

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

Ing. Anca Mihaela Mogoșanu (Barbu)

TEZA DE DOCTORAT

**COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ
A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ**

-Rezumat-

Conducător științific,

Prof.em.univ.dr.ing. Ludovic Gh. KOPENETZ

Cluj Napoca

2018

Teza de doctorat cuprinde 9 capitole dezvoltate pe 338 pagini, având 306 figuri, 102 tabele și 150 de titluri bibliografice.

Cuprinsul tezei de doctorat:

1. Noțiuni introductive
2. Degradarea și investigarea construcțiilor din zidărie
3. Determinarea caracteristicilor zidăriei prin procedee și concepte moderne
4. Analiza durabilității zidăriei
5. Analiza descriptivă a clădirilor de tip "culă"
6. Investigații experimentale asupra elementelor din zidărie masivă
7. Analiza numerică, modelarea și simularea clădirilor din zidărie masivă
8. Metode de consolidare, reabilitare și intervenție la clădirile din zidărie
9. Concluzii

Cuvinte cheie: clădiri din zidărie, comportament de lungă durată, fluaj, cule, degradare, statistică descriptivă, seismicitate.

Motivația cercetării

O problemă de mare actualitate, în întreaga lume, o reprezintă întreținerea, consolidarea cât și reabilitarea construcțiilor de cult și a celor de patrimoniu. Acest lucru se datorează nevoii de conservare, iar necesitatea evaluării siguranței seismice a clădirilor de patrimoniu, din zidărie masivă, este evidentă și stringentă. Clădirile istorice prin natura lor constructivă prezintă un nivel ridicat de vulnerabilitate.

Menținerea și renovarea monumentelor istorice reprezintă un mod de dezvoltare culturală durabilă, acestea fiind de cele mai multe ori o emblemă și dau un caracter de individualizare a orașului sau zonei de proveniență.

Obiectivul tezei de doctorat

Structura lucrării este definită de obiectivul general și de cele specifice domeniului. Teza de doctorat, se dezvoltă pe două direcții de cercetare, o analiză teoretică a evoluției noțiunilor de bază utilizate în domeniu și o analiză experimentală. Ce-a de-a II-a direcție de cercetare este compusă, la rândul ei, din două părți principale: cercetarea propriu-zisă prin partea experimentală (investigații și teste de laborator) și partea de analiză numerică.

Cercetările teoretice și experimentale au scopul de a sintetiza stadiul actual al analizei comportamentului de lungă durată al clădirilor din zidărie masivă. Se vor enunța și sintetiza cauzele ce au produs cedări structurale prin analiza caracteristicilor materialelor ce intră în alcătuirea pereților din zidărie masivă.

Studiul realizat va continua cu determinarea acționării metodelor de consolidare asupra zidărilor masive. Teza de doctorat își propune să aducă o contribuție la cunoștințele actuale prin concepții proprii, prin metode de calcul ce prevăd eliminarea producerii necazurilor din curgerea materialelor cât și prin teorii ale comportamentelor acestor materiale.

Sunt analizate diferite accidente și necazuri recente și din trecut prezente în literatura de specialitate. Monitorizarea construcțiilor istorice este foarte importantă și se poate realiza static sau dinamic. Sisteme simple de monitorizare pot fi amplasate pe zonele critice ale structurii pentru a putea fi monitorizate constant. Deasemenea, controlul structurii la vibrații (produse de vânt, trafic, clopotele turlor, etc.) este bine să fie monitorizat; aceste teste sunt foarte utile pentru detectarea eventualelor neconformități încă din stadiul de diagnostic.

Sunt analizați factorii care produc cedarea structurilor din zidărie precum acțiunile ciclice date de acțiunea vântului, variațiile de temperatură, vibrațiile induse de trafic sau de clopotele care bat (în cazul turnurilor cu clopote), efecte sinergice.

Datorită existenței unui număr redus de studii ce abordează comportarea de lungă durată a structurilor din zidării masive, pe plan intern și internațional, prezenta temă de cercetare va aduce ca noutate atât metode de eliminare a producerii colapsului structurii cât și metode de consolidare.

Rezultatele obținute în urma analizei întreprinse au rolul de a crea o imagine a comportamentului de-a lungul timpului a clădirilor din zidărie masivă aflate în diferite zone influențate sau nu seismic, atât din România cât și din Europa.

Conținutul tezei

Capitolul 1 "Noțiuni introductive" - prezintă importanța, justificarea și oportunitatea temei de cercetare alese precum și obiectivele propuse în cadrul cercetării. O clădire, începe să existe din faza de idee, este concepută când este proiectată, născută când este construită, trăiește cât timp rezistă, moare de bătrânețe sau din cauza unui accident neașteptat. Moartea accidentală a unei clădiri este mereu cauzată de cedarea scheletului, a structurii de rezistență. Uneori inginerii se aseamănă cu medicii, care consideră că sănătatea este normală, iar boala reprezintă o excepție, învățând multe, după analiza bolii. Astfel, inginerii consideră că structurile care dăinuiesc în timp sunt cazuri normale, iar cele care ajung la colaps, sunt excepții și trebuie analizate și găsite soluții după urma lor, pentru a se putea preveni apariția colapsului.

Multe clădiri din România sunt clădiri din zidărie masivă de cărămidă, proiectate și executate după norme care nu mai sunt în conformitate cu cerințele prevederilor actuale. În plus, majoritatea clădirilor au suportat de-a lungul timpului numeroase cutremure dar și efectul mai multor factori care au produs degradări.

O mare parte dintre aceste clădiri au vechime mare și, implicit, sunt afectate de uzura fizică și morală, majoritatea fiind construite înainte de anul 1960 (deci fără măsuri de protecție seismică) și ca atare protejarea lor constituie un obiectiv principal, având în vedere vulnerabilitatea ridicată.

O prioritate pentru inginerul constructor trebuie să fie păstrarea în condiții de siguranță a acestor monumente arhitecturale. De cele mai multe ori, această misiune este una foarte complexă, fiind necesare multe investigații și numeroase analize până la găsirea soluției optime ce urmează să fie „aplicată” construcției în cauză. Aceste clădiri pot pune în pericol viața, proprietarilor, vizitatorilor cât și a altor persoane aflate în vecinătatea lor. În aceste condiții consolidarea și întreținerea construcțiilor din zidărie prezintă un interes major pentru grupurile de specialiști din România și Europa.

Au fost analizate studii de caz din Belgia, Viena, cu precădere Italia (regiunea Pavia), punând accent asupra intervențiilor necesare pentru prevenirea situațiilor de urgență - colapsul structurii. Numărul colapsurilor din ultimii ani, din întreaga lume, a intensificat conștientizarea publică a clădirilor aflate în pericol. Pentru prevenirea și analiza acestor situații trebuie dezvoltate instrumente noi și corespunzătoare de evaluare a siguranței structurilor din zidărie masivă.

Clădirile de tip Culă sunt un tip de construcție semifortificată, specifică secolelor XVIII și XIX, răspândită în întregul spațiu balcanic. Termenul provine din limba turcă „kule”, tradus

în limba română, înseamnând turn. Culele se întâlnesc preponderent în regiunea deluroasă a Olteniei, au apărut ca reacție la climatul de nesiguranță creat de invaziile din sudul Dunării și al atacurilor cetelor de haiduci care prădau regiunea respectivă.

Capitolul 2 "Degradarea și investigarea construcțiilor din zidărie" - în ultimii ani studiile pentru determinarea stării de degradare a construcțiilor au devenit o prioritate pentru autoritățile din domeniu. Pentru realizarea studiilor referitoare la degradarea clădirilor și în particular, a structurii de rezistență a acestora, este nevoie de o echipă de specialiști din diverse domenii.

Din studiile realizate rezultă că, în țara noastră, clădirile realizate din beton și cărămidă au început să se degradeze, reabilitarea lor reclamând un volum și mai mare de execuție, care se adaugă la necesitatea stringentă de investiții în construcții.

Este recomandabilă combinarea diferitelor metode nedistructive pentru obținerea unor date concludente și anume combinarea metodei radar cu alte metode, deoarece radarul este foarte versatil, furnizează date precise și operează rapid. Pentru interpretarea verificărilor se folosește o altă metodă, eventual cu mai puține puncte de măsură.

Comportarea de lungă durată a construcțiilor, este un domeniu foarte important, deoarece se referă la construcțiile pe locul lor de existență, supuse acțiunii agenților de mediu naturali și tehnologici reali și îndeplinindu-și funcțiile lor utilitare conform destinației pentru care au fost realizate. În fond, toată activitatea de cercetare, proiectare și execuție are drept scop tocmai realizarea unor construcții apte de a fi exploatate în condiții de siguranță și care să satisfacă în cea mai mare măsură cerințele beneficiarilor.

Capitolul 3 "Determinarea caracteristicilor zidăriei prin procedee și concepte moderne" - Rata de hidratare, asociată cu îmbătrânirea și reducerea micro porilor în microstructura mortarului, descrește puternic pe măsură ce umiditatea porilor descrește și când ajunge la aproximativ 30%, această rată este neglijată și nu apare îmbătrânirea materialului.

Pentru a defini comportarea zidăriei în funcție de timp, sub încărcări continue, au fost realizate și studiate mai multe încercări experimentale. Principalii factori care contribuie la deformațiile de lungă durată sunt definiți de efectele combinate ale construcției și curgerii lente a mortarului cu curgerea lentă și contracția/expansiunea umidității unităților.

Interacțiunea dintre elemente cu rigidități diferite este un domeniu de studiu foarte complex și interesant. În urma acestei interacțiuni, a elementelor cu rigidități diferite, rezultă o redistribuire a eforturilor care tinde să izoleze elementele cu rigiditate mai mare de cele mai slab rigide. Interfața dintre mortar și unitate este influențată de numeroși factori precum:

procesul de asamblare în situ, utilizarea unei unități ce are un grad de absorbție ridicat care poate duce la o legătură incompletă și care ulterior ar conduce la formarea de fisuri difuze autogene în legăturile de mortar din construcției.

Forma golurilor capilare are o importanță ridicată, deoarece acestea conduc apa să ajungă la zonele cu goluri cu diametre mai mari, iar în aceste zone tensiunile de suprafață sunt reduse. Când tensiunile de suprafață cresc, evaporarea apei cât și presiunea capilară revin la echilibru higro. În cazul zidărilor, suprafața majoră a mortarului este izolată de mediu, dar unitatea prezintă o zonă poroasă ce conține goluri ce permit ca echilibrul higro să continue, chiar și într-un specimen sigilat, dar nu în unul saturat complet.

Pentru a se putea evalua curgerea lentă a zidăriei, trebuie foarte bine înțeles cum este ea măsurată practic. Testul de măsurare constă în monitorizarea deformațiilor a două sau mai multe specimene. În timp ce încărcările sunt aplicate pe unul din speciamentele analizate, celelalte sunt lăsate să facă schimb de umiditate cu mediul nefiind aplicate încărcări asupra lor. În cazul acesta curgerea lentă este definită ca diferența între timpul de deformare a probei încărcate și volumul deformației probei neîncărcate, probele fiind depozitate în aceleași condiții pe durata încercărilor. Acest tip de încercări pot fi aplicate pe coloane și prisme dar și pe pereții din zidărie.

Capitolul 4 "Analiza durabilității zidăriei"- fluajul zidăriei depinde în principal de factori ca nivelul de solicitare, temperatură și umiditate, de acțiunile ciclice cum ar fi: vânt, variații de temperatură, sau vibrații induse de trafic sau clopote (în cazul clopotnițelor), acestea având efect sinergic, măbind avaria materialului. Din aceste motive, turnurile înalte și coloanele sub tensiune mare sunt elemente structurale unde pot apărea în timp avarii severe.

Diferența evidentă dintre valorile ratei de deformării la testele de fluaj de scurtă și lungă durată, atrage atenția asupra duratei minime a perioadelor de sarcină constantă, când au loc teste de fluaj la niveluri ridicate de tensiune. O caracteristică rezonabilă este menținerea încărcăturii constante până la apariția fluajului secundar, când este atinsă o rată acceptabilă a deformației.

Capitolul 5 "Analiza descriptivă a clădirilor de tip "culă""- clădirile de tip Culă sunt un tip de construcție semifortificată, specifică secolelor XVIII și XIX, răspândită în întregul spațiu balcanic. Parametrii ce intervin în estimarea duratei de viață a clădirilor de patrimoniu din zidărie masivă sunt luați în considerare la analiza statistică a Culelor din Regiunea Oltenia. În această lucrare sunt cercetate aceste tipuri de clădiri prin prisma stării de degradare, durata de viață în cazul culelor în stare de pre-colaps și cele dispărute, riscul seismic, seismicitatea zonei, risc alunecare teren, sistem constructiv.

Dintr-un total de 57 de cule atestate istoric, 21% sunt în stadiu de ruină, iar 49% sunt dispărute. Clasificarea s-a făcut în funcție de stadiul degradării cât și de perioada de construcție pentru fiecare categorie în parte (cule în stare bună, în pre-colaps și dispărute).

În ceea ce privește culele dispărute s-a observat un procent de 29% pentru cele a căror durată de viață s-a încadrat între 250-300 ani și un procent de 23% pentru cele ce s-au încadrat între 200-250 ani. La polul opus, avem un procent de 6% atât pentru culele care au rezistat peste 300 ani, dar și pentru cele care au dispărut în mai puțin de 50 ani.

Aceeași situație o avem în cazul culelor aflate în stadiu de pre-colaps, unde durata de viață se situează între 143 și 212 ani.

Se poate concluziona că durata de viață medie a acestor clădiri de patrimoniu se situează între 150-300 ani.

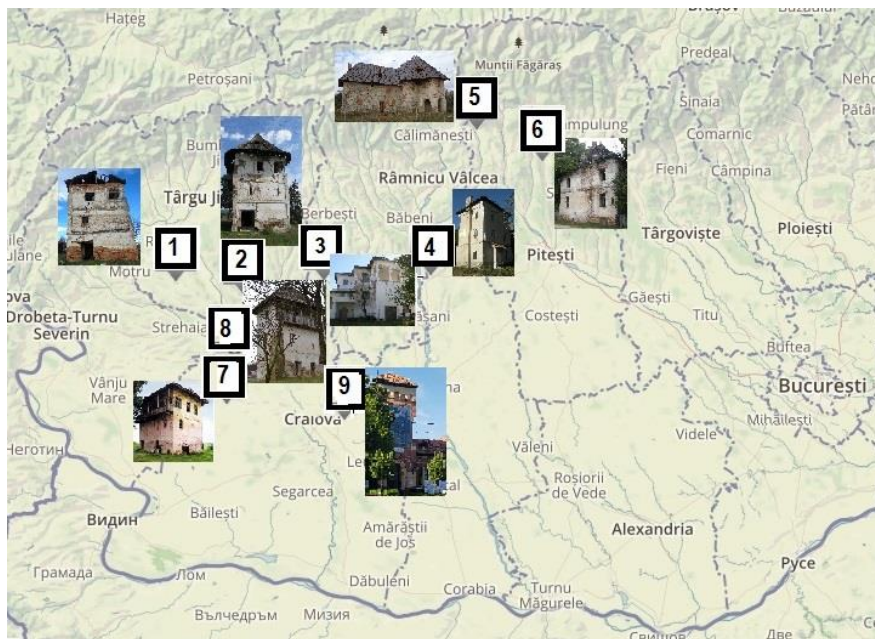


Fig. 1 Amplasarea zonală a clădirilor vizitate personal și studiate în teză

Analiza efectuată aduce concluzii ce ajută la definirea exactă a rolului fiecărui parametru de intrare în deteriorarea clădirilor de patrimoniu din zidărie masivă. Impactul

fiecărei cauze asupra stării de pre-colaps și colaps ajută în dezvoltarea de instrumente noi de evaluare a siguranței unor astfel de structuri.

Capitolul 6 "Investigații experimentale asupra elementelor din zidărie masivă"- au fost întreprinse studii pentru determinarea caracteristicilor de calcul a materialelor componente - experimental și analitic conform conceptelor și procedeele moderne de determinare a caracteristicilor de rezistență ale zidăriei structurale prezentate în literatura de specialitate.

În urma testelor nedistructive (determinarea clasei de afectare pentru cele 9 clădiri analizate, determinarea gradului de umiditate, testarea cu ultrasunete, testarea cu sclerometru) și a celor de laborator (testarea cu stereomicroscopul, determinarea rezistenței la compresiune teste de îngheț dezgheț, pierderea de rezistență și de masă), probele prelevate de la obiectivele analizate au ajutat la luarea unor decizii importante în ceea ce privește efectele curgerii lente a elementelor de zidărie din construcțiile de patrimoniu analizate.

Spre exemplificare este arătată o secvență din modul de analiză efectuată pentru o clădire de tip Culă, din cele 9 obiective studiate. Parametrii de intrare pentru principalii factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă în cazul clădirii **Cula Cioabă Chintescu** (50 reprezentând poziția pe care aceasta o ocupă, din punct de vedere ierarhic, după anul de construcție din totalul de 57 clădiri analizate statistic în Capitolul 5) sunt evidențiați în tabelul 1.

Tabelul 1

Factori/parametri de intrare	Cula Cioabă Chintescu (50)
Localizare	Șiacu, Județul Gorj
Categorie patrimoniu	GJ-II-m-A-09392
An edificare construcție	1818
Sistem constructiv	Un pătrat cu ziduri groase (85 cm) din cărămizi înguste de 25x12x5 cm. Cărămidă bine arsă. Parter și 2 etaje. Sistem constructiv tip b.
Teren fundare	Neozoic, Neogen-Pliocen Levantin.(p4) cu capacitate portantă ridicată
Alunecare teren	Probabilitatea de alunecări este ridicată. În zona nu sunt probleme majore de instabilitate a terenului din punct de vedere geotehnic.
Seismicitate	Zona VII ½- au loc cutremure intermediare
Avarii infrastructură	Fisurile pereților perimetrali au permis imbibarea cu apă, fisurile se continua până în fundație

COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> • Lipsa acoperișului a dus la degradarea în timp a grinzilor de susținere a zidăriei. • Fisurile pereților sunt accentuate. Fisurarea pereților cât și invadarea acestora de vegetație au dus la deteriorarea tencuielilor exterioare. • Tâmplăria, acolo unde mai există, este puternic deteriorată. • Pardoselile, tencuielile și zugrăvelile, în mare parte, nici nu mai există.
Climă	Zona climatică II ($t_e = -15^\circ\text{C}$)
Umiditate	Media 75%
Adăpostire	Neadăpostită
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> • În 1949 devine proprietatea statului; • după anul 1951 cula a fost folosită ca depozit până în anul 1964; • în 1989 a fost abandonată; • în prezent se află în litigiu între primărie și mostenitori.
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> • În 1822 restaurare generală; • În 1966 a fost restaurată prin înlăturarea tuturor adaosurilor, aducându-se cula aproape de forma inițială; • În 1967 a devenit muzeu etnografic până în 1989.
Starea actuală	Ruină/precolaps



Fig.2 Cula Cioabă Chintescu

❖ Determinarea indicelui de afectare

Cula Cioabă Chintescu, din zidărie de cărămidă se consideră a fi constituită, în principiu, din cinci subansambluri constructive. Modul de depunere (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 2, se calculează indicii de afectare și indicii de stare tehnică pentru clădirea analizată.

1. Subansamblul fundației

Tabelul 2

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
1.1	A= 1	$D_1 = 9$	Tasări provocate de fundații cu adâncimi neconcordante cu calitatea terenului.
1.2	A= 3	$D_2 = 7$	Inundarea repetată a terenului de fundare de-a lungul anilor au provocat tasări la nivelul fundațiilor.

COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

1.3	A= 1	D ₃ = 9	Nu s-au constatat rotiri sau fracturi provocate de împingerea pământului.
1.4	A= 4	D ₄ = 6	S-au constatat tasări locale provocate de degradarea materialului (cărămidă, mortar de legătură) din pereții subsolului.
1.5	A= 3	D ₅ = 7	Risc alunecări ridicat (zona verde).
1.6	A= 2	D ₆ = 8	Natura terenului de fundare (normal/difil).
1.7	A= 4	D ₇ = 6	Capacitatea de a prelua și transmite la teren încărcările și eforturile apărute.
1.8	A= 5	D ₈ = 5	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modului deficitar de administrare zonală.
1.9	A= 0	D ₉ = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
1.10	A= 0	D ₁₀ = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 77 = 38,5 \text{ puncte}$$

2. Subansamblul pereți de rezistență

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
2.1	A= 8	D ₁ = 2	Cărămidă din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuiei.
2.2	A= 6	D ₂ = 4	Igrasie la pereți din cauza infiltrațiilor de apă în lipsa hidroizolației orizontale
2.3	A= 6	D ₃ = 4	Fisuri în pereți, cauzate de tasări ale fundațiilor
2.4	A= 3	D ₄ = 7	Crăpături în pereții exteriori din cauza lipsei centurilor superioare la nivelul podului.
2.5	A= 7	D ₅ = 3	Crăpături la colțuri, din cauza lipsei de țesere între pereții longitudinali și transversali
2.6	A= 6	D ₆ = 4	Degradări ale pereților deasupra planșeelor din lemn, cauzate de lipsa legăturilor orizontale.
2.7	A=6	D ₇ = 4	Degradarea peretilor interiori prin lipsa materialului de zidărie.
2.8	A= 5	D ₈ = 5	Calitatea elementelor, omogenitatea țeserii, regularitatea rosturilor.
2.9	A= 6	D ₉ = 4	Calitatea materialelor și a execuției conform reglementărilor în vigoare și existența unor zone slăbite de șlițuri sau nișe.
2.10	A= 0	D ₁₀ =10	Nu s-au constatat alte degradări

$$I_{Apr} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 47 = 23,5 \text{ puncte}$$

3. Subansamblul planșee

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
3.1	A=5	D ₁ = 5	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A=7	D ₂ = 3	Fisuri pe zone extinse cauzate de deplasarea pereților în plan vertical/orizontal
3.3	A= 5	D ₃ = 5	Deformații excesive ale planșeului provocate de supraîncărcare
3.4	A= 8	D ₄ = 2	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe
3.5	A= 8	D ₅ = 2	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem
3.6	A= 7	D ₆ = 3	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șabă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora
3.7	A= 8	D ₇ = 2	Dislocări ale elementelor de rezistență provocate de putrezire, îmbătrânire, neîntreținere

COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

3.8	A= 7	D ₈ = 3	Efectuarea unor intervenții anterioare greșite
3.9	A= 6	D ₉ = 4	Fisuri verticale sau înclinate în elementele de sprijinire.
3.10	A= 0	D ₁₀ = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{ApI} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 39 = 19,5 \text{ puncte}$$

4. Subansamblul șarpantă din lemn

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
4.1	A= 7	D ₁ = 3	Degradări prin putrezirea lemnului la majoritatea elementelor, din cauza pătrunderii apelor pluviale prin învelitoarea de țigla degradată.
4.2	A= 6	D ₂ = 4	Nodurile dislocate, rotirile, au fost produse de legături incorecte și putrezirea lemnului de la reazemele șarpantei.
4.3	A= 5	D ₃ = 5	Infestare cu diferite ciuperci, pe zone destul de extinse ale șarpantei, mai ales la pana de coamă și în zona tălpilor la cosoroabă.
4.4	A= 7	D ₄ = 3	Întreținerea deficitară.
4.5	A= 8	D ₅ = 2	Lipsa unor elemente ale învelitoarei.
4.6	A= 6	D ₆ = 4	Învelitoare neetanșă a acoperișului.
4.7	A= 7	D ₇ = 3	Depozitarea unor materiale care facilitează producerea degradării lemnului (moloz, excremente, folie, gunoi).
4.8	A= 4	D ₈ = 6	Lipsa/degradarea unor elemente de rezistență (câpriori, grinzi)
4.9	A= 2	D ₉ = 8	Degradări locale ascunse.
4.10	A= 6	D ₁₀ = 4	Deplasări, deformări ale suportului sau a unor părți componente ca urmare a îmbătrânirii lemnului.

$$I_{Aș} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 42 = 21 \text{ puncte}$$

5. Subansambluri secundare

Clădirea analizată nu are anexe.

$$I_{Ass} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 100 = 50 \text{ puncte}$$

Starea generală de afectare a structurii, conform relației (6.3), devine:

$$I_A = 0,2 \times 38,5 + 0,3 \times 23,5 + 0,2 \times 19,5 + 0,2 \times 21 + 0,1 \times 50 = 27,85 \text{ puncte}$$

Ca atare, în conformitate cu tabelul care cuprinde clasele de afectare, clădirea analizată se situează în **clasa VI de stare de afectare**.

În concluzie, dat fiind faptul că structura este încadrată în lista monumentelor istorice (GJ-II-m-A-09392) și având în vedere importanța sa arhitecturală, ca și indicație generală, se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

❖ Măsurarea umidității

Umiditatea este principalul agent (de origine fizică) al procesului de degradare al zidăriei. Umiditatea prin intermediul sărurilor solubile, a poluării aerului și agenților biologici, constituie un catalizator care favorizează degradarea la nivelul structurii de zidărie, infiltrarea, penetrarea, percolarea și stagnarea apei și conduce la slăbirea rezistenței mecanice a cărămizilor, mortarelor de legătură și tencuielilor

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată perimetral pe toate laturile construcțiilor astfel putând determina zona considerată ca fiind cea mai relevantă pentru analiza gradului de umiditate. De asemenea s-au efectuat măsurători și pentru parametrii specifici exteriorului clădirii - temperatura aerului, umiditatea aerului, viteza vântului, gradul de însorire. Măsurarea umidității la suprafața fațadei s-a efectuat începând cu baza peretelui și continuând în înălțime cu măsurători la diferite cote. Măsurarea umidității, s-a efectuat pentru fiecare clădire în situ cu higrometrul MF-50 VOLT-CRAFT .

Măsurătorile au fost realizate în număr semnificativ pentru fiecare clădire în parte, pe fiecare fațadă, în martie 2017 - martie 2018. Acestea au fost realizate în exteriorul construcțiilor ținând cont de influența factorilor climatici, mai ales a ploii. În această iarnă-început de primăvară s-au înregistrat cantități normale de apă/m². În timpul măsurătorilor efectuate s-au înregistrat condiții meteorologice cu vânt moderat (termoanemometru cu sondă flexibilă), cer variabil, temperatura aerului exterior fiind de 7° C - 10°C (termometru/higrometru wireless), iar umiditatea relativă a aerului fiind între 22-36% la orele 12-18 (higrometru). Măsurătorile obținute au fost centralizate, iar reprezentarea grafică - figura 3.

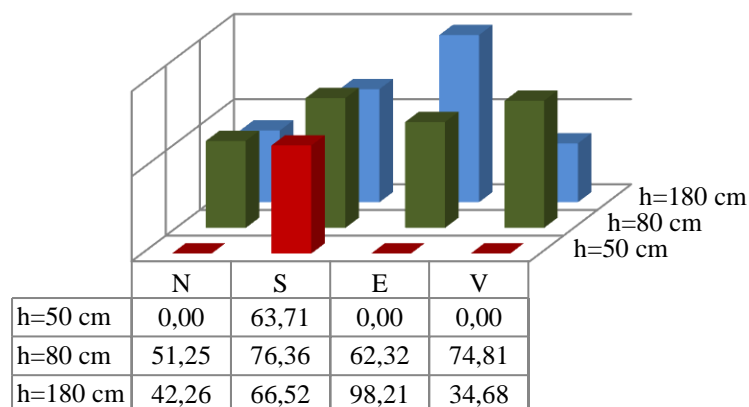


Fig.3 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 1.

❖ Teste cu stereomicroscopul

Analiza macroscopică a fost efectuată în incinta Facultății de Mecanică, Craiova, în laboratorul de Studiul Materialelor. Pentru această analiză, microscopică, a elementelor de zidărie, a fost folosit echipamentul stereomicroscop NIKON SMZ 745T dotat cu software NIS-A AMEAS și NIS-A EDF. A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate și au fost studiate două zone. Zonele analizate a fost alese astfel: o zonă cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.4). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 5 și 6.



Fig 4 Proba 1.4 cu cele două zone exemplificate

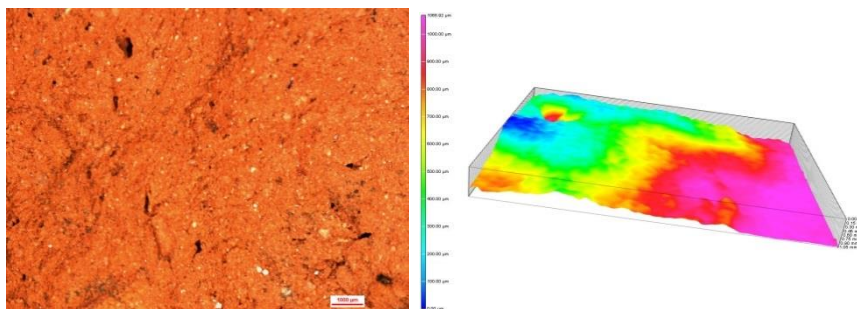


Fig. 5. Analiza stereomicroscopică pentru proba 1.4, zona 1, zoom 10

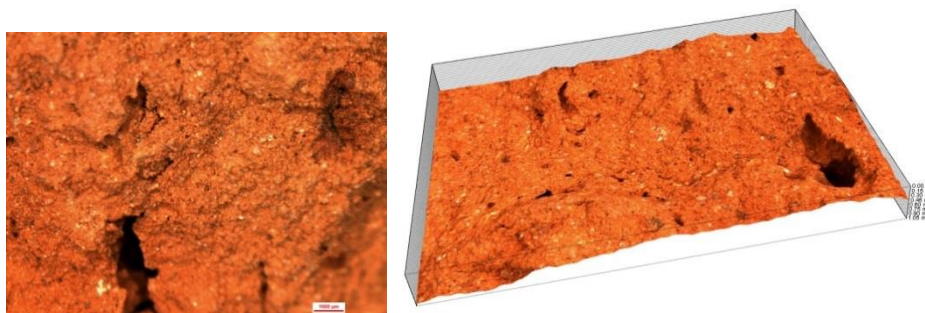


Fig. 6 Analiza stereomicroscopică pentru proba 1.4, zona 1, zoom 45

❖ Teste de laborator

Pentru clădirea analizată s-au prelevat șase bucăți de cărămidă provenind din zonele afectate ale clădirii, fără a se pune în pericol structura de rezistență (tab.3). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, în incinta ICECON S.A București și în laboratorul de Studiul Materialelor din Facultatea de Mecanică, Craiova.

Tabelul 3

Probă	L [cm]	l [cm]	h [cm]	Greutatea inițială [kg]	Greutatea după 24 h uscare [kg]
1.1	245,03	125,04	54,78	2,842	2,5523
1.2	121,75	124,32	54,12	1,4418	1,2999
1.3	149,39	125,81	48,37	1,6455	1,519

1.4	156,58	128,09	53,03	1,7472	1,591
1.5	217,35	131,18	51,15	2,3507	2,1197
1.6	130,14	131,93	160,65	1,5631	1,5322

A. Teste cu ultrasunete

Una dintre metodele nedistructive pentru evaluarea condițiilor de existență a bucăților de cărămidă este Velocity Pulse Ultrasonic - UPV (testare cu ultrasunete). Echipamentul cu care s-au efectuat încercările este: UPV E49.

Velocity Pulse Ultrasonic - UPV (testare cu ultrasunete) este una dintre metodele de bază ale tehnicii acustice, fiind o metodă eficientă și fiabilă, de testare pentru controlul calității materialelor, fiind utilizată preponderent la testarea betoanelor și detectarea deteriorărilor din componentele structurale.

Conceptul de bază pe care este stabilit UPV este măsurarea timpului de deplasare a undelor acustice într-un mediu, făcându-se corelația cu proprietățile elastice și densitatea materialului. Metodele UPV au fost utilizate în mod tradițional pentru controlul calității materialelor omogene. În ultimul an, această tehnică este din ce în ce mai folosită pentru evaluarea condițiilor materialelor din domeniul construcțiilor. UPV poate fi folosit pentru a prezice modulul de elasticitate dinamic, adâncimea crăpăturilor etc. Ceea ce face ca UPV să fie o alternativă interesantă pentru multe teste noninvasive existente, este că metoda UPV este o metodă fiabilă și mai puțin consumatoare de timp. Testul poate fi repetat, ceea ce înseamnă că poate fi efectuat de câte ori este necesar, pentru a colecta date fiabile.

Modul în care s-au executat încercările este expus în subcapitolul 6.1.3. Rezultatele obținute în urma testării UPV (ultrasonic pulse velocity) sunt centralizate în tabelul 4:

Tabelul 4

Proba 1.3	x	0,127
	t	1,8
	v	1770

unde:

v - viteza de propagare a undelor longitudinale de tensiune [m/s]

t - viteza de transmitere [μ s]

x - lungimea probei măsurate [cm]

B. Testare cu sclerometrul

Metoda testării cu sclerometrul este o metodă informativă, folosită pentru determinarea rezistenței materialelor, numai în combinații cu alte metode nedistructive sau distructive. Este o metodă de suprafață/de contact, fiind determinat impulsul din tijă, imediat

Înainte și după efectuarea încercării și determinarea calității materialului, în adâncime, în primii 2-3 cm. Datele obținute în urma testării probelor 1.2 și 1.3 sunt centralizate în tabelul 5:

Tabelul 5

Valori / Nr. teste	Testul 1 Proba 1.3	Testul 2 Proba 1.2
Min	16	15
Max	31	30
s	±4,8	±4,2
\bar{x}	21,0 R	20,0R
	f = 13,8 N/mm ²	f = 12,5 N/mm ²

C. Teste de rezistență

Rezistența la compresiune a fost determinată, în incinta ICECON București, cu o mașină universală de testat la compresiune SANS, echipată cu un sistem automat de acțiune, control și măsurare a parametrilor testați. Pentru acest tip de testare experimentală este necesară prelucrarea unor cuburi cu laturi perfecte (regulate, netede), extrase din bucăți întregi de cărămidă, ținând cont de înălțimea cărămidii și înlăturând imperfecțiunile exterioare, astfel încât proba testată să fie cât mai aproape de nucleul central. Au fost realizate un număr de șase testări la compresiune, *cu forțe care variază ciclic, lent*. Datele obținute în urma testării probelor din figura 7, sunt centralizate în tabelul 6.

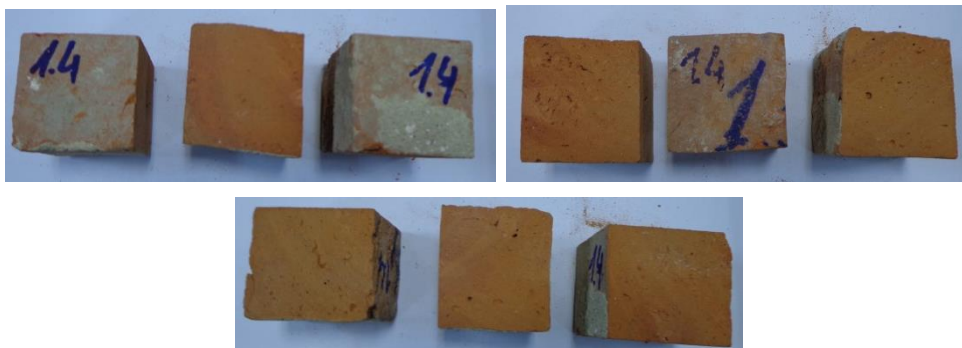


Fig. 7 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 1.4

Tabelul 6

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm ²]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
1.4	1	49,45	50,01	2472,995	20473,109	8,278
	2	49,06	48,73	2390,694	17758,996	7,428
	3	50,82	48,46	2462,737	13491,611	5,478
Media					17241,2387	7,061333

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 1.4.1, 1.4.2 și 1.4.3, sunt exemplificate în figura 8.

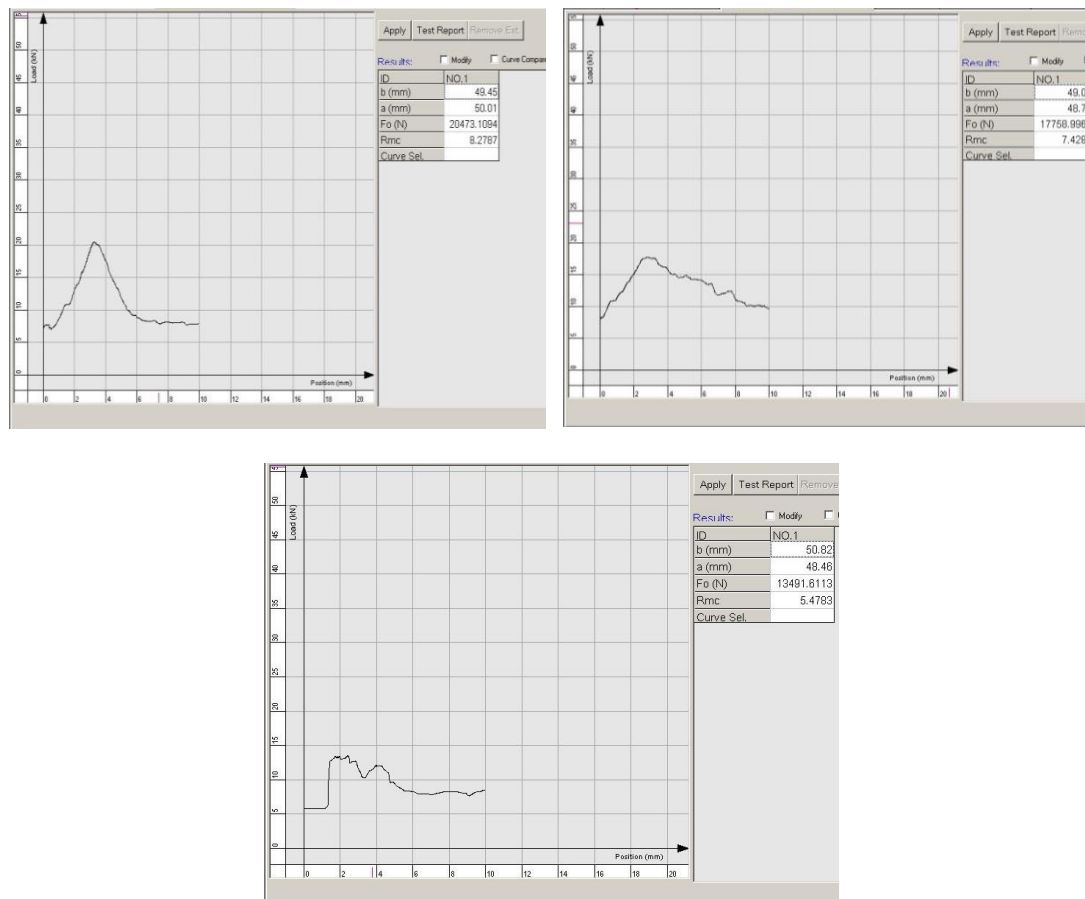


Fig.8. Diagramele testului la compresiune

D. Testarea îngheț-dezghet – gelivitate

Efectuarea testelor de îngheț-dezghet pentru blocurile ceramice analizate, au fost efectuate în incinta ICECON S.A. București. Testele au implicat parcurgerea următoarelor etape: epruvetele au fost introduse în baia cu apă pentru saturare, timp de patru ore. Epruvetele saturate au fost introduse în camera frigorifică la temperatura de minimum -17°C , timp de patru ore, apoi se scot din camera frigorifică și se introduc imediat în baia cu apă, la temperatură de $20,5^{\circ}\text{C}$ timp de patru ore. Au fost efectuate cate două cicluri îngheț-dezghet pe zi, timp de 81 de zile, astfel epruvetele au fost supuse la 162 cicluri îngheț-dezghet. La această testare s-a ținut cont de reglementările din SR EN 772-1 din 2011 [7] și SR 3518 din 2009 [8]. După timpul alocat uscării, probele au fost cântărite, în laborator.

D.1. Pierderea de rezistență

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezghet sunt centralizate în tabelul 7.

Tabelul 7

Proba	Număr	Dimensiune	Aria	Forța	Rezistența la
-------	-------	------------	------	-------	---------------

COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

1.1	încercări	epruvetă [mm]		[mm ²]	[N]	compresiune dupa gelivitate [MPa]
	1	53,11	54,59	2899,275	9890,2	3,41
	2	53,06	55,61	2950,667	12375	4,19
	3	52,41	53,18	2787,164	17551	6,3
	4	53,02	53,29	2825,436	15129	5,35
Media					13736,3	4,8125

Pierderea de rezistență, în urma celor 162 cicluri îngheș-dezgheș, conform formulei (6.5), este 31,851%.

D.2. Pierderea de masă

Centralizarea valorilor masei probei 1.4 este exemplificată în figura 9. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 0,83 %.

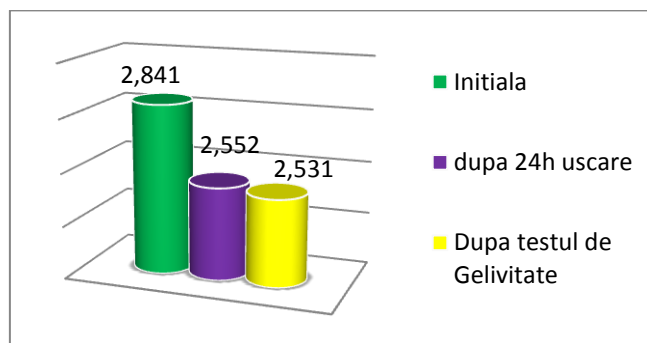
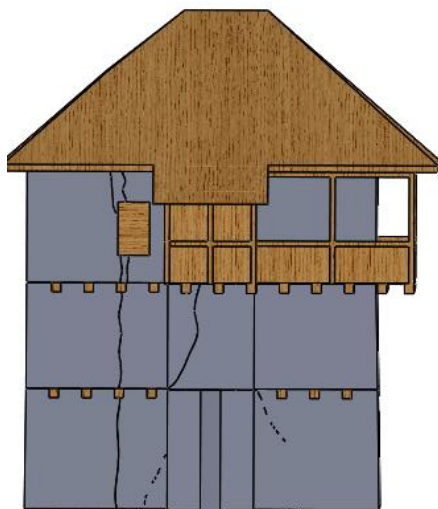


Fig. 9 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 1.4

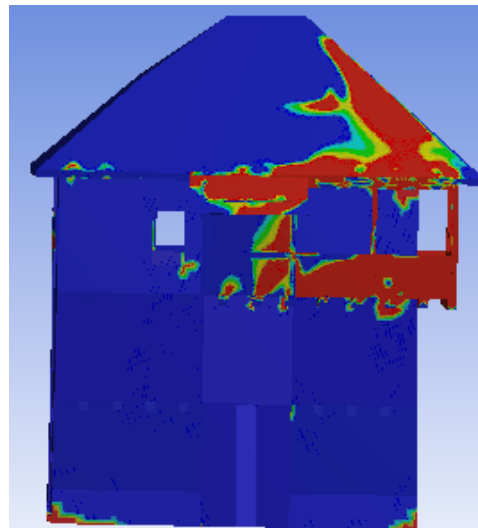
Datele extrase au stat la baza alegerii parametrilor de intrare pentru analiza, modelarea și simularea numerică.

Cele nouă obiective analizate au adus contribuții majore la evaluarea corectă a stării de degradare în care aceste clădiri au ajuns sub influența factorilor de mediu, a factorului uman, prin managementul bun sau defectuos al clădirii. În plus, vulnerabilitatea seismică și analiza terenului de fundare reprezintă elemente în plus care sunt implicate în mod direct în starea de degradare a clădirilor.

Capitolul 7 "Analiza numerică, modelarea și simularea clădirilor din zidărie masivă" - pentru analiză numerică s-au utilizat fotografiile și planșele care redau structura și configurațiile celor două clădiri analizate (Cula Izvoranu-Geblescu din Brabova, România și Turnul Civic din Pavia, Italia). Prima clădire aleasă, Cula Izvoranu, este monument istoric fiind construită în anul 1780, aflată într-o stare avansată de degradare iar ce-a de-a doua clădire, Turnul Civic din Pavia, Italia, construit în sec. al XI-lea, s-a prăbușit în 1989 aparent fără o cauză declanșatoare. După crearea modelelor de analiză numerică folosind Software-ul ANSYS, au fost analizate diagramele Life (durabilitate) și Damage (degradare) generate de acesta. Din analiza hărților de durabilitate, a modelului cu fisuri și a planșei relevate se constată următoarele: majoritatea fisurilor corespund zonelor de cedare din hărțile de durabilitate (culoare roșie); fisurile de la parter și cele de la etaje sunt similare zonelor de cedare de pe harta de durabilitate obținută de la harta pentru solicitările de vânt, zăpadă și îngheț-dezgheț; șarpanta este distrusă în proporție de 90%, ceea ce se poate constata pe harta de durabilitate, de la solicitarea de vânt.



a



b

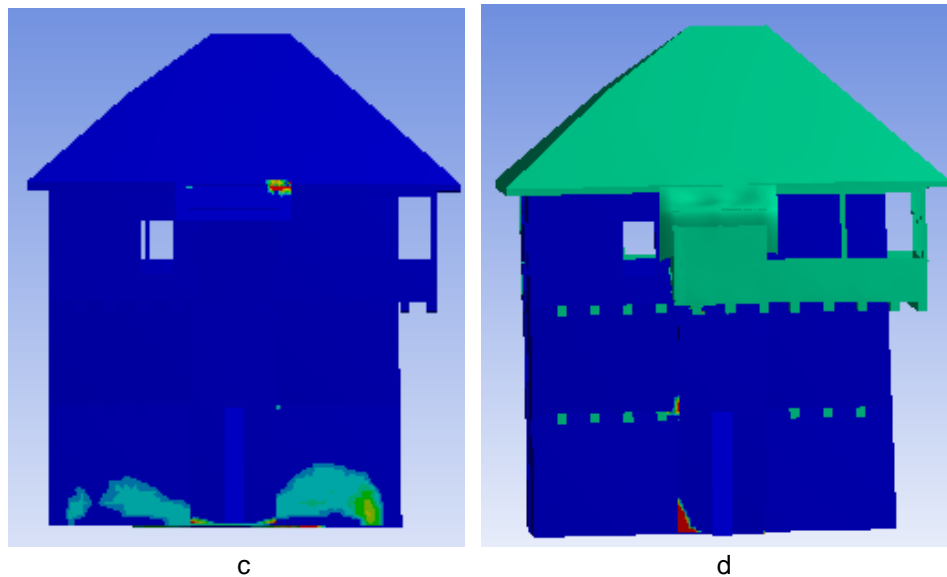


Fig. 10 Fațada nord: a) model virtual, b) diagrama *life* vânt, c) diagrama *life* zăpadă, d) diagrama *life* îngheț-dezgheț

Din analizele realizate folosind metoda elementelor finite, dar și din metoda de analiză la oboseală, utilizată pentru diagnoza de cedare a materialelor, se poate concluziona că durata de viață în serviciu a culei a fost aproximativ 191 ani, considerându-se ca an de construire 1780. Din literatura de specialitate, se desprinde faptul că edificarea construcțiilor de acest fel dura mai mulți ani. Din analiza numerică efectuată, durata de serviciu a acesteea a reieșit de 200 ani. Putem considera astfel ca rezonabilă diferența rezultată.

Zidăria masivă în timpul duratei de viață, este supusă la sarcini extraordinare, încărcături ocazionale (cum ar fi vânturi puternice, acumulări masive de zăpadă, cutremure etc.), circulație persoane. Supunerea la diverși factori de mediu, cum ar fi soarele, temperatură, îngheț și decongelare, vânt, ploaie și zăpadă, eroziunea și degradarea biologică, reprezintă încărcare variabilă în timp, care afectează major structura atunci când numărul de încărcări sau efectul este destul de lung; distrugerea elementelor de zidărie și colapsul datorându-se oboselii.

Se folosește teoria fiabilității pe baza curbei S-N pentru analiza durata de viață la oboseală, pentru a calcula probabilitatea de însumare a defectelor de oboseală ale zidăriei, metoda face ca studiul problemei oboselii să fie cât mai precis, cu ajutorul software-ului de analiză a elementelor finite CAD/CAE/CFD -Oboseala (oboseala).

Studiu de caz II- Generarea modelului tridimensional al Turnului Civic din Pavia, Italia - în urma analizei cu element finit, din hărțile *Life* (*durabilitate*) și *Damage* (*deteriorare*) rezultate în urma rulării programului s-a obținut o similitudine între modelul simulat și ruinele Turnului Civic rămase după prăbușire. Durata de viață a Turnului Civic din Pavia, în urma

analizei numerice efectuate, în cadrul tezei de doctorat, este de 900 de ani iar real, acesta a rezistat, ca și construcție, din secolul al XI-lea (1106) până în 1989, când s-a prăbușit, deci aproximativ 883 ani.

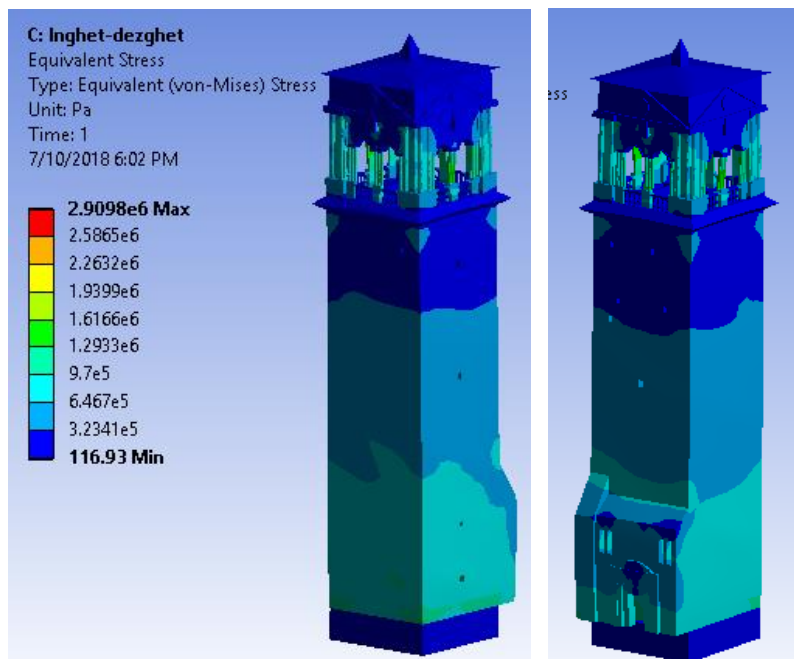


Fig.11 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat

S-au obținut simulări numerice ale comportamentului Turnului Civic din Pavia, studiat la încărcarea datorată fenomenului de îngheț-dezghet și oboseală, după rularea aplicației, rezultând tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În figura 11 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea Turnului Civic din Pavia și în figura 12 este prezentată harta de deformații pentru sistemul analizat.

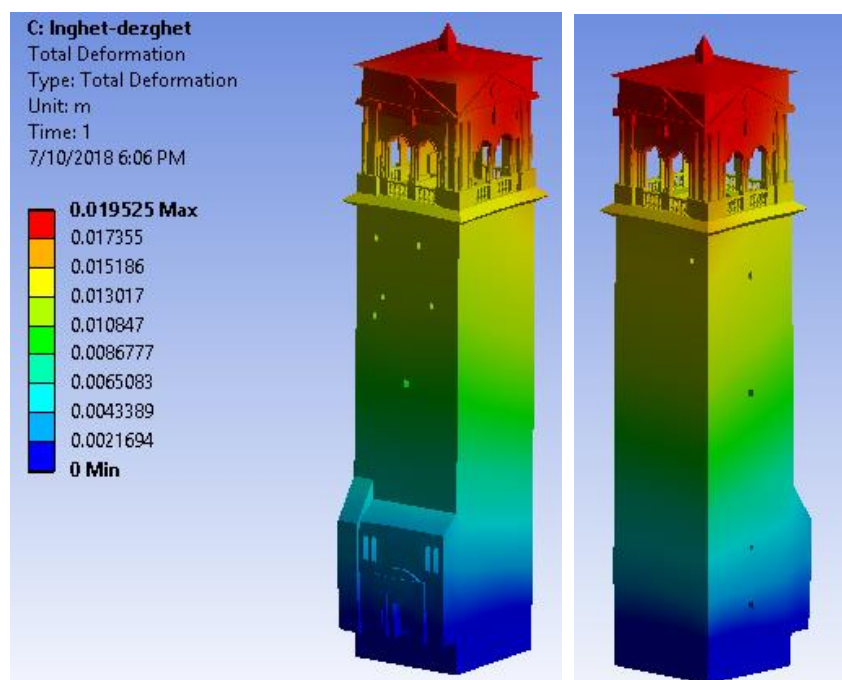


Fig.12. Harta de deformații pentru sistemul analizat

Capitolul 8 "Metode de consolidare, reabilitare și intervenție la clădirile din zidărie"-metodele moderne de intervenție pentru consolidarea structurilor din zidărie au fost analizate și studiate, fiind prezentate cele mai uzale și cele mai practice. Metodele de consolidare se pot cataloga în funcție de efectele obținute, ca urmare a aplicării acestora, privite ca un posibil răspuns la degradări.

În cadrul procesului de evaluare a construcțiilor din zidărie în vederea stabilirii gradului de asigurare și a măsurilor de intervenție ne lovim de aspecte legate de conceptul de lucru. Au fost făcute cercetări teoretice asupra metodelor de intervenție din categoria reparațiilor și consolidărilor și au fost inventariate cele mai uzuale metode de intervenție adaptate pentru structurile de zidărie. Din punct de vedere constructiv, consolidarea zidărilor, se poate realiza în următoarele modalități: consolidare prin substituire, consolidare pasivă, consolidare activă, reconstruire.

Reabilitarea și consolidarea patrimoniului construit reprezintă o obligație ce trebuie tratată cu seriozitate și responsabilitate. Importanța și valoarea monumentelor istorice impun o conduită de bună practică în modul de realizare a lucrărilor, nefiind admisibile improvizațiile. Protecția vieților omenești este foarte importantă, acest tip de lucrări nu trebuie realizate pe baza normelor ce fac referire la construcțiile noi și nu implică neglijarea patrimoniului și chiar subliniază faptul că "orice generație dispune de patrimoniul arhitectural numai cu titlu temporar și este responsabilă de transmiterea lui către generațiile viitoare."

În țara noastră, în ce ce privește modul de intervenție pe construcții de patrimoniu, este încă necesară elaborarea de norme specifice. Trebuie făcută precizarea că elaborarea normelor detaliate reprezintă un procedeu greoi fiind nevoie de colaborarea mai multor categorii de specialiști. Preluând din experiența altor țări, de exemplu Italia, se pot realiza reglementări adaptabile la multele situații de alcătuire structurală întâlnite la clădirile de patrimoniu sau chiar în funcție de caracteristicile tehnologice ale materialelor. Intervenția propriu zisă asupra construcției necesită o calificare specifică, alta decât cea necesară construcțiilor noi.

Se constată frecvent, din păcate, că prevederile legale nu sunt aplicate de aceste autorități, nici la nivelul regimului de autorizare a construcțiilor, și nici la controlul pe teritoriul lor de competență. Ministerul Culturii (și Cultelor) este pus în situația de ultim apărător al monumentelor istorice, ceea ce demonstrează necesitatea adoptării de măsuri privind schimbarea cadrului legislativ și al modului de reglementare a inventarierii, conservării și restaurării monumentelor istorice.

Capitolul 9 "Concluzii" - Toată activitatea de cercetare, proiectare și execuție are drept scop realizarea unor construcții apte de a fi exploatate în condiții de siguranță și care să satisfacă în cea mai mare măsură cerințele beneficiarilor. Pe drept cuvânt, se poate spune că numai comportarea in situ a construcțiilor poate să dea un verdict valabil privind utilitatea rezultatelor cercetărilor și numai comportarea în situ a construcțiilor poate să scoată la iveală necesitățile unor cercetări teoretice și aplicative pentru a le îmbunătăți răspunsul la cerințele beneficiarilor/autorităților.

Analiza efectuată aduce concluzii ce ajută la definirea exactă a rolului fiecărui parametru de intrare în deteriorarea clădirilor de patrimoniu din zidărie masivă. Impactul fiecărei cauze asupra stării de pre-colaps și colaps ajută în dezvoltarea de instrumente noi de evaluare a siguranței unor astfel de structuri.

Construcțiile sunt asemănată, de numărate ori, cu un organism viu care este influențat de factorii înconjurători de mediu.

Din noțiunile prezentate se poate concluziona că apa este unul dintre cei mai importanți factori în degradarea construcțiilor, fiind unul din factorii declanșatori ai degradării calității cât și a capacității portante a terenurilor de fundare, este unul dintre catalizatorii reacțiilor chimice ce conduc la o serie întreagă de degradări. Tot apa este de asemenea principalul transportator de săruri ce duce la degradarea zidărilor. Astfel putem susține că apa este unul din principalii factori ce influențează degradarea și durabilitatea structurală a clădirilor cu zidărie masivă. Rezultatele privind umiditatea, cauzele care o determină și existența sau nu a unor posibilități de remediere sunt necesare pentru a stabili dacă poate avea loc o modernizare (reabilitare) eficientă sau dacă este mai bine găsirea altor soluții (înlocuirea parțială).

Conținutul de umezeală și temperatură afectează curgerea lentă în două moduri diferite: direct prin alterarea vascozității materialului și indirect prin efectele îmbătrânirii. Rata de hidratare, asociată cu îmbătrânirea și reducerea micro porilor în microstructura mortarului, descrește puternic pe măsură ce umiditatea porilor scade și când ajunge la aproximativ 30% această rată este neglijată și nu apare îmbătrânirea materialului. Efectul creșterii temperaturii este de a încătușa vâscozitatea materialului, chiar dacă acest efect este într-o oarecare măsură compensat de accelerația procesului de hidratare, pe de altă parte reduce curgerea lentă.

Parametrii ce intervin în estimarea duratei de viață a clădirilor de patrimoniu din zidărie masivă sunt luați în considerare la analiza statistică a Culelor din Regiunea Oltenia și Muntenia. În această lucrare sunt cercetate aceste tipuri de clădiri prin prisma stării de

degradare, durata de viață în cazul culelor în stare de pre-colaps și cele dispărute, riscul seismic, seismicitatea zonei, risc alunecare teren, sistem constructiv.

Din analiza statistică a Culelor din Regiunea Oltenia și Muntenia se extrag următoarele concluzii:

Din totalul celor 57 de cule care au fost ridicate, 21% sunt în stadiu de ruină, iar 49% sunt dispărute. Clasificarea s-a făcut în funcție de stadiul degradării cât și de perioada de construcție pentru fiecare categorie în parte (cule în stare bună, în pre-colaps și dispărute).

În ceea ce privește culele dispărute s-a observat un procent de 29% pentru cele a căror durată de viață s-a încadrat între 250-300 ani și un procent de 23% pentru cele ce s-au încadrat între 200-250 ani. La polul opus, avem un procent de 6% atât pentru culele care au rezistat peste 300 ani, dar și cele care au dispărut în mai puțin de 50 ani. Aceeași situație o avem în cazul culelor aflate în stadiu de pre-colaps, unde durata de viață se situează între 143 și 212 ani.

Se poate concluziona că durata de viață medie a acestor clădiri de patrimoniu se situează între 150-300 ani.

În ceea ce privește riscul seismic, avem un procent de 28% dintre clădiri aflate în zona VIII $\frac{1}{2}$ și 23% aflate în zona VIII. La polul opus se află cele din zona IX cu un procent de 3% și cele din zona VII $\frac{1}{2}$ cu un procent de 5%. Încadrând clădirile după seismicitate se poate trage concluzia că marea majoritate a acestora se află în zone cu risc seismic între VI și VIII $\frac{1}{2}$.

Din analiza efectuată se poate observa că majoritatea culelor dispărute și a celor în stadiu de pre-colaps se afla în zona de intensitate seismică VIII și VIII $\frac{1}{2}$. Este evident în acest caz, ponderea acestui parametru în estimarea duratei de viață a acestor clădiri.

În ceea ce privește riscul de alunecare, ca parametru de intrare în estimarea duratei de viață, se poate trage concluzia că are o pondere mare din moment ce o mare parte a culelor dispărute și a celor în stadiu de pre-colaps se afla în zona cu risc de alunecare ridicat. În acest tip de risc, de alunecare, se află 69% din totalul Culele din Regiunea Oltenia și Muntenia.

Din punct de vedere al vulnerabilității seismice, se poate spune că în urma marilor cutremure din 1838, 1940, 1977 clădirile studiate au fost avariate. Avariile nu au un caracter general, construcțiile prezintă distrugerii atât la elementele structurale cât și la cele nestructurale. În unele cazuri sunt prezente avarii cauzate de instabilitatea terenului de fundare.

Toate datele obținute în urma acestui studiu stau la baza analizei influenței tuturor parametrilor implicați în degradarea clădirilor de patrimoniu. Aceste date pot fi folosite ca o schemă de management al activității de diagnosticare al comportamentului pe termen lung al pereților din zidărie masivă.

Zidăria masivă în timpul duratei de viață, este supusă la sarcini extraordinare, încărcături ocazionale (cum ar fi vânturi puternice, acumulări masive de zăpadă, cutremure etc.), circulație persoane. Supunerea la diverși factori de mediu, cum ar fi soarele, temperatură, îngheț și decongelare, vânt, ploaie și zăpadă, eroziunea și degradarea biologică, reprezintă încărcare variabilă în timp, care afectează major structura atunci când numărul de încărcături sau efectul este destul de lung; distrugerea elementelor de zidărie și colapsul datorându-se oboselii.

În urma analizei cu element finit, din hărțile Life (durabilitate) și Damage (deteriorare) rezultate în urma rulării programului ANSYS, s-a obținut o similitudine între modelul simulat și clădirea existentă (Studiul de caz I - Cula Izvoranu Geblescu, Brabova, Dolj, Romania) și ruinele Turnului Civic rămase după prăbușire (Studiu de caz II - Turnul Civic din Pavia, Italia). Simularea numerică și modelarea clădirilor analizate au dus la o altă serie de concluzii importante:

A. Din analiza hărților de durabilitate, a modelului cu fisuri și a planșei relevate, în cazul Culei, se constată următoarele:

- majoritatea fisurilor corespund zonelor de cedare din hărțile de durabilitate (culoarea roșie);
- fisurile de la parter și cele de la etaje sunt similare zonelor de cedare de pe harta de durabilitate obținută de la harta pentru solicitările de vânt, zăpadă și îngheț-dezghet;
- șarpanta este distrusă, în proporție de 90%, ceea ce se poate constata pe harta de durabilitate de la solicitarea din vânt.

B. Din analizele realizate folosind metoda elementelor finite, dar și din metoda de analiză la oboseală, utilizată pentru diagnoza de cedare a materialelor, s-au extras următoarele concluzii:

- metoda de analiză la solicitarea de oboseală poate avea rezultate importante și în domeniul construcțiilor, chiar dacă aceasta a fost folosită foarte puțin, existând mai multe rezultate experimentale;
- utilizând metode computaționale specifice CAD, CAE, CFD și Fatigue s-au obținut rezultate semnificativ similare pentru o clădire cunoscută, având o vechime de aproximativ 200 de ani (Cula Izvoranu Geblescu, Brabova, Dolj). Rezistența la oboseală este tratat acumulată în procesul de distrugere al materialelor, acest

proces cumulativ este, de obicei, ireversibil și energia este aleatorie în procesul de disipare. Descrierea corectă a materialului supus încărcării ciclice, a acumulării daunelor la oboseală și procesul de dezvoltare al fisurilor, estimările de viață ale oboselii materialului, se realizează printr-o modelare corespunzătoare.

- este interesant că, solicitările date de cutremure au fost practic inexistente pe diagrama de durabilitate corespunzătoare. Aceasta se poate explica prin faptul că, poziția centrului de masă al clădirii este foarte apropiat de centrul de rigiditate al construcției analizate datorită formei sale regulate, fără constrângeri de masă;
- majoritatea fisurilor din zidărie s-au regăsit pe diagramele de durabilitate (Life) explicitate prin zonele de cedare de culoare roșie.
- din analiza comparativă s-a constatat că fisurile de la etaje, în marea lor majoritate, se pare că sunt produse de vânt și de zăpadă, iar fisurile de la parter par a fi produse de fenomenul de îngheț-dezghet, pentru clădirea analizată;

Durata de viață, în serviciu a Culei analizate, a fost aproximativ 191 ani, considerându-se ca an de construire 1780. Din literatura de specialitate, se desprinde faptul că edificarea construcțiilor de acest fel dura mai mulți ani. Din analiza numerică efectuată, durata de serviciu a acesteea a reieșit de 200 ani. Putem considera astfel ca rezonabilă diferența rezultată.

C. Durata de viață a Turnului Civic din Pavia, în urma analizei numerice efectuate, în cadrul tezei de doctorat, este de 900 de ani, iar real, acesta a rezistat, ca și construcție, din secolul al XI-lea (1106) până în 1989, când s-a prăbușit, deci aproximativ 883 ani.

Contribuții personale: În procesul de îndeplinire a obiectivelor tezei am obținut anumite rezultate care pot fi considerate contribuții originale la dezvoltarea domeniului studiat. Acestea sunt grupate în continuare în două categorii: contribuții aplicative și contribuții numerice.

A. Contribuții aplicative

1. Redactarea statistică, pentru clădirile de tip Culă din Regiunea Oltenia și Muntenia, din perspectiva istoricului fiecăreia și a sistemului constructiv (forma în plan, funcția avută, managementul clădirii pe parcursul timpului). Au fost incluse în analiză un număr de 57 Cule, dintre care 29 Cule se pot identifica pe teren, dintre acestea nouă au fost analizate în situ.

2. Descrierea statistică pentru clădirile de tip Culă din Regiunea Oltenia și Muntenia s-a efectuat urmărind parametrii de comparație:

- Starea degradării structurale;

- Durata de viață în cazul culelor în stare de pre-colaps și cele dispărute;
- Riscul seismic;
- Accelerația terenului de fundare;
- Risc alunecări teren fundare;
- Sistem constructiv.

3. Evaluarea stării de degradare aferentă celor nouă obiective analizate prin studiul comparativ al caracteristicilor mecanice ale elementelor de zidărie supuse la agenții exteriori. Au fost făcute studii pentru amplasamente similare, dar supuse la agenți exteriori (vânt, zăpadă, umezeală) diferiți, dar și la clădiri care se aflau în aceleași condiții exterioare, dar în regiuni cu risc seismic diferit.

4. Testare non-distructivă și de laborator pentru probele alese de la cele nouă obiective - 49 total probe analizate și aproximativ 400 încercări și testări. Pe lângă determinarea clasei de afectare pentru fiecare construcție în parte și estimarea stării generale de afectare a structurii, s-au realizat următoarele investigații experimentale:

- Determinarea gradului de umiditate;
- Testarea cu ultrasunete,
- Testarea cu sclerometrul;
- Analiza macroscopică a probelor cu stereomicroscopul;
- Determinarea rezistenței la compresiune;
- Testarea la îngheț-dezgeț și determinarea pierderii de rezistență și a pierderii de masă.

5. Rezultatele cercetării aduc ca noutate, metode de estimare a perioadei de viață a unei clădiri dintr-un amplasament specific, în vederea prevenirii producerii colapsului structurii prin îmbinarea pentru fiecare obiectiv studiat a următorilor parametri de intrare:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Localizare;• Categorie patrimoniu;• An edificare construcție;• Sistem constructiv;• Teren fundare;• Alunecare teren;• Seismicitatea;• Avarii infrastructură; | <ul style="list-style-type: none">• Avarii suprastructură;• Climă (vânt, zăpadă);• Umiditate;• Adăpostire;• Management clădire;• Reabilitări în timp;• Starea actuală. |
|---|--|

6. În urma testelor nedistructive și a celor de laborator, probele relevate de la obiectivele analizate au stat la baza alegerii parametrilor de intrare pentru analiza,

modelarea și simularea numerică. Cele nouă obiective analizate au adus contribuții majore la evaluarea corectă a stării de degradare în care aceste obiective au ajuns sub influența factorilor de mediu, a factorului uman prin managementul bun sau defectuos al clădirii.

B. Contribuții numerice:

1. Analiza numerică și generarea modelului tridimensional pentru două obiective:

- a) Cula Izvoranu-Geblescu, din Brabova, Dolj .
- b) Turnul Civic, din Pavia, Italia.

S-a efectuat analiza numerică și modelarea cu conceptul FEA (Finite Elements Analysis - analiză cu elemente finite) aplicabil structurilor compozite din domeniul construcțiilor, cu ajutorul programului Ansys Workbench. (subcapitolul 7.2) într-o manieră parametrizată care să permită introducerea diferiților parametri geometrici și constructivi ai clădirilor, precum și valorile de intrare ale caracteristicilor de material. Modelul permite obținerea prin analiza la oboseală a duratei estimate de cicluri la care clădirea poate fi supusă până la colaps structural.

2. Determinarea comportamentului celor două obiective la solicitările datorate vântului, utilizând modulul Flow Simulation.

3. Simulări numerice ale comportamentului clădirii studiate la vânt, cutremur, zăpadă, îngheț-dezgheț și la oboseală, folosind Ansys Workbench.

4. Simulări numerice ale comportamentului clădirilor studiate la vânt și oboseală și obținerea rezultatelor privind:

a) Harta Life (durabilitate) care indică (în roșu) zonele care nu vor rezista la solicitarea ciclică dată, în analiza statică;

b) Harta Damage (deteriorare) indică durabilitatea "consumată" a structurii analizate de evenimentele care duc la oboseală.

5. Simulări numerice ale comportamentului clădirii studiate la cutremur și oboseală

6. Simulări numerice ale comportamentului clădirii studiate la încărcarea cu zăpadă și oboseală

7. Simulări numerice ale comportamentului clădirii studiate la încărcarea datorată fenomenului de îngheț-dezgheț și oboseală.

Parametrii de intrare geometrici și constructivi au fost introduși corespunzător situației reale și a planurilor de arhitectură existente, în ambele cazuri. Valorile de intrare ale caracteristicilor de material corespund materialelor folosite la construcția fiecărei clădiri

analizată, iar încărcările la care au fost supuse clădirile, pe durata de viață, au fost estimate în urma studiilor de amplasament (încărcare vânt, zăpadă, seism, teren de fundare). Modelarea numerică a permis obținerea prin analiza la oboseală a duratei estimate de cicluri la care clădirea poate fi supusă până la colaps structural. Ambele modele au fost validate, din punct de vedere calitativ, cu datele cunoscute referitoare la durata de viață a clădirii.

Direcții viitoare de cercetare: În procesul de realizare a obiectivelor cercetării s-au conturat noi direcții de cercetare, pentru aprofundarea domeniului studiat, care sunt sintetizate în continuare:

1. Dezvoltarea unor metodologii de calcul specifice prin modelare și simulare numerică pentru modurile de cedare ale structurilor supuse la încărcări ciclice, în diferite condiții de amplasament;

2. Modelarea și simularea numerică în vederea confirmării duratei de viață la obiective ce au suferit accidente recente (Turnul Bisericii Evanghelice din Rodeș și Turnul Bisericii Evanghelice din Rotbav, Județul Brașov);

3. Determinarea stadiului de degradare cu ajutorul tehnicilor moderne de măsurare și control (în principal, non-invazive), a clădirilor de patrimoniu și a siturilor istorice și realizarea unui algoritm de intervenție în vederea reabilitării structurale determinat de stadiul de degradare și de rezultatele modelării numerice;

4. Realizarea unui program experimental de monitorizare a comportamentului clădirilor istorice, înainte, pe durata și după consolidarea clădirilor de patrimoniu ce necesită intervenție;

5. Întocmirea unor hărți de vulnerabilitate pentru clădiri și situri istorice, în funcție de sistemele structurale, materialele utilizate și cutremure specifice pentru România;

6. Identificarea unor noi metode și tehnologii de consolidare a elementelor și clădirilor vechi realizate din cărămidă, piatră și lemn, cu materiale și tehnologii moderne prin integrarea în modelarea numerică a acestor soluții.

Bibliografie selectivă

1. Binda L., Anzani A., Saisi A. et al., Learning from failure. Long-term behaviour of heavy masonry structures,, WIT Press, 2008.
2. Feilden B. M., „Conservation of Historic Buildings,,” Londra, Architectural Press, 2003.
3. Mogosanu A.M., „Contributions about Humidity Influence above the Massive Masonry Buildings Degradation,,”, *2nd Conference for PhD students in Civil Engineering CE-PhD*, Cluj Napoca, 2014
4. Kopenetz, Ludovic; Prada, Marcela Florina, Introducere in teoria structurilor speciale, ed. Universitatii, Oradea, 2012
5. Dan T., „Reabilitarea si consolidarea constructiilor de zidarie I si II -curs,,” Bucuresti, Facultatea de Constructii, 2009-2010.
6. Petrovici R., „Proiectarea seismică a structurilor și elementelor nestructurale din zidărie I,, Cursul online AICPS, 2016.
7. Dragomir C.S., „Amplificarea dinamica a cladirilor neregulate,,” în *INCERC Bucuresti*

8. Purcaru M., „Contributii privind reabilitarea structurala a cladirilor de cult si monumentelor istorice in zone seismice, Teza de Doctorat,” UTCB, 2012.
9. Wenzel F., Kahle M., „Indirect methods of investigation for evaluating historic masonry”, „Zurich,, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 1993., pp. 75-90
10. Binda, L., Gatti, G., Mangano, G., Poggi, C. & Sacchi Landriani, G., „The collapse of the civic tower of Pavia: a survey of the materials and structure, Masonry International,,” 1992. , pp.11–20.
11. CDCAS, Monografie Prof. Alexandru Cișmigiu, editura Monitorul official., Bucuresti: editura Monitorul Official, 2002.
12. Mironescu M., Stănescu A. M., Brotea T., Comănescu R, Purdea D, Stănescu M.V., Miro Grup SRL, „Necesitatea și oportunitatea unui cod (reglementare) pentru intervenții structurale la monumentele istorice și cele aparținând patrimoniului arhitectural și o propunere pentru realizarea sa, Bucuresti: Conferința Internațională AICPS, 2013.
13. Mironescu M, Evaluările prin calcul a structurilor monumente istorice și cele aparținând patrimoniului arhitectural, Bucuresti: Curs Online AICPS- <http://cursurionline.aicps.ro/>, 2014..
14. Mann, W., Betzler, M., „ Investigations on the effect of different forms of test samples to test the compressive strength of masonry,” în 10th Int. Brick and Block Masonry, Calgary, Canada, 1994.
15. Atanasescu I., Popescu P., Culeledin Oltenia...și evoluția lor până astăzi,, Craiova: ISBN 978-973-0-15178-7, Colecția Patrimoniu Cultural National, 2013.
16. Atanasescu, I. , Grama V.,, Culele din Oltenia, Craiova: Editura Scrisul Romanesc, 1974.
17. xxx, Cule case boierești fortificate din Romania - Kule Boyar Fortified Houses in Romania, București.: ISBN 978-973-87938-5-9, Igloo, 2007.
18. Kopenetz, L., Simirea, P., *Probleme de analiza structurala la expertizarea monumentelor istorice*. Revista Calitate si disciplina in constructii, Nr. 3-4, 1994, pag. 7-10.
19. Bratu P., *Analiza structurilor elastice- Comportarea la acțiuni statice și dinamice*, Editura IMPUS, ISBN 978-8132-73-3, Bucuresti, 2011
20. Calbureanu M.X, Albota E., Tutunea D, Dumitru S, Malciu R., Dima A., „Contributions above the dew-point problem in civil building EPS insulated walls modeling with finite element the convective heat transfer,” *INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICS*, Vol. %1 din %2Issue 3, Volume 4, nr. Issue 3, ISSN: 1998-4448, pp. 53-62, www.naun.org, 2010.
21. Bulbuk M.S, „Intervenții structurale la clădiri monumentale-Teza de doctorat,” Cluj-Napoca, Universitatea Tehnică Cluj Napoca, 2011.
22. Popa, A., Mogosanu A.M., Popa D.L., Duta A., Teodorescu A., "Virtual and Rapid Prototyping Methods Applied in Civil Engineering. Snow, Wind and Earthquake Simulations on a Five Storey Building", MoNGeometrija 2016, Belgrade, Serbia, vol. 45, no. 2, pp. 276-282, FME Transactions (2017), DOI: 10.5937/fmet1702276P, 2016.
23. Mogosanu-Barbu A.M., Calbureanu-Popescu M.X. – Nondestructive Testing for Structural Diagnostics by Dinamic Instrumentation for Oltenia Region Old Masonry Building Affected by the Strong Seismic Motion From Last Century, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Albena, Bulgaria, pag. 293-301, ISBN 978-619-7408-00-3, ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem2017/14/S05.037, 2017.
24. M. Rades, *Rezistentă Materialelor 2*, Universitatea Politehnică, Bucuresti: Editura Printech, 2007.
25. Como M., „Springer Series in Solid and Structural,” Springer International Publishing Switzerland 2013, ISSN 2195-352X, p. Volumul 5, 2016
26. Sasaki Y., Yamasaki M., Fatigue strength of wood under pulsating tension-torsion combined loading, pp.508-515: Wood and Fiber Science, 2002.
27. Ronca P., Franchi A., Crespi P., „Structural failure of historic buildings: masonry fatigue tests for an interpretation model,” *Structural Analysis of Historical Constructions - Modena, Lourenco & Roca*, nr. ISBN 04 1536 379 9, pp. pp. 273-279, 2005.
28. Diaconu, D., „Tehnici și metode experimentale - Îndrumător de proiect –,” Timisoara, Univesitatea Politehnică Timisoara,, 2007.
29. Robin, K, „A Heritage In Ruins. The Maintenance and Preservation of Ruined Monuments,” <http://www.buildingconservation.com/articles/heritageruins/heritageruins.htm> 2003.
30. xxx, „Ordinul nr.743 din 19.04.2004 - Metodologie pentru evaluarea riscului si propunerile de interventie necesare la structurile constructiilor monumente istorice in cadrul lucrarilor de restaurare ale acestora -M.P. 025-04,” 2004.
31. xxx, Ansys Workbench Tutorials, 2001-2018
32. xxx, SolidWorks Software Tutorials, 2011-2018.
33. xxx, „Fatigue Analysis in ANSYS,” CAE Associates, 2011.
34. xxx, „P 100-1/2013 Cod de proiectare seismica. Prevederi pentru clădiri,” 2013.

35.xxx, „P 100-3-2008 Cod de evaluare pentru cladirile existente, 2009.

36.xxx, „CR 6 2013- Cod de proiectare pentru structuri din zidarie”.

37.xxx, „Eurocod 6: SR EN 1996-1-1:2006: Proiectarea structurilor de zidărie

38.xxx, „CR 1-1-3/2012 Cod de proiectare. Evaluarea actiunii zapezii asupra constructiilor”, 2012.

39.xxx, „SR EN 772 2011 Metode de incercare pentru zidarie”.