitate în interiorul zidurilor. Este avantajoasă în cazul pereților tradiționali de zidărie, deoarece se poate evalua comportamentul unei zone speciale a peretelui.

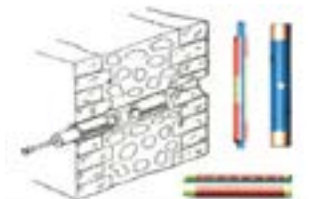


Fig. 3.12 - Echipamentul Dilatometru – (foto -João Ferreira)

Tehnica cu cric

Testul cu cricuri plane, permite evaluarea corectă a unor caracteristici mecanice ale zidăriei, cu un efect distructiv redus. Se realizează prin introducerea unor cricuri cu grosimi reduse în rosturile zidăriei sau în locașurile realizate special în acest scop. Prin această tehnică se determină starea de tensiune locală din interiorul boltii din zidărie, estimarea modulului de elasticitate și rezistența la compresiune a zidăriei. Cricurile plane au forme, dimensiuni și grosimi diferite fiind realizate din foi din oțel sudate între ele pe margine, cu două coturi hidraulice.



Fig. 3.14 - Test cu cric simplu – (foto -Vítor Cóiás)

3.3. Tehnici de restaurare nestructurală a planșeelor

Reabilitările nestructurale sunt importante pentru performanța și durabilitatea construcțiilor, în special atunci când sunt afectate de umiditate (condens, infiltrații). Tehnicile nestructurale de restaurare, sunt în esență prezentate prin repararea de anomalii asociate cu umiditatea: prin crearea barierelor chimice, prin introducerea de bariere impermeabile, prin înlocuirea sau diminuarea secțiunii absorbante, prin realizarea de zone de drenare, prin realizarea unor tuburi prin care să se ventileze zona afectată [33].

Măsuri pentru combaterea agenților biologici

Mucegaiurile pot rezista și până la 10 ani, de aceea tratamentul antimucegai se va repeta iar după efectuarea tratamentului se vor asigura condiții climatice (temperatură, nivel de umiditate, iluminare) pentru a nu favoriza reapariția mușchiului.

Măsuri pentru combaterea sărurilor dăunătoare

Cea mai bună variantă pentru combaterea sărurilor dăunătoare este aceea de asanare și restaurare a zidăriei atât la interior cât și la exterior (cu tencuieli mult superioare față de cele convenționale, vopsele și finisaje hidrofobe, permeabile la vapori). Tencuielile se pot aplica manual sau mecanizat și nu conțin produse nocive, fiind compatibile cu materialele structurale, asigurând o protecție pe timp îndelungat.

Soluții pentru protejarea zidăriei de cărămidă

Ca măsuri preventive se pot enumera: eliminarea sau reducerea la minimum a acțiunii agenților de deteriorare (agenți de mediu, agenți biologici), aplicarea de tratament de protecție, la suprafață, inspecția și aplicarea proceselor de îngrijire și protecție adecvate.

3.4. Tehnici de restaurare structurală a planșeelor

Procesul de restaurare a planșeelor urmărește îndepărtarea totală sau parțială a defectelor de alcătuire a structurii sau a elementelor structurale, refacerea proprietăților de rezistență și deformabilitate ale materialelor de construcție datorate acțiunilor fizice, chimice și biologice.

Restaurarea planșelor din lemn.

Măsurile structurale de restaurare a planșelor din lemn sunt: prin schimbarea grinzilor de lemn ce prezintă degradări în structura lor, prin tratarea și protejarea elementelor din lemn, prin introducerea unor elemente noi capabile de a prelua încărcările planșeului (fig. 3.24), prin refacerea sau reîntregirea elementelor din lemn cu ajutorul pieselor metalice, prin injectarea fisurilor și a secțiunilor slăbite, cu polimeri, etc.



Fig. 3.24 - Consolidarea îmbinărilor dintre grinzi de lemn ale planșeului și zidurile pe care descarcă - (foto -João Appleton)

Deformabilitatea poate fi limitată și mai mult prin două procedee distincte: o primă soluție constă în sprijinirea grinzilor cu o grindă intermediară, crearea de suporturi intermediare realizate din grinzi transversale și a doua posibilitate, de a crește capacitatea portantă corespunzătoare pentru o rigiditate mai mare și totodată o deformabilitate mai mică, (fig.3.28).



Fig. 3.28 - Consolidarea planșeului de lemn cu platbande și tiranți metalici. - (foto -João Appleton)

Restaurarea planșelor mixte zidărie – oțel

Soluțiile de reabilitare adoptate depind foarte mult de gradul de coroziune ce afectează profilele metalice și de dificultatea de a observa direct degradările produse în zonele de încastrare. Atunci când se observă că procesul de coroziune este superficial, trebuie să se stabilească în ce măsură este afectată secțiunea profilului metalic, să se evalueze în procente degradarea produsă asupra secțiunii și să se verifice condițiile de siguranță structurală pe care trebuie să le îndeplinească planșeul.

Bolțișoarele de cărămidă sunt afectate prin apariția fisurilor și crăpăturilor în elementele de zidărie și în rosturile de mortar iar restaurarea lor se face prin injectări cu rășini epoxidice, pastă de ciment, mortar de ciment iar în situațiile grave, acestea se vor reface cu materialele existente sau noi.

Restaurarea planșelor din zidărie

În restaurarea structurală a planșelor din zidărie trebuie să se țină cont de compatibilitatea metodei aplicată, de durabilitatea soluției, de reversibilitatea și eficacitatea metodei propuse. Măsurile de restaurare structurală a planșelor, constau în schimbarea elementelor structurale sau consolidarea lor și adăugarea de elemente noi [27] care preiau parțial sau total încărcările planșeului.

Criteriile care trebuie îndeplinite în reabilitare sunt: compatibilitatea între elementele noi introduse și cele existente, durabilitatea, reversibilitatea, modificări ale greutateii proprii, ductilitatea rezultată în urma consolidării, rezistența structurii și distribuirea eforturilor între structura existentă și elementele noi adăugate.

Restaurarea bolților fisurate

În repararea fisurilor la extradadosul bolții, se decopertează tencuiala cca. 10 cm deoparte și de alta a fisurii iar pe lungimea fisurii se montează ștuțuri apoi se injectează fisura cu mortar de var sau lapte de ciment după care se chituește pe toată lungimea ei.



Fig. 3.36 - Fisuri și crăpături în zidăria bolților de cărămidă – (foto autor)

Restaurarea bolților prăbușite parțial

Restaurarea se execută cu materiale asemănătoare celor existente sau chiar cu cele existente în stare bună de exploatare iar după refacerea zonelor se realizează o tencuială armată. Pentru a îmbunătăți capacitatea portantă a bolților și conlucrarea elementelor componente se dispun armături din platbande de carbon dispuse după curbura generatoarelor sau pe direcția paralelelor și meridianelor (la bolțile cilindrice și la cele sferice).



Fig. 3.38 – Bolțișoare prăbușite parțial – (foto autor)

Restaurarea bolților prăbușite

Restaurarea bolților prăbușite în totalitate (fig.3.43) se realizează în funcție de structura de rezistență rămasă, în funcție de liniile nașterilor dacă s-au mai păstrat și în funcție de noua funcționalitate stabilită. Se poate face cu elementele existente, cu elemente noi, similare sau prin turnarea pânzelor subțiri din beton armat, caz în care se păstrează ca autenticitate doar forma inițială a bolții.



Fig. 3.43 – Bolți prăbușite din cauza acțiunii seismice - Biserica Cârmo/Lisabona – (foto autor)

3.4.1. Tehnici de restaurare a planșelor boltite, cu elemente metalice

În cadrul planșelor boltite, restaurarea cu elemente metalice se face prin introducerea în structura de rezistență a tiranților, pentru a prelua împingerile bolților în zidărie. Tiranții se ancorează în zidăria existentă prin intermediul unor piese rigide ce trebuie calculate astfel încât să nu se producă puncte concentrate de eforturi, locale, în zonele de fixare.

3.4.2. Tehnici de restaurare cu elemente din beton armat

În ultimul sfert al secolului al XIX-lea, își face loc în restaurări tehnica betonului armat. Cea dintâi utilizare a betonului armat, pare să fi fost dala turnată de către Paul Gout peste corul bisericii abațiale din Mont Saint Michel în 1880, dar promotorul în teorie și practică al betonului armat a fost arhitectul Anatole de Baudot, elevul preferat al lui Viollet-le-Duc, care își expune concepțiile în cursul pe care îl predă între anii 1887 și 1914: *“Acest admirabil procedeu va contribui (...) la conservarea edificiilor noastre medievale fără să le tulbure spiritul, cu condiția utilizării sale cu inteligența și în limitele inspirate de respectarea formelor”*.

3.4.3. Tehnici de restaurare cu lianți de legătură

Tratarea fisurilor / crăpăturilor se poate realiza prin injectări cu suspensie din liant hidraulic (var, ciment) cu apă. În fisurile mai mari se poate introduce material de umplutură (praf de cuarț, praf de piatră, nisip). Rășinile sintetice au fost utilizate pe scară largă pentru puterea de lipire iar utilizarea lor este recomandată pentru tratamentul zonelor în profunzime.



Fig. 3.50 - Colmatarea fisurilor cu rășini sau spume – (foto autor)

3.4.4. Tehnici de restaurare cu materiale compozite

Armarea planșeului este realizată prin aplicare de benzi de material compozit sau țesături compozite de înaltă rezistență (fibre din sticlă, fibre din carbon) (fig.3.54), cu rășini epoxidice cu armătura exterioară, destinată să reziste la întindere.



Fig. 3.54 - Soluții de restaurare a bolților din zidărie cu materiale compozite. – (foto -João Appleton; João Ferreira)

O procedură și o metodă de lucru eficientă și de actualitate o constituie soluția bazată pe folosirea benzilor de material compozit FRP (polimeri armați cu fibre) [10]. Motivul este acela de a menține capacitatea bolții, de a se adapta la structură și la deformarea indusă de acțiunea seismică.

3.5. Tehnici și soluții de investigare și restaurare adoptate – studii de caz

Cercetările menționate în studiile de caz cuprinse în această lucrare științifică, le-am aplicat în cadrul lucrărilor de colaborare și expertize tehnice, derulate pe perioada stagiului doctoral. Am efectuat investigații și cercetări în situ la fiecare lucrare în parte, am prelevat probe, am realizat încercări nedistructive la fața locului și am studiat conformarea structurală a construcțiilor și a elementelor componente. Cu rezultatele obținute am realizat diagnosticarea obiectivelor și am propus soluțiile de intervenție, consolidare și restaurare necesare.

3.5.1. Investigare și restaurare “Tribunalul Vechi din Brăila”

În acest studiu de caz, am realizat o investigație în situ, care se bazează pe cumularea de date informative percepute direct, din documente sau analize efectuate anterior datei în cauză. Am analizat informațiile privind materialele și tehnologiile originale, concepția structurală de ansamblu, istoria și starea de degradare, respectiv acele elemente care influențează comportamentul structural și pot furniza informații utile privind mecanismul specific de avariere.



Fig. 3.62 - Investigarea planșeelor boltite de peste subsol – (foto autor)

Am efectuat o investigare structurală ce cuprinde descrierea construcției din punct de vedere al componentelor, materialelor și tehnologiilor și anume: tipul elementelor structurale, materialele și tehnologiile utilizate, dimensiunile caracteristice ale componentelor structurale, tipul legăturilor și capacitatea lor funcțională, eventualele vicii de alcătuire.

În vederea consolidării și reabilitării planșeului peste subsol, planșeu realizat din profile metalice tip I și boltișoare de cărămidă, am realizat o rețea perimetrală de grinzii aflată la partea superioară a diafragmelor, cu rol de rezemare pentru elementele planșeului (fig.3.68). Centura exterioră este dublată de o centură interioară între care se vor asigura ploturi de legătura la fiecare metru liniar.



Fig. 3.68 - Soluții de reabilitare a planșeului boltit de peste subsol – (desen autor)

Planșeul din lemn a fost restaurat prin înlocuirea grinzilor de lemn degradate cu altele noi cu aceeași secțiune și esență iar acolo unde grinzile existente erau degradate doar la capete, s-a dublat secțiunea lor prin montarea în ambele părți a doi dulapi cu aceeași secțiune. Pentru o bună descărcare a eforturilor transmise de planșeu, s-au realizat grinzii din beton armat perimetrale. Pentru realizarea conlucrării grinzilor interioare și a centurilor perimetrale se vor practica ploturi de betonare armate.

3.5.2. Investigare și restaurare “Castelul de Apă din Brăila”

Acest studiu de caz are la bază analize și investigații efectuate pe teren, precum și studii efectuate în Arhivele Statului, consultarea documentelor referitoare la obiectiv, consultarea proiectelor de amenajare, monografiile și alte publicații cu referire la obiectivul studiat.

Construcția Castelului de apă este declarată monument istoric clasa B de importanță, figurând în lista de monumente istorice cod BR-II-m-B-02104.



Fig. 3.72 – Investigarea planșeului de tip cupolă – (foto autor)

La timpul respectiv, castelul de apă realizat era cel mai mare din România. Proiectul a fost întocmit de personalități marcante ale timpului și anume: ing. Elie Radu, ing. C. Mironescu, ing. G. Panait și arh. Petru Antonescu.

Diagnosticarea structurilor necesită de obicei, utilizarea testelor experimentale pe elemente și materiale pentru a cuantifica caracteristicile fizice și mecanice relevante pentru a evalua comportamentul structurii clădirii. Procedurile de testare în clădirile existente sunt clasificate în funcție de impactul asupra clădirii studiate, distructive, semidistructive și nedistructive. Prin lucrarea realizată, se intenționează salvarea monumentului și realizarea unor intervenții în regim de maximă urgență, menite să limiteze gradul de vulnerabilitate și de risc, care grevează castelul.

3.5.3. Investigare și restaurare “Grup Școlar Sportiv nr.2 din Constanța”

Investigarea realizată în acest studiu de caz s-a bazat pe cumularea de date informative percepute direct și din documente sau analize efectuate anterior datei în cauză. În această fază am analizat materialele și tehnologiile originale, concepția structurală de ansamblu, istoria și starea de degradare, respectiv acele elemente care influențează comportamentul structural și pot furniza informații utile privind mecanismul specific de avariere. La nivelul demisolului, planșeul investigat este realizat din profile metalice pe care descarcă bolțișoare din cărămidă. Planșeul peste parter este realizat din grinzi din lemn de brad ecarisat 15/10 cm, cu dușumea oarbă pe șipci și umplutură de pământ între grinzi iar plafoanele (șipci, trestie și tencuiala din mortar de var), cu reparații făcute după 1977 parțial pe rabiț.



Fig. 3.80 - Investigarea planșeului peste parter și peste subsol – (foto autor)

3.5.4. Investigarea și restaurarea “Spitalul Sf. Pantelimon din Brăila”

Spitalul de Psihiatrie “Sf. Pantelimon” are sediul în Brăila, pe Calea Călărașilor nr. 59 și deservește întreg județul pentru toate categoriile de afecțiuni psihiatrice.

Planșeul peste parter este realizat din grinzi de lemn care descarcă pe o centură, realizată din platbanda metalică și printr-o țesere a cărămidzii, corespunzător tehnologiei de execuție practică la obiectivele importante la sfârșitul secolului al XIX-lea, (fig.3.89).



Fig. 3.89 - Investigarea și diagnosticarea planșeului peste parter – (foto autor)

În cadrul acestei soluții am propus următoarele măsuri:

- ✓ la partea superioară, toate zidurile se vor lega cu o centură din beton armat capabilă să asigure conlucrarea zidurilor portante și o comportare adecvată la o acțiune seismică. În această centură se vor ancora plasele de armătura care consolidează pereții portanți;
- ✓ înlocuirea grinzilor din lemn putrede aferente planșeului peste parter, refacerea plafoanelor, termoizolarea podului cu vată minerală.
- ✓ consolidarea planșeului peste parter prin casetare, în vederea reducerii deformațiilor, al îmbunătățirii efectului de șaiba;

Cercetarea am efectuat-o în cadrul unui program complex în conformitate cu prevederile legii 422/2001 coroborat cu rezultatele experimentale care au vizat cuantificarea parametrilor de calcul ai structurii de rezistență și a rezultatelor urmăririi comportării în timp. Am aplicat măsuri de menținerea configurației și funcțiunii existente a construcției, prevăzându-se lucrări de conservare, restaurare și refacere fără să fie afectată substanța istorică și valoarea monumentului, dar cu lucrări de reparare, cât și de consolidare a elementelor structurale și nestructurale degradate, pentru mărirea rezistenței acestor elemente.

Capitolul 4 Studii și cercetări experimentale privind restaurarea planșelor construcțiilor de patrimoniu

Studiile experimentale au vizat cuantificarea parametrilor de calcul ai structurii de rezistență și a rezultatelor urmării comportării în timp, în vederea propunerii unor măsuri și soluții de restaurare și consolidare a planșelor boltite din zidărie de cărămidă caracteristice monumentelor istorice.

Pentru a menține și conserva integritatea structurală a clădirilor sunt necesare implementarea unor soluții de consolidare corecte adaptate fiecărei situații în parte.

4.1. Cercetări privind reabilitarea planșelor și a zidărilor portante la structuri de tip "Pombalina"

Structurile de tip "Pombalina" sunt structuri din rame de lemn umplute cu zidărie și concepute de Marchizul de Pombal, după cutremurul din 1755 din Portugalia.

Consolidarea zidăriei și a planșelor prin tencuieli armate trebuie să garanteze conlucrarea tencuielii cu zidăria și realizarea unor conexiuni foarte bune între elemente. Utilizarea de tencuieli armate cu plase metalice (protejate împotriva oxidării), fibre de sticlă, etc., permite legarea zidăriei ducând astfel la îmbunătățirea funcțiunii structurale.

În cadrul stagiului efectuat am participat la realizarea consolidării prin tencuieli armate utilizând cămășuirea cu plase din oțel inoxidabil sau din fibre de sticlă și mortar. Soluții ce se aplică atât pentru componentele verticale cât și pentru elementele de planșeu. Reabilitarea am făcut-o prin încorporarea în tencuială a unor plase metalice sau din polimeri (tencuiala trebuie să aibă o grosime de 5-6cm). Se pot utiliza și ancore fixe sau conectori transversali pentru o mai bună conlucrare a zidăriei cu tencuiala.

4.1.1. Studii privind îmbunătățirea capacității portante a planșelor și a zidărilor prin utilizarea plaselor din armături STNB.

Acest procedeu constă în cămășuirea elementelor structurale din zidărie de cărămidă cu mortar de ciment marca M100T și utilizând plase sudate STNB $\Phi 6\text{mm}$ cu ochiuri $10 \times 10\text{cm}$ cu grosimea tencuielii de 6cm, cu rol de cămășuială.

Principala problemă asociată cu aceste materiale, ca și la elementele din beton armat, este procesul de oxidare în prezența umidității sau care apare în interiorul elementelor de construcție în care oțelul este introdus [60] și lipsa de acțiune de întreținere regulată, care trebuie să asigure protecția necesară a oțelului.

4.1.2. Lucrări experimentale privind îmbunătățirea capacității portante a planșelor și a zidărilor prin utilizarea plaselor din armături galvanizate.

Această soluție se ia în considerare atunci când există necesitatea obiectivă de consolidare a capacității de rezistență a structurilor din zidărie. Constă în executarea unei tencuieli fine (în general, între 3 și 8 cm grosime) și armare cu plasa de sârmă sau alte materiale, fixate în mod corespunzător de element. Testele experimentale le-am realizat în laboratorul de structuri și rezistența materialelor din cadru Institutului Tehnic Superior - Lisabona/Portugalia.

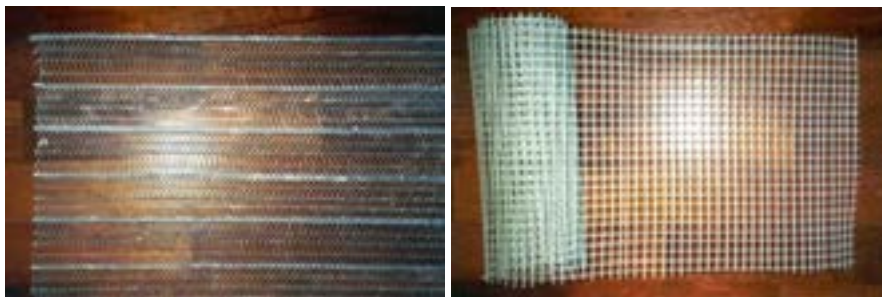


Fig. 4.3 - Armături din oțel galvanizat și plase din fibre de sticlă – (foto -João Ferreira)



Fig. 4.5 - Cămășuirea unei bolți din zidărie cu plasă polimerică – (foto -João Appleton)

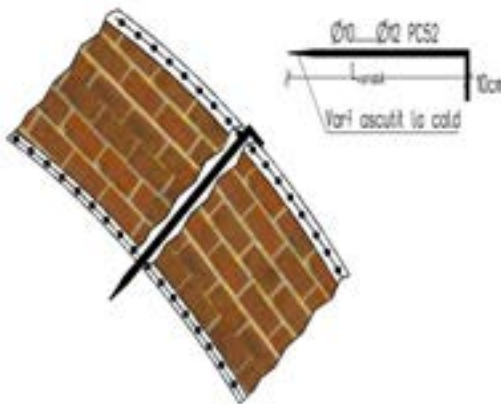


Fig. 4.6 – Dispunerea scoabelor – (foto -Grănescu Ana Maria)

Obiectivele testului

Obiectivele experimentelor au fost: studierea și înțelegerea comportamentului elementelor cu schelet din lemn, cu sau fără umplutură de zidărie, supuse unei acțiuni orizontale ciclice alternante care simulează acțiunea seismică și de asemenea, modul în care materialele componente lucrează împreună.

Tehnologia și echipamentul utilizat

Echipamentul principal pentru încercare a fost compus din: o grindă metalică care ține loc de reazem de încastrare cu suporti metalici de prindere, o presă de 1000 kN montată pe probă și un cadru, pentru a evita deplasarea laterală a elementelor, la partea superioară. Tehnologia de încercare utilizată la teste, a depins de tipul elementului încercat (cu schelet din lemn sau cu schelet din lemn cu umplutură de zidărie).

Realizarea elementelor necesare testului

Testul a constat în realizarea și testarea a zece probe, fiecare fiind formată din patru module din lemn de tip cruce și zidărie din cărămidă. Structura din lemn este formată din elemente orizontale, verticale și diagonale îmbinate prin chertare pe jumătatea secțiunii prin tăiere la 45°. Toate conexiunile le-am consolidat cu cuie de oțel. Lemnul utilizat în acest studiu experimental a fost din pin, fiind uscat pentru a fi cât mai omogen posibil pentru a nu produce diferențe între încercări.

Am încercat reproducerea cât mai fidelă a structurilor „Pombalina” originale din punct de vedere al caracteristicilor și proprietăților materialelor.

Prezentarea testelor

Testele constau în aplicarea unor sarcinii pe orizontală și verticală pe modelele încercate [117]. Elementele le-am testat la deplasări orizontale aplicate, la partea de sus a elementului, folosind un actuator cu o cursă de 400 mm, cu o forță de acționare cu 1000 kN.

Procedura de testare a constat în a impune o deplasare orizontală în partea de sus [14], cu o viteză medie de 15 mm/min (aplicată uniform). O sarcină verticală constantă a fost transmisă la partea de sus a elementelor pentru a simula sarcinile din nivelurile superioare, prin șase cabluri de oțel tensionate cu prese hidraulice, simulând sarcinile gravitaționale. Încărcarea verticală a fost considerată de 60 kN/m.

Caracterizarea experimentală a comportamentului în plan am realizat-o prin încercări ciclice, statice de forfecare, cu deplasări controlate. Această metodă constă în aplicarea unor secvențe de deplasare ciclice în creștere în amplitudine pe toată durata testului, fiecare segment constă într-un ciclu primar, cu o amplitudine definită ca multiplul deplasării de referință. Ciclul primar este urmat de o serie de cicluri, cu amplitudine egală cu 75% din ciclul primar [146].

Rezultate

Deplasările ciclice au fost aplicate până la ruperea elementelor de lemn [133]. Pierderea rigidității a fost identificată în diagramele de încărcare-deplasare, la o deplasare mai mare de 60mm. Analiza se limitează la o serie de deplasări $\pm 5,5$ mm, care duce la o deviere de 2,6% a probei.

Comportamentul histeretic a elementelor, supuse la încărcare ciclică, este caracterizat de un comportament neliniar, cu un răspuns de ductilitate mare [152]. Forța maximă este de 30 kN pentru elementele pe structură de lemn, măsurate la deplasarea de 55 mm .

Energia disipată în fiecare ciclu poate fi evaluată în zona curbei de încărcare-deplasare în fiecare ciclu. Energia de disipare / ciclu asociată cu comportamentul histeretic al elementului am determinat-o prin măsurarea ariei diagramei ciclului mare, în fiecare etapă de deformare (în diagrama de forță-deplasare). Creșterea deformării duce la o mai mare disipare a energiei și scăderea amortizării, asociată cu distrugerea grinzilor de lemn.

În primele cicluri, se prezintă practic o comportare liniară, până la aproximativ 35 kN și 15 mm deplasare.

Tabel 4.1 - Energia disipată și coeficientul de amortizare pentru fiecare ciclu

Nr proba	MW1		MW2	
	Ed (kN/m ²)	ζ %	Ed (kN/m ²)	ζ %
C1	45,31	18,3	52,31	18,4
C2	66,29	12,2	74,82	23,4
C3	95,68	17,5	109,48	15,8
C4	281,67	13,1	308,85	16,2
C5	421,23	1 ,2	474,92	16,4
C6	605,29	10,4	658,75	22,1
C7	1369,75	16,8	1431,24	16,0
C8	2052,84	18,4	1979,76	18,6

Fig. 4.1 - Energia disipată în fiecare ciclu

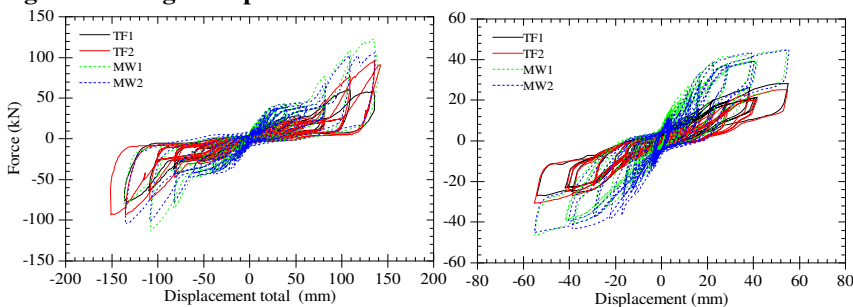


Fig. 4.15 - Curba forță-deplasare

Concluzii

Cum era de așteptat, probele din lemn cu zidărie au o rezistență mai mare decât a celor din lemn fără zidărie, cedarea producându-se la o încărcare de 2000 kN/m față de 600kN/m. Umplutura de zidărie este importantă în special, la rezistența întregului modul și influențează modul de colaps [153], de exemplu, prin prevenirea instabilității laterale a diagonalei comprimate. De asemenea probele din lemn cu zidărie au o capacitate de disipare a energiei și un efect de amortizare mai mare, în timpul încărcărilor seismice.

În timpul testelor, zidăria de la bază, au început să se desprindă, căzând și bucăți de mortar de dimensiuni mici după care au început să se desprindă și zidăria superioară.

Armarea cu plase de oțel a dus la o creștere a rezistenței, până la o deplasare de 10mm, apoi începe să se fisureze la o sarcină relativ constantă. Consolidarea sistemului duce la o creștere importantă a rigidității și la creșterea capacității de disipare a energiei.

Diagramele de forță-deplasare arată că pentru o deplasare de 40 mm este nevoie de o forță de 60kN la elementele armate și 40 kN la elementele simple. Se observă creșteri de rezistență la fiecare final de ciclu, însă explicația ar fi că atunci când se atinge deplasarea impusă, prelele care mențin forța verticală în element întind tiranții verticali astfel încât conferă o rezistență falsă. Pe măsură ce elementul se descarcă, rezistența scade.

4.2. Cercetări privind zidăria specifică planșelor boltite, supusă la compresiune pe diagonală și pe vertical

4.2.1. Obiectivele testului

Obiectivul testului de compresiune pe diagonală este acela de a determina rezistența la rupere, tensiunea de forfecare, mecanismul de rupere și diagramele forță-deformație. Sunt utilizate în stabilirea unei comparații între zidăria monumentelor istorice, realizată după tehnicile și procedurile obișnuite și același tip de zidărie consolidată cu platbande din fibre de carbon; acest lucru realizându-se prin compresiunea pe diagonală a panourilor de zidărie, prin proceduri standardizate.

Testul de compresiune uniaxială (pe direcția axei verticale) a fost realizat pentru a se determina caracteristicile mecanice ale zidăriei, fără a se lua în considerare influența parametrilor structurali precum zveltețea și excentricitatea [147].

Am urmărit obținerea următoarelor date: deformațiile și rezistențele, în cele două situații, evidențierea diferențelor în ceea ce privește modul de cedare, comparația deformațiilor și rezistențelor cu cele obținute pe panourile de zidărie armare cu lamele CFRP (polimeri armați cu fibre de carbon) și obținerea de date pentru proiectarea (alcătuirea și calculul) unor asemenea soluții.

4.2.2. Tehnologia și echipamentul utilizat

Pentru realizarea testelor experimentale am realizat panouri dreptunghiulare (în planul fețelor) de zidărie. Testele au fost realizate pe opt probe cu dimensiunile geometrice de 100x80x12cm, grosimea probelor fiind de o jumătate de cărămidă specifică structurilor tip „Pombalina”. Cele opt probe au fost realizate pe verticală, în stilul obișnuit de zidire și lăsate în locul de execuție, în hala de depozitare a laboratorului de încercări de la IST.

La teste s-au folosit prese hidraulice marca Enerpac, cu capacitatea de 600 kN și 800 kN, o celulă de forță de 600 kN și traductoare de deplasare tip TML cu o cursă de deplasare de 500mm.

4.2.3. Prezentarea testului

Pentru manipularea probelor am folosit un pod rulant și niște grinzi din lemn. Probele au fost rotite în plan vertical, la un unghi de 45^0 astfel încât diagonală de încercare a probei să fie pe verticală.

Pentru a fi poziționată la un unghi de 45^0 , proba a fost așezată la partea inferioară, pe un suport metalic în formă de V [152] iar la partea superioară a fost poziționată tot o piesă în formă de V, ambele piese metalice având latura de contact cu proba de zidărie de 125mm. Proba a fost poziționată între cele două piese metalice pentru aplicarea încărcărilor verticale (la partea superioară) și transmiterea lor către probă.

Încărcarea a fost aplicată constant, cu o viteză medie de 25MPa/s, controlată manual, până la rupere, cu măsurarea valorilor deformației unghiulare, în concordanță cu valorile efortului de lunecare (efortului principal de întindere).



Fig. 4.21 - Pregătirea probelor pentru compresiunea pe diagonală- (foto -Ana Maria Gonçalves)

La testul de compresiune uniaxială s-a folosit o presă hidraulică marca Enerpac, cu o capacitate de 800 kN și o celulă de forță de 600 kN.

Pe parcursul testului am măsurat forța aplicată până în momentul cedării, rezultatele deformării verticale fiind obținute cu ajutorul traductoarelor de deplasare (amplasate pe ambele fețe ale probei, la distanță egală de centrul fețelor probei).

4.2.4. Rezultate

Am încercat 4 panouri de zidărie de cărămidă la compresiune pe diagonală și 4 panouri de zidărie de cărămidă la compresiune uniaxială. După realizarea testului la compresiune pe diagonală s-a putut observa că rezistența la rupere a probelor DT0 și DT1 a fost asemănătoare, față de rezistența probelor DT2 și DT3 care a fost mai mică.

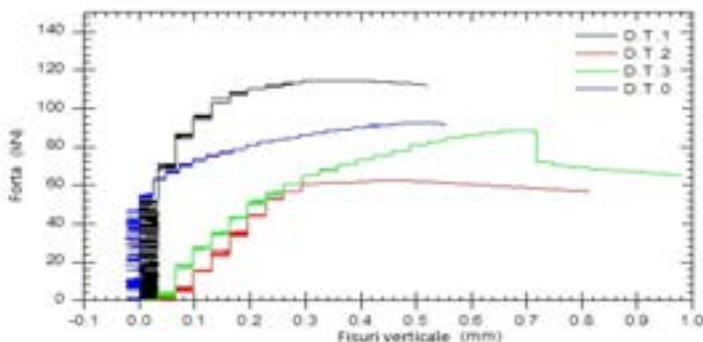


Fig. 4.24 – Fisuri verticale – Forța de încercare la rupere Rezultatele testului la compresiuni pe diagonală - (grafic - João Gomes Ferreira)



Fig. 4.25 - Rezultatele testului la compresiuni pe diagonală



Fig. 4.27 – Imagini din timpul testului la compresiune uniaxială - (foto -Ana Maria Gonçalves)

4.2.5. Concluzii

Încercările desfășurate în această etapă au furnizat informații referitoare la comportarea panourilor de zidărie realizate din cărămida plină [151].

Testul la compresiune pe diagonală s-a efectuat în vederea stabilirii capacității portante a componentelor structurale verticale pe care descarcă planșeele boltite. Compresiunea pe diagonală apare ca solicitare specifică în timpul acțiunii seismice când elementele din zidărie pe care descarcă planșeele sunt supuse unor eforturi de întindere – compresiune după cele două diagonale, durata solicitării fiind comparabilă cu durata mișcării seismice a cutremurului. Diagramele forță-deformație, pun în evidență comportarea la rupere în funcție de mărimea forței și a deplasării pentru cele patru probe considerate.

4.3. *Cercetări privind caracteristicile mecanice ale zidăriei specifice planșeelor boltite*

4.3.1. Obiectivele testului

Obiectivul principal al testului experimental este de a determina caracteristicile mecanice ale materialelor din care este realizată structura de rezistență a planșeelor boltite caracteristice construcțiilor de patrimoniu. Testele le-am efectuat atât în situ cât și în laboratorul Facultății de Construcții al Universității “Ovidius” din Constanța.

4.3.2. Tehnologia și echipamentul utilizat

În stabilirea soluțiilor de reabilitare un element important este determinarea cauzei ce a declanșat degradarea, dar și caracteristicile fizice și mecanice ale materialelor din care este realizată structura. Caracteristicile fizice și mecanice ale materialelor diferă în funcție de vechimea și de acțiunile fizice, chimice și biologice la care au fost supuse în perioada de exploatare. Pot fi determinate rapid prin metode nedistructive și utilizate în modelările numerice care se efectuează pentru stabilirea soluțiilor optime de consolidare [158].



Fig. 4.28 - Prezentarea probelor prelevate – (foto autor)

Pentru verificarea și validarea rezultatelor obținute prin metode nedistructive, acestea au fost comparate cu rezultatele obținute prin metode distructive, în laboratorul Facultății de Construcții al Universității “Ovidius” din Constanța [159].

4.3.3. Prezentarea testului

Probele utilizate la încercări au fost prelevate din suprastructura unor construcții declarate monument istoric din România. Prelucrarea probelor a constat în finisarea suprafețelor pentru a fi cât mai drepte, îndepărtarea particulelor de praf, măsurarea și cântărirea acestora. Locul ales pentru prelevarea probei a trebuit să îndeplinească câteva exigențe: să fie ușor de lucrat în spațiul respectiv și să nu existe avarii grave în zona respectivă pentru ca probele să nu fie deja fisurate.



Fig. 4.29 - Încercarea distructivă la compresiune – (foto autor)

Aplicarea metodei durității superficiale

Am realizat încercări nedistructive în situ, înainte de prelevarea fiecărei probe. Am aplicat, conform codurilor în vigoare, două metode : metoda durității superficiale (metoda cu sclerometru) și metoda ultrasonică de impuls.

Aplicarea metodei ultrasonice de impuls

Pentru aplicarea metodei ultrasonice de impuls, am măsurat viteza de propagare longitudinală a undei prin probă și cu ajutorul datelor experimentale din situ cât și a analizei probelor de laborator am determinat coeficientul de calcul și apoi rezistența la compresiune pe fiecare probă în urma aplicării acestei metode.

4.3.4. Rezultate

Am realizat o comparație între valorile rezistenței la compresiune determinate prin metoda durității superficiale și valorile rezistenței la compresiune determinate distructiv.

4.3.5. Concluzii

Se observă că, rezistențele scad pe intervalele de timp alese funcție de vârsta fiecărei probe (de la 1650 spre 1920) ceea ce înseamnă o calitate mai slabă a cărămizii fabricată, odată cu trecerea timpului [159].

Parametri studiați, explică și comportarea în timp a acestor structuri. Rezultatele obținute oferă un volum de informații utile în stabilirea măsurilor de intervenții în cadrul lucrărilor de restaurare.

4.4. Cercetări privind comportarea și evaluarea rezistenței la tracțiune a tiranților metalici folosiți la consolidarea planșelor boltite

4.4.1. Obiectivele testului

Obiectivul cercetării a fost: studierea și înțelegerea comportamentului tiranților utilizați la consolidarea bolților, supuși unei acțiuni orizontale ciclice alternante care simulează acțiunea seismică în același timp cu forțele verticale menite să simuleze greutatea structurii și de asemenea, contribuția zidăriei și modul în care materialele componente conlucrează.

4.4.2. Tehnologia și echipamentul utilizat

Echipamentul (fig. 4.39), pentru încercare a constat din:

- ✓ două grinzi din beton armat cu lungimea de 2m având secțiunea de 35x70cm ce au constituit suportul utilizat pentru test;
- ✓ o presă de 2500 kN care a fost montată la subsol, un nivel inferior celui în care s-a făcut testul. Prin pardoseală, în locașuri speciale, s-a introdus tirantul și a fost fixat de presă, pentru încercarea la tracțiune.



Fig. 4.39 - Prezentarea testului – (foto autor)

- ✓ proba din zidărie de care s-a ancorat tirantul, a fost așezată pe un suport, format din grinzi de lemn de 15x15cm;
- ✓ pentru a se putea obține diagrama încărcare-deplasare s-a folosit un cadru metalic care a fost utilizat ca suport pentru traductorul central de deplasare;
- ✓ de asemenea s-au folosit și două grinzi metalice tip I, pe care au fost montate două tije metalice și la capătul lor două prese hidraulice, prin care s-a acționat cu o forță de 100 kN;
- ✓ 30 de tiranți din oțel beton PC52 (încercați succesiv în diferite probe) precum și 5 ancoraje de fixare pe zidărie.

Eficiența acestor tiranți depinde în mare măsură de sistemele de ancorare a acestora de pereți. La unitățile de pretensionare individuale, tensionarea se face cu piulițe înșurubate la capetele filetate ale armăturilor, până la contactul cu placa de repartiție ancorată în structură.

În cadrul testului am folosit un număr de patru traductoare de deplasare cu domeniul de măsurare între 25 mm și 500 mm, marca TML sau APEK și două celule de forță.

4.4.3. Realizarea probelor destinate încercării tiranților

S-a încercat reproducerea cât mai fidelă a pereților, de exterior, originali din punct de vedere al caracteristicilor și proprietăților materialelor. Deși mortarele vechi au fost compuse exclusiv din var și nisip, cimentul a fost adăugat în aceste cazuri, pentru a asigura o întărire mai rapidă. Realizarea probelor a fost făcută în cofraje din plăci de PAL melaminat prinse de un sistem de grinzi de lemn.

4.4.4. Prezentarea testului

Testele au fost efectuate pe modelele realizate la laboratorul de Rezistența Structurilor și Rezistența Materialelor din Institutul Superior Tehnic. Au fost efectuate teste ce constau în aplicarea unei forțe de tracțiune asupra ancorajului și a plăcii de distribuție, ce simulează forța de tracțiune din timpul unui seism.

După ce a fost realizată proba, aceasta a fost poziționată pe un cadru de lemn, care la rândul său descarcă pe două grinzi din beton armat. Proba a fost așezat într-o poziție orizontală, deși este încercată la o forță ciclică orizontală. A fost aleasă poziția pe orizontală, deoarece pardoseala laboratorului este prevăzută cu goluri prin care se

poate comunica, cu nivelul inferior. Printr-un astfel de gol a fost introdus tirantul și a fost fixat la partea superioară a zidului, prin intermediul unui ancoraj fix de prindere.

Pentru a fi încărcat peretele, cu sarcini verticale, simulând încărcările gravitaționale, am folosit două profile metalice de tip I, poziționate la extremitățile peretelui. Pe laterale s-au montat două tije metalice, trecute prin profilele metalice. La un capăt au fost fixate de grinda metalică iar la celălalt capăt au fost montate două prese hidraulice, care au simulat forța gravitațională. Peretele a fost echipat cu traductoare pentru a măsura deplasarea în diferite puncte.

Sarcina aplicată de actuator a fost, de asemenea, măsurată cu o celulă de sarcină, precum și tensiunea în tijele orizontale utilizate pentru a simula sarcina verticală.

Procedura de testare a constatat în a impune o deplasare verticală în partea de mijloc: în primul test, cu o viteză medie de 25MPa/s, iar în al doilea test o deplasare ciclică cu încărcări care au ajuns până la 110 kN. Sarcina orizontală folosită pentru a simula sarcini din nivelurile superioare, a fost repartizată prin două tije de oțel tensionate cu prese hidraulice, simulând sarcini gravitaționale. Încărcarea a fost prevăzută pentru a lua în considerare greutatea pe care peretele o preia de la structura din care face parte (încărcarea verticală a fost considerată la 100 kN).

Simularea comportamentului în planul vertical a fost realizată în primul caz prin încărcări constante iar în al doilea cu încărcări ciclice, cu deplasări controlate. Acesta metodă constă în aplicarea unor secvențe de deplasare ciclice în creștere în amplitudine, pe toată durata testului, fiecare segment constă într-un ciclu primar, cu o amplitudine definită ca multiplul deplasării de referință. Ciclul primar este urmat de o serie de cicluri, cu amplitudine egală cu 75% din ciclul primar.



Fig. 4.48 - Secvențe din timpul testului – (foto autor)

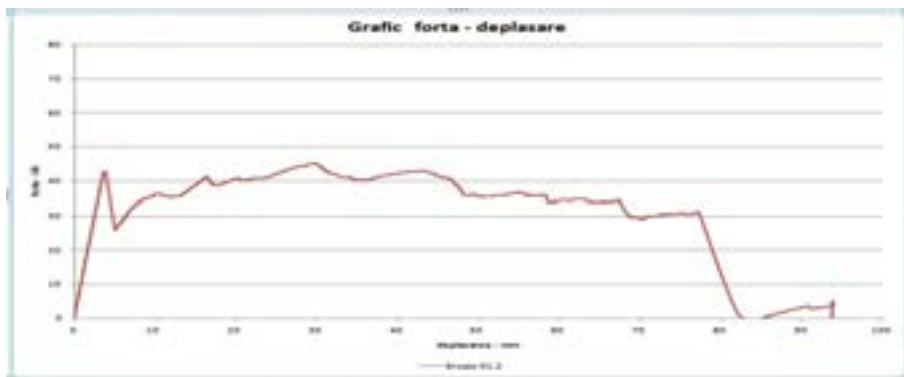


Fig. 4.49 – Graficul forță - deplasare – (grafic autor)

4.4.5. Rezultate

Deplasările ciclice au fost aplicate până la ruperea peretelui din zidărie. Pierderea rezistenței a fost identificată în diagramele de încărcare-deplasare, pentru o deplasare mai mare de 80mm. Analiza se limitează la o serie de deplasări ± 5 mm, care duce la o deviere de 6.25%.

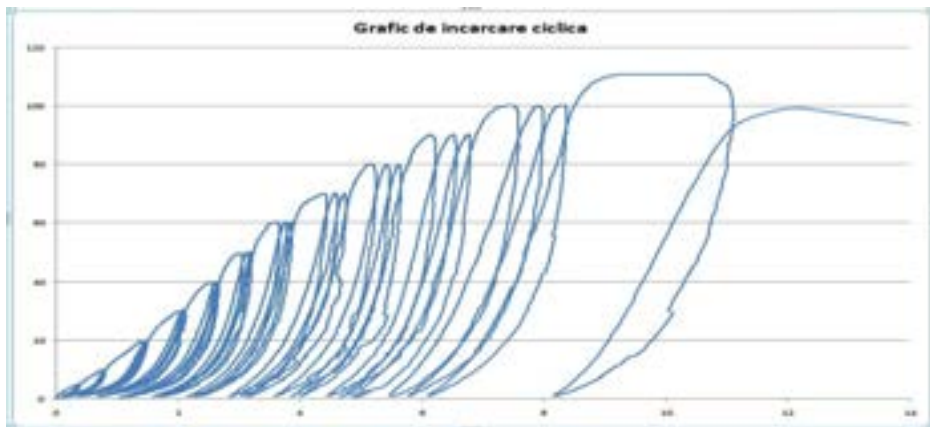


Fig. 4.50 – Graficul cu încărcarea ciclică – (grafic autor)

Comportamentul histeretic a pereților supuși la încărcare ciclică, este neliniar, cu un răspuns de ductilitate mare. Forța de rupere maximă a fost de 113 kN.

Energia disipată în fiecare ciclu poate fi evaluată prin suprafața zonei curbei de încărcare-deplasare în fiecare ciclu. Energia disipată pentru ciclu (asociat cu comportamentul histeretic a zidului) a fost determinată prin măsurarea ariei ciclului mai larg. Se obține coeficientul de amortizare în fiecare ciclu. Cu cât crește deformarea crește și mai mult disiparea energiei ducând la deteriorarea zidăriei.

4.4.6. Concluzii

Încercările desfășurate în această etapă au furnizat informații referitoare la comportarea ancorajelor folosite la consolidarea bolților cu tiranți metalici.

Programul experimental desfășurat în această primă etapă a relevat câteva caracteristici comune ale comportării pereților și tiranților.

Din cauza greutateii proprii și a formei geometrice, planșeele boltite produc împingeri orizontale ale structurii portante pe care descarcă ducând la apariția fisurilor în boltă și dizlocarea materialelor componente. Consolidarea bolților cu tiranți orizontali este realizată cu ajutorul unor bare din oțel ancorate la capete de pereți verticali, prin intermediul ancorelor metalice fixate de zidărie sau prin plăci metalice. Ancorele sau plăcile metalice se vor dimensiona corespunzător astfel încât să nu producă concentrări de eforturi în zonele de fixare și să nu ducă la străpungera structurii. Consolidarea prin pretensionare cu tiranți orizontali poate fi permanentă sau provizorie.

4.5. Cercetări privind îmbunătățirea comportării în timp prin creșterea capacității portante a planșeelor boltite restaurate cu armături din fibre de carbon.

În cadrul acestei cercetări am efectuat un test folosind armături din fibre de carbon. Rezultatele programului experimental le-am folosit pentru a evalua aderența și comportamentul dintre zidăria de cărămidă și fâșiile de polimeri armate cu fibre de carbon (CFRP) cu care se va realiza reabilitarea, fără montarea de ancore sau de conectori de legătură. Armăturile din CFRP sunt folosite tot mai mult în aplicațiile de inginerie civilă, datorită avantajelor lor față de materialele tradiționale, cum ar fi înălta rezistență, greutatea redusă și rezistență la coroziune [44]. Cea mai frecventată aplicație, implică lipirea la exterior [141] a fâșiilor din CFRP folosind rășini epoxidice.

4.5.1. Obiectivele testului

Pentru a obține rezultate cât mai clare și precise, privind consolidarea bolților cu fâșii CFRP, am desfășurat în cadrul laboratorului de încercări LERM - laboratorul de structuri și rezistența materialelor din cadrul Institutului Tehnic Superior –Lisabona, mai multe încercări: teste de compresiune pe mai multe elemente de zidărie, pe cilindri și prisme de mortar, întinderea fâșiilor de CFRP precum și aderența dintre fâșiile CFRP și elemente de zidărie [202], încercările desfășurându-se pe mai multe etape.

Teza prezintă investigații experimentale privind comportamentul bolților din cărămidă consolidate cu fibre de carbon. Obiectivul principal a fost acela de a evalua eficacitatea diferitelor sisteme de consolidare și de a evalua viabilitatea utilizării lor la monumentele istorice.

4.5.2. Tehnologia și echipamentul utilizat

Lipirea fâșiilor de CFRP pe structuri de zidărie de cărămidă reprezintă o tehnică de reabilitare, consolidare a monumentelor istorice. În această tehnică, aderența dintre CFRP și zidăria de cărămidă are o importanță crucială, deoarece eficacitatea soluției depinde de modul în care se face transferul tensiunilor între cele două materiale, ducând la exploatarea secțiunii compuse sau nu.

Fâșiile laminate au denumirea comercială de S & P laminates CFK 150/2000. Au secțiunea transversală de 20mm x 1,2mm. Materialul este constituit din fibre de carbon unidirecționale (aproximativ 70% din greutate), încorporate într-o matrice de rășină epoxidică.

După pregătirea materialelor, cărămidile se așează pe un suport și se fixează cu ajutorul a două scânduri de lemn și cu doi clești de strângere, astfel încât, între ele să fie o distanță măsurată de 235mm, apoi se lipesc fâșiile de CFRP. La lipirea lor trebuie să avem grijă să nu se preseze prea tare, ca stratul de rășină să rămână între 1,5-2mm iar materialul în exces de pe laterale, trebuie îndepărtat.

4.5.3. Prezentarea testului

După ce au fost pregătite toate componentele s-a trecut la montarea lor. Cărămidile au fost așezate pe o masă, pe o placă de lemn melaminată și sub fiecare cărămidă s-a pus o scândură de lemn de 2cm grosime, pentru a se putea monta celelalte piese. Între cele două cărămizi s-a fixat o presa hidraulică și o celula pentru măsurarea forței și achiziția de date iar în stânga și în dreapta, la interiorul benzilor CFRP au fost poziționate traductoarele de deplasare TML. Presa hidraulică, celula de forță, traductoarele de deplasare și senzorii tensometrici au fost conectați la unitatea de control.

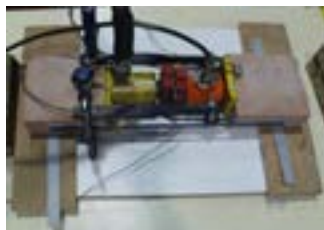


Fig. 4.64 - Pregătirea testului -(foto autor)

4.5.4. Rezultate

Cercetarea a urmărit studierea aderenței lamelor CFRP (aplicate în diferite configurații), la zidăria de cărămidă.

Încercare am realizat-o până în momentul în care s-a pierdut aderența dintre elementul de zidărie și fâșia de CFRP și s-au înregistrat desprinderi ale celor două materiale (numite și delaminări).

În urma testelor efectuate am putut reprezenta grafic, curbele caracteristice forță-deformație – deplasare, ale benzilor încercate (fig. 4.67).

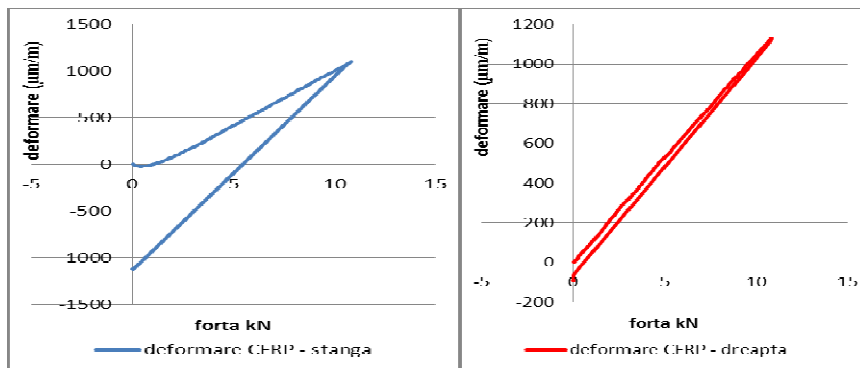


Fig. 4.65 - Graficul forță – deformație pentru fâșia CFRP din stânga și dreapta – (grafic autor)

Rezultatele obținute în urma încercărilor, caracterizează răspunsul elementelor consolidate și a conlucrării dintre cele două materiale.

Aderența fâșiilor CFRP – zidărie de cărămidă evoluează în prima etapă liniar elastic [23], urmează apoi o etapă de pierdere a aderenței și în final o etapă de descărcare liniară. Aderența crește în funcție de lungimea de lipire și de lățimea fâșiilor într-o măsură limitată [104], iar de la această valoare, forța rămâne constantă.

Rezultatele experimentale au arătat o relație forța – deplasare semnificativ neliniară, din cauza fenomenului de exfoliere sau de detașare a fâșiilor CFRP (fig. 4.69).



Fig. 4.67 - Detașarea fâșiilor CFRP de cărămizi – (foto autor)

4.5.5. Concluzii

Performanța fâșiilor laminate CFRP depinde foarte mult de caracteristicile zidăriei, de aderență, precum și de proprietățile fizice și geometrice ale structurilor din care fac parte. În ceea ce privește lățimea fâșiilor CFRP nu s-a identificat o influență majoră asupra conexiunii. În schimb s-a descoperit că pregătirea suprafeței de contact poate afecta în mod semnificativ creșterea aderenței. Aderența dintre cele două materiale (zidărie; CFRP) este favorabilă acestui mod de consolidare.

Ca urmare a observațiilor și analizelor efectuate în timpul programului experimental se pot concluziona următoarele:

- ✓ conlucrarea dintre fâșiile CFRP și zidărie este în general bună, însă concentrările de tensiuni care apar la capetele fâșiilor CFRP necesită adoptarea unor sisteme de ancorare, suplimentar față de lipirea cu rășină epoxidică;
- ✓ consolidarea bolților din zidărie pe extrados cu fâșii CFRP se recomandă a se realiza pe o suprafață discontinuă în proporție de 40%-60%, pentru a permite elementului să respire astfel încât să nu existe posibilitatea apariției condensului pe intrados, cerință vitală în cazul monumentelor a căror bolți sunt pictate la interior;
- ✓ acolo unde este posibil parțial pe anumite zone se pot introduce fâși și la intrados, acestea având un rol favorabil asupra comportării structurale și mecanismului de cedare;
- ✓ utilizarea rășinii epoxidice, care are o vâscozitate mai mare, este mai adecvată în cazul consolidării zidăriilor care au o suprafață rugoasă.

Materialele laminate realizate din fâși de carbon și rășini epoxidice, au avantajul de a putea fi utilizate la consolidarea bolților din zidărie, datorită proprietăților mecanice ridicate și conlucrării bune cu zidăria.

Capitolul 5 Studiu de caz – Biserica “Sf. Mare Mucenic Gheorghe” din Constanța

Activitatea, investigațiile, studiile și cercetările desfășurate la studiul de caz –biserica „Sf. Mare Mucenic Gheorghe” le-am efectuat atât în situ, în laboratoarele Universității „Ovidius” din Constanța precum și la „Institutul Superior Tehnic” – Universitatea Tehnică din Lisabona.

Cercetările au fost realizate în cadrul unui program complex în conformitate cu prevederile legii 422/2001 coroborat cu rezultatele experimentale care, au vizat cuantificarea parametrilor de calcul ai structurii de rezistență și urmărirea comportării în timp, în vederea propunerii unor soluții de restaurare a planseelor boltite.



Fig. 5.1 – Imagini cu biserica Sf. Mare Mucenic Gheorghe – (foto autor)

5.1. Descrierea lăcașului de cult, evenimente și fapte

5.1.1. Prezentarea generală

Biserica Sfântul Mare Mucenic Gheorghe a fost realizată în timpul primarului Virgil Andronescu care, conform documentelor existente în arhiva bisericii, a constatat în 1915 insuficiență bisericilor pentru comunitatea timpului (în documente se menționează că în anul 1915 existau două biserici respectiv Catedrala și Adormirea Maicii Domnului). În 1922 lucrările sunt finalizate tot prin sprijinul primarului Virgiliu Andronescu, astfel ca la 1 septembrie 1922 au început continuarea lucrărilor în varianta definitivă și finalizate în 1923.

5.1.2. Prezentarea stării tehnice

Construcția bisericii (în stil brâncovenesc) este realizată din zidărie de cărămidă plină cu mortar de ciment. Grosimea zidurilor pe înălțimea parterului este de 96 cm. Fundația este alcătuită din zidărie de piatră cu mortar de ciment, iar adâncimea de fundare este de 2,25m de la cota terenului natural. Subsolul este realizat din zidărie de piatră cu planșeu din bolți de cărămidă și parțial profile metalice pe care descarcă bolțișoare din cărămidă. O porțiune a fost reabilitată realizându-se în urmă cu 30 ani(estimativ) un planșeu din beton armat și o scară de acces în subsol din beton armat.

Planșeul peste naos este conceput în bolta cilindrică din cărămidă iar deasupra, pe ziduri descarcă șarpanta din lemn. Cafasul are planșeu din lemn care descarcă pe bolta din cărămidă și pe zidurile adiacente. Deasupra cafasului, în zona podului (se poate presupune că odată cu realizarea planșeului din beton armat peste subsol cât și a scării de acces de la parter către subsol) s-a realizat o placă de 12 cm din beton armat a cărei rezemare pe elementele verticale este precară. Datorită acestei lucrări de intervenție care posibil a fost justificată la momentul respectiv prin avarierea zonei, s-au produs și unele deformații ale zidăriei incapabile a prelua această încărcare.

5.1.3. Pictura murală – factor decisiv în consolidare

Biserica face parte din clasa A a monumentelor istorice din România datorită picturii din interior. Pictura a fost executată de pictorii Nicolae Tonitza, Constantin Bacalu și Constantin Buiuc (în stil neobizantin), între anii 1931 – 1936, perioada în care a fost sculptată și catapeteasma bisericii și mobilierul (amvonul, iconostasul și stranele) de către sculptorul Anghel Dima din București, în lemn de tisa și de stejar.

5.2. Investigarea și diagnosticarea construcției

Acțiunea de investigare în vederea diagnosticării structurii de rezistență am efectuat-o în baza prescripțiilor tehnice în vigoare, a observațiilor vizuale, a procedurilor recomandate de îndrumător în calitate de expert tehnic și a metodologiei de investigare studiată în cadrul programului doctoral efectuat.

Analiza concepției structurale de ansamblu, analiza tehnologiei de execuție și analiza deprecierilor constatate au impus metodele și tehnicile de investigare aplicate. Au avut drept scop, stabilirea ipotezelor de lucru, a continuității modelului dar tot odată și a identificării elementelor cu caracter de unicitate care se constituie într-o substanță istorică valoroasă, transmisă în timp, atât în ceea ce privește materialul constitutiv, tehnologia cât și concepția de ansamblu a structurii.

Prin analiza comportării în timp am urmărit identificarea zonelor de degradare, mărimea acestora, direcția de propagare a fisurilor, localizarea lor în ansamblul structurii bolții, toate aceste elemente contribuind la punerea în evidență a zonelor care nu mai asigură continuitatea structurală.

5.2.1. Investigarea tehnologică și a concepției structurale de ansamblu

În cazul planșeelor boltite, zidăria este realizată cu cărămidă dispusă după latura de 28cm, la intrados văzându-se lățimea de 6,5cm și lungimea cărămizii de 28cm,. Grosimea pânzei cilindrice este de 17cm.

Stratul de mortar din zidărie are aproximativ 1,5cm iar secțiunea este o prismă cu suprafața variabilă (adică grosimea mortarului de la 1cm la 2cm). Compoziția mortarului fiind pe bază de var și nisip. În zona grinzii canal, la nașterea bolții, structura este mai robustă, grosimea fiind de 48 cm (1 cărămidă și 1/2 - respectiv 28cm+14cm). În cadrul analizei am găsit în componența structurii și cărămizi cu dimensiuni atipice (15x29.6x5.7cm) fără a avea proprietăți diferite față de cele standard.

Investigarea structurală am efectuat-o pe baza releveului construcției și vizează existența unor sensibilități structurale de ansamblu și unor componente structurale: scheme statice, mărimea încărcărilor, proeminente, asimetrii, distribuția maselor și a rigidităților, discontinuități structurale, deschideri excesive, intervenții ulterioare.

5.2.2. Investigarea factorilor patologici și a degradărilor

Această investigare s-a bazat pe cumulara de date informative percepute direct, din documente sau analize efectuate anterior datei în cauză. Am analizat informațiile privind materialele și tehnologiile originale, concepția structurală de ansamblu, istoria și starea de degradare, respectiv elementele care influențează comportamentul structural și pot furniza informații utile privind mecanismul specific de avariere.

Cauzele degradărilor constatate au fost:

- ✓ degradarea materialelor datorată umidității excesive (din infiltrarea directă a precipitațiilor, apa din capilaritate, infiltrații prin goluri (lipsa de etanșeitate), vapori de apă (condens). Apa provoacă degradarea zidăriei și a straturilor de acoperire (picturi și tencuieli).
- ✓ următoarea degradare fiind la mortarul de legătura și la elementul de cărămidă, care poate duce la pierderea rezistenței structurale.
- ✓ degradări cauzate de îmbătrânirea materialului, lipsa întreținerii și reparațiilor periodice;
- ✓ supraîncărcarea elementelor structurale peste limita proiectată;
- ✓ intervențiile necorespunzătoare (improvisații ale șarpantei, reazeme de ordinul doi, componente structurale care nu au o descărcare adecvată pe elementele structurii de rezistență, componente intermediare care sunt montate pentru preluarea eforturilor și deformațiilor și care nu descarcă pe pereții portanți, s.a.);
- ✓ acțiunile seismice, care au dus la scăderea capacității portante;
- ✓ deformațiile terenului produse de: distribuția neuniformă a presiunilor, neuniformitatea caracteristicilor terenului, variațiile încărcărilor aplicate, variațiile umidității terenului, infiltrația apelor pluviale sau infiltrația apelor provenite din instalațiile de alimentare cu apă și canalizare.

Reprezentarea grafică a anomaliilor observate este foarte utilă pentru a înțelege mecanismele de deteriorare (este cazul unor crăpături în pereții de fațade, fisuri deschise, neconcordanțe structural și apariția organismelor biologice, apariția apei capilare, degradări și fisurări ale fundațiilor).

5.2.3. Investigarea amplasamentului

Amplasamentul influențează considerabil comportarea construcției prin: morfologia și caracteristicile fizico – mecanice ale terenului de fundare, adâncimea și fluctuațiile apelor freatice, caracteristicile seismice ale amplasamentului.

5.2.4. Diagnosticarea stării tehnice

Construcția a avut o comportare bună, în timp. Nu s-au identificat avarii structurale de ansamblu grave. Deficiențele constatate sunt cauzate de lipsa unei intervenții tehnice adecvate (ex planșeul din beton armat, din zona podului) cât și de avarii la conductele purtătoare de apă. Acestea din urmă au generat tasări suplimentare și implicit avarierea locală a unor componente structurale.

Principalele avarii identificate au fost:

- ✓ în zona podului: degradarea zidăriei în zona coșurilor de fum, prinderea locală a contrafișei de descărcare a panii de capăt este descentrată, fisură în bolta din cărămidă ax 5, fisuri în peretele din zidărie de cărămidă în axul 6 și perpendicular local pe zona pe care s-a turnat un planșeu din beton armat în urmă cu 30 ani (acesta neavând o descărcare corespunzătoare pe elementele verticale).

- ✓ în zona parterului: fisură în cheia arcului ax 5, fisuri la nivelul pardoselilor deoparte și de alta a intrării, fisuri verticale în zona de evacuare a apei, în zona spălătorului din altar, desprinderi ale tencuielii în turla centrală, fisuri în arcele de timpan ale bolții cilindrice din zona naosului;
- ✓ în zona subsolului: în axul bisericii o fisură verticală în zidul ax 5 și în cheia arcului ax 6.

5.3. Monitorizarea structurii și dinamicii degradărilor.

Cea mai simplă și mai accesibilă metodă de urmărire a dinamicii fisurilor constă în utilizarea lamelelor martor din sticlă, ceramică, hârtie, etc, care sunt lipite de o parte și de alta a fisurii. În mod curent se utilizează lamele din sticlă cu ipsos: dacă fisurile continuă să se deschidă, martorii se rup sau se desprind.

Am amplasat un senzor de înregistrare a dinamicii fisurii în zona podului, pe peretele cafasului ce face trecerea de la cota +9.45 la cota +10.67, perete ce se afla pe ax 6. Fisuriometrul l-am amplasat la 88cm față de ușa de acces din cafas în pod, la 46cm față de pardoseală aflată la cota +9.45, pe fisura din peretele din zidărie de cărămidă din axul 6, (fig.5.38).

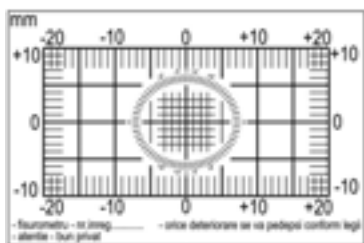


Fig. 5.37 – Fisuriometru – (desen autor) Fig. 5.38 - Detaliu privind amplasarea fisuriometrului – (desen autor)

Tabel 5.1 - Urmărirea dinamicii fisurii

Data investigării ziua.luna.anul	Ora investigării ora.minut.secunda	Înregistrarea evoluției fisurii [mm]
25.09.2012	10.06.16	0.00
23.10.2012	15.31.04	0.00
20.11.2012	12.54.28	0.00
17.02.2013	11.05.54	0.25
03.04.2013	16.19.41	0.25
11.06.2013	09.11.27	0.50
23.07.2013	17.48.31	0.50
14.08.2013	16.15.30	0.50
18.09.2013	14.19.08	0.50

În urma investigării fisurii, am constatat o deschidere accentuată în perioada 02.2013-09.2013, ceea ce înseamnă că structura analizată lucrează în continuare datorită intervențiilor efectuate necorespunzător și a condițiilor pluviale sezoniere din fiecare an, ce duc la infiltrații de apă și tasări inegale ale structurii. Dacă fisurile continuă să se deschidă, se vor adopta de urgență măsuri de sprijinire provizorie și de evacuare a porțiunii avariate a clădirii.

5.4. Analiza planșelor caracteristice bisericii și măsurile de consolidare cu soluție Tegovakon

Așa cum am evidențiat în capitolele anterioare, o parte deosebit de importantă în analiza unui planșeu existent al unei construcții de patrimoniu include și analiza materialelor și caracterizarea acestora din punct de vedere al caracteristicilor fizice, mecanice și chimice. În urma unei astfel de analize, după propunerea unor soluții de restaurare, se poate analiza și estima impactul pe care soluția adoptată îl are asupra materialului constitutiv în ceea ce privește modificarea caracteristicilor fizice, mecanice și chimice sau modificările cromatice suferite.

5.4.1. Obiectivele tratamentului de consolidare cu soluție Tegovakon

Rolul acestor tratamente este acela de a readuce materialul studiat – cărămida, aproape de rezistența inițială. Tratamentul va trebui să fie ieftin, ușor de aplicat și folosit în siguranță. Va trebui să rămână eficient în timp (decenii) de la un ciclu de întreținere la altul.

Materialul tratat va trebui să aibă aproximativ aceeași umiditate, dilatare termică și modul de elasticitate ca și materialul netratat pentru a evita apariția eforturilor interne și a asigura compatibilitatea (tratamentul trebuie să fie invizibil).

Consolidantul are următoarele proprietăți: abilitatea de a penetra în interiorul materialului, vâscozitate scăzută și proprietatea de a se întări atunci când ajunge în interior, pentru a crește rezistența materialului tratat.

5.4.2. Tehnologia și echipamentul folosit

Pentru tratamentele de consolidare s-a optat pentru produsul Tegovakon, un produs comercial distribuit în varianta pentru aplicare. Acest produs este aplicat de preferință pe materiale deteriorate, piatră, beton și cărămizi cu desprinderi de material și rosturi afectate. Tratamentul cel mai eficient se obține prin aplicarea consolidantului sub formă de peliculă pe suprafață, până la saturare. Produsul se poate aplica cu pensula sau prin pulverizare de la o distanță de 5 – 10 cm.

În ceea ce privește metodologia de studiu, cu toate că există la nivel internațional reglementări și recomandări pentru metodologia de lucru, amintesc în teza pe cele de la laboratoarele RILEM. Procedura de lucru folosită trebuie să fie aceeași, pentru a putea compara rezultatele diferitelor lucrări și chiar și în această situație compararea devine dificilă datorită diversității procedurilor de aplicare a produșilor de conservare. Stadiul actual al cunoașterii, insuficient dezvoltat nu permite încă normalizarea metodologiei de studiu a tratamentelor de conservare astfel încât să satisfacă toate necesitățile de investigare și de practică a conservării.

5.4.3. Prezentarea testelor experimentale și a tratamentului de consolidare

Caracterizarea fizică a materialelor a fost efectuată prin teste pentru determinarea: porozității accesibile la apă, a densității aparente și absolute, a procentului maxim de absorbție a apei, coeficientului de saturație cu apă, coeficientului de absorbție a apei prin capilaritate, absorbției apei sub presiune scăzută (metoda tuburilor Karsten), coeficientului de conductivitate la vaporii de apă și a curbei de evaporare.

Testul de determinare a porozității

Porozitatea este o proprietate fundamentală a materialelor (cărămidă și mortar) și are o influență deosebită asupra durabilității acestora. Multe procese de alterare prezintă o creștere a porozității, în timp ce tratamentele de impregnare scad porozitatea. De aceea, acest test este folositor pentru:

- ✓ evaluarea extinderii unor anumite tipuri de degradare a cărămidilor și a mortarului;
- ✓ determinarea nivelului până la care porii au fost umpluți prin tratamentul prin impregnare;
- ✓ evaluarea succesului tratamentelor de impermeabilizare (comparând probele tratate și netratate);
- ✓ evaluarea durabilității materialelor tratate și netratate [205];



Fig. 5.41 - Aparatura necesară testului de porozitate – (foto autor)

Testul de determinare a densității aparente și absolute

Densitatea absolută reprezintă raportul dintre masa probei uscate și volumul materialului solid (fără pori) al probei și este exprimată în kg/m^3 . Volumul probelor trebuie să aibă cel puțin 25 de cm^3 .

Măsurarea densității absolute și aparente este un test de laborator folositor în următoarele cazuri:

- ✓ în evaluarea anumitor tipuri de degradări ale cărămidii și mortarului;
- ✓ determinarea gradului, în care porii au fost umpluți printr-un tratament de impregnare.

Tabel 5.2 - Valori ale porozității epruvetelor de cărămidă prelevate din construcție

	Valori medii obținute pe epruvete de cărămidă
Porozitatea (%)	34,75%
Densitatea reală (kg/m^3)	2603
Densitatea aparentă (kg/m^3)	1699

Tabel 5.3 - Valori ale porozității epruvetelor de mortar prelevate din construcție

	Valori medii obținute pe epruvete de mortar
Porozitatea (%)	37,16%
Densitatea reală (kg/m^3)	2706
Densitatea aparentă (kg/m^3)	1700

Testul de determinare a procentului maxim de absorbție a apei

Pentru determinarea procentului maxim de absorbție a apei trebuie realizate aceleași etape ca în cadrul testului de determinare a porozității, procentul maxim de absorbție a apei ($W_{\max}$) fiind calculat plecând de la ecuația:

$$W_{\max} = \frac{M_3 - M_1}{M_1} \cdot 100 [\%]$$

Valoarea medie obținută pentru epruvetele de cărămidă analizate este de aproximativ 20% iar pentru mortarul analizat valoarea medie obținută în urma testelor este mai mare cu foarte puțin, aproximativ 22%.

Testul de determinare a absorbției apei prin capilaritate

Cele patru fețe laterale ale epruvetelor au fost impermeabilizate, cu scopul de a evita evaporarea apei în timpul testului (prin aplicarea unei rășini pe cele patru fețe laterale) sau poate lucra și fără a impermeabiliza cele patru fețe. Se urmărește înălțimea până la care se ridică nivelul apei, pe fețele laterale. Testul a fost efectuat într-o atmosferă saturată, obținută prin folosirea unui capac ce acoperă tava în care se află epruvetele [283], pentru a împiedica evaporarea apei prin aceste fețe.

Curba absorbției capilare exprimă cantitatea de apă absorbită pe unitatea de suprafață, în funcție de rădăcina pătrată a timpului (fig.5.44, 5.45). Această curbă prezintă, în general, o porțiune inițială liniară ce tinde apoi asimptotic către o cantitate maximă absorbită.



Fig. 5.43 - Testul de absorbție prin capilaritate la mortare și cărămizi – (foto autor)

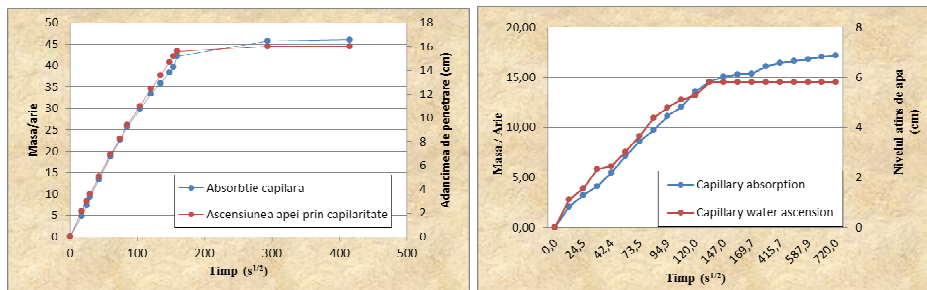


Fig. 5.44 - Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute pentru epruvetele de mortar – coeficientul de absorbție a apei prin capilaritate – (grafic autor)

Fig. 5.25 - Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute pentru epruvetele de cărămidă – coeficientul de absorbție a apei prin capilaritate – (grafic autor)

Testul de determinare a absorbției apei cu presiune scăzută

Măsurarea absorbției apei cu presiune scăzută este un test folositor pentru:

- ✓ a caracteriza materialul intact și, prin comparație, pentru a evalua modificările superficiale sau alterările care modifică absorbția apei la nivelul suprafeței;
- ✓ a analiza eficacitatea unui tratament prin impregnare, a unui tratament ce modifică permeabilitatea suprafeței (impermeabilizare cu produse hidrofuge);
- ✓ a caracteriza efectul acțiunii elementelor climatice asupra materialului;
- ✓ a determina adâncimea penetrării substanțelor aplicate în timpul acțiunii tratamentului de impermeabilizare.

Acest test se utilizează în scopul de a măsura cantitatea de apă absorbită (sub presiune scăzută) de suprafața unui material poros, după un anumit interval de timp [205]. **Fig. 5.46 - Tub Karsten pentru absorbția apei cu**



presiune scăzută – (desen autor)

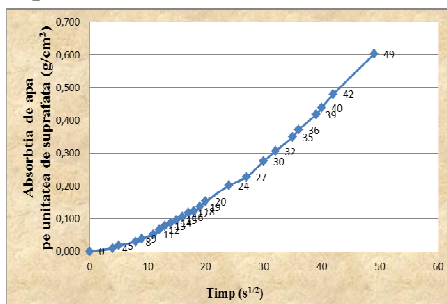


Fig. 5.48 - Determinarea absorbției apei cu presiune scăzută în situ – (foto autor)

Fig. 5.49 - Valori medii înregistrate pe epruvetele de cărămidă în urma testului absorbției de apă cu presiune scăzută – (grafic autor)

Testul de determinare a coeficientului de conductivitate la vapori de apă

Măsurarea coeficientului de conductivitate la vapori de apă este o metodă de laborator folosită pentru a caracteriza materialul și pentru a analiza eficacitatea tratamentelor de impermeabilizare a materialului (comparând probele tratate cu cele netratate) sau a tratamentului de protecție împotriva acțiunii apei care permite difuziunea vaporilor de apă (comparând probele tratate cu cele netratate).

Procedura constă în cântăriri succesive ale celulelor pe care sunt fixate probele de material cu ajutorul unei balanțe analitice cu o capacitate maximă de 200g și o sensibilitate de 0.1 mg, dat fiind faptul că variațiile rezultatelor înregistrate sunt foarte mici.



Fig. 5.50 - Determinarea conductivității la vapori de apă – (foto autor)

Analiza caracteristicilor mecanice

Caracterizarea mecanică a cărămidilor și mortarului din acest studiu de caz s-a efectuat apelând la teste ce permit evaluarea coeziunii interne, cum este încercarea de rupere la încovoiere. Alte proprietăți, ca de exemplu viteza de propagare a ultrasunetelor, ne oferă informații indirecte privind aceste caracteristici mecanice.

Pentru a realiza caracterizarea mecanică au fost utilizate următoarele încercări:

- ✓ viteza de propagare a undelor longitudinale;
- ✓ rezistența mecanică la încovoiere;
- ✓ rezistența mecanică la compresiune;
- ✓ rezistența în profunditate prin metoda micro-forării.

Testul de determinare a vitezei de propagare a undelor longitudinale

Această tehnică este adecvată în mod special pentru caracterizarea acelor materiale ale căror goluri sunt datorate în mod deosebit fisurării. În cazul cărămidilor și mortarelor golurile se datorează în special porilor și acest lucru face ca această încercare să nu poată fi folosită la capacitate maximă, existând o corelație bună între viteza de propagare a undelor longitudinale și porozitatea eșantionului.

Testul de determinare a rezistenței mecanice la încovoiere

Încercarea s-a bazat pe recomandările RILEM III.6 și a fost efectuat pe șase epruvete de forma prismatică de dimensiuni 30 x 30 x 120 [mm], pe o mașină universală de încercări mecanice, cu o capacitate de încărcare de 10 kN. Reazemele pe care epruvetele au fost poziționate și punctul de aplicare a încărcării au fost niște cilindrii cu diametrul de 5 mm. Distanța între reazeme a fost de 80 mm iar viteza de aplicare a încărcării a fost corespunzătoare unei deplasări de 2 mm/min.



Fig. 5.52 – Epruvete de cărămidă încercate la încovoiere – (foto autor)

Testul de determinare a rezistenței mecanice la compresiune

Acest test a fost efectuat pe cinci epruvete cubice cu latura de 25 mm, cu fețele anterior pregătite, pe o presă pentru încercări la compresiune, cu o capacitate de încărcare maximă de 200 kN, [284].

Testul de determinarea rezistenței în profunzime prin metoda micro-forărilor

Se execută o gaură, un foraj, cu diametru, viteza de rotație, rata de penetrare și profunditatea definite anterior, funcție de materialul încercat. Duritatea în profunditate este dată de forța necesară înaintării burghiului pe distanță introdusă, la rotația și viteza predefinită de utilizator. Echipamentul înregistrează continuu (la fiecare 0.1 mm) profunditatea forării și forța corespundentă necesară pentru forare. Achiziționarea de date și descrierea condițiilor de încercare sunt memorate într-un soft cu ajutorul unui cablu de date conectat la un computer. Softul permite, între alte lucruri, să se calculeze forță medie necesară pentru forarea unui anumit tronson de găuri. Echipamentul permite utilizarea unor burghie cu diametrul între 1 și 8.5 mm (fig.5.56).

Viteza de rotație a echipamentului este fixată în faza inițială a încercării între 0 și 1200 rpm și este controlată electronic pentru a garanta o valoare constantă în timpul testului.

Fig. 5.56 – Echipamentul de încercare la micro-forări – (foto autor)



Analiza caracteristicilor cromatice

Determinarea culorii a fost realizată, folosind coordonatele cromatice din sistemul cromatic de referință CIE 1931, în spațiul cromatic uniform CIE 1976. Determinarea culorii s-a făcut utilizând sistemul CIELAB, determinând coordonatele cromatice L, a și b. În acest sistem, stimularea culori este reprezentată într-un spațiu tridimensional, în care pe axul vertical 0-Z este înregistrată coordonată L de măsurare a luminozității de la 0 ce semnifică deschis până la 100 ce semnifică întunecat, variațiile de culori obținându-se în planul X-Y [207].



Fig. 5.53 - Aparatura folosită în cadrul testului – (foto autor)

5.4.4. Rezultatele modificărilor înregistrate în urma tratamentului de consolidare

Eficacitatea tratamentului a fost evaluată prin forma directă, prin evaluarea modificării caracteristicilor mecanice și a structurii interne a materialului și prin forma indirectă, de profunditatea atinsă de produși și de modificările suferite în ceea ce privește capacitatea de absorbție a apei. Eficacitatea a fost evaluată prin compararea caracteristicilor materialului înainte și după tratament, făcându-se următoarele determinări:

- modificarea caracteristicilor mecanice: rezistența la microforare, rezistența la încovoiere, rezistența la compresiune, viteza de propagare a ultrasunetelor;
- modificarea capacității de absorbție a apei: porozitatea, absorbția apei prin capilaritate, procentul de apă absorbită în 48 de ore, absorbția apei la presiune scăzută;
- profunditatea penetrării: rezistența la microforare, profilul ultrasunetelor, profilul permeabilității la vaporii de apă, capilaritatea inversă, absorbția apei la 48 de ore.

Tabel 5.10 - Valori de consum, cantitatea de produs absorbția și materia uscată rezultată în urma aplicării tratamentului de consolidare – valori medii înregistrate

Probe cărămidă – valori medii înregistrate	Consum produs [g/cm ²]	Cantitate absorbită [g/cm ²]	Materie uscată [%]	Nr epruvete
	~0.30	~0.10	~ 21%	5

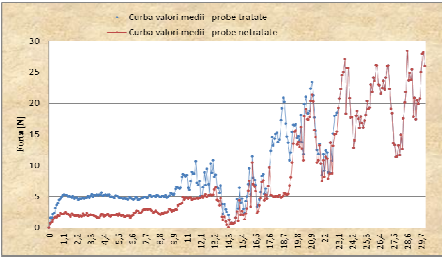
Volatilitatea solvenților este principala cauză a diferențelor înregistrate între valorile de consum și cantitatea de produs absorbită și care vor fi mai mari pe măsură ce solvenții sunt mai volatili și timpul de aplicare mai mare.

Tabel 5.11 - Comparație între valorile medii înregistrate inițial și cele obținute după realizarea tratamentului de consolidare aplicat prin pensulare pe epruvetele de cărămidă

Epruvete de cărămidă	Viteza medie de propagare a ultrasunetelor [m/s]		Creștere [%]
	Netratat	Tratat cu consolidant	
	4000 (±80)	4270 (±60)	6,75 (±1)

Determinarea rezistenței la microforare ca metodă de evaluare a acțiunii tratamentului de consolidare este o metodă foarte bună ce oferă multe informații, atât în laborator cât și în situ, în special referitoare la distribuirea acțiunii consolidantului în profunditatea materialului (fig.5.63).

Fig. 5.63 - Tratamente de consolidare aplicate prin pensulare. Rezistența la microforare – (grafic autor)



Tabel 5.12 - Comparație între valorile medii înregistrate pentru determinarea rezistenței la microforare, înainte și cele obținute după realizarea tratamentului de consolidare aplicat prin pensulare pe epruvetele de cărămidă

Epruvetele de cărămidă analizate	Rezistența mecanică la microforare – valoarea medie[N]	Rezistența mecanică la microforare – valoarea medie [N]	Creșterea rezistenței mecanice la microforare [%]
	Netratat	Tratat cu consolidant	
	18,50	24,30	~30%

Rezultatele încercării de compresiune și creșterea de rezistență oferită de tratamentul de consolidare sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Tabel 5.13 - Tratamente de consolidare. Rezistența mecanică la compresiune - Comparație între valorile medii înregistrate pentru determinarea rezistenței la compresiune, înainte și cele obținute după realizarea tratamentului de consolidare aplicat prin pensulare pe epruvetele de cărămidă

Epruvete de cărămidă analizate	Rezistența mecanică la compresiune – valoare medie [MPa]		Creșterea rezistentei la compresiune [%]
	Netratat	Tratat	
	~ 22,6	~ 30,0	32,75%

Rezistența mecanică la compresiune reflectă / atestă concluziile trase după rezultatele obținute prin testarea rezistenței mecanice la microforare și evidențiază acțiunea favorabilă a consolidantului.

Prezența produșilor de consolidare în grosimea materialului consolidat se reflectă prin alterarea spațiului poros original a suportului material și prin consecință, a caracteristicilor legate de prezența și mișcarea apei în interiorul său. Aceste alterări nu

permit evaluarea directă a acțiunii consolidante, ci furnizează informații complementare importante în evaluarea globală a acțiunii de consolidare.

Tabel 5.14 - Valori ale porozității determinate în apă

Epruvete de cărămidă analizate	Porozitate		Număr de epruvete
	Netratat	Tratat	
	~35% (34,75%)	~ 29%	6

Importanța cunoașterii diferențelor de caracteristici în zonele consolidate și materialul original pentru estimarea efectelor negative introduse prin aplicarea unui anumit produs de consolidare dat, a condus la necesitatea de a încerca materialul cel mai reprezentativ posibil cu grosimile consolidate.

Toate tratamentele de consolidare au fost responsabile de reduceri în jurul valorii de 20 % a permeabilității diferitelor cărămizi conform tabelului, valori ce pot fi considerate în limite acceptabile.

Tabel 5.16 - Tratamente de consolidare. Coeficientul de permeabilitate la vapori de apă

Epruvete de cărămidă analizate	Coeficient de permeabilitate la vapori de apă $\cdot 10^{-9}$ [kg / m · h · Pa]		Reducerea de permeabilitate la vapori de apă [%]	Număr de epruvete
	Netratat	Tratat		
	28,56 (±3)	23,66 (±2)	20,71%	6

Caracterizarea alterărilor colorimetrice produse de tratamente de consolidare a fost realizată pentru toate tipurile de cărămidă analizate.

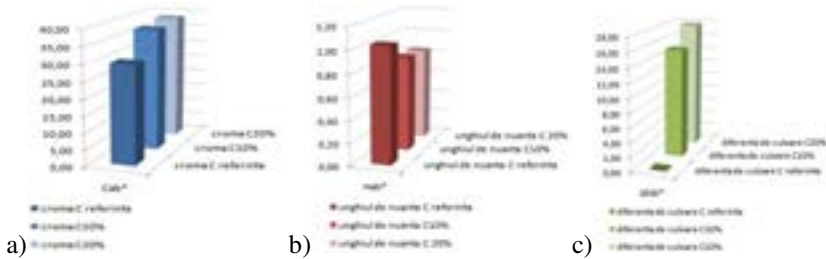


Fig. 5.64 - a) diferența de saturație, b) diferența de unghi de nuanță, c) diferența de culoare – (grafic autor)



Fig. 5.65 - a) cromatica probei în stare uscată, b) cromatica probei cu consolidant de 10%, c) cromatica probei cu consolidant de 20% – (foto autor)

Din citirile făcute, putem deduce că probele utilizate nu au o culoare omogenă dar s-a putut determina culoarea de bază a materialului, folosind o mediere a citirilor

efectuate. Deși valorile medii nu pot ilustra aspectele cromatice ale unui material cu suprafața heterogenă, permit totuși o evaluare și o comparație rapidă între două suprafețe diferite.

5.4.5. Considerații finale și măsuri de intervenție propuse asupra întregii structuri

Măsurile de intervenție prevăzute sunt de natură a elimina cauzele care au condus la apariția degradărilor, de a îmbunătăți conlucrarea structurală și de a reface componentele degradate în aceeași soluție constructivă cu a construcției inițiale fără a afecta valoarea monumentului. Măsurile de intervenție asupra construcției analizate au în vedere următoarele criterii : realizarea unui grad de protecție seismică corespunzător pentru construcția bisericii, eliminarea degradărilor apărute cauzate și de alți factori decât acțiunea seismică și mărirea resurselor financiare.

Din analiza efectuată am constatat faptul că, pe parcursul timpului construcția bisericii a suferit degradări cauzate de infiltrații de apă la terenul de fundare, de realizarea unor lucrări de intervenție uneori incompatibile cu materialele existente ale monumentului care de fapt au adus prejudicii construcției cum ar fi planșeul din beton armat din zona podului, de suprasarcină clopotelor montate în turla dreaptă a intrării principale.

Valoarea construcției cuantificată ca monument, valoarea picturii cât și a altor componente presupune o atenție deosebită pentru exploatarea acestuia în condiții optime, care să asigure o comportare foarte bună în timp. Măsurile de intervenție propuse sunt în concordanță cu exigențele activității de restaurare la care lucrările de reabilitare nu trebuie să afecteze substanța istorică a monumentului.

Din acest motiv, lucrările propuse sunt:

- ✓ Injectarea cu rășină epoxidică de înaltă rezistență a fisurilor identificate în arcele interioare în structura zidăriei;
- ✓ Realizarea unor centuri din beton armat la nivelul superior al zidurilor în zona podului;
- ✓ Realizarea unui platelaj metalic sau din lemn (dulapi așezați pe înălțime) cu rol de șaibă la nivelul podului și ancorat în centurile din beton armat (conform planșei anexate) se recomandă varianta din lemn deoarece are greutate mai mică.
- ✓ Consolidarea turlei fisurate prin dispunerea unor bride circulare metalice pe înălțimea acestuia și repararea zidăriei fisurate. Se va avea în vedere și evaluarea tuturor clopotelor funcționale, cele nefuncționale propunându-se a se demonta de la această cotă. La data prezenței erau 4 clopote din care unul funcțional. Măsura propusă are în vedere reducerea încărcării de la această cotă;
- ✓ Repararea locală a unui component de descărcare al șarpantei (marcat prin înclinație);
- ✓ Realizarea unui sistem adecvat de preluare și evacuare a apelor pluviale;

- ✓ Revizuirea tuturor instalațiilor purtătoare de apă din incinta bisericii și montarea acestora în tub de protecție. Se menționează faptul că la data efectuării investigațiilor s-a constatat o umiditate foarte mare a terenului în partea stângă – zona lumânărar – umiditate care provine din instalațiile existente. Se va revizui cu adoptarea unei soluții eficiente scurgerea condensului aparatului de aer condiționat din zona subsolului;
- ✓ Revizuirea și refacerea după caz a instalației electrice în conformitate cu actualele prescripții tehnice și acte normative;
- ✓ Se propune realizarea unui dren în perimetrul adiacent construcției, dren care va avea cota inferioară sub cota fundației existente și care va fi proiectat pentru a asigura evacuarea excesului de apă;
- ✓ Tehnici de intervenție asupra patologiilor nestructurale.

5.5. Modelarea matematică și analiza comportării în timp a planșelor boltite

5.5.1. Cuantificarea parametrilor matematici în analiza performanțelor structurale

Structurile construcțiilor vechi necesită în mod frecvent măsuri de reabilitare, reparare și / sau consolidare. Soluțiile de reabilitare, consolidare se stabilesc în urma unei expertize tehnice pentru care sunt necesare să fie cunoscute cu precizie caracteristicile fizice și mecanice ale materialelor din care este realizată structura expertizată.

Determinarea rapidă a caracteristicilor fizice și mecanice se poate face prin metode nedistructive pe teren sau prin metode distructive în laborator. În cadrul proiectului de cercetare științifică am prelevat probe de la construcțiile vechi de patrimoniu din zona de interes și am determinat caracteristicile mecanice prin metode nedistructive iar la final aceste rezultate au fost comparate cu cele obținute prin compresiune la presă hidraulică universală (prin metode distructive). Probele prelevate au fost prelucrate conform standardelor în vigoare atât pentru efectuarea încercărilor prin metode nedistructive cât și pentru cele distructive. Validarea rezultatelor obținute prin metode nedistructive a fost confirmată prin metoda distructivă în laborator, conducând la o siguranță asupra acestor caracteristici mecanice utilizate pentru modelarea și simularea numerică a structurii.

Este incorect că la aceste modelari numerice să fie utilizate caracteristici mecanice ale materialelor ca și când ar fi noi. Caracteristicile fizice și mecanice ale materialelor în timp suferă modificări (în special în cazul construcțiilor degradate ce necesită o intervenție de consolidare, reabilitare imediată). Mai mult, aceste caracteristici mecanice pot să difere de la o construcție la alta în funcție de vechime și de cauzele degradărilor suferite în timp. În concluzie pentru stabilirea unor soluții optime de consolidare sunt necesare pentru modelarea numerică a structurii caracteristicile mecanice determinate pentru fiecare structură analizată astfel încât să obținem în urma simulărilor numerice o comportare reală a structurii.

În următorul tabel am realizat o centralizare a caracteristicilor și proprietăților folosite pentru analizele și simulările numerice și computaționale în literatură și studiile de specialitate.

Tabel 5.19 - Caracteristicile și proprietățile folosite pentru analizele și simulările numerice și computaționale

Notăție	Unitate de măsură	Caracteristici mecanice	Valoare	Studii	Element analizat
Mortar					
R_t	N/mm^2	Rezistența la întindere	0.05	Creazza și alții 2000	Bolta în cruce
			0.2	Vermeltfoort 2001	Bolta cilindrică
			0.1	Foraboschi 2006	Dom
			0.2	Badala 2010	Bolta cilindrică
			0.018	Milani 2009	Bolta mănăstirească
R_c	N/mm^2	Rezistența la compresiune	2.3	Creazza și alții 2000	Bolta în cruce
			2.5	Vermeltfoort 2001	Bolta cilindrică
			1.8	Foraboschi 2006	Dom
			2.5	Badala 2010	Bolta cilindrică
			2.3	Milani 2009	Bolta mănăstirească
c		Coeziunea	$1.2 f_t$	Creazza și alții 2000	Bolta în cruce
			$1.2 f_t$	Vermeltfoort 2001	Bolta cilindrică
			$1.2 f_t$	Foraboschi 2006	Dom
Φ		Unghi de frecare	25°	Creazza și alții 2000	Bolta în cruce
			20°	Vermeltfoort 2001	Bolta cilindrică
			20°	Foraboschi 2006	Dom
			20°	Milani 2009	Bolta mănăstirească
Căramida					
R_c	N/mm^2	Rezistența la compresiune	30	Creazza și alții 2000	Bolta în cruce
			30	Vermeltfoort 2001	Bolta cilindrică
			30	Foraboschi 2006	Dom
			12.6	Badala 2010	Bolta cilindrca
			20	Milani 2009	Bolta mănăstirească
c	N/mm^2	Coeziunea	1	Vermeltfoort 2001	Bolta cilindrică
			1	Foraboschi 2006	Dom
Φ		Unghi de frecare	45°	Vermeltfoort 2001	Bolta cilindrică
			45°	Foraboschi 2006	Dom

5.5.2. Alegerea modelului de calcul și comportarea în timp a planșelor boltite

Alegerea modelului de calcul reprezintă o acțiune complexă și exprimă un echilibru între simplitate și gradul de încredere prezentat în cadrul modelului ales. În acest sens, în cadrul acestui capitol se prezintă pentru început o scurtă descriere istorică a modelelor propuse pentru bolțile planșelor care de fapt explică în multe situații și principiile de alcătuire, dar și cele de intervenție.

Deși structurile din zidărie s-au folosit de-a lungul timpului, abia relativ recent modelele constitutive și tehnicile de calcul au devenit disponibile și pot descrie într-un mod realist comportarea statică a structurilor realizate din materiale eterogene al căror răspuns la întindere este fundamental diferit de răspunsul la compresie.

Cu scopul de a determina încărcarea maximă de cedare pentru structurile din zidărie, mulți autori au propus modele rigide de blocuri cu diferite tipuri de interfețe și au aplicat aceste modele și la studiul bolților [172], [203].

Modelul elasto-plastic este adoptat pe scară largă, [176], [177], unii autori realizând chiar și o comparație între diferite modele de acest tip [150] și o aplicare la studiul bolților este prezentată [219].

5.5.3. Principiu general în calculul matematic al bolților

coeficientul lui Poisson $\nu > 0$ non-negativ.

Pentru a conduce calculul matematic mai departe și ulterior a putea aplica și metoda elementului finit este necesar a se considera tipul elementului finit. În literatura de specialitate metoda s-a dezvoltat având la bază două tipuri consacrate de element finit : elementul patrulater cu 8 noduri de tip „thin shell” și grosime h și elementul triunghiular cu 6 noduri și grosime h

Problema expusă din punct de vedere matematic poate fi rezolvată prin metode numerice adecvate. În această secțiune autorii descriu procedura elementului finit implementată de codul NOSA pentru analiza statică a bolților de zidărie și a domurilor. Problema echilibrului bolților din zidărie este rezolvată folosind un element cvadrilater cu 8 noduri tip „shell” bazat pe ipoteza Love – Kirchhoff. Fiecare astfel de element are pe nod de colț trei grade de libertate. Cele 4 noduri de mijloc au un grad de libertate (rotația în jurul laturii). Această rotație este independentă de deplasările nodurilor de colț și atunci elementele nu sunt conforme.

Deplasările acestea în cadrul elementului și rotațiile sunt date de :

$$u = \sum_{i=1}^4 \varphi_i \cdot u_i \quad \text{și} \quad \theta = \sum_{j=5}^9 \varphi_j \cdot u_j \quad (33)$$

unde :

u_i = deplasarea vectorului din nodul i ;

φ_i = funcții biliniare de formă $i = 1 \dots 4$

θ_j = rotații ale nodurilor de mijloc ($5 \dots 8$) și rotație centroid (9)

ψ_j = funcții bicuadrice de formă $j = 5 \dots 9$

Notăm cu $\mathcal{E}_{ij}$ componenta deformației totale privind baza locală $\{g_1, g_2\}$.

Vectorul deformațiilor $\mathcal{E} = (\mathcal{E}_{11}, \mathcal{E}_{22}, \mathcal{E}_{12})^T$ (34) poate fi exprimat ca o funcție a vectorului deplasare generalizată :

$\tilde{u} = (u_1, u_2, u_3, u_4, \theta_5^s, \theta_6^s, \theta_7^s, \theta_8^s)^T$ (35) unde $\theta_5^s, \theta_6^s, \theta_7^s, \theta_8^s$ sunt rotații ale nodurilor de mijloc în jurul laturii proprii, prin intermediul matricei B ce conține

derivatele funcțiilor de forma $\mathcal{E} = B \cdot \tilde{u}$ (36). În particular matricea B se poate scrie ca : $B = \begin{bmatrix} B^m + \zeta \cdot B^c & \zeta \cdot B^\theta \end{bmatrix}$ (37) unde B^m este matricea deformațiilor membranei iar B^c și B^θ sunt matricile pentru schimbarea curburii.

S-au dezvoltat tehnici numerice adecvate bazate pe metoda Newton – Raphson de rezolvare a sistemului neliniar obținut prin discretizarea structurii în elemente finite. Astfel, în acest sens, folosim matricea de rigiditate tangentă a cărei expresie este :

$$K_T = \int_A \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} B^T \cdot D \cdot B \cdot d\zeta \cdot dA \quad (38)$$

unde :

K_T = matricea de rigiditate tangentă (Newton – Raphson)

A = aria elementului

D = matricea componentelor derivatelor $D_E \hat{T}$ ale efortului $\hat{T}(E)$ în raport cu deformația E. Ținând cont de relațiile precedente, relația de mai sus devine :

$$K_T = \int_A \begin{bmatrix} B^{mT} & B^{cT} \\ 0 & B^{\theta T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_0 & D_1 \\ D_1 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B^m & 0 \\ B^f & B^\theta \end{bmatrix} \cdot dA \quad \text{unde}$$

$$D_i = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \zeta_i \cdot D \cdot d\zeta \quad i = 0, 1, 2 \quad (39)$$

5.5.4. Exemplu de calcul matematic

Prin acest exemplu se urmărește a se evalua și demonștră eficacitatea metodei propuse inițial de Lucchesi și ceilalți și implementată în codul italian NOSA, precum și o comparație cu celelalte metode aplicate în literatură de specialitate.

În acest exemplu de calcul matematic mă ocup de analiza stării limită a structurilor din zidărie simplă, fiind studiată o boltă sferică supusă la încărcarea din greutatea proprie și o forță concentrată aplicată în cheia bolții. Se va determina soluția exactă și apoi se va face o comparație cu analiza de element finit prin creșterea încărcării variabile până când nu se mai poate găsi un câmp de eforturi admisibil echilibrat (un câmp negativ semidefinit în fiecare punct al structurii).

În sistemul sferic de referință $\{0, r, \theta, \varphi\}$ considerăm bolta sferică D, cu raza principală R și grosime h. Bolta este încastrată în reazeme și supusă la greutatea ei

proprie c_0 și o încărcare forța concentrată $\lambda \cdot c_1$ aplicată în cheia bolții. Scopul este de a determina valoarea multiplicatorului λ_c de colaps / cedare.

Un sfert de boltă cu raza de 1 m, grosimea de 16 cm și $\gamma = 20\,000\text{ N/m}^3$ a fost discretizată cu elemente shell – 3200 – și analizată cu codul NOSA. Coeficientul multiplicator al încărcării λ este crescut incremental până la valoarea λ_s dincolo de care nu mai este posibilă obținerea convergenței. Pentru cazul dat, coeficientul multiplicator $\lambda_c = 6230\text{ N}$ și coeficientul multiplicator al încărcării determinat de NOSA este $\lambda_s = 6200\text{ N}$.

Cu toate că la ora actuală în România nu există un program de calcul care să cuantifice în mod realist îmbunătățirea conlucrării elementelor structurale prin introducerea elementelor de tipul diagonalelor sau prin rigidizarea unor nervuri, totuși studiile și cercetările efectuate mi-au permis adaptarea unui program de calcul, utilizat pe o scară largă în universitățile din Italia, la planșeele noastre tip boltă, cu caracteristicile geometrice proprii și cu parametri mecanici și de comportament specifici zonei de SE a României obținând rezultate ce evidențiază faptul că prin măsurile considerate sunt îmbunătățite substanțial criteriile de comportare și conlucrare a planșeelor și totodată o importanță creștere a rigidității ca element a asigurării sistemului de șaiba a planșeului.

Capitolul 6 Concluzii și direcții viitoare de cercetare

6.1. Contribuții la dezvoltarea cunoașterii în domeniul protejării și restaurării construcțiilor de patrimoniu

Studiile și cercetările efectuate în prima etapă au urmărit identificarea caracteristicilor geometrice dar și mecanice ale planșeelor din bolți de cărămidă, soluție des întâlnită la construcțiile de patrimoniu. Această etapă de cercetare și identificare este deosebit de importantă în analiza structurală a componentelor, în stabilirea măsurilor de intervenție, conservare și restaurare. Am identificat compoziția structurală a planșeelor construcțiilor de patrimoniu și a valorilor proprii de patrimoniu ale acestora (concepție geometrică, tehnologii tradiționale, materiale istorice). Am identificat parametrii care influențează conformarea structurală și factorii care definesc vulnerabilitatea în exploatare, metode și tehnici de îmbunătățire a comportării mecanice a planșeelor, necesar a fi considerate în cadrul acțiunii de restaurare și conservare a clădirilor de patrimoniu.

Cercetarea a avut la bază inspecția construcțiilor cu aceste caracteristici, studiul acestora dar și consultarea unui bogat material din domeniu, apărut în literatura de specialitate, conferințe naționale și internaționale, precum și rezultatele unor cercetări efectuate în cadrul laboratoarelor de încercări din Italia, Germania, Portugalia, Franța, Spania și Turcia. Am realizat o centralizare a caracteristicilor de material (zidărie de cărămidă) utilizate și demonstrate în literatura de specialitate dar și pe baza cercetărilor efectuate asupra materialelor din zona de SE a României.

Studiile și cercetările efectuate în cadrul acestei lucrări au pus în evidență și un alt aspect deosebit de important – aspectul legat de necesitatea creșterii capacității portante a planșeelor din bolți de cărămidă. În astfel de situații rolul restauratorului

structurist este deosebit de important, motivat de faptul că, prin lucrările de intervenție nu trebuie alterată substanța istorică, conformația sau arhitectura elementului. În acest sens am studiat o bogată literatură de specialitate, cercetările aplicându-le în studiile de caz rezolvate iar metodele propuse sunt metode și tehnici de creștere a capacității portante, creștere a rigidității.

6.2. *Rezultatele cercetării experimentale și validarea științifică a acestora*

Am realizat o clasificare a planșeelor boltite caracteristice construcțiilor de patrimoniu, necesitatea unor măsuri privind protejarea monumentelor istorice precum și prezentarea normelor și condițiilor de conservare și reabilitare, caracteristicile geometrice și tehnicile de realizare. Am stabilit exigențele referitoare la planșeele clădirilor, evoluția istorică a soluțiilor constructive și a materialelor componente.

Prin studii documentare și cercetări în situ am cules informații privind caracteristicile geometrice ale planșeelor, solicitările și starea de avariere. Am prezentat tehnici, metode și aparate pentru investigare și diagnosticare, precum și degradări și mecanisme de cedare la bolțile din zidărie. Am descris și cauzele principale ale degradărilor elementelor componente și analiza structurală a planșeelor, în situații patologice.

Am cercetat obiectivul lucrărilor de intervenție: clasificarea lor, alegerea strategiilor de intervenție, intervenții și soluții asupra construcțiilor de patrimoniu. Am prezentat tehnicile de restaurare atât nestructurale cât și structurale, tehnici de restaurare cu elemente metalice, tehnici de restaurare cu elemente din beton armat, tehnici de restaurare cu lianți, tehnici de restaurare cu materiale compozite. La sfârșit, o parte din tehnicile de restaurare au fost adoptate în studii de caz.

Pentru a menține și conserva integritatea structurală a clădirilor am încercat implementarea unor soluții de consolidare corecte, adaptate fiecărei situații în parte. Am realizat teste experimentale privind reabilitarea planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu, care au nevoie de lucrări de reabilitare și restaurare, din cauza degradării lor și a intervențiilor inadecvate la care au fost verificate. Experimental am aplicat tehnici și metode de consolidare a zidăriilor, prin cămășuirea cu plase de polimeri și plase galvanizate.

În cadrul etapei experimentale am cercetat evoluția caracteristicilor privind deformațiile și rezistențele la compresiune uniaxială și pe diagonală, a zidăriilor specifice planșeelor caracteristice monumentelor istorice, evidențierea diferențelor în ceea ce privește modul de cedare, valori privind deformațiile și rezistențele precum și obținerea de date pentru proiectarea unor soluții de restaurare. Am atins obiectivul testului, rezultatele fiind utilizate în stabilirea unei comparații între zidăria monumentelor istorice, realizată după tehnicile și procedurile obișnuite și același tip de zidărie consolidată cu platbande din fibre de carbon. Prin realizarea programului experimental am obținut următoarele date: evoluția caracteristicilor privind deformațiile și rezistențele, evidențierea diferențelor în ceea ce privește modul de cedare, valori privind deformațiile și rezistențele, comparativ cu cele obținute pe panourile de zidărie armare cu lamele CFRP și obținerea de date pentru proiectarea unor astfel de soluții.

Am realizat teste experimentale pentru a determina caracteristicile fizice și mecanice ale materialelor din care este realizată structura de rezistență a planșeelor boltite caracteristice construcțiilor de patrimoniu. Am analizat patologiiile legate de caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor (ce prezintă un grad mai mic sau mai mare de îmbătrânire și degradare, cu un comportament imprevizibil și deci dificil de parametrizat, fiind mai departe de schemele liniare teoretice), patologii legate de caracteristicile tipologice și morfologice ale elementelor structurale ce fac dificilă definirea unor scheme statice simplificate.

Rezultatele acestor analize au fost sintetizate într-o bază de date privind caracteristicile fizice și mecanice cu care am putut determina starea de eforturi în diferite secțiuni și pe ansamblul structurii. Parametrii studiați explică și comportarea în timp a acestor structuri. Rezultatele obținute oferă un volum de informații, valoros în stabilirea măsurilor de intervenții în cadrul lucrărilor de restaurare.

Tehnica de intervenție asupra materialului constitutiv cât și metoda utilizată sunt dependente de parametri de comportament ai fiecărui material component, de calitatea materialului și de condițiile de exploatare. Tehnicile calitative se bazează pe inserția în structura materialului constitutiv a unor materiale capabile de a crește rezistența suprafeței de contact cu mediul înconjurător, de a mări compactitatea, de a elimina friabilitatea și de a limita posibila depreciere progresivă cauzată de mediul ambiant. Cunoașterea structurii materialului, a compoziției acestuia este deosebit de importantă în stabilirea compoziției peliculelor sau a penetrărilor care se fac în componentele structurale și care au drept scop limitarea degradărilor, creșterea rezistenței suprafeței în contact cu mediul. Am determinat caracteristicile fizice și mecanice ale zidărilor din cărămidă specifice planșeelor boltite, prin metode nedistructive, pentru diverse construcții de patrimoniu iar pentru verificarea și validarea rezultatelor obținute le-am comparat cu rezultatele determinate prin metode distructive.

Activitatea experimentală realizată pentru consolidarea cu tiranți, a planșeelor boltite, a constat în evaluarea capacității de rezistență și comportamentul în timpul unei forțe de tracțiune, a ancorajelor pentru tiranții folosiți la consolidarea bolților și evaluarea efectului produs asupra componentelor din zidărie. Campaniile experimentale au condus la studierea și înțelegerea comportamentului tiranților utilizați la consolidarea bolților, supuși unei acțiuni orizontale ciclice alternante care simulează acțiunea seismică în același timp cu forțele verticale menite să simuleze greutatea structurii și, de asemenea, contribuția zidăriei și modul în care materialele componente conlucrează împreună. Încercările desfășurate în această etapă au furnizat informații referitoare la comportarea ancorajelor mecanice fixe folosite la consolidarea bolților cu tiranți metalici.

Armăturile din fibre de carbon sunt folosite tot mai mult în aplicațiile de inginerie civilă, datorită avantajelor lor față de materialele tradiționale, cum ar fi înalta rezistență, greutatea redusă și rezistență la coroziune. Cea mai frecventată aplicație, implică lipirea la exterior a fibrelor polimerice de carbon folosind rășini epoxidice. În cadrul lucrării de cercetare am efectuat teste experimentale, pentru a evalua aderența și comportamentul dintre zidăria de cărămidă și fâșiile de polimeri cu care se vor putea realiza restaurări, fără montarea de ancore sau de conectori de legătură.

Armăturile din fibre de carbon sunt folosite tot mai mult în aplicațiile de inginerie civilă, datorită avantajelor lor față de materialele tradiționale, cum ar fi înalta rezistență, greutatea redusă și rezistență la coroziune. În acest tip de soluție de consolidare a structurilor, caracteristicile materialului consolidat au o influență importantă pentru starea limită ultimă. Performanța fâșiilor laminate CFRP depinde foarte mult de caracteristicile zidăriei precum și de proprietățile fizice și geometrice ale structurilor din care fac parte.

Pentru utilizarea mai eficientă a consolidării zidăriilor de cărămidă cu fâșii CFRP recomand creșterea distanței dintre benzile CFRP, pentru a se asigura modul de exfoliere și deformare.

Am efectuat investigații asupra degradărilor structurale de ansamblu cât și ale unor componente specifice, acestea fiind evidențiate prin inventarierea degradărilor prin relevee și materiale ilustrative. Am urmărit identificarea zonelor de degradare, măsura acestora, direcția de propagare a fisurilor, localizarea lor în ansamblul structurii bolții, toate aceste elemente contribuind la punerea în evidență a zonelor solicitate care nu mai prezintă capacitatea asigurării continuității elementului.

Analiza structurală a pus în evidență elemente deosebit de interesante precum modalitatea de descărcare a stării de eforturi și componenta geometrică. Această analiză am efectuat-o pe baza releveului geometric al construcției și a vizat existența unor sensibilități structurale de ansamblu și ale unor componente structurale: scheme statice, mărirea încărcărilor, proeminente, asimetrii, distribuția maselor și a rigidităților, discontinuități structurale, deschideri excesive, intervenții ulterioare. Am realizat reprezentarea grafică a anomaliilor observate, fiind foarte utilă, în posibilitatea de a detecta modele care conțin informații valoroase pentru a înțelege mecanismele de deteriorare.

Odată cu examinarea fisurilor și a degradărilor în scopul stabilirii cauzelor generatoare și a stării de eforturi, este necesar să se cunoască dacă acestea s-au stabilizat sau continuă să progreseze; de aceea am urmărit dacă au apărut semne ale intensificării stării de solicitare ca urmare a creșterii intensității acțiunilor, a reducerii secțiunii sau a dezvoltării deformațiilor elementelor de reazem.

În investigarea tehnologică am cuprins descrierea construcției din punct de vedere al componentelor tehnologice și anume: tipul elementelor structurale, materialele și tehnologiile utilizate, dimensiunile caracteristice ale componentelor structurale, tipul legăturilor și capacitatea lor funcțională, eventualele vicii de alcătuire.

Investigațiile instrumentale prin metode nedistructive au furnizat date privind caracteristicile materialelor și conținutul degradărilor, ajutând la precizarea cauzelor care au dus la apariția mecanismului de avariere și contribuind decisiv la evaluarea gradului de asigurare al construcției.

Am efectuat un studiu pe diferitele tipuri de bolți, prezentând o sinteză a parametrilor mecanici privind mortarul și cărămidă și am studiat principiile de analiză a parametrilor prezentate în lucrările lui Creazza, Foraboschi, Milani, Vermeltfoort și Lucchesi.

Am adoptat un model elasto-plastic din literatura de specialitate, ce utilizează principiul omogenității materialului și o ecuație constitutivă ce poate fi folosită pentru

modelarea comportării materialelor, caracteristice planșeelor boltite din zidărie de cărămidă. În lucrare am studiat câteva astfel de probleme în studiile de caz, prin tehnici numerice adecvate, demonstrând că deși modelul de material tip zidărie nu ia în considerare (cel puțin în formularea sa originală) anumite caracteristici precum anizotropia materialului, ne permite să desfășurăm o analiză realistă a structurilor complexe de dimensiuni mari. Tot aici, intervine și conceptul de modul maxim de excentricitate al suprafeței, cu scopul de a permite o redare concisă și efectivă a rezultatelor analizei elementului finit, ca și evaluarea siguranței / gradului de siguranță a bolților. Prin această metodă putem analiza orice tip de boltă supusă oricărui tip de încărcare statică – o problemă ce este destul de dificil de rezolvat prin metodele clasice. Mai mult, pentru diferite tipuri de încărcări este posibil să determinăm factorul multiplicator corespunzător colapsului / cedării acesteia.

6.3. Contribuții personale și elemente de originalitate în cadrul activității de cercetare efectuate

Cu ajutorul Universității Ovidius -Constanța, Facultatea de Construcții și Institutul Tehnic Superior –Lisabona, am realizat un acord bilateral de cooperare. În cadrul acestui acord, am efectuat un stagiul de 7 luni de zile de cercetare bibliografică și experimentală privind metode și tehnici de investigare, diagnosticare și reabilitare a edificiilor de patrimoniu.

Studiile și investigațiile efectuate în cadrul cercetării și-au atins scopul final privind elaborarea unor metode și tehnici de intervenție adecvate diferitelor compoziții structurale de planșeu, în vederea îmbunătățirii comportării mecanice a acestuia venind în sprijinul preocupărilor generale ale specialiștilor de restaurare și conservare a monumentelor istorice, fiind cointegrate în următoarele contribuții personale și elemente de originalitate:

- ✓ efectuarea unui studiu documentar tehnic și științific din literatura de specialitate, privind măsurile și interesul conservării și restaurării planșeelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu, la nivel internațional și național;
- ✓ identificarea compoziției structurale a planșeelor construcțiilor de patrimoniu și a valorilor proprii de patrimoniu ale acestora;
- ✓ identificarea unui număr apreciabil de planșee boltite și prezentarea subansamblurilor componente;
- ✓ analiza vizuală și documentară a unor planșee, identificate în construcții de patrimoniu din România, Portugalia și Italia;
- ✓ documentarea aprofundată și selectarea celor mai reprezentative tehnici, metode și aparate pentru investigarea și diagnosticarea planșeelor;
- ✓ selectarea și investigarea celor mai importante tehnici și metode structurale și nestructurale, necesar a fi considerate în cadrul acțiunii de restaurare și conservare a clădirilor de patrimoniu;
- ✓ selectarea celor mai reprezentative studii experimentale și efectuarea unei cercetări aprofundate atât în teren, cât și în laborator privind soluțiile de investigare și restaurare adoptate la: “Tribunalul Vechi din Brăila”, “Castelul de

Apă din Brăila”, “Grup Școlar Sportiv nr.2 din Constanța” și “Spitalul Sf. Pantelimon din Brăila”;

- ✓ experimentări privind comportarea zidărilor portante la structuri de tip”Pombalina”, specifice construcțiilor de patrimoniu din Portugalia;
- ✓ cercetări privind zidăria specifică planșeelor boltite, supusă la compresiune pe două direcții;
- ✓ implicarea directă în experimente și cercetări privind comportarea și evaluarea rezistenței la tracțiune a tiranților metalici folosiți la consolidarea planșeelor boltite;
- ✓ efectuarea unor cercetări temeinice atât în teren, cât și în laborator, privind caracteristicile mecanice ale zidăriei specifice planșeelor boltite caracteristice monumentelor istorice din zona de SE a României;
- ✓ elaborarea unor metodologii de evaluare a aderenței dintre cărămidă și materiale compozite cu armături din fibre de carbon, bazată pe încercări și determinări de laborator;
- ✓ efectuarea de cercetări experimentale atât în teren, cât și în laborator, cu prilejul expertizei tehnice, a studiului de caz - biserica “Sf. Mare Mucenic Gheorghe”din Constanța, în scopul investigării și diagnosticării construcției;
- ✓ stabilirea unui sistem de monitorizare și diagnosticare a stării de fisurare, în cadrul studiului de caz;
- ✓ elaborarea unei metodologii proprii de consolidare și restaurare a planșeelor boltite cu produși consolidanți, bazată pe investigații în situ și prin încercări și determinări de laborator, luând în considerare, prescripțiile tehnice naționale și internaționale;
- ✓ studiul comparativ privind modelarea matematică și analiza comportării în timp a planșeelor boltite, în vederea îmbunătățirii performanțelor structurale ale acestora;
- ✓ în urma participării directe în cadrul proiectelor, am analizat, efectuând fișe de comportament, inspecții, detalieri pe studii de caz, încercări nedistructive, încercări distructive, studii în laborator, pentru următoarele construcții:
 - restaurare, consolidare, punere în valoare și introducere în circuitul turistic a complexului arhitectural medieval al Mănăstirii Ratesti-Buzău
 - reabilitarea, modernizarea și dotarea ambulatorului de specialitate spitalul de psihiatrie Sf. Pantelimon-Braila
 - reabilitare Castel de Apă –Gradina Publică – Brăila
 - reconstrucție pridvor biserica lui Antonie Vodă – Mănăstirea Turnu – Prahova
 - lucrări de punere în siguranță limitată a imobilului str. Justiției nr.1 – Fostul tribunal din Brăila
 - consolidare și restaurare Grup școlar sportiv nr.1 – Constanța
 - consolidare și restaurare biserica Sf. M.Mc.Gheorghe – Constanța
 - consolidare și restaurare biserica din Nicolae Bălcescu – Constanța

Toate rezultatele obținute, conduc la precizarea unor noi direcții de cercetare privind comportarea planșelor caracteristice construcțiilor de patrimoniu și a soluțiilor de restaurare adoptate.

6.4. Valorificarea rezultatelor obținute pe parcursul elaborării lucrării

Rezultatele cercetărilor, preconizează a se constitui într-o bază de date valoroasă atât prin aplicabilitatea lor la evaluarea rezistenței și stabilității construcțiilor cu valoare de patrimoniu cât și în elucidarea aspectelor de istorie a tehnicii construcțiilor în zona de referință.

Materialul are la bază și cercetările efectuate în cadrul stagiului de cercetare de la Institutul Tehnic Superior –Lisabona, de către colectivul de cercetare din care am făcut parte și în cadrul căreia au avut loc și cercetări experimentale pentru stabilirea caracteristicilor de material folosite la realizarea bolților. Rezultatele cercetărilor s-au concretizat în numeroase articole publicate în reviste de specialitate din baza de date națională și internațională.

Pe parcursul programului de cercetare, rezultatele obținute au fost valorificate astfel:

- Grănescu Ana Maria, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan** – Raport de cercetare nr.1 / 2009 : “Comportarea mecanică a planșelor realizate din bolți. Soluții de reabilitare”.

- Grănescu Ana Maria, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan** - „Contributions to the influence of moisture on the natural stone resistance structure of the patrimony buildings”, conferința WATER 2010, publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XII, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 489-496, 2010;

- Grănescu Ana Maria, Mitroi Amedeo, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan** – “Influence of environmental factors on mechanical resistance on natural stone buildings and quantification in technical expertise” publicat în Journal of Enviromental Protection and Ecological ISSN 1311-50-65- 2010 Grecia – revistă cotate ISI;

- Grănescu Ana Maria, Popa Mirela, Drăgoi Mihaela, Pericleanu Bucur Dan – Raport de cercetare nr. 1 / 2010: “Soluții de modelare și calcul a bolților cilindrice realizate din zidărie”.

- Grănescu Ana Maria, Gelmambet Sunai, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan** – Raport de cercetare nr. 2 / 2010 “Studii și cercetări privind rezistențele mecanice ale zidărilor”.

- Grănescu Ana Maria, Gelmambet Sunai, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan** – “Determination of mechanical properties of natural stone and brick masonry elements in heritage buildings” – Internațional Symposium on Nondestructive Testing of Materials and Structures, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 15-18 Mai 2011, editura Springer, RILEM Bookseries, ISBN 978-94-007-0722-1, pag. 1173 – 1178, revistă cotate ISI.

- **Bucur Dan Pericleanu**, Mihaela Drăgoi – “Accessibility of water in heritage buildings materials” publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XIV –

Nr.14, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 89-94, 2012 în cadrul conferinței internaționale WATER 2012;

- **Bucur Dan Pericleanu**, Mihaela Drăgoi – “Water – a key factor în heritage buildings chromatics” publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XIV – Nr.14, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 95-100, 2012 în cadrul conferinței internaționale WATER 2012;

- **Bucur Dan Pericleanu**, Mihaela Drăgoi – “Contributions on realization techniques for vaulted floor decks” publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XV – Nr.15, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 39-44, 2013;

- Mihaela Drăgoi, **Bucur Dan Pericleanu** – “Studies and research on physical and mechanical parameters of building stone used în fortresses în Dobrogea. Case study: Histria fortress” publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XV – Nr.15, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 93-100, 2013;

6.5. Direcții viitoare de cercetare

Rezultatele obținute, oferă posibilitatea dezvoltării unor noi teme de cercetare privind conlucrarea dintre materialele compozite și zidărie, găsirea unor noi sisteme privind contextul actual al protejării, conservării și restaurării construcțiilor de patrimoniu la nivel internațional și național, ducând la obținerea unor performanțe structurale superioare ale materialelor.

Pe viitor îmi propun a studia noi teme de cercetare precum:

- ✓ modelarea unor tipuri de bolți prin calcul matematic în programe de calcul, bolți supuse la încărcări verticale și orizontale, folosind caracteristicile fizice și mecanice reale ale zidăriei din boltă;
- ✓ modelarea altor tipuri de bolți mai complexe întâlnite în zona de interes a monumentelor istorice din zona de SE a României : boltă a vela, bolta romanică sau gotică în programe de calcul și compararea comportării acestora cu comportarea reală identificată pe teren;
- ✓ stabilirea unei metodologii de alegere a soluțiilor optime de consolidare;
- ✓ totodată intenționez să elaborez tehnologii specifice acestor categorii de lucrări care să poată fi incluse într-un normativ de consolidare / reabilitare și conservare a componentelor structurale caracteristice construcțiilor de patrimoniu.
- ✓ voi urmări dezvoltarea unor tehnologii și materiale compatibile acestor structuri pentru a realiza o gamă diversificată de soluții de intervenție bazată pe evaluarea calitativă.

Bibliografie selectivă

Cărți, lucrări și cursuri de formare profesională

- [3]. Appleton João Guilherme, „Reabilitação de Edifícios Gaioleiros”, editura Orion, Portugalia, 2005;
- [4]. Appleton João, „Reabilitação de edificios antigos. Patologias e tecnologias de intervenção”, editura Orion, Portugalia, 2003;
- [10]. Bogas José Alexandre de Brito Aleixo „Reforço de estruturas de betão armado com sistemas CFRP - modelos de dimensionamento e verificação da segurança”, IST- lucrare de disertație, 2003;
- [12]. Branco F., Correia J. „Ensaio à compressão de elementos de parede de alvenaria da praça de touros do campo pequeno” Estudo realizado para SRUCP, Relatório ICIST EP n.º 82/03, IST, Portugalia, decembrie 2003;
- [15]. Budescu Mihai, Ioan Petru Ciongradi, Nicolae Taranu „Reabilitarea constructiilor”, editura Vesper, Iasi, 2001;
- [16]. Cardoso Joaquim Gil Carvalho „Reforço sísmico de alvenaria tradicional com faixas de GFRP e ancoragens. Ensaio de aderência e modelo de cálculo.”, IST -lucrare de disertație, Portugalia, 2008;
- [21]. Córias Vítor - „Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos” , Argumentum, editura GECORPA, Portugalia, 2007;
- [23]. Correia João Ribeiro. „GFRP pultruded profiles in civil engineering: hybrid solutions, bonded connections and fire behavior” IST - teza de doctorat, Lisabona, 2008;
- [27]. Crișan Rodica „Construcții din zidărie și beton” București, IAIM, 2006;
- [28]. Crișan Rodica „Reabilitarea locuirii urbane traditionale”, editura Paideia, București, 2004;
- [30]. Crișan Rodica „Zidăriile tradiționale.Caracteristici și procese de degradare specifice”, editura Universitară “Ion Mincu”, București, 1996;
- [31]. Curinschi Vorona Gheorghe „Arhitectură, Urbanism, Restaurare”, editura Tehnică, București, 1996;
- [33]. Curs de formare profesională “Building rehabilitation techniques” FUNDEC – (IST - Lisabona)/Portugalia: 23 ianuarie – 3 februarie 2012
- [34]. Curs de formare profesională “Nondestructive testing în construcções”- AROTEM & CITCON NOVA- București/România: 10 – 16 martie 2009;
- [35]. Curs de formare profesională „Inspection plans and maintenance of buildings” FUNDEC – (IST - Lisabona)/Portugalia: 25– 26 iunie 2012;
- [39]. Ferreira João, Fernando Branco „Análise experimental e observação de estruturas. Ensaio estruturais em laboratório”, Portugalia, ICIST, 2008;
- [40]. Ferreira João, Fernando Branco „Análise experimental e observação de estruturas. Modelos reduzidos e teoria da semelhança”, Portugalia, ICIST, 2008;
- [44]. Firmo J.P. „Fire protection systems for reinforced concrete beams strengthened

with CFRP laminates” lucrare de disertație, IST, Lisabona, 2010;

- [49]. Gago António Manuel Candeias de Sousa „Análise estrutural de arcos, abóbadas e cúpulas”, IST -teza de doctorat, 2004;
- [50]. Gago António Manuel Candeias de Sousa, António Lamas; João Azevedo „Análise estrutural da abóbada da igreja de S. Francisco em Évora”, Portugalia, ICIST, 2001;
- [53]. Grănescu Ana Maria „Construcții civile” editura CEPROHART, 1998;
- [54]. Grănescu Ana Maria „Constructii civile”, editura Agir Bucuresti, 2009;
- [56]. Grănescu Ana Maria, Barbu Daniela A.M. „Repararea si consolidarea constructiilor”, editura Agir Bucuresti, 2008;
- [60]. Hendry A.W. „Masonry walls: materials and construction” Constuction Building Materials, vol. 15, 2001;.
- [62]. Heyman J. „Arches, Vaults and Buttresses - Masonry Structures and their Enginnering”, Variorum Collected Studies Series, Hampshire, U.K., 1996;
- [67]. Lucchesi Massimiliano, Nicola Zani, Cristina Padovani, Giuseppe Pasquinelli - “Masonry constructions: mechanical models and numerical applications”, editura Springer, 2008;
- [70]. Mascarenhas Jorge „Sistemas de Construção V. O Edifício de Rendimento da Baixa Pombalina de Lisboa Materiais Básicos: o Vidro”, Livros Horizonte, 2005;
- [71]. Mascarenhas Mateus João „Tecnicas Tradicionais de Construção de Alvenarias”, editura Livros Horizonte, 2002;
- [84]. Pinho Fernando Farinha da Silva „Sistematização do estudo sobre paredes de edifícios antigos”, IST -lucrare de disertație, 1995;
- [92]. Szabo Balint „Compatibilitatea interventiilor legate de mediul construit” In : Tusnad 2003, teoria si practica reabilitarii monumentelor istorice, Cluj Napoca, editura Utilitas 2003;
- [94]. Szabo Balint „Introducere in teoria reabilitarii structurilor de rezistenta istorice”, Cluj Napoca, editura Utilitas 1998;
- [97]. Taranu George „Consolidarea arcelor și boltilor din zidarie cu materiale compozite la monumentele istorice”, Iasi –teza de doctorat, 2009;

Reviste, jurnale, conferințe și articole

- [104]. Bai Y, Keller T, Correia JR, Branco FA, Ferreira JG. „Fire protection systems for building floors made of pultruded CFRP profiles – part 2: modeling of thermomechanical responses”, Compos Part B, 2010;
- [116]. Branco M., Guerreiro L. „Avaliação do comportamento sísmico de um edificio Gaioleiro – Reforço com Dissipadores Viscosos” Actas do Patorreb 2006 – 2º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios”, FEUP, Porto, 2006;
- [117]. Branco M., Guerreiro L. „Comparação de técnicas de reforço sísmico de edifícios Gaioleiros” - Actas das JPEE 2006 – 4as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, LNEC, Lisabona, decembrie 2006;

- [122]. Ciornei Alexandru „Revista Constructiilor” nr.94, iulie 2013;
- [133]. D’Ayala D.F., E. Tomasoni „The structural behavior of masonry vaults : limit state analysis with finite friction”, Structural analysis of historic construction, Londra, 2008;
- [136]. Del Piero G. „Constitutive equation and compatibility of the external loads for linear elastic masonry-like materials”, Meccanica (Milano) 24:3, 1989;
- [141]. Dias S.J.E, Barros J.A.O. „Performance of reinforced concrete T beams strengthened in shear with NSM CFRP laminates” Eng Struct, 2010;
- [144]. Dragomir C. „Protectia constructiilor din zidarie la actiuni seismice”, Revista Constructiilor nr.55 decembrie 2009;
- [146]. Ferreira J. G., Teixeira M.J., Dutu A., Branco F., Gonçalves A. „Experimental Evaluation and Numerical Modelling of Timber Framed Walls”, Experimental Techniques vol.36: 2. 2012;
- [147]. Foraboschi P. „Strengthening of Masonry Arches with Fiber-Reinforced Polymer Strips” Journal of Composites for Construction; vol. 8; No. 3; iunie 2004;
- [150]. Genna F., Di Pasqua M., M. Veroli și P. Ronca „Numerical analysis of old masonry buildings: a comparison among constitutive models”, Eng. Struct. 20:1–2, 1998;
- [151]. Gonçalves Ana Maria, João Gomes Ferreira, Luis Guerreiro, Fernando Branco „Seismic retrofitting of Pombalino “frontal” walls”, 15WCEE, IST, Lisabona, 2012;
- [152]. Gonçalves Ana Maria, João Gomes Ferreira, Luis Guerreiro, Fernando Branco „Experimental characterization of Pombalino “frontal” wall cyclic behaviour”, 15WCEE, IST, Lisabona, 2012;
- [153]. Gonçalves Ana Maria, João Gomes Ferreira, Luis Guerreiro, Fernando Branco „Avaliação Experimental do Comportamento de Paredes de Edifícios Pombalinos”. Construlink vol. 9 : 27. 2011;
- [156]. Grănescu Ana Maria, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan** - „Contributions to the influence of moisture on the natural stone resistance structure of the patrimony buildings”, conferința WATER 2010, publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XII, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 489-496, 2010;
- [157]. Grănescu Ana Maria, **Pericleanu Bucur Dan**, Drăgoi Mihaela, „Comportarea mecanică a planșelor realizate din bolți. Soluții de reabilitare”, Raport de cercetare nr.1/2009, Centrul de cercetare în Inginerie civilă, Departamentul de Inginerie civilă, Facultatea de Constructii, Universitatea „Ovidius” Constanta, 2009;
- [158]. Grănescu Ana Maria, Gelmambet Sunai, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan**, “Studii și cercetări privind rezistențele mecanice ale zidărilor”, Raport de cercetare nr.2/2010, Centrul de cercetare în Inginerie civilă, Departamentul de Inginerie civilă, Facultatea de Constructii, Universitatea „Ovidius” Constanta, 2010;

- [159]. Grămescu Ana Maria, Gelmambet Sunai, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan** – “Determination of mechanical properties of natural stone and brick masonry elements in heritage buildings” – Internațional Symposium on Nondestructive Testing of Materials and Structures, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 15-18 Mai 2011, editura Springer, RILEM Bookseries, ISBN 978-94-007-0722-1, pag. 1173 – 1178, revistă cotate ISI, 2011;
- [160]. Grămescu Ana Maria, Mitroi Amedeo, Drăgoi Mihaela, **Pericleanu Bucur Dan** – “Influence of environmental factors on mechanical resistance on natural stone buildings and quantification in technical expertise” publicat în Journal of Environmental Protection and Ecological ISSN 1311-50-65- 2010 Grecia – revistă cotate ISI, 2010;
- [161]. Grămescu Ana Maria, Popa Mirela, **Pericleanu Bucur Dan**, Drăgoi Mihaela, “Soluții de modelare și calcul a bolților cilindrice realizate din zidărie”, Raport de cercetare nr.1/2010, Centrul de cercetare în Inginerie civilă, Departamentul de Inginerie civilă, Facultatea de Construcții, Universitatea „Ovidius” Constanța, 2010;
- [164]. Heyman J. „Mechanical Behaviour of Arches and Vaults”, Proceedings of Structural Analysis of Historical Constructions II. Possibilities of Numerical and Experimental Techniques, Barcelona, Spain, 1998;
- [172]. Livesley R. K. „A computational model for the limit analysis of three-dimensional masonry structures”, Meccanica (Milano) 27:3, 1992;
- [176]. Lourenço P. B. și Rots J. G. „Multisurface interface model for analysis of masonry structures”, J. Eng. Mech. (ASCE) 123:7, 1997;
- [177]. Lourenço P. B., Rots J. G. și J. Blaauwendraad, “Continuum model for masonry: parameter estimation and validation”, J. Struct. Eng. (ASCE) 124:6, 1998;
- [182]. Lucchesi M., C. Padovani, A. Pagni, G. Pasquinelli și N. Zani „COMES-NOSA: A finite element code for non-linear structural analysis”, Technical report B4-2000-003, CNUCE, 2000;
- [183]. Lucchesi M., C. Padovani, G. Pasquinelli și N. Zani „The maximum modulus eccentricity surface for masonry vaults and limit analysis”, Math. Mech. Solids 4:1, 1999;
- [184]. Lucchesi M., Padovani C. și Pagni A. „A numerical method for solving equilibrium problems of masonry-like solids”, Meccanica (Milano) 29:2, 1994;
- [191]. Mihaela Drăgoi, **Bucur Dan Pericleanu** – “Studies and research on physical and mechanical parameters of building stone used in fortresses in Dobrogea. Case study: Histria fortress” publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XV – Nr.15, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 93-100, 2013;
- [192]. Milani Enrico, Milani Gabriele, Tralli Antonio „Limit analysis of masonry vaults by means of curved shell finite elements and homogenization”, International Journal of Solids and Structures 45, 2008;

- [200]. Olaru D. „A mixed procedure to verify the rehabilitation effects over the massive old monuments” în vol. 2. “Structural Dynamics – Eurodyn 5 – Munchen”, editura Balkema, 2002;
- [202]. Oliveira, D.; Lourenço, P.; Basilio, I.; Comportamento Experimental de Arcos de Alvenaria Reforçados com FRP; JPEE 2006;
- [203]. Orduna A. și P. B. Lourenço „Cap model for limit analysis and strengthening of masonry structures”, J. Struct. Eng. (ASCE) 129:10, 2003;
- [205]. **Pericleanu Bucur Dan**, Mihaela Drăgoi – “Accesibility of water în heritage buildings materials” publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XIV – Nr.14, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 89-94, 2012 în cadrul conferinței internaționale WATER 2012;
- [206]. **Pericleanu Bucur Dan**, Mihaela Drăgoi – “Contributions on realization techniques for vaulted floor decks” publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XV – Nr.15, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 39-44, 2013;
- [207]. **Pericleanu Bucur Dan**, Mihaela Drăgoi – “Water – a key factor în heritage buildings chromatics” publicat în Analele Universității „Ovidius” Constanța, anul XIV – Nr.14, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 95-100, 2012 în cadrul conferinței internaționale WATER 2012;
- [218]. Taranu Nicolae, Oprisan Gabriel, Budescu Mihai, Taranu George, Bejan Liliana „Improving structural response of masonry vaults strengthened with polymeric textile composite strips”, Universitatea Tehnica “Gheorghe Asachi” Iasi, Latest trends on engineering mechanics, structures, engineering geology;
- [219]. Theodossopoulos D., B. P. Sinha, A. S. Usmani si A. S. J. Macdonald „Assessment of the structural response of masonry cross vaults”, Strain 38:3, 2002;

Legislație

- [283]. RILEM II.6 - Water absorption coefficient (capillarity). Matériaux et Construction. vol. 13 N°75 -1980;
- [284]. RILEM III.5 - Ultimate compressive strength. Matériaux et Construction. vol. 13 N°75 -1980;

Pagini web

- [321]. <http://www.spitalpsihiatriebraila.ro/istoric.php>;
- [326]. <http://mathworld.wolfram.com/>, 26/06/2005 – Site da MathWorld, definições e conceitos relativos a matemática;

