

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

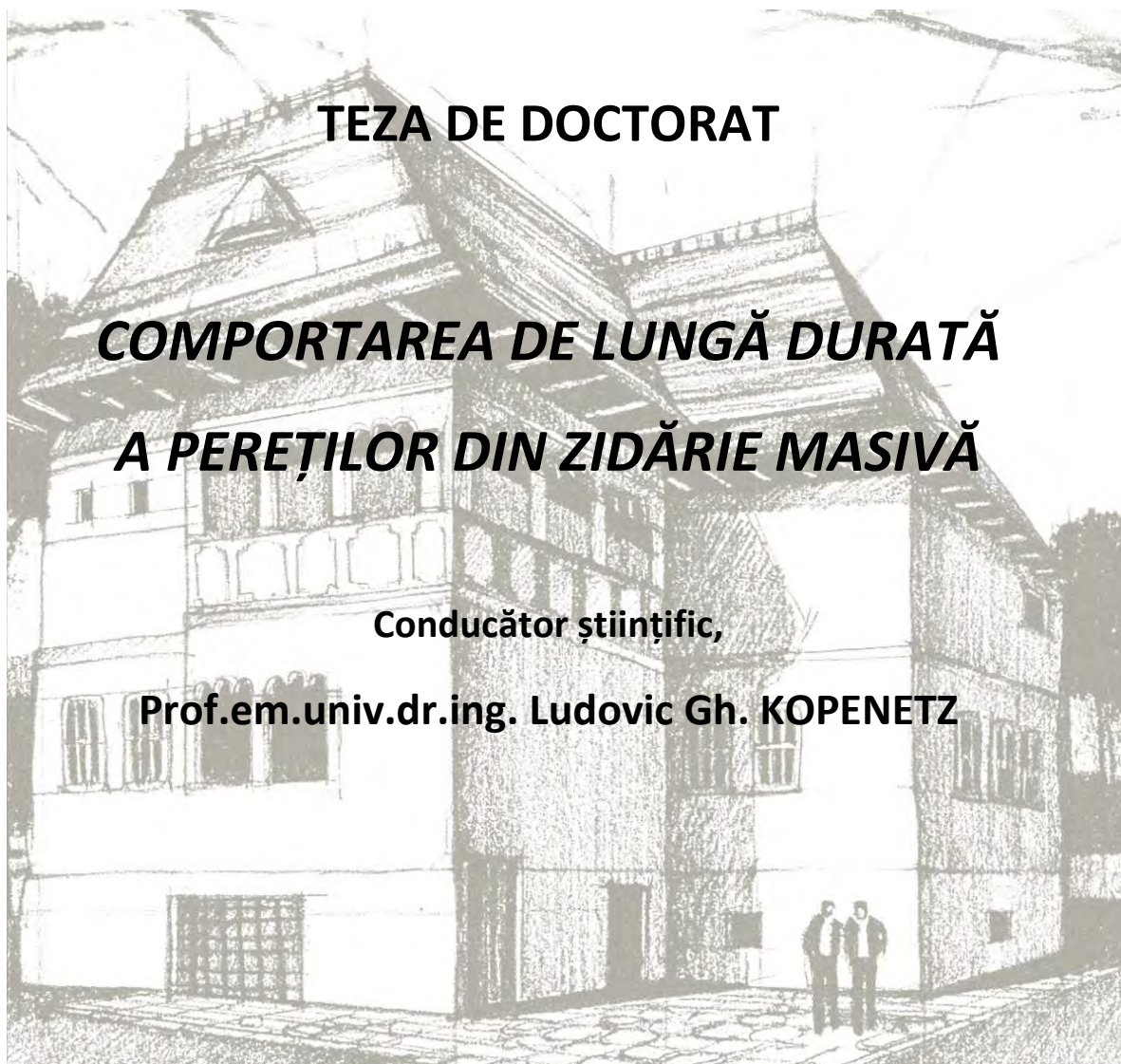
**Ing. Anca Mihaela Mogoșanu (Barbu)**

**TEZA DE DOCTORAT**

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

Conducător științific,

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



**Cluj Napoca**

**2018**

# Cuprins

Lista figurilor

Abrevieri

Cuvant înainte

<b>1. Noțiuni introductive</b> .....	1
1.1 Contextul tematic al cercetării întreprinse .....	1
1.2 Obiectivele tezei.....	2
1.3 Studiul privind comportarea de lungă durată a pereților din zidărie masivă .....	2
1.4 Retrospectiva asupra stadiului mondial de analiză al zidărilor masive .....	3
1.4.1 Stadiul actual al cercetării, aferente temei analizate .....	3
1.5 Concluzii .....	10
<b>2. Degradarea și investigarea construcțiilor din zidărie</b> .....	11
2.1 Factorii de mediu care conduc la degradarea zidărilor .....	11
2.2 Degradarea zidărilor din piatră .....	20
2.3 Degradarea mortarelor din alcătuirea zidărilor .....	21
2.4 Impactul dezastrelor naturale cât și al celor provocate .....	23
2.5 Procedee de investigare a construcțiilor din zidărie în vederea evaluării caracteristicilor de material .....	26
2.5.1 Metode de detectare a avariilor bazate pe analiza dinamică .....	29
2.5.2 Metode nedistructive .....	30
2.6. Concluzii privind degradarea și investigarea construcțiilor din zidărie.....	44
<b>3. Determinarea caracteristicilor zidăriei prin procedee și concepte moderne</b> .....	46
3.1 Caracteristicile mecanice ale zidăriei .....	48
3.1.1 Tipuri de elemente pentru zidărie .....	48
3.1.2 Comasarea elementelor pentru zidărie .....	48
3.2 Determinarea rezistenței zidărilor .....	49
3.2.1 Forma și dimensiunile elementelor de zidărie .....	49
3.2.2 Definirea rezistenței la compresiune a componentelor de zidărie .....	40
3.2.3 Definirea rezistenței la forfecare în rost orizontal a zidăriei .....	54
3.2.4 Definirea rezistenței unitare la întindere din încovoiere perpendicular pe planul zidăriei .....	55
3.3 Caracteristicile de deformabilitate ale zidăriei .....	56
3.3.1 Relația efort unitar – deformație specifică ( $\sigma - \epsilon$ ) .....	57
3.3.2 Determinarea modului de elasticitate al zidăriei .....	60
3.3.3 Determinarea modului de elasticitate transversal .....	62
3.3.4 Determinarea proprietăților fizice ale zidăriei .....	63
3.4 Concluzii .....	67
<b>4. Analiza durabilității zidăriei</b> .....	70
4.1 Degradări cauzate de cutremure-analiza prevederilor naționale .....	70
4.1.1 Relații pentru determinarea Scap din compresiune cu încovoiere și forță tăietoare (eforturi principale) .....	81
4.1.2 Relații pentru determinarea Scap din compresiune cu încovoiere și forță .....	82
4.2 Efecte exterioare și solicitari care provoacă degradarea zidăriei .....	84
4.3 Degradarea mortarelor și efectele rezistenței mortarelor asupra zidărilor .....	87
4.3.1 Procese generale de degradare a mortarelor .....	91
4.3.2 Efectele rezistenței mortarelor asupra zidărilor .....	92
4.4 Predicția prăbușirii și efectele fluajului .....	93
4.4.1 Compresia pe termen scurt: simulări numerice .....	93
4.4.1.1 Modelul continuu .....	94
4.4.1.2 Modelul particulei .....	96
4.4.1.3 Discuții asupra rezultatelor din literatura tehnică .....	99
4.4.2 Comprimarea pe termen lung: aprecieri experimentale .....	102

4.4.2.1	Teste de comprimare standard .....	102
4.2.2.2	Teste de fluaj de scurtă durată .....	103
4.2.2.3	Teste de fluaj pe termen lung .....	105
4.5	Rezultatele testelor analizate în literatura tehnică .....	108
<b>5.</b>	<b>Analiza descriptivă a clădirilor de tip "culă"</b> .....	<b>111</b>
5.1	Istoricul și analiza structurală .....	111
5.1.1	Originea și funcțiunea îndeplinită .....	112
5.1.2	Alcătuirea structurală și genul constructiv .....	123
5.1.3	Statistica descriptivă privind culele din zona Oltenia .....	124
5.2	Concluzii .....	134
<b>6.</b>	<b>Investigații experimentale asupra elementelor din zidărie masivă</b> .....	<b>136</b>
6.1	Teste nondistructive .....	137
6.2	Teste de laborator .....	147
6.3	Analiza cedărilor structurale ale zidărilor .....	151
6.3.1	Cula Cioabă Chintescu (fig.6.14) .....	151
6.3.2	Cula Crăsnaru (fig.6.22) .....	159
6.3.3	Cula Zătreanu (fig.6.29) .....	166
6.3.4	Cula Galița (fig.6.39) .....	175
6.3.5	Cula Sultănică (fig.6.49) .....	183
6.3.6	Cula Drugănescu (fig.6.59) .....	191
6.3.7	Cula Izvoranu Geblescu (fig.6.69) .....	200
6.3.8	Cula Cernătescu (fig.6.81) .....	209
6.3.9	Clădirea Facultății de Mecanică (fig.6.91) .....	217
6.4	Concluzii .....	226
<b>7.</b>	<b>Analiza numerică, modelarea și simularea clădirilor din zidărie masivă</b> .....	<b>227</b>
7.1	Analiza numerică la oboseală în ANSYS .....	227
7.2	Conceptul FEA (Finite Elements Analysis - analiză cu elemente finite) aplicabil structurilor compozite din domeniul construcțiilor .....	233
7.2.1	Simularea curgerii fluidelor cu COSMOSFLOWORKS (CFD - Computer Fluids Dynamics) .....	234
7.3	Strudiu de caz I- Generarea modelul tridimensional al culei Izvoranu- Geblescu (Brabova) .....	234
7.3.1	Determinarea comportamentului culei de la Brabova la solicitările datorate vântului, utilizand modulul Flow Simulation .....	240
7.3.2	Simulări numerice ale comportamentului clădirii studiate la vânt, cutremur, zăpadă, îngheț-dezghet și la oboseală, folosind Ansys Workbench .....	244
7.3.3	Concluzi .....	257
7.4	Studiu de caz II- Generarea modelului tridimensional al Turnului Civic din Pavia, Italia .....	264
7.4.1	Determinarea comportamentului Turnului Civic din Pavia la solicitarile datorate vântului utilizand modulul Flow Simulation .....	271
7.4.2	Simulări numerice ale comportamentului Turnului Civic la vânt, cutremur, zăpadă, îngheț-dezghet și la oboseală folosind Ansys Workbench .....	274
7.4.3	Concluzii .....	286
<b>8.</b>	<b>Metode de consolidare, reabilitare și intervenție la clădirile din zidărie</b> .....	<b>290</b>
8.1	Metode moderne de intervenție pentru consolidarea structurilor din zidărie .....	292
8.1.1	Generalități .....	292
8.1.2	Cercetări experimentale privind utilizarea lamelelor din carbon la consolidarea lucrărilor de zidărie .....	292
8.2	Procedee de realizare a lucrărilor de consolidare utilizând bare înglobate .....	293
8.2.1	Soluția cu bare scurte – dornuri .....	294
8.3	Analiza și diagnoza construcțiilor .....	298
8.4	Principalele metode de consolidare a zidărilor .....	299

8.5 Reabilitarea structurală a clădirilor din zidărie în zone seismice .....	306
8.6 Concluzii.....	310
<b>9. Concluzii generale, contribuții personale și direcții de cercetare.....</b>	<b>312</b>
9.1 Concluzii privind degradarea construcțiilor din zidărie .....	312
9.2 Contribuții personale .....	316
A. Contribuții aplicative .....	316
B. Contribuții numerice .....	318
9.3 Direcții viitoare de cercetare .....	319
Bibliografie .....	321
Listă lucrări științifice .....	329
Lucrări reprezentative publicate .....	332

## Lista figurilor

Fig.1.1. Poarta a III-a Cetatea Alba Carolina (înainte și după consolidarea din 2012) [2].....	2
Fig.1.2 Turnul Civic din Pavia [5].....	6
Fig.1.3 Secțiunea Turnului Civic din Pavia [5].....	6
Fig.1.4 Harta monumentelor istorice uitate din Romania [7].....	9
Fig. 2.1 Biserica Sfinții Voievozi din Târgoviște, Degradarea și pierderea structurii de zidărie în zona cu umiditate de capilaritate .....	14
Fig. 2.2 Elemente din zidărie afectate de umiditate [3] .....	15
Fig. 2.3 Degradări ale tencuielilor și finisajelor exterioare la o clădire monument istoric (Casa Teodor, mij. sec.XIX, nr.347) din Craiova, zona centrală .....	16
Fig. 2.4 Perete Biserica Golumbelul, judetul Dolj .....	17
Fig. 2.5 Sculptura decorativă intrarea principală, Biserica Neagră, Brașov .....	18
Fig. 2.6 Conacul Polișor Brătășeanu din Radomirești, Județul Olt .....	19
Fig. 2.7 Ruinele cetății Negru Vodă, Județul Brașov .....	20
Fig. 2.8 Cărămizi și mortare care favorizează eflorescența .....	21
Fig. 2.9 Reprezentarea grafică a rezistenței zidăriilor [14] .....	23
Fig. 2.10 Manastirea Birnova, Judetul Iași, Fațada Nordică .....	24
Fig. 2.11 Biserica Evanghelică din Bistrița, cuprinsă de flăcări .....	26
Fig. 2.12 Vederea frontală și secțiunea pentru un specimen de perete din zidărie cu defectele aferente (cărămizi lipsă) – testarea ultrasonică [31] .....	31
Fig. 2.13 Poziția defectelor – marcate cu linie întreruptă – pentru specimenul prezentat în fig. 2.12 Determinate atât prin metoda ultrasonică cu diferite frecvențe și traductori - a) și b) - cât și prin metoda radar cu diferite echipamente și antene - c) și d) [32] .....	32
Fig. 2.14 Investigarea pereților din zidărie cu ajutorul metodei seismice [27] .....	33
Fig. 2.15 (a) Aparatura pentru metoda ultrasonică (b) Investigarea unui stâlp cu metoda ultrasonică (c) Măsurători prin metoda ultrasonică pentru determinarea caracteristicilor mecanice ale mortarului [27].....	34
Fig. 2.16 Aplicații ale termografierii în determinarea zonelor umede din anvelopa clădirilor [30] ...	35
Fig. 2.17 Investigarea prin metoda radar a pereților unui turn medieval, secțiunea transversală și diagrama radar (stânga), imaginea radar a turnului (dreapta) [27] .....	37
Fig. 2.18 Înregistrări prin metoda radar pentru peretele de vest al clădirii Luther House. Ariile unde sunt detectate cele două straturi sunt colorate [m <sup>2</sup> ] [43].....	38
Fig. 2.19 În stânga: măsurătorile radar în apropierea pilon cu antena de 1,5 GHz. Dreapta: Poziția articulațiilor (galben) și urme radar (albe) la suprafața unui stâlp [43].....	39
Fig.2.20 Fibroscop cu fibre optice flexibile [27].....	40
Fig. 2.21a Borescop cu fibre optice rigide și borescop cu fibre optice flexibile și cu monitor [44]...	40
Fig. 2.21b Cercetarea zidăriei prin endoscopie a) vederea generală a încercării; b) zona de zidărie cu degradare în dreapta sus; c) zona de zidărie fara degradări [30] .....	41
Fig. 2.22 Investigarea pereților prin metoda geo-magnetică [27].....	41
Fig. 2.23 Investigarea pereților prin metoda geo-electrică și harta distribuției rezistivității electrice, $\rho$ [27] .....	42
Fig. 2.24 Efectuarea testului pentru stabilirea efortului in-situ, $s=0.52 \text{ N/mm}^2$ [45] .....	43
Fig. 2.25 Realizare test pentru stabilirea legii s-e [45] .....	43
Fig. 2.26 Forme plicuri metalice utilizate în mod curent [45] .....	44
Fig. 3.1. Alcătuirea zidăriei (a) Fără rost de mortar paralel cu planul peretelui și (b) Cu rost de mortar paralel cu planul peretelui [11] .....	53
Fig 3.2. Rezistența unitară caracteristică inițială la forfecare a zidăriei - $f_{vk0}$ , în $[\text{N/mm}^2]$ .....	54
Fig 3.3. Ruperea zidăriei încovoiate perpendicular pe planul peretelui (a) Plan de rupere paralel cu rosturile orizontale, $f_{x1}$ ; (b) Plan de rupere perpendicular pe rosturile orizontale, $f_{x2}$ ..	55
Fig. 3.4. Relația efort unitar – deformație specifică ( $\sigma - \epsilon$ ) pentru zidărie [3].....	58
Fig. 3.5. Curba experimentală $\sigma - \epsilon$ pentru zidărie Reprezentarea datelor experimentale, b) Curba $\sigma - \epsilon$ cu valori relative [7] .....	58
Fig. 3.6. Diagrama cvasi-elastică a blocurilor și a mortarelor de zidărie [3] .....	59
Fig. 3.7. Relația efort – deformație pentru zidăria solicitată la compresiune axială [2] .....	59
Fig. 3.8 Comportarea zidăriei la solicitari de lungă durată [3] .....	62
Fig. 3.9 Scheme de încărcare pentru determinarea modulului de elasticitate transversal [14] ....	62
Fig. 3.10 Etapele de curgere lentă ale zidăriei .....	64

Fig. 3.11 Prisme de zidărie Turnul Civic din Pavia: a) zidărie medievală exterioară, b) zidărie medievală interioară, c) zidărie simplă secolul XVI [15] .....	65
Fig. 3.12 Vedere catedrala St. Vitale din Ravenna (sec. XVI) [16] .....	66
Fig. 3.13 Efectul Pickett [15] .....	67
Fig. 4.1 Zonarea seismică a teritoriului României .....	72
Fig. 4.2 Ageleroograma N-S a cutremurului din 1977 și spectrul elastic corespunzător .....	73
Fig. 4.3 Variația coeficientului seismic $c_s$ între anii 1963-2013 [2] .....	76
Fig. 4.4 Sistemul de afectare pentru Biserică ortodoxă tipică și Biserică romano-catolică .....	80
Fig. 4.5 Eforturi principale conform teoriei din rezistența materialelor [5] .....	81
Fig. 4.6 Schema pentru eforturi $\sigma$ și compresiune și schema pentru încovoiere-compresiune [5]..	81
Fig. 4.7 Schema pentru compresiune și încovoiere-segment din cercul lui Mohr [3] .....	82
Fig. 4.8 Schema simplificată pentru determinarea $S_{cap}$ [3] .....	82
Fig. 4.9 Schema pentru metoda simplificată pentru determinarea $S_{cap}$ [3] .....	83
Fig. 4.10 Schema de calcul a ing. Alexandru Cișmigiu [3].....	84
Fig. 4.11 Efectul de măcinare al cărămizilor din zidării .....	86
Fig. 4.12 Mecanisme de ruinare prin atac biologic .....	87
Fig. 4.13 Exemple de zidărie afectată de umiditate, Cula Cernătescu .....	91
Fig. 4.14 Exemple de sulfat de sodiu cristalizat pe zidărie.....	92
Fig. 4.15 Zonele experimentale tipice de cedare .....	94
Fig. 4.16 Definirea celulei de bază: (a) legătura zidăriei și (b) geometria acesteia .....	94
Fig. 4.17 Modelul continuu folosit în simularea numerică [10] .....	95
Fig. 4.18 Modelul particulei pentru celula de zidărie [10] .....	97
Fig. 4.19 Diagramele numerice și experimentale pentru relația deformație-efort. (a) P1, (b) P2 și (c) P3. CM-modelul continuu, PM-modelul particulei, Exp-datele experimentale [10] .....	100
Fig. 4.20 Rezultatele deformațiilor pentru P1 folosind modelul continuu: (a) deformarea plasei, (b) deformațiile minime plastice; Folosind modelul particulei: (c) deformațiile plasei implementată [10] .....	100
Fig. 4.21 Rezultatele deformațiilor pentru P2 folosind modelul continuu: (a) deformarea plasei, (b) deformațiile minime plastice; Folosind modelul particulei (c) deformațiile plasei implementată [10] .....	101
Fig. 4.22 Rezultatele deformațiilor pentru P3 folosind modelul continuu: (a) deformarea plasei, (b) deformațiile minime plastice; Folosind modelul particulei (c) deformațiile plasei implementată [10] .....	101
Fig. 4.23 Diagrama tensiune-deformație pentru testul standard de comprimare [10] .....	103
Fig. 4.24 Rezultatele obținute în urma testelor de fluaj de scurtă durată [10] .....	104
Fig. 4.25 Modelul de cedare pentru specimenul Pre-7 [10] .....	105
Fig. 4.26 Aparatul utilizat pentru testare: (a) cricul hidraulic, (b) speciemenele în timpul testării, (c) specimenul după testare [10] .....	106
Fig. 4.27 Diagrama deformații-timp obținută pentru testele de fluaj de lungă durată [10] .....	106
Fig. 4.28 Diagrama timp-tensiune-deformație specimenul Pre-12 [10] .....	107
Fig. 4.29 Evoluția crăpăturii pentru specimenul etalon [10].....	108
Fig. 4.30 Evoluția coeficientului de fluaj [10] .....	108
Fig. 4.31 Evoluția ratei deformației verticale și orizontale [10] .....	109
Fig. 4.32 Media deformațiilor timp de 30 de zile față de efortul aplicat de-a lungul testelor de fluaj pe termen lung [10].....	110
Fig. 4.33 Media deformațiilor timp de 30 de zile față de efortul aplicat în timpul testelor de fluaj pe termen lung. (a) evoluția deformațiile verticale, (b) evoluția deformațiile orizontale [10] ...	110
Fig. 5.1 Cule din Zona Balcanică: a) Kula Redzepagica din Plav, Muntenegru, [11] b) Kulla von Mic Sokoli din Tropoja, Albania, [12] c) Turnul Nenadovic din Valjevo, Serbia [13] .....	111
Fig. 5.2 Cule de-a lungul Dunării a) Kula Kurtpashov din Vratsa, Bulgaria, [14], b) Cula Cioabă-Chintescu din Șiacu, Romania (1970) [15] .....	112
Fig. 5.3 Detaliu zidărie: a) perete sud Cula Crăsnaru și b) perete nord, Cula Izvoranu Geblescu...	123
Fig. 5.4 Amplasarea Culelor aflate în stare bună de păstrare, în ordine cronologică .....	126
Fig. 5.5 Amplasarea Culelor în stare de degradare avansată/ pre-colaps, în ordine cronologică..	127
Fig. 5.6 Amplasarea Culelor din regiunea Oltenia dispărute, în ordine cronologică .....	128
Fig. 5.7 Starea de degradare a) cule în stare buna; b) cule în pre-colpas; c) cule dispărute.....	129
Fig. 5.8 Ierarhia Culelor după perioada de construire .....	129
Fig. 5.9 Durata de viață pentru culele dispărute din regiunea Oltenia.....	130
Fig. 5.10 Durata de viață pentru culele în starea de pre-colaps.....	130
Fig. 5.11 Harta României în intensități seismice.....	131

Fig. 5.12 Zonarea seismică pentru Culele din regiunea Oltenia: a) cule în stare buna; b) cule în stare e pre-colaps; c) cule disparute .....	131
Fig. 5.13 Zonarea seismică comparativă pentru obiectivele studiate.....	132
Fig. 5.14 Accelația terenului natural pentru Culele din regiunea Oltenia pe categorii.....	132
Fig. 5.15 Harta României-alunecari teren [6] .....	133
Fig. 5.16 Distribuția Culelor din regiunea Oltenia din punct de vedere al riscului de alunecare al terenului de fundare .....	133
Fig. 5.17 Distribuția Culelor din regiunea Oltenia din punct de vedere al sistemului constructiv....	134
Fig. 6.1 Amplasarea zonală a clădirilor vizitate personal și studiate în teză.....	137
Fig. 6.2 Variația coeficientului $k$ , în timp.....	141
Fig. 6.3 Starea tehnică de afectare pentru clădirile analizate.....	143
Fig. 6.4 Măsurarea umidității cu higrometrul MF-50 VOLTcraft.....	143
Fig. 6.5 Umiditatea naturală a caramizilor din teren [%].....	144
Fig. 6.6 Caramidă nouă supusă testelor UPV cu aparatul E49 .....	144
Fig. 6.7 Efectuarea testelor UPV cu aparatul E49 .....	145
Fig. 6.8 Modul de deplasare al undei acustice într-un material cu defecte [5] .....	146
Fig. 6.9 Scleromerul SCHMIDT 2000 și schema acestuia de funcționare .....	147
Fig. 6.10 a)Stereomicroscop NIKON SMZ 745T, în timpul executării analizei b) proba 9.4 zona 4 în marime naturală .....	148
Fig. 6.11 a)Masina de testat universală SANS și echipamentul de comandă, control și măsurare, b) cub de cărămidă după testare .....	148
Fig. 6.12 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 7.1 .....	149
Fig. 6.13 Mașina de testat universală SANS și echipamentul de comandă în timpul testelor .....	149
Fig. 6.14 Cula Cioabă Chintescu .....	152
Fig. 6.15 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 1 .....	154
Fig. 6.16 Proba 1.4 cu cele două zone exemplificate .....	155
Fig. 6.17 Analiza stereomicroscopică pentru proba 1.4, zona 1, zoom 10 .....	155
Fig. 6.18 Analiza stereomicroscopică pentru proba 1.4, zona 1, zoom 45 .....	155
Fig. 6.19 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 1.4 .....	157
Fig. 6.20 Diagramele testului la compresiune .....	157
Fig. 6.21 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 1.4 .....	158
Fig. 6.22 Cula Crâșnaru .....	160
Fig. 6.23 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 2 .....	162
Fig. 6.24 Proba 2.1 pe care s-a efectuat analiza cu stereomicroscopul .....	163
Fig. 6.25 Analiza stereomicroscopică pentru proba 2.1, zona 1, zoom 30 .....	163
Fig. 6.26 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 2.1 .....	164
Fig. 6.27 Diagramele testului la compresiune .....	165
Fig. 6.28 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 2.4 .....	166
Fig. 6.29 Cula Zătreanu .....	167
Fig. 6.30 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 3 .....	170
Fig. 6.31 Proba 3.2 cu cele două zone exemplificate .....	170
Fig. 6.32 Analiza stereomicroscopică, proba 3.2, zona 1, zoom 45 .....	171
Fig. 6.33 Analiza stereomicroscopică, proba 3.2, zona 1, zoom 60 .....	171
Fig. 6.34 Analiza stereomicroscopică, proba 3.2, zona 2, zoom 30 .....	171
Fig. 6.35 Analiza stereomicroscopică, proba 3.2, zona 2, zoom 60 .....	171
Fig. 6.36 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 3.2 .....	173
Fig. 6.37 Diagramele testului la compresiune .....	174
Fig. 6.38 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 3.5 .....	174
Fig. 6.39 Cula Galița .....	176
Fig. 6.40 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 4 .....	178
Fig. 6.41 Proba 4.1 cu cele trei zone analizate exemplificate .....	179
Fig. 6.42 Analiza stereomicroscopică, proba 4.1, zona 1, zoom 15 .....	179
Fig. 6.43 Analiza stereomicroscopică, proba 4.1, zona 1, zoom 45 .....	179
Fig. 6.44 Analiza stereomicroscopică, proba 4.1, zona 2, zoom 15 .....	180
Fig. 6.45 Analiza stereomicroscopică, proba 4.1, zona 3, zoom 60 .....	180
Fig. 6.46 Extragerea epruvetelor cubice din probele de cărămidă 4.1 și 4.3 .....	181
Fig. 6.47 Diagramele testului la compresiune .....	182
Fig. 6.48 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 4.2 .....	183
Fig. 6.49 Cula Sultănică .....	184
Fig. 6.50 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 5 .....	187

Fig. 6.51 Proba 5.1 cu cele două zone analizate exemplificate .....	187
Fig. 6.52 Analiza stereomicroscopică, proba 5.1, zona 1, zoom 15 .....	188
Fig. 6.53 Analiza stereomicroscopică, proba 5.1, zona 1, zoom 30 .....	188
Fig. 6.54 Analiza stereomicroscopică, proba 5.1, zona 2, zoom 15 .....	188
Fig. 6.55 Analiza stereomicroscopică, proba 5.1, zona 2, zoom 45 .....	188
Fig. 6.56 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 5.1.....	190
Fig. 6.57 Diagramele testului la compresiune .....	190
Fig. 6.58 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 5.6 .....	191
Fig. 6.59 Cula Drugănescu .....	192
Fig. 6.60 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 6 .....	195
Fig. 6.61 Proba 6.1 cu cele două zone analizate exemplificate .....	195
Fig. 6.62 Analiza stereomicroscopică, proba 6.1, zona 1, zoom 10 .....	196
Fig. 6.63 Analiza stereomicroscopică, proba 6.1, zona 1, zoom 60 .....	196
Fig. 6.64 Analiza stereomicroscopică, proba 6.1, zona 2, zoom 10 .....	196
Fig. 6.65 Analiza stereomicroscopică, proba 6.1, zona 2, zoom 60 .....	196
Fig. 6.66 Extragerea epruvetelor cubice din proba de caramida 6.1 .....	198
Fig. 6.67 Diagramele testului la compresiune .....	199
Fig. 6.68 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 6.2 .....	200
Fig. 6.69 Cula Izvoranu Geblescu .....	201
Fig. 6.70 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 7 .....	204
Fig. 6.71 Proba 7.1 cu cele trei zone analizate exemplificate .....	204
Fig. 6.72 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 1, zoom 15 .....	205
Fig. 6.73 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 1, zoom 30 .....	205
Fig. 6.74 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 2, zoom 15 .....	205
Fig. 6.75 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 2, zoom 30 .....	205
Fig. 6.76 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 3, zoom 30 .....	206
Fig. 6.77 Cele șase probe procurate de la obiectivul Cula Izvoranu Geblescu și modul de notare	206
Fig. 6.78 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 7.1.....	207
Fig. 6.79 Diagramele testului la compresiune .....	208
Fig. 6.80 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 7.6 .....	209
Fig. 6.81 Cula Cernătescu .....	210
Fig. 6.82 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 8.....	212
Fig. 6.83 Proba 8.3 cu cele două zone analizate exemplificate.....	213
Fig. 6.84 Analiza stereomicroscopică, proba 8.3, zona 1, zoom 15.....	213
Fig. 6.85 Analiza stereomicroscopică, proba 8.3, zona 1, zoom 45 .....	213
Fig. 6.86 Analiza stereomicroscopică, proba 8.3, zona 2, zoom 15 .....	214
Fig. 6.87 Analiza stereomicroscopică, proba 8.3, zona 2, zoom 45 .....	214
Fig. 6.88 Extragerea epruvetelor cubice din probele de caramida 8.3 .....	215
Fig. 6.89 Diagramele testului la compresiune .....	216
Fig. 6.90 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 8.4 .....	217
Fig. 6.91 Clădirea Facultății de Mecanică .....	218
Fig. 6.92 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 9 .....	221
Fig. 6.93 Proba 9.3 cu cele două zone exemplificate .....	221
Fig. 6.94 Analiza stereomicroscopică proba 9.3, zona 1, zoom 10 .....	222
Fig. 6.95 Analiza stereomicroscopică, proba 9.3, zona 1, zoom 30 .....	222
Fig. 6.96 Analiza stereomicroscopică, proba 9.3, zona 2, zoom 15 .....	222
Fig. 6.97 Analiza stereomicroscopică, proba 9.3, zona 2, zoom 45 .....	222
Fig. 6.98 Extragerea epruvetelor cubice din probele de cărămidă 9.4 .....	224
Fig. 6.99 Diagramele testului la compresiune .....	225
Fig. 6.100 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 9.1 .....	226
Fig. 7.1 Modul de aplicare al ciclurilor [1] .....	227
Fig. 7.2 Graficul efort- număr de cicluri până la cedare [1] .....	228
Fig. 7.3. Incărcare ciclică simplă, $R = -1$ [1] .....	228
Fig. 7.4. Incărcare ciclică simplă, $R \neq -1$ [1] .....	229
Fig. 7.5 Analiza completă la oboseală [1] .....	229
Fig. 7.6 Curbele de oboseală ale materialului [1] .....	230
Fig. 7.7 Includerea efectului mai multor mase cu legea lui Miner [1] .....	230
Fig. 7.8 Abordarea Neuber - corecția de plasticitate [1] .....	231
Fig. 7.9 Acelerația etalon de timp [1] .....	233
Fig. 7.10 Planuri utilizate la modelarea 3D a Culei Izvoranu-Geblescu .....	235



Fig. 7.11 Fotografii ale Culei Izvoranu-Geblescu, din Brabova .....	236
Fig. 7.12 Cele doua schițe, care definesc parterul culei .....	236
Fig. 7.13 Solidul inițial al parterului .....	236
Fig. 7.14 Schița din planul de bază pentru obținerea golului de ușă .....	237
Fig. 7.15 Scafele din perete și alte goluri obținute cu Cut Extrude .....	237
Fig. 7.16 Modelul final al parterului .....	237
Fig. 7.17 Modelul etajului întâi .....	238
Fig. 7.18 Modelul etajului al doilea .....	238
Fig. 7.19 Elemente din lemn .....	239
Fig. 7.20 Fundația și pardoseala .....	239
Fig. 7.21 Modelul final al culei Izvoranu-Geblescu, Brabova .....	239
Fig. 7.22 Harta direcției și viteza vântului [5] .....	240
Fig. 7.23 Durata acțiunii vântului [5] .....	241
Fig. 7.24 Stabilirea mediului de lucru .....	241
Fig. 7.25 Domeniul computațional al simulării .....	241
Fig. 7.26 Distribuția presiunii pe fațada vest .....	242
Fig. 7.27 Distribuția presiunii pe fațada est .....	242
Fig. 7.28 Distribuția presiunii pe fațada nord .....	243
Fig. 7.29 Distribuția presiunii pe fațada sud .....	243
Fig. 7.30 Traiectoriile maselor de aer (studiu de particule) .....	244
Fig. 7.31 Interfața Ansys, după exportarea geometriei din SolidWorks .....	244
Fig. 7.32 Alegerea modulului de simulare .....	245
Fig. 7.33 Cuplarea geometriei la modulul de simulare .....	245
Fig. 7.34 Cele patru studii definite în Ansys .....	246
Fig. 7.35 Modulul de materiale Engineering Data .....	246
Fig. 7.36 a) Curba S-N pentru zidărie, b) Curba S-N pentru lemn .....	247
Fig. 7.37 Fereastra de lucru Static Structural – Vânt .....	247
Fig. 7.38 Menu-ul de lansare al divizării solidelor în elemente finite .....	248
Fig. 7.39 Modelul divizat în elemente finite .....	248
Fig. 7.40 Indicarea suprafețelor de acțiune a presiunii .....	249
Fig. 7.41 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat .....	249
Fig. 7.42 Harta de deformații pentru sistemul analizat .....	250
Fig. 7.43 Harta de durabilitate pentru 19200 cicluri de încărcare (200 de ani) .....	250
Fig. 7.44 Harta de deteriorare pentru 19200 cicluri de încărcare (200 de ani) .....	251
Fig. 7.45 Zonarea valorilor de vârf ale accelerației terenului [15] .....	251
Fig. 7.47 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat .....	252
Fig. 7.48 Harta de deformații pentru sistemul analizat .....	252
Fig. 7.49 Harta de durabilitate pentru 56 cicluri de încărcare (200 de ani) .....	253
Fig. 7.50 Harta de deteriorare pentru 56 cicluri de încărcare (200 de ani) .....	253
Fig. 7.51 Zonarea valorilor caracteristice ale încărcării din zăpadă pe sol sk, kN/m <sup>2</sup> , pentru altitudini A ≤ 1000 m [16] .....	254
Fig. 7.52 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat .....	254
Fig. 7.53 Harta de deformații pentru sistemul analizat .....	255
Fig. 7.54 Harta de durabilitate pentru 800 cicluri de încărcare (200 de ani) .....	255
Fig. 7.55 Harta de deteriorare pentru 800 cicluri de încărcare (200 de ani) .....	255
Fig. 7.56 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat .....	256
Fig. 7.57 Harta de deformații pentru sistemul analizat .....	256
Fig. 7.58 Harta de durabilitate pentru 12000 cicluri de încărcare (200 de ani) .....	257
Fig. 7.59 Harta de deteriorare pentru 12000 cicluri de încărcare (200 de ani) .....	257
Fig. 7.60 Cele patru fațade în ordinea sud, vest, nord și est .....	258
Fig. 7.61 Fațada sud: a) model virtual, b) diagrama life vânt, c) diagrama life zăpadă, d) diagrama life îngheț-dezghet, e) planșa fațada sud- releveu .....	259
Fig. 7.62 Fațada vest: a) model virtual, b) diagrama life vânt, c) diagrama life zăpadă, diagrama life îngheț-dezghet, e) planșa fațada vest releveu .....	260
Fig. 7.63 Fațada nord: a) model virtual, b) diagrama life vânt, c) diagrama life zăpadă, d) diagrama life îngheț-dezghet .....	261
Fig. 7.64 Fațada est: a) model virtual, b) diagrama life vânt, c) diagrama life zăpadă, diagrama life îngheț-dezghet, e) planșa fațada est releveu .....	262
Fig. 7.65 Localizarea Turnului Civic din Pavia, pe Harta Italiei [17] .....	264
Fig. 7.66 Fotografii ale Turnului Civic din Pavia .....	265

Fig. 7.67 Dimensiunile principale ale Turnului Civic din Pavia [12] .....	265
Fig. 7.68 Imagini capturate din diferite filmări ale Turnului Civic din Pavia [18] .....	266
Fig. 7.69 Schița care definește parterul turnului .....	267
Fig. 7.70 Solidul inițial al turnului .....	267
Fig. 7.71 Etape principale ale realizării modelului virtual al Turnului Civic din Pavia .....	270
Fig. 7.72 Modelul final al Turnului Civic din Pavia .....	271
Fig. 7.73 Direcția de acțiune a vântului pentru Italia [20] .....	272
Fig. 7.74 Domeniul computațional al simulării .....	272
Fig. 7.75 Distribuția presiunii pe fațada vest, respectiv est .....	273
Fig. 7.76 Distribuția presiunii pe fațada nord, respectiv sud .....	273
Fig. 7.77 Traiectoriile maselor de aer (studiu de particule) .....	274
Fig. 7.78 Curba S-N pentru zidărie (cărămidă și piatră) respective pentru lemn .....	275
Fig. 7.79 Fereastra de lucru Static Structural – Vânt .....	275
Fig. 7.80 Modelul divizat în elemente finite .....	276
Fig. 7.81 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat .....	276
Fig. 7.82 Harta de deformații pentru sistemul analizat .....	277
Fig. 7.83 Harta de durabilitate pentru 86.400 cicluri de încărcare (900 de ani) .....	277
Fig. 7.84 Harta de deteriorare pentru 86.400 cicluri de încărcare (900 de ani) .....	278
Fig. 7.85 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat .....	279
Fig. 7.86 Harta de deformații pentru sistemul analizat .....	279
Fig. 7.87 Harta de durabilitate pentru 469 cicluri de încărcare (900 de ani) .....	280
Fig. 7.88 Harta de deteriorare pentru 469 cicluri de încărcare (900 de ani) .....	280
Fig. 7.89 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat .....	281
Fig. 7.90 Harta de deformații pentru sistemul analizat .....	282
Fig. 7.91 Harta de durabilitate pentru 3600 cicluri de încărcare (900 de ani) .....	282
Fig. 7.92 Harta de deteriorare pentru 3600 cicluri de încărcare (900 de ani) .....	283
Fig. 7.93 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat .....	284
Fig. 7.94. Harta de deformații pentru sistemul analizat .....	284
Fig. 7.95 Harta de durabilitate pentru 20490 cicluri de încărcare (900 de ani) .....	285
Fig. 7.96. Harta de deteriorare pentru 20490 cicluri de încărcare (900 de ani) .....	285
Fig. 7.97 Imagini fotografice ale ruinelor Turnului Civic din Pavia [21] .....	286
Fig. 7.98 Cele patru imagini spațiale în ordinea: sud-vest, nord-vest, nord-est și sud-est .....	286
Fig. 7.99 Analiză comparativă a hărților de durabilitate (vânt, zăpadă) pentru cele patru fațade, în dreapta fiind prezentat modelul virtual al ruinelor .....	288
Fig. 7.100 Imagini fotografice după căderea Turnului Civic din Pavia [21] .....	289
Fig. 8.1 Probă realizată din cărămidă a) modul de dispunere al lamelelor Carbodur, b) specimene realizate din cărămidă plinăplină [3] .....	293
Fig. 8.2 Foraje fundații - Arcul de Triumf din Paris [1] .....	294
Fig. 8.3 Elemente de armătură din lemn [5] .....	295
Fig. 8.4 Ancorarea unei diafragme orizontale în zidărie, respectiv consolidarea unei cupole [5] ...	295
Fig. 8.5 Procedeu de realizare conectori cu bare de oțel înglobate [5] .....	296
Fig. 8.6 Prezentare metoda tubajului [5] .....	298
Fig. 8.7 a) Desfacerea profunda a rosturilor și b) împregnarea paramentelor din zidărie [9] .....	300
Fig. 8.8 a) Împregnarea paramentelor din zidărie și b) împregnarea paramentelor din zidărie în mediul vidat [9] .....	301
Fig. 8.9 Montarea tuburilor, etanșarea lor și chituiră fisurilor [9] .....	303
Fig. 8.10 Cămășuirea zidăriei fisurate și injectarea acesteia [9] .....	304
Fig. 8.11 Remedierea fisurilor elementelor din zidărie cu scoabe din oțel [9] .....	305
Fig. 8.12 Remedierea fisurilor cu bride din oțel lat [9] .....	306
Fig. 8.13 Bordarea golurilor [9] .....	306

## Abrevieri

1D	One-dimensional
2D	Bi-dimensional
3D	Three-dimensional
4D	Four-dimensional
ANSI	American National Standards Institute
FEMA	Federal Emergency Management Agency (Agentia Federala pentru Situatii de urgenta)
FE	Finite element (element finit)
URM	Unreinforced masonry building (elemet de zidarie nearmata)
ICOMOS	<i>International Council on Monuments and Sites</i> (Consiliul Internațional pentru Monumente și Situri Istorice)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organizația Națiunilor Unite pentru Educație, Știință și Cultură)
SASW	Spectral Analysis of Surface Waves ( Analiza spectrală a undelor de suprafață)
NDT	Nondestructive testing ( metode nedistructive)
MDT	Minor Dstructive Tests (metode minordestructive)
EVL	Elemente Verticale Lamelare
IMR	Interval Mediu de Recurență
ULS	Starea Limită Ultimă
SLS	Starea Limită de Serviciu
UPV	Valocity Pulse Ultrasonic
CAD	Computer-aided design-(Proiectare asistată de calculator)
CAE	<u>Computer-aided engineering</u>
FEA/MEF	<u>Finite element analysis</u> / Metoda elementului finit
CFD	Computational Fluid Dynamics
COR	Clasificarea Ocupațiilor din Romania
CAEN	Clasificărrea Activităților din Economia Națională
ICECON	Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii in Construcții

## 1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

O clădire istorică are o importanță arhitecturală, documentară, socială, culturală, spirituală și uneori chiar și politică, însă impactul cel mai important pe care îl are este cel emoțional, fiind un simbol al unei culturi, o parte din istorie.

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 modul și acătuirea lor constructivă au un grad 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 orașului sau zonei de proveniență.

### 1.1 Contextul tematic al cercetării întreprinse

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.

Majoritatea acestor clădiri au fost construite înainte de 1960 (deci nu s-a ținut cont de normele de protecție seismică) și, sunt afectate de uzură fizică și morală, ținând cont de vulnerabilitatea ridicată a acestor clădiri, protecția lor este un obiectiv primordial.

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. Clădirile cu o durată relativ lungă de exploatare (de peste 50 de ani) au materiale de rezistență mai mult sau mai puțin îmbătrânite, situație în care caracteristicile lor mecanice inițiale sunt afectate [1].

Monumentele istorice trebuie menținute în permanență într-o stare de funcționare cât mai perfectă, fie prin păstrare, dar și modernizarea funcțiilor lor inițiale, fie prin acordarea de funcțiuni noi, viabile, compatibile cu natura, structura și/sau valoarea lor. Un monument exploatat, dar și întreținut permanent, menținut viu, se conservă mult mai bine decât altul, fie și consolidat și restaurat, dar neutilizat [1].

Numeroase clădiri vechi sunt un real pericol atât pentru proprietari, vizitatori cât și pentru alte persoane aflate în vecinătatea acestora, astfel consolidarea și întreținerea construcțiilor din zidărie prezintă un interes prioritar pentru specialiștii din întreaga lume (fig.

1.1). Aceste clădiri pot pune în pericol viața proprietarilor, a vizitatorilor și a altor persoane din vecinătatea lor. În aceste condiții, consolidarea și întreținerea construcțiilor de zidărie prezintă un interes major pentru grupurile de specialiști din România și Europa



Fig.1.1. Poarta a III-a Cetatea Alba Carolina (înainte și după consolidarea din 2012) [2]

## 1.2 Obiectivele tezei

### 1.3 Studiul privind comportarea de lungă durată a pereților din zidărie masivă

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 dănuiesc 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.

„În Romania există încă multe construcții vechi, cu diferite forme neregulate în plan care, au suferit avarii în urma acțiunilor cutremurelor la care au fost supuse. Punerea lor sub siguranță este o cerință importantă pentru proprietari și desigur urgentă pentru autorități” [3].

Cercetările recente au pus în evidență un comportament bun al materialelor compozite în consolidări, însă acest tip de consolidare se ridică la un cost ridicat, care poate reprezenta un neajuns în luarea deciziilor de intervenție.

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 baza utilizate în domeniu și o analiză experimentală. A doua 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.

## 1.4 Retrospectiva asupra stadiului mondial de analiză al zidărilor masive

### 1.4.1 Stadiul actual al cercetării, aferente temei analizate

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 dermizarea 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 turlilor, etc.) este bine să fie monitorizat; aceste teste sunt foarte utile pentru detectarea eventualelor neconformități încă din stadiul de diagnostic.

„Slaba rezistență la întindere a zidărilor a dus la impunerea de limite în ceea ce privește înălțimea, deschiderile, dimensiunile golurilor și pe de altă parte, a determinat în timp soluții constructive particulare, folosind mijloace tehnice disponibile în diverse epoci istorice” [3]. În ceea ce privește delimitarea spațiului, au existat încă de la începuturile construcțiilor din zidărie, două variante: volumul arhitectural se naște din acumularea de pietre sau cărămizi (spațiul interior fiind uneori obținut prin săpătură), și varianta în care spațiul interior este delimitat de zidăriile verticale care susțin o structură orizontală.

Greutatea, apareiajul și grosimea zidăriei au avut un rol determinant pentru performanțele de rezistență și stabilitate, de protecție și de durată. Evoluția tehnicii constructive și a produselor a acționat însă în sensul ușurării zidului, reducerii dimensiunilor și simplificării apareiajelor. Astfel, rezistența nu mai decurge din decalajul rosturilor, funcția termică nu mai constă în masivitate, iar grosimea redusă nu mai permite utilizarea blocurilor în diferite moduri de dispunere.

Cel mai bun mod de a asigura întreținerea și conservarea corespunzătoare a unei clădiri, monument istoric, este, introducerea ei în circuitul turistic, făcând astfel uz de ea. Multe ruine au fost consolidate și date în circuitul turistic, unele având chiar destinații noi, față de atracțiile pentru turiști, arheologi sau interesul istoric, unele adăpostesc activități de agrement. Multe construcții istorice au rămas încă sub formă de ruine.

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.

Până în prezent numărul cercetărilor teoretice și experimentale în domeniul comportării de lungă durată a pereților din zidărie masivă, este mic, iar în România este extrem de redus. Au fost publicate unele articole naționale și internaționale referitoare la cauzele care conduc la degradarea și chiar colapsul structurilor din zidărie, accentul punându-se pe structurile cu zidărie simplă. Deasemenea, studii ca reabilitarea structurală a clădirilor din zidărie, aflate sau nu în zone seismice, au devenit o temă de actualitate. Studiul siguranței seismice a clădirilor de cult și a monumentelor istorice a luat amploare în ultimii 10 ani, dar și materialele și tehnicile moderne de reabilitare structurală seismică a clădirilor.

Studiile de specialitate sunt îngreunate de lipsa unor normative cu specificații legate de reabilitarea și consolidarea zidărilor.

Necazuri, accidente recente și în trecut, din necunoașterea comportamentului zidăriei, colapsurile, demonstrează vulnerabilitatea clădirilor istorice. Se cere acordată o importanță sporită motivului pentru care prăbușirea acestor structuri nu s-a putut preveni cât și intervențiilor de urgență executate după colapsul parțial al structurilor.

Au fost urmărite studiile actuale pentru efectuarea intervențiilor de identificare la timp a neconformităților zidărilor și care au ca scop propunerea de măsuri preventive (intervenții structurale, monitorizare, documentare și necesitatea unei investigații detaliate, cercetare) și care impun măsuri spre o consolidare definitivă.

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.

Deasemenea, au fost urmărite studiile întreprinse 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.

Monumentele istorice cuprind un ansamblu de realizări valoroase ale omenirii, fiind, în marea majoritate a cazurilor, rodul intuiției, talentului și muncii unor oameni cu har, a meșterilor, a lucrătorilor de pe diferite meridiane ale pamântului, în diferite epoci ale istoriei, culturii și civilizației omenirii.

Fiind în mare majoritate, realizări la care arhitecții au fost autorii principali, contribuția structuriștilor din echipele multidisciplinare care le-au realizat poate fi consemnată ca fiind distinctă începând cu secolul XVIII, mai evident în secolul XIX și XX [4].

Importanța conservării acestor valori ale omenirii a fost conștientizată din secolul XVIII, dar mai ales în secolul XX, când prin carta de la Atena, din 1931, și carta de la Veneția, din 1964, au fost stabilite câteva reguli de păstrare și de restaurare a monumentelor istorice.

Echipele de realizare a restaurărilor trebuie să fie bine organizate și necesită un număr mare de specialiști, cum ar fi arhitecți, istorici de artă, ingineri structuriști, arheologi, pictori, sculptori, biologi, chimiști, fizicieni, pentru partea de expertiză și proiectare, respectiv echipe de constructori în general conduse de ingineri constructori sau arhitecți, cu echipele lor de muncitori ajutați de asistența specialiștilor din celelalte profesii.

O bună înțelegere și cooperare între toți acești „participanți” este necesară, pentru a se realiza scopul acțiunii de restaurare, constând în păstrarea în condiții corespunzătoare a monumentelor, a siturilor istorice, a patrimoniului arhitectural.

Este cunoscut că marea majoritate a monumentelor istorice sunt rodul perioadei în care aportul ingineresc de calcul al structurilor acestor monumente era inexistent, sau foarte redus.

Pentru zonele seismice, evaluările analitice prin calcul au fost începute după marele cutremur de la Kanto din Japonia din 1920, dar calcule sistematice pot fi consemnate abia începând cu anul 1956, când a fost ținută prima conferință mondială de inginerie seismică.

Evaluările analitice prin calcul la vânt, zăpadă, cutremure, alunecări de teren sunt reglementate sub formă de coduri, începând cu secolul XX, acestea evoluând continuu prin cerințe tot mai precise și totodată tot mai severe, atât timp cât acțiunile de mediu și exploatare sunt tot mai severe.

Confrunțați cu aceste probleme, cooperarea șefului de proiect de restaurare, care în mod firesc revine de obicei unui arhitect, cu un inginer structurist, este de mare importanță. Această colaborare, uneori poate să fie dificilă, acest aspect este evident atâta timp cât pe de o parte prevederile de coduri pentru structuri cer în majoritatea cazurilor, mai ales în zonele seismice, o marire a capacităților de rezistență și deformație a structurilor monumentelor istorice, iar reglementările internaționale și naționale pentru monumente sunt puține.

Carta de la Veneția din 1964, Recomandările ICOMOS 2002, Metodologia pentru evaluarea riscului și propunerile de intervenție necesare la structurile construcțiilor monumentelor istorice în cadrul legilor în vigoare de restaurare ale acestora (MP025-04), sunt singurele reglementări pentru țara noastră, care pot ajuta această colaborare. Prevederile de ordin calitativ se referă la aspecte ca intervențiile structurale, ce pot fi realizate cu metode moderne atâta timp cât sunt compatibile cu caracteristicile structurale și



de material ale construcției existente, sunt reversibile și nu modifică în proporții semnificative caracterul și masa structurii, respectiv a construcției.

Din aceste motive, de multe ori apare tendința, la nestructuriști, că este mai bine să nu se opereze nici un fel de consolidare, adică mărimi ale capacităților de rezistență și deformație a structurilor monumentelor istorice, pe criteriul că, dacă a ținut câteva sute de ani, vor rezista și în continuare. Această judecată trebuie combătută, un prim pas a fost realizat prin analiza cazului colapsului Turnului orașului Pavia (Italia). Pe data de 18 martie 1989, Turnul orașului Pavia, vechi de 900 de ani, s-a prăbușit, aparent brusc (fig. 1.2, fig. 1.3) [5]. În urma colapsului patru oameni au decedat, iar catedrala învecinată a suferit avarii grave.



Fig.1.2 Turnul Civic din Pavia [5]

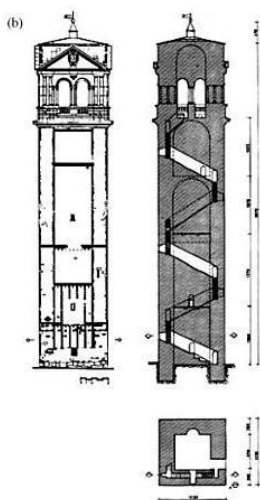


Fig.1.3 Secțiunea Turnului Civic din Pavia [5]

Din investigațiile și cercetările efectuate, timp de 16 ani, s-a constatat că Turnul din Pavia, realizat în două etape, prima în perioada sec. XI, a doua în perioada sec. XVI, înalt de aproximativ 60m, cu secțiunea transversala de 12.3 x 12.3m, grosimea peretilor de 1.4 - 4m, s-a prăbușit datorită efectelor degradărilor în timp.

Turnul din Pavia nu este un caz izolat, alte exemple fiind: prăbușirea clopotniței catedralei Sf. Magdalena din Goch Germania în 1973, prăbușirea parțială a Catedralei Noto, Italia 1996, și deteriorarea severă a clopotniței Catedralei din Monza, Italia.

În ultimele două decade, ca urmare firească a progreselor înregistrate în toate domeniile științei și a conștientizării necesității de a apăra patrimoniul istoric și arhitectural, ca fenomen de masă, a apărut necesitatea reglementării acestui domeniu, încă vag.

Problema oportunității și necesității unei reglementări (cod) pentru restaurarea, intervențiile structurale de reparații și consolidare a monumentelor istorice și cele aparținând patrimoniului arhitectural, este încă de actualitate [4]. Pe de altă parte există părerea că

reglementările, codurile în general, se adresează construcțiilor, respectiv structurilor noi, conținând din punct de vedere ingineresc în partea lor de evaluare, prin calcul, modelări fizice și matematice care nu pot fi aplicate structurilor istorice. Acest punct de vedere este adevărat, în măsura în care încercăm să aplicăm o reglementare de tipul SR EN-urilor actuale, la structurile istorice și nu unele adecvate acestora.

Deasemenea, există păreri, ca aceea a lui Bernard M. Feilden, [6] : *“Cel mai mare pericol ce amenință clădirile istorice vine din partea inginerilor care ignoră valorile acestora cu caracter de excepție și aplică mecanic codurile, sau care nu vor să-și asume responsabilitatea de a formula judecăți proprii. Se poate spune cu oarecare îndreptățire că multe clădiri istorice au de ales între a fi distruse de coduri sau de următorul cutremur”*.

Ce se poate face însă din punct de vedere legal, cu alte cuvinte din punct de vedere juridic [4]:

- În formularea Eurocod 8 – 3 se spune: “Deși prevederile prezentului standard sunt aplicabile tuturor categoriilor de construcții, evaluarea și consolidarea seismică a monumentelor și clădirilor istorice de cele mai multe ori reclamă tipuri diferite de prevederi și ipoteze depinzând de natura monumentelor”.
- În recomandările ICOMOS-2001 – capitolul 4.3 Evaluarea siguranței este menționat că, după ce se arată că modelările fizice și matematice trebuie să fie specifice ca și alegerea parametrilor sau combinarea acțiunilor sau a caracteristicilor materialelor de cele luate în considerație pentru construcțiile și structurile noi: “Ca atare, trebuie să fie clar faptul că, din punct de vedere legal, arhitectul sau inginerul însărcinat cu evaluarea siguranței unei construcții istorice nu trebuie să fie obligat să-și bazeze dovezile pe rezultatele calculelor, întrucât analizele structurale pot fi inadecvate pentru anumite probleme specifice”.
- În P100-3/2008 se specifică următoarele: “Prevederile P100-3/2008 pot fi aplicate și pentru evaluarea seismică a monumentelor și clădirilor istorice, în cazul în care acestea nu contravin conceptelor, abordărilor și procedurilor specifice cuprinse în documentele normative în vigoare în acest domeniu”.

Așa cum afirma Mircea Mironescu & all [4], formularea din Eurocod 8-3 este cea mai adevărată, astfel încât abordarea inginerilor structuriști să aibă o acoperire legală și juridică.

Este ceea ce Mircea Mironescu & all încercă să facă prin propunerea pentru această reglementare care urmează să conțină următoarele capitole [4]:

- Acțiunile permanente, variabile și accelerațiile – sunt acelea reglementate de SREN-uri, cu interpretarea adecvată de la caz la caz a coeficienților parțiali de siguranță, a intervalelor medii de recurență;
- Tipologia construcțiilor și structurilor istorice împreună cu patologia, descrierea degradărilor și avariilor structurale;

- Materialele întrebuințate și durabilitatea structurilor istorice;
- Evaluarea calitativă și cantitativă, diagnosticarea (diagnoza) afectării structurale;
- Intervenții structurale de reparații și consolidare, restaurare structurală împreună cu evaluările prin calcul pentru realizarea acestora.

Abordări detaliate de modelare în care blocurile ceramice și mortarul sunt reprezentate individual, sunt de interes major în înțelegerea fenomenului care are loc la nivelul component al zidăriei. Redistribuirea tensiunii și evoluția deteriorării sub încărcare susținută, trebuie studiată și analizată. Înainte de a analiza efectele pe termen lung, cunoașterea comportamentului pe termen scurt și mecanismului care duce la prăbușire, este de o importanță fundamentală. Predicția numerică a răspunsului pe termen scurt al zidăriei pe baza proprietăților elementelor constitutive rămâne nerezolvată .

Multe clădiri de patrimoniu din România sunt realizate din zidărie masivă de cărămidă și edificate în secolele trecute, dintre acestea amintim clădirile de tip Culă. Acestea au suportat de-a lungul timpului efectul mai multor factori care au produs degradări, dar au fost supuse și la un număr mare de mișcări seismice puternice. Consolidarea și întreținerea construcțiilor din zidărie prezintă un interes major pentru grupurile de specialiști din România.

Clădirile de tip Culă sunt un tip de construcție semifortificată, construite în întregul spațiu balcanic între secolele XVIII și XIX. Termenul își are originea în limba turcă „kule”, iar traducerea lui, în limba română, este „turn”. În trecut suprafața pe care Culele se puteau identifica era mult mai mare, în prezent ele pot fi identificate în regiunea deluroasă a Olteniei și Munteniei, au apărut ca reacție la climatul de nesiguranță creat de invaziile din sudul Dunării și al atacurilor cetelor de haiduci care prădau regiunile respective.

Luând în considerare studiile anterioare, cauzele ce duc la situațiile critice de colaps pot fi: mișcările seismice puternice; condițiile de fundare inclusiv alunecarea de teren a versanților, terenuri sensibile la înmuiere; intervenții neinspirate de-a lungul timpului; condițiile climatice ce duc la degradarea materialelor până la stadiul de friabilizare; întreținerea necorespunzătoare [1]. Toți acești factori sunt analizați în vederea determinării proporției în care aceștia participă la degradarea structurilor.

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, mărirind avaria materialului. Din aceste motive, turnurile înalte și coloanele sub tensiune mare sunt elemente structurale unde pot apărea în timp avarii severe.

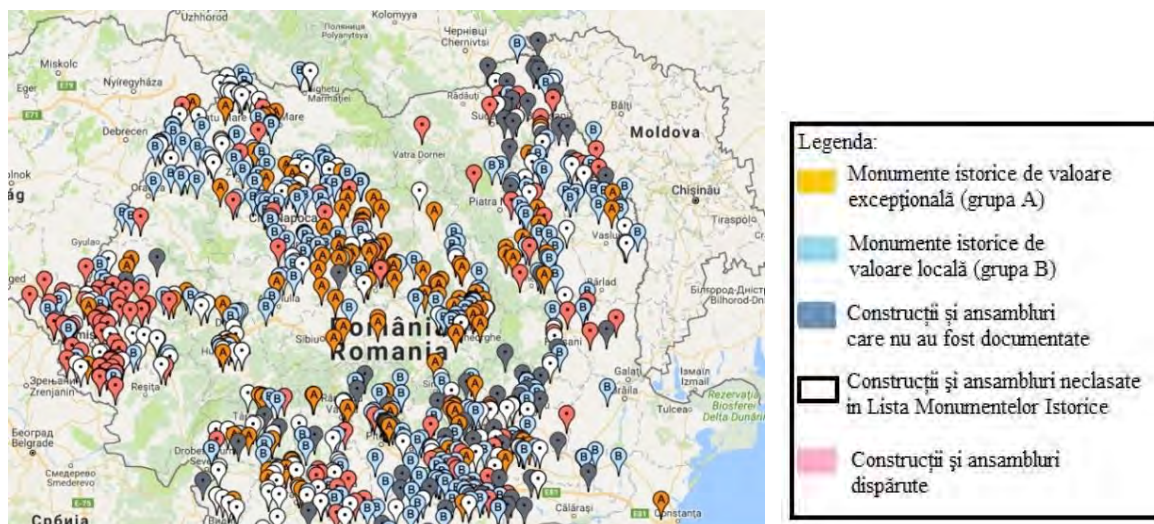


Fig. 1.4 Harta monumentelor istorice uitate din Romania [7]

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:

- reparații – sunt definite ca măsuri luate pe o structură de zidărie, cu scopul de a restabili starea inițială a structurii, răspunsul la un potențial cutremur fiind la același nivel cu structura inițială sau cât mai apropiat de ea;
- consolidare – este procesul prin care un anumit tip de intervenție este aplicat unei zidări afectate / degradate, astfel încât structura fiind capabilă să aibă un răspuns superior stării inițiale.

Experiențele și articolele de specialitate asupra analizei post-seism, efectuate pentru construcțiile din zidărie, au arătat că pentru reabilitarea structurală a construcțiilor este necesară o abordare individuală fără un suport bazat pe standarde specifice. 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 substituție, consolidare pasivă, consolidare activă, re-construire.

## 1.5 Concluzii:

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.

## 2. DEGRADAREA CONSTRUCȚIILOR DIN ZIDĂRIE

Un pas important în analiza unei structuri din zidărie este examinarea tipului de fisurare a zidăriei. Dacă aceasta este *continua*, atunci prima măsură care se impune este îndepărtarea cauzei care o generează, pentru a evita reapariția fisurii după procesul de consolidare a zidăriei.

Examinarea vizuală are ca scop stabilirea tipului de deteriorare, dacă deteriorarea este *pasivă*- adică rămâne neschimbată în timp, sau dacă este *activă*- înregistrându-se o evoluție în raport cu timpul. În cazul fisurilor/crăpăturilor, trebuie înregistrate periodic dimensiunile lor (lungimea cât și deschiderea) și trebuie amplasați martori din ipsos. Martorii împreună cu celelalte date, să conducă la determinarea tipului de fisurare -activă sau pasivă.

Urmărirea evoluției crăpăturilor în timp, se poate face cu ajutorul unor repere din plăcuțe de sticlă, aplicate la suprafața zidului prin lipire, cu mortar de ipsos, dispuse transversal pe direcția crăpăturii/fisurii.

Principalele cauze ale deteriorării structurilor din zidărie, pot fi:

- lipsa întreținerii construcției și apariția fenomenului de condens, care implicit conduce la degradarea materialelor elementelor structurale;
- degradarea terenului de fundare ca urmare a infiltrațiilor apelor pluviale;
- din exploatare necorespunzătoare (încărcări de exploatare peste valorile normale);
- din intervenții necontrolate (suprimarea unor elemente de structură);
- acțiuni dinamice asupra terenului de fundare;
- acțiunea seismică;
- îmbătrânirea materialului în timp.

Avariile caracteristice ale structurilor din zidărie, pot fi:

- fisuri și crăpături în pereții din zidărie ca urmare a degradării terenului de fundare;
- fisurarea pereților din acțiuni orizontale după direcția diagonalelor (tensiuni principale) ca urmare a depășirii capacității portante la întindere;
- apariția de fisuri și crăpături la intersecțiile șpaletilor ca urmare a lipsei unor legături care să asigure conlucrarea spațială;
- decuplarea șpaletilor de buiandrugii sau apariția de fisuri oblice deasupra golurilor de uși sau ferestre;
- dislocarea și cedarea parțială a zidăriei în zonele cu concentrări mari de tensiuni.

### 2.1 Factorii de mediu care conduc la degradarea zidăriilor

Construcțiile noastre nu sunt veșnice și indestructibile, ci, sunt supuse degradării odată cu trecerea timpului, unele mai încet, altele mai repede, în funcție de multe condiții, unele prielnice, altele adverse existenței lor.

Printre factorii ce contribuie la reducerea duratei de exploatare și de existență a construcțiilor se numără acțiunea agenților de mediu natural. Degradarea construcțiilor poate fi definită ca pierderea treptată a calităților fizice și funcționale ce caracterizează aptitudinea pentru exploatarea acestora.

Termenul de zidărie definește, o construcție executată din materiale unitare ca piatra, argila sau betonul, unite între ele prin mortar sau așezate fără mortar, iar uneori armate astfel încât să crească rezistența la întindere și forfecare. Zidăria este una dintre cele mai vechi metode de construcție din lume.

Procesul de degradare se manifestă, de cele mai multe ori, începând de la suprafețele de contact ale construcțiilor cu mediul înconjurător. În cazul clădirilor, asemenea manifestări se referă la decolorarea treptată a zugrăvelilor și a vopselelor, la murdărirea acestora, la zgârierea sau ciobirea tencuielilor, la umezirea și pătarea suprafețelor, la apariția eflorescențelor, petelor de rugină, a putregaiului, a urmelor lăsate de insectele xilofage etc. [1].

Calitatea execuției zidăriei are o mare influență asupra comportării ei în timp. Zidăriile care prezintă riscul cel mai mare de degradare precoce sunt cele executate din blocuri ceramice de calitate inferioară (cărămizi nearse, care prezintă incluziuni) dar și cele al căror mod de țesere este realizat cu rosturi mari, sau chiar neumplerea rosturilor cu mortar. Un factor important în ceea ce privește rezistența zidăriei este calitatea mortarului folosit. Atâta timp cât structura de rezistență a unei clădiri nu este afectată, durata de viață a acesteea nu este amenințată atâta timp cât părțile componente ale clădirii sunt periodic analizate și întreținute.

Încă din faza de proiectare o clădire este construită pentru o durată de serviciu de zeci, chiar sute de ani fiind astfel destinată către o vârstă. Mulți specialiști le-au comparat cu un organism viu, astfel luând naștere termenul de *patologia clădirilor*. Acest termen a fost definit de către Association d'Experts Europeens du Batiments et de la Constructions (AEEBC) în anul 1994. Au punctat cateva domenii de interes "Aceste domenii nu se exclud unele pe altele, ci se conectează și se completează, astfel :

- Identificarea, investigarea și diagnosticarea defectelor din clădirile existente;
- Prognozarea defectelor diagnosticate și formularea recomandării în legătură cu modul de intervenție adoptat pentru construcție, pentru resursele de care aceasta dispune și pentru viitorul clădirii;
- Proiectarea, specificarea, implementarea și supervizarea programelor corespunzătoare de lucrări de remediere în conformitate cu performanțele funcționale, tehnice și economice din utilizare."

Cunoașterea aprofundată și descrierea conținutului proceselor de alternare-degradare ridică o serie de probleme, de multe ori chiar în cazul materialelor obișnuite sau

mai noi ca betonul, metalul, ceramică sau polimerii. Investigațiile privind structura și comportamentul materialelor au fost îndreptate în special spre rezistența mecanică a acestora și mai puțin spre alte caracteristici, cu ar fi rezistența la factorii agresivi și durabilitatea materialelor componente [2]

Pentru a înțelege cât mai corect ideea de degradare (cu referire la construcții) aceasta a fost definită astfel de către ing.Vlad Petrescu în lucrarea "Protecția clădirilor cu statut de patrimoniu prin metode moderne de intervenție" [2]:

- „Schimbarea calităților unui material, ale unui sistem fizic sau ale unui sistem tehnic, care le scade valoarea dintr-un anumit punct de vedere, folosirea lor nemaifiind posibilă în condiții normale” – Dicționarul Enciclopedic Român, Ed.Politehnică 1966.
- „Degradarea nu este patologică, procesul de învechire este un fapt natural ce devine patologic în momentul în care apar situații de perturbare care accelerează ciclul de viață convențional” –S.Croce, Affidabilità del sistema tecnologico edilizio, în ICIE-Patologie in edilizia, Be-Ma editore, Milano, 1981.
- Totodată „îmbătrânirea unei construcții” este definită ca „incapacitatea construcției de a satisface exigențele de performanță față de un model de referință dat, datorită proceselor de transformare ce implică pe de o parte utilizatorul (uzura morală) și pe de altă parte obiectul utilizat (uzura fizică)”

Cauzele fizico-chimice care pot influența atât deteriorarea cât și degradarea zidăriei pot fi:

- cauze interne: defecte de compoziție sau defecte de coeziune cristalină;
- cauze externe:
  - de origine umană: defecte de concepție, arhitectură, mediu sau structură;
  - defecte de execuție: producerea materialelor, protecția materialelor sau manoperă;
  - de utilizare: destinație, transformări, de întreținere;
  - de origine chimică: poluanți atmosferici, săruri solubile;
  - de origine bio-chimică: vegetații, bacterii, planșatii;
  - defecte de origine fizică: apă și umiditate, îngheț- dezgheț, punți termice, acțiunea vântului.

Principalii agenți ambianți care deteriorează și degradează zidăria sunt prezentați în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

<b>Factori Chimici</b>	<b>Factori Fizici</b>	<b>Factori Biologici</b>
Oxigenul	Energia radiațiilor	Vegetația
Ozonul	Caldura (temperaturi ridicate)	Insectele
Oxidul de carbin	Frigul	Animalele



Anhidrida sulfuroasă Hidrogenul sulfurat Acizii, alcalii, sărurile Apa Solvenții organici	Abrazivii Apa Materii în mișcare	Oamenii
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------	---------

Depunerile și petele constituie aspecte ale degradării zidăriei, dovedind probleme interne ce pot genera, la randul lor, probleme structurale. Cele mai importante cauze ale depunerilor, petelor și dezintegrărilor sunt: contactul cu umiditatea și sărurile din sol, poluarea aerului, agenții biologici și elementele metalice corozive [1].

Factorii naturali pot avea o influență nocivă și uneori provocă în timp degradări puternice construcțiilor din zidărie. Degradarea materialului de construcție se poate produce ca urmare a umidității excesive, a ploii, a vegetației necontrolată, a unor reacții chimice sau a acțiunii mecanice a vântului cât și datorită alternanței îngheț-dezgheț.

Capacitatea unui corp sau a unui mediu ambiant de a absorbi și de a păstra o anumită cantitate de apă, reprezintă umiditatea, indiferent de forma în care apa se regăsește (în formă lichidă sau sub formă de vapori). *Principalul agent de origine fizică în procesul de degradare al zidărilor, conform studiilor de specialitate, este umiditatea.*

Umiditatea constituie un catalizator care favorizează degradarea, prin intermediul sărurilor solubile, poluării aerului și agenților biologici. Umiditatea care penetrează zidăria este însoțită, adesea, de săruri și alte substanțe solubile (fig.2.1).



Fig 2.1. . Biserica Sfinții Constantin și Elena din Târgoviște,  
Degradarea și pierderea structurii de zidărie în zona cu umiditate de capilaritate [3]

De aceea este esențială înțelegerea fenomenului de penetrare a apei în materialele zidăriei și modul în care este reținută.

În funcție de arealul geografic în care se află amplasată o structură, prezența umidității este considerată normală până la valorile standardizate pentru zona respectivă

Nivelul umidității în pereții de zidărie depinde de vechimea construcției – acumularea de umiditate de pe sezon iarnă nu se usucă în sezonul de vară, iar odată cu trecerea

timpului elementele de zidărie se degradează masiv. În plus un element esențial este gradul de adăpostire al clădirilor, unde curenții de aer influențează fenomenul de uscare al pereților și umbrirea acestora.

Evenimentele meteorologice și atmosferice pot influența direct o structură din zidărie, astfel umiditatea apărută în urma condensului excesiv și penetrării apelor meteorice reprezintă o problemă care poate fi definită ca fiind "variabilă" (fig.2.2). [2].



Fig. 2.2. Elemente din zidărie afectate de umiditate [4]

Monumentele pot fi afectate de infiltrării ori penetrării a apei în ziduri de la apele pluviale și de pânza freatică (circuitul hidrologic natural), doar în măsura în care nu sunt create condiții necesare scurgerii. Ferestrele neetanșe, cu geamuri sparte sau chiar absența acestora cât și acoperișurile neîntreținute, sistemele de preluare și drenare a apelor pluviale deteriorate sau chiar absente, favorizează apariția umidității de infiltrație. În cazul structurilor din zidărie, penetrarea, stagnarea apei, infiltrarea și percolarea duc la degradarea tencuielilor și la slăbirea rezistenței mecanice a blocurilor ceramice și a mortarelor de legătură (fig.2.3). Acest fenomen se produce ca urmare a solubilizării sărurilor și sărăcirea în liant a materiilor ce intră în alcătuirea elementelor ce formează zidăria, sau a materiilor organice și anorganice și transportul lor prin pori și în final sedimentarea la nivelul suprafeței de trenare sau evaporare [4].

Umiditatea duce la apariția unor agenți biologici care produc degradări ireversibile la materialele lemnoase care de multe ori intră în structura de rezistență a clădirilor istorice, sau este prezent sub alte forme. Atacurile combinate de funghi și insecte duc la pierderea rezistenței mecanice a lemnului, prin efectul combinat al putregaiului și al galeriilor larvare [5]. Umiditatea este un factor de degradare major al structurii de zidărie.



Fig 2.3. Degradări ale tencuielilor și finisajelor exterioare la o clădire monument istoric (Casa Teodor, mij. sec.XIX, nr.347) din Craiova, zona centrală

*Umezeala* favorizează ruginirea fierului și a aliajelor pe baza de fier, cele mai frecvente fiind degradările acoperișurilor, jgheburilor și burlanelor realizate din aceste materiale, degradări cu consecințe cu atât mai grave cu cât nu sunt efectuate la timp reparațiile necesare. Cum a fost prezentat și în lucrarea „Contributions about Humidity Influence above the Massive Masonry Buildings Degradation „ din cadrul 2<sup>nd</sup> Conference for PhD students in Civil Engineering, CE-PhD 2014, 10-13 December 2014, Cluj-Napoca, Romania [2], din cauza lipsei trotuarelor de la baza clădirilor și capacității mari de absorbție a solului pe care acestea sunt amplasate, a fost favorizată infiltrarea apei la baza construcțiilor. Acești factori influențează semnificativ valorile umidității din pereții construcțiilor studiate și prezentate în lucrarea mai sus menționată. Studiul de caz a fost realizat pe trei clădiri situate în zona climatică II și în zona eoliană III, conform hărții de zonare climatică a României și a avut drept scop determinarea umidității aferente acestora dar și efectele acesteea asupra durabilității și a structurii de rezistență. Măsurătorile au fost realizate în număr de câte trei pentru fiecare clădire în parte în perioada Mai- Iulie 2014, respectiv Septembrie-Octombrie 2014. Acestea au fost realizate în exteriorul construcțiilor ținând cont de influența factorilor climatici mai ales a ploii, întrucât în această vară s-au înregistrat cantități semnificative de apă/m<sup>2</sup>.

Metodele de măsurare a umidității sunt grupate în funcție de principiul de măsurare [6] rezistență și capacitate electrică, voltaj, bazate pe faptul că proprietățile electrice ale materialelor variază cu conținutul de umiditate (rezistența electrică, constanta dielectrică) sau

microunde, bazate pe un principiu similar cu metodele capacitive, dar la o frecvență mult mai mare.

Unul dintre dispozitivele care ajută la determinarea gradului de umiditate din materiale de construcții este higrometrul MF-50 VOLTCRAFT, care este un umidometru capacitiv cu afișarea directă a indicelui de umiditate în procente pentru materiale de construcții precum ghips, beton, lemn, caramidă. Această metodă de măsurare fiind o metodă non-invazivă. Aparatul este adecvat pentru toate tipurile de materiale de construcție. Datorită funcției min/max setabile, aparatul permite măsurarea rapidă și simplă la nivelul suprafeței pereților și podelei, fără a fi nevoie de consultarea ecranului.

Cercetarea întreprinsă a constatat în utilizarea higrometrului mai sus menționat, astfel fiind posibilă stabilirea umidității în orice zonă nefiind necesare procedeele clasice care presupun recoltarea de probe și transportarea lor pentru determinări de laborator.

Trebuie menționat faptul că colectarea și scurgerea apei pluviale de pe acoperiș are o mare importanță. În urma centralizării datelor măsurate, s-a putut afirma că procentul de umiditate din pereții clădirilor este relativ mare ținând cont de perioada în care a fost executat studiul de caz. Unii din factorii care au condus la acest lucru sunt infiltrațiile de apă de la ploi, condensul și igrasia datorită lipsei unei hidroizolații la baza clădirilor (fig.2.4.)



Fig 2.4. Perete Biserica Golumbelul, judetul Dolj [7]

Analiza datelor obținute au dus la concluziile legate de faptul că nivelul umidității în pereții de zidărie, depinde de vechimea construcției – acumularea de umiditate de pe sezon iarna nu se usucă în sezonul de vară, iar odata cu trecerea timpului elementele de zidărie se degradează masiv. În plus un element esențial este gradul de adăpostire al clădirilor unde curenții de aer influențează fenomenul de uscăre al pereților și umbrirea acestor pereți.

Coroziunea provoacă degradarea materialelor prin fenomene fizico-chimice: oxidare, ruginire, dezagregare, putrezire [8].

Eroziunea este degradarea de natură mecanică produsă prin acțiunea abrazivă a curenților de aer care antrenează particule solide, prin acțiunea mecanică a apei (valuri,

curenți, ape pluviale). Ea poate avea ca efect atât dislocarea materialelor de construcție cât și declanșarea unei descompuneri la nivelul microstructurii acestora și de fixarea sporilor, semințelor, materiilor organice, favorizând dezvoltarea de ciuperci, mușchi, plante.

Piatra de calcar poroasă, ușor de cioplit, e frecvent afectată de macerări, cunoscute fiind marile probleme de conservare puse în mod special de sculptura decorativă de la bisericile gotice din Transilvania, exemplele cele mai cunoscute oferindu-le Biserica Neagră din Brașov (1384-1477) (fig.2.5) și biserica evanghelică din Sebeș [9] [10].

Între factorii atmosferici care pot dăuna monumentelor nu trebuie să omitem *acțiunea vântului*. În trecut, rolul protector al pădurilor care înconjurau orașele, satele, mănăstirile, castelele, era deosebit de important și sub aspectul conservării lor.

Defrișarea pe scară largă, la care se adaugă despăduririle mai recente efectuate sistematic, pentru a câștiga terenuri în favoarea agriculturii, dezvoltarea așezărilor omenești din secolul al XIX-lea, au avut repercusiuni grave, în general, asupra conservării monumentelor. Pădurile protejau construcțiile izolate și așezările de vânturi puternice și de praf, purificând aerul și influențând în unele zone regimul ploilor [11].

Monumentele istorice care nu mai au protecția unui acoperiș, sunt vulnerabile la *aparitia cariilor*, fiind expuse direct la intemperiiile naturii. Deși degradarea se produce de obicei după un termen lung de timp, produce schimbări mici ireversibile, afectând punctele de echilibru, care duc periodic la prăbușiri masive. Astfel o ruină, la care nu se execută lucrări de mentenanță, va fi în cele din urmă pierdută [12].



Fig. 2.5 .Sculptura decorativă intrarea principală, Biserica Neagră, Brașov

În Marea Britanie s-au efectuat studii asupra monumentelor de patrimoniu, astfel de monumente fiind de obicei neadăpostite de fenomenele naturii, având acoperișuri degradate fie din vandalism sau din cauze naturale, uneori acestea lipsind în întregime [13].

Principalii dăunători ai ruinelor descoperite fiind vântul, ploaia și înghețul, care spală și deteriorează proprietățile mortarului, dar și erodează zidăria, putând ajunge chiar la colaps

progresiv. În urma cercetării s-a dovedit că perioada optimă de examinare a unei clădiri este din cinci în cinci ani, această fiind cel mai bun mod de asigurare că defectele sunt descoperite înainte de a se produce daune masive. O inspecție formată din profesioniști este primul pas care trebuie avut în vedere în cazul în care se dorește realizarea unui plan de conservare sau restaurare al structurii existente.

Un alt factor care produce degradarea accelerată a construcțiilor istorice, îl reprezintă vegetația necontrolată. Pentru mai multe monumente aflate în ruină, în cazul în care întreținerea de rutină a fost neglijată, vegetația lemnoasă este un adevărat pericol la fel ca iedera, care este aparent o podoabă pitorească, dar care având rădăcini aeriene poate duce la penetrarea profundă, afectând legăturile dintre materiale, ducând chiar la apariția crăpăturilor pereților cu o viteză remarcabilă (fig.2.6).



Fig 2.6 . Conacul Polișor Brătășeanu din Radomirești, Județul Olt [14]

Eliminarea acestor forme de vegetație trebuie efectuată treptat, astfel în cât să nu fie afectată structura existentă, tulpinile principale se taie și sunt tratate cu ierbicide și numai după ofilire se încearcă eliminarea vegetației din zidărie, uneori fiind chiar nevoie de reconstrucție (fig.2.7). De asemenea trebuie luate măsuri de prevenire a reapariției vegetației nedorite [13].

Tratamentele la capetele zidurilor sunt esențiale pentru a îndepărta infiltrațiile apărute în pereții structurii. La un moment dat se credea că capetele zidurilor ar trebui înrămate cu beton și vopsite cu substanțe bituminoase, dar acest lucru a produs deformații, având astfel tentința de a crăpa, producând infiltrații în zidărie, de-aseamenea, aveau efectul de a concentra fluxul de apă pe marginea peretelui ducând la producerea eroziunii pietrei de zidărie.



Fig. 2.7. Ruinele cetății Negru Vodă, Județul Brașov [15]

În ultimii ani s-a studiat ideea de creere a conceptului de „ziduri ruinate cu gazon”, asemănător cu procesul natural apărut de-a lungul anilor la ruine. Acest concept se bazează pe teoria - „gazonul” are proprietatea de a absorbi apa, izolează capătul de perete, de asemenea nu împiedică procesul natural de „respirație” al zidăriei, iar iarba se suprapune peste marginile zidului, astfel scurgerea se produce natural. Ideea de „soft tops” a fost folosită de-a lungul ultimilor 10 ani la Castelul Thirlwall, Northumberland și Castelul Wigmore, Herefordshire, precum și la Fountains Abbeys, Yorkshire și are avantajul de a păstra aspectul natural al monumentelor [13].

## 2.2 Degradarea zidărilor din piatră

Materialul cel mai des utilizat pentru realizarea construcțiilor din zidărie masivă este piatra de proveniență locală (inclusiv din construcții anterioare) pietrele cioplite sau brute. De asemenea și zidăriile mixte formate din piatră și cărămidă au o utilizare destul de largă. Legătura dintre mixtura piatră-cărămidă, se realizează cu mortar de var, de obicei hidraulic și nisip grăunțos [16].

Materialele folosite provin din roci cu origine și structură foarte variată și prezintă caracteristici și comportamente diferite. Tipul de piatră poate fi identificat atât printr-un examen vizual observând culoarea, textura și structura pietrei, astfel putând determina categoria de roci din care face parte materialul utilizat. Astfel se pot determina cu ușurință, din literatura de specialitate, caracteristicile fizice, chimice și mecanice ale materialului ce intră în alcătuirea zidărilor.

Factorii care conduc la degradarea progresivă pot fi eșalonați pe trei grupe principale:

- acțiuni fizice: variații termice, de umiditate, acțiuni mecanice, acțiuni eoliene;
- acțiuni chimice: alterări ale silicaților, carbonaților, mineralelor de fier;
- acțiuni biologice: macro și micro-organisme.

### 2.3 Degradarea mortarelor din alcătuirea zidărilor

Degradarea mortarului este atribuită unei interacțiuni complexe a materialelor componente, factorilor de mediu și practicilor constructive.

Mortarul și cărămizile sunt materiale poroase, care absorb umiditatea aerului ambient, umiditatea care este factorul cel mai important în deteriorarea mortarului [17].

#### A) Tipuri de deteriorare ale mortarului :

- dezintegrarea se manifestă prin prezența fisurilor, orientate la întâmplare. Acest fenomen are la origine diverse mecanisme: acțiunea înghețului, atacul chimic, prezența substanțelor organice, cristalizarea sărurilor solubile, coroziunea metalelor (fig.2.8);
- scorojirea este separarea mortarului de la suprafață, sub formă de felii fine sau de bucăți mici;
- eroziunea se caracterizează printr-o distrugere a mortarului la suprafață, care este luat de agenți abrazivi mecanici ca: jetul puternic de apă, furtuna de nisip, circulația umană;
- decaparea este o deteriorare superficială, caracterizată printr-o față rugoasă a mortarului, fiind cauzată de soluții acide din diferite surse.

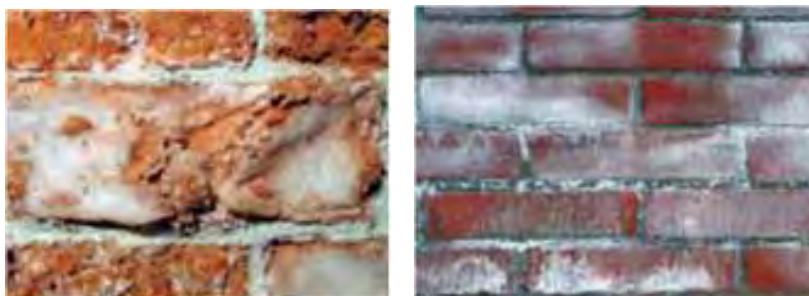


Fig. 2.8 Cărămizi și mortare care favorizează eflorescența

#### B) Mecanisme de deteriorare ale mortarului de zidărie:

- reacții alcaline ale nisipului se produc de obicei între nisip și var/ciment cu conținut crescut de substanțe alcaline în prezența umidității și a temperaturilor crescute, cauzând dilatarea mortarului, rezultând dezintegrarea acestuia;
- cristalizarea sărurilor solubile se produce prin transportarea sărurilor (sulfați, carbohidrați, silicați, etc) în mortar sub acțiunea umidității provenite din sol. Când această umiditate se evaporă, aceste săruri cristalizează și pot forma eflorescențe;
- carbonatarea - reacția chimică între  $\text{CO}_2$  din atmosferă și  $\text{Ca(OH)}_2$  (varul stins).  
Efectul carbonării crește odată cu diminuarea alcalinității mortarului, favorizând eventuala coroziune a metalelor;
- atacul chimic - sulfații solubili din mortar reacționează cu Al tricalcic producând dezintegrarea;



- corозиunea metalelor înglobate-rugina produsă contribuie la dezintegrarea mortarului.

Analizând în ansamblu capacitatea de rezistență a structurilor din zidărie, prin prisma cauzelor care pot produce deteriorarea sub încărcări sau apariția defectelor, se întâlnesc următorii factori esențiali :

- modul în care capacitatea de rezistență a fost conservată în timp, ținând seama de influențele și acțiunile exterioare intervenite pe parcurs (acțiuni seismice, tasări sau rotiri ale reazemelor, modificări structurale, schimbări de destinație, condiții de exploatare și întreținere etc.);

- la clădiri vechi, mișcări seismice anterioare și la care nu au fost executate consolidările corespunzătoare;

- degradarea în timp a materialelor sub solicitări mecanice repetate sau agresive care au condus la scăderea rezistențelor;

- infiltrații de apă, din diverse surse, atât la zidurile construcției cât și la terenul de fundare, cu consecința deplasării fundațiilor.

Avariile au în general următoarele cauze exterioare:

- degradarea materialelor (îmbătrânire, agenți atmosferici, umiditate etc.);
- evenimente excepționale (lunecări de teren, explozii, ciocniri, incendii, cutremure în zone neseismice);
- acțiuni dinamice (vibrații din trafic, acțiuni seismice).

Avarii ale suprastructurii - se iau în considerare numai acele avarii independente de deplasările orizontale sau verticale, ale fundațiilor. Acestea pot fi cauzate de:

- tasări ale structurii verticale (acestea apar în zidării);
- compresiuni mari (care conduc la zdrobirea zidăriei și la deformații transversale mari);
- instabilitate (fie datorită depășirii  $P_{crt}$ , fie datorită separării elementului în subelemente componente);
- împingeri (provocate de elemente structurale);
- acțiuni seismice (provocate de depășirea capacității portante la lunecare).

Un alt factor care conduce la degradarea în timp a structurilor din zidărie este zidirea cu rosturi exagerat de largi [18]. Acest mod de execuție determină scăderea rezistenței zidăriei (fig.2.9)

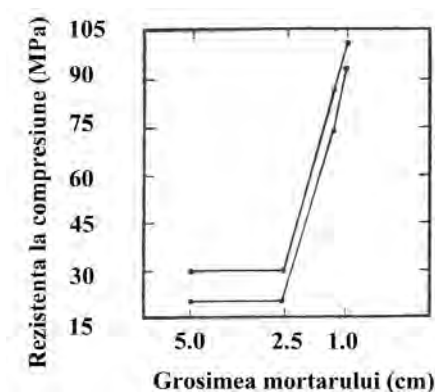


Fig. 2.9 Représentarea grafică a rezistenței zidărilor [18]

## 2.4 Impactul dezastrelor naturale cât și al celor provocate

În România există, încă, multe construcții vechi, cu diferite forme neregulate în plan care au suferit avarii în urma acțiunilor cutremurelor la care au fost supuse.

Punerea lor sub siguranță este o cerință importantă pentru proprietari și desigur urgență pentru autorități [19].

Degradările din cauze mecanice prezintă următoarele tipuri de avarii:

- crapături pronunțate, care indică dislocări masive de zidărie;
- crapături mai mici, însă numeroase, care arată o dezagregare a zidăriei.

Acestea au drept cauze principale cutremurul (prăbușiri), tasările inegale (terenuri sensibile la umezire), stările îndelungate de umezire.

Au fost efectuate cercetări în privința amplificării dinamice a răspunsului seismic la clădirile neregulate, iar în acest scop s-a evidențiat necesitatea realizării de tronsoane la clădirile de tip L și la cele cu forma neregulată în plan, în special la clădirile vechi, construite înainte de existența unor norme de protecție seismică. În urma studiilor desfășurate a rezultat că la planul în forma de L este o cauza cu efect global, de ansamblu, iar consecința a fost torsiunea generală a fiecărui corp în parte.

De asemenea s-a concluzionat că la aceleași rigidități flexionale clădirile neregulate prezintă deformații și deplasări mult mai mari decât clădirile uniforme, și că amplificarea dinamică variază neliniar cu înălțimea clădirilor [20]. Pentru protecția seismică a clădirilor neregulate, mai ales la cele vechi există două alternative constructive: consolidarea sau reconformarea.

În zonele muntoase sau subcarpatice, chiar și în Podișul Transilvaniei, mari probleme de conservare au reprezentat acoperișurile „în terasă” conform modelelor arhitecturale din alte zone geografice europene, precum și partea superioară a pereților neprotejați.

Din aceste cauze, la Castelul Bran (1377-1378) și la cel al Corvineștilor din Hunedoara (1440-1446, 1447-1453), crenelurile de la vârfurile unor turnuri, precum și

acoperișurile de tip renașcentist sau cubist au trebuit la restaurare să fie adăpostite sub acoperișuri înalte, străine de stilurile arhitecturale care au influențat monumentele când au fost construite pe teritoriul României.

Lipsa de cunoaștere a caracteristicilor solului fundației, în special nivelul apei subterane, poate fi cauza unor degradări ireparabile. Lipsa de cunoaștere a structurii solului, nivelul ridicat al apei și, în special, înfundarea vechilor sisteme de drenare pot provoca, probleme foarte grave pentru cum este cazul Bisericii Trei Ierarhi, Iași și al tuturor rămășițelor arheologice și a monumentelor vecine.

Structura altor monumente a fost afectată de intervenții târzii, nepotrivite, efectuate fie în scopul extinderii, fie pentru înfrumusețarea lor, fie pentru consolidare. Uneori, punctele cheie ale structurilor de rezistență au fost, de asemenea, slăbite prin tăierea intersecțiilor de zidărie pentru introducerea sâmburilor de beton armat prin suprabetonarea bolți care transferă pereților o greutate mai mare, un caz practic fiind întâlnit la La Biserica Sf. Mihail din Cluj (1349-1450).

La Mănăstirea Birnova din comuna Birnova, Județul Iași (fig.2.10), s-au remarcat blocurile de piatră dizlocate ale soclului, deteriorări însemnate ale tencuielii, infiltrațiile apei pluviale, mai ales pe fațada nordică. Din cauza lipsei de finanțare, turla de pe naos a rămas decapată lucru care afectează structura acesteia, reprezentând un adevărat pericol în caz de seism minor putând ajunge la colaps. [10].



Fig 2.10. Manastirea Birnova, Judetul Iași, Fațada Nordică

Restaurărilor moderne cât și reparațiilor ocazionale reprezintă o altă categorie de greșeli des întâlnite în practică. Un caz de acest fel fiind cel de la mănăstirea Cozia (1542) unde reconstrucțiile acoperișului au ascuns o cornișă dublă, baza turnurilor și au modificat

radical dimensiunile bisericii și au fost o serie de particularități ale acestei frumoase construcții.

Penultima consolidare a bisericii mănăstirii Probota (1530, Petru Rareș), s-a efectuat într-un mod neadecvat fiind realizate lucrări simpliste în partea superioară a structurii, fiind astfel influențată întreaga structură a clădirii. Deaseenea a fost afectat procesul de ventilare naturală a stațiului interior formând un grad de umiditate ridicat care a afectat atât structura cât și picturile interioare [11].

Intervențiile asupra monumentelor, pornite de proprietari sau beneficiari, de multe ori acoperite sub lucrări de reparații reprezintă un mare pericol. Aceste reparații ascunse nu au ca punct de pornire o documentație întocmită și avizată de specialiști, arhitecți și structuriști cu experiență.

Eliminarea igrasiei este cea mai întâlnită problemă apărută și asupra căreia se încearcă eliminarea ei prin metode neavizate. Executarea unor trotuare etanșe din materiale pe bază de ciment, de jur împrejurul clădirii, uneori chiar și pe soclu pot conduce la apariția igrasiei în cazul monumentelor care inițial nu se confruntau cu această problemă [13].

În ceea ce privește compoziția tencuielilor vechi folosite la construcții, acestea erau alcătuite din elemente naturale –călți sau paie tocate, acestea asigurând aerisirea și uscarea zidăriei. Acest fenomen fiind exact invers în cazul mortarului pe bază de ciment care fiind impermeabil favorizează expansiunea umidității de la bază către părțile superioare ale clădirii.

În ceea ce privește modul de execuție al trotuarelor ce împrejmuiuau clădirile, acum mulți ani, acestea erau executate cu materiale ce favorizau dirijarea apei pluviale aceasta nefiind absorbită în zidărie (bolovani, dale de piatră pe pat de pietriș sau nisip).

Înlocuirea materialului original prin folosirea cimentului se întâlnește și în cazul restaurării pridvorului Bisericii Colțea (1702) din București. Cimentul a fost folosit pentru astuparea fisurilor mai ales la coloanele pridvorului, proces ce a accelerat procesul de degradare. Această intervenție greșită a dus la distrugerea pietrăriei decorative care fusese executată din calcar de Albești [21].

Incendiile sunt evenimente ce produc distrugerii majore asupra stării structurii clădirilor, fiind provocată de neglijența umană, iar în urmă cu mai mulți ani unele dintre ele au fost cauzate de conflicte armate, având un impact major asupra statutului de conservare a bunurilor culturale și aducând transformări structurale asupra.

Un caz celebru din țara noastră este cel de la Brașov, când în anul 1689 [22], biserica cu hramul Fecioarei Maria, a ars fiind și în prezent cunoscută sub numele de Biserica Neagră. Incendiul a fost devastator, fiind afectate bolțile, pilonii cât și acoperișul. Refacerea s-a efectuat de-a lungul unui secol.

Incendiul din 11 iunie 2008, a fost unul devastator în cazul clădirilor istorice din Bistrița, Biserica Evanghelică (fig.2.11). În incendiu a fost distrusă "sala muzeu de la baza turnului" prin prăbușirea aproape totală a șarpantei și invelitoarei turnului peste bolta acesteia [22].



Fig. 2.11. Biserica Evanghelică din Bistrița, cuprinsă de flăcări [22]

### 2.5 Procedee de investigare a construcțiilor din zidărie în vederea evaluării caracteristicilor de material

Problemele ivite în diagnoza clădirilor au dus la crearea unor metode eficiente și ușor de utilizat care să poată furniza date complete privind modificările structurii materialelor fără a afecta starea elementelor sau materialelor de construcție.

Evaluarea construcțiilor realizate cu zidărie structurală se face pe baza recomandărilor din codul P100-3:2008 completat cu **ORDIN nr. 105 din 28 ianuarie 2014** privind completarea reglementării tehnice "Cod de proiectare seismică - Partea a III-a - Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, indicativ P 100-3/2008", aprobată prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și locuinței nr. 704/2009 și ORDIN nr. 704 din 9 septembrie 2009 privind aprobarea reglementării tehnice "Cod de proiectare seismică - Partea a III - a - Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, indicativ P 100- 3/2008" [23].

Stabilirea *vulnerabilității clădirilor se face printr-o evaluare seismică a acestora, în pași* ce țin cont de amplasamentul acestora și de particularitatea fiecărei zone seismice în

parte. Astfel fiind îndeplinite condițiile de performanță legate de starea limită. Evaluarea efectivă în prima etapă prevede colectarea de informații privind:

- localizarea;
- forma avută în plan;
- calitatea detaliilor constructive;
- natura materialelor utilizate.

Aceste informații se obțin din studierea acelor de proveniență ale structurii sau prin studiu individual al istoricului clădirii [24].

În tabelul 2.2 sunt prezentate tehnicile de investigare, tipul acestora și principiile de aplicare a acestora.

Tabelul 2.2 [25]

<b>Tehnici/metode de investigare</b>	<b>Tip: D/SD/ND IS/IL</b>	<b>Principii, aplicații, referințe</b>
Cercetare din punct de vedere istoric	<b>ND IS+IL</b>	Informații despre geometria structurii, materialele folosite, încărcări, rezistența acestora, evenimente structurale [26].
Inspekție vizuală	<b>ND IS</b>	Este utilizată în toate cazurile. Este cea mai ieftină și de cele mai multe ori, cea mai eficientă metoda non-distructivă [27].
Fotogrametrie	<b>ND IS</b>	Evoluția crăpăturilor masive prin deplasări relative. Este foarte des utilizată în măsurarea și investigarea deteriorării elementelor structurale și ale materialelor [28]
Rezistivitatea electrică	<b>ND IS</b>	Interpretarea calitativă a stării globale a zidărilor (cavități, straturi). Foarte valoroasă la verificarea lucrărilor de consolidare prin injecție [28] [29]
Radiografie	<b>ND IS</b>	Prin iradierea cu raze gamma sunt detectate și localizate cu precizie discontinuități din interiorul zidărilor ( armări, cavități, bare etc). Este nevoie de acces la ambele fețe ale zidurilor. Numai aparatele foarte performante pot fi folosite pentru investigarea zidărilor. Trebuie luate în considerație măsuri speciale de precauție [30]
Termografie	<b>ND IS</b>	Identificarea tipurilor de straturi ale structurii, urme ale golurilor ascunse și a discontinuităților [30].
Metode magnetice	<b>ND IS</b>	Localizarea elementelor din oțel în pereții subțiri din zidărie ( bare de armare, elemente de conectare) [30]
Radar	<b>ND IS</b>	Recepția energiei electrice transmise sau reflectate permite identificarea tipurilor de straturi, golurilor ascunse, fundațiilor vechi [30].
Metoda undelor mecanice de impact	<b>ND IS</b>	Prin impact, undele mecanice de 0.3-5.0 kHz sunt trimise către material. Viteza undelor este o măsură a densității și integrității materialului. [31].
Metoda ultrasonică	<b>ND IS</b>	Folositoare pentru materiale omogene, cum ar fi pietrele naturale. Pentru materiale neomogene cum ar fi zidăriile, adâncimea de penetrare este prea mică.
Teste de vibrații	<b>ND IS</b>	Rigiditatea relativă, controlul unor posibile deteriorări progresive a structurii în timp.

Endoscopie	<b>ND/SD IS</b>	Verifică structura internă a zidăriei. Utilizată în goluri forate. Poate fi combinată cu fotografierea și imaginile video [32].
Metoda Flat jack	<b>(S) D IS</b>	Determinarea cantitativă a relațiilor efort-deformație ale zidăriei (SD) și posibilă și pentru rezistența la compresiune (D) [33].
Verificarea la încărcări	<b>ND IS</b>	Verifică rezistența structurii la anumite încărcări. Reprezintă o metoda ND atunci când încărcările rămân în zona elastică.
Monitorizare	<b>IS</b>	Achiziție de date în mod permanent (automat) a parametrilor ce au importanță pentru comportamentul structural
<b>Legenda: D:</b> Destructive; <b>SD:</b> Semi-Destructive; <b>ND:</b> Non-Destructive <b>IS:</b> în Situ; <b>IL:</b> în Laborator		

Construcția clădirilor cu pereți structurali din zidărie în perioada secolului al XIX-lea și începutul secolului XX, se bazează pe conceptul de "gravitație" și prezintă următoarele particularități:

- asimetria pereților datorată amplasării neuniforme a acestora în planul constructiv;
- pe înălțime pereții nu prezintă o alcătuire uniformă;
- pe înălțimea pereților, interiori și exteriori, golurile pentru uși și ferestre nu se suprapun;
- discontinuități în fluxul forțelor verticale (de cele mai multe ori din urma reparațiilor pereți interiori și exteriori rezemați pe grinzi);
- reduceri ale rezistenței și rigidității prin goluri verticale.

Acest tip de construcții sunt de dimensiuni mici, având de cele mai multe ori, destinația de locuință, dar și **clădiri monumentale publice curente**. Ca și formă geometrică în plan sunt întâlnite forme compacte, simple, iar în cazul monumentelor se întâlnește o **geometrie riguroasă în plan**.

Din punct de vedere al documentației tehnice cele mai multe au fost ridicate în regim de "autoconstrucție", deci fără documentație tehnică, în timp ce **clădirile monumentale au beneficiat de proiectare din partea unor arhitecți binecunoscuți** (locali sau din străinătate).

Regimul de înălțime cel mai des întâlnit în cazul structurilor din zidărie cu pereți portanți, acestea prezintă un subsol (parțial sau total) și unu, două niveluri plus un pod înalt. În timp, aceste structuri au suportat mai multe modificări și interferenții care au afectat capacitatea de rezistență a structurii. Materiale ce intră în alcătuirea zidurilor portante, au o rezistență slabă, astfel acestea prezintă o grosime de 2÷3 lungimi de cărămidă, care poate ajunge până la 75 ÷ 85 cm. Zidurile portante au fost efectuate din blocuri ceramice din argilă arsă, care au o rezistență medie de rupere la compresiune de maxim 7.5 N/mm<sup>2</sup>. Mortarele ce alcătuiesc acest tip de zidărie sunt mortare de var, ce au conținut mic de liant (var: nisip, 1:5 sau 1:7), iar nisipul folosit în rețetă cuprinde conținut mare de argilă.

Rezistența la compresiune a acestor mortare este foarte scăzută, și anume  $0.4 \text{ N/mm}^2$  (conform clasificării- M4). Vulnerabilitatea ridicată a acestor structuri este datorată atât rezistențelor scăzute ale materialelor utilizate cât și modului de execuție necorespunzătoare.

**Atât fundațiile cât și pereții de subsol sunt executați, în cele mai multe cazuri, din zidărie.** Un alt tip de fundare întâlnit este cel din și rareori din beton simplu, de calitate joasă. Acest tip de structuri, în majoritatea lor, nu prezintă izolație hidrofugă, la subsol, ceea ce produce în timp o degradare a zidăriei datorită umidității acumulate. [34].

### 2.5.1 Metode de detectare a avariilor bazate pe analiza dinamică

Localizarea avariilor și gradul de deteriorare structural care pot fi găsite prin **măsurări de vibrații** a luat o mare amploare, din nevoia determinării unei metode nedistructive dar cu o precizie ridicată. Această tehnică este foarte utilă în cazul clădirilor mari deoarece nu este nevoie ca specialistul să ia contact direct cu clădirea, cum este cazul tehnicii bazată pe inspecția vizuală, măsurări directe, prin emisie acustică sau cu ultrasunete etc.

Frecvența naturală a construcției scade datorită variației rigidității locale care este provocată de avariile structurale (fisuri). Metoda cel mai des utilizată este cea care se bazează pe variația frecvenței naturale.

Dimensiunea avariei și localizarea pot fi determinate prin compararea variațiilor cele determinate experimental cu vibrațiile teoretice. Modelul matematic bazat pe comportarea dinamică a clădirii avariate sau neavariate indică rezultatul metodei.

Metoda măsurării schimbărilor fisurilor prin în conduita dinamică pune problema inversă și anume prin măsurări dinamice se pot determina date despre localizarea și mărimea fisurilor.

Metodele uzuale de lucru sunt:

- **Metoda bazată pe raportul dintre variațiile mici ale frecvențelor naturale (măsurate) și variațiile stabilite teoretic.** Avantajul metodei constă în determinarea amplasării fisurii, iar dezavantajul fiind lipsa preciziei asupra mărimii acestor fisuri.

- **Metoda elementelor finite.** Constă în utilizarea parametrilor privind frecvențele proprii, obținute experimental. Matricea de rigiditate este o funcție de mărimea și localizarea defectului. Nivelul scăzut al rigidității, comparat cu rigiditatea structurii intacte, are ca rezultat localizarea, cea mai probabilă, a defectului;

- **Metoda rețelelor „neuronale” – artificiale.** Constă în ajustarea valorilor parametrilor unui model structural teoretic (masă, rigiditate, amortizare) pentru a micșora cât mai mult diferența dintre valorile analitice și valorile obținute experimental. Metoda cea mai utilizată, în detectarea fisurilor, de rețele neuronale artificiale, este MLP (percepția multistrat/multilayered perception). Metoda constă în creerea unui ansamblu de modele matematice în etape, pentru a se induce comportarea dinamică reală a structurii, inclusiv prezența



avariilor, în ceea ce privește mărimea și localizarea lor, prin compararea în etape cu comportamentul descoperit experimental. În domeniul construcțiilor, această metodă a luat amploare în ultimii ani, fiind o metodă amplă, deoarece stabilește o tehnică complexă de determinare on-line a defectelor.

### 2.5.2 Metode nedistructive

Evaluarea stării materialelor de construcții, amplasarea și identificarea defectelor pot fi determinate cu ajutorul metodelor nedistructive.

Una dintre cele mai utilizate metode nedistructive, de detecție, este cea cu unde ultrasonice. În ultima perioadă, au fost aplicate noi metode, în dorința de a dezvolta tehnici nedistructive noi dar des utilizate și dezvoltate în alte domenii, având ca bază metode moderne de propagare a semnalelor în materialele de construcții.

#### **a) Metoda ultrasonică de impuls**

Fiind una dintre cele mai des întâlnită metodă se bazează pe aparatură performantă și pe o bază considerabilă de date obținute experimental, lucru care facilitează modul de aplicare și de utilizare al acestei metode.

**Aplicarea metodei:** Prin măsurarea modului de propagare diferit al undelor, în medii diferite (solide, lichide, aer), se poate localiza degradarea materialului. Se cronometrează timpul de propagare emis de transductor și recepționat de cel de-al doilea. Prin comparația porțiunile presupuse fisurate și cele nefisurate, modul de transmitere a undelor este direct sau pe diagonală, acest lucru influențând timpul de propagare, care este mai mare în zonele degradate, datorită modului de propagare a ultrasunetelor. (fig. 2.12) [35].

**Avantajele metodei:**

- face posibilă localizarea și determinarea zonelor cu degradări (fisuri);
- ușor de aplicat, pe suprafața clădirii, chiar și în cazul construcțiilor unde o singură parte a peretelui este accesibilă;
- nu implică pregătiri anticipate;
- durata măsurărilor este relativ scurtă;
- aparatura utilizată are costuri accesibile și ușor de manevrat.

**Dezavantajele** constau în multitudinea de factori care pot influența datele obținute cât și modul de prelucrare al acestor informații.

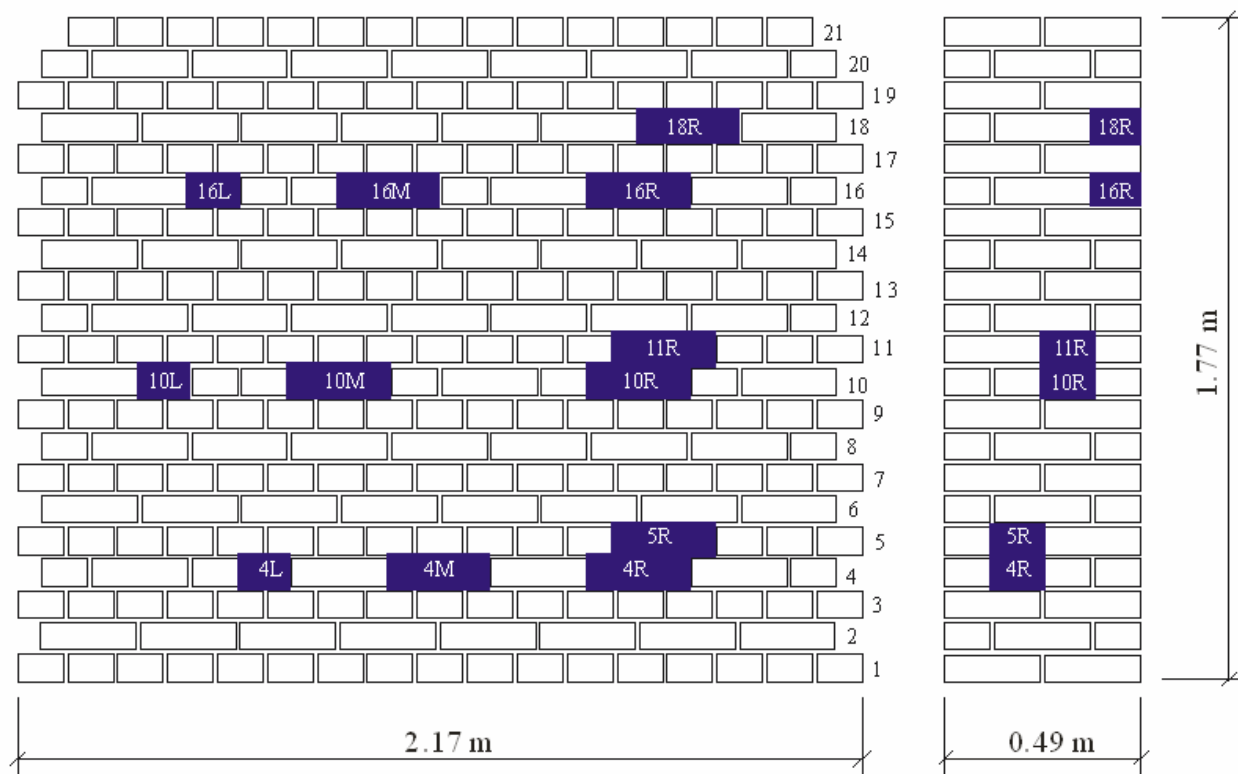


Fig. 2.12 Vederea frontală și secțiunea pentru un specimen de perete din zidărie cu defectele aferente (cărămizi lipsă) – testarea ultrasonică [35]

**Practic:** Aplicarea acestei metode cu ultrasunete, pentru structurile din zidărie, este des întâlnită, fiind o metodă neinvazivă fină, deoarece o mare parte din aceste structuri sunt monumente istorice, iar aplicarea ei nu afectează structura acestor clădiri. Fig. 2.13 a).

În cazul structurilor din zidărie masivă, această metodă, este una dintre cele mai indicate metode nedistructive.

Detectarea unei fisuri într-o astfel de structură, unde după punerea în operă a cărămizilor și a mortarului (construcția în sine) formează un material neomogen și eterogen este destul de complicat de obținut și mai ales de interpretat.

**Această metodă este aplicabilă clădirilor cu pereți de cel mult 1m grosime.** În cazurile în care este nevoie de propagarea undelor la distanță mai mare unde absorbția este mai redusă, este recomandată metoda seismică, deoarece semnalul este de intensitate mai mare iar frecvența este mai mică.

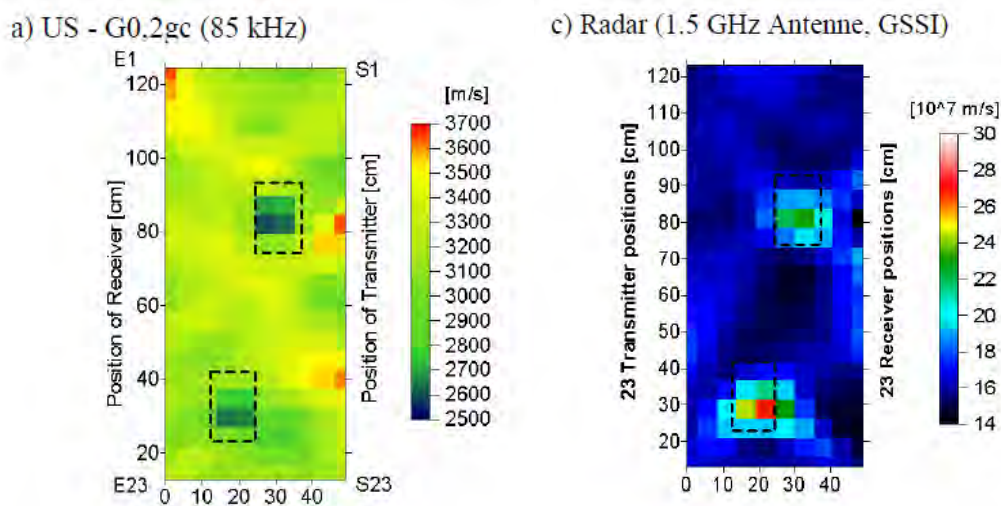


Fig. 2.13 Poziția defectelor – marcate cu linie întreruptă – pentru specimenul prezentat în fig. 2.12, determinate atât prin metoda ultrasonică cu diferite frecvențe și transductori - a) și b) - cât și prin metoda radar cu diferite echipamente și antene - c) și d) [36]

### **b) Metoda seismică: impact – ecou**

**Aplicarea metodei:** Undele mecanice, sunt generate pe suprafața elementului analizat, cu ajutorul unui „ciocan“, și au frecvența între 300 Hz și 3 KHz. Acestea sunt propagate prin elementul analizat și sunt recepționate de unul sau mai mulți receptori.

Cea mai rapidă undă este cea longitudinală, iar timpul de propagare este cel măsurat între elementul emițător și cel care recepționează. Viteza de propagare a undei este în funcție de natura materialului studiat fiind influențată de defectele acestuia, de fisuri sau rosturi neumplute [30].

**Avantaje:** Metoda seismică este utilă în detectarea gaurilor mari, făcând posibilă diferențierea între suprafețele mai multor materiale sau structuri (zidării în straturi, deschideri modificate), rezultatele obținute în urma măsurărilor depind de proprietățile mecanice ale acestora. În cazul clădirilor care au fost restaurate cu ajutorul injectării, pentru mărirea rezistenței, metoda seismică devine eficace ca metodă de verificare.

Traductor care este amplasat împreună cu cel de impact pe aceeași suprafață, captează undele într-o perioadă de timp iar semnalul emis fiind destinat analizei Fourier printr-un analizor de spectru, iar elementele de emisie respectiv de recepție sunt legate la un computer.

**Practic:** Metoda își găsește aplicabilitatea mai ales la structurile la care doar o față permite accesul. Aceasta este des utilizată pentru măsurarea rezistenței prin detectarea atât a grosimii elementelor cât și determinarea defectelor interne.

Factorul principal care poate influența raportul dintre viteza de propagare și rezistența la compresiune este umiditatea elementelor componente și a elementului de legătură. Se stabilește o curbă de etalonare pentru fiecare material testat.

Aplicabilitatea acestei metode este des întâlnită la analiza elementelor cu grosimi de maxim 600 mm (coloane, pereți etc). Rezultatele cele mai bune s-au obținut, în cazul materialelor omogene unde fisurile au fost ușor de reperat (fig. 2.14) [31].

O altă formă a acestei metode este cea cu unde de suprafață (SASW), des aplicată în cazul suprafețelor cu o singură față accesibilă (pavaje, dale, drumuri).

Principala aplicabilitate a acestei metode a fost cea de determinare a proprietăților mecanice în cazul elementelor constructive aplicate în strat. Tehnica propriu-zisă, constă în, lovirea suprafeței, iar cele două receptoare montate pe aceasta, înregistrează viteza undei de suprafață în funcție de lungimea ei. Cu cât viteza este mai crescută cu atât se poate afirma că materialul este de mai bună calitate deci și modul de elasticitate este mai mare.

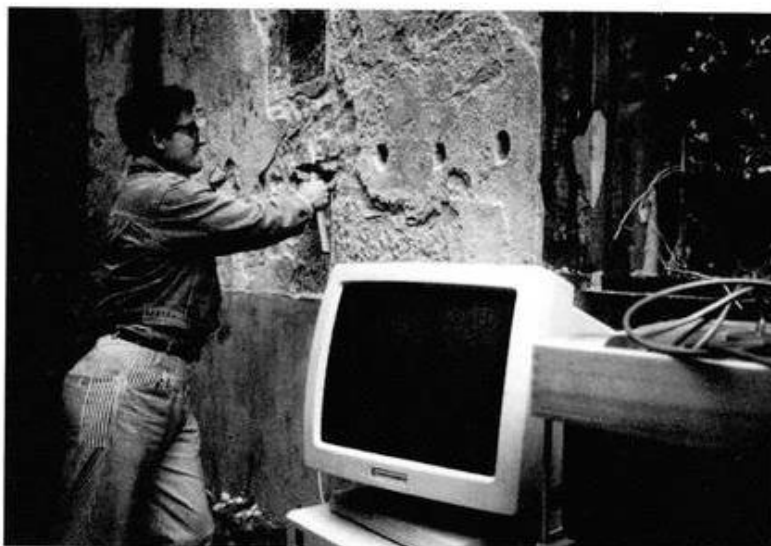


Fig. 2.14 Investigarea pereților din zidărie cu ajutorul metodei seismice [31]

În cazul pereților masivi, de grosime mare, rezultatele obținute cu această metodă sunt foarte bune, dar pot apărea dificultăți în cazul materialelor absorbante (ipsos). Citirile sunt realizate în funcție de defazaj (grade) și în frecvență (KHz),

**Dezavantaje:** ca în cazul tuturor metodelor bazate pe unde, atât citirea cât și analiza rezultatelor obținute este dificilă. Deasemenea echipamentele pentru aplicarea acestei metode prezintă costuri ridicate.

### **c) Metoda cantitativă cu ultrasunete**

**Aplicarea metodei:** Această tip de investigare are ca bază evaluarea tehnicii „impuls-ecou”. Modul în care impulsurile de frecvență ultrasonică (20 KHz – 200Khz) sunt transmise

materialului analizat prin cuplaj mecanic, depinde de proprietățile materialului. Atât viteza de propagare cât și amortizarea și forma undei sunt direct influențate de natura și defectele materialului analizat, astfel putând fi determinate eventualele fisuri apărute la nivelul materialului analizat [31].

**Dezavantaje:** Dificultatea cea mai mare constă în separarea frecvențelor neutile, care se produc ca urmare a neomogenității obiectului analizat. Aceste unde se superpun peste frecvențele armonice impulsului care transportă informațiile privind imperfecțiunile materialului. Această angoasă are ca soluție de rezolvare calcule matematice ample fiind determinată, pentru fiecare element al sistemului, media de putere.

**Practic:** necesitatea acestui echipament special- figura 2.15- este foarte eficient în localizarea fisurilor dar mai ales în analiza evoluției acestora. Echipamentul este unul particular, deosebit de cel curent având tehnică de calcul înglobată. Aplicabilitatea acestei metode s-a dovedit utilă la analiza efectelor fenomenului de îngheț-dezgheț, la controlul toroanelor cât și în inspectarea zonelor de ancoraj.



Fig.2.15 (a) Aparatura pentru metoda ultrasonică (b) Investigarea unui stâlp cu metoda ultrasonică (c) Măsurători prin metoda ultrasonică pentru determinarea caracteristicilor mecanice ale mortarului [31]

### **d) Metoda tomografiei sonice**

**Aplicarea metodei:** Metoda constă în alăturarea tehnicilor de vizualizare recentă cu tehnicile de tomografiere la frecvențe sonice cu ajutorul calculatorului.

Acumularea informațiilor are loc prin transmiterea undelor acustice, prin mediu, de la emițător (ciocan, aer comprimat, exploziv) la elementul de recepție care poate fi un senzor piezoelectric, un accelerometru, un geofon sau hidrofon. Poziționarea emițătorului și a elementului de recepție poate fluctua astfel încât câmpul de analiză al suprafeței să fie monitorizat în mod total. Pentru determinarea schemei de distribuție a vitezelor în zona

analizată se bazează pe un număr suficient de date informațive experimentale – timp de tranzit al undelor longitudinale. Modulul de elasticitate, densitatea, rezistența la compresie și defectele materialelor analizate, determină viteza de propagare a undelor

**Dezavantaje:** Creerea unui model matematic corespunzător repartiției vitezelor constituie principalul dezavantaj al acestei metode. Metoda este una complexă implicând cunoșterea unor programe deosebite și adaptarea unor concepte în interpretarea datelor.

**Practic:** Eficiența metodei este dovedită în analiza elementelor componente precum stâlpi sau piloni.

### e) Termografia în infraroșu

**Aplicarea metodei:** O altă metodă de testare pe suprafață este termografia în infraroșu. Această metodă se bazează pe aplicarea unui flux de energie termică pe fața materialului. Proprietatea de izolare a materialului și gradul de respingere al energiei, influențează direct fluxul de energie termică. Camerele foto cu infraroșu sau învelișuri speciale termice redau diferențele de temperatură ale regiunii analizate. Culorile indicate în fotografierea zonei analizate redau diferențele de temperatură. Aceste culori prezintă o paletă de la negru-violet (rece) până la nuanțe de roșu-alb (cald).

**Practic:** Termografierea poate fi utilizată în o serie de aplicații în ingineria civilă, cele mai uzuale fiind:

- determinarea etanșeității anvelopelor continue;
- identificarea zonelor cu punți termice;
- evaluarea stării de degradare și a umidității din pereții clădirilor;
- ori fi localizate inclusiv scăpările de aer;
- variația materialelor sau chiar neconformitatea zonei din interior, punțile, canalele interioare ale structurii analizate (fig.2.16).



Fig. 2.16 Aplicații ale termografierii în determinarea zonelor umede din anvelopa clădirilor [34]

**Avantaje:** Este o metodă practică în cazul prelingerilor de la învelitoare, care constituie un factor de degradare însemnat în degradarea clădirilor vechi. Este utilă și în localizarea unor eventuale fisuri în fațade, sau în cazul realizării unor izolații neeficiente.

În funcție de gradul de umiditate al cărămizilor deteriorate, acestea prezintă temperaturi diferite care pot indica nivelul de deteriorare al structurilor. Nivelul de pătrundere al umezelii în pereți poate fi determinat prin reflectografia cu infraroșii.

**Dezavantaje:** Metoda permite "vizualizarea" neconformităților doar la nivel de suprafață neputând fi determinată **adâncimea și grosimea acestora**. Un dezavantaj major este faptul că temperatura și umiditatea exterioară afectează rezultatele obținute.

### **f) Utilizarea microundelor (radar)**

**Aplicarea metodei:** Modul de distribuție al microundelor este felul în care se obțin informații despre caracteristicile materialelor, fiind astfel o metodă nedistructivă.

Unul dintre modurile de distribuție al undelor, în zone variate, permite aflarea anumitor caracteristici -distanțe, deplasări, viteze. Identificarea anumitor imperfecțiuni ale materialelor (discontinuități, corpurilor străine, defecte) se poate determina prin modul de străpungere în adâncime, a undelor.

**Practic:** Aplicabilitatea metodei în studiul structurilor vechi, se regăsește în:

- localizarea imperfecțiunilor acoperite dedesubtul zidurilor, pardoselilor sau tavanelor clădirilor vechi;
- dacă zidăria prezintă numeroase straturi, acestea pot fi identificate;
- localizarea golurilor;
- depistarea elementelor metalice;
- focalizarea locurilor degradate;
- aflarea nivelului de umiditate din zidărie (fig. 2.17).

**Dezavantaje:** Plaja largă de frecvență utilizată (0,5 ÷ 4 GHz) conduce la următoarele inconveniente:

- obligația utilizării unor instrumente (radar), cu grad ridicat de performanță;
- emiterea semnalului este influențată de umiditatea din sol, de izolațiile bituminoase sau chiar argilele plastice;
- citirea datelor obținute necesită o bună cunoaștere a informațiilor fiind nevoie de o prelucrare laborioasă;
- pericolul sporit de iradierea a celor care utilizează echipamentul de lucru.

Pentru conservarea, restaurarea și schimbarea destinației clădirilor istorice, de obicei, apar întrebări frecvente legate de structura internă. În general, această structură este foarte complexă [37] [38]. Sunt necesare informații privind geometria (dimensiune, frunze multiple, coeficientul de porozitate, grosime), poziția incluziunii (ancore, dibluri, bare de lemn și metal,

țevi), precum și cu privire la tipul și mărimea deteriorărilor existente. Acestea trebuie să fie clasificate în funcție de expunerea lor (capacitatea de încărcare, rezistența) și gradul lor de severitate. Tehnicile nedistructive pot fi instrumente puternice pentru ocolirea metodelor tradiționale, cum ar fi măsurători ale deformațiilor, analize de restaurare, investigație arheologică, endoscopie și de extracție de material.

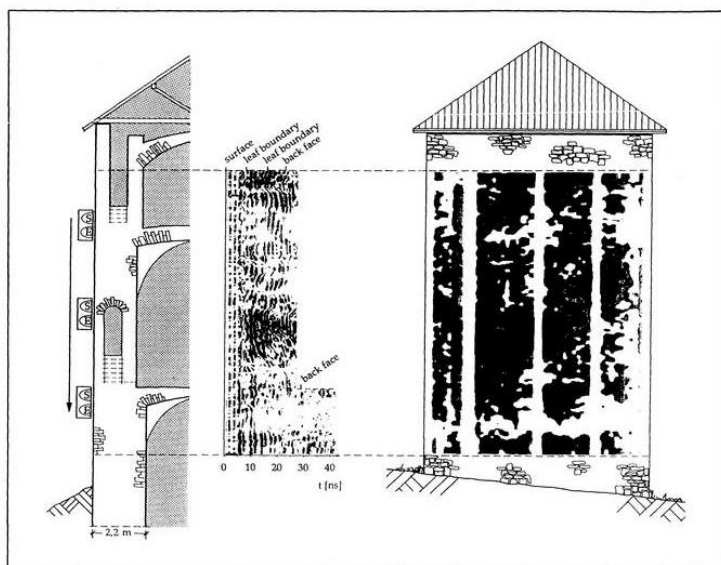


Fig. 2.17 Investigarea prin metoda radar a pereților unui turn medieval, secțiunea transversală și diagrama radar (stânga), imaginea radar a turnului (dreapta) [31]

Pentru elaborarea metodologiilor de evaluare a structurilor istorice bazate pe metode nedistructive (NDT) și minordestructive (MDT) și pentru integrarea diferitelor metode și instrumente de reconstrucție a datelor a fost inițiat un proiect european denumit „On-site Tehnici de investigație pentru evaluarea structurală a clădirilor istorice din zidărie” [39].

Una dintre metodele esențiale care au fost aplicate și optimizate în acest proiect este metoda radar. Pe parcursul ultimilor 10 ani, aplicabilitatea radar pentru NDT în domeniul construcțiilor civile a fost îmbunătățită în mod remarcabil [40]; [41]; [42]. Acest lucru nu este numai datorită tehnologiei îmbunătățite oferind o mai bună rezoluție și adâncimea de penetrare, dar, de asemenea, mai mult experiența dobândită în urma investigațiilor sistematice ale parametrilor care influențează datele (umiditate, sare, structură, deteriorare) și a cooperării internaționale de parteneri din diferite domenii. Metoda radar a fost deja aplicată cu succes structurilor din zidărie istorice. Anumite **probleme** tipice sunt:

- Determinarea conținutului de umiditate și de distribuție [43]; [44];
- Investigarea structurii interioare a zidăriei [45]; [46];
- Localizarea structurilor îngropate [47].

Pentru suprimarea sau intensificarea reflexiei din barele metalice, cum ar fi ancorele metalice sau coloane, trebuie să fie luată în considerare polarizarea câmpului



electromagnetic radiat. Planul de polarizare al unei unde electromagnetice este definit de direcția în care vectorul câmpului electric este aliniat în timpul trecerii unde. Pentru antenele folosite aici, polarizarea este în cea mai mare parte liniară, ceea ce înseamnă că vectorul câmp electric în orice moment, se află de-a lungul unei linii fixe. Dacă vectorul câmp electric este paralel cu o bară metalică, secțiunea transversală și astfel intensitatea reflexiei este mult mai mare decât în cazul în care câmpul electric este perpendicular pe bară. În lucrări anterioare, acest efect nu a fost luat în considerare. Dar efectuarea de măsurători radar, în diferite cazuri de polarizare este foarte eficientă pentru investigarea orientării barelor metalice și pentru interpretarea datelor în general. Prin urmare, investigațiile radar au fost efectuate cu antena de 900 MHz, de-a lungul a 8 verticale și 2 urme orizontale până la o înălțime de 9 m așa cum se arată în figura 2.17. Distanța dintre urme verticale a fost 1 m.

În diagrama radar, a trasajului A, din figura 2.18, pot fi vizualizate două benzi de reflexie de la distanțe de 2,5 până la 4 m și de la 7,8 m pentru a 6,3. Presupunând că viteza de propagare a undelor electromagnetice în zidărie este de  $1.5 \times 10^8$  m / s, aceste reflecții pot fi legate la o adâncime de  $(27 \pm 4)$  cm (fig. 2.19). Prin urmare, se presupune că în această zonă a peretelui are o structură în două straturi. Cele două straturi sunt separate de goluri de aer.

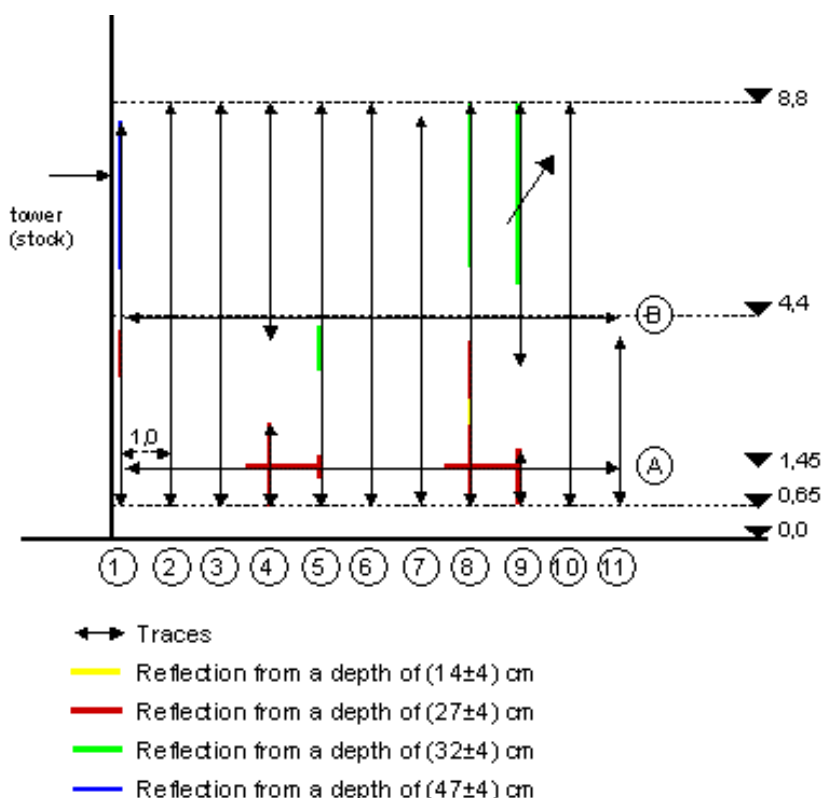


Fig. 2.18 Înregistrări prin metoda radar pentru peretele de vest al clădirii Luther House. Ariile unde sunt detectate cele două straturi sunt colorate [ $m^2$ ] [47]



Fig. 2.19 În stânga: măsurătorile radar în apropierea pilon cu antena de 1,5 GHz.  
Dreapta: Poziția articulațiilor (galben) și urme radar (albe) la suprafața unui stâlp [47]

Concluziile studiului:

- atunci când condițiile sunt favorabile, radarul este un instrument foarte util pentru a obține informații despre structura internă a unei clădirilor istorice.
- Se poate detecta cu o precizie foarte ridicată poziția de incluziuni metalice, cum ar fi bare, ancore, console și dibluri. Acestea pot fi detectate cu o precizie de aproximativ 2 cm. Dar trebuie să luăm în considerare că doar puține informații sunt dobândite cu privire la dimensiunea și geometria acestor incluziuni și nimic nu se poate spune despre funcționalitatea acestora (de exemplu, referitor la gradul de coroziune).
- Structura interioară a pereților din zidărie pot fi investigată cu o precizie destul de bună referitoare la grosimea și prezența golurilor de aer (structură în două straturi) și fisuri. Acest lucru funcționează foarte bine pentru zidăria uscată. Din cauza absorbției ridicate a undelor electromagnetice în zidăria din cărămizi umede și sărate, cu un conținut ridicat de umiditate, se reduce în mod drastic precizia dată de undele reflectate.

### **g) Metoda fibrelor optice**

Metoda este utilizată des în procesul de aflare al degradării și deteriorării clădirilor din zidărie [30].

**Aplicarea metodei:** Instrumentul prezintă o parte flexibilă, „fibroscop“, care conține numeroase fibre optice flexibile și o parte rigidă „borescop“ numeroase fibre optice rigide. La unul din capete se află amplasată o sursă de lumină foarte puternică care primește radiațiile transmise de o parte din fibre iar celelalte fibre având rolul de a translata obiectul prin lentile

foarte puternice (fig.2.20). Capătul „de vizualizare“ a cablului poate fi mișcat în diferite direcții astfel obținând imagini ale zonei analizate din diferite unghiuri.



Fiig. 2.20 Fibroscop cu fibre optice flexibile [31]

În situațiile în care nu sunt cunoscute informații despre structura internă indicat este să se pună un borescop cu fibre optice prin realizarea unei deschizături (diametru de 12 mm) fie prin folosirea rosturilor sau a fisurilor și punerea unui endoscop.

Distanța focală este unul dintre principallii parametrii care pot influența rezultatele astfel, în cazul analizei elementelor structurale cel mai indicat este utilizarea unor distanțe focale considerabile (fig.2.21a și fig.2.21b) [48].



Fig. 2.21 a) Borescop cu fibre optice rigide și fibroscop cu fibre optice flexibile și cu monitor [48]

**Dezavantaje:** în ceea ce privește aplicabilitatea asupra structurilor vechi, aceste echipamente pot fi utilizate dar ținând cont de anumite aspecte cum ar fi posibilitatea de introducere a cablului pentru examinarea vizuală, deci necesitatea unor spații largi, mari. Astfel, în cazul zidărilor cu pereți structurali mari acest lucru este foarte greu de aplicat.

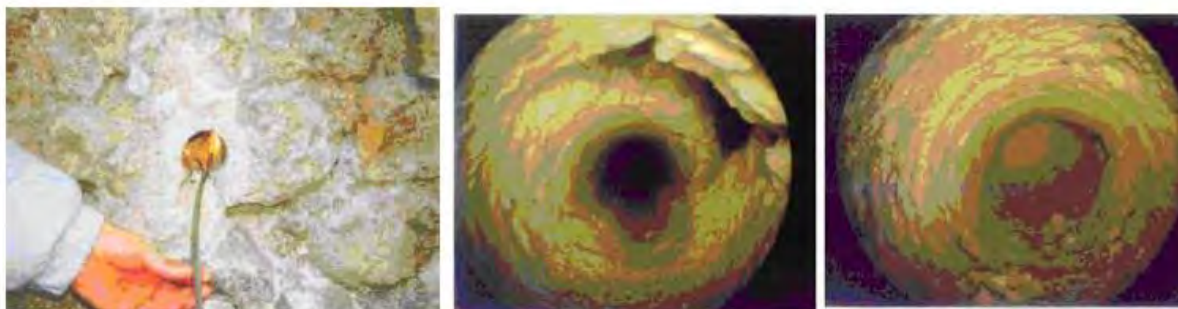


Fig 2.21 b) Cercetarea zidăriei prin endoscopie a) vederea generală a încercării; b) zona de zidărie cu degradare în dreapta sus; c) zona de zidărie fara degradări [34]

**Practic:** Domeniul de aplicabilitate este evaluarea structurilor vechi. Aplicarea procedurii, în cazul structurilor din lemn, a dat rezultate optime

### h) Metode magnetice

**Aplicarea metodei:** Metoda constă în utilizarea unui dispozitiv „pahometru“ care ajută la depistarea elementelor din metal aflate în elementele de construcție.

Metoda are ca bază tulburarea câmpului magnetic, creat de o bobină, la întâlnirea unui metal. Modul de tulburare oferă informații despre dimensiunile metalului întâlnit și distanța față de acesta (fig2.22) [31].



Fig. 2.22 Investigarea pereților prin metoda geo-magnetică [31]

**Practic:** Cel mai bun rezultat obținut cu această metodă, a fost, în cazul detectării unor grinzi metalice, cu o acoperire de 23 cm, ce aveau rolul de a susține bolți de cărămidă, care aparent nu indicau prezența metalului. Aparatul și-a dovedit utilitatea și în scanarea

elementelor din piatră sau granit, acesta având capacitatea de prelucrare directă a datelor și informațiilor obținute.

Metoda este aplicabilă și în cazul în care se dorește evidențierea lipsei metalului dintr-un element structural.

### **i) Metoda geoelectrică**

**Aplicarea metodei:** Constă în introducerea unuia sau chiar a mai multor electrozi care duc la formarea unui câmp electric continuu (fig.2.23) [31].

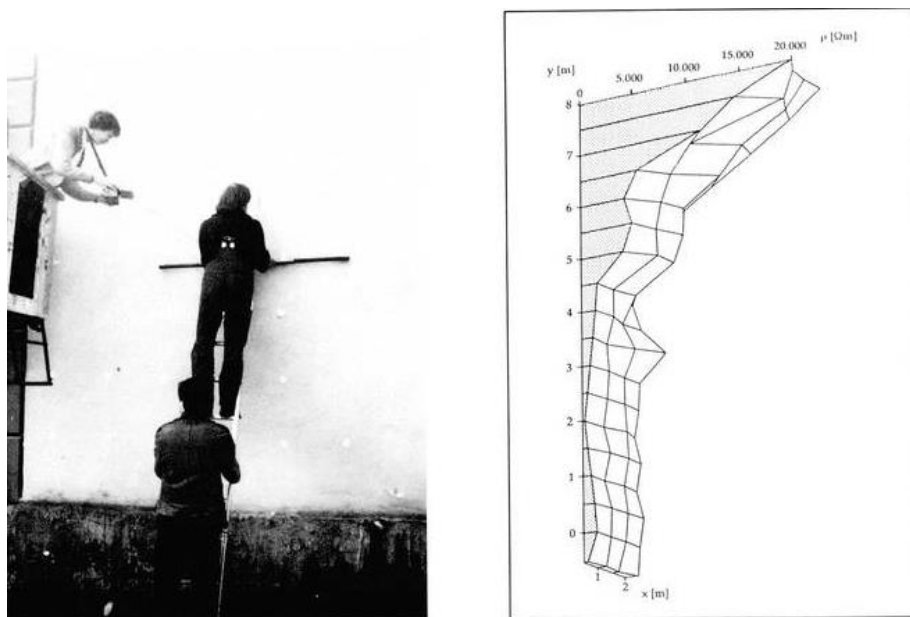


Fig.2.23 Investigarea pereților prin metoda geo-electrică și harta distribuției rezistivității electrice,  $\rho$  [31]

Mai există o altă metodă geoelectrică, denumită *metoda potențialului propriu* cu principiul de funcționare este obținerea unui câmp electric al unui metal corodat.

**Avantaje:** Aplicabilitatea acestei metode constă în depistarea activității de corodare.

**Dezavantaje:** Metoda are o rezoluție mult mai mică decât metoda radarului.

### **j) Radiografiere (cu raze gamma)**

Permite identificarea neomogenităților/ discontinuităților profunde în zidărie (identificarea golurilor, armăturilor, altor elemente înglobate în zid); în general sunt necesare aparate cu radiații puternice ceea ce implică și măsuri corespunzătoare de protecție.

### **k) Metode de măsurare a umidității**

Pentru măsurarea umidității pentru zidărie se folosesc aparate de măsurare a conductivității, aparate ce folosesc metoda capacitivă și aparatura cu neutroni. Pentru

observații de lungă durată se pot folosi sisteme optice pentru măsurarea cu laser care au avantajul că pot lucra atât în regim static cât și dinamic. O altă metodă des întâlnită este reprezentată de folosirea de camere de televiziune pentru identificarea structurii interne a zidăriei.

### **I) Metoda „flat-jack”**

**Aplicarea metodei:** Se realizează o tăietură în zidărie în care se introduce aparatul sub forma unei prese plate. Se generează o presiune în interiorul cavității în vederea restabilirii stării de deformație inițială.

**Practic:** În vederea reabilitării și protejării pe termen lung a monumentelor istorice:

- determinarea stării de eforturi reale în vederea diagnosticării clădirii (fig.2.24);
- în cazurile speciale când nu s-au putut înlătura defectele inițiale este necesară urmărirea în timp a elementelor structurale (fig.2.25).

Utilizarea evaluării zidărilor cu prese plate nu este în prezent reglementată în România. Ea este standardizată în SUA prin normativele ASTM C 1196-14A [49] și ASTM C 1197 – 14a [49].



Fig.2.24 Efectuarea testului pentru stabilirea efortului in-situ,  $s=0.52 \text{ N/mm}^2$  [49]



Fig. 2.25 Realizare test pentru stabilirea legii s-e [49]

Câteva tipuri de prese sunt redată în figura 2.26.

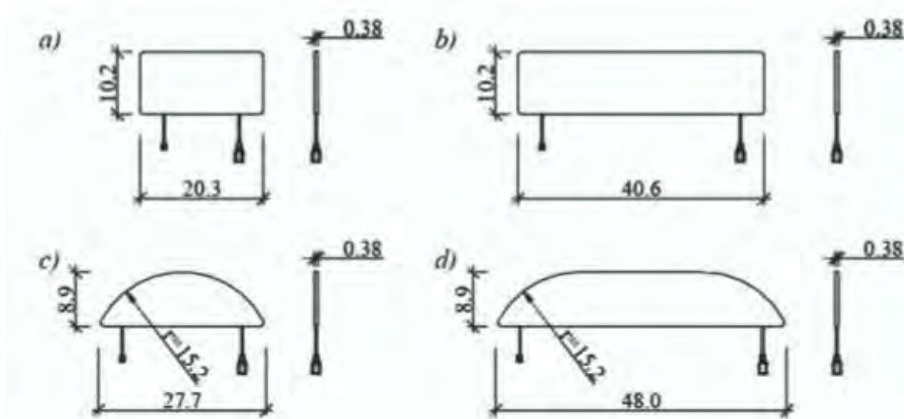


Fig. 2.26 Forme plicuri metalice utilizate în mod curent [49]

Prima metodă de testare este folosită pentru stabilirea eforturilor intrinseci din zidărie. Pentru aceasta este nevoie de realizarea unui singur rost și de o singură presă. Este măsurată deformația generată de realizarea rostului, și apoi este determinată presiunea necesară în presă pentru anularea respectivei deformații.

Prin a doua metodă sunt stabilite proprietățile de deformabilitate ale zidăriei existente (legea  $\sigma$ - $\epsilon$ ), fiind necesară utilizarea a două prese metalice, introduse în rosturi realizate paralel, la o distanță de 50-100cm unul de altul. Rosturile și presele trebuie să fie suficient de mari pentru a permite obținerea de rezultate concludente.

Prin realizarea paralelă, orizontală a rosturilor, se izolează practic de alte încărcări verticale o secțiune a zidăriei. Pe această secțiune se montează un dispozitiv de măsurare a deformației, aceasta fiind măsurată în momentul în care presele introduse în fante sunt presurizate. Cunoscând presiunea dintre cele două plicuri metalice și deformația zidăriei dintre ele, se poate stabili legea  $\sigma$ - $\epsilon$ .

Pe lângă utilizarea a două prese, adoua metodă mai diferă de prima prin poziționarea maritorilor de distanță. La prima metodă aceștia sunt plasați la exteriorul presei, pe când la a doua, ei sunt așezați între cele două prese. În cazul în care este acceptabilă degradarea temporară a segmentului de zidărie izolat, se poate determina și rezistența medie de rupere la compresiune a zidăriei [50].

## 2.6. Concluzii privind 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. Construcțiile sunt asemănate, 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 reacții chimice. 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.



### 3. DETERMINAREA CARACTERISTICILOR ZIDĂRIEI PRIN PROCEDEE ȘI CONCEPTE MODERNE

Numărul cercetărilor privind cauzele ce produc degradările monumentelor istorice și procedeele tehnice de intervenție asupra conservării lor au luat amploare în ultimii ani, însă mai sunt încă multe completări și standarde de implementat în acest domeniu. Importanța acestor intervenții de detaliu este dată atât prin valoarea lor teoretică cât și prin valoarea istorică și arhitecturală. Multe dintre aceste lucrări istorice care au dăinuit peste trecerea anilor, sunt realizate din zidărie.

Zidăria este un material de construcție neomogen, alcătuit din elemente rigide numite blocuri și materiale sau elemente de legătură. Principalele tipuri de materiale cunoscute, caracteristice zidărilor sunt piatra naturală, piatra artificială arsă (carămidă, blocuri ceramice), iar materialele de legătură uzuale sunt mortarele de diferite tipuri și compoziții în funcție de perioada în care au fost folosite.

Tehnica execuției zidărilor diferă după poziția acestora în construcție, fundație, elevație, interior, exterior, dar și în funcție de epoca în care au fost executate. Inițial piatra, simbol al perenității și puterii, a fost rezervată construcțiilor de apărare și pentru realizarea celor mai importante edificii religioase, mai tarziu folosirea ei pătrunzând treptat și în arhitectura urbană.

Răspândirea zidărilor, ca material de construcție, se datorează următoarelor avantaje pe care acestea le prezintă:

- prezintă o bună rezistență la acțiunea factorilor atmosferici și corosivi, comportare avantajoasă la variații de temperatură și de umiditate;
- se poate realiza din materiale locale (piatră, cărămidă, nisip, var etc.)
- prezintă proprietăți satisfăcătoare sub aspectul capacității de izolare termică și acustică;
- pot fi realizate forme variate în plan, prezentând totodată posibilități largi de a fi tratată arhitectural;
- modul de execuție este relativ simplu, putându-se folosi mâna de lucru cu calificare mijlocie.

Totodată acest timp de construcții, folosite din cele mai vechi timpuri, prezintă și unele dezavantaje, cum ar fi:

- au greutate proprie mare și rezistențe mecanice reduse, ceea ce conduce la realizarea unor elemente masive;
- reprezintă un sistem constructiv care până în prezent are un grad redus de mecanizare;

- consum ridicat de manoperă;
- rezistență mecanică redusă la sarcini dinamice, din adeziunea redusă a mortarului cu pietrele de zidărie.

În urma numeroaselor solicitări mecanice și pentru că zidăria este un material neomogen se formează eforturi complexe în materialele componente. Cărămizile cât și mortarul prezintă comportare bună la compresiune și o comportare nepotrivită la întindere, aceasta fiind principalul motiv care duce la o bună comportare a zidărilor la solicitarea de compresiune.

Zidăria lucrează defavorabil la solicitările de întindere, încovoiere și forfecare, evitându-se în general utilizarea ei în astfel de cazuri. Întinderea are loc în secțiuni nelegate (continue), când efortul de întindere acționează perpendicular pe asize sau în secțiuni legate (țesute), când forța de întindere este paralelă cu rosturile orizontale.

Ruperea rosturilor de mortar sau ruperea cărămizilor duce la frângerea zidăriei în secțiuni nelegate.

Conlucrarea dintre cărămidă și mortar determină rezistența zidăriei a solicitări de întindere. Aceasta este influențată de marca, structura, proprietățile materialelor componente, vechimea mortarului precum și de cât sunt de netede sau rugoase suprafețele cărămizilor.

Ruperea zidăriei în secțiuni legate poate avea loc în zig-zag, în trepte sau prin secțiuni verticale care trec prin mortar și prin blocuri, funcție de aderența tangențială între mortar și blocuri și de rezistența la întindere a blocurilor, rezistența zidăriei la forfecare.

Ca și în cazul solicitării de întindere, ruperea poate avea loc prin secțiuni nelegate sau legate, după cum forța tăietoare acționează paralel cu asizele, respectiv perpendicular pe asize. Solicitarea de strivire (compresiune locală) are loc atunci când numai o parte a secțiunii unui element este supusă la eforturi de compresiune. În astfel de cazuri zonele învecinate nesolicitate (sau slab solicitate) împiedică deformațiile transversale ale porțiunii comprimate, zidăria lucrează mai favorabil, iar rezistența sa la strivire ( $R_{Nstr}$ ) este mai mare decât rezistența la compresiune ( $R_{Nz}$ ). Rezistența la strivire este cu atât mai mare cu cât raportul dintre aria totală (convențională) a elementului ( $A_C$ ) și suprafața strivită ( $A_{Str}$ ) este mai mare.

O primă fază în analiza experimentală o reprezintă stabilirea proprietăților fizico-mecanice și în special a valorilor rezistențelor și a deformațiilor zidăriilor ce definesc structura pe ansamblu.

Prevederile codurilor de referință pentru construcțiile din zidărie solicită ca valorile specifice (de calcul, normate, medii) ale proprietăților de rezistență și deformație să fie cunoscute în urma unor încercări în laborator, valori determinate pe probe de zidărie

confeționate cu materiale ce urmează a fi utilizate efectiv la lucrările de zidărie pentru aplicarea curentă a acestor elemente.

Valorile de calcul utilizabile, în practica de proiectare, se determină pe baza valorilor normate, în urma unei analize probabilistice.

### 3.1. Caracteristicile mecanice ale zidăriei

#### 3.1.1. Tipuri de elemente pentru zidărie

Pentru o bună analiză asupra materialelor ce intră în componența zidărilor seculare, trebuie cunoscute normele actuale care tratează și analizează construcțiile din zidărie și modul de execuție al acestora. Deasemenea în urma analizei noilor reglementari se concluzionează cerințele la care clădirile istorice trebuie aliniate din punct de vedere al rezistenței și al ductilității.

Normele europene asimilate în România (SREN) pentru executarea și analiza zidărilor:

- zidărie ceramică SREN 771-1;
- zidărie din silico-calcar SREN 771-2;
- zidărie din beton (cu agregate obișnuite sau ușoare)- SREN 771-3;
- zidărie din BCA - SR EN 771-4;
- zidărie din piatră artificială - SREN 771-5;
- zidărie din piatră cioplită –SREN 771-6;

Elementele pentru zidărie produse în mod curent în România se încadrează în standardele de referință menționate după cum urmează:

- cărămizi ceramice pline (SREN 771-1);
- cărămizi și blocuri ceramice cu goluri verticale (SREN 771-1);
- elemente pentru zidărie din beton cu agregate obișnuite-grele ( C14/1-94)
- elemente pentru zidărie din beton cu agregate ușoare (SR EN 771-3);
- elemente pentru zidărie din beton celular autoclavizat (SR EN 771-4);
- elemente pentru zidărie din piatră naturală cioplită prelucrată (SR EN 771-6).

#### 3.1.2. Comasarea elementelor pentru zidărie

În funcție de nivelul de îndoială al proprietăților mecanice, normativele împart elementele pentru zidărie în două clase, în funcție de posibilitatea de neîndeplinire a rezistenței la compresiune specificată de producător:

##### a) Clasarea zidărilor în funcție de dimensiunile elementelor componente:

- mărimea golurilor (% din mărimea totală);
- mărimea fiecărui gol (% din mărimea totală);

- dimensiunea cea mai mică a pereților interiori și exteriori (mm);
- dimensiunea totală a pereților interiori și exteriori pe fiecare direcție (% din mărimea elementului pe direcția respectivă), SR EN 1996-1-1-1 (EC6 [1])

Clasificarea componentelor zidărilor în raport cu dimensiunile geometrice sunt folosite în aflarea rezistenței la compresiune a zidăriei și pentru stabilirea domeniului și condițiilor de utilizare a elementelor de zidărie conform Codului P100-1/2013 [2], CR6-2013 [3].

Ținând cont de caracteristicile geometrice menționate elementele pentru zidărie se încadrează în 2 grupe în funcție de forma și dimensiunea golurilor, de modul de realizare și de suprafața pe care acestea o au în întregul bloc ceramic.

CR6-2006 și Codul P100-1/2006 indică utilizarea cărămizilor cu goluri verticale încadrate în grupa 2 , respectiv CR6-2013 și prin Codul P100-1/2013.

**b) Clasificarea în raport cu profilul exterior al elementelor**

Zidăria cel mai des utilizată în România este alcătuită din elemente cu toate fețele plane (fără amprente sau profilație cu sau fără cavitate interioară de prindere, elemente cu locaș de mortar, elemente cu locaș de mortar și amprente suplimentare pentru mortar și elemente cu profilație "nut și feder".

**3.2. Determinarea rezistenței zidărilor**

Partea experimentală are drept scop încercări și prelucrări pe combinații de elemente din zidărie și mortar. Acestea sunt realizate în conformitate cu indicațiile specificate în standardul SR EN 1052-1 „Determinarea rezistenței la compresiune a zidăriei” [4]. Probele analizate sunt alcătuite din mortare de clase utilizând rețetele indicate în Normativ C17/82 și standardul SR EN 998-2:2004.

**3.2.1 Geometria și mărimea elementelor de zidărie**

Geometria și mărimea cărămizilor se iau conform cu specificațiile din standardele în vigoare [5] [6]:

În tabelul 3.1 sunt clasificate elementele din argilă arsă utilizate în zidărie.

Tabelul 3.1

Parametrul de referință	Elemente pline	Elemente cu goluri verticale				Elemente cu goluri orizontale	
	Grupa 1	Grupa 2		Grupa 3		Grupa 4	
Volumul golurilor (% din volumul brut)	≤ 25%	>25% ≤55%		>55% ≤70%		≤70%	
Volumul fiecărui gol (% din volumul brut)	≤ 12,5%	Fiecare din golurile curente ≤1%; total goluri de manipulare ≤12,5%		Fiecare din golurile curente ≤1%; total goluri de manipulare ≤12,5%		Fiecare din golurile curente ≤1%; total goluri de manipulare ≤12,5%	
Grosimea minimă a pereților interior și exterior(mm)	Nu se limitează	Perete		Perete		Perete	
		interior	exterior	interior	exterior	interior	exterior
		5	8	3	6	6	8
Grosimea cumulată a pereților interior și exterior	Nu se limitează	≥16%		≥12%		Nu se aplică	

exterior (% din lățimea totală a corpului)				
--------------------------------------------	--	--	--	--

Determinarea densității aparente și a densității absolute a blocurilor de zidărie este necesară pentru caracterizarea zidăriei. Abaterea dimensională față de dimensiunile de bază trebuie să se încadreze în funcție de clasele de toleranță în domeniile de toleranță T1 sau T2.

### **3.2.2 Definierea rezistenței la compresiune a componentelor de zidărie.**

Conform SR EN 771-1 rezistența la compresiune a elementelor pentru zidărie este declarată ca rezistență medie, pentru elemente din argilă arsă, iar pentru elemente din BC, conform SR EN 771-4 A.

Pentru elementele de zidărie, pentru determinarea rezistențelor de proiectare privind rezistența la compresiune, încovoiere și forfecare, este aleasă, rezistență standardizată ( $f_b$ ) care este definită conform SR EN 771-1 în cazul elementele din argilă arsă și conform SR EN 771-4 pentru elementele de tip BCA. Conform noilor norme de proiectare, producătorul elementelor folosite la zidărie, este obligat

Să specifice în certificatele de calitate ce însoțesc produsele, rezistența standardizată ( $f_b$ ) determinată din încercări pe respectivele produse comercializate.

Calculul rezistenței standardizată se obține din rezistența medie obținută prin încercări efectuate conform SR EN 772-14 Anexa A (informativă) prin multiplicare cu coeficienți în funcție de regimul de condiționare a probelor ( $\delta_{cond}$ ) și în funcție de factorul de formă al epruvetelor încercate ( $\delta$ ).

Conform relației de calcul a rezistenței la compresiune a elementelor din zidărie, avem  $f_b$ :

$$f_b = f_{med} \cdot \delta \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (3.1)$$

unde:

$\delta = 0.81 \dots 1.12$ , în funcție de dimensiunile blocurilor de zidărie.

Rezistența la compresiune a elementelor pentru zidărie este definită prin două valori, după poziția forței de compresiune în raport cu fața de pozare normal pe fața de pozare  $f_b$  și paralel cu fața de pozare în planul peretelui  $f_{bh}$  (compresiune pe capete).

Zidăria cu rosturi verticale umplute parțial sau neumplute și zidăria cu rosturi întrerupte (cu mortarul aplicat numai pe pereții exteriori ai elementelor pentru zidărie cu goluri verticale) nu poate fi folosită în prezent în România deoarece lipsesc date suficiente de sigure privind comportarea acestora la acțiunea seismică.

Zidăria cu rosturi verticale tip "nut și feder/lambă și uluc", indiferent de tipul și dimensiunile elementelor pentru zidărie, va fi utilizată numai pentru elemente nestructurale, și numai în conformitate cu prevederile din Codul CR6-2006 [7] și din Codul P100-1/2013 [2].

În funcție de poziția forței de compresiune, în raport cu fața de așezare, se definesc două valori pentru rezistența standardizată la compresiune ( $f_b, f_{bh}$ ) și anume normal pe fața rostului orizontal (de așezare)  $f_b$  și paralel cu fața rostului orizontal, în planul peretelui  $f_{bh}$  (compresiune pe capete).

Cele două valori ale rezistenței standardizate la compresiune ( $f_b, f_{bh}$ ) specificată în faza de proiectare sunt determinate și declarate de către producător.

Determinarea rezistenței la compresiune normal/paralel cu fața rostului de pozare se face în conformitate cu specificațiile prezentate în standardul SR EN 772-1 [8].

“ Metode de încercare a zidăriei “ – Determinarea rezistenței la compresiune.

Rezistența standardizată la compresiune se obține prin aplicarea relației (3.2)

$$f_b = \frac{F_i}{l_i \cdot w_i} \left[ \text{N/mm}^2 \right] \quad (3.2)$$

unde:

$l_i$  - lungimea suprafeței pe care acționează platanul presei exprimată în [mm];

$w_i$  - lățimea suprafeței pe care acționează platanul presei exprimată în [mm];

$F_i$  - forța de rupere maximă capabilă a fiecărui element de zidărie exprimată în [N];

$f_b$  - rezistența standardizată la compresiune normal pe fața rostului orizontal în [ $\text{N/mm}^2$ ];

Rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei,  $f_k$ , se determină la fel ca rezistența standardizată la compresiune și anume pe baza rezultatelor încercărilor. Aceste încercări se efectuează conform prevederilor din SR EN 1052-1 [4]. În prezent în România nu există reglementări naționale pentru determinarea rezistențelor pe probe de zidărie.

Rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei realizată cu rosturi verticale umplute, atunci când nu există date ale încercărilor, cum este cazul zidărilor din componența clădirilor istorice, se determină cu relația (3.3) dintre rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei,  $f_k$ , și rezistența dintre corpurile și mortarul ce alcătuiesc blocul de zidărie,

$$f_k = K \cdot f_b^{0,70} \cdot f_m^{0,30} \left[ \text{N/mm}^2 \right] \quad (3.3)$$

unde:

K – constantă care depinde de tipul corpului de zidărie și de tipul mortarului; valorile lui K sunt date în P100-1/2013.;  $K = 0.45 \dots 0.50$

$f_b$  – rezistența normalizată la compresiune a corpurilor de zidărie, pe direcția solicitării aplicate, în [ $\text{N/mm}^2$ ];

$f_m$  – rezistența la compresiune a mortarului, în [ $\text{N/mm}^2$ ];

Tabelul 3.2

Elemente pentru zidărie	Rezistența medie a mortarului $f_m$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	M10	M5,M2,5	M1
Ceramice	0,30	0,20	0,10
Beton obișnuit sau ușor	0,20	0,15	0,10
Beton celular autoclavisat	-	0,15	0,10

Pentru utilizarea relației de calcul (3.3) trebuie ca grosimea zidăriei să fie egală cu lățimea sau lungimea corpului, astfel încât să nu existe rosturi de mortar paralel cu fața peretelui pe toată lungimea acestuia sau pe orice porțiune din aceasta.

În cazul zidărilor realizate cu mortar în strat subțire, cu grosime mai mică sau cel mult egală cu 3 mm, relația de calcul dintre rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei  $f_k$  și rezistența corpurilor și a mortarului se stabilește prin reglementări specifice, astfel poate fi folosită relația (3.4) din EC6 [1]:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} \quad (3.4)$$

Pentru acest tip de zidărie, utilizarea formulei (3.4) este valabilă numai dacă rezistențele blocurilor și cele ale mortarului sunt imitate, astfel rezistența blocurilor  $f_b \cong 50$  N/mm<sup>2</sup> și cele ale mortarului rezistența mortarului  $f_m \cong 10$  N/mm<sup>2</sup>. Coeficientul  $K$  se va lua conform P100-1/2013 [2].

În [9] SR EN 998-2 [9] nu sunt prevăzute limite pentru grosimea rosturilor realizate cu mortar în strat subțire, limita de 3 mm este menționată pentru a garanta că mortarul în rost subțire asigură o rezistență sporită zidăriei în conformitate cu relația (3.4).

În absența rezultatelor încercărilor și a unei bănci de date complete privind rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei realizată cu diferite combinații de corpuri de zidărie și mortare, rezistențele caracteristice la compresiune ale zidărilor sunt menționate și specificate în anexele codurilor de proiectare în vigoare (CR6-2013).

Relația (3.3) a fost verificată prin calcul pentru toate tipurile de zidării prevăzute în STAS 10109/1-1982 și coeficienții  $K$  sunt dați și în prezentul Cod CR6-2013 [3]. Rezistențele caracteristice rezultate au fost de 1,9 până la 3,0 ori mai mari decât rezistențele de calcul date în STAS 10109/1-1982 [10].

Banca națională de date pentru rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei realizată cu diferite combinații de corpuri de zidărie și mortare de uz curent este foarte redusă. Datele existente la INCERC Bucuresti se referă numai la zidării realizate din cărămizi pline 240x155x63 mm și cărămizi cu goluri verticale 240x115x88 mm, cu mortar M 2.5, M5 și M10.

Pentru verificări, în faze intermediare de execuție, înainte de întărirea mortarului din rosturile zidăriei, pentru calculul rezistențele mortarului, vor fi afectate cu coeficienții de reducere conform tabelui 3.3.

Tabelul 3.3

Marca mortarului	Vârsta mortarului în zile			
	3	7	14	28
	Coeficienții de reducere a mărcii mortarului			
M1; M2.5	0.20	0.35	0.60	1.0
M5; M10	0.25	0.45	0.70	1.0

Până la asimilarea SR EN 771-1-6 [5], ca normă națională, în cazul în care solicitările sunt paralele cu direcția rosturilor orizontale, rezistența caracteristică la compresiune poate fi determinată de asemenea în funcție de tipul mortarului cu relațiile (3.3) sau (3.4), utilizând rezistența normalizată la compresiune a corpului de zidărie,  $f_b$ , obținută din încercări în care direcția de aplicare a încărcării pe epruveta de încercare este aceeași cu direcția solicitării în zidărie. Pentru corpurile de zidărie din Grupa 2, coeficientul K va fi apoi multiplicat cu 0,5.

Pentru zidăria realizată cu mortar de uz curent în care corpurile din beton din Grupa 2 sunt utilizate cu goluri verticale umplute complet cu beton de umplură, valoarea lui  $f_b$  trebuie să fie obținută considerând corpurile ca fiind din Grupa 1 cu rezistența la compresiune corespunzând celei mai mici dintre următoarele valori: rezistența la compresiune a corpului sau a betonului de umplură [11].

Valoarea rezultată din relaria (3.4) se reduce cu 20% în cazul în care dimensiunea h a blocului de zidărie este egală cu l sau L ( fig. 3.1(a) Nu există mortar în plan paralel cu peretele și fig. 3.1(b) Există mortar în plan paralel cu peretele

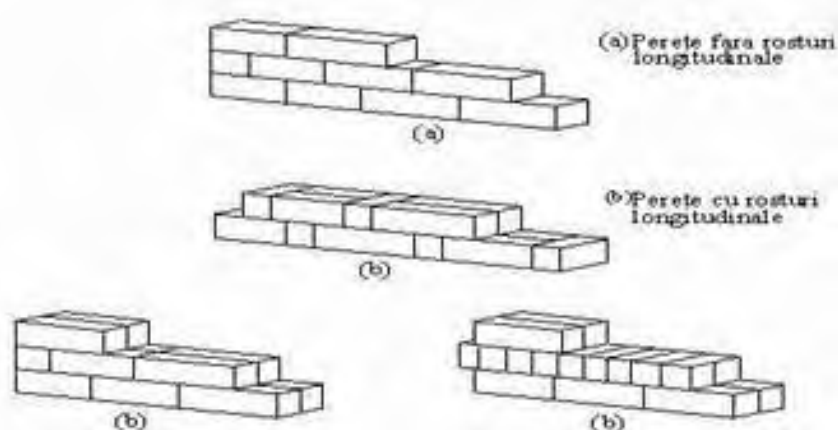


Fig 3.1. Tipuri de zidării (a) Nu există mortar în plan paralel cu peretele și (b) Există mortar în plan paralel cu peretele [11]



Rezistențele caracteristice, la compresiune ( $N/mm^2$ ), ale zidărilor, cu cărămizi pline din argilă arsă 240 x115x63 mm, de exemplu, sunt indicate în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

Rezistența cărămizii $f_{med}$ ( $N/mm^2$ )	Țesere	Rezistența medie a mortarului ( $N/mm^2$ )			
		M10	M5	M2.5	M1
7,5	Fig.3.1.a	3,50	2,85	2,30	1,75
	Fig.3.1.b	2,80	2,30	1,85	1,40

Rezistența de proiectare (de calcul) la compresiune a zidăriei se determină cu relația:

$$f_d = m_z \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (3.5)$$

unde:

$m_z = 0.75...1.25$  (2.0 la calculele din faza de execuție) – coeficientul condițiilor de lucru;

$f_k$  – rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei;

$\gamma_M = 2.2...3.0$  - coeficientul de siguranță al materialului, în consecința condițiilor de control al calității producției de materiale (elemente/mortar) și a execuției.

### 3.2.3. Definirea rezistenței la forfecare în rost orizontal a zidăriei

#### a) Rezistența unitară caracteristică a zidăriei la forfecare în rost orizontal

Rezistența unitară caracteristică inițială la forfecare a zidăriei (fig.3.2) -  $f_{vk0}$ , în  $[N/mm^2]$ , este preluată din documentul normativ de referință SR EN 1996-1-1 [1].

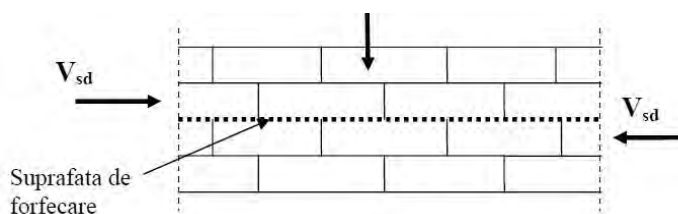


Fig 3.2. Rezistența unitară caracteristică inițială la forfecare a zidăriei -  $f_{vk0}$ , în  $[N/mm^2]$

Rezistența unitară caracteristică la forfecare a zidăriei,  $f_{vk}$ , realizată cu mortar pentru zidărie, pentru utilizare generală (G), cu toate rosturile umplute, se va lua egală cu cea mai mică dintre valorile:

i . Elemente pentru zidărie din grupa 1

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d$$

$$f_{vk} = (0,034 f_b + 0,14 \sigma_d)$$

ii . Elemente pentru zidărie din grupa 2

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d$$

$$f_{vk} = 0,9 (0,034 f_b + 0,14 \sigma_d)$$

unde:

$f_{vk0}$  - rezistența unitară caracteristică inițială la forfecare, conform tabelului 3.5;

$\sigma_d$  - efortul unitar de compresiune perpendicular pe planul de forfecare în peretele de zidărie, în secțiunea considerată, corespunzător încărcărilor de proiectare;

$f_b$  - rezistența standardizată la compresiune a elementelor pentru zidărie.

#### **b) Rezistența de proiectare (de calcul) a zidăriei la forfecare în rost orizontal**

Rezistența unitară de proiectare a zidăriei la forfecare în rost orizontal,  $f_{vd}$ , se calculează cu formula:

$$f_{vd} = m_z \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \quad (3.6)$$

unde:

- $\gamma_M$ , coeficientul de siguranță pentru material, v-a fi ca și la solicitarea de compresiune;
- $m_z$ , coeficientul condițiilor de lucru, se va lua la fel ca și la solicitarea de compresiune.

### **3.2.4 Definierea rezistenței unitare la întindere din încovoiere perpendicular pe planul zidăriei**

În cazul solicitării la încovoiere, produsă de forțe perpendiculare pe planul zidăriei, se iau în considerare rezistențele corespunzătoare următoarelor situații de rupere:

- $f_{x1}$  rezistența la încovoiere după un plan de rupere paralel cu rosturile orizontale;
- $f_{x2}$  rezistența la încovoiere după un plan de rupere perpendicular pe rosturile orizontale.

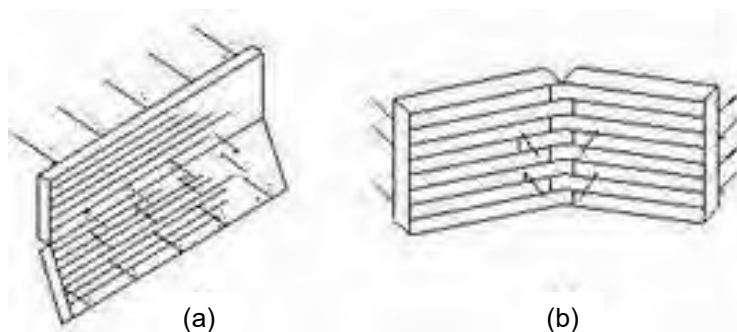


Fig 3.3. Ruperea zidăriei încovoiate perpendicular pe planul peretelui (a) Plan de rupere paralel cu rosturile orizontale,  $f_{x1}$ ; (b) Plan de rupere perpendicular pe rosturile orizontale,  $f_{x2}$

#### **a) Rezistențele unitare caracteristice la întinderea din încovoiere perpendicular pe planul zidăriei**

În cazul în care date experimentale, ale valorile rezistențelor unitare caracteristice la încovoiere ale zidăriei, nu sunt disponibile, și prezintă toate rosturile complet umplute cu mortar pentru zidărie, pentru utilizare generală (G),  $f_{x1}$  și  $f_{x2}$ , se vor lua din tabelul 3.5.

Tabelul 3.5.

Tipul elementelor	Rezistența medie a mortarului			
	M10*, M5		M2,5	
	$f_{xk1}$	$f_{xk1}$	$f_{xk1}$	$f_{xk1}$
Argilă arsă, cu elemente pline sau cu perforații verticale	0,240	0,480	0,180	0,360
Beton celular autoclavizat	0,080	0,160	0,065	0,130

\*Mortarul M10 nu se utilizează în cazul elementelor cu  $f_{med} = 5 \text{ N/mm}^2$  și pentru elemente din BCA

În cazul zidăriilor cu rosturi verticale de tip "nut și feder", (lamba și uluc) rezistențele caracteristice la încovoiere  $f_{xk1}$  și  $f_{xk1}$  trebuie declarate de către producător.

**b) Rezistențele unitare de proiectare la întindere din încovoiere perpendicular pe planul zidăriei**

Rezistențele de proiectare la întindere din încovoiere, perpendicular pe planul peretelui, ale zidăriei se calculează cu formulele:

$$f_{xd1} = m_z \frac{f_{xk1}}{\gamma_M} \quad (3.7)$$

$$f_{xd2} = m_z \frac{f_{xk2}}{\gamma_M} \quad (3.8)$$

unde:

- $\gamma_M$ , coeficient de siguranță pentru material, se va lua la fel ca și la solicitarea de compresiune;
- $m_z$ , coeficientul condițiilor de lucru, se va lua la fel ca și la solicitarea de compresiune;

**3.3. Caracteristicile de deformabilitate ale zidăriei**

În urma participării la cursul dl prof.dr ing. Radu Petrovici „Proiectarea seismică a structurilor și elementelor nestructurale din zidărie” [12] pentru modelele de calcul pentru zidăriile nearmate, acestea fiind cel mai des întâlnite în cazul construcțiilor cu pereți masivi, trebuie să se țină cont de următorii factori:

- în cazul pereților nearmați toate eforturile trebuie preluate de elementele componente ale ZNA, alcătuirea zidăriei având un rol decisiv în modul de preluare și descărcare a încărcărilor;
- geometria peretelui, și anume forma secțiunii transversale, raportul înălțime/grosime al peretelui cât și existența unor zone slabe (din faza de proiectare/execuție);

- condițiile de rezemare pe contur ale pereților structurali și anume modul de fixare la nivelul planșeului, modul de fixare laterală și efectele golurilor asupra condițiilor de rezemare;
- analiza condițiilor particulare de aplicare a încărcărilor cum ar fi excentricitățile de aplicare din alcătuirea constructivă, excentricitățile din imprecizia de execuție și din proprietățile diferite ale materialelor ce alcătuiesc zidăria, dar și eforturile de lungă durată deoarece numeroase elemente constructive pot fi afectate de fenomene reologice, astfel deformându-se sub efectul eforturilor de lungă durată;
- proprietățile zidăriei, legea constitutivă la compresiune a zidărilor  $\sigma - \varepsilon$  (elortul unitar de compresiune perpendicular pe rosturile de așezare și deformația specifică asociată zidăriei) și de proprietățile de lungă durată ale zidăriei.

Pentru calculul structurilor cu pereți din zidărie solicitați la forțe laterale care acționează în planul lor, una dintre problemele cele mai controversate este determinarea caracteristicilor de deformabilitate ale zidăriei. Dificultatea rezultă din faptul că aceste caracteristici au valori care depind de numeroși factori a căror variație este incontrolabilă în faza de proiectare. Acest tip de comportare al zidărilor, la compresiune, de la stadiul de solicitare fără eforturi interioare și până la cel de rupere, este descris prin relația dintre efortul unitar normal ( $\sigma$ ) și deformația specifică axială asociată ( $\varepsilon$ ).

Această relație este întâlnită în literatura de specialitate și sub denumirea de *curbă caracteristică sau legea constitutivă*.

### **3.3.1. Relația efort unitar – deformație specifică ( $\sigma - \varepsilon$ )**

Pentru calculul rezistenței secțiunilor elementelor structurale și nestructurale din zidărie, se folosește o lege (relația efort unitar - deformație specifică) de tip elasto-plastic cu ductilitate limitată și fără rezistență la întindere, care schematizează comportarea reală a zidăriei (valori caracteristice  $f_k$  și valori de proiectare  $f_d$ ) și poate avea una dintre următoarele forme (fig.3.4):

- liniară (fig.3.4.a);
- liniar dreptunghiulară (fig.3.4.b);
- parabolic-dreptunghiulară (fig.3.4.c).

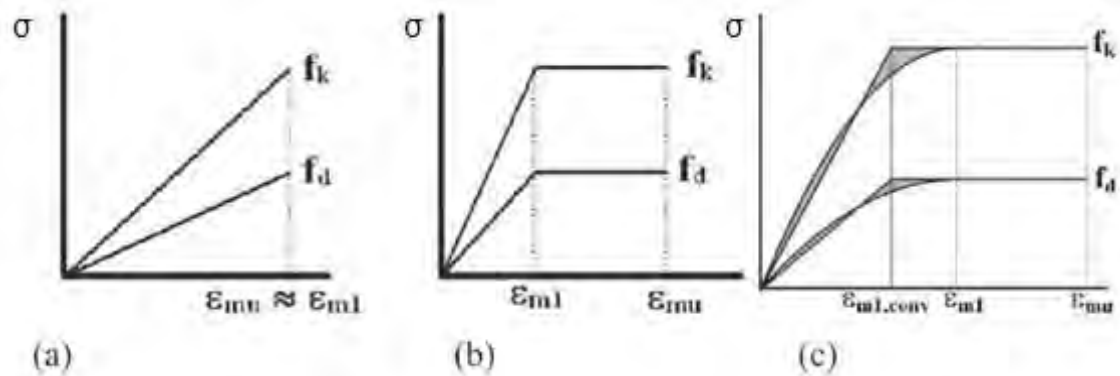


Fig 3.4. Relația efort unitar – deformație specifică ( $\sigma - \epsilon$ ) pentru zidărie [3]

Aliura curbelor caracteristice, conform CR6 2006 [7], este determinată de:

- proprietățile de rezistență și de deformabilitate ale elementelor pentru zidărie și mortar;
- particularitățile geometrice exterioare și interioare ale elementelor pentru zidărie [3].

Pentru zidăriile efectuate cu cărămizi pline, curba  $\sigma - \epsilon$  are o formă asemănătoare cu cea a betonului simplu. Pe baza a numeroase încercări în laboratoare de specialitate s-a trasat curba generalizată ( $\sigma - \epsilon$ ), din figura 3.5 (Comentarii [7]).

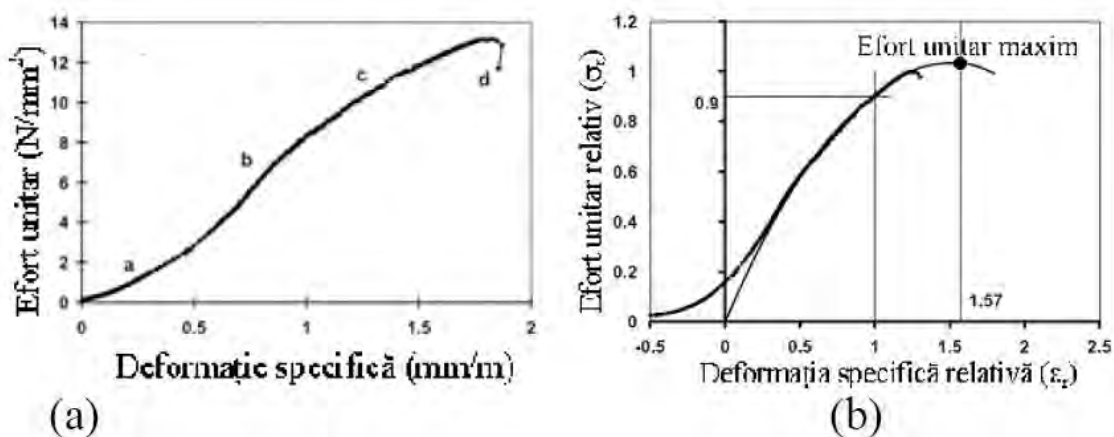


Fig 3.5. Curba experimentală  $\sigma - \epsilon$  pentru zidărie

a) Reprezentarea datelor experimentale, b) Curba  $\sigma - \epsilon$  cu valori relative [7]

În figura 3.5. (b) s-a notat

○ Efortul unitar relativ 
$$\sigma_r = \frac{\sigma}{\sigma_{max}} \quad (3.9)$$

○ Deformația specifică relativă 
$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_{90}} \quad (3.10)$$

unde  $\epsilon_{90}$  este deformația specifică la efortul unitar relativ  $\sigma_r = 0,9$ .

Din comportarea cvasi-elastică a blocului de zidărie, respectiv pronunțat plastică a mortarului, rezultă diagrama din figura 3.6.

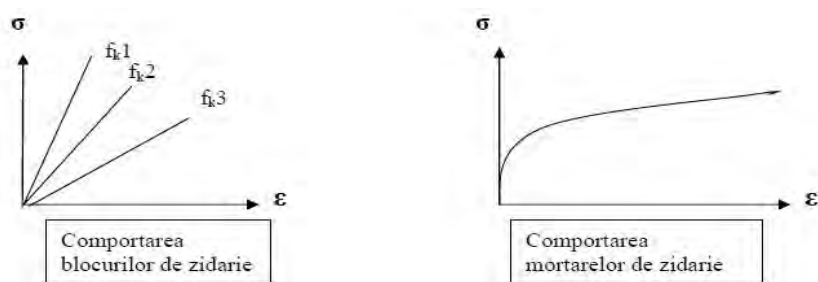


Fig 3.6. Diagrama cvasi-elastică a blocurilor și a mortarelor de zidărie [3]

Forma legii *efort -deformație specifică* ( $\sigma - \epsilon$ ) depinde de caracteristicile elementelor componente ale zidăriei, de tipul mortarului și de modul de țesere a cărămidilor și umplerea rosturilor.

Determinarea relației ( $\sigma - \epsilon$ ) cât și a parametrilor caracteristici ( $\epsilon_{m1}$  și  $\epsilon_{m2}$ ) se face conform SR EN 1052-1 [4] prin încercări la compresiune.

În cazul în care aceste deformații și parametrii nu sunt cunoscute (specificate de producător), cum este cazul zidărilor realizate cu mult înaintea codurilor de proiectare, se consideră că legea ( $\sigma - \epsilon$ ) este liniară, valoarea modulului de elasticitate longitudinal ( $E$ ) cât și transversal se reduc, față de valorile date de CR 6-2013 cu 25%, deformația specifică ultimă,  $\epsilon_u$  se calculează cu formule speciale în funcție de tipul de cărămidă utilizat (cărămidă arsă, BCA sau cărămidă cu goluri) iar factorul de suprazistență definit de P100-1-2013, cap.8 [2] se consideră,  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$  [7], (fig.3.7).

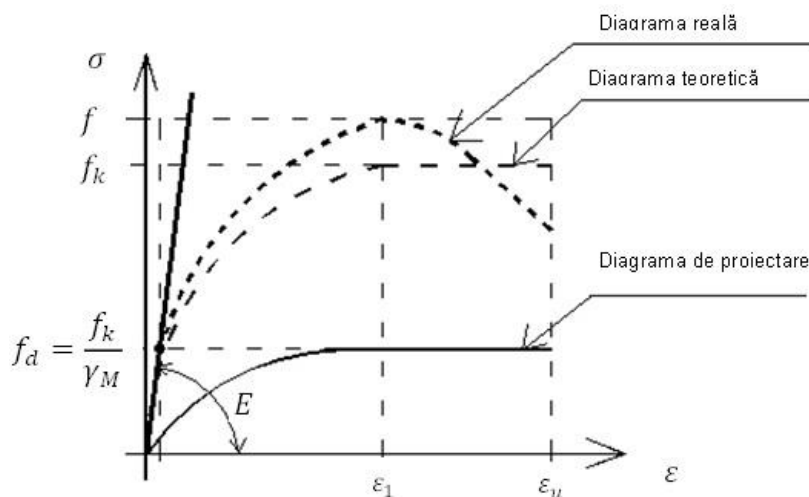


Fig 3.7. Relația efort – deformație pentru zidăria solicitată la compresiune axială [2]

Relația *efort – deformație*, permite identificarea mai multor proprietăți ale materialului, cum ar fi:

- tipul comportării: liniar sau neliniar;
- caracterul ruperii: fragil sau ductil;

- energia de rupere;
- modulii de elasticitate.

### 3.3.2. Determinarea modulului de elasticitate al zidăriei

#### a) Modulul de elasticitate longitudinal, $E_z$

Pentru situațiile de proiectare în care este nevoie de determinarea deformațiilor pe direcție longitudinală a blocurilor de zidărie se folosesc următoarele tipuri de modul de elasticitate [3]:

- modulul de elasticitate secant de scurtă durată,  $E_z$ ;
- modulul de elasticitate de lungă durată,  $E_{zld}$ .

Modulul de elasticitate secant de scurtă durată,  $E_z$ , se determină cu relația:

$$E_z = \alpha \cdot f_k \quad (3.11)$$

unde:

$f_k$  – rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei;

$\alpha$  - este caracteristica de elasticitate a zidărie, cu valori între 400...1000.

Datorită diversității datelor existente în literatura de specialitate internațională din cauza diferențelor între modalitățile de definire ale modulului de elasticitate, sintetizarea celor mai importante prevederi ale reglementărilor tehnice privind valorile  $\sigma_{inf}$  și  $\sigma_{sup}$  (limitele domeniului în care se calculează modulul de elasticitate secant) s-a făcut în tabelul 3.6 [7].

Tabelul 3.6

Reglementarea	$\sigma_{inf}$	$\sigma_{sup}$	Observații
SR EN 1996-1-1	0	1/3 $\sigma_{max}$	$\sigma_{max}$ efort unitar maxim de încărcare
Nordtest-Finlanda	0,005 $f_c$	0,35 $f_c$	$f_c$ rezistența la compresiune a zidăriei
UIC	0,1 $\sigma_r$	0,5 $\sigma_r$	$\sigma_r$ efort unitar de rupere
USA	0,005 $f_m$	0,33 $f_m$	$f_m$ rezistența specificată la compresiune
Italia (1987)	0,1 $f_k$	0,4 $f_k$	$f_k$ rezistența caracteristică la compresiune

În cazul zidăriei nearmate, simple ZNA, modulul de elasticitate secant de scurtă durată, ( $E_z$ ), va fi luat conform tabelului 3.7 [13], în funcție de rezistența caracteristică a zidăriei la compresiune  $f_k$ .

Tabelul 3.7

Tipul calculului	Zidărie cu cărămidă din argilă arsă/beton	Zidărie cu elemente din BCA
Stabilirea caracteristicilor dinamice	1000 $f_k$	850 $f_k$
Deformații în ULS	500 $f_k$	400 $f_k$
Deformații în SLS (sisteme static nedeterminate)	800 $f_k$	650 $f_k$

Modulul de elasticitate secant de scurtă durată  $E_z$  se determină prin încercări conform SR EN 1056-1. În absența acestor valori modulul de elasticitate secant de scurtă durată al

zidăriei nearmate  $E_z$ , zidărie executată cu elemente din grupele 1, 2, sau 2S, cu mortar pentru zidărie pentru utilizare generală (G) sau cu mortar pentru rosturi subțiri (T), având toate rosturile umplute cu mortar, se calculează cu relația (3.12) [3]:

- $E_z = 1000 f_k$  pentru elementele din argilă (3.12.a)

- $E_z = 800 f_k$  pentru elementele din BCA (3.12.b)

Trebuie menționat faptul că standardele de specialitate nu diferențiază modulul de elasticitate în funcție de greutatea specifică deși sunt propuse relații cu ajutorul cărora se poate ține seama de greutatea proprie a zidăriei, dar această corecție este importantă doar în cazul zidărilor ușoare. De exemplu, pentru aceleași valori ale rezistenței specifice la compresiune, dacă greutatea specifică a zidăriei ușoare este numai 60% din cea a zidăriei cu greutate normală, modulul de elasticitate scade cu peste 50%.

Rezultatele experimentale realizate până în prezent, în literatura de specialitate, au arătat numai parțial concordanță cu mărimile deduse pe cale teoretică punând în evidență împrăștierea foarte mare a rezultatelor.

Încercările raportate, produse în Australia, efectuate pe 39 de prisme de câte trei cărămizi zidite cu mortar 1:1:6 (ciment:var:nisip) au arătat valori ale modulului de elasticitate între limitele  $E_z = (360 \div 780)R_{pr}$ , unde  $R_{pr}$  reprezintă rezistența maximă a prisme.

Deasemenea atât în Statele Unite ale Americii cât și în India, s-au desfășurat cercetări extinse pentru analiza parametrilor care influențează valoarea modulului de elasticitate, iar în urma acestor încercări s-a evidențiat un domeniu foarte larg de variație al modulului longitudinal de elasticitate în funcție de rezistența la compresiune a prismelor.

Determinarea modulului de elasticitate prin încercarea pereților cu dimensiuni apropiate de cele întâlnite curent în cazul construcțiilor este rar folosită, în principal din considerente de cost.

#### b) Modulul de elasticitate de lungă durată, $E_{zld}$

Modulul de elasticitate de lungă durată,  $E_{zld}$ , este definit de standardul SR EN 1996-1-1 [1], pe baza modulului de elasticitate de scurtă durată, redus conform relației (3.13), pentru a ține cont de efectele curgerii lente:

$$E_{zld} = \frac{E_z}{1 + \phi_\infty} \quad (3.13)$$

unde:

$$\phi_\infty = 0.5 \dots 3 \text{ coeficientul final de curgere lentă dat în tabelul 3.8 [3]}$$

Comportarea sub sarcini de lungă durată depinde de mărimea efortului de compresiune pe secțiunea elementului.



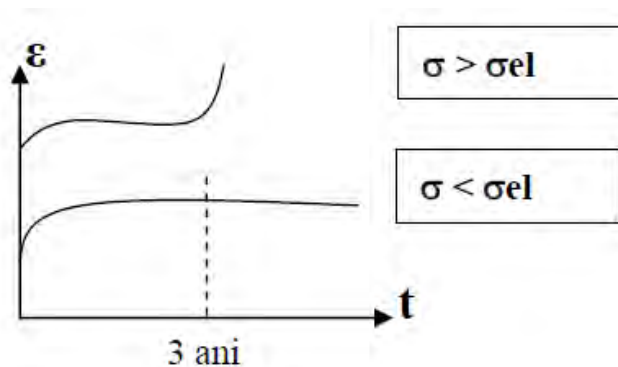


Fig 3.8. Comportarea zidăriei la solicitari de lungă durată [3]

### 3.3.3 Determinarea modulul de elasticitate transversal, $G_z$

Pentru materialele elastice și izotrope există relația (3.14) cunoscută între modulul de elasticitate longitudinal ( $E_z$ ) și cel transversal ( $G_z$ ).

$$G_z = \frac{E_z}{2(1+\nu)} \quad (3.14)$$

unde:

$\nu$  - este coeficientul lui Poisson [7]

Încă din anul 1963, s-a propus pentru zidărie valoarea  $\nu = 0.25$  ceea ce a condus la relația (3.15) utilizată pe scară largă în prezent. Pentru zidărie nearmată, cu elemente pentru zidărie din toate grupele (1, 2, 2S)

$$G_z = 0,4 E_z \quad (3.15)$$

unde:

$E_z$  - modulul de elasticitate secant de scurtă durată, cu valorile corespunzătoare situației de proiectare respective [7].

În figura 3.9 se prezintă variația modulului de elasticitate transversal ( $G_z$ ) ținută prin încercări la forfecare de compresiune [14]

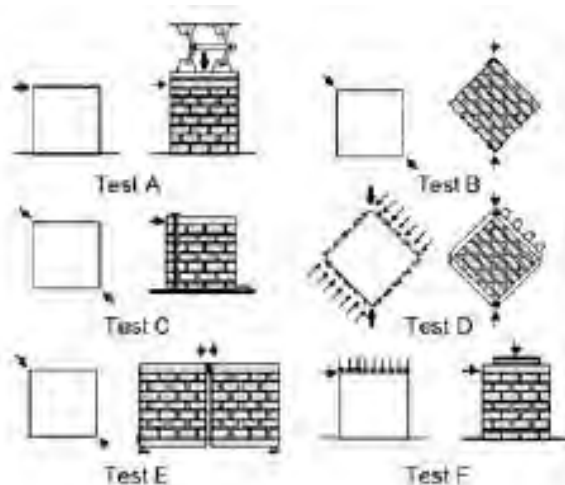


Fig 3.9 Scheme de încărcare pentru determinarea modulului de elasticitate transversal [14]

Studiile de specialitate [15] au arătat pentru elementele de zidărie cu grad ridicat de anizotropie că rigiditatea este bine să fie obținută pe elemente de dimensiuni mari.

În lipsa unor date mai exacte, stabilite prin încercări, modulul de deformație transversală echivalent pentru pereții de zidărie confinată (ZC) se va calcula cu relația (3.16) [3]:

$$G_{ZC (ZIA)} = 0,40 E_{ZC (ZIA)} \quad (3.16)$$

### 3.3.4. Determinarea proprietăților fizice ale zidăriei

Următoarele proprietăți fizice, ale zidăriei, sunt relevante pentru comportarea zidărilor:

- curgerea lentă;
- variațiile de volum datorate modificărilor umidității;
- dilatarea termică.

Valorile de proiectare ale acestor proprietăți trebuie să fie determinate prin încercări. În absența unor date mai exacte, valorile de proiectare respective vor fi luate, orientativ, în limitele indicate în tabelul 3.8 [3].

Tabelul 3.8.

Tipul elementului de zidărie	Coeficientul de curgere lentă $\Phi_{\infty}$	Valoarea ultimă de umflare la umiditate sau contracție mm/m	Coeficientul de dilatare termică, $\alpha_{tz} \cdot 10^{-6}/1^{\circ}C$
	Domeniul de variație (valoarea de referință)		
Ceramice	0,5÷1,5	-0,2÷+1,0	4÷8 ( $5 \times 10^{-6}$ )
Beton greu și piatră artificială	1,0÷2,0	-0,6÷-0,1	6÷12
Beton cu agregate ușoare	1,0÷3,0	-1,0÷-0,2	8÷12
Beton celular autoclavizat	1,0÷2,5	-0,4÷+0,2	7÷9 ( $8 \times 10^{-6}$ )

Curgerea lentă în cazul zidărilor depinde de factori precum nivelul de încărcare, condițiile de temperatură/umiditate dar și acțiuni ciclice cum ar fi vânt, variații de temperatură sau vibrații induse ce au efect sinergetic crescând posibilitatea de deteriorare a materialului. Din aceste cauze, pot avea loc degradări severe, în funcție de timp la structura turnurilor înalte și la cea a coloanelor puternic încărcate [15].

În mod normal etapele de curgere lentă pot fi ușor delimitate și anume:

- prima etapă este reprezentată de perioada în care viteza curgerii lente descrește gradual;
- a doua etapă este când viteza de curgere lentă se menține aproximativ constantă;
- a treia etapă constă în creșterea rapidă a vitezei curgerii lente, ducând la cedarea elementului (fig. 3.10) .

Un anumit nivel de încărcare trebuie să fie aplicat pentru ca să se ajungă la ultimele două etape. În stadiul al doilea, *fisurile verticale fine și difuze se propagă și se transformă în macro-fisuri ce pot duce la o posibilă cedare din curgerea lentă a materialului*. Astfel, pentru niveluri de tensiuni mai mici de 40%, din rezistența la compresiune uniaxială, doar etapa inițială poate să fie proporțională cu solicitarea aplicată. Curgerea lentă specifică se reduce cu creșterea vârstei la încărcare, în principal datorită hidratării continue a mortarului fapt care reduce numărul micro porilor și reduce deformațiile în timp, astfel că zidăria, ca și betonul, poate fi considerată ca *un material vâscoelastic ce îmbătrânește, în limitele nivelului de solicitare ( $\sigma < 0,4f_c$ )*.

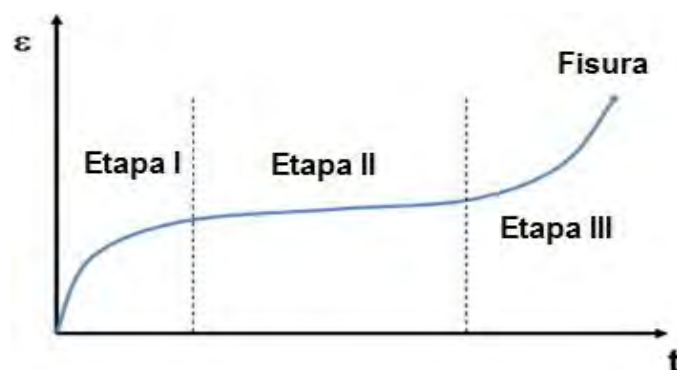


Fig .3.10. Etapele de curgere lentă ale zidăriei

În timpul cercetărilor experimentale, în cazul prăbușirii Turnului din Pavia, au fost efectuate numeroase teste pentru identificarea comportamentului de curgere lentă, în speranța găsirii motivului care a dus la prăbușirea turnului. Deasemenea au fost analizați factorii rezultați în urma testelor de laborator care afectează curgerea lentă. Scopul acestor proceduri de testare a fost înțelegerea fenomenului și individualizarea parametrilor importanți la care să se poată face referințe, ca fiind indicatori de risc la structurile reale, existente.

După efectuarea primele teste pe prisme la dimensiuni de 400x600x700mm au fost făcute teste pe termen lung pe șase prisme provenite din Turnul din Pavia și una de la cripta din Monza, care au simulat efectivul de 1000 de zile. Având în vedere că testele pe termen lung au nevoie de condiții speciale, termice și higrometrice constante a fost elaborat un aparat de testare, care să simuleze îmbătrânirea materialului, deci o metodă mai rapidă și implicit mai convenientă, de testare [16]. Așazisele teste de curgere lentă au fost efectuate prin aplicarea de încărcări treptate corespunzătoare unei valori constante (0,25 sau 0,3 MPa) pe intervale de timp specifice. Aceste teste sunt caracterizate printr-un istoric de încărcare regulat, prin trepte mici de încărcare, teste monotone la care încărcarea crește în mod continuu într-un ritm constant care poate fi calculat. Ele ne dau oportunitatea de a delimita limitele dintre fazele de curgere primare și secundare.

Factorii principali de care s-a ținut cont în executarea testelor pe probele colectate de la cele două turnuri, evitarea unei încărcături aplicată mai mare decât cea care ar cauza

curgerea lentă terțiară și implicit eșecul, iar proba s-ar prăbuși instantaneu fără să arate faza de fluaj terțiar, interesantă este solicitarea secundară a curgerii lente chiar înainte de eșec. Problema poate fi rezolvată prelungind intervalul de timp al ultimei trepte de încărcare pentru a atinge curba maximă a eșecului în condiții de încărcare constantă în locul măririi încărcăturii. În cazul zidăriei Turnului din Pavia, prisme de diferite dimensiuni au fost luate pentru a folosi cât mai mult material provenit din blocuri neregulate luate din ruine, compatibile cu capacitatea mașinii de testare, iar în cazul cripei din Monza, au fost extrase două blocuri mari din care au fost obținute prisme de aceleași dimensiuni.

După prăbușirea subită a Turnului Civic din Pavia (construit din sec XI până în sec XVI), în timpul cercetărilor pentru a găsi cauzele, mai multe prisme de diferite dimensiuni au fost obținute din blocuri mari provenite din ruinele turnului, ce constituie corpul medieval al structurii. Prismele supuse testelor mecanice erau obținute în principal din conglomeratul care forma nucleul interior foarte gros de 2800mm de perete cu trei straturi, doar câteva din ele proveneau din straturile externe aproape regulate făcute din zidărie masivă romană din cărămidă cu grosime variind între 150 și 490mm (fig. 3.11) [15]. Ulterior s-a decis să se studieze și zidăria din sec al XVI care aparținea părții superioare, cupolei, considerându-se că, comportamentul ei poate să asigure o comparație folositoare pentru alte structuri de vârstă asemănătoare și tehnică de construcție asemănătoare, fiind zidărie istorică, care nu este disponibilă des pentru teste mecanice.

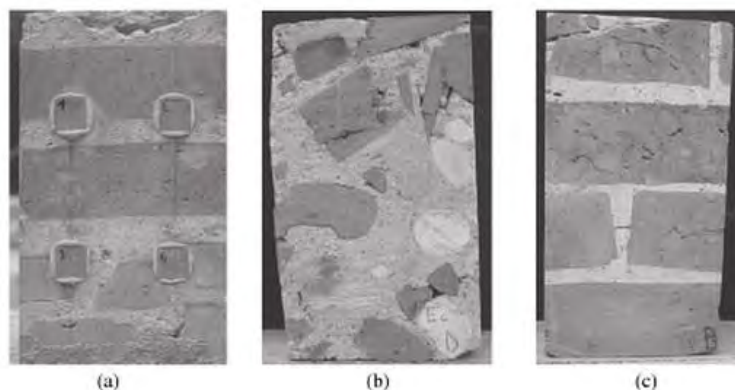


Fig. 3.11 Prisme de zidărie Turnul Civic din Pavia: a) zidărie medievală exterioară, b) zidărie medievală interioară, c) zidărie simplă secolul XVI [15]

Prisme de dimensiuni mai mari au fost tăiate prima dată, iar progresiv specimene mai mici au fost obținute treptat pentru a exploata materialul istoric cât mai mult posibil. Prismele din zidărie de 400x600x700mm erau identificate prin număr și literă [15]. Specimenele mai mici erau numite într-un mod similar, având un număr secund după prima figura pentru a indica dimensiunile de la prisma principală.

În literatura tehnică de specialitate s-a arătat că comportamentul timpuriu al curgerii lente a zidăriilor, datorat procesului de carbonatare a mortarului proaspăt, poate să dureze

un timp îndelungat, mai ales când mortarul este din calcar hidratat, astfel aparând deformări în timpul întăririi mortarului. Acesta este cazul, de exemplu al pereților vechi foarte groși și al zidărilor caracterizate prin îmbinări de mortar groase ca cele ale catedralei St. Vitale din Ravenna (fig. 3.12) [16].



Fig. 3.12 Vedere catedrala St. Vitale din Ravenna (sec. XVI) [16]

Deformările crescute datorate încărcărilor ciclice sau pasive pot cauza variații în geometria zidăriei pereților în mod vizibil în timpul construcției. Aceste modificări pot să apară localizat sau în toată structura elementului. Curgeri lente și chiar deplasări apar pe coloane și stâlpi ca cei din catedralele gotice cauzate de forța de forfecare pe orizontală exercitată de arcade și bolte sau de compactarea solului.

În general, structurile vechi și antice sunt supuse modificărilor continue în ceea ce privește geometria și starea lor de tensiune și solicitare. JL Taupin spune că "timpul modelează structura turnurilor, catedralelor, podurilor, etc., pe care nouă ne place să le considerăm de neschimbat". Timpul joacă un rol atât pe termen scurt cât și pe termen lung dispersând și înapoind energia în trei moduri: prin deformări și compactări, prin vibrații și prin modificarea și deteriorarea materialelor [17].

Mecanismele la scară micro care produc curgerea lentă constau într-un fel de legătură și reunire a particulelor solide datorită fluxului forțat al mixturii prin micro porii materialului produs de o încărcare continuă. Este, în general, stabilit că mecanismul de contracție și cel de curgere lentă sunt interconectate. Deformațiile dependente de timp, măsurate în absența unei fisuri și pe un specimen sigilat sau aflat într-un echilibru termic și de hidratare cu mediul, sunt numite curgerea lentă de bază. Pe de altă parte, contracția la uscare liberă, este definită ca reducerea volumului materiei sub o solicitare inferioară, cauzată de migrația schimbului de umiditate cu mediul. A fost observat că deformațiile unui specimen, sub o încărcare continuă și simultană la uscare, au depășit, cu o cantitate mare, suma contracțiilor libere la uscare și curgerea lentă de bază (fig. 3.13) [15]. Această depășire a deformației este datorată unui efect de cuplare încrucișată numit curgere lentă uscată sau efectul Pickett (după numele primului specialist care s-a documentat pe acest domeniu).

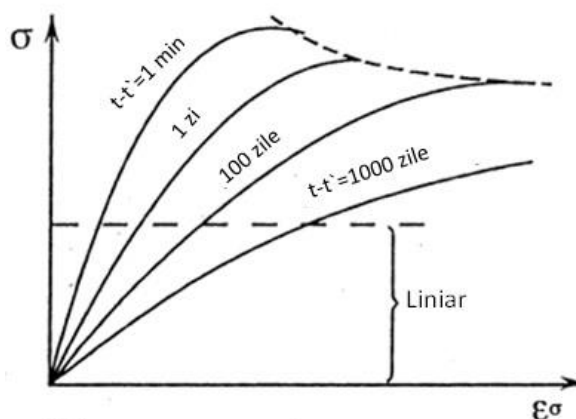


Fig.3.13 Efectul Pickett [15]

### 3.4 Concluzii

Conținutul de umezeală și temperatură afectează curgerea lentă în două moduri diferite: *direct* prin alterarea vascozității materialului și *indirect* prin efectele îmbătrânirii. În documentația apărută până în prezent sunt prezentate dovezi contradictorii în legătură cu dependența curgerii lente de conținutul de umiditate. În conformitate cu studiile tehnice din literatura de specialitate, curgerea lentă de bază, nu ar trebui să depindă de umiditatea relativă a mediului, chiar dacă, intuitiv, un material complet uscat nu ar putea curge din cauza lipsei umidității, în timp ce într-un material saturat curgerea lentă ar trebui să fie inhibată de lipsa porilor goi [18]. Pe de altă parte, curgerea lentă din uscarea este influențată de nivelul fluxului de umiditate, astfel că, umiditatea mediului are o influență asupra acesteia. Din cauza dificultății de a măsura curgerea lentă de bază și din cauză că condiția inițială este mai reprezentativă pentru comportarea reală a zidăriei în situ, testele de curgere lentă găsite în literatura tehnică, se referă la specimene încărcate și simultan supuse la uscarea, măsurând astfel curgerea lentă din uscarea.

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.

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.

Pentru a defini comportarea zidăriei, în funcție de timp, sub încărcări continue au fost realizate și studiate mai multe încercări experimentale. Principali 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.

Pionierul lucrărilor despre curgerea lentă a zidăriei a fost Lenczner, din Marea Britanie. Inițial a analizat datele existente de curgere lentă apoi a condus teste de curgere lentă și a propus ecuații empirice utilizând funcții logaritmice pentru rezistențe elastice și rezistențe pe cub de cărămidă ca parametrii pentru a prezice curgerea lentă fără considerații specifice pentru proprietățile mortarului. În codul internațional sunt recunoscute diferite mișcări în acest sens ca valori finale ale curgerii lente, contracției și expansiunii umidității menționate pe tipul unității fără a lua în considerare ceilalți factori evidențiați în urma studiilor experimentale efectuate, ca fiind foarte importanți pentru o predicție potrivită a deformațiilor de lungă durată. Acești factori pot fi divizați în două categorii: intrinseci și extrinseci, primii se referă la proprietățile mortarului și a cărămizilor precum rezistența, modulul de elasticitate, porozitate și alte caracteristici mecanice și fizice ale mortarului și unităților. Cele extrinseci sunt cele care pot fi schimbate după realizarea calculului precum nivelul de solicitare, temperatura, conținutul de umiditate și rata de transport.

Comportamentul materialelor compozite este complex și este legat de caracteristicile mecanice și fizice ale componentelor ce intră în alcătuirea materialului, dar și de modul în care acestea interacționează în produsul compozit final. Explicația mecanismului responsabil de schimbările de tensiune în zidăria solicitată poate fi derivat din cele expuse anterior pentru a explica fenomenul din beton. În blocul de zidărie construit cu mortar este ușor de verificat, dar este o abordare rezonabilă, chiar și în cazul silicatului de calciu și argilei arse din zidărie. În cazurile anterioare, faptul că 80-90% din efortul la curgere lentă are loc în legăturile din mortarul, validează această alegere ca punct de pornire al cercetărilor întreprinse, la nivel mondial, în domeniu.

Diferențele dintre zidărie și beton sunt multe. Procesul de montare în sine, care introduce posibilitatea golurilor și alte neomogenități și condițiile de conservare ale mortarului, definite ca și condiții de umiditate în care mortarul este supus procesului de întărire legat de conținutul de apă în unitate, crește complexitatea fenomenului cu precădere către beton.

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. În cazul zidăriei, ambele atât microfisurarea în legăturile de mortar sau unități cât și fisurarea brută la interfața dintre componente poate produce curgerea lentă și deformații nerecuperabile. 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 construcție.

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.



## 4. ANALIZA DURABILITĂȚII ZIDĂRIEI

Degradarea construcțiilor reprezintă un proces lent, de modificare a performanțelor construcțiilor, ca urmare a schimbărilor de natură fizico-chimică ce se produc în construcții, în interacțiunea lor cu mediul ambiant, pe întreaga lor durată de viață.

Locul de inițiere și de dezvoltare a degradărilor în construcții poate să fie la suprafața sau la interiorul componentelor ce alcătuiesc zidăriile. Degradarea construcțiilor reprezintă deteriorarea stării lor tehnice, pierdându-și treptat din calitățile lor, acesta fiind un proces continuu, ce se întinde pe toată durata lor de existență.

Avarierea clădirilor din zidărie, cu forme de manifestare specifice, se poate produce din următoarele cauze [1]:

- acțiunea seismică;
- acțiuni excepționale (altele decât acțiunea seismică);
- deficiențe ale terenului de fundare;
- factori fizici;
- factori chimici și biologici;
- factori climatici;
- incendii, explozii;
- degradări ale materialelor constructive;
- deprecieri datorate acțiunii umane (greșeli în execuție, lipsa lucrărilor de întreținere efectuate la timp și de calitate, schimbarea destinației);
- deprecierea morală cauzată de progresul tehnic.

În cadrul procesului de proiectare există condițiile de microclimat de tip: MX1÷MX5 ce dau tipul de expunere a zidăriei, și care țin seama de acțiunea ploii, zăpezii, a variațiilor de temperatură, de ciclurile îngheț-dezgeț, de existența compușilor chimici, etc.

### 4.1 Degradări cauzate de cutremure-analiza prevederilor naționale

Este bine cunoscut faptul că cutremurele de pământ sunt o certitudine și că de-a lungul mileniilor s-au executat construcții de orice fel. Ceea ce nu se știe nici măcar cu aproximare este când și unde se vor produce aceste seisme și gradul lor de pericolozitate.

Studiile întreprinse în domeniul construcțiilor au dus la necesitatea cercetării următoarelor teme:

- zonele cu risc seismic ridicat, de vulnerabilitate mare, încercarea de a determina intenționate pe care o vor avea în vederea protejării;
  - determinarea soluțiilor aferente construcțiilor ce pot fi afectate în vederea scăderii efectelor negative cauzate de seisme.

În continuare sunt necesari mulți ani de studiu și cercetare, din cele două probleme majore, un subiect de maxim interes și necesitate îl constituie reabilitarea construcțiilor după cutremur.

În țara noastră, în prezent, în domeniul reabilitării construcțiilor din zidărie afectate de cutremur se poate afirma că situația generală a clădirilor este îngrijorătoare, multe dintre acestea fiind realizate înainte de anul 1940. Deci se poate afirma că nu au fost proiectate la grade seismice superioare.

Prin unele acte normative și legislative se reglementează situația clădirilor avariate de cutremure, în cazul imobilelor proprietate privată, drumul critic parcurs până la reabilitarea unui imobil este anevoios.

În revista „Revista Construcțiilor” din decembrie 2014, dl.prof.dr.ing. Radu Petrovici prezintă o sintetizare a STAS-urilor ce au stat la baza proiectării construcțiilor din zidărie, de la apariția acestora și până în prezent.

Reglementările elaborate și aplicate în proiectare înainte de anul 1989 au fost aliniate documentelor CAER și au fost orientate spre economii severe de materiale și de manoperă. Reglementările elaborate și aplicate după anul 2000 sunt aliniate documentelor similare din UE și sunt bazate, în principal, pe conceptul de „performanță seismică”.

Pentru proiectare, definirea severității hazardului seismic, în perioada 1963-2013 (fenomenul natural) se face, de regulă, prin două categorii de informații care se referă la [10]:

I. Valoarea de vârf a accelerației orizontale a terenului ( $a_g$ ) asociată unui interval mediu de recurență (IMR) prestabilit.

II. Spectrele de răspuns elastic ale accelerației absolute orizontale, calculate în funcție de accelerogramele caracteristice și de fracțiunea din amortizarea critică de 5% a sistemului echivalent cu un grad de libertate dinamică.

În perioada amintită, zonarea seismică a teritoriului României, din punct de vedere al valorilor  $a_g$  și al intervalului mediu de recurență (IMR) asociat, a fost obiectul mai multor modificări de substanță care s-au referit, în principal, la:

- numărul și conturul zonelor pe care intensitatea seismică este considerată constantă, care a trecut de la patru zone în hărțile din STAS 2923-63 (fig.4.1) și din STAS 11100/1, la șase zone în harta din Normativul P 100-92 și, ulterior, la șapte zone în hărțile din Codurile P 100-1/2006 și P 100-1/2013;
- măsura intensității seismice
  - exprimată în grade pe scara macroseismică MSK (adoptată în România prin STAS 3684-71), în Normativele anterioare anului 1992;
  - prin accelerația de vârf a mișcării terenului ( $a_g$ ), asociată cu perioada de colț/control a spectrului de răspuns în accelerații ( $T_C$ ), începând cu P 100-92;

- intervalul mediu de recurență asociat valorii de vârf al accelerației orizontale a terenului;
- forma și parametrii spectrului de răspuns elastic al accelerației orizontale.

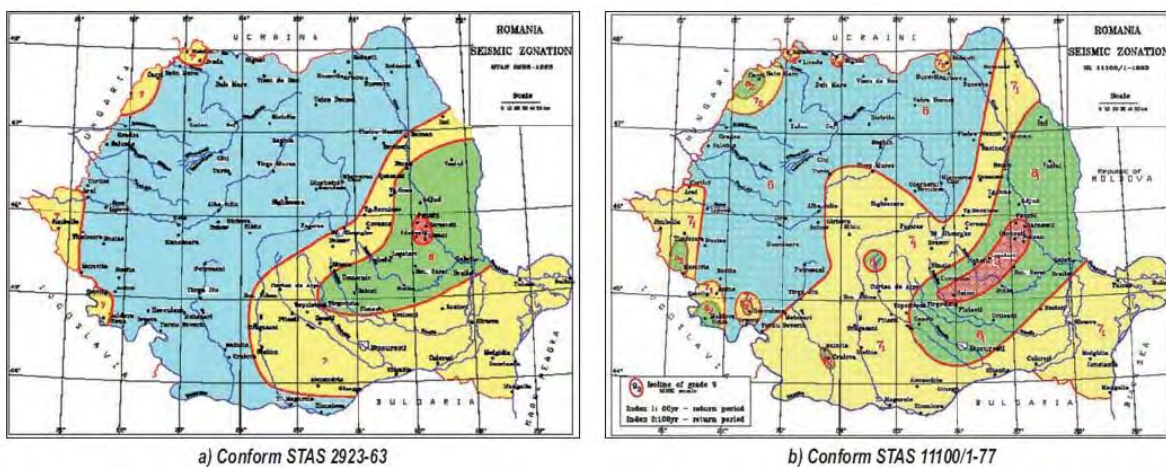


Fig. 4.1 Zonarea seismică a teritoriului României

Normativele de proiectare seismică anterioare cutremurului din 1977 sunt:

- P13-63 și P3-70, asociate hărții seismice din STAS 2923-63 (fig. 4.1a), care a înlocuit harta similară din STAS 2923-52, introducând reduceri importante ale intensității seismice de proiectare în mai multe zone. Din această reducere, a rezultat încadrarea unui număr mare de localități în zona de grad macroseismic 6MSK pentru care, conform Normativelor în vigoare, nu se cerea conformarea și dimensionarea structurilor și a componentelor nestructurale sub efectul forțelor seismice, indiferent de materialul din care acestea erau realizate.

Această prevedere a condus la situația că întreg fondul construit realizat între 1963÷1977, în zonele de grad 6MSK, arătate în harta din figura 4.1a, nu este calculat la acțiunea forțelor seismice, iar la proiectarea clădirilor nu au fost obligatorii nici cel puțin măsurile constructive prevăzute, minimale de altfel.

Normativele P13-63 și P13-70 au atribuit zonelor seismice exprimate în grade MSK valori ale parametrului intensității seismice, notat  $K_S$  (tab. 4.1), folosit pentru evaluarea efectelor acțiunii seismice prin „metoda forțelor statice echivalente”. Valorile coeficientului  $K_S$ , conform Normativelor P 13-63, P 13-70 și P 100-78 (81), sunt prezentate în tabelul 4.1.

În Normativul P13-70 se observă o creștere cu 20% a coeficientului  $K_S$  pentru zonele de grad 7MSK, care se referă la o suprafață importantă a teritoriului și o reducere, tot de 20% a acestuia, pentru zonele de grad 9MSK, care se referă la o arie redusă.

Normativele menționate nu au specificat intervalul mediu de recurență asociat valorilor  $K_S$ .

Tabelul 4.1

Normativ	Grad seismic MSK			
	6	7	8	9
P13-63	0.000	0.025	0.050	0.100
P13-70	0.000	0.030	0.050	0.080
P100-78(81)	0.070	0.120	0.200	0.320

După cutremurul din 4 martie 1977, reglementările de proiectare seismică au suferit modificări importante. În primul rând, a fost modificată zonarea seismică a teritoriului, harta de macrozonare STAS 2923-63 fiind înlocuită cu harta din STAS 11100/1- 77 (fig. 4.1b). Normativul P 13-70 a fost înlocuit, într-o primă etapă, cu Normativul P100-78, urmat, în 1981, de versiunea îmbunătățită, P100-81.

La acest cutremur s-a obținut și prima accelerogramă înregistrată pe teritoriul României (INCERC), la un cutremur sever, care a fost utilizată apoi, ca reper, pentru zonarea teritoriului din punct de vedere al accelerației orizontale și pentru stabilirea spectrului elastic de răspuns (fig. 4.2).

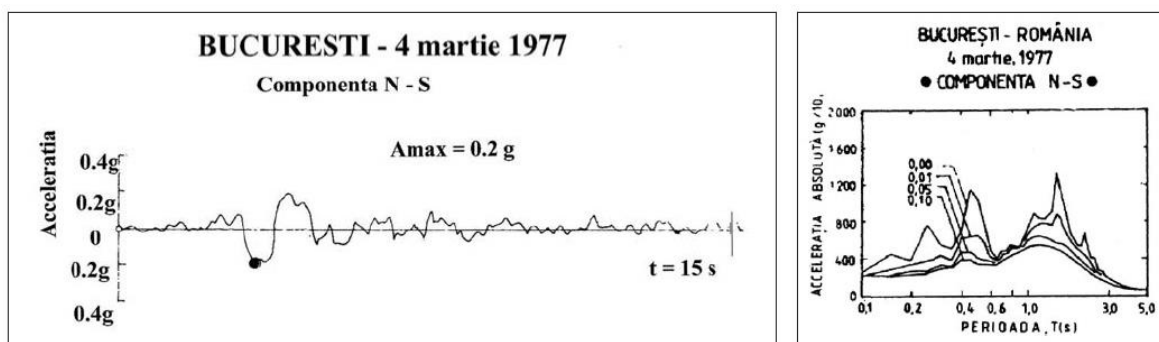


Fig 4.2. Agelerograma N-S a cutremurului din 1977 și spectrul elastic corespunzător

Ținând seama de distrugerile mari înregistrate în 1977, a fost sporit, local, nivelul de hazard cu ½ grad MSK pentru orașele Craiova, Iași, Zimnicea și Turnu Măgurele (intensitate 7½ MSK cu  $K_S = 0,160$ ), iar Municipiul București a devenit o insulă cu intensitatea 8 MSK în zona de intensitate 7MSK din Muntenia.

În reglementările elaborate după 1990, zonarea teritoriului României pentru proiectarea construcțiilor la acțiunea seismică s-a făcut prin două criterii.

În Normativul P100-92 s-a folosit combinația valorilor raportului  $K_S$  între accelerația terenului pentru proiectare ( $a_g$ ) și accelerația gravitației ( $g$ ) și perioada de colț/de control a spectrului elastic de răspuns în accelerații notată  $T_C$ .

Conform criteriului  $K_S$ , teritoriul a fost divizat în șase zone ( $K_S = 0,08 \div 0,32$ ), iar conform criteriului  $T_C$ , teritoriul a fost împărțit în trei zone ( $T_C = 0,7\text{sec}$ ,  $T_C = 1,0\text{sec}$ ,  $T_C = 1,5\text{sec}$ ).

Echivalarea noilor încadrări ( $K_S$  și  $T_C$ ) cu cele anterioare (grade MSK) a fost stabilită prin Anexa A la Normativul P100-92. Normativul P100-92 este primul care a folosit noțiunea de IMR - interval mediu recurență – cu referire la un singur nivel de severitate, prin următoarea precizare, dată, Anexa A [2].

În Codul P100-1/2006 s-au folosit valorile accelerației terenului pentru proiectare, notată  $a_g$ , și perioada de colț/de control a spectrului elastic de răspuns în accelerații, notată  $T_C$ . Conform criteriului  $a_g$ , teritoriul a fost divizat în șapte zone ( $a_g = 0,08 \text{ g} \div 0,32 \text{ g}$  cu interval  $\delta a_g = 0,04 \text{ g}$ ), iar conform criteriului  $T_C$ , teritoriul a fost împărțit în trei zone ( $T_C = 0,7 \text{ sec}$ ,  $T_C = 1,0 \text{ sec}$ ,  $T_C = 1,6 \text{ sec}$ ).

Codul P 100-1/2006 a introdus două niveluri de severitate pentru cele două cerințe de proiectare [2]:

- „Accelerația terenului pentru proiectare pentru fiecare zonă de hazard seismic corespunde unui interval mediu de recurență de referință IMR = 100 de ani“ cu precizarea că intervalul se referă la magnitudini și fără a mai ține seama de tipul cutremurului predominant (intermediar/crustal). Această intensitate este folosită pentru calculul asociat cerinței de siguranța vieții;

- Un cutremur cu IMR = 30 de ani este menționat în legătură cu cerința de limitare a degradărilor.

În Codul P 100-1/2013 s-au folosit aceiași parametri pentru descrierea hazardului ca și în versiunea anterioară, dar s-au făcut următoarele modificări esențiale pentru proiectare:

- Pentru cutremurul de proiectare la starea limită ultimă (ULS), valoarea Intervalului Mediu de Recurență a fost sporită la IMR = 225 de ani (probabilitate de depășire a valorii accelerației 20% în 50 de ani).

- Acțiunea seismică folosită pentru cerința de limitare a degradărilor (SLS) corespunde unui interval mediu de recurență IMR=40 ani (probabilitate de depășire de 20% în 10 ani).

- Valorile accelerației de vârf a terenului, pentru proiectarea la ULS, au fost majorate cu 25%, uniform, pe întreg teritoriul țării, independent de sursa seismogenetică dominantă; contururile zonelor de egală accelerație sunt identice cu cele din P100- 1/2006.

Valorile accelerației de vârf a terenului pentru cerința de limitare a degradărilor (SLS), sunt egale cu 50% din valorile pentru ULS, independent de clasa de importanță a clădirii.

O modificare deosebit de importantă care a intervenit în Normativul P100-78 se referă la spectrul elastic de răspuns  $S_a(T)$ , care a fost stabilit în concordanță cu spectrul corespunzător al înregistrării de la 4 martie 1977 (componenta N-S) . Acest spectru acoperă uniform toate tipurile de clădiri, pentru toate valorile perioadelor proprii, înlăturând, astfel, deficiența majoră a spectrelor din Normativele anterioare.

Codul P100-1/2013 a adus noi modificări ale spectrelor elastice de răspuns în accelerații, la care s-au făcut următoarele intervenții:

- Valoarea palierului a fost redusă de la  $\beta_0 = 2,75$  la  $\beta_0 = 2,5$  (reducere 10%);
- Valoarea de colț (începutul palierului) a devenit  $TB=0,2 TC$  față de  $TB = 0,1TC$ ;
- Pentru sursa seismogenetică Banat se folosește același spectru ca și pentru sursa Vrancea.

Reducerea valorii palierului spectrului cu 10%, menită, în concepția autorilor, să compenseze parțial creșterea valorii accelerației cu 25%, are efect numai în cazul procedeeelor „liniare“ de calcul dar nu operează în cazul analizelor de tip „time-history“ și nici pentru calculul componentelor nestructurale.

În cazul primelor normative (P13-1963 ÷ P100-1992), valoarea forței tăietoare de bază a fost calculată cu relația:

$$S = K\beta\varepsilon\psi Q = c_s \cdot Q \quad (4.1)$$

unde:

- $K$  și  $\beta$ , sunt coeficienți care cuantifică intensitatea seismică a amplasamentului și, ordonatele spectrului de răspuns elastic;
- $\varepsilon$ , este coeficientul de echivalență între sistemul "structural real" (cu  $n$  - grade de libertate dinamică) și sistemul „convențional“ cu un singur grad de libertate. În normativele P13-63 și P13-70, pentru clădirile curente, cu masa distribuită uniform pe înălțime, s-a acceptat valoarea forfetară  $\varepsilon = 0,80$ . În Normativele P100-78(81) pentru clădirile curente, cu pereți structurali din zidărie și înălțime totală  $\leq 15,0$  m, s-a acceptat valoarea forfetară  $\varepsilon = 0,75$ ;
- $\Psi$ , este coeficient care a avut, în timp, mai multe definiții, unele dintre acestea fiind caracterizate prin profunde deficiențe conceptuale:
  - Normativul P13-63: *coeficient care ține seama de influența materialului și a structurii construcției asupra amortizării prin frecare interioară a vibrațiilor produse de sarcinile seismice*; pentru construcțiile cu pereți structurali din zidărie s-a adoptat valoarea  $\Psi=1,00$ ;
  - Normativul P13-70: coeficient care introduce influența proprietăților de amortizare a vibrațiilor și a ductilității structurii (capacității de deformare în domeniul plastic); pentru construcțiile cu pereți structurali din zidărie s-a adoptat valoarea  $\Psi=1,30$ ;
  - Normativele P100-78(81): coeficient de reducere a efectelor încărcărilor seismice ținând seama de ductibilitatea structurii, de capacitatea de redistribuire a eforturilor, de ponderea cu care intervin rezervele de rezistență neconsiderate în calcul rezultate din conlucrarea structurii cu elementele nestructurale și de efectul amortizării vibrațiilor; s-a adoptat valoarea  $\Psi = 0,30$ .

Codurile P100-1/2006 și P 100-1/2013 au adoptat formula de calcul folosită în standardul european SR EN 1998-1:

$$F_b = \gamma_1 S_d(T_1) m \lambda \quad (4.2)$$

unde:

- $S_d(T_1)$ , ordonata spectrului de răspuns de proiectare -perioada fundamentală  $T_1$ ;
- $Q$ , este factorul de comportare al structurii
- $T_1$ , perioada proprie fundamentală de vibrație a clădirii;
- $m$ , masa totală a clădirii calculată ca sumă a maselor de nivel  $m_i$ ;
- $\gamma_1$ , factorul de importanță-expunere al construcției;
- $\lambda$ , factor de corecție care ține seama de contribuția modului propriu fundamental prin masa modală efectivă asociată acestuia, cu valorile  $\lambda = 0,85$ , dacă  $T_1 \leq T_C$  și clădirea are mai mult de două niveluri, și  $\lambda = 1,0$  în celelalte situații.

Din compararea prevederilor Codului P100-1/2013 cu cele ale Normativelor din anii 1963 - 1981, comparație prezentată în figura 4.3, rezultă că, pentru toate zonele seismice, clădirile cu pereți structurali din zidărie au fost proiectate pentru forțe seismice inferioare celor din reglementarea actuală [2].

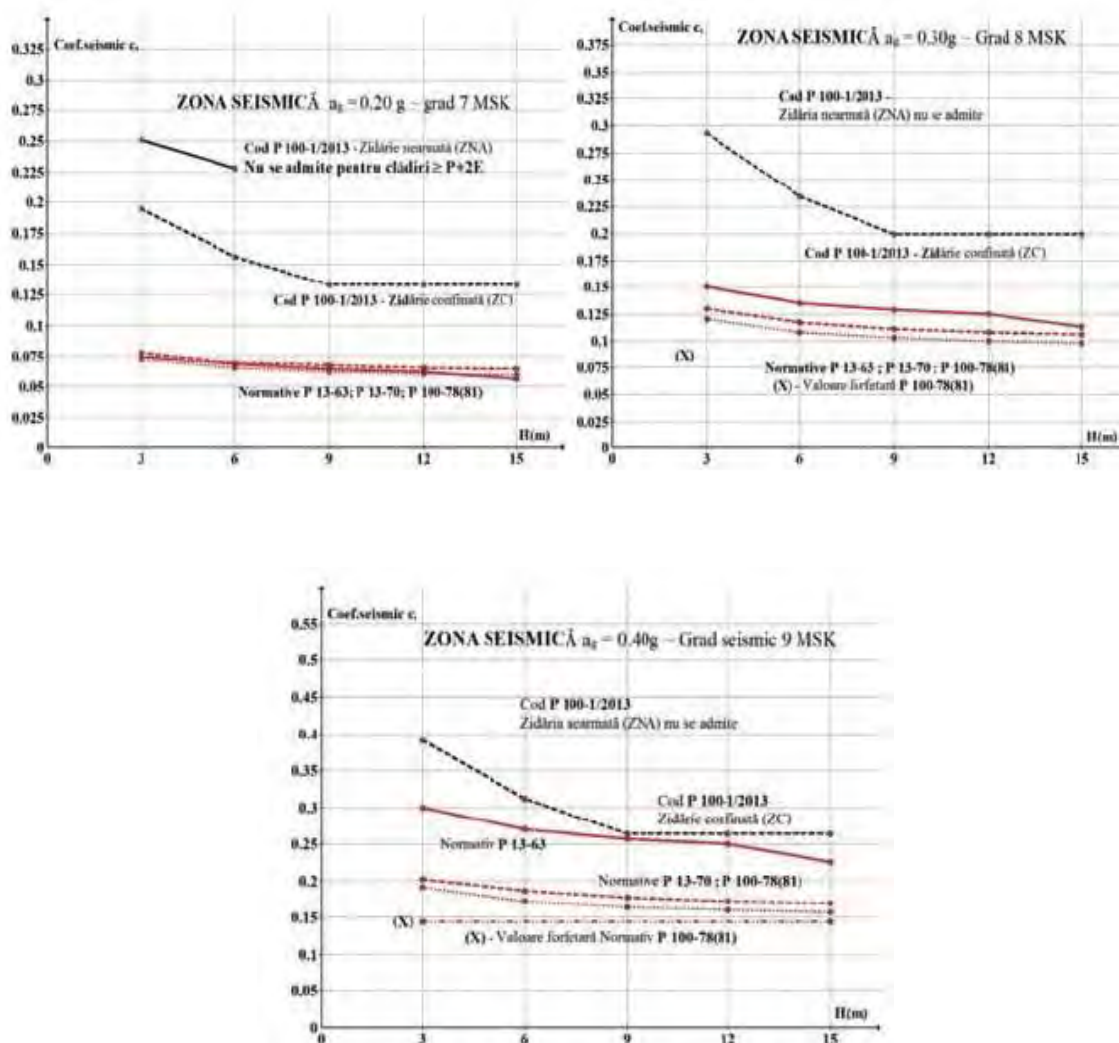


Fig 4.3. Variația coeficientului seismic  $c_s$  între anii 1963-2013 [2]

Având în vedere faptul că, practic, pentru totalitatea clădirilor executate în perioada 1963 - 1978 s-au folosit proiecte tip/refolosibile, se impune expertizarea acestor proiecte, atât pentru identificarea nivelului de siguranță proiectat, cât și a nivelului de siguranță disponibil, având în vedere că aceste clădiri au suportat cutremurele din perioada 1977 - 1990.

În perioada 1963 - 2013, prevederile reglementărilor tehnice privitoare la procedeul de calcul și la valorile forțelor seismice statice echivalente pentru proiectarea elementelor nestructurale din zidărie au suferit mai multe modificări semnificative, care au afectat nivelul de siguranță al clădirilor respective. Primele reglementări au stabilit, din considerente fals economice, un obiectiv minimal pentru calculul elementelor nestructurale și anume: asigurarea ancorării elementului de structura principală de rezistență a construcției, admitând, implicit, avarierea acestora în cazul producerii cutremurului de proiectare.

Aceste reglementări prevedeau calculul forței seismice de proiectare perpendiculară pe planul peretelui cu relația:

$$S = cQ \quad (4.3)$$

în care „c” reprezintă coeficientul seismic global care a avut următoarele valori:

- Pereți nestructurali
  - $c = 3 k_S$  în Normativele P13-63 și P13-70;
  - $c = k_S$  în Normativele P100-78(81).
- Parapete și pereți în consolă
  - $c = 14 k_S$  respectiv,  $15 k_S$  în Normativele P13-63 și P13-70
  - $c = 3 k_S$  în Normativele P100- 78(81)

unde:

- $k_S$ , este coeficientul seismic al amplasamentului, conform hărții de zonare în valabilitate la data respectivă;
- $Q$ , este greutatea peretelui pe unitatea de suprafață.

Valorile „c” nu au fost diferențiate în raport cu clasa de importanță a clădirii, ceea ce a dezavantajat, clădirile pentru care era necesară limitarea degradărilor (spitale, de exemplu).

Normativele P13-63 și P13-70 au precizat că valorile „c” se referă la calculul pereților *neportanți interiori*, în timp ce Normativul P100-78(81) nu a făcut nicio precizare referitor la poziția pereților în clădire. S-a ignorat, astfel, faptul că riscul pentru siguranța vieții este mai mare în cazul pereților exteriori, mai ales pentru cei situați pe fațadele către spații publice sau cu aglomerări de persoane (curțile interioare ale școlilor, de exemplu).



Efectuarea calculelor de dimensionare/verificare nu a fost obligatorie pentru cazurile în care pereții nestructurali respectau dimensiunile maxime stabilite prin Normativele de proiectare a clădirilor din zidărie.

Normativul P100-92 a păstrat formularea anterioară a coeficientului seismic, notat acum „ $c_W$ ”, în funcție de valoarea coeficientului seismic al amplasamentului.

Începând cu Codul P100-1/2006 s-a prevăzut că forța seismică statică echivalentă care acționează asupra elementelor nestructurale (CNS) să fie calculată cu o formulă cu cinci parametri, care surprinde mai exact răspunsul seismic al acestora.

$$F_{CNS}(z) = \frac{\gamma_{CNS} \alpha_g \beta_{CNS} K_z}{q_{CNS}} m_{CNS} , \quad (4.4)$$

unde:

- $\gamma_{CNS}$  - coeficient de importanță al componentelor nestructurale;
- $\alpha_g$  - accelerația seismică de calcul a terenului, stabilită conform hărții de zonare seismică;
- $\beta_{CNS}$  - coeficient de amplificare dinamică al componentelor nestructurale;
- $K_z = 1 + 2 \frac{z}{H}$  - coeficient care reprezintă amplificarea accelerației seismice a terenului pe înălțimea construcției, în care:
  - o  $z$  - cota punctului de prindere de structură a CNS;
  - o  $H$  - înălțimea medie a acoperișului în raport cu baza construcției;

De menționat este și faptul că prin Codul P100-1/2013 valorile accelerației terenului pentru proiectare ( $a_g$ ) au fost sporite uniform, pe întreg teritoriul țării, cu 25% față de cele stabilite de Codul P100-1/2006.

În cazul pereților structurali, valorile forțelor seismice de proiectare, au crescut consistent, în perioada 1963 -2013. Această creștere arată că, în bună parte, pereții despărțitori din clădirile proiectate în trecut, în special, cu reglementările anterioare P100-1/2006, au un nivel de asigurare mult inferior celui cerut de reglementarea P100-1/2013 care este în vigoare în prezent.

În ultimele două decade ca urmare firească a progreselor înregistrate în toate domeniile științei și a conștientizării necesității prezervării patrimoniului istoric și arhitectural, ca fenomen de masă, a apărut necesitatea reglementării acestui domeniu [3].

Problema oportunității și necesității unei reglementări, a unui cod pentru restaurarea, intervențiile structurale de reparații și consolidare a monumentelor istorice și cele aparținând patrimoniului arhitectural, este încă de actualitate.

Pe de altă parte există părerea că reglementările, se adresează construcțiilor, respectiv structurilor noi, conținând din punct de vedere ingineresc în partea lor de evaluare prin calcul, modelări fizice și matematice care nu pot fi aplicate structurilor istorice.

Deasemenea, există păreri ca aceea a lui Bernard M. Feilden, “Conservation of Historic Building”, Architectural Press, Oxford 1996, pag. 223: “*Cel mai mare pericol ce*

*amenință clădirile istorice vine din partea inginerilor care ignoră valorile acestora cu caracter de excepție și aplică mecanic codurile, sau care nu vor să-și asume responsabilitatea de a formula judecăți proprii. Se poate spune, cu oarecare îndreptățire, că multe clădiri istorice au de ales între a fi distruse de coduri sau de următorul cutremur” [3].*

În formularea Eurocod 8 – 3 se spune: “Deși prevederile prezentului standard sunt aplicabile tuturor categoriilor de construcții, evaluarea și consolidarea seismică a monumentelor și clădirilor istorice de cele mai multe ori reclamă tipuri diferite de prevederi și ipoteze depinzând de natura monumentelor”.

În recomandările ICOMOS-2001 – capitolul 4.3 Evaluarea siguranței: După ce se arată că modelările fizice și matematice trebuie să fie specifice ca și alegerea parametrilor sau combinarea acțiunilor sau a caracteristicilor materialelor de cele luate în considerație pentru construcțiile și structurile noi se arată: “Ca atare, trebuie să fie clar faptul că, din punct de vedere legal, arhitectul sau inginerul însărcinat cu evaluarea siguranței unei construcții istorice nu trebuie să fie obligat să-și bazeze dovezile pe rezultatele calculelor, întrucât analizele structurale pot fi inadecvate pentru anumite probleme specifice” [3].

În Normativul P100-3/2008 se specifică: “Prevederile P100-3/2008 pot fi aplicate și pentru evaluarea seismică a monumentelor și clădirilor istorice în cazul în care acestea nu contravin conceptelor, abordărilor și procedurilor specifice cuprinse în documentele normative în vigoare în acest domeniu” [4].

Grupurile de specialiști consideră formularea din Eurocod 8-3 ca fiind cea mai adevărată pentru o abordare care să conducă către o acoperire legală, juridică, a responsabilității inginerilor structuriști.

În corelație cu modul de abordare din P100-3/2008, se iau în considerație acțiunile pentru stările limită de serviciu și stările limite ultimă, ca fiind asociate unor niveluri de performanță, funcție de clasa de importanță a construcției istorice și a unor obiective de performanță.

Pentru zone cu seismicitate ridicată, aproape 2/3 din suprafața României, dar și pentru restul țării, nivelurile de performanță luate în considerație sunt trei la număr. Primul este de limitare a degradărilor, al doilea de siguranță a vieții și al treilea de evitarea prăbușirii.

Obiectivele de performanță sunt două, primul este obiectivul de performanță de bază care satisface pe lângă nivelul de siguranță al vieții IMR=40 ani și nivelul de prevenire a colapsului corespunzător unui IMR=100ani (IMR= interval mediu de recurență a acțiunii seismice).

În figura 4.4 sunt exemplificate tipologii și sisteme de afectare (patologia) cu alcatuirile de elemente cele mai semnificative pentru structurile monumentelor istorice.

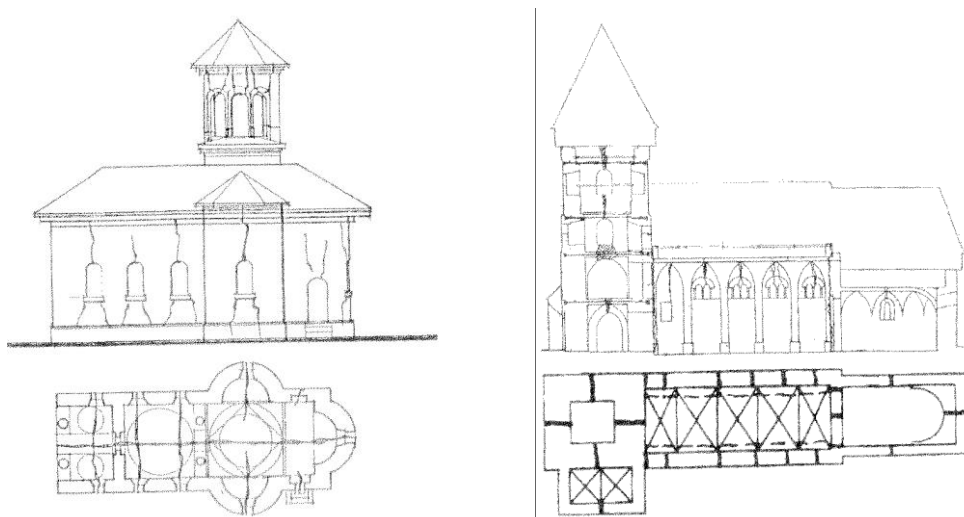


Fig 4.4. Sistemul de afectare pentru Biserică ortodoxă tipică și Biserică romano-catolică

Evaluările calitative și cantitative, menite să conducă la diagnoză, sunt o etapă foarte importantă în expertizarea construcțiilor și structurilor istorice. Fără o evaluare atentă calitativ, coroborat cu studiul istoric al construcției care se expertizează, de regula nu se poate realiza o diagnoză credibilă mai ales în cazul unei afectări ale acesteia.

Pentru evaluarea cantitativă, o problemă importantă este aceea a modelării fizice și matematice pentru structurile și elementele de zidărie existente fără armare, confinare sau înrămare.

Normele actuale pentru construcții și structuri noi nu admit astfel de alcătuirii în zonele cu seismicitate ridicată și deci nici relații de calcul pentru capacitățile de rezistență și deformație ale acestora.

Studii de specialitate au aratat că pentru structurile existente de zidărie și mai ales pentru structurile istorice, se pot identifica elemente care să formeze împreună cu zidăria triunghiuri de echilibru bielă-tirant ca macro-element în așa fel încât să fie identificată capacitatea maximă de rezistență a elementului pe baza capacității bielei comprimate. Sunt reproduse cele mai importante și semnificative relații de calcul și figuri explicative ale acestei abordări, care conduc la rezultatele similare cu relația  $\tau - \sigma$ , abordare publicată și în revista AICPS-2/2000 (fig.4.5).

$$\sigma_{I,II} = \frac{\sigma_x}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 - \tau_x^2} \quad (4.5)$$

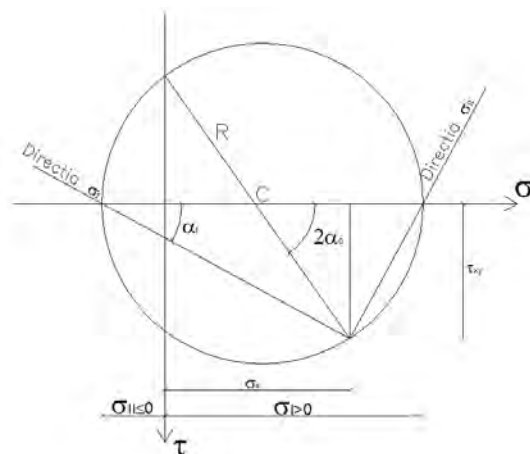


Fig 4.5. Eforturi principale conform teoriei din rezistența materialelor [5]

**4.1.1 Relații pentru determinarea  $S_{cap}$  din compresiune cu încovoiere și forță tăietoare (eforturi principale)**

$$R_t^* = \sigma_{11} \tag{4.6}$$

Formula 4.6 definește faza de fisurare la marginea întinsă a secțiunii pentru încovoiere cu compresiune (fig. 4.6)

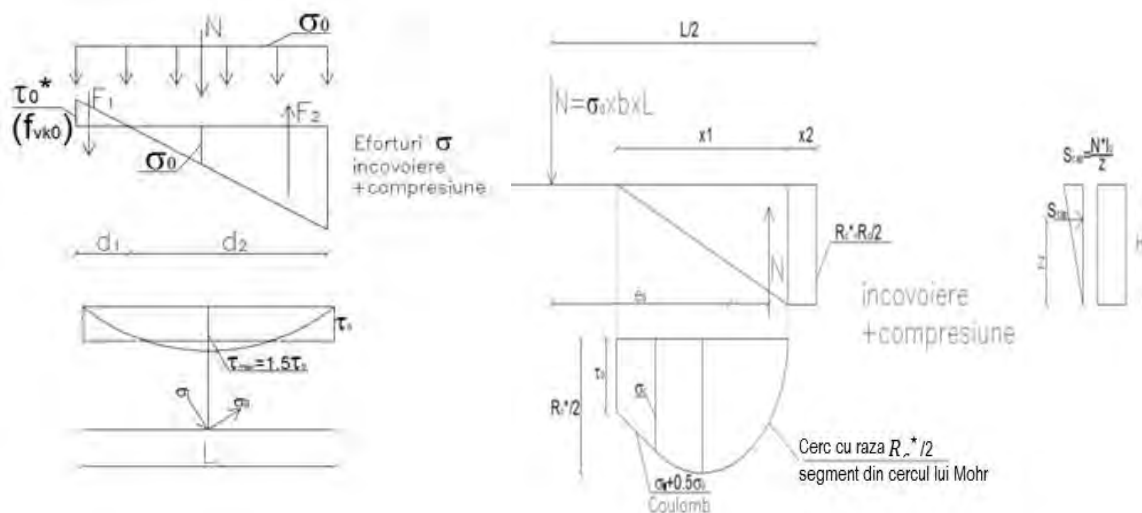


Fig 4.6 Schema pentru eforturi  $\sigma$  și compresiune și schema pentru încovoiere-compresiune [5]

Metoda constă în compararea  $\sigma_{11}, \sigma_{efectiv}$  de la mijlocul secțiunii în același stadiu de fisurare. În faza stadiului ultim (SLU)  $S_{cap}$  din echilibrul dat de schema pentru compresiuni și încovoiere se compară cu  $S_{cap}$  din integrarea  $T_0$  pe lungimea zonei comprimate în stadiul elastic ( $T_0 = x_1$ ) (fig.4.7).

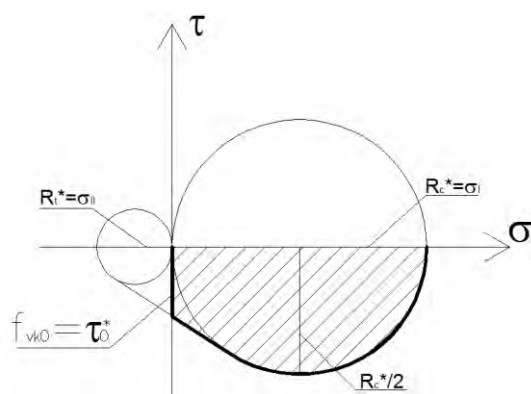


Fig 4.7. Schema pentru compresiune și încovoiere-segment din cercul lui Mohr [3]

#### 4.1.2 Relații pentru determinarea $S_{cap}$ din compresiune cu încovoiere și forță

Față de rezultatele obținute cu metodele expuse în figura 4.7, cu metoda complexă și metoda simplificată figura 4.8- studiile de specialitate au evidențiat diferențe nesemnificative între rezultatele obținute. Deaceia, în afara diferenței de pe zonele de paliere de la începutul și sfârșitul relației  $T_0 - \sigma_0$ , exemplificată în figura 4.8 față de figura 4.9. Metoda simplificată expusă în figura 4.10 poate fi aplicată pe clădirile monumentale istorice, deci cu zidărie veche.

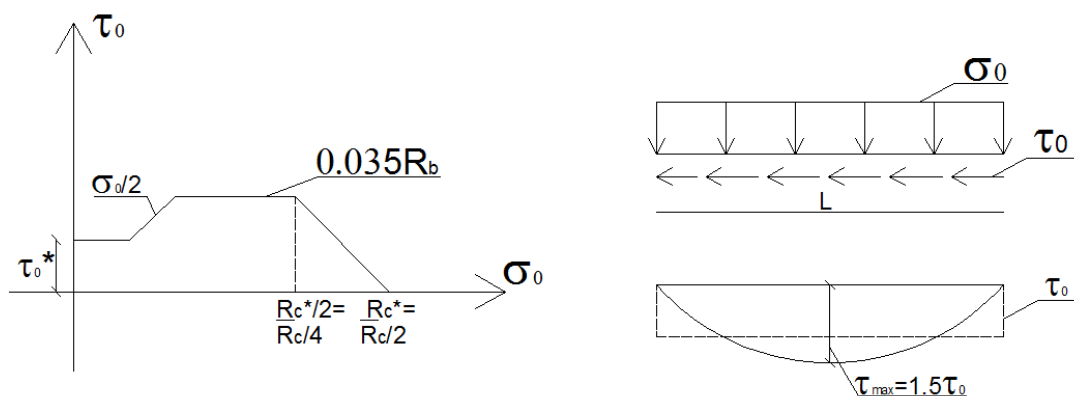


Fig 4.8. Schema simplificată pentru determinarea  $S_{cap}$  [3]

$$S_{cap} = \tau_0 \cdot L \cdot b \quad (4.7)$$

unde:

- $R_c$  este marca cărămizii.

Pentru structurile istorice de la noi, la care elementele și subansamblurile de zidărie predomină, liniile și planurile de rupere posibile ale acestora sunt secțiunile de la baza spațiilor sau incintelor, de la capetele zonelor de cuplare, sau liniile verticale care fac legătura între golurile pereților turnurilor. Deasemenea liniile verticale care mărginesc incintele la structurile bisericesti, sau planul de contact a turlelor în butucul de legătură cu sistemul de arce sau bolți de acoperire ale acestora [3].

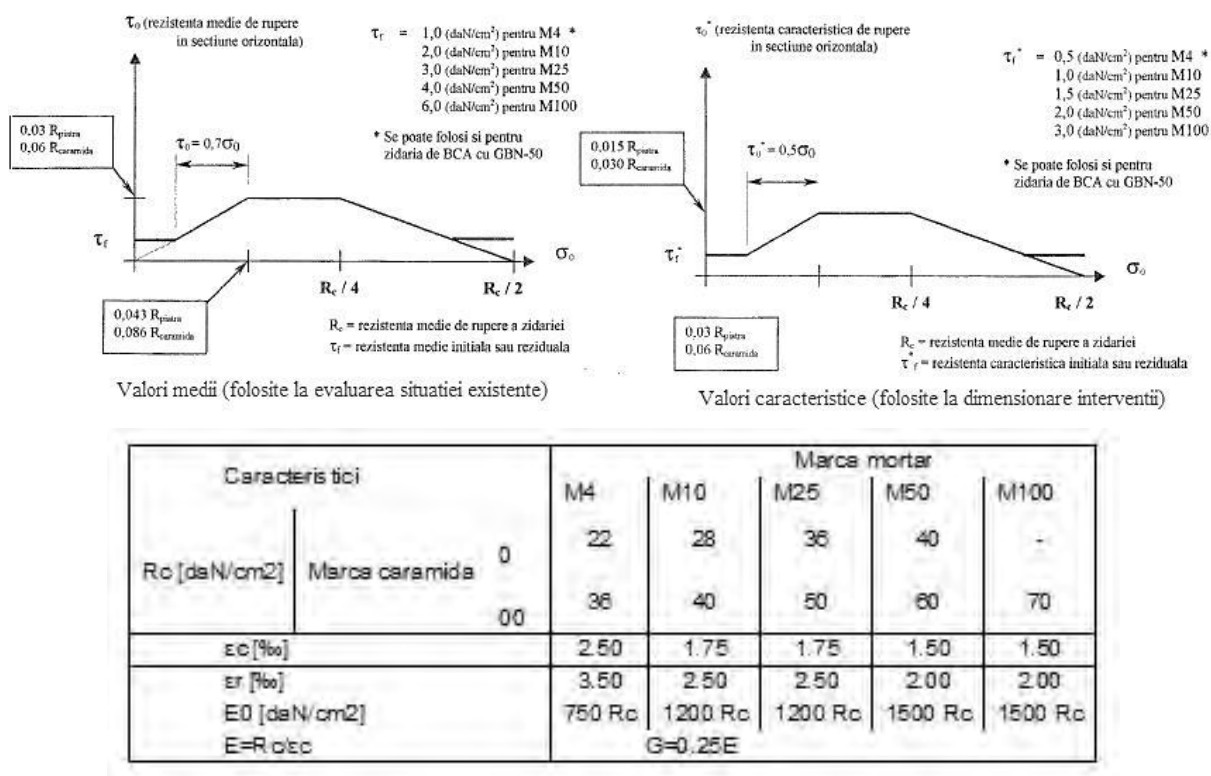


Fig 4.9 Schema pentru metoda simplificată pentru determinarea  $S_{cap}$  [3]

Avariile medii ale clădirilor sunt cele mai numeroase din punct de vedere al investigației. În astfel de cazuri, din calcule, s-a determinat că sunt necesare intervenții la elementele infrastructurii precum și la elemente ale suprastructurii, total sau până la un anumit nivel.

După cutremurul de 7,40 pe scara Richter, înregistrat în anul 1977 în România, când avariile înregistrate au fost semnificative, atât în domeniul locativ, cât și în cel cultural (monumente istorice) au fost dezvoltate tehnici de consolidare și reparare a acestora. În dezvoltarea ingineriei seismice în România, ing. Alexandru Cișmigiu a avut un aport major în domeniu cercetării, proiectării și învățământului de construcții și arhitectură. În ceea ce cuprinde consolidarea monumentelor religioase, acesta mărturisea „în ce mă privește, am imaginat o serie descrescătoare funcție de „g”, de la turle la corpul Bisericii și fundații. O aritmetică simplă care m-a scos din multe încurcături (schema)” [6], (fig.4.10).

În ceea ce privește opțiunea pentru reversibilitatea metodelor de consolidare aplicate monumentelor istorice, ing. Alexandru Cismigiu își argumenta astfel punctul de vedere „cât timp, statistic vorbind avem trei cutremure pe secol cu magnitudinea  $M > 6,8-7,0$ , sistematic din aceeași sursă, iar durata de existență a monumentului- cel puțin teoretic- este nelimitată, ca abordare reversibilă globală poate deveni o iluzie deșartă și nimic mai mult” [6].

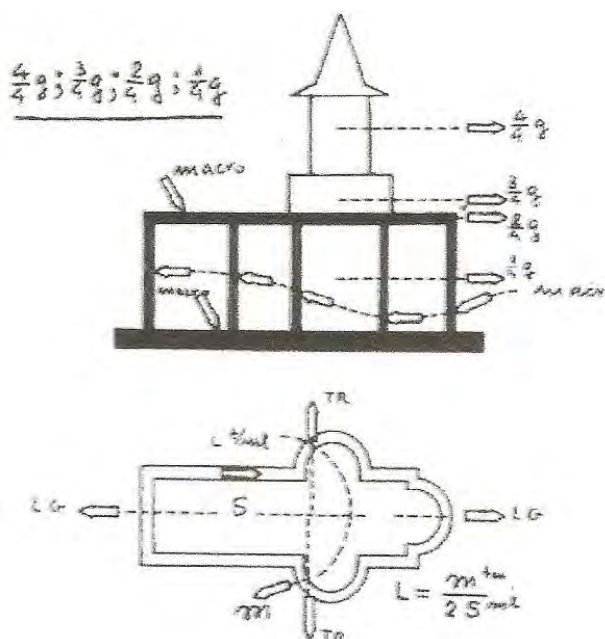


Fig 4.10. Schema de calcul a ing. Alexandru Cișmigiu [3]

În ceea ce privește materialele folosite pentru realizarea consolidării, acesta afirma că materialele cu verificare seculară comparabile cu materialele originale sunt cele mai indicate.

## 4.2 Efecte exterioare și solicitări care provoacă degradarea zidăriei

Structurile din zidărie, odată cu trecerea timpului peste ele, prezintă deformații care conduc către deteriorări ale structurii. Cauzele principale care stau la baza apariției deformațiilor sunt cauzele de mediu, proprietățile materialelor (contractia, curgerea lentă, oboseala) ce alcătuiesc zidăria cât și sarcinile care pot fi constante sau accidentale.

Deformabilitatea și degradarea pietrelor de cărămidă depinde de caracteristicile de porozitate, determinate pentru capacitatea de absorbție a apei, ca și de prezența sărurilor și altor compuși solubili, al căror principal vehicul îl constituie apa și care generează procese chimice însoțite de acțiuni fizice și mecanice.

Porozitatea cărămizilor depinde de compoziția argilei, de modul de prelucrare și în mod special de temperatura arderii, principalul factor care influențează dimensiunea și dispoziția porilor. Deasemenea dacă argila conține granule de calcar, prin ardere acestea se transformă în var nestins. Prin hidratare ulterioară, aceste particule cresc în volum și produc fracturi în cărămidă.

Procesele de degradare a cărămizilor conduc la fenomene de la simple alterări cromatice până la reduceri de rezistență mecanică, fragmentări, dezagregări sau dezintegrări de material.

Deformările structurale pot fi de moment, apar imediat în urma solicitării fiind un proces unic sau repetitiv în funcție de natura solicitării, sau pot fi deformații lente care se

modifică în timp în urma solicitărilor permanente, acesta fiind un proces unic ce se desfășoară în funcție de circumstanțe, pe o perioadă lungă de timp [7].

În condițiile climatice din țara noastră, efectul precipitațiilor este destul de variat, precipitații sub formă de averse, ploi torențiale, zăpadă sau grindină.

Pe lângă pătrunderea umidității din exterior, principalele cauze generale ale umezirii zidărilor pot fi condensul, scurgerile din instalații cât și inundarea (planșeelor și pereților). În general, condensul este cauzat de lipsa unei ventilații adecvate asociată cu umezeala excesivă. În cazul pătrunderii apei din exterior, în cazul caselor mai vechi, fenomenul se poate datora învelitorii defecte, astfel apa pluvială patrundând în interiorul elementelor de construcție prin neetanșeitarea pereșilor sau igasiei (umiditatea din teren se propagă, inițial prin elementele de construcție care intră în contact direct cu solul, apoi prin ascensiune capilară). Pentru a se putea trata problema trebuie să se fie corect identificată cauza declanșatoare.

Deasemenea tipul și intensitatea efectului vântului depind de mulți factori, cum ar fi amplasamentul construcției, orientarea, protecția și înălțimea clădirii. Efectul vântului afectează toate suprafețele exterioare ale clădirii (verticale, orizontale și înclinate).

Modul diferit de apariție a efectului termic și intensitatea sa fluctuantă în timp îngreunează asigurarea protecției împotriva acestuia. Din acest punct de vedere se consideră ca etalon diferența de temperatură dintre suprafețele exterioare și cele interioare, respectiv valorile limită ale acestor temperaturi de suprafață. În clădirile locuite, fluctuația termică, este relativ mică, iar „confortul termic” trebuie avut în vedere încă din faza de proiectare, dar și prin încălzirea și ventilarea corespunzătoare a spațiilor clădirii. Efectul înghețului-privind originea sa- pot fi menționate printre efectele umidității sau cele termice, dar natura deteriorărilor provocate este diferită.

La efectul schimbărilor de temperatură, fiecare material își modifică dimensiunile, iar măsura acestei modificări se face în funcție de dimensiunile corpului solid, de proprietățile de mișcare termică a materialului și de măsura variației de temperatură. Valoarea modificărilor de dimensiune se calculează cu relația (4.7) [8]:

$$\Delta L = L\alpha(t_2 - t_1) \quad (4.7)$$

unde:

- $\Delta L$  - valoarea modificării dimensiunii (mm);
- $L$  - dimensiunea corpului solid;
- $\alpha$  - coeficientul de mișcare termică a corpului solid;
- $t_2 - t_1$  - variația temperaturii corpului analizat (K).

În tabelul 4.2 sunt indicate valorile estimative, respectiv specifice, ale mișcărilor termice liniare ale materialelor de construcții ce alcătuiesc zidăriile.



Tabelul 4.2

Material	Coefficient de mișcare termică (peste 10°C), $\alpha$ , ( $10^{-6}$ m/m·K)	Valoarea mișcării termice la o variație de temperatură de 50K pe o lungime de 1m ( $\Delta L$ , mm)
Zidărie de cărămidă	5-6	0,25-0,30
Cărămidă clincher	3-5	0,15-0,25
Beton poros	11	0,55
Mortar de ciment	8-11	0,40-0,55
Mortar de var	9	0,45
Beton cu pietriș	10-11	0,50-0,50

În multe cazuri de zidării vechi, coeficienții de dilatare termică ai mortarelor de legătură sunt foarte diferiți ca valoare de cei ai pietrei de zidărie. În cazul mortarelor coeficientul de dilatare termică fiind de 10 ori mai mare decât la pietrele legate. Astfel la variațiile mari de temperatură, apar deformații diferite care conduc la tensiuni foarte mari în zonele de contact, care se materializează prin zone de deteriorare a zidăriei- apariția microfisurilor.

Suprasolicitarea materialelor structurale, mai ales diminuarea capacității de preluare a efortului de întindere, adică o solicitare mai mare decât limita efortului de întindere, poate cauza deteriorări dar în primul rând fisurări. Deasemenea sub efectul presiunii, materialele se deformează pe direcția paralelă cu forța de compresiune, iar pe direcția perpendiculară se produce dilatarea materialelor. În cazul în care pe parcursul dilatării forța specifică de întindere instalată depășește rezistența de întindere a materialului, acesta se fisurează. Fisurile de acest gen, paralele cu direcția forței de compresiune, apar în cazul cărămizilor suprasolicitate. Un alt tip de fisurare întâlnit este în cazul în care muchia întinsă a structurii este presată de un punct exterior când apare o fisurare perpendiculară pe direcția sarcinii din cauza diminuării rezistenței de întindere, deci o fisurare orizontală.



Fig 4.11. Efectul de măcinare al cărămizilor din zidării

Un alt factor degradat produs din cauza umezelei excesive, este slăbirea aderenței dintre cărămizi și mortarul de legătură, care de multe ori este puternic erodat. Apa absorbită în proporție de peste 20-25% din capacitatea totală conduce la diminuarea serioasă a

aderenței. Cum structura cărămizilor de zidărie vechi este mai poroasă, acestea sunt mai ușor supuse acestor fenomene iar rezultatul este uneori măcinarea blocurilor la exterior (fig.4.11).

Mecanismele de ruinare prin atacul biologic sunt datorate unui număr mare de agenți: mușchi vegetali, alge, funghi și bacterii. De regulă acești paraziți se dezvoltă pe mortarul de legătură al pietrelor de zidărie (fig. 4.12). Porozitatea mai ridicată a mortarului sau rugozitatea mai ridicată a acestuia, care permite și depunerea de prafuri, favorizează colonizarea rosturilor de zidărie cu agenți degradanți, incluzând plantele superioare.



Fig 4.12. Mecanisme de ruinare prin atac biologic

Îmbătrânirea materialelor de construcție poate fi provocată de procese fizice sau chimice. Îmbătrânirea înainte de vreme din cauza impactului reciproc al părților componente este specifică, în general, materialelor convenționale, compuse din elemente naturale.

### **4.3 Degradarea mortarelor și efectele rezistenței mortarelor asupra zidărilor**

Frecvent, de-a lungul istoriei se întâlnesc mortare cu granulozitate mai mult sau mai puțin mărunte, de argilă arsă, care aveau reputația de a accelera priza, de a crește rezistența mecanică și a îmbunătăți comportarea la umezeală a mortarului.

Mortarele folosite la zidăriile tradiționale sunt în general mortare de var gras și var hidraulic, a căror durabilitate și calitate depinde de dozaj, de corectitudinea preparării liantului, dar mai ales de calitatea nisipului și a apei întrebuințate la preparare. Varul care are rol de liant, era obținut prin arderea pietrei de calcar. Natural calcarul se prezintă sub aspecte extrem de variate datorate stării de cristalizare și impurităților. Procentul de impurități conținut de var este foarte important, iar din studii experimentale a fost dovedit

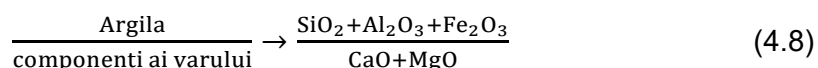
faptul că acesta nu trebuie să depășească 5%. Cu cât structura cristalină e mai mică cu atât varul stins rezultat este mai plastic și procesul de omogenizare este mai ușor de realizat.

Un alt tip de *liant* folosit era varul hidraulic-negru, obținut din calcare marmoroase, cu conținut mare de argilă, care erau arse, pisate și stinse prin stropire. Proprietatea principală a acestui tip de var este că în mediu umed își păstrează proprietățile.

În compoziția mortarelor pe lângă lianți și apă se adăugau materiale de umplură, adică produse naturale sau artificiale cu o granulație suficient de fină. Unele dintre materialele adăugate sunt inerte dar sunt și cazuri în care acestea reacționează lent în contact cu varul. Materialele, cel mai des utilizate, sunt nisipul, praful de piatră sau de marmură și cărămidă pisată. Acest material de adaos trebuie să fie constituit din granule rezistente și nefriabile, să nu provină din roci descompuse sau din ghips și să nu conțină impurități organice sau argiloase.

*Granulometria materialelor* de umplură este foarte importantă, influențând direct cantitatea de liant de mortar. Aceasta se alege astfel încât suprafața materialului care trebuie acoperită de var să fie cât mai mică, astfel contracția la uscare să fie redusă. Rezistența mortarului depinde și de forma granulelor ce alcătuiesc nisipul și de proveniența acestora. Astfel granulele ce prezintă o suprafață rugoasă sunt în măsură să sporească aderența și deci și rezistența mortarului.

VICAT în 1820 – a definit indicele de hidraulicitate ca raportul între diferiți componenți ai argilei și ai varului (4.8) atunci când sunt supuși la temperaturi între 800°C ÷ 1500°C, (tab. 4.3) [9].



Tabelul 4.3

Materiale	Indice VICAT	Proporția argilei în calcar
Var aerian (gras)	0÷0.10	0÷5%
Var slab hidraulic	0.10÷0.16	5÷8%
Var hidraulic mijlociu	0.16÷0.30	8÷15%
Var hidraulic	0.30÷0.40	15÷20%
Var special hidraulic	0.40÷0.50	20÷30%

Mortarul de zidarie și de tencuială, prin cantitatea mai mare sau mai mică de var, sau în combinație cu cimentul are permeabilități diferite pentru o umiditate relativă a aerului de 45%, (tab. 4.4) [9]:

Tabelul 4.4

Tip de mortar	G/m <sup>2</sup> ,h, mmHg (Permeabilitate în grame pe m <sup>2</sup> pe ora și milimetru coloana de mercur)
Mortar cu var /Nisip	1.1

Mortar cu var hidraulic	0.8
Var, ciment, nisip	0.6
Ciment, nisip slab dozat	0.5
Ciment nisip foarte dozat	0.2

Degradarea mortarului în funcție de natura materialelor de umplutură pot fi cauzate de florescențe ale mortarului prin descompuneri de substanță-în cazul în care nisipul din compoziția acestuia conține particule de pământ, argilă, săruri, sau dezagregări ale mortarului prin alterări chimice.

*Praful de piatră, de marmură și de cărămidă* nu ridică probleme în ceea ce privește rezistența mortarului, atâta timp cât au fost respectate proporțiile de liant și granulometrie [2].

*Apa* folosită la realizarea mortarului este foarte importantă întrucât dacă conține în soluție săruri (cloruri, sulfati) sau impurități organice acestea pot provoca întârzieri ale prizei dintre mortar și cărămidă sau accelerări ale prizei prin prezența calciului sau a magneziului.

În general aderența mortarelor era crescută cu creșterea cantității de liant și depinde de apa din amestec și de tipul suportului. Impermeabilitatea variază proporțional cu cantitatea de liant și depinde de dozajul apei în amestec.

Cele mai utilizate mortare, în cazul clădirilor vechi, erau *mortarele grase* constituite din amestecul de var stins, material de umplutură și puțină apă. În cadrul amestecului, pasta de var reprezintă în general 30-40% din volumul materialului de umplutură. *Excesul de pastă de var* produce un mortar insuficient de poros și puțin permeabil la vapori care în timp fisurează [2]. *Pasta de var în cantitate insuficientă* determină un mortar excesiv de poros și cu rezistență mecanică slabă, mortarul nu aderă la zidărie și se macină.

Aceste defecte sunt legate de consecințele dozajului asupra procesului de întărire, care cuprind două faze: prima, de întărire parțială prin evaporarea apei de amestec; a doua, de întărire lentă și definitivă, datorită carbonatării hidroxidului de calciu în prezența anhidridei carbonice din aer. Dacă mortarul este puțin poros, carbonatarea se produce lent și dificil, dacă mortarul este excesiv de poros și după carbonatare, are o rezistență redusă la solicitări mecanice.

Mortarele de var hidraulic natural sunt amestecuri de var hidraulic obținut din calcare cu conținut mare de argilă, nisip și apă (tab.4.5). Fenomenele de întărire ale acestor mortare sunt explicate de diverse teorii. Întărirea pare să fie legată de prezența a doi compuși, în liantul utilizat: silicatul bicalcic și aluminatul monocalcic, activi din punct de vedere hidraulic. Hidratarea acestor compuși generează procese foarte complexe ce conduc la întărirea masei, principala componentă a produsului final fiind silicatul de calciu hidratat. Mortarele hidraulice pot prezenta inconveniente și defecte legate de liant, de agregate, de îngheț și diverse forme de coroziune.

Tabelul 4.5

Descrierea varului	Indexul cimentului	Conținutul de argilă activă în piatra de var
Var gras	Aproape de 0	Foarte puțină argilă
Var slab hidrolic	0.3÷0.5	Aproape 8%
Var moderat hidrolic	0.5÷0.7	Aproape 15%
Var hidrolic	0.7÷1.1	Aproape 25%
Ciment natural	1.7	Pana la 45%

Mortarele folosite curent pentru zidării au în general următorul dozaj la 1 m<sup>3</sup> de amestec: var stins 0,25-0,40 m<sup>3</sup>; nisip 0,85-1,00 m<sup>3</sup>; apă 0,10-0,20 m<sup>3</sup>.

- Zidării de fundație: var hidrolic și nisip, în raport 1/3;
- Tencuieli exterioare ca strat suport, la arce, bolți, cu dozaj 1/2;
- Lucrări speciale și în prezența apei, cu dozaj 2/3-2/4.

Mortarele pe bază de var prezintă două mari calități: *elasticitate și porozitate*.

*Elasticitatea* permite mortarului să amortizeze efectele deplasărilor relative ale elementelor legate într-o zidărie pe ansamblu ductilă, fiind în acest sens un mortar perfect adaptat la strategia constructivă tradițională care produce clădiri deformabile (cu fundații tot din zidărie cu mortar de var, nu întotdeauna așezate pe teren bun de fundare, omogen, deci susceptibile de tasări inegale și cu slabă rigiditate transversală și longitudinală).

*Porozitatea* mortarului permite schimburi naturale de vapori interior-exterior prin zidăria de contur și conferă mortarului capacitatea de a restitui mediului ambiant umiditatea absorbită. Porozitatea mortarelor este totodată cea care determină capacitatea lor de absorbție și trebuie observată cu atenție întrucât, în anumite cazuri, de ea depinde amploarea fenomenului de ascensiune capilară. De asemenea, în tabelul 4.6 sunt date dozajele orientative pentru mortarele folosite la zidării vechi [9].

Tabelul 4.6

Mortar caracteristic	Tip de mortar	Materiale pentru 1m <sup>3</sup> de mortar					
		Ciment		Var		Nisip	
		m <sup>3</sup>	daN (kgf)	(m <sup>3</sup> )	daN (kgf)	(m <sup>3</sup> )	daN (kgf)
M4	Var	-	-	0.200 (1)	160	1.20 (5)	1600
M 10	Var-ciment	0.075	120	0.100 (1)	130	1.20 (7)	1600
M 25	Ciment-var	0.10 (1)	160	0.100 (1)	130	1.20 (7)	1600
M 50	Ciment-var	0.14 (1.5)	225	0.090 (1)	115	1.20 (6)	1600
M 100	Ciment-var	0.17	275	0.060	75	1.20 (6)	1600
M 100	Ciment	0.20 (2)	320	-	-	1.20 (6)	1600

Mortarele vechi numai cu var aveau dozaje de 1:2 până la 1:3 părți de var/nisip la mortare "bune" și 1:3÷1:5 părți de var/nisip la mortarele "slabe". Se subliniază faptul că mortarul de var nehidraulic nu se întărește în prezența apei. și prezintă porozitate, respectiv

permeabilitate foarte bună, care face ca acest mortar să fie adecvat în situațiile în care avem nevoie de o bună “respirație”, respectiv evacuare a umidității din pereții de zidărie.

Caracteristicile fizico-chimice ale materialelor folosite la construcțiile istorice și cele aparținând patrimoniului arhitectural, împreună cu durabilitatea acestora, sunt problemele importante care trebuie analizate atunci când se fac evaluări și propuneri de intervenții structurale pentru restaurarea acestora.

### **4.3.1 Procese generale de degradare a mortarelor**

a) Procese fizice- ca și în cazul altor materiale poroase, principalele procese fizice de degradare a mortarelor tradiționale sunt legate de înghețul apei și cristalizarea sărurilor. Cristalizarea sărurilor prin evaporarea apei în apropierea stratului superficial este frecvent însoțită de creșterea volumică care generează tensiuni interne similare celor din îngheț și dislocări și dezagregări ale mortarului. Prin transportul efectuat de apă, săruri solubile din teren pot fi transportate în mortar (fig.4.13).



Fig 4.13. Exemple de zidărie afectată de umiditate, Cula Cernătescu

b) Procese chimice- Apa de ploaie și cea freatică, ridicată în zidărie prin ascensiunea capilară, pot dizolva în timp varul, astfel mortarul transformându-se, practic în nisip. În condiții obișnuite, de fundații amplasate în limite normale de umiditate, este vorba de procese lente, accelerate însă în cazul în care fundația este umedă în mod permanent sau regulat cu consecințe traduse într-o umiditate mare și întreținută a zidăriei. În condiții de poluare atmosferică, apa acidă absorbită de mortar poros conduce la transformarea carbonatului de calciu în compuși solubili dizolvați și transportați de apă de ploaie, având ca efect friabilizarea mortarelor din rosturile expuse, astfel producându-se îndepărtarea progresivă de material.



Fig 4.14. Exemple de sulfat de sodiu cristalizat pe zidărie

Dacă atacul acid se produce prin absorbție capilară în profunzimea zidului, apa internă tinde să migreze către suprafața de evaporare, transportând sărurile de calciu în soluție (fig. 4.14). Recristalizarea acestor săruri este marcată de cruste fragile la fața cărămizilor, ce vor face în continuare obiectul acțiunilor fizice până la dezagregare. În acest caz fenomenul este însoțit de friabilizarea mortarului în masa zidăriei prin transportul progresiv către exterior al varului transformat, prin atac acid, în bicarbonat solubil.

c) Procese biologice- Atacuri specifice asupra mortarelor de var pot fi provocate de mediul acid produs de bacterii sulfuroase, precum și de excrementele unor păsări.

d) Interacțiunea cărămizi-mortare- În condiții de umezeală sulfații prezenți în cărămizi pot reacționa cu mortarul, în special cu aluminiul tricalcic, prezent în varul hidraulic, rezultând aluminiu de calciu. Reacția are loc cu creștere de volum, provocând tensiuni interne puternice și dezagregarea mortarului. Creșterea de volum produsă în mortarul din rosturi are efecte asupra zidăriei în ansamblu, însumarea dilatărilor rosturilor izolate putând cauza mișcări orizontale și verticale ale întregii mase de zidărie.

### **4.3.2 Efectele rezistenței mortarelor asupra zidărilor**

Rezultatele obținute de cercetări în domeniu arată că diferențe mari de rezistență între diferite mortare (în funcție de dozaj și tipul liantului folosit) nu au la fel de mari efecte asupra rezistenței zidăriei, acestea depinzând în principal de rezistența mecanică a elementelor legate. Folosirea unor mortare ce prezintă rezistențe incompatibil mai mari ca cea a elementelor legate, conduc la apariția fisurilor în planul zidăriei (*cazul cărămizii slabe, îmbătrânite de timp-mortare tari*).

Prin analiza la partea superioară și inferioară a pereților din zidărie, se pot observa variații de capacitate a mortarului, astfel acesta este friabil la partea superioară și compact și dur la partea inferioară a zidului și în fundații. Supunând unei probe de umezire eșantioane din același mortar prelevate de la partea superioară și de la cea inferioară, se poate observa că mortarul de la partea inferioară are o capacitate de absorbție redusă, ca și cum volumul

spațiilor interstițiale dintre componentele sale s-ar fi redus odată cu trecerea timpului, sub efectul compresiunilor cu intensitate constantă.

Această analiză este în concordanță cu teoria consolidării (materialelor plastice) prin eliminarea apei sub efectul punerii sub sarcină, suficient de lentă, încât conținutul de apă să se poată adapta variațiilor de compresiune. Această compresiune dezvoltă o presiune de consolidare ale cărei efecte asupra mortarelor de var par foarte importante și insuficient cunoscute. Când această presiune este aplicată timp îndelungat- de ordinul secolelor, este posibil ca ea să producă ireversibil o creștere semnificativă a rezistenței mecanice și o reducere a permeabilității mortarelor de var.

Efectele presiunii de consolidare se manifestă și asupra terenului de fundare, sub talpa de fundație solul fiind relativ mai uscat și mai compact decât de o parte și de alta a peretelui de infrastructură.

Creșterea rezistenței mecanice prin fenomenul menționat este confirmată de o bună stare de conservare a unor zidării vechi. Reducerea de permeabilitate a fost observată în cursul demolării unor clădiri vechi, constatându-se că umiditatea din ascensiune capilară nu a afectat direct și degradat decât zona superficială a zidărilor al căror miez a rămas relativ uscat, mortarul având o culoare mai albă decât în cazul celui de la periferia zidăriei, mortarul din zona centrală fiind supus contracțiilor, fiind astfel fretat de elementele de legătură.

În afară de aceste cauze care produc degradări importante asupra construcțiilor, trebuie menționat că există și accidente care nu au fost încă elucidate sau accidente la care distrugerea este cauzată de un ansamblu de situații.

#### **4.4 Predicția prăbușirii și efectele fluajului**

##### **4.4.1 Compresia pe termen scurt: simulări numerice**

Binda et all. [10], au desfășurat teste de deformare pe prismele de zidărie cu dimensiuni de 600x500x250mm<sup>3</sup>, construite din 9 rânduri de 250x120x55mm<sup>3</sup> chirpici și rosturi de mortar de 10mm grosime. Trei tipuri de mortar, notate M1, M2 și M3 au fost testate și au fost luate în calcul la evaluarea proprietăților de compresiune ale prismelor. Pentru fiecare tip de mortar au fost testate câte trei prisme (tab.4.7).

Tabelul 4.7

Unitate / Material	E [N/mm <sup>2</sup> ]	$\nu$	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_f$ [N/mm <sup>2</sup> ]
	4865	0,09	26,9	4,9
Mortar M1	1180	0,06	3,2	0,9
Mortar M2	5650	0,09	12,7	3,9
Mortar M3	17760	0,12	95,0	15,7



Testele au fost efectuate într-o mașină uniaxială MTS 311.01.00 cu plăci de oțel care nu se rotesc și o capacitate maximă de 2500 kN. Efortul aplicat a fost măsurat de un traductor de sarcină dinamometric amplasat între placa superioară și mașină, în timp ce deplasarea verticală medie a fost înregistrată de un traductor montat la interiorul mașinii, făcând posibilă înregistrarea diagramei tensiune-deformație specifică, inclusiv a regimului de slăbire a rezistenței.

Caracteristicile componentelor zidăriei funcție de rezistența de compresiune  $f_c$ , limita de rezistență la tracțiune  $f_t$ , modulul elastic  $E$  și coeficientul Poisson  $\nu$  sunt redate în tabelul 4.8.

Tabelul 4.8

Tipul prisme	Tipul mortarului	$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
P1	M1	1110	11,0
P2	M2	2210	14,5
P3	M3	2920	17,8

Prismele P1, P2 și P3 au fost construite din mortarul M1, M2 și M3 de rezistență crescătoare. Modelele experimentale de prăbușire rezultate erau similare, chiar dacă tipul mortarului era diferit [11]. În figura 4.15 sunt reprezentate modurile tipice de cedare ale zidăriei.

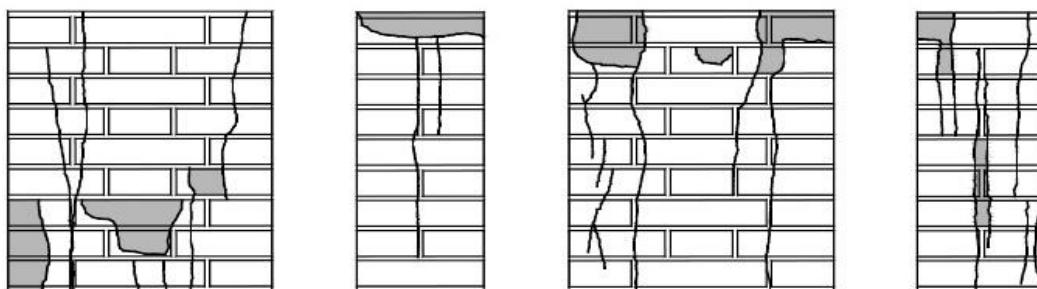


Fig. 4.15. Zonele experimentale tipice de cedare

#### 4.1.1.1 Modelul continuu

În literatura de specialitate, cercetările s-au bazat pe o celulă de bază, în care unitățile și mortarul au fost reprezentate de o structură continuă de ochi de plasă (fig.4.16).

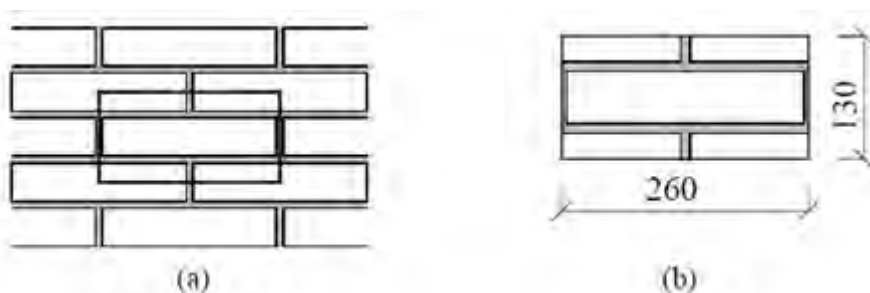


Fig 4.16. Definirea celulei de bază: (a) legătura zidăriei și (b) geometria acesteia

Pentru a se reduce efortul de calcul, numai un sfert din celula de bază a fost modelată astfel fiind admise condițiile de simetrie pentru limitele în plan (fig. 4.17).

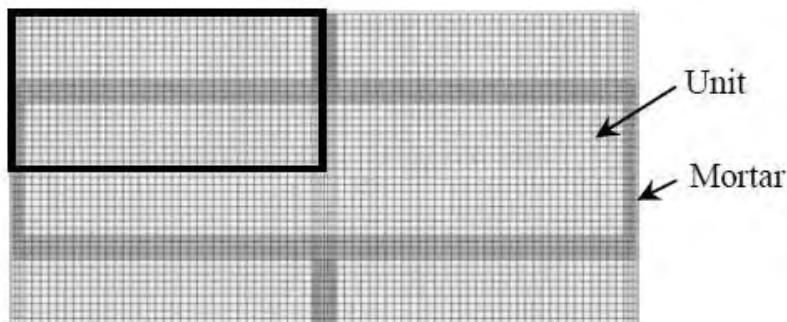


Fig. 4.17 Modelul continuu folosit în simularea numerică [10]

Dimensiunile componentelor sunt aceleași cu cele folosite în experimente. A fost evidențiat faptul că această abordare este doar o aproximare a geometriei reale și că răspunsul numeric obținut este fenomenologic, ceea ce înseamnă că o comparație a tiparelor de prăbușire experimentale și numerice nu este posibilă. Crăpăturile observate la prisme testate sub compresiune [12], efectele limită ale probei și modurile de prăbușire nonsimetrice nefiind acoperite de analiza numerică.

Au fost luate în considerare trei abordări plane diferite, și anume:

- a) stare de tensiune plană (PS);
- b) deformație specifică plană (PE);
- c) o stare intermediară, deformație specifică plană intensificată (EPE).

Această ultimă abordare a constat în modelarea unui strat de zidărie subțire în afara planului cu elemente 3D, impunând deplasări egale în cele două fațete ale stratului.

Analizele 3D complete, cu rețele precise și comportament la slăbire sunt greoaie și nu au fost luate în considerare. Cercetările recente au arătat că analiza stării de tensiune plane intensificată conduce la același rezultat [13]. Răspunsul EPE s-a aflat mereu între răspunsurile extreme obținute cu PS și PE. Din acest motiv, EPE a fost acceptată ca soluție de referință pentru simulările continue și doar rezultatele acesteea au fost analizate.

O descriere completă a simulărilor continue se a fost realizată de Pina-Henriques și Lourenco [14]. Modelarea celulei în EPE a fost realizată folosind elemente de cărămidă cu 6650 noduri, totalizând 13.300 grade de libertate (legătura pentru gradele de libertate din afara planului fiind folosit un model 2D). Integritatea folosită a fost 3x3x3 Gauss. Comportamentul materialului a fost descris folosind un model compozit incluzând un model de crăpătură tradițional în tensiune, tensiune de slăbire, retenție la forfecare [15] și un model de plasticitate Drucker-Prager în compresiune [16]. Materialul se comportă elastic până la o treime din rezistența la compresiune și până la rezistența la tracțiune.

Pentru a reproduce corect rigiditatea elastică a prismelor de zidărie, modulul elastic experimental al mortarului  $E$ , a trebuit ajustat, astfel s-a făcut montarea inversă. Rigiditatea experimentală a mortarului a dus la un răspuns mult mai rigid decât al probelor numerice. Ca și explicație, proprietățile mecanice ale mortarului în interiorul compozitului erau diferite de specițiile de mortar turnate separat [10]. Acest lucru s-a întâmplat din cauză că mortarul a stat și s-a maturat, aceasta reprezintă un mare pas înapoi al micromodelului detaliat. Proprietățile materialului adoptat, incluzând ajustarea rigidității mortarului  $E^*$ , au fost detaliate în tabelul 4.9:

Tabelul 4.9

Component	$E^*$ (N/mm <sup>2</sup> )	$c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sin\phi$	$\sin\psi$	$G_{ft}$ (N/mm)	$G_{fc}$ (N/mm)
Unitate	4865	11,3	3,7	0,17	0,09	0,190	12,5
Mortar M1	355	1,3	0,7	0,17	0,09	0,350	2,7
Mortar M2	735	5,3	3,0	0,17	0,09	0,150	10,0
Mortar M3	1065	39,9	12,0	0,17	0,09	0,600	23,0

unde:

- $c$  reprezintă coeziunea,
- $f_t$  limita de rezistență la tracțiune,
- $\phi$  este unghiul de fricțiune,
- $\Psi$  unghiul de dilatare,
- $G_{ft}$  energia de rupere la tracțiune
- $G_{fc}$  energia de rupere la compresiune.

Valoarea adoptată pentru unghiul de fricțiune a fost  $10^\circ$  (o valoare mai mare pentru starea de tensiune plană ducând la o supraestimare a rezistenței biaxiale) și pentru unghiul de dilatare, s-a luat în calcul o valoare de  $5^\circ$  [17]. Valorile asumate pentru energia de rupere au fost bazate pe recomandările rezultate în urma experimentelor și cerințelor practice astfel încât să fie asigurată convergența numerică [18] [19].

#### **4.1.1.2 Modelul particulei**

Modelul 2D al particulei reprezintă micro-structura unităților și mortarului și constă dintr-o abordare fenomenologică discontinuă bazată pe metoda elementului finit care include și elementele de interfață. Natura discontinuă a componentelor materialului este luată în considerare prin atribuirea unei microstructuri fictive unităților și mortarului, care este compus din elemente liniare elastice continue de formă poligonală, separate prin elemente de interfață nonliniare. Fenomenele neelastice apar în interfețe și procesul de rupere are loc prin ruperea progresivă a legăturilor. Aceasta este o abordare fenomenologică capabilă să surprindă mecanismele tipice de prăbușire și comportamentul global al materialelor cvasicasante [20].

Este arătat că valorile rezistenței la compresiune și tensiune, sunt considerate independente față de mărimea și deformarea particulei, din motive practice.

Modelul component folosit pentru elementele de interfață a fost formulat de Lourancao și Rots [21] și este implementat în codul elementului finit adoptat pentru analize [22]. Modelul include o întrerupere a tensiunii pentru cedarea la întindere (modul I), un înveliș de frecare Coulomb pentru cedarea la forfecare (modul II) și un capac de protecție pentru cedarea la compresiune (modul III). Slăbirea exponențială este prezentă în toate cele trei moduri și este urmată de întărire, în cazul capacului de protecție. Dereglarea microstructurală din model este cauzată de geometria neregulată a particulelor și prin atribuirea particulelor și interfețelor, proprietăți ale materialului generate aleatoriu, funcție de distribuția Gaussiană, pentru valori date ale mediei și coeficientului de variație al parametrilor materialului.

Simulările modelului de particule a fost realizat cu aceeași celulă de bază utilizată la modelul continuum (fig. 4.17). Modelul de particulă este compus din aprox. 13.000 elemente continue, triangulare liniare, 6000 elemente de interfață liniare și 15000 noduri (fig. 4.18). Condițiile de simetrie macro omogene fiind îndeplinite.

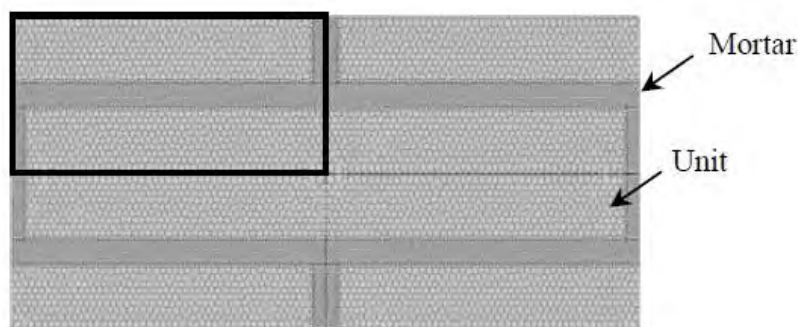


Fig. 4.18. Modelul particulei pentru celula de zidărie [10]

Parametrii materialului au fost definiți prin compararea răspunsurilor numerice și experimentale ale unităților și mortarului, luate separat. Fiecare material a fost modelat recurgând la probele de aceeași dimensiune medie a particulelor, distorsiunea rețelei de ochiuri și dimensiunile componentelor zidăriei folosite în modelul compozit (celula de bază).

Data fiind natura aleatoare a modelului, cinci simulări au fost realizate pentru fiecare componentă a zidăriei presupunând valori medii egale pentru parametrii modelului de material. Parametrii au fost obținuți, de câte ori a fost posibil, din teste experimentale, dar mare parte din parametrii inelastici au fost necunoscuți și au fost estimați. Pentru particule, valorile medii ale modulul elastic  $E$ , mai mari decât cele experimentale, au trebuit să fie adoptate datorită contribuției plasticității interfețelor, caracterizate prin  $k_n$  și  $k_s$ , la plasticitatea generală a probelor. Această corecție fiind necesară în ciuda rigidității mari fictive asumate.

Valorile adoptate pentru rezistența la tensiune a interfețelor  $f_t$ , au fost cu puțin mai mici decât rezistența la tensiune experimentală a probelor, dată fiind contribuția rezistenței la forfecare a interfețelor, datorată ruperii plane. Coeziunea  $c$  a fost luată, egală cu  $1,5f_t$  [23]. În aceste condiții, au fost constatate proporții experimentale reduse între rezistența la tensiune și rezistența la compresiune pentru unitați și mortar, cu valori între patru și opt. Datorită acestui fapt, a trebuit să fie adoptate valori ale coeziunii mai mici decât  $1,5f_t$  pentru mortarele M1 respectiv M2.

Valorile pentru coeficientul de frecare  $\tan\phi$  au fost adoptate astfel încât rezistența la compresiune numerică să fie în concordanță cu rezistența experimentală. Valorile asumate pentru modul I, energia de rupere  $G_{fI}$  au fost bazate pe recomandările din demonstrațiile experimentale [19] [24]. Pentru modul II energia de rupere  $G_{fII}$ , a fost luată în considerare de valoare egală cu  $0,5c$ , cu excepția mortarului M3 cu rezistență ridicată, pentru care a fost adoptată o valoare mai mică, respectiv de  $0,3c$ . Parametrii materialului, luați în calcul sunt redați în tabelul 4.10, iar pentru aceste intrări, răspunsul obținut este prezentat în tabelul 4.11. În tabelul 5.10 sunt date valorile asumate pentru parametrii materialelor, iar în paranteze este menționat coeficientul de variație dat în %

Tabelul 4.10

		Unitate	M1	M2	M3
Particule	$E^*$ (N/mm <sup>2</sup> )	6000(30)	355(30)	750(30)	1200(30)
	$\nu$	0,09(0)	0,06(0)	0,09(0)	0,12(0)
Interfețe	$k_n$ (N/mm <sup>3</sup> )	$1 \times 10^4$ (0)	$1 \times 10^4$ (0)	$1 \times 10^4$ (0)	$1 \times 10^4$ (0)
	$k_s$ (N/mm <sup>3</sup> )	$1 \times 10^4$ (0)	$1 \times 10^4$ (0)	$1 \times 10^4$ (0)	$1 \times 10^4$ (0)
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	3,40(45)	0,75(45)	3,50(45)	10,50(45)
	$G_{fI}$ (N/mm)	0,170(45)	0,038(45)	0,175(45)	0,525(45)
	$c$ (N/mm <sup>2</sup> )	5,10(45)	0,30(45)	0,70(45)	15,75(45)
	$G_{fII}$ (N/mm)	2,55(45)	0,15(45)	0,35(45)	3,15(45)
	$\tan\phi$	0,10(45)	0,00(0)	0,00(0)	0,10(45)

Tabelul 4.11

	Unit	M1	M2	M3
$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	27,2(2,7)	3,2(5,0)	12,7(5,4)	95,8(4,4)
$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	3,61(1,4)	0,64(4,7)	2,70(4,2)	11,62(6,6)
$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	4786(1,9)	1309(1,4)	5632(3,0)	17176(3,1)

4.1.1.3 Discuții asupra rezultatelor din literatura tehnică

Rezultatele numerice obținute pentru prismele de zidărie unde valoarea experimentală a rigidității mortarului  $Num\_E$  și corectată  $Num\_E^*$  sunt redată în tabelul 4.12.

Tabelul 4.12

Tipul prismei		Modelul continuu			Modelul particulei		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3
$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	Exp	11,0	14,5	17,8	11,0	14,5	17,8
	$Num\_E$	19,8	24,2	31,0	15,5	19,3	30,8
	$Num\_E^*$	18,2	24,1	30,0	15,4	17,3	24,6
$\epsilon_p(10^{-3})$	Exp	10,5	7,9	6,6	10,5	7,9	6,6
	$Num\_E$	10,6	9,7	8,4	5,4	4,6	6,2
	$Num\_E^*$	19,9	16,0	33,5	11,8	8,1	8,9

unde:

- $f_c$  este rezistența la compresiune
- $\epsilon_p$  este valoarea de vârf a deformării.

În completare, pentru o comparație mai bună sunt arătate rezultatele experimentale ale prismelor. De menționat, că soluția de referință pentru simulările numerice este soluția dată de  $Num\_E^*$ . În fig. 4.19 sunt reprezentate diagramele experimentale și numerice ale tensiunii, respectiv deformării [25].

Din rezultatele date, se poate concluziona că sarcina de prăbușire experimentală este supraapreciată de modelul particulei și modelele continue, și că rezistența teoretică este afectată de rigiditatea mortarului, mai ales în cazul modelului particulei.

A fost obținută o concordanță mai bună între rezistența experimentală și valoarea de vârf a deformării la modelul particulei, în comparație cu modelul continuum. De fapt, raporturile experimentale și cele numerice ale rezistenței au variat între 165 și 170% în cazul modelului continuu și în cazul modelului particulei au variând între 12 și 14%.

Rezultatele obținute au arătat că valorile maxime ale deformării sunt bine reproduse de modelul particulei, dar supraestimări mari au fost obținute cu modelul continuu. Pentru modelul din urmă, raporturile numerice peste cele experimentale ale deformării maxime au variat între 190 și 510%.

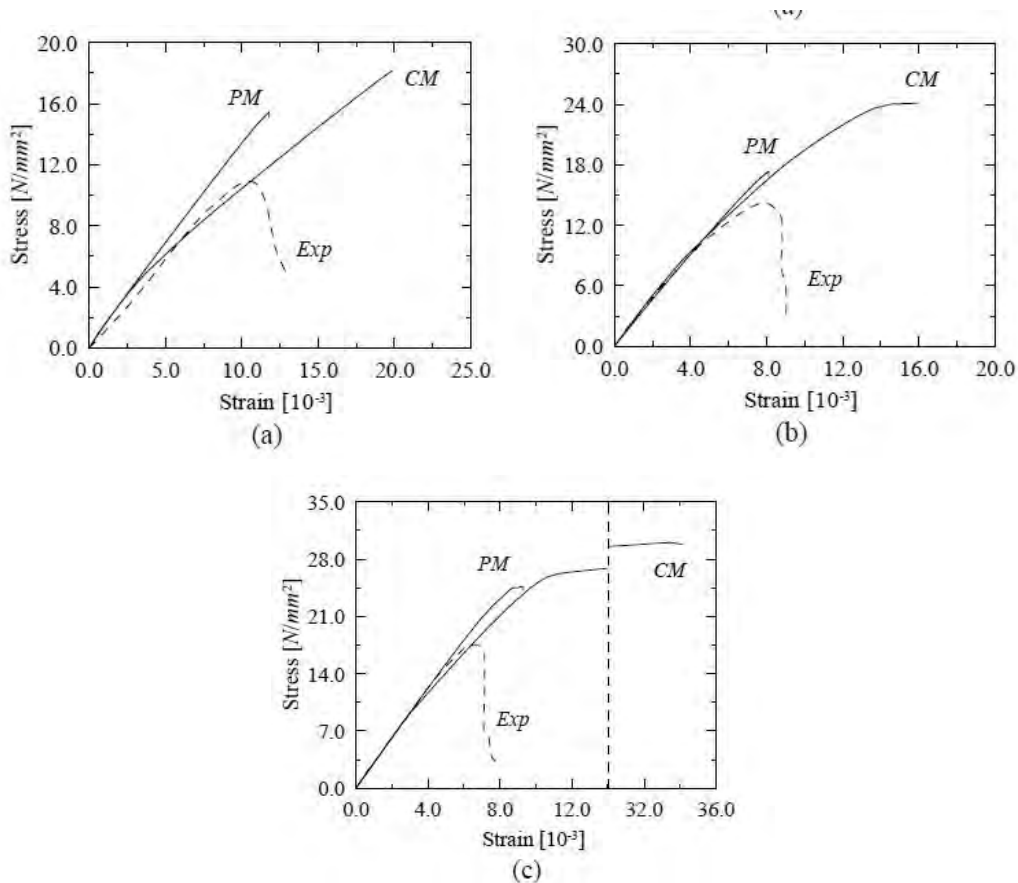


Fig 4.19. Diagramele numerice și experimentale pentru relația deformație-efort. (a) P1, (b) P2 și (c) P3. CM-modelul continuu, PM-modelul particulei, Exp-datele experimentale [10]

Tiparele de cedare sunt un aspect important când se estimează modelele numerice. Ochiurile de plasă/rețele deformate gradual până la cedare folosind modelul continuu și cele ale particulei sunt descrise în fig.4.20-4.22 pentru prismele P1 până la P3 [10].

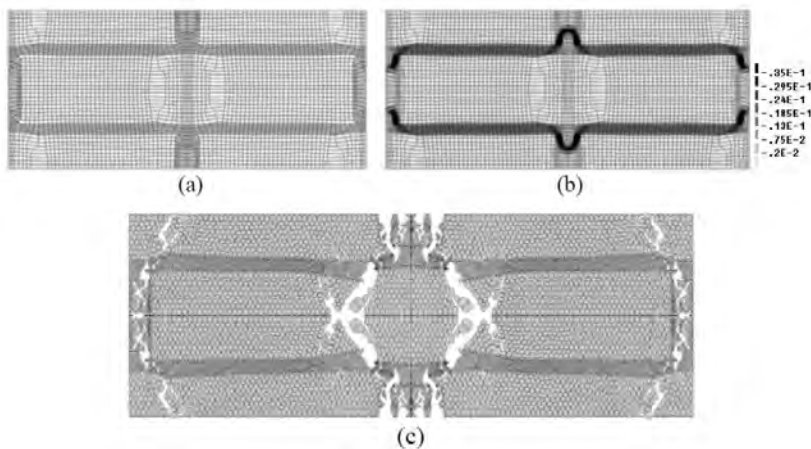


Fig 4.20 Rezultatele deformațiilor pentru P1 folosind modelul continuu: (a) deformarea plasei, (b) deformațiile minime plastice; Folosind modelul particulei: (c) deformațiile plasei implementată [10]

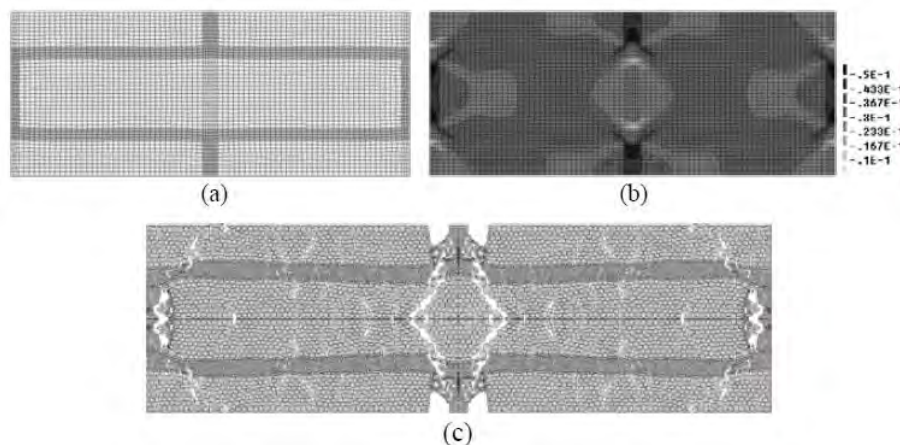


Fig 4.21 Rezultatele deformațiilor pentru P2 folosind modelul continuu: (a) deformarea plasei, (b) deformațiile minime plastice; Folosind modelul particulei (c) deformațiile plasei implementată [10]

În cazul modelului continuu, conturul deformațiilor plastice minime principale este redat pentru o interpretare mai bună a mecanismelor care duc la eșec. De notat, este faptul că doar un sfert din celula de bază a fost modelată, dar rezultatele sunt prezentate pentru întreaga celulă, astfel obținându-se figuri lizibile.

Tiparele numerice de cedare obținute sunt similare pentru cele două modele, continuu și al particulei. Chiar și dacă modelul particulei propus este fenomenologic, tiparele de cedare se aseamănă cu tiparele tipice de compresiune experimentale observate pe fața probelor de zidărie. În cazul prisme P1, cedarea apare în special prin extinderea crăpăturilor verticale în centrul unităților și de-a lungul rosturilor principale, iar mortarul din rosturile inferioare fiind puternic deteriorat. Prisma P2 iese din analiză, din cauza deteriorării difuze extinse în unități și mortar, în mod uniform. În cazul prisme P3, este prezentă deteriorarea difuză, dar strivirea localizată a unităților poate fi observată clar la o jumătate și 1/6 din lungimea unităților de zidărie.

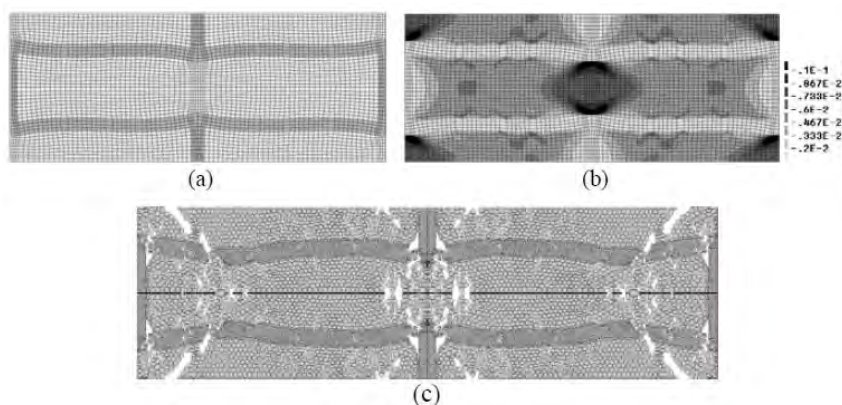


Fig 4.22 Rezultatele deformațiilor pentru P3 folosind modelul continuu: (a) deformarea plasei, (b) deformațiile minime plastice; Folosind modelul particulei (c) deformațiile plasei implementată [10]



#### 4.4.2 Comprimarea pe termen lung: aprecieri experimentale

În biblioteca tehnică, de specialitate, sunt puține informații referitoare la teste executate pe monstre de zidărie veche, deoarece reproducerea acestora în laboratoarele de testare, este foarte greoaie. În ceea ce privește executarea testelor pe probe de zidărie nouă, acestea, nu ar avea aceleași caracteristici (întărirea sau poziția mortarelor, care au o influență semnificativă asupra comportamentului vâscos al zidăriei), fiind irelevante. Un alt impediment este costul ridicat și numărul foarte redus de specimene de zidărie veche disponibile pentru teste distructive. Experimente anterioare, cu materiale similare în comunitatea științifică, nu sunt frecvente. Programul de testare, dezvoltat de Binda et al. [10] a fost relevant pentru că reprezintă un proces de învățare.

Investigarea experimentală realizată de Binda et al. [10], a fost concentrată pe specimene de zidărie cu piatră- (PRe) recuperate din ruinele clopotniței Turnului Civic din Pavia. Dimensiunile probelor au fost  $(200\pm 5) \times (200\pm 5) \times (330\pm 20)\text{mm}^3$ . Ulterior testelor de comprimare, fețele prismelor au fost încărcate cu un strat de mortar gros de 10mm. În toate testele, straturi de teflon au fost introduse între prisme și plăcile de încărcare pentru a reduce la minimum solicitarea la frecare [10]. Un rezumat al testelor realizate este redat în tabelul 4.13.

Tabelul 4.13

	<i>n</i>
Comprimare	4
Fluaj de scurtă durată	4
Fluaj pe termen lung	6

##### 4.4.2.1 Teste de comprimare standard

În laboratoarele de testare din Milano, Italia, au fost efectuate teste de comprimare, pe patru specimene, selectate din zidăria Turnului Civic din Pavia, în urma prăbușirii acestuia. În acest fel, testele efectuate la Universitatea din Milano, au fost făcute într-o mașină de testare hidraulică uniaxială, cu plăci de oțel nerotative și de capacitate maximă de 2000kN. Sarcina a fost crescută constant, sub controlul deplasării de 4  $\mu\text{m/s}$ .

Rezultatele obținute sunt prezentate în fig. 4.23 [10]. Aici, semnul negativ este adoptat pentru contracție (deformație specifică longitudinală sau verticală  $\varepsilon_v$ ), iar semnul pozitiv este adoptat pentru elongație (deformație specifică longitudinală sau verticală  $\varepsilon_h$ ).

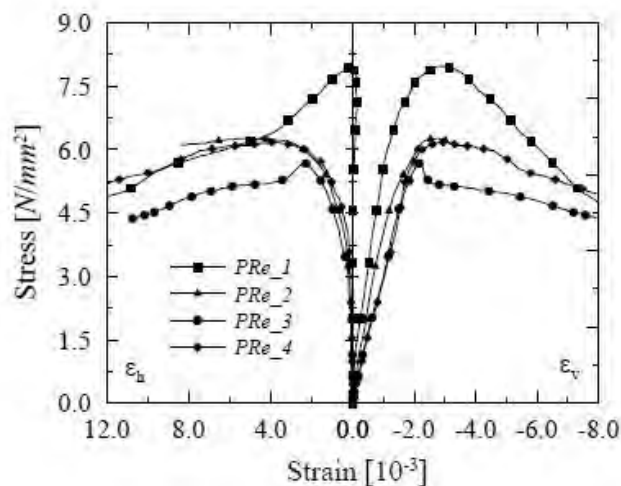


Fig. 4.23 Diagrama tensiune-deformație pentru testul standard de comprimare [10]

A fost menționat faptul că deformările orizontale nule, expuse până la sarcina de vârf, în cazul primului specimen, pot fi explicate prin faptul că doar doi traductori orizontali per specimen au fost folosiți.

În tabelul 4.14 este prezentat un sumar al rezultatelor testelor în funcție de modulul elastic  $E$ , rezistența la comprimare  $f_c$  și deformația specifică maximă  $\varepsilon_p$ . Modulul elastic a fost calculat ca pondere medie a diagramei tensiune-deformație specifică,  $\xi$  între 30 și 50% din  $f_c$ . Modulul elastic este parametrul care prezintă cel mai mare coeficient de variație, aproximativ dublul valorilor găsite pentru rezistență și deformația specifică maximă.

Tabel 4.14

Specimen	$E$ ( $N/mm^2$ )	$f_c$ ( $N/mm^2$ )	$\varepsilon_p$ ( $10^{-3}$ )
PRe_1	4980	8,0	2,7
PRe_2	4515	6,3	2,9
PRe_3	2510	5,7	2,2
PRe_4	2720	6,2	3,0
Media	3680 (34%)	6,6 (15%)	2,7 (13%)

#### 4.2.2.2 Teste de fluaj de scurtă durată

Pentru realizarea acestor teste, s-a folosit aceeași mașină de testare mașina uniaxială ca și în cazul testelor de comprimare standard. Testele experimentale au făcut obiectul unui studiu extensiv de testare al Politehnicii din Milano. Deplasările din specimene au fost înregistrate de un traductor vertical și orizontal GEFTRAN PY2-10 (raza de 10mm), poziționat în fiecare față a prismelor, cu un total de opt traductoare pe specimen [10]. Traductorii verticali au măsurat deformația specifică ca medie longitudinală cu peste 200mm

deschidere și traductorii orizontali au măsurat deformația specifică medie transversală aproximativ peste 150 mm deschidere [16].

În testele standard de fluaj, un specimen este supus unei sarcini constante și deformația este înregistrată la momente ulterioare. Reproducerea testului cu o serie de încărcări diferite rezultă într-o familie de curbe de fluaj, ce caracterizează comportamentul de fluaj al materialului. Cu toate acestea, în cazul zidăriei vechi, această procedură are inconveniente severe, cauzate de dispersia mare a rezistenței materialului și numărului limitat de specimene disponibile.

Pentru determinarea fluajului de scurtă durată, au fost testate patru specimene, selectate din zidăria Turnului Civic din Pavia, în urma prăbușirii acestuia. Pentru a obține rezultate optime comitetul științific de testare a hotărât trasarea unor diagrame de sarcină progresivă pentru speciamentele testate [16].

Specimenele au fost testate aplicându-se trepte de încărcare succesive de 0,30 N/mm<sup>2</sup> la interval de opt ore. În acest mod, prăbușirea poate avea loc în timpul încărcării (cedare pe termen scurt) sau în timpul încărcării susținute (fluaj terțiar).

O încercare de a obține o slăbire a fluajului speciamentelor a fost urmărită prin creșterea duratei ultimilor pași, ori de câte ori rata deformării era similară valorilor observate la speciamentele anterior testate [16].

În figura 4.24a sunt arătate deformațiile medii verticale (longitudinale) și orizontale (transversale) obținute, respectiv  $\varepsilon_v$  și  $\varepsilon_h$ . În figura 4.24b este trasată diagrama timp-tensiune-deformație specifică pentru specimenul care oferă o descriere detaliată a rezultatelor [10].

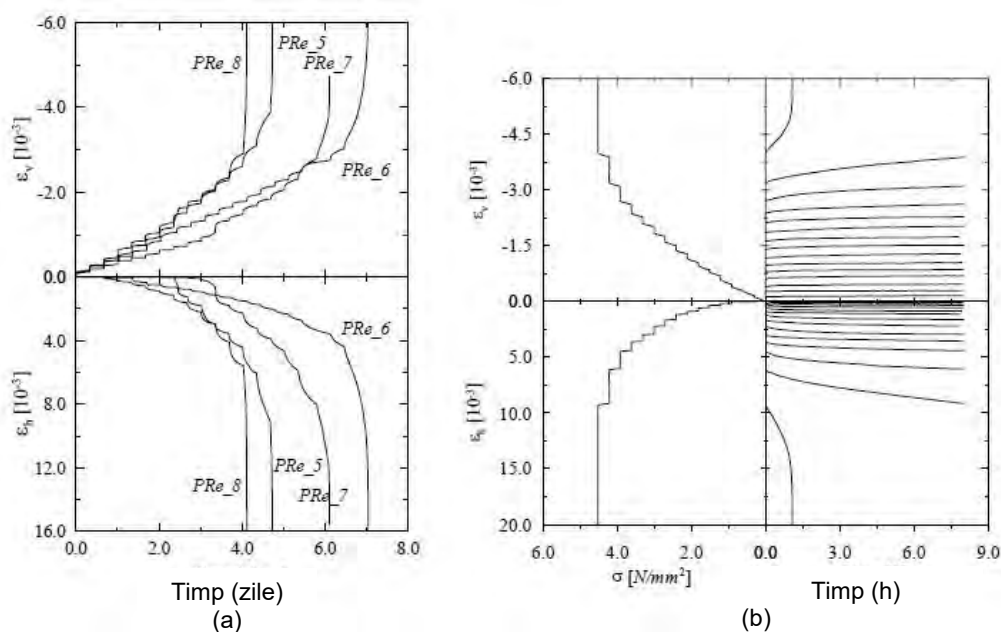


Fig 4.24. Rezultatele obținute în urma testelor de fluaj de scurtă durată [10]

În tabelul 4.24 se prezintă un sumar al rezultatelor experimentale în funcție de modulul elastic  $E$ , solicitarea maximă, și timpul până la cedare  $T$ , care corespunde duratei testului de fluaj. Valorile modulului elastic  $E$  au fost calculate ca medie de la a doua și a patra treaptă de încărcare (0,30-1,2 N/mm<sup>2</sup>) [10].

Tabelul 4.15

Specimen	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$T$ (zile)
Pre_5	2700	4,50	4,7
Pre_6	3185	5,70	7,0
Pre_7	4075	5,40	6,1
Pre_8	3815	3,90	4,1
Media	3445(18%)	4,9(17%)	5,4

Comparația dintre rezistența la comprimare medie standard ( $f_c=6,6$  N/mm<sup>2</sup>) și rezistența medie pe termen scurt la fluaj ( $f_c=4,9$  N/mm<sup>2</sup>) pare să indice că extinderea deteriorării cauzată de încărcarea susținută, influențează rezultatele. În ceea ce privește modulul elastic mediu, diferența este mică.

În ceea ce privește tiparele fisurării, fisurile verticale subțiri și difuze se menționează că au apărut, în specimene, în timpul testelor, iar cele mari și extinse, sunt menționate că, apar după cedare.

Modul cedării este riscant deoarece poate duce la concluzii eronate despre nivelul de siguranță al structurilor existente lucru accentuat în figura 4.25 care ilustrează modul de fisurare în cazul specimenul Pre\_7 (Turnul Civic din Pavia).

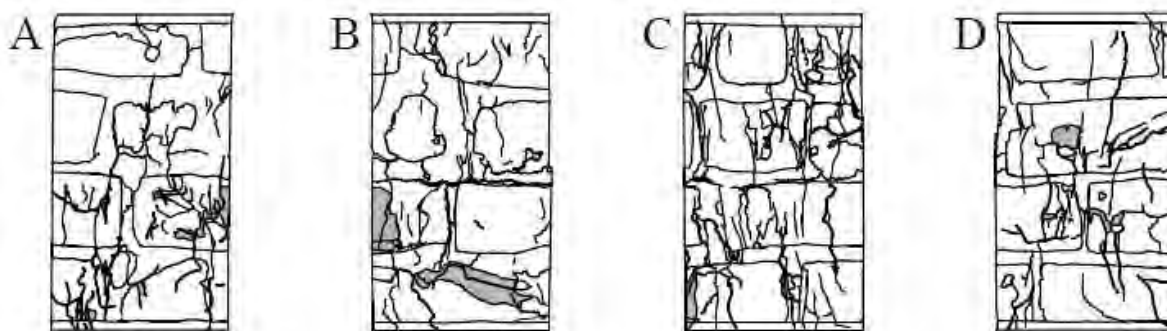


Fig. 4.25 Modelul de cedare pentru specimenul Pre-7 [10]

#### 4.2.2.3 Teste de fluaj pe termen lung

Pentru testările, de fluaj pe termen lung, la Universitatea din Milano a fost creat un dispozitiv special prezentat în figura 4.26.

Echipamentul a fost creat pentru a testa simultan două prisme, separate de o placă de oțel [13].

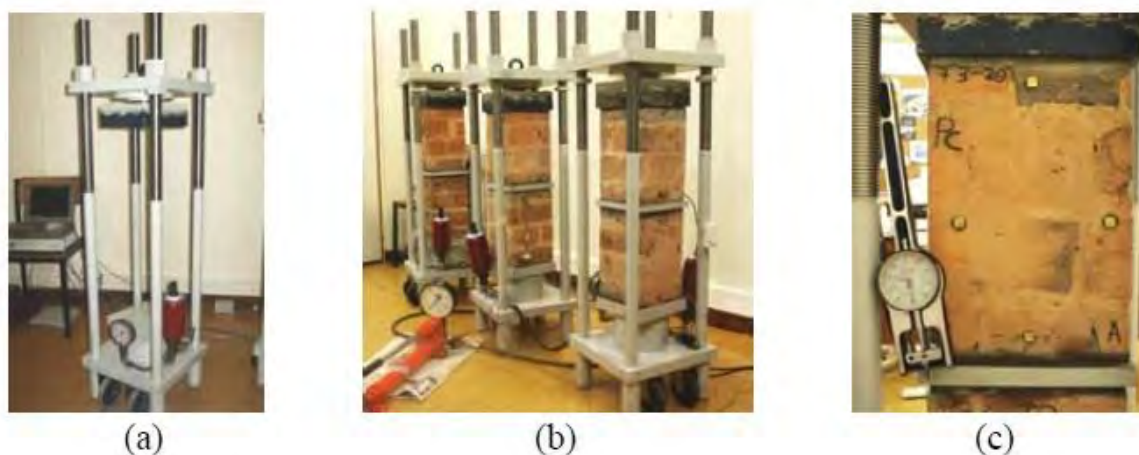


Fig. 4.26 Aparatul utilizat pentru testare: (a) cricul hidraulic, (b) speciemenle în timpul testării, (c) speciemenul după testare [10]

Deformări longitudinale și transversale au fost măsurate pe fiecare față a prisme. Testul a fost efectuat în condiții controlate de temperatură ( $22\pm 2^\circ\text{C}$ ) umiditate ( $55\pm 10\%$ ) [10].

Testele s-au derulat pe șase speciemeni. Ca și la testele de fluaj de scurtă durată, încărcarea a fost aplicată în trepte succesive și menținută constantă pentru o anumită perioadă. Două prisme au fost testate aplicând o tensiune inițială de  $150 \text{ N/mm}^2$  și trepte succesive de  $0,65 \text{ N/mm}^2$ . Încărcarea inițială reprezintă aproximativ, 25% din rezistența la comprimare  $f_c$  obținută din testele standard de compresiune iar încărcările pe treptele superioare corespund, aproximativ, 10% din  $f_c$ . Durata fiecărei perioade, sub încărcare constantă, a fost de trei luni [16]. Alte patru speciemeni au fost inițial încărcate la  $4,10 \text{ N/mm}^2$  (aprox 60% din  $f_c$ ) cu creșteri ulterioare ale încărcării de  $0,65 \text{ N/mm}^2$  (10% din  $f_c$ ), aplicate la interval de șase luni. Cele două tipuri de teste, de încărcări, au fost estimate a avea o durată de aproape doi ani [10]. În figura 4.27 au fost reprezentate deformările verticale și orizontale obținute la prismele testate cu perioade de încărcare constantă timp de trei luni [10].

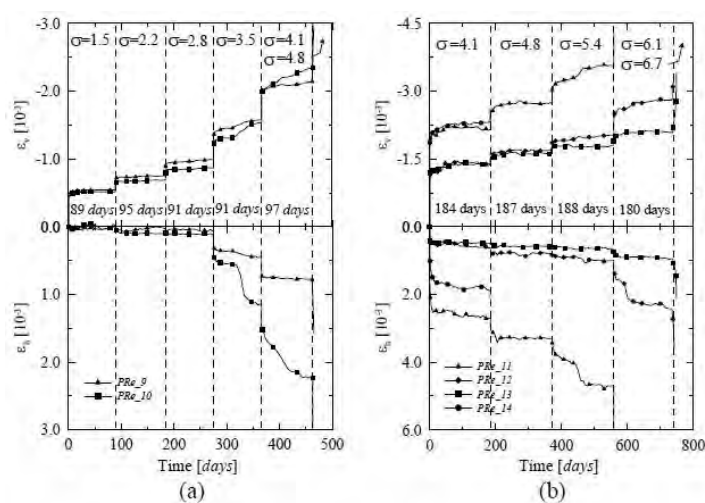


Fig 4.27 Diagrama deformatii-timp obținută pentru testele de fluaj de lungă durată [10]

Pentru speciamele testate cu perioade de încărcări constante de șase luni, figura 4.27(b) arată diagramele medii, deformație specifică - timp obținute pentru toate prismele testate. În tabelul 4.16 este prezentat un sumar al rezultatelor obținute.

Tabelul 4.16

Specimen	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$T$ (zile)
Pre_9	5055	4,75	465
Pre_10	4380	4,75	464
Media	4718	4,8	464

În fig. 4.28 este prezentată evoluția deformației pentru fiecare față a specimenului Pre-12, și diagrama timp-tensiune-deformație specifică pentru același specimen.

Analizând figurile 4.27 și 4.28 se poate observa că, evoluția tensiunii este diferită pentru fiecare față a speciameleor. Acest comportament este tipic testelor de comprimare la materialele cvasicasante dar, în experimentele prezentate, această caracteristică este remarcabilă datorită plăcii superioare de încărcare articulată [10]. Alt aspect important este acela că în unele speciame, crăpăturile apar subit, în timpul treptelor de încărcare, rezultând un salt al deformației în diagrama deformație specifică-timp (fig. 4.27).

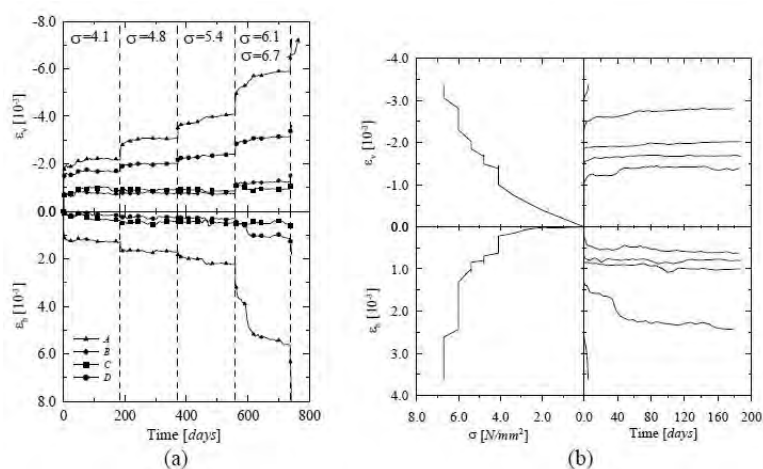


Fig 4.28 Diagrama timp-tensiune-deformație specimenul Pre-12 [10]

Valorile obținute pentru rezistența la comprimare sunt în gama obținută pentru testele standard, de rezistență la compresiune și testele de fluaj de scurtă durată. S-a constatat că deplasările obținute de traductori au fost în concordanță cu măsurătorile efectuate.

Figura 4.29 descrie evoluția modului de propagare al crăpăturilor pentru specimenul etalon. Extinderea difuză pe verticală a crăpăturilor în timpul testelor a fost observată, prin apariția crăpăturilor mari care s-au dezvoltat până la spargere. Remarcabil a fost faptul că speciamele cu valori mici, ale  $f_c'$ , aveau cele mai multe crăpături difuze. Avaria severă

neuniformă poate fi observată de-a lungul celor patru fețe ale specimenelor, fiind astfel confirmate rezultatele din fig. 4.28a.

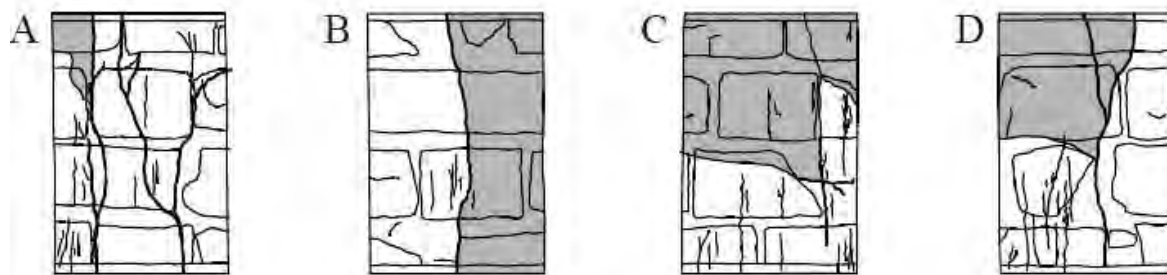


Fig 4.29 Evoluția crăpăturii pentru specimenul etalon [10]

#### 4.5 Rezultatele testelor analizate în literatura tehnică

Rezistența la compresiune pe termen scurt  $f_c$ , pentru fiecare prismă testată în fluaj, este necunoscută și poate doar să fie estimată. În această secțiune, valorile de vârf ale tensiunii  $f_c'$  obținute la testele de fluaj, pot fi comparate cu valorile rezistenței la compresiune  $f_c$ , în realitate, rezistența la comprimare  $f_c$ , poate să nu corespundă cu  $f_c'$ , însă valorile rămân ca cea mai apropiată estimare, pentru un material eterogen, ca cel din cazul testelor efectuate la Universitatea din Milano.

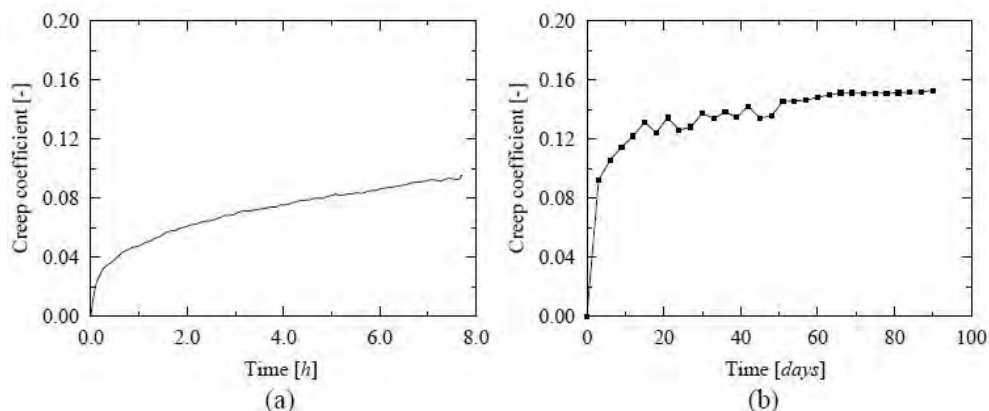


Fig 4.30 Evoluția coeficientului de fluaj [10]

Figura 4.30 ilustrează evoluția coeficientului de fluaj, definit ca raportul dintre deformația de fluaj (creep strain) și deformația elastică, acestea fiind determinate în urma testelor de fluaj pe termen scurt, respectiv pe termen lung.

Coeficientul de fluaj obținut la testele de fluaj pe termen scurt cât și pe termen lung, reprezintă media rezultatelor în urma testării.

Coeficienții de fluaj de 0,10 și 0,15 au fost obținuți la sfârșitul a 8 ore și 90 de zile de sarcini constante, confirmând că cele mai multe deformații de fluaj au loc în primele stadii. Un alt aspect important este acela că coeficientul de fluaj obținut la sfârșitul a 90 de zile este semnificativ mai mic decât cel recomandat de Eurocodul6 [26] pentru zidărie din unități de

argilă sau lut, care sunt între 0,5 și 1,0. Acest fapt poate fi explicat astfel: valorile EC [26] iau în calcul zidăria nouă, iar maturarea mortarului este într-un stadiu inițial, alt aspect este că speciamentele testate au fost de aproximativ 5 secole sub sarcini de serviciu înainte de testare [10].

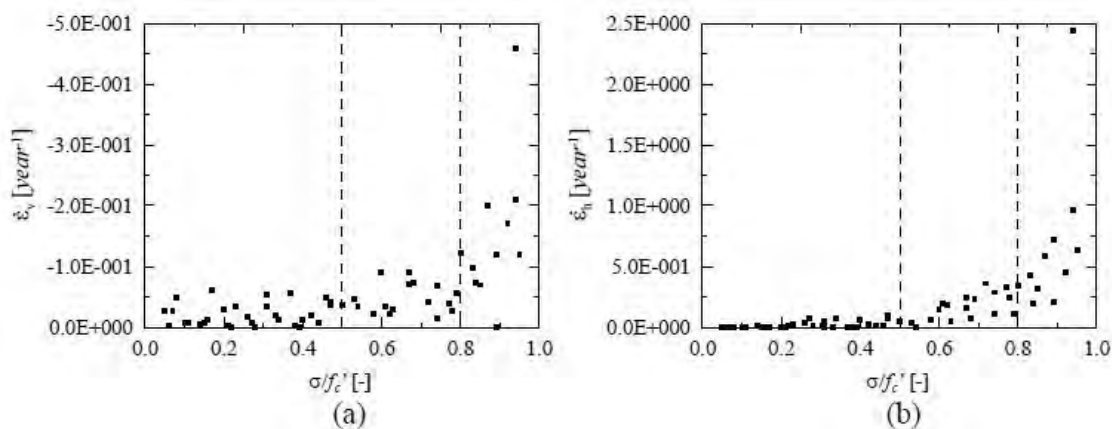


Fig.4.31 Evoluția ratei deformației verticale și orizontale [10]

În figura 4.31 sunt arătate, evoluția ratei deformației (strain rate), verticale și orizontale, față de raportul tensiune aplicată și rezistență  $\sigma / f_c'$  pentru speciamentele testate la fluaj pe termen scurt. Valorile ratei deformației au fost calculate între a șasea și a opta oră a stadiului fiecărei încărcări [10]. Se știa că valorile ratei deformației pe verticală sunt negative, iar valorile pe orizontală pozitive, dar s-au găsit și excepții.

Din figura 4.31 se pot distinge trei faze ale evoluției ratei deformației:

- pentru valori reduse ale solicitării (până la 50% din  $f_c'$ ), rata deformației pe verticală este aprox constantă și chiar redusă;
- pentru niveluri medii ale solicitării (între 50% și 80% din  $f_c'$ ), rata deformației pe verticală crește moderat;
- pentru niveluri ridicate ale solicitării (peste 80% din  $f_c'$ ), se poate observa o creștere semnificativă a ratei deformației specifice/tensiune.

Existența a trei faze distincte a fost raportată și de Mazzoti și Savoia [27] la testele de fluaj de scurtă durată pe speciamente din beton. Figura 4.32b arată că la peste 50% din  $f_c'$ , apar crăpăturile și încep să se dezvolte, influențând comportamentul la fluaj al materialului.

Figurile 4.32 și 4.33 exemplifică evoluția ratei deformației față de rata rezistenței la testele de fluaj de lungă durată cu perioade constante de încărcare de trei respectiv de șase luni.



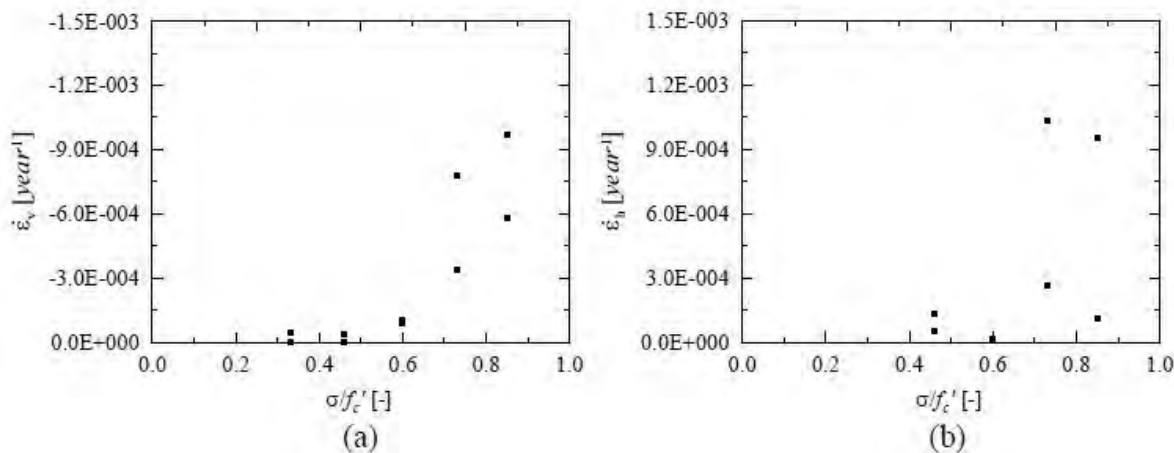


Fig. 4.32 Media deformațiilor timp de 30 de zile față de efortul aplicat de-a lungul testelor de fluaj pe termen lung [10]

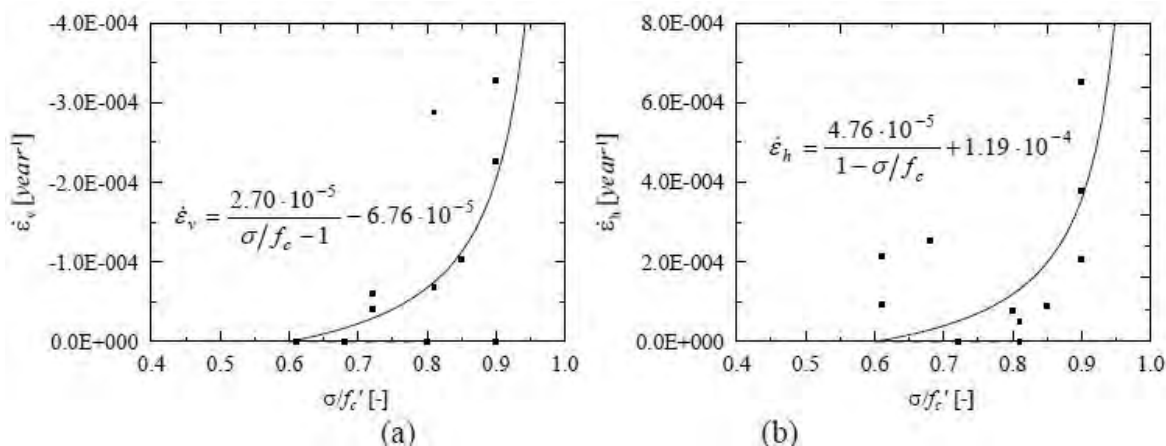


Fig. 4.33. Media deformațiilor timp de 30 de zile față de efortul aplicat in timpul testelor de fluaj pe termen lung. (a) evoluția deformațiile verticale, (b) evoluția deformațiile orizontale [10]

Pentru o concluzie clară, din observațiile făcute, trebuie efectuate un numar semnificativ de testări. Diferența dintre valorile ratei deformării obținute la testele de fluaj de scurtă durată și testele de fluaj de lungă durată, este eidentă.

Un alt aspect important este că fluajul secundar a apărut între 60 și 70% din  $f_c$ . Valori mari ale ratei deformării au fost obținute la prismele testate pe perioade de sarcină constantă de trei luni, subliniind natura dispersată a zidăriei testate.

Diferența evidentă dintre valorile ratei 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 deformării.

## 5. ANALIZA DESCRIPTIVĂ A CLĂDIRILOR DE TIP ”CULĂ”

### 5.1. Istoricul și analiza structurală

Clădirile de patrimoniu de tip culă au fost construite pe o perioadă de patru secole în Regiunea Oltenia. Prezentarea și analiza acestora atât din punct de vedere al valorii lor istorice, arhitecturale, al sistemului constructiv cât și rolul social avut în zona Olteniei ofera informații importante pentru estimarea duratei de viață a acestora.

Termenul de culă este împrumutat din vocabularul turco-bulgar, dar în ceea ce privește sistemul structural și funcțional, dar și arhitectural și estetic, sigurul lucru comun cu culele amplasate în zona de Sud de Dunăre, este denumirea (fig.5.1,fig.5.2).

Construirea acestor mici fortărețe, a fost o necesitate a vremurilor trecute, sistemul constructiv fiind adaptat la viața socială și la nevoile impuse de mediul înconjurător, iar influența obiceiurilor și tradițiile locale, au dus la crearea unui stil unic și specific al Olteniei. Apariția culelelor se datorează unor împrejurări de forță majoră și fapte istorice care s-au manifestat exclusiv în această regiune, iar locul de amplasare fiind strategic ales în funcție de utilizarea pentru care au fost clădite.

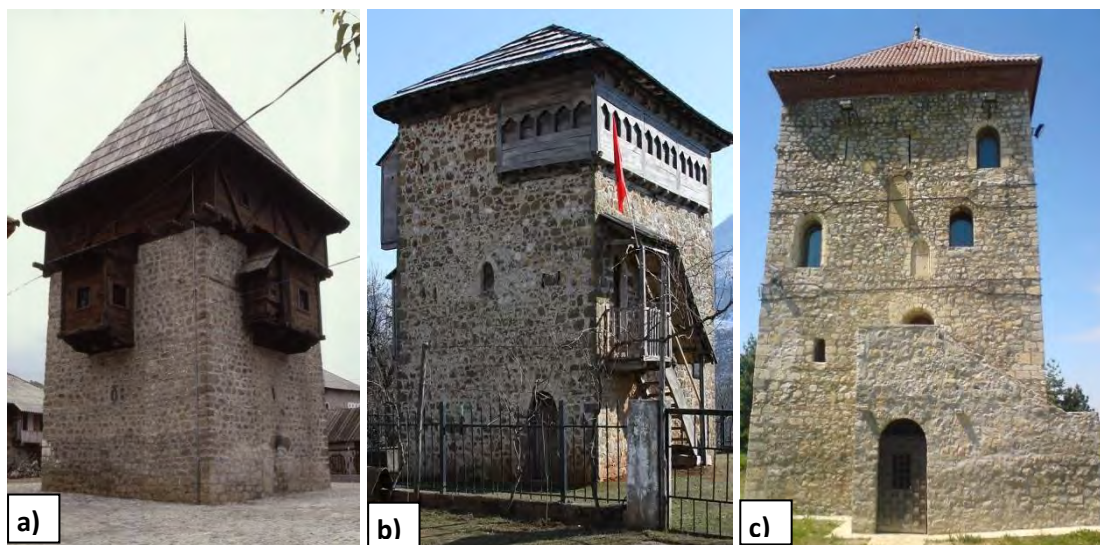


Fig.5.1 Cule din Zona Balcanică: a) Kula Redzepagica din Plav, Muntenegru, [11] b) Kulla von Mic Sokoli din Tropoja, Albania, [12] c) Turnul Nenadovic din Valjevo, Serbia [13]

Clădirile de patrimoniu din România de tip culă sunt realizate din zidărie masivă de cărămidă și edificate în secolele trecute. Toate aceste clădiri au suferit de-a lungul timpului efectul mai multor factori care au dus la degradarea acestora. În plus, au fost supuse și la un număr mare de mișcări seismice puternice. Aceste clădiri pot pune în pericol viața a numeroase persoane, proprietari, uneori vizitatori 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 [1].

Cauzele ce duc la situațiile critice de colaps pot fi: mișcările seismice puternice; condițiile de fundare inclusiv alunecarea de teren a versanților, terenuri sensibile la înmuiere; intervenții neinspirate de-a lungul timpului; condițiile climatice ce duc la degradarea materialelor până la stadiul de friabilizare; întreținerea necorespunzătoare [1].

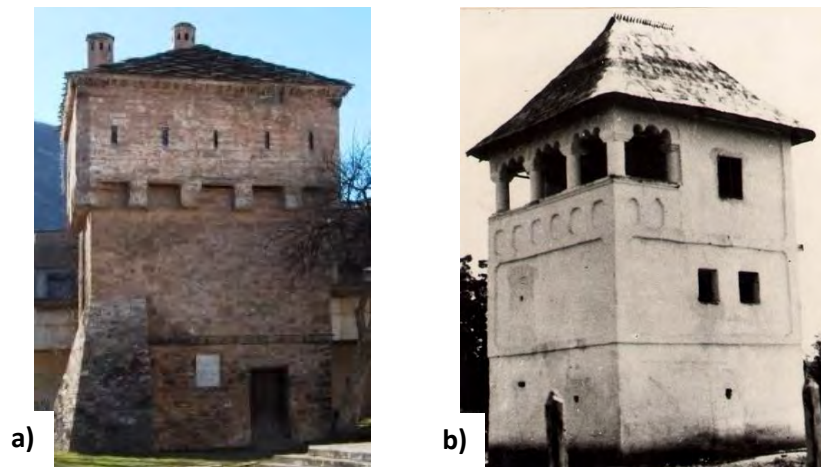


Fig.5. 2 Cule de-a lungul Dunării a) Kula Kurtpashov din Vratsa, Bulgaria, [14]  
b) Cula Cioabă-Chintescu din Șiacu, Romania (1970) [15]

Toți acești factori sunt analizați în acest studiu în vederea determinării proporției în care aceștia participă la degradarea structurilor.

### 5.1.1 Originea și funcțiunea îndeplinită

Urmărind modul constructiv, amplasarea lor pe teren, acestor mici fortărețe, le-a fost impus un scop, încă din faza de concepere, construcție. Astfel, putem spune că cele mai importante funcții avute au fost:

- a) **Cule de refugiu și apărare**- fiind construite între anii 1516-1806, au fost ridicate cu gândul de adăpostire provizorie, în caz de alarmă și surprindere până la trecerea pericolului. Au fost construite în imediata învecinare a conacelor boierești, având o înălțime dominantă pentru o bună vizibilitate la mari depărtări, având uși bine ferecate, dar cu un spațiu locuibil limitat. La ultimul nivel aveau un balcon-foișor având rolul de veghe. Amplasamentul era ales cu grijă, pe culmi de dealuri, astfel fiind ușor de urmărit împrejurimile și văile gârlelor, pe unde de obicei se aștepta venirea invadatorilor.

”Culele de refugiu sunt construcții masive cu zidărie în grosime de până la 1m, cu uși solide din lemn de stejar noduros, ferecate cu benzi de fier, și zăvorâte cu drugi de lemn, iar meterezele erau plasate mai mult pe coridoare sau scările de acces” [2].

- b) **Cule de veghe, semnalizare, respectiv, de alarmă**- construite între anii 1800-1850, nu prezentau camere de locuit cu caracter de permanență, scopul lor fiind exclusiv de pază și veghe, iar serviciul de pază era asigurat prin rotație de persoane desemnate,

iar în cazul în care se observa o posibilă invadare aveau sarcina să alarmeze întreaga comunitate, ziua prin semnale cu fum, iar noaptea cu făcări. După ce se convingeau că semnalele erau recepționate, părăseau cula și se refugiau cu ceilalți locuitori în satele vecine. După funcție și poziție, culele aveau înălțimi destul de mari, având până la patru nivele, adică un parter urmat de trei etaje.

Acest tip de cule au apărut în prima jumătate a secolului al XIX-lea, în urma prăpădului cârjalilor lui Pazvant-oglu, când toată zona Craiovei a fost arsă, incendiu ce a durat mai bine de 10 zile. Astfel boierii Craioveni găsesc necesar construirea unor cule turn ca sistem de apărare, alarmare.

- c) **Cule de tip locuință cu caracter permanent**- acestea îndeplineau și funcția de semnalizare și alarmare și au fost ridicate între anii 1850-1900, îndeplineau și funcția de semnalizare și apărare, devenind un loc de trai pe tot parcursul anului astfel fiind adăugate coșuri pentru sobe și latrine pentru nevoile fiziologice. Specificul acestor cule este acela că toate prezintă structuri din zidărie masivă, la parter au un beci și au două caturi, adică trei nivele, iar la ultimul etaj au un pridvor gen balcon cu coloane rotunde de zidărie ce susțin arcuri trilobate, treflate sau în formă de semicerc, toate au metereze, dar nu din camerele de locuit [2].

Culele din Oltenia-Muntenia, fie de locuit, de apărare sau de refugiu, veghe și alarmă, sunt construcții cu caracter specific local, construite în stilul etnic local, stilul oltenesc și înfățișează talentele și priceperile meșterilor localnici care au trăit, adoptând sistemul constructiv la condițiile timpului și locului. Ele "vorbesc" despre tradițiile arhitecturale, despre istoria îndepărtată, despre viața zbuciumată a acestor locuri, constituind dovezi materiale despre trecutul nostru atât de puțin cunoscut [2].

În tabelul 5.1 este catalogul cu toate Culele din zona Oltenia, enumerate în ordine cronologică, în funcție de anul zidirii.

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

**Tabelul 5.1**

Nr. Crt.	Denumirea	Localitatea sat/comuna	Jud.	Anul zidirii	Dimensiuni	Ctitor	Forma construcției Istoric rezumativ	Fcț. avută	Starea fizică. Destinația actuală
1	Cula Greceanu VL-II-m-A-09812.01	Măldărești	VI	1516	Plan parter: 8,50 x 7,90m H.9,20 m	Nan Paharnicul (Tudor Măldăr)	Parter și două etaje cu aspect de fortăreață. Actuala geometrie este din sec. XVIII. Modificată în 1780-1790. Alte intervenții au fost realizate în 1934 și între anii 1966-1967 când a fost organizată ca muzeu.	R A L	Stare bună, necesită restaurare. Proprietate privată. Muzeul satului.
2	Cula Cornoiu GJ-II-m-A-09256.01	Curtișoara	Gj	1548	Parter: 10,8x10,4m. H: 10,10m Grosime perete 1,00m.	necunoscut	Pătrată, parter și doua etaje. La parter sunt două beciuri, cu fântână, și scara care duce catre etaj. Inițial a fost culă de refugiu. În 1840 a fost reparată radical și transformată în locuință; 1881, și 1927-1928 ultima resturare. In 1945 naționalizată, fapt ce a dus cula într-o stare de degradare și ruinare. În 1966-1968 restaurată de arh. I. Atanasescu. În anul 1975 -Muzeul arhitecturii populare gorjenești.	R A L	Stare bună Muzeu. Proprietate privată
3	Cula Cernătescu DJ-II-m-A-08237	Cernătești	Dj	1600	Parter: 9,05x6,05m, H:10,20m. Grosime perete: 0,80m	Dimitrie Cernat	Formă dreptunghiulară, a avut initial două nivele iar în 1900 s-a supraetajat. Pe latura de vest, atașată culei, se află o anexă sanitară. A fost consolidată cu un masiv contrafort în colțul de sud-est. Meterezele sunt încă prezente. Ajunsă în ruină, cula este restaurată între anii 1968-1969, fiind transformată în muzeu.	L V R A	Puternic afectată. Necesită restaurare
4	Cula Bălești	Bălești	Gj	1633	Parter: 10x9,20m Grosime peretei: 0,80m.	Neamul Bujorenilor	Parter și două etaje. Prezenta ziduri de piatră de râu și cărămidă.	V S R	Demolată
5	Cula Beharca	Beharca/ Coțofenii din fata	Dj	1633	Grosime perete ≈1m. 8,20x8,10m H.10,8m	Mihai Coțofeanu (Tătarul)	Parter, două etaje și tainiță sub scară, prezenta ziduri groase. În 1801 incendiată, în 1838 etajul II este surupat de cutremur. La 1840 refacută, 1850 trece în proprietatea lui Pleșa. În 1951 trece în proprietatea statului, în 1949-1951 în proprietata GAS, iar în 1951 este demolată.	V R A	Demolată 1955
6	Cula Tatomirești	Tatomirești/ Brădești	Dj	1648	Parter: 13,00x7,50m. H.9,40m Grosime perete 0,80m.	Dumitru Filișeanu	Parter și două etaje.	V R A	Demolată 1927
7	Cula Vlădaia	Vlădaia	Mh	1648	15,5x11,6m	Fam.	Parter și trei etaje, încăperi boltite. Era amplasată în	O A	Dispărută

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

					H.15m Grosime perete 1,10m.	Vlădăianu	vecinătatea conacului. La 1906 mai exista beciul și o parte din parter.		1926
8	Cula din Polata	Polata/ Tg-Jiu/ Bârzești	Gj	Sec XVII	-	Neamul Buzeștilor	Turn cu patru nivele. Se presupune că era construită din zidărie de pietre de stâncă cu mortar de var. În 1696 exista în stare de funcțiune, iar 1904 nu mai exista fiind complet demolată.	R A	Dispărută
9	Cula Poiana	Poiana/ Gârbești, Bîlteni	Gj	Sec XVII/ (1822)	Parter: 7,00x6,00m. H: 10,00m. Grosime perete: 0,90m.	Dincă Poenaru (Dobre Sârbu)	Parter și trei etaje, tainițe, cerdac îngust. Se presupune că ar fi existat pe la 1655-1657, fiind proprietatea lui D.Sîrbu. Este refăcută în 1822 de către Dincă Poenaru. În 1838 este ruinată de cutremur, iar în 1927 începe demolarea, iar în 1970 se mai găseau doar fragmente de cărămidă.	V R A	Dispărută 1927
10	Cula Popești (Ciumernicului)	Popești- Leordeni	If	Sec XVII		Boierii din Furduiești	Nu se cunosc date exacte despre forma culei.	R A	Dispărută
11	Cula Rovinari	Rovinari/ Bîlteni	Gj	Sec XVII	Parter: 7,20x6,80m H: 12,00m. Grosime perete:1,10m	Toma Rovinaru	Turn cu parter, două etaje, și foișor. Cula era zidită din piatră de gărlă și de carieră și alternată cu rânduri de cărămidă. Incendiată în 1925. În 1927 mai dăinuiau ruinele parterului, primului și al doilea etaj. În 1945 sfatul popular local a demolat cula pentru a lua materialele de construcție. În 1970 - urme ale fundațiilor.	V S	Dispărută 1945
12	Cula Otetelișanu VL-II-a-B-09661	Benești	VI	1713	Parter: 11,85x14,43m Grosime pereți: Subsol-0,80m Parter-0,70m.	Boierii Otetelișeni	Formă rectangulară, construită din cărămidă cu ziduri masive. În sec. XIX încep lucrări de extindere, 1964 este resturată de către arh I.Atanasescu fiind readusă la aspectul inițial. Fam. Otetelișanu a locuit în ea până la naționalizare când a devenit muzeu. 2000-2003-retrocedată propriearilor. În 2013 restaurată complet.	-	Stare foarte bună. Conac pensiune.
13	Cula Băbeni	Băbeni de Olteț	VI	1716	H:12,00m.	Toma (Barbu) Băbeanu	Cula a avut patru nivele. În 1805 structura culei a fost modificată. În 1890 cula a fost redusă la jumătate (parter și primul etaj) și a fost înglobată în conac. La 1906 ruinată, iar la 1945 demolată.	V S	Demolată
14	Cula lui Costea TR-II-m-A-14340	Frăsinet	Tr	Sec XVIII (1718)	-	Nicolae și Ionița Brâțcoveanu	Cula are plan compact pătrat, în prezent având trei nivele. Cula nu are ferestre, doar metereze. În anul 1878, cula este modificată și își pierde partea superioară. A intrat în proprietatea GAS ulterior fiind părăsită și ruinată. În prezent, deși refăcută, cu etajele superioare reconstituite, cula este din nou părăsită.	V A	Abandon
15	Cula Pojogeni (Scrădeanu)	Pojogeni	Gj	1718- 1739	Parter: 7,40x6,10m H: 10,80m.	Ion Scrădeanu	Un parter și trei etaje, cerdac cu parapet de zidărie și stâlpi de lemn, camere boltite și decorate. La 1838 avariata de cutremur, refăcut în 1844-1846. La 1906 este incendiată	V R A	Dispărută 1927

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

							prin trăsnet, fiind ruinată.		
16	Cula Bujoreanu VL-II-m-B-09693.01	Bujoreni	VI	1720- 1725	Parter: 7,65x6,12m H: 13m. Grosime perete:0,90m.	Costache Săvoiu/ Toma Bujoreanu	Este din zidărie de cărămidă și piatră de gârlă, plan dreptunghiular cu două nivele. La parter se află beciul, cu acces din exterior care nu are comunicare directă cu etajul- scară exterioară. La parter și etaj – câte o încăpere. Refacuta la 1804. Cula trece, prin zestre, în proprietatea lui Matache Temelie, fiind cunoscută și sub numele de Cula lui Temelie. Părăsită la începutul secolului XX, cula era ruinată în anii 60. A fost restaurată în 1969.	R A	Stare foarte bună În incinta Muzeului satului vâlcean
17	Cula Glogoveanu GJ-II-m-A-09306.01	Glogova	Gj	1730/ 1764	Grosime perete beci: 1,45-1,50 m	Matei Glogoveanu	Cula este compusă din parter și etaj. Etajul este format dintr-un pridvor cu coloane de lemn unic la construcțiile de acest gen din zonă. În 1764, a fost construită actuala formă, păstrând din vechea culă doar beciul. Mai târziu, clădirii i se adaugă cerdacul și se extinde. Din 1951, devine proprietatea GAC. În 1964-1967 este restaurată radical, iar după terminarea lucrărilor clădirea a adăpostit un muzeu local. După 1990 a fost folosită drept casă de oaspeți.	A L	Stare bună Casă de oaspeți
18	Cula Sultănica AG-II-m-B-13807.01	Șuici	Ag	Sec XVIII	Grosime perete:0,90m	Fam. Brătianu	În secolul al XVIII-lea, pe moșia Șuici, boierii Brătieni construiesc o culă, dispărută în urma unui incendiu în anul 1913. Pe aceeași moșie, la sfârșitul secolului al XVIII-lea, Brătienii construiesc un conac cu elemente fortificate, numit Cula Sultănica. Conacul are un nucleu central mai vechi, posibil de la o construcție tip culă existentă în prima jumătate a secolului al XVIII-lea, căruia i s-au atașat, în etape diferite, extinderi pe laturile de NE, SE și SV. Are două nivele. Etapele diferite de construire sunt evidențiate atât planimetric, cât și prin sistemul constructiv. Nucleul central, cu plan compact de formă dreptunghiulară, are încăperi acoperite cu bolți cilindrice la parter și la etaj. La etaj se păstrează metereze. În 1970 -transformată în muzeu sătesc, desființat 10 ani mai târziu, cula intră într-un profund declin. În 2015 au început lucrări de punere în siguranță a clădirii, fiind refăcut acoperișul, adăugați tiranți metalici și unelte lucrări de mentenanță	S R A	Precolaps, în curs de punere în siguranță.
19	Cula Lupoia	Lupoia / Cătunele / Broșteni	Gj	1750	Parter: 7,80x9,80m H. 9,60m Grosime	Costache Săvoiu	Parter și două etaje, cerdac cu șase coloane, în vecinătatea conacului. La 1838 s-a surpat peretele de S în urma cutremurului fiind apoi refăcut. La 1937 s-a ruinat.	R A L	Dispărută 1948-1950

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

					perete: 1,25m.				
20	Cula Zătoreanu VL-II-m-B-09977	Zătreni	VI	1754 (sec. XX)	Grosime perete:0,80m.	Radu Zătoreanu	Plan pătrat, beci boltit, cu acces separat și două nivele cu foisor. Metereze -la nivelul beciului și primului etaj. Extinderea importantă realizată la începutul secolului XX, este dezvoltată pe lungime, către Est, cu doua nivele, care preiau elementele decorative ale vechii cule.	R A L	Ruină, proprieate privată.
21	Cula Cărtianu GJ-II-m-A- 09264	Sat Cartiu, comuna Turcinești,	Gj	1760	-	Enache Cartianu	Pornind de la forma de culă a ajuns în prezent de forma unei case cu parter și două etaje (a câte trei camere Zidurile sunt construite din bolovani de râu, piatră și cărămidă sunt de grosimi mari. La etaje au fos adăugate pridvoare în 1821. Restaurată între anii 1997- 2004, din acestl an găzduiește Muzeul de Etnografie și Artă Populară Gorjeană.	-	Foarte bună. Muzeu
22	Cula Musculești	Musculești /Bărbătești	Gj	1760- 1770	Parter: 10,30x9,50m H:9,50m Grosime perete 0,95m	Costache Moscu	Parter cu beci și două etaje, fântână în interior, anexă sanitară, încăperi boltite. La 1801 prădată de Cârjalii. În 1805 succesorii o refac. În 1932 ruinată, iar in 1942 demolată.	R A L	Dispărută 1942
23	Cula Budișteanu AG-II-m-A-13498.01	Budeasa	Ag	1762- 1764	-	Șerban Budișteanu	Cula este alcătuită din corpul vechi, reconstruit în 1762-1764 și extinsă în 1922-1927. Plan compact, dreptunghiular. Datorită sistemului constructiv diferit de restul casei, este posibil să dateze din prima etapă de construire, de la sfârșitul secolului al XVI-lea.	R A L	Foarte bună. Proprietate privată.
24	Cula Moangă Pleșoianu GJ-II-m-B-09366	Săcelu	Gj	1762	Parter: 11,55x1,70m	Logofătul Vasile Moangă	Formă pătrată, cu două nivele din cărămidă arsă. Înălțimea interioară a încăperilor 2,55m. A fost naționalizată,devenind: școală, tabără școlară, muzeu. În prezent este în administrația Muzeului Județean Gorj.	R A	Ruină/ Precolaps
25	Cula Borăscu	Borăscu	Gj	1770	Parter: 9,60x7,40 m H: 8,40m Grosime perete: 0,80m	Costache Săvoiu (Surcel)	Parter și două etaje, avea cerdac și balcon de lemn. In 1810 incendiata; 1820 refacuta iar în 1826 este trecuta in proprietata fiului Constantin.	R A	Dispărută
26	Cula Poenari DJ-II-m-A-08174	Almăj	Dj	1764 (1780)	Parter: 10,5x12,7m Grosime perete:1,3m H:18,10m.	Barbu Poenaru	Formă dreptunghiulară, din zidărie masivă din cărămidă îngustă, legată cu mortar de var gras, cu rosturi pline. Boltirea era făcută la toate etajele cu cărămidă dispusă radial, pe muchie, prin împletirea ei fără tipare. Parter înalt (5m) și 3 etaje, hol boltit, la etaj aflându-se un cerdac cu stâlpi de lemn.	V R A	Exista doar parterul. Cancelarie Școlară.



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

							La 1801 arsă de Cârjali; în 1838 surupata de cutremur; În 1844 incendiată, pierzând etajul. În 1904, donată primăriei, transformată în școală. Se extinde între anii 1938-1939 și 1956. Nucleul, alcătuit din vechea culă, este complet înglobat în clădirea școlii, care îl cuprinde pe trei laturi.		
27	Cula Izvoranu-Geblescu DJ-II-m-A-08200	Brabova	Dj	1780	Parter: 10,77x8,10m. H:11m Grosime pereți: 0,70m	Barbu Izvoranu	Formă dreptunghiulară, parter și două etaje, din zidărie de cărămidă. În 1841, culei i se adaugă al treilea nivel, cu foișor. Pe latura de Nord a culei se află anexa sanitară. Meterezele sunt prezente la nivelul etajului întâi.	R A L	Ruină, urmează a fi resaurată.
28	Cula Crășnaru GJ-II-m-A-09309	Groșerea/ Aninoasa	Gj	1780	Parter: 8,0x7,8m. H: 9,30m Grosime perete:0,9m	Barbu Cocoș Crășnaru / Costache Săvoiu (Surcel)	Construcția are trei nivele. La 1801 este prădată de turci și incendiată, iar în 1898 este arsă prin trăsnet. Din anul 1951 intră în patrimoniul statului. După 1963, încep ample lucrări de restaurare, din anul 1966 cula adăpostind un muzeu etnografic. Astăzi este părăsită.	R A	Precolaps. Proprietate privată.
29	Cula Radomiru	Radomir /Dioști	Dj	Sec XVIII	H:8,90m	Istoian Hagi Țolea	Beci îngropat, parter supraetajat și două nivele, acces la ultimul etaj pe o scară mobilă. La 1801 este vandalizată. În 1906 este trecută în proprietatea statului iar în 1958 este complet demolată de către GAS local.	L A	Demolată 1958
30	Cula Galița OT-II-m-B-08811	Dobroteasa/ Câmpu Mare	Ot	1790	-	Alexandru Vlangalis	Plan pătrat, cu trei nivele (inițial patru dar, în 1907 ultimul nivel a fost incendiat). Cula are două etaje, fiecare cu câte două camere, iar legătura între ele și parter este asigurată de o scara de lemn.	O A L	Stadiu mediu de degradare
31	Cula Tătărescu GJ-II-a-A-09256	Curtișoara stămutată de la Poiana Rovinari	Gj	1790	-	Dobre Sârbu	Formă pătrată, cu două nivele. În 1820 cula intră în posesia lui D.Poenaru. În 1919 a fost achiziționată de soții Tătărescu. Prin extinderea și modificările efectuate în 1924 cula s-a transformat într-un conac boieresc. La exterior este păstrat caracterul de culă. În 2000-2002 ansamblul a fost mutat în incinta muzeului de Arhitectură Populară de la Curtișoara.	-	Stare foarte bună. Muzeu
32	Cula Tigveni/ Conacul Teodor Brătianu AG-II-m-A-13811.01	Tigveni	Ag	Sec XVIII, cca. 1860- 1870	-	Fam. Tigveanu/ Dinca Brătianu	Clădirea este alcătuită dintr-un corp vechi, extinsă în 1860-1870. Corpul vechi are plan compact, aproape pătrat. La nivelul de bază, cu acces separat din exterior, de pe latura de NE, se află pivnițele, acoperite cu bolți cilindrice din cărămidă, cu arce dublou. Expropriată în anul 1949, devine locuință socială, pentru copiii cu dizabilități.	O R L	Stadiu mediu de degradare
33	Cula Gorunești	Gorunești/ Popești	VI	Sec. XVIII	Parter: 6,00x6,00m	Protopopul Cîrstea	Parter și două nivele, cu ziduri groase de cărămidă, a fost legată de conac printr-un coridor. În 1906 au fost demolate	R A	Dispărută

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

							nivelele superioare, beciul a dăinuit până în 1926 și a fost folosit ca depozit. În 1927 a fost complet demolată.		
34	Cula T.Vladimirescu MH-II-m-A-10287	Cerneți, Șimian	Mh	1800	Parter: 11,5x12,5m	T. Vladimirescu / Ion Gărdăreanu	Cula construită din cărămidă și lemn, parter, etaj și o anexă. Parterul este alcătuit dintr-un beci mare, o cameră și casa scării. Etajul prezintă cerdac cu zece coloane masive din cărămidă, trei camere și un coridor. La parter și etaj se păstrează meterezele.	O V A	Stare bună Primăria Șimian
35	Turn din Hotărani OT-II-m-B-08922	Hotărani/ Fărcașele	Ot	1801	Parter: 7,15x7,25m. H: 15,80m. Grosime perete: parter 1,44m; etaj 1,05m.	-	Turn cu 4 nivele. În 1898 a fost incendiat, în 1966 a fost restaurat.	O V S	Stare avansată de degradare Muzeu de istorie.
36	Cula Țuglui	Țuglui	Dj	1801	Parter: 11,80x10,00m. H: 8,90m. Grosime perete: 1,15m.	Ion Tanoviceanu	Parter și două etaje, tainițe, inițial cerdac de zidărie, balcoane de lemn pe două laturi. Fiind părăsită s-a ruinat. Cutremurul din 1838 a surpat pridvorul și în locul lui a fost construit unul de lemn. La 1926 nu mai era decât beciul care a fost demolat.	S R A	Dispărută 1929
37	Cula Foișorul	Foișor /Drănic	Dj	1802	Parter: 8,00x7,00m H: 9,40m. Grosime perete:1,00m.	Boierii din Craiova	Turn cu parter și două etaje, intrare direct la primul nivel, tainițe, balcoane de lemn pe trei laturi. În 1838 cutremurul a surpat ultimul nivel, în 1927 complet rasa de la pământ.	V S	Demolată 1929
38	Cula Zăvalu	Zăval /Gighera	Dj	1802	Parter: 5,50x7,00m. H: 13,5m. Grosime perete 1,00m.	Boierii din Craiova	Parter și trei etaje. În 1838 cula este puternic avariata de cutremur. În 1927 mai existau 2 nivele, care în 1929 au fost demolate și materialele folosite la construirea bisericii.	V S	Dispărută 1929
39	Turnul Mănastirii Bucovăț	Mofleni	Dj	1802	Parter: 8,60x8,80m. H:17,00m. Grosime perete: 1,30m.	Boierii din Craiova	Parter și două etaje, formă pătrată. În 1847 a fost surupat de inundații. Astăzi se mai vad fundațiile.	V O	Demolat 1847
40	Turnul Schitului Roboia "Zdralea"	Căciulătești	Dj	1802	H:11,00m. Grosime perete 0,90m	Frații Craiovești	Parter și două etaje. Zidăria turnului era masivă, lucrată cu cărămidă bine arsă cu mortar de var. În 1837 schitul a fost abandonat. În 1967 au fost inițiate măsuri de consolidare și conservare, ulterior fiind abandonat.	V S	Dispărut
41	Turnul Jițianu	Braniște	Dj	1802	Parter:	Boierii din	Parter și 2 etaje, inițial, a avut trei balcoane. Construit din	V S	Stare medie de

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

	DJ-II-m-A08203.04				6,90x7,60m H:15,20m. Grosime perete:1,00m.	Craiova	zidărie masivă din cărămidă. În anul 1812 a fost reparat Între 1828-1829 în complex a fost un spital, în 1867 școală iar în 1877-1878 depozit armament. În 1914 a fost abandonat, între 1920-1932 a fost restaurat. În 1933 ansamblul își reia activitatea inițială. În prezent turnul este neîngrijit.		degradare
42	Cula Poiana din Vale	Poiana din Vale, Bâlteni	Gj	1805	Parter: 6,50x6,00m. Grosime perete: 0,60m.	Cărăbătescu	A fost construită din cărămidă îngustă (28x16x6cm) legată cu mortar de var dar mai slab și cu nisip zburător, având un beci și două etaje, cu formă aproape pătrată. Avea vedere la toate culele de pe valea Jiului.	V S	Demolată
43	Cula din Crainici	Crainici/ Bala	Mh	1750 (1806- 1820)	Parter: 9,0x10,20m. Grosime perete: 0,60- 0,90m.	Ioan Burnaz	Formă pătrată, parter și doua etaje, cu o singură intrare. Zidăria era masivă din cărămidă, combinată cu piatră de carieră. În 1838 pridvorul surpat în urma cutremurului, refacută în 1844. În 1903 este cumpărată de ing. G. Dumitrescu care o demolează și o vinde.	R A	Dispărută 1903
44	Cula Pojogeni (Dobrotescu)	Pojogeni/ Tg. Cărbunești/ Valea Rece	Gj	1806	Parter:8,50x7, 00m. H:12,00m. grosime perete:0,80m	Nicolae Dobrotescu	Parter boltit și trei etaje, formă aproape pătrată. Zidăria era făcută cu cărămidă foarte mărunță de 23x11x4cm și legată cu mortar slab cu rosturi subțiri. Învelitoarea inițială a fost din șită de brad ulterior fiind din tablă neagră. La 1838 a suferit grave avarii, fiind abandonată. La 1906 a fost demolată de succesori. În 1970 mai era vizibilă o parte din fundăție, peste care s-au cultivat cereale.	R A L	Dispărută 1906
45	Cula Racovița AG-II-m-A-13743.01	Cartier Racovița, Mioveni	Ag	1806 (1786)	Parter: 8,5x8,5m H: 20m Grosime perete: 1,00m	Dumitrașcu Brătianu/ Nicolae Racoviceanu	Cula are plan compact, pătrat, are trei nivele. Golurile de la primele două nivele sunt în formă de metereze. În 1806 după incendiere, este refăcută. În anul 1877 arde din nou și este restaurată în 1878. În perioada 1910-1914 se fac reparații. Din 1970 este restaurată și găzduiește Muzeul Etnografic din Mioveni.	R A L	Stare foarte bună. Muzeul Etnografic „Prof. Ctin. Năstase”.
46	Turn Furnicoși	Furnicoși	Ag	1810	-	Ioan Socolescu	Parter și doua nivele, deschideri de tip metereze, aspect de turn. A facut parte dintr-un ansamblu goospodăresc.	V S A	Dispărută
47	Cula Duca (Măldărescu) VL-II-m-A-09811.02	Măldărăști	VI	1812- 1827	-	Gheorghită Măldărescu	Plan compact, dreptunghiular, parter solid cu două nivele și o anexă. Există un singur acces din exterior, către pivniță și către nivelele superioare. Meterezele se întâlnesc la toate nivelele. Prezintă un stil nou de decorare fiind impunătoare și având o arhitectură unică. Cula este bogată decorată în interior: tavanele și ancadramentele ferestrelor sunt decorate cu motive vegetale, personaje și animale fantastice. Sobe, prezente în fiecare cameră de locuit, au forme variate și sunt decorate.	A R	Stare bună Proprietate privata. Muzeu

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

							În 1910 amenajată în stil tradițional românesc de către omul politic I.G.Duca. În 1962 intră în proprietatea statului, fiind restaurată în perioada 1966-1967 și transformată în muzeu. Cula a fost utilizată la filmarea multor scene istorice românești.		
48	Cula Nistor MH-II-m-B-10288	Cerneți	Mh	1812	-	Istrate Sălișteanu	Formă dreptunghiulară, beci, parter solid înalt prevăzut cu metereze un etaj cu cerdac. În 1815 a fost arsă de către turci. După anul 1821 a fost reconstruită de către căpitanul de panduri Nistor. În 1960 este donată statului. În 1974, a fost restaurată. Din 2009 clădire funcționează ca muzeu etnografic.	R A L	Stare bună. Muzeu etnografic
49	Cula Cuțui MH-II-m-A-10272	Broșteni	Mh	1815	-	Ghiță Cuțui	Construcția din cărămidă, are formă dreptunghiulară cu două nivele. Devastată în anul 1916, iar după 1930 s-a încercat o restaurare. Între anii 1954 -1963 a fost lasată în ruină, în 1965 începe restaurarea până în 1968. A funcționat ca muzeu, iar din 1990 devine proprietate privată.		Stare bună Proprietate privată
50	Cula Cioabă Chintescu/ Zoița GJ-II-m-A-09392	Șiacu / Silvilești	Gj	1818	Parter: 6,21x6,50m H.8,70m. Grosime perete: 0,85m.	Răducan Cioabă/ Marin Chintescu	Plan pătrat, parter și două etaje cu un beci cu ferestre înguste. Construită din cărămizi înguste (25x12x5cm) bine arse. Din 1949 a aparținut statului Român. Intre 1951-1964 cula a fost folosită ca depozit. Restaurată între 1964-1967, aducându-se cula aproape de forma inițială. Iar în 1970 devine muzeu sătesc. Din 1989 a fost lăsată în părăsire. Astăzi cula este în litigiu.	R A V	Stare avansată de degradare
51	Cula Drugănescu AG-II-m-B-13777.01	Retevoiești	Ag	1822	Grosime perete: 1,00m	Gheorghe Drugănescu	Cula are plan compact, pătrat, cu trei nivele și o anexă. Metereze se mai păstrează, la toate nivelele, pe fațada cu accesul în beci. Un element decorativ particular îl constituia friza pictată de la partea superioară a clădirii, din care se mai păstrează doar o mică porțiune. Deși a fost restaurată în anii 1965-1966, în prezent, cula este în stare de colaps.	R A L	Colaps Proprietate privată
52	Cula Vlădescu	Vlădești	Ag	Încep sec XIX	-	-	Nu se cunoaște aspectul inițial al culei. Ruinele, abia ieșite din pământ, aparțineau unei construcții compacte, de formă pătrată. Construită din zidărie mixtă.	V S A	Dispărută
53	Cula Călățeanu OT-II-m-B-08987	Enoșești, Piatra-Olt	Ot	Încep de sec. XIX	-	Boierul Călățeanu	Construcția de formă rectangulară are intrare sub formă de boltă. Pe laturile de vest și nord există zid de apărare. În 1974 este abandonată.	-	Ruină
54	Cula Lazu MH-II-m-B-10360	Malovăț	Mh	1850	-	Boierii Gărdăreanu	Construită din cărămidă arsă. Între anii 1880-1985 a fost folosită ca școală Primară. În 2005 încă era în picioare (parter, etaj și o parte din acoperiș), dar în 2013 era în	-	Ruină

## COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

							stadiul de ruină puternic avariata (în picioare fiind doar porțiuni din pereții perimetrali).		
55	Cula Slobozia	Slobozia/ Bârsești	Gj	-	Parter: 9,00x10,00m. Grosime perete: 1,10m.	Peștenariu	Turn cu parter și trei etaje, zidărie din piatră de carieră legată cu mortar de var. Astăzi mai există decât fundațiile din zidărie.	R A	Dispărută
56	Cula Steicu	Steicu	Mh	-	-	Clinceanu	Un parter și două etaje. Făcea parte dintr-o amplă gospodărie.	S R A	Dispărută
57	Cula Tămășești	Tămășești	Gj	-	Parter: 10,10x7,90m grosime perete: 0,85m.	-	Un parter și trei etaje. Construită în incinta gospodăriei. A fost demolată de urmași, pentru vânzarea materialelor.	R A	Dispărută

Legenda:

- funcția avută: R- refugiu,

S-supraveghere,

A-alarmare, ,

L-ocuinta,

O-observatie

V-veghe

- culori: Mov –cule dispărute, dispărute,

Rosu- cule în stare avansată de degradare sau ruinate.,

Negru- cule în stare buna de întreținere.

### 5.1.2 Alcătuirea structurală și genul constructiv

Însăși cuvântul cula denumește o citadelă, o mică fortăreață, cu sarcina de a apăra și care este construită din materiale cu o însemnată rezistență la demolare și la incendiere [2].

În general, culele, indiferent de scopul pentru care au fost construite, încă din temelie sunt construcții masive, din zidărie. În zona de șes și deal- zidărie de cărămidă, iar cele de munte cu zidărie de piatră de carieră. Forma în plan fiind de patrulater cu cel mult patru nivele, un parter, care obligatoriu era ocupat de un beci/pivniță urmat de maxim trei etaje. Învelitoarea în unele cazuri era realizată din șită de brad cu lungimea între 70-75cm sau din draniță de lemn, iar în funcție de zona în care era amplasată genul de aranjare era solzit sau în rânduri, iar pe coamă aveau ciocârlani (șită bătută cu profile). Acoperișul era realizat cu pantă mare pentru o scurgere cât mai rapidă a apelor de ploaie.

Modul de construire a fost unul bine ales, mult mai îngrijit decât cel folosit la locuințele obișnuite. Așezarea cărămizilor în masa zidăriei s-a făcut într-un mod amănunțit, fără să se suprapună două rosturi și păstrându-se o regularitate, astfel la colțuri sau în zonele de întrepătrundere a doi pereți, cărămizile sunt împletite astfel încât în rândul superior poziția aleasă este inversă față de rândul de jos (fig.5.3). Cel de-al treilea rând fiind opus cu 90° spre dreapta față de rândul precedent, iar cel de-al patrulea rând, cu 90° spre stânga față de precedentul rând și abia la cel de-al cincilea rând se reîncepe așezarea identic cu primul rând. Acest mod constructiv a dus la crearea unei zidării omogene, un monobloc masiv, indestructibil [3].

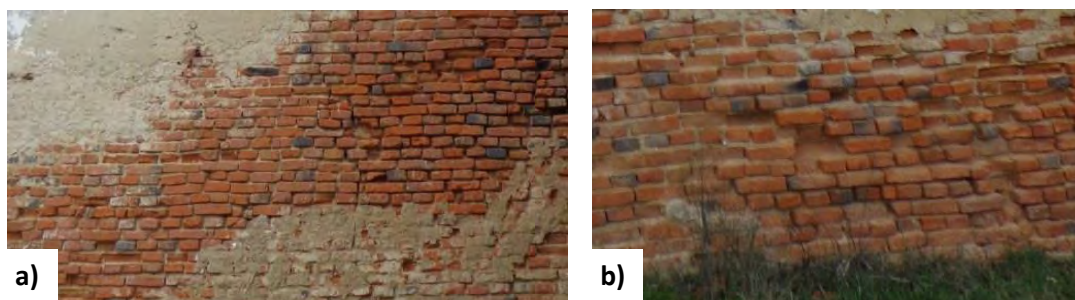


Fig.5.3 Detaliu zidărie:a) perete sud Cula Crăsnaru și b) perete nord, Cula Izvoranu Geblescu

Pentru a lega și mai trainic cula și pentru a anihila efectele unei eventuale mișcări seismice sau alunecarea straturilor solului, toate zidurile au fost consolidate cu bârne de lemn de stejar înglobate în masa zidăriei la diverse nivele și care la întretăierea lor cu alți pereți se încrucișau prin plătuiri și se împănau prin cepuri de lemn tare [3]. Astfel de grinzi se întâlneau la fiecare început de nivel fiind amplasate sub grinzile tavanelor. Acest sistem de consolidare, încă din etapa de construire, cu bârne de lemn, a fost ales în defavoarea fierului știindu-se că fierul are un coeficient de dilatare la căldură și o elasticitate la întindere pe care lemnul nu le are, deci rezistența în acest caz fiind superioară.

La construirea culelor au fost folosite următoarele tipuri de zidărie, de punere în operă a materialelor, metode care astăzi nu mai sunt utilizate din motive de economie a timpului de execuție al unei lucrări:

- a) **Zidărie cu cărămidă îngustă de 27cm lungime, 13 cm lățime și 5-5,5cm grosime.** Acestea erau legate cu mortar de var amestecat cu nisip și pietriș mărgăritar, cu rosturi mari aproape de aceeași grosime cu cea a blocurilor de cărămidă. Acest tipar constructiv a fost identificat în general la culele din zona deluroasă sau semimuntoasă unde materia primă pentru realizarea blocurilor era greu accesibilă, iar grosimea rosturilor aducea o economie în numărul cărămizilor utilizate. Această grosime, a rosturilor, impunea utilizarea unui mortar de consistență mare, astfel fiind folosit pietrișul mărunț care era destul de accesibil, fiind obținut de pe albia râurilor din regiunea deluroasă. Prin crearea acestui sistem de zidărie, prin îngroșarea rosturilor dintre cărămizi, s-a creat un nou gen de zidărie, specific local.
- b) **Zidărie cu cărămidă un pic mai groasă îngustă de 27 cm lungime, 13 cm lățime și 5,5-6 cm grosime,** legate cu mortar de var amestecat cu nisip grăunțos cu rosturi mai înguste variind între 2 și 2<sup>1/2</sup> cm grosime. Acest tipar este întâlnit la culele din zona de mijloc a Olteniei, unde se găsea cu ușurință atât pământul bun pentru confecționarea cărămizilor cât și lemn de foc pentru o ardere accentuată și îndelungată a cărămizilor. Varul fiind un material greu de procurat în această zonă a fost necesară o economie de material, astfel au fost create rosturi mici, înguste, iar pentru sporirea consistenței mortarului pietrișul mărgăritar a fost înlocuit cu nisipul grăunțos.
- c) **Zidărie cu cărămidă un pic mai groasă îngustă de 27 cm lungime, 13 cm lățime și 6 cm grosime,** legată cu mortar de var cu rosturi înguste, între 1<sup>1/2</sup> și 2 cm grosime realizat cu var și nisip prăfos zis și zburător. Astfel de zidării s-au executat la construcția culelor din regiunea de șes, de-a lungul Dunării. În zonă gasindu-se pământ bun și combustibil din belșug pentru confecționarea și arderea cărămizilor, acestea aveau dimensiuni mai mari, iar rosturile erau înguste.

### 5.1.3 Statistica descriptivă privind culele din zona Oltenia

**Parametri de intrare în analiza comportamentului de lungă durată al clădirilor de patrimoniu din zidărie masivă**

Parametrii în urma cărora s-a realizat analiza statistică:

- Starea degradării structurale;
- Durata de viață în cazul culelor în stare de pre-colaps și cele dispărute;
- Riscul seismic;

- Accelația terenului de fundare;
- Risc alunecări teren fundare;
- Sistem constructiv.

În tabelele ce urmează sunt redade toate Culele, din Regiunea Oltenia, ordonate cronologic, atât după anul construirii cât și după starea degradării acestora. Astfel în tabelul 5.2 sunt enumerate Culele aflate în stare bună de păstrare (fig.5.4), în tabelul 5.3 conține Culele în stare de degradare avansată sau chiar de pre-colaps (fig.5.5) iar în tabelul 5.4 inventarul Culelor din regiunea Oltenia dispărute (fig.5.6).

Tabelul 5.2.

NR. CRT	CULE ÎN STARE BUNA	LOCALIZARE	AN	MANAGEMENT CLADIRE/STARE
1	<b>Cula Greceanu</b> VL-II-m-A-09812.01	Măldărești, VI	1516	Muzeu Proprietate privată
2	<b>Cula Cornoiu</b> GJ-II-m-A-09256.01	Curtișoara, Gj	1548	Muzeu. Proprietate privată
3	<b>Cula Cernătescu</b> DJ-II-m-A-08237	Cernătești, Dj	1600	Bună Necesită restaurare
4	<b>Cula Otetelișanu</b> VL-II-a-B-0966	Benești, VI	1713	Foarte bună. Conac/pensiune.
5	<b>Cula Bujoreanu</b> VL-II-m-B-09693.01	Bujoreni, VI	1720, 1725	Muzeu
6	<b>Cula Glogoveanu</b> GJ-II-m-A-09306.01	Glogova, Gj	1730, 1734	Bună. Casă de oaspeți
7	<b>Cula Cărtianu</b> GJ-II-m-A-09264	Sat Cartiu, Turcinești, Gj	1760	Foarte bună Muzeu
8	<b>Cula Budișteanu</b> AG-II-m-A-13498.01	Budeasa, Ag	1762-1964	Foarte bună Proprietate privată
9	<b>Cula Poenari</b> DJ-II-m-A-08174	Almăj, Dj	1764 (1780)	Doar parterul- cancelarie școlară.
10	<b>Cula Tătărăscu</b> GJ-II-a-A-09256	Curtișoara. Stramutată din loc. Poiana Rovinari, Gj	1790	Foarte bună Muzeu
11	<b>Cula Tigveni/ Conacul Teodor Brătianu</b> AG-II-m-A-13811.01	Tigveni, Ag	1860-1870	Bună
12	<b>Cula T.Vladimirescu</b> MH-II-m-A-10287	Cerneți, comuna Șimian, Mh	1800	Bună Primaria Șimian
13	<b>Turnul Jitianu</b> DJ-II-m-A08203.04	Braniște, Dj	1802	Bună
14	<b>Cula Racovița</b> AG-II-m-A-13743.01	Cartier Racovița, oraș Mioveni, Ag	1806 (1786)	Foarte bună Muzeu
15	<b>Cula Duca (Măldărescu)</b> VL-II-m-A-09811.02	Măldărăști, VI	1812-1827	Muzeu Proprietate privată
16	<b>Cula Nistor</b> MH-II-m-B-10288	Cerneți, Mh	1812	Bună Muzeu
17	<b>Cula Cuțui</b> MH-II-m-A-10272	Broșteni, Mh	1815	Bună. Proprietate privată



## COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

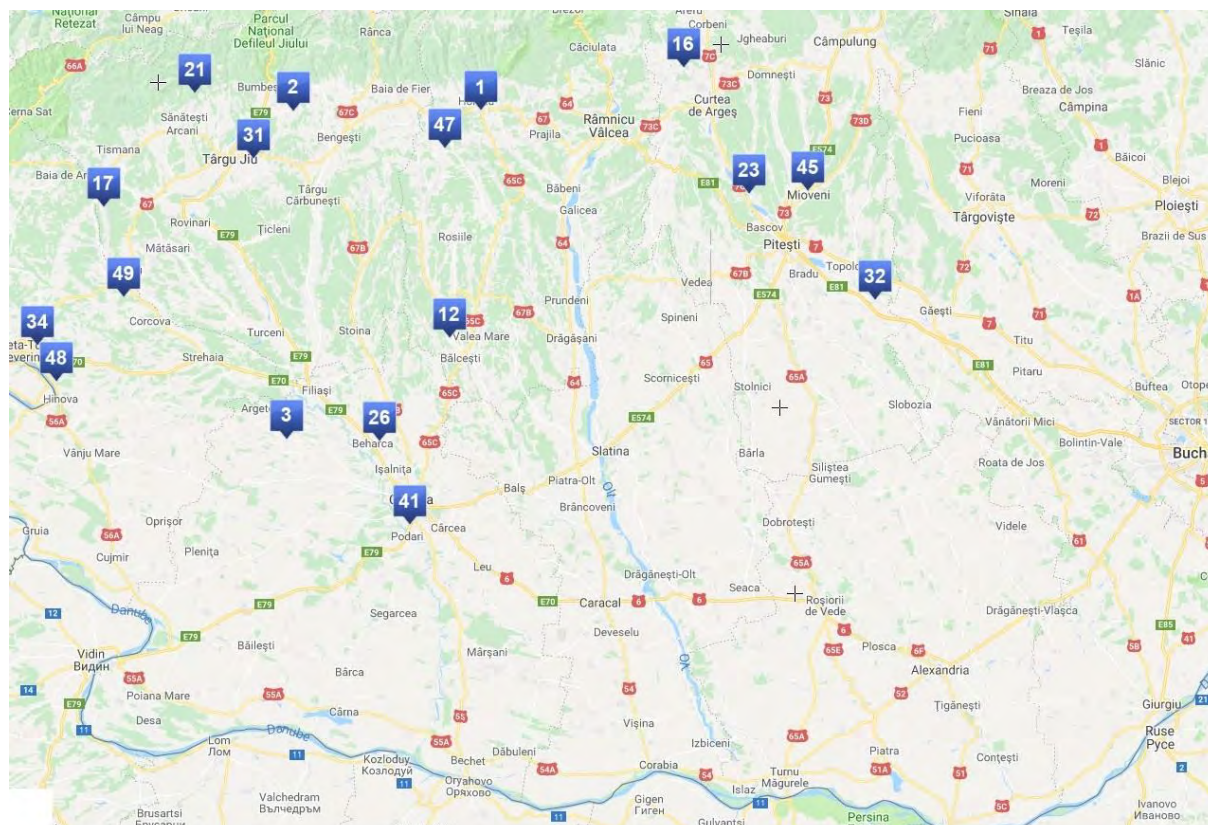


Fig.5.4 Amplasarea Culelor aflate în stare bună de păstrare, în ordine cronologică

Tabelul 5.3.

NR CRT	CULE IN STADIU DE PRE-COLAPS	LOCALIZARE	AN	MANAGEMENT CLADIRE/STARE
1	<b>Cula lui Costea</b> TR-II-m-A-14340	Frăsinet, Tr	Încep. Sec XVIII	Abandonată
2	<b>Cula Sultănică</b> AG-II-m-B-13807.01	Șuici, Ag	Sec XVIII	Pre-colaps, în curs de punere în siguranță.
3	<b>Cula Zătreanu</b> VL-II-m-B-09977	Zătreni, VI	1754	Ruină, Proprietate privată.
4	<b>Cula (Casa) Moangă Pleșoianu</b> GJ-II-m-B-09366	Săcelu, Gj	1762	Ruină, Proprietate privată
5	<b>Cula Izvoranu- Geblescu</b> DJ-II-m-A-08200	Brabova, Dj	1780	Ruină, urmează să fie restaurată.
6	<b>Cula Crășnaru</b> GJ-II-m-A-09309	Groșerea/ Aninoasa, Gj	1780	Ruină/ pre-colaps Proprietate privată
7	<b>Cula Galița</b> OT-II-m-B-08811	Dobroteasa/ sat Câmpu Mare, Ot	1790	Stadiu mediu de degradare
8	<b>Turn din Hotărani</b> OT-II-m-B-08922	Hotărani/ Fărcașele, Ot	1801	Muzeu Stare avansată degradare
9	<b>Cula Cioabă Chintescu/ Zoița</b> GJ-II-m-A-09392	Șiacu/Silvilești, Gj	1818	Ruină
10	<b>Cula Drugănescu</b> AG-II-m-B-13777.01	Retevoiești, Ag	1822	Ruină, colaps

## COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

11	<b>Cula Călățeanu</b> OT-II-m-B-08987	Enoșești, Piatra-Olt, Ot	Încep de sec. XIX	Ruină
12	<b>Cula Lazu</b> MH-II-m-B-10360	Malovăț, Mh	1850	Ruină, colaps

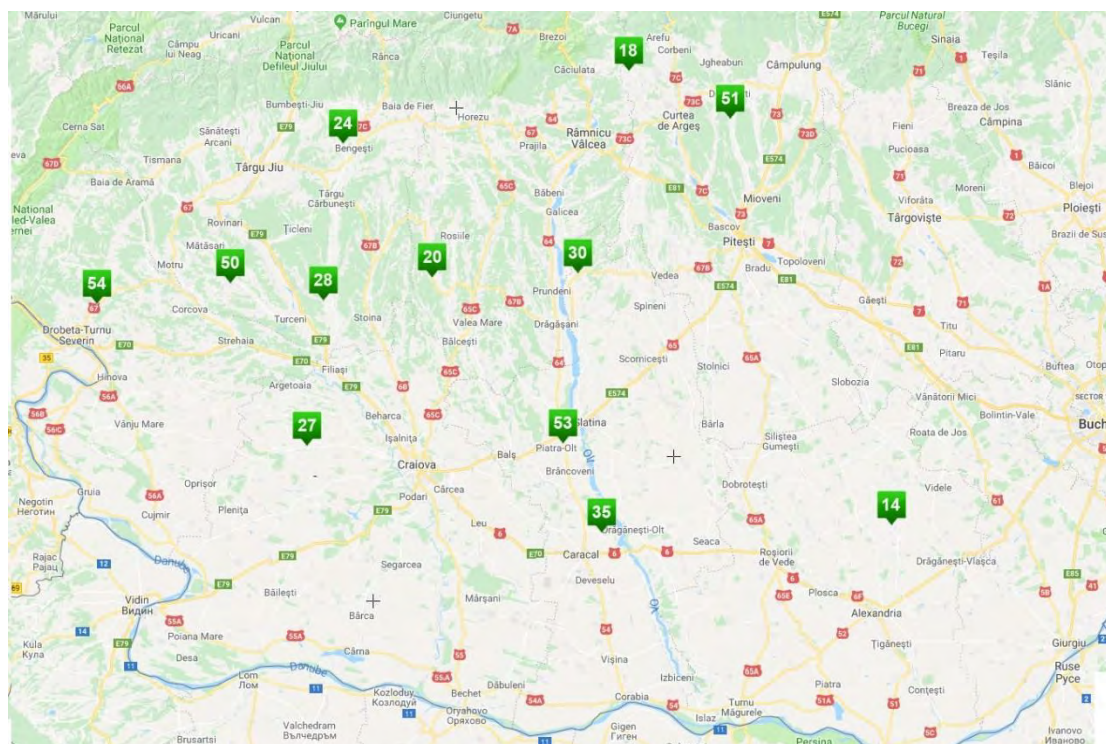


Fig.5.5 Amplasarea Culelor în stare de degradare avansată/ pre-colaps, în ordine cronologică

Tabelul 5.4

NR CRT	CULE DISPĂRUTE	LOCALIZARE	AN	OBS
1	Cula Bălești	Bălești, Gj	1633	Dispărută
2	Cula Beharca	Beharca/Coțofenii din Față, Dj	1633	Dispărută 1955
3	Cula Tatomirești	Tatomirești/Brădești, Dj	1648	Demolată 1927
4	Cula Vlădaia	Vlădaia, Mh	1648	Dispărută 1926
5	Cula din Polata	Polata/Bârzești, Gj	Sec XVII	Dispărută
6	Cula Poiana	Poiana/ Gârbești, Gj	Sec XVII	Dispărută 1927
7	Cula Popești (Ciumernicului)	Popești, If	XVII	Dispărută 1945
8	Cula Rovinari	Rovinari/Bîlteni Gj	Sec XVII	Dispărută 1945
9	Cula Băbeni	Babeni de Oltet, Vl	1716	Dispărută 1960
10	Cula Pojogeni (Scrădeanu)	Pojogeni, Gj	1718, 1739	Dispărută 1927
11	Cula Lupoiaia	Cătunele/Broșteni, Gj	1750	Dispărută 1948-1950
12	Cula Musculești	Musculești/Bărbătești, Gj	1760-1770	Dispărută 1942
13	Cula Borăscu	Borăscu, Gj	1770	Dispărută
14	Cula Radomiru	Radomir, Dioști, Dj	Sec XVIII	Dispărută 1958
15	Cula Gorunești	Gorunești/ Popești, Vl	Sec XVIII	Dispărută
16	Cula Țuglui	Țuglui, Dj	1801	Dispărută 1929
17	Cula Foișorul	Foișor /Drănic, Dj	1802	Dispărută 1929
18	Cula Zăvalu	Zăval /Gighera, Dj	1802	Dispărută 1929
19	Turnul Mân. Bucovăț	Mofleni, Dj	1802	Dispărută 1847

## COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

20	Turnul schitului Robaia "Zdralea"	Sat. Căciulătești, Dj	1802	Demolată
21	Cula Poiana din Vale	Poiana din Vale, Bâlteni, Gj	1805	Demolată
22	Cula din Crainici	Crainici/ Bala, Mh	1750 (1806-1820)	Demolată 1903
23	Cula Pojogeni (Dobrotescu)	Pojogeni/ Tg. Cărbunești/Valea Rece, Gj	1806	Demolată 1906
24	Turn Furnicoși	Furnicoși, Ag	1810	Demolată
25	Cula Vlădescu	Vlădești, Ag	Incep sec XIX	Dispărută, ruine
26	Cula Slobozia	Slobozia/Bârsești, Gj	-	Dispărută
27	Cula Steicu	Sat. Steicu, Mh	-	Dispărută
28	Cula Tămășești	Tămășești, Gj	-	Dispărută

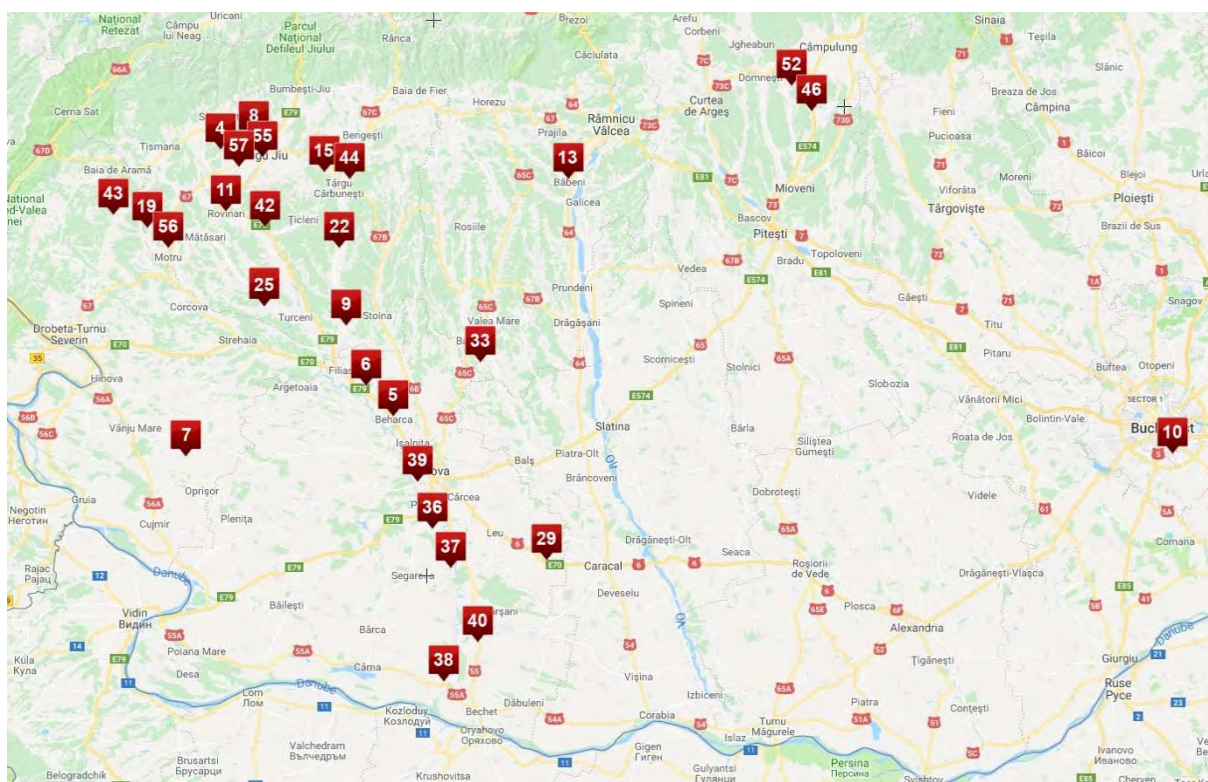


Fig.5.6 Amplasarea Culelor din regiunea Oltenia dispărute, în ordine cronologică

### ➤ Starea degradării structurale

În funcție de starea degradării, culele au fost împărțite pe trei categorii:

- Cule dispărute;
- Cule în stare de pre-colaps;
- Cule în stare bună.

Acestea au fost analizate și din punct de vedere cronologic, al perioadei de construcție cât și în funcție de categoriile de mai sus (fig.5.7).

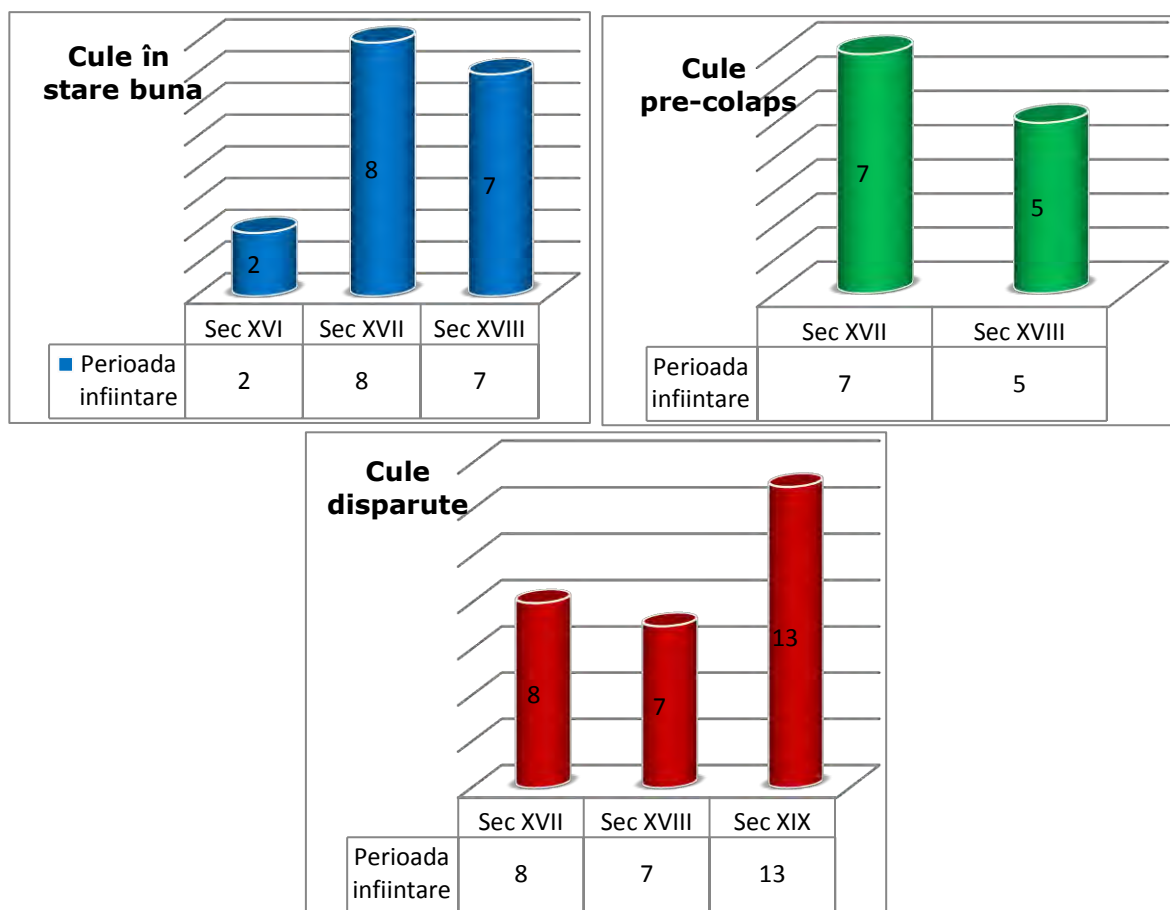


Fig.5.7 Starea de degradare a) cule în stare buna; b) cule în pre-colpas; c) cule dispărute

Se poate observa că, în ceea ce privește culele dispărute, cele mai multe sunt de fapt cele mai nou construite (fig.5.8), ceea ce înseamnă că trebuie luați în considerare alți parametri de influență (acțiuni excepționale sau management prost al clădirii).

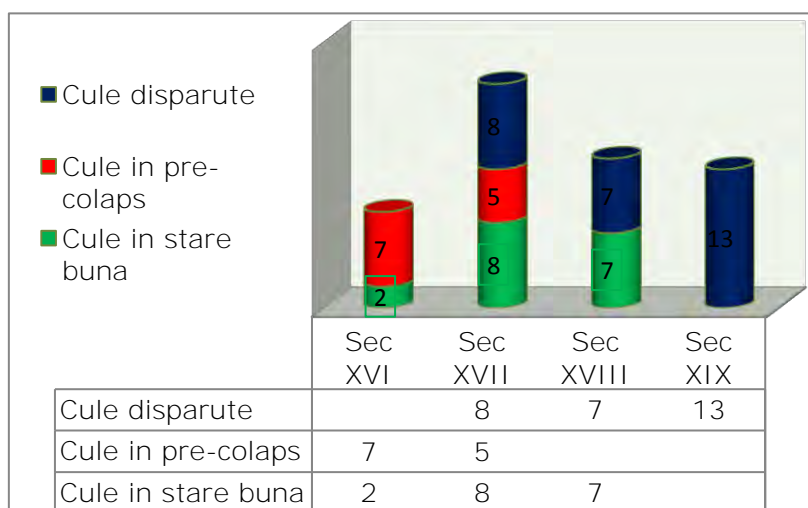


Fig.5.8 Ierarhia Culelor după perioada de construire

O parte dintre cule au fost incendiate în repetate rânduri, iar reabilitările executate în trecut nu respectau principii clare. De asemenea un rol mare trebuie să îl fi avut modul de

exploatare al acestora. O mare parte dintre obiective, după trecerea la comunism au fost folosite ca silozuri de cereale etc. element cu influență importantă în conservarea acestora.

➤ **Durata de viață în cazul culelor în stare de pre-colaps și cele 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 (fig.5.9).

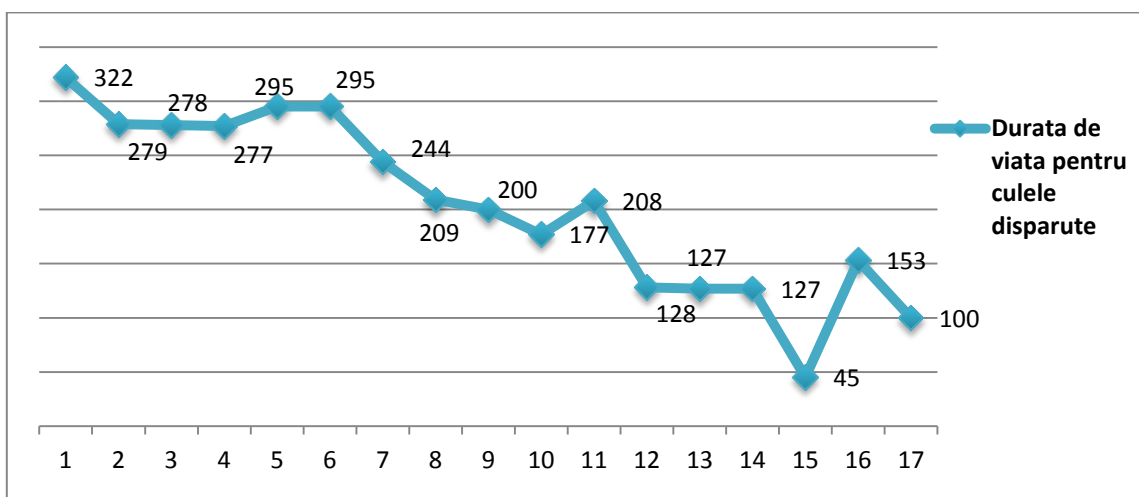


Fig. 5.9 Durata de viață pentru culele dispărute din regiunea Oltenia

Aceeași situație o avem în cazul Culelor aflate în stadiu de pre-colaps sau stadiu avansat de degradare, unde durata de viață se situează între 143 și 212 ani (fig.5.10).

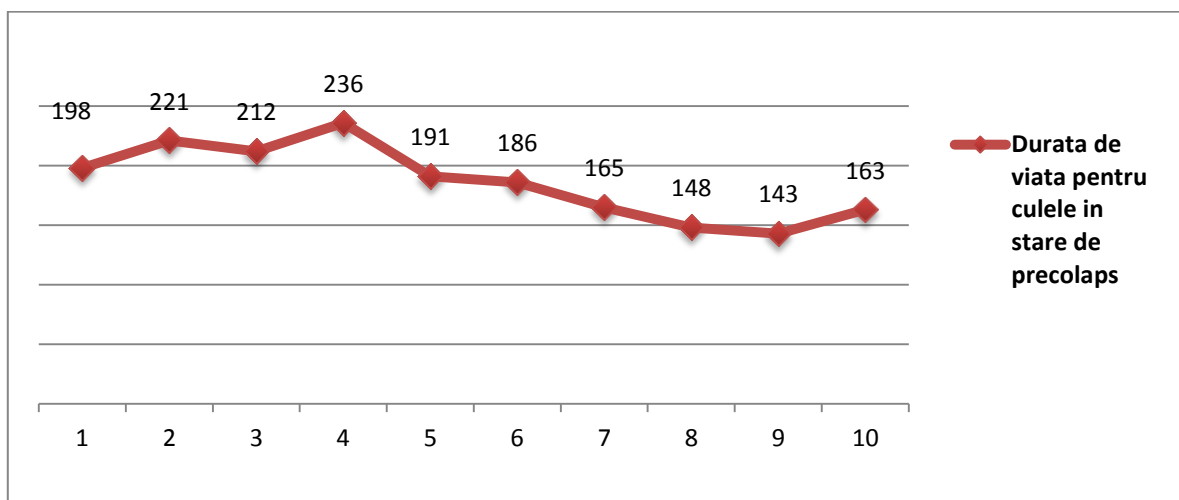


Fig. 5.10. Durata de viață pentru culele în starea de pre-colaps

➤ **Risc seismic**

În funcție de localizarea fiecărei cule în parte, s-a determinat zona seismică prin analiza hărții României în intensități seismice (fig.5.11).

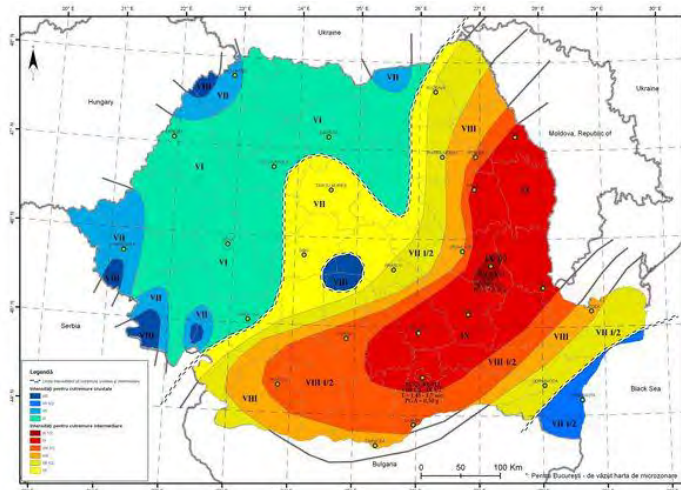


Fig. 5.11 Harta României în intensități seismice

În ceea ce privește riscul seismic, avem un număr de 29 clădiri, aflate în zona VIII și VIII $\frac{1}{2}$ , adică exact jumătate din obiectivele analizate. La polul opus se află cele din zona IX - două cule și cele din zona VII  $\frac{1}{2}$  cu un număr de trei cule (fig.5.12).

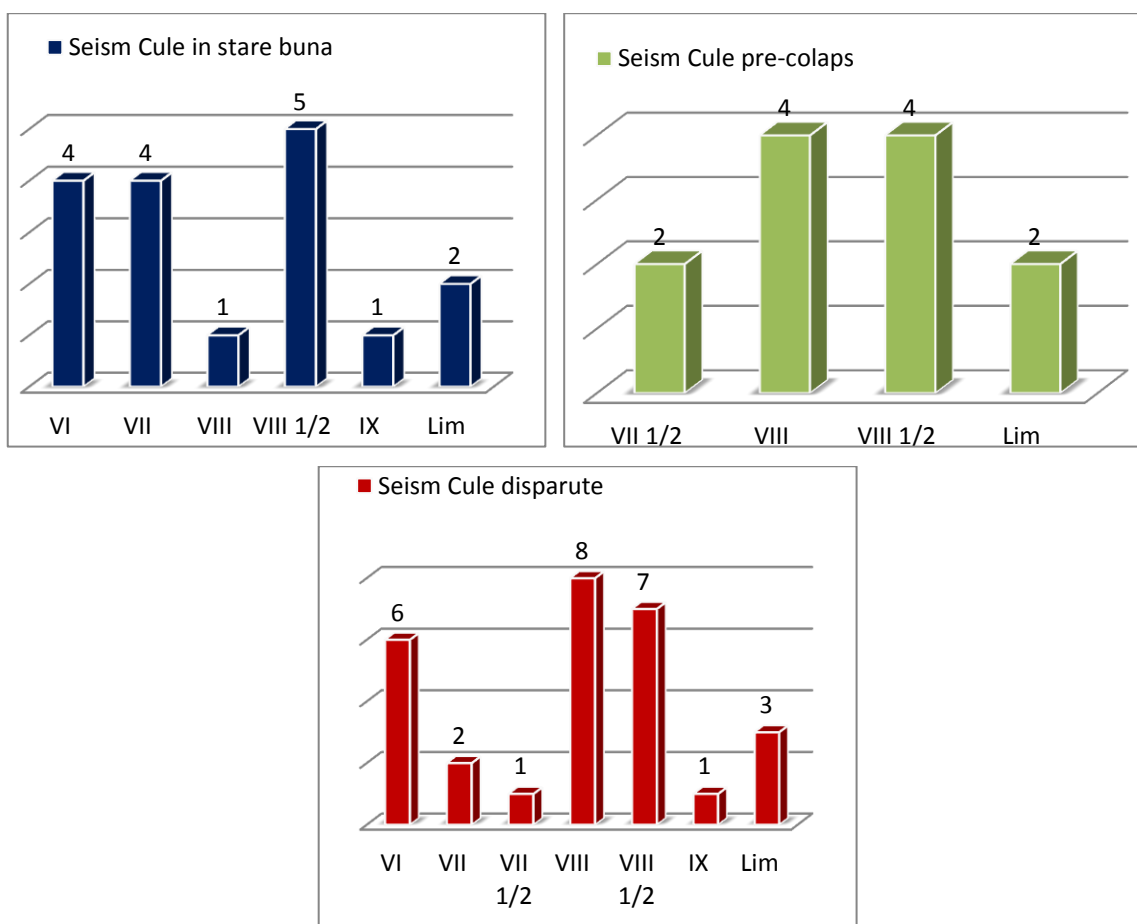


Fig. 5.12 Zonarea seismică pentru Culele din regiunea Oltenia: a) cule în stare buna; b) cule în stare e pre-colaps; c) cule disparute.

Încadrând clădirile după seismicitate se poate observa că pentru culele aflate în ruină și cele dispărute, marea majoritate a acestora se afla în zone cu risc seismic între VIII și VIII $\frac{1}{2}$ .

½. Pentru cele aflate în stare bună, doar cinci obiective sunt în zona VIII ½, una în zona VIII și una în zona IX, dar marea majoritate sunt în zone cu seismicitate mai mica (fig.5.13).

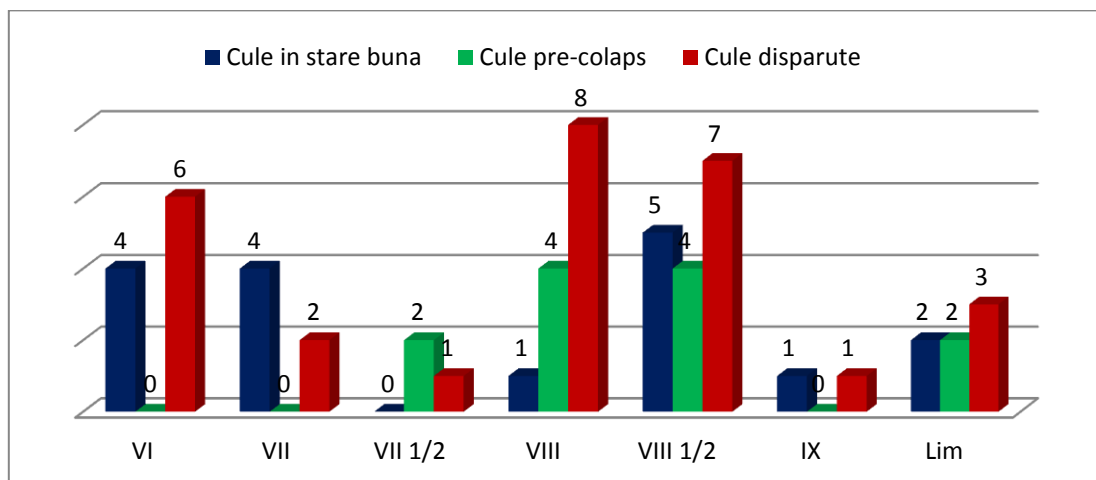


Fig.5.13 Zonarea seismică comparativă pentru obiectivele studiate

➤ **Accelerația terenului de fundare**

În funcție amplasarea fiecărei cule în parte și de harta de zonarea teritorială a României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare,  $a_g$  (Codul de proiectare P100-1/2013) a fost determinată accelerația terenului.

Din totalul de 57 de obiective analizate, 42% se află în aria de 0,15g, 37% în zona 0,20g, 14% în zona 0,25g, iar în zona 0,30g doar 7% (fig.5.14).

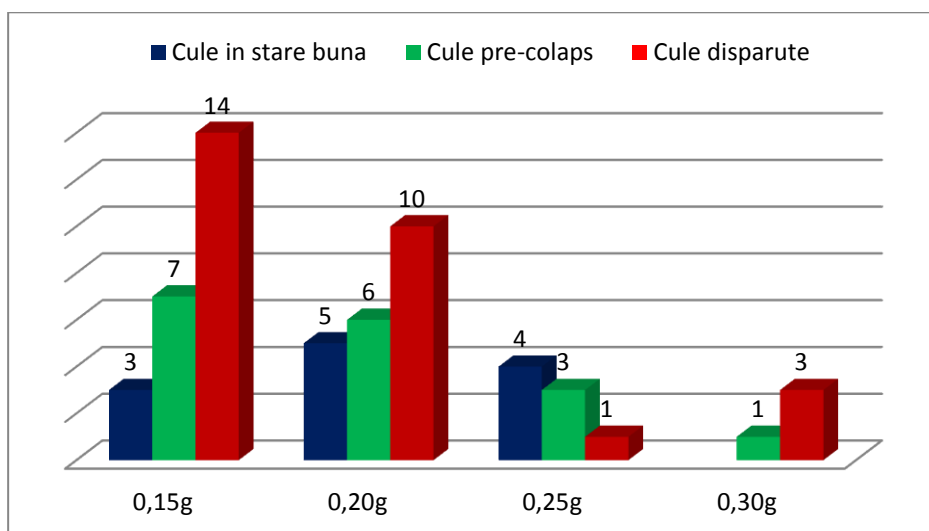


Fig. 5.14 Accelerația terenului natural pentru Culele din regiunea Oltenia pe categorii

➤ **Risc alunecare teren de fundare**

Considerând harta României ce dă probabilitatea de alunecare a terenului din figura 5.15, avem următoarele categorii de probabilitate de alunecare a terenului natural:

- Virtual nula;
- Redusa;

- Medie;
- Ridicata

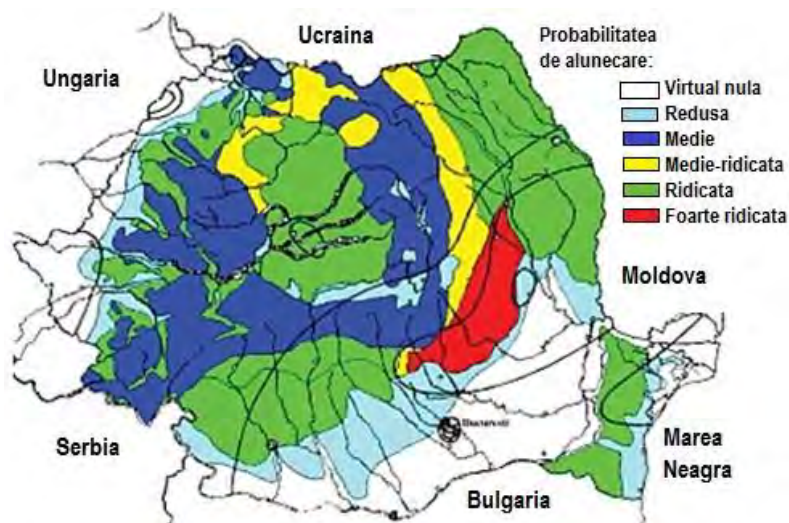


Fig. 5.15 Harta României-alunecari teren [6]

Făcând analiza Culelor din Regiunea Oltenia, în funcție de locul de amplasare, din punct de vedere al riscului de alunecări de teren, se poate observa că distribuția Culelor dispărute pe terenuri cu probabilitate foarte ridicată de alunecare este preponderentă – avem un număr de 22, dintr-un total de 28 de Cule dispărute.

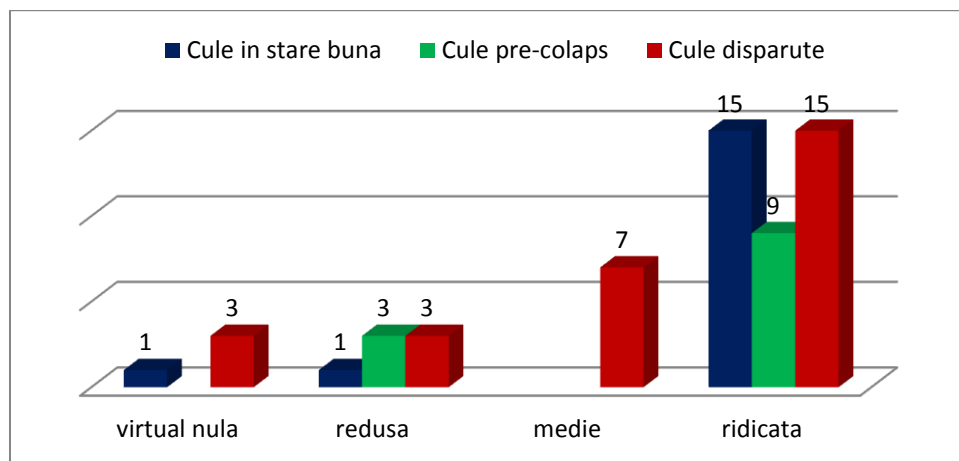


Fig. 5.16 Distribuția Culelor din regiunea Oltenia din punct de vedere al riscului de alunecare al terenului de fundare

➤ **Sistem constructiv**

Din punct de vedere al sistemului constructiv, la obiectivele analizate, s-au identificat trei tipuri constructive, predominante care sunt strâns legate de zona geografică de amplasare a acestora (fig.5.17). Caracteristicile fiecărui sistem constructiv sunt expuse mai sus fiind notate:

**a** - tipul de sistem constructiv specific zonei de podiș, respectiv deal;



**b** - tipul de sistem constructiv specific zonei de mijloc al Olteniei;

**c** - tipul de sistem constructiv specific zonei de șes.

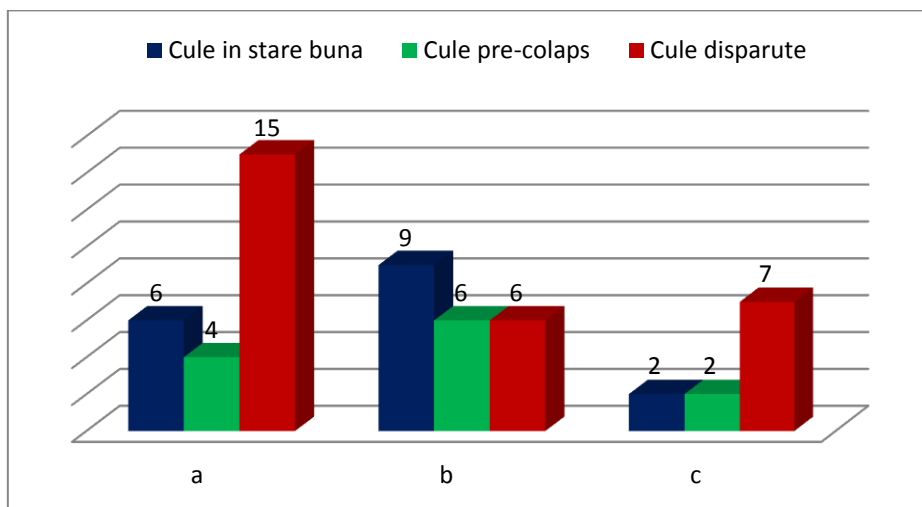


Fig. 5.17 Distribuția Culelor din regiunea Oltenia din punct de vedere al sistemului constructiv

Din analiza distribuției culelor, din punct de vedere constructiv, se observă că în cazul culelor dispărute, 54% sunt de tipul **a**, în cazul culelor în pre-colaps jumătate sunt de tipul **b**, iar în cazul celor în stare bună, 53% sunt de tipul **b**.

În ceea ce privește sistemul constructiv de tip **c**, acesta a fost utilizat cel mai puțin datorită zonei de amplasare (de-a lungul Dunării).

## 5.2 Concluzii

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.

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 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.

În 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%. Incadrând 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 disparute 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% dintre toate Culele din Regiunea Oltenia.

O problema de mare actualitate, în întreaga lume inginerescă, o reprezintă punerea în siguranță, întreținerea, consolidarea și mai ales reabilitarea construcțiilor de cult și a celor de patrimoniu. Acest lucru se datorează nevoii de conservare, iar necesitatea evaluării siguranței seismice, a vulnerabilității la acțiunea factorilor de mediu, a comportamentului higrotermic și a modului de întreținere și exploatare a clădirilor de patrimoniu, din zidărie masivă, este evidentă și stringentă.

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.

## 6. INVESTIGAȚII EXPERIMENTALE ASUPRA ELEMENTELOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

Pentru încadrarea în tema tezei de doctorat, "Comportarea de lungă durată a pereților din zidărie masivă", am ales pentru studiu, clădirile de patrimoniu de tip culă din zona Oltenia și Muntenia.

Cladirile de tip Cula au fost ridicate pe un interval de timp întins pe patru secole, iar cercetarea stării lor actuale este realizată prin analiza influenței parametrilor cunoscuți - perioada de construcție, sistem constructiv, seismicitatea zonei, risc seismic, teren de fundare (alunecări de teren), zona climatică, analiză comparativă a principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă, determinarea stării tehnice, măsurarea umidității, atât pe teren cât și în laborator.

Analiza parametrilor menționați ajută la realizarea eficientă și la timp a activităților de conservare și reabilitare a acestor monumente istorice pentru a preveni fenomenele de colaps structural în timpul exploatării.

Din totalul de 29, de cladiri de tip culă (care se pot identifica pe teren), le-am ales, pentru analiză, pe urmatoarele (tab.6.1):

Tabelul 6.1

Nr. Crt	Denumire Cod LMI	Lcalizare Sat/Comuna, Judet	Anul	Detalii
1	Cula Cioabă Chintescu/ Zoița GJ-II-m-A-09392	Șiacu / Silvilești, Gorj	1818	Parter: 6,21x6,50m H.8,70m. Grosime pereți: 0,85m.
2	Cula Crăsnaru GJ-II-m-A-09309	Groșerea/Aninoasa, Gorj	1780	Parter: 8,0x7,8m. H: 9,30m Grosime pereți:0,90m
3	Cula Zătoreanu VL-II-m-B-09977	Zătreni, Gorj	1754 (sec. XX)	Grosime pereți: 0,80 m.
4	Cula Galița OT-II-m-B-08811	Dobroteasa/ sat Câmpu Mare, Olt	1790	Grosime pereți: 0,80m parter și 0,40m la etaje.
5	Cula Sultănică AG-II-m-B-13807.01	Șuici, Arges	Sec XVIII	Grosime pereți: 0,80 m
6	Cula Drugănescu AG-II-m-B-13777.01	Retevoiești, Arges	1822	Grosime pereți: 1,00 m
7	Cula Izvoranu- Geblescu DJ-II-m-A-08200	Brabova, Dolj	1780	Parter: 10,77x8,10m.H:11m Grosime pereți: 0,70 m.
8	Cula Cernătescu DJ-II-m-A-08237	Cernătești, Dolj	1600	Parter: 9,05x6,05m, H:10,20m. Grosime pereți:0,80m

Cea de-a 9-a clădire aleasă pentru analiză, este clădirea Facultatii de Mecanica, din Craiova, care se încadrează în temă, fiind construită în anul 1893-1901, DJ-II-m-B-07957, structura fiind din zidărie de cărămidă arsă.



Fig.6.1 Amplasarea zonală a clădirilor vizitate personal și studiate în teză

Pentru toate cele nouă cladiri (fig.6.1), enumerate mai sus, am efectuat atat analiza in-situ, pentru fiecare in parte, de unde am prelevat probe, iar ulterior am efectuat teste de laborator in incinta Institutului de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții - ICECON S.A Bucuresti.

*In incinta ICECON-București, s-au efectuat urmatoarele teste, pentru fiecare obiectiv ales: teste cu ultrasunete; testare cu sclerometrul; teste de rezistența la compresiune; teste de gelivitate.*

*In continuare sunt enumerate toate investigațiile experimentale efectuate (echipamentele de testare și rezultatele obținute) pentru toate cele nouă clădiri vizitate.*

Pentru Cula Izvoranu Geblescu, din Brabova, Județul Dolj, 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**.

## 6.1. Teste nondistructive

### 6.1.1 Determinarea clasei de afectare pentru fiecare construcție în parte

Se definește drept indice degradare al gradului de avariere prin diferența dintre starea inițială și starea actuală privind un anumit parametru al structurii.

### 6.1.1.1 Determinarea indicelui degradant

Indicele degradare  $D_i$  se calculează:

$$D_i = 10 - A \quad (6.1)$$

unde:

- **10** reprezintă numărul maxim de puncte ce caracterizează structura ca fiind perfectă din punct de vedere teoretic în momentul dării în funcțiune a construcției;
- **A** reprezintă modul de afectare, cu valori între 1 și 10, caracterizând defectele și avariile constatate;
- **i** este indicele parametrului luat în considerare.

Modul de depunctare (A) al defectelor constatate la construcții din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.1, întocmit din literatura de specialitate și îmbunătățit de autor, pentru cele nouă clădiri analizate.

Structurile din zidărie de cărămidă sau piatră se consideră a fi constituite, în principiu, din următoarele cinci subansambluri constructive:

1. Subansamblul fundații;
2. Subansamblul rețele de rezistență;
3. Subansamblul planșee;
4. Subansamblul șarpantă din lemn;
5. Subansambluri secundare.

Tabelul 6.1\*

Nr.	Denumirea defectului	A
<b>1. SUBANSAMBLUL FUNDAȚII</b>		
1.1.	Tasări, rotiri provocate de adâncimea de fundare neconcordantă cu calitatea terenului	6-8
1.2.	Tasări provocate de fundații cu adâncimi diferite (subsoluri parțiale, construcții adăugate în timp)	4-8
1.3.	Tasări și fracturi cauzate de inundarea terenului de fundare	3-6
1.4.	Rotiri și fracturi provocate de împingerea pământului.	3-9
1.5.	Tasări provocate de degradarea materialului (piatră, cărămidă, mortar de legătură) - generale - locale	5-8 3-5
1.6.	Degradări locale (tasări, fisuri etc.) provocate de instalații defecte, rădăcini de arbori, accidente etc.	2-5
1.7.	Cangrene în pereții subsolurilor prin crăpături și dislocări, desprinderi, căderi ale elementelor de zidărie	4-8
1.8.	Umpluturi de pământ sau moloz în subsoluri, ca intervenții greșite anterioare, efectuate, probabil, din cauza apelor subterane de infiltrație și/sau pentru contracararea efectelor împingerii pământului	4-8
1.9.	Intervenții anterioare greșite, aplicând izolații hidrofuge interioare, (bituminoase, placaje etc.), pe pereții subsolurilor, sau chiar sub forma de cuvă, cu scopul împiedicării pătrunderii apelor de infiltrație	4-6
1.10.	Riscul de alunecări de teren în funcție de terenul de fundare	3-8

<b>2. SUBANSAMBLUL PEREȚI DE REZISTENȚĂ</b>		
2.1.	Cărămida din pereții exeriori rămasă aparentă după căderea tencuiei, friabilă sau cu reducere de secțiune - sub 10% din grosimea peretului - peste 10% din grosimea peretului	2-4 4-8
2.2.	Igrasie la baza pereților din cauza lipsei hidroizolației orizontale sau a distrugerii acesteia	3-5
2.3.	Fisuri pe zone restrânse cauzate de tasări ale fundațiilor. - pereți cu grosime normală (25-50 cm) - pereți masivi (>50 cm)	2-5 2-3
2.4.	Fisuri, crăpături pe zone extinse cauzate de tasarea, rotirea fundațiilor și lipsa legăturilor orizontale (centuri, tiranți)	4-8
2.5.	Fisuri locale în zonele de colț, la legătura între pereții longitudinali și transversali, cauzate de sarcini orizontale (seism)	3-6
2.6.	Degradarea zidăriei la ultimul nivel al clădirilor cu planșee din lemn, fără centuri din beton	3-8
2.7.	Fisuri și crăpături din cauza unor înzidiri ulterioare de goluri fără țeserea zidăriei noi cu cea originală	4-6
2.8.	Desprinderi zonale de pereți și crăpături mari pe întreaga lățime a zidăriei din cauza unor completări ulterioare cu zidării parazitare din materiale nepotrivite ca dimensiuni, formă și compoziție	4-8
2.9.	Crăpături mari și desprinderi întregi, înclinări de corpuri, șpațeți de zidărie din consolidări anterioare incorecte. Amplasarea, la intervenții anterioare, a unor elemente sau corpuri parazitare	4-8
2.10.	Degradarea peretilor interiori prin lipsa unor materiale de zidărie.	4-9
<b>3. SUBANSAMBLUL PLANȘEE</b>		
3.1.	Fisuri pe suprafața bolții cauzate de deplasarea reazemelor	3-7
3.2.	Fisuri pe zone extinse cauzate de deplasarea pereților în plan vertical și orizontal	5-8
3.3.	Fisuri, crăpături provocate de depășirea capacității portante a bolților prin supraîncărcare în decursul exploatarii	2-6
3.4.	Degradări ale zidăriei provocate de infiltrații de apă din instalații defecte, calitatea inferioară a materialului, îmbătrânirea materialului etc.	3-8
3.5.	Degradări din cauza unor intervenții anterioare greșite prin introducerea unor reazeme suplimentare sub bolți	4-8
3.6.	Crăpături, dislocări de elemente componente ale bolților din cauza creerii în mod greșit a unor goluri în boltă	4-8
3.7.	Aplatizarea bolții, formarea săgeții la cheie din supraîncărcări zonale	4-6
3.8.	Profilele metalice de susținere a bolților de cărămidă corodate - reducere până la 10% a ariei - reducere peste 10% a ariei	2-3 3-8
3.9.	Deformații excesive ale planșeului provocate de supraîncărcare	3-6
3.10.	Fisuri, crăpături, desprinderi de material în bolțișoare din cauza degradării materialului sau suprasarcinii.	4-7
3.11.	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe	7-9
3.12.	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem	4-8
3.13.	Deformații ale planșeului peste cele admise, provocate de suprasarcină sau dimensionare greșită	3-6
3.14.	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șaibă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora	4-7
<b>4. SUBANSAMBLUL ȘARPANTĂ DIN LEMN</b>		
4.1.	Degradarea elementelor de rezistență provocate de putrezire, îmbătrânire, neîntreținere: - pe zone restânse;	3-5

	- pe zone extinse	5-7
4.2.	Deplasări, dislocări ale elementelor de rezistență cauzate de subdimensionare, legături incorecte în noduri	4-6
4.3.	Atacul asupra elementelor de rezistență provocat de ciuperci aerobe	2-5
4.4.	Întreținerea deficitară.	2-8
4.5.	Lipsa unor elemente ale învelitoarei (țigle, șipci)	5-9
4.6.	Învelitoare neetansă a acoperișului.	7-9
4.7.	Depozitarea unor materiale care facilitează producerea degradării lemnului (moloaz, excremente, folie, gunoi).	3-8
4.8.	Lipsa/degradarea unor elemente de rezistență (căpriori, grinzi).	7-9
4.9.	Degradări locale ascunse.	6-9
4.10.	Deplasări, deformări, ale suportului sau a unor părți componente ca urmare a îmbătrânirii lemnului.	2-8
4.11	Starea tehnică necorăspunzătoare sau lipsa jghiaburilor și burlanelor.	4-8
<b>5. SUBANSAMBLURI SECUNDARE</b>		
5.1.	Crăpături, fisuri, înclinări la pereții despărțitori, neporanți, cauzate de lipsa fundațiilor și/sau a legăturilor cu ceilalți pereți.	2-6
5.2.	Starea tehnică necorăspunzătoare a jghiaburilor, burlanelor, trotuarelor, instalațiilor etc.	2-4
5.3.	Dislocarea consolelor de susținere a balcoanelor.	3-8
5.4.	Degradarea zidăriei din coșurile de fum.	2-5
5.5	Degradarea învelitorii.	2-6
5.6	Fisuri la colțuri și la îmbinări ale pereților noi de compartimentare cu planșeele vechi, din cauza așezării pe suporturi de rezemare necorespunzătoare.	3-6
5.7	Fisuri și crăpături la colțuri între pereții de rezistență și cei de compartimentare din lipsă de țesere, sau îmbinări necorespunzătoare.	3-7
5.8	Fisuri și crăpături la înzidiri de goluri la uși și ferestre, fără eliminarea cadrelor din lemn sau a buiandrugilor originali.	3-8
5.9	Întreținere deficitară.	3-9
5.10	Nețeserea corespunzătoare între corpul central și aneză a elementelor de zidărie.	2-8

\*Se menționează că acest tabel privind penalizarea zonelor afectate poate fi completat nefiind exhaustiv.

### **6.1.1.2. Starea de afectare a unui subansamblu**

Starea de afectare pentru fiecare din cele cinci subansambluri va fi determinată cu relația:

$$I_{As} = k \cdot \sum_{i=1}^{10} D_i \quad (6.2)$$

unde:

- $I_{As}$  este indicele de afectare determinat pentru fiecare din cele cinci subansambluri;
- $D_i$  este indicele de degradare definit mai sus și calculat cu relația (6.1);
- $i = 1 \div 10$  reprezintă numărul de parametri luați în considerare la determinarea stării tehnice al unui subansamblu, în ordinea descrescătoare în funcție de modul de afectare A;
- $k$  este coeficientul ce ține cont de vârsta construcției.

Indicii de degradare luați în calcul sunt primii zece în ordinea descrescătoare a gravității zonelor afectate. (Dacă se constată mai puțin de zece defecțiuni, ordonarea lor nu contează.)

Coeficientul  $k$  ține seama de vârsta construcției, asupra stării tehnice la construcții zidite, și se propune a fi determinat conform tabelului 6.2, întocmit pe baza diagramei din figura 6.2. [1].

Tabelul 6.2

	Perioada trecută de la construire sau de la ultima consolidare [ani]						
t [ani]	0-10	10-30	30-50	50-70	70-90	90-100	>100
$k$	1	1- 0,98	0,98-0,93	0,93-0,85	0,85-0,70	0,70-0,60	0,50

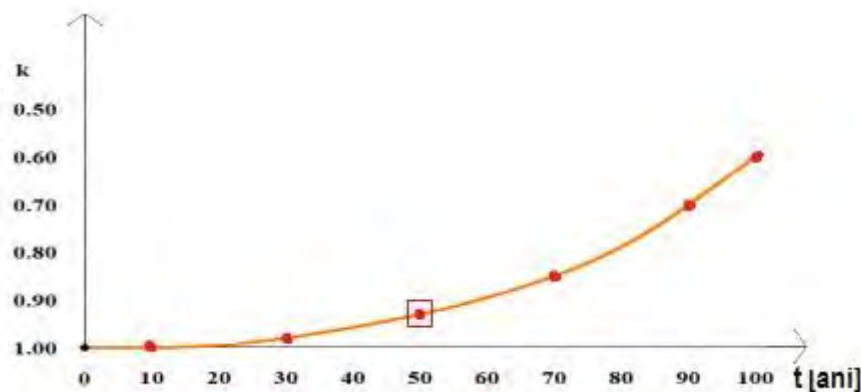


Fig.6.2 Variația coeficientului  $k$ , în timp

### 6.1.3 Starea generală de afectare a structurii

Starea generală de afectare a structurii este exprimată prin indicele de afectare, care reprezintă media ponderată a indicilor de degradanți calculați pentru fiecare subansamblu:

$$I_A = \sum_{j=1}^m P_j \cdot I_{As}; \quad \sum_{j=1}^m P_j = 1 \quad (6.3)$$

unde:

- $m$  este numărul subansamblurilor structurii,
- $P_j$  reprezintă ponderea de afectare, în starea generală a construcției sau a subansamblului "j".  
Aprecierea acesteia se face în funcție de importanța subansamblului în rezistența și stabilitatea clădirii.

În funcție de valoarea indicelui de afectare,  $I_A$ , calculat după metodologia descrisă, o construcție din zidărie (sau un anumit subansamblu al acesteia) poate fi încadrată în diferite clase de afectare, propuse în tabelul 6.3. La alcătuirea claselor de afectare, s-a ținut cont, pe lângă indicele de afectare calculat prin metoda descrisă mai sus, de gradul de afectare, conform [2] și de prevederile Normativului P100/3-2008 [3].



Clasa de afectare	Valoarea indicelui $I_A$	Aprecieri generale asupra stării de avariere
I	80-100	<i>Stare bună. Defecte de mică amploare.</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ fără degradări vizibile la elementele structurale;</li> <li>▪ eventuale fisuri, mici, în tencuiala pereților și tavanelor.</li> </ul>
II	65-80	<i>Stare satisfăcătoare, afectări minore.</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ defecte diverse, dar care nu afectează fundamental structura sau subansamblul structural;</li> <li>▪ deplasări ale elementelor sau lunecarea parțială a acoperișului sau a subansamblurilor secundare;</li> <li>▪ fisuri mici în elementele structurale dar care nu afectează structura de rezistență a clădirii.</li> </ul>
III	50-65	<i>Stare nefavorabilă</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ defecte diverse, grave sau generalizate, care afectează structura sau subansamblul structural;</li> <li>▪ fisuri mici în elementele structurale care afectează capacitatea de rezistență și/sau rigiditatea ansamblului construcției.</li> </ul>
IV	40-50	<i>Stare nesatisfăcătoare.</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ fisuri mici și mari înclinate, verticale și orizontale în elementele structurale de zidărie;</li> <li>▪ deplasări de pe reazemele grinzilor de planșeu;</li> <li>▪ starea tehnică a unor subansambluri nu asigură condițiile de siguranță și funcționare.</li> </ul>
V	30-40	<i>Stare puternic afectată</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ fisuri în pereții structurali, însoțite de zdrobirea zidăriei în zonele comprimate;</li> <li>▪ deformații remanente ale elementelor structurale și ale întregii clădiri;</li> <li>▪ elemente structurale și legăturile dintre acestea crăpate și dislocate.</li> </ul>
VI	<30	<i>Stare de precolaps, construcții puternic afectate.</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ număr mare de elemente structurale rupte, deplasări remanente mari ale ansamblului clădirii;</li> <li>▪ structura în ansamblul ei nu corespunde condițiilor de siguranță și de funcționare, degradările fiind foarte grave și generalizate;</li> <li>▪ deplasarea sau prăbușirea acoperișului.</li> </ul>

Se menționează că monumentele sau clădirile monumentale nu se demolează decât în cazuri speciale, bine documentate și justificate. Este necesar întocmirea unui studiu de vulnerabilitate și luarea deciziilor privind limitarea accesului în clădiri ținând cont că acestea sunt monumente istorice. Părți ale acestora, care pot provoca accidente prin starea lor gravă de degradare, vor fi supuse unor cercetări speciale și vor fi conservate în urma unor consolidări speciale sau, ca ultimă soluție, vor fi demolate.

Pentru exemplificarea metodei expuse anterior, s-a determinat starea tehnică pentru fiecare clădire analizată (fig.6.3).

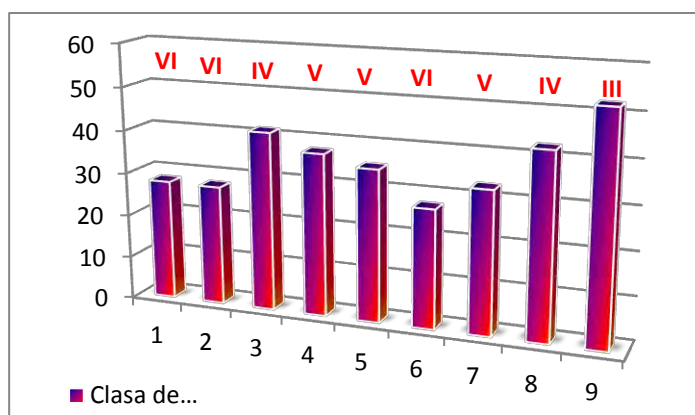


Fig. 6.3 Starea tehnică de afectare pentru clădirile analizate

### 6.1.2 Determinarea gradului de umiditate

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 VOLTcraft (fig.6.4).



Fig. 6.4 Măsurarea umidității cu higrometrul MF-50 VOLTcraft

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/m<sup>2</sup>. 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).

Deasemenea, după prelevarea probelor și analizarea lor în laborator, a fost determinat și gradul de umiditate naturală al acestora (fig.6.5).

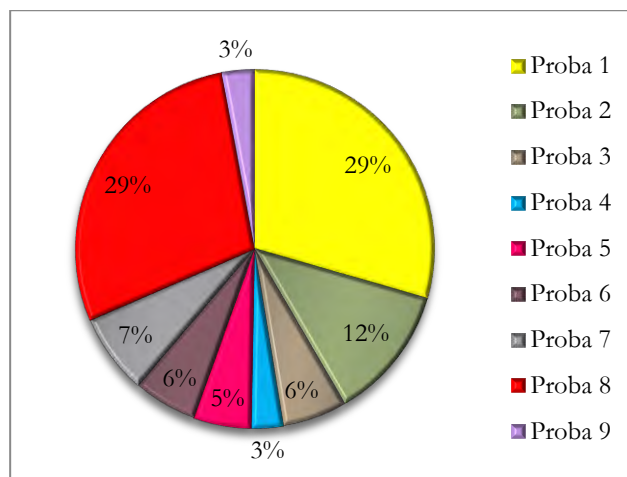


Fig. 6.5 Umiditatea naturala a caramizilor din teren [%]

### 6.1.3 Testarea 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 (fig.6.6).



Fig. 6.6 Caramidă nouă supusă testelor UPV cu aparatul 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 noninvazive 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.



Fig. 6.7 Efectuarea testelor UPV cu aparatul E49

Testul UPV se bazează pe măsurarea vitezei undelor acustice din material, astfel, viteza undelor acustice este măsurată și corelată cu calitatea materialului analizat (de exemplu performanța mecanică sau de durabilitate) atunci când undele acustice sunt propagate prin mediul de-a lungul unei traiectorii date.

Dispozitivul de bază pentru efectuarea unui test UPV constă dintr-un generator de impulsuri, un traductor de transmițător și un traductor de receptor (fig.6.7). Traductorul de transmisie trimite un impuls, iar traductorul de recepție, la o distanță  $X$ , primește impulsul generat. Ecuația cinematică simplă,  $V = X / T$  poate fi folosită pentru a măsura viteza undei (unde  $V$  este viteza de propagare a undelor,  $X$  este traiectoria de propagare a undei, iar  $T$  este timpul de călătorie al acesteia).

Se presupune că viteza undelor acustice este ridicată într-un material de bună calitate și invers. O astfel de corelație este raportată de Breyse (tab.6.4) [4]. Este evident că ordinea vitezelor trebuie ajustată în funcție de tipul materialului (de exemplu, beton, zidărie, metal, plastic etc.).

Tabelul 6.4

<i>Calitatea materialelor pe baza vitezei undei acustice</i>	
<b>Calitatea Materialelor</b>	<b>V [m/s]</b>
Excelenta	>4.500
Foarte bună	4,000-4,500
Bună	3,500-4,000
Nesigur	3,000-3,500
Slab	2,000-3,000
Foarte slab	<2,000

În figura 6.8 este o reprezentare a efectului anomaliilor și a deficiențelor concrete asupra timpului de deplasare a undei acustice și asupra vitezei corespunzătoare pe parcursul unei traiectorii date în timpul testării [5].

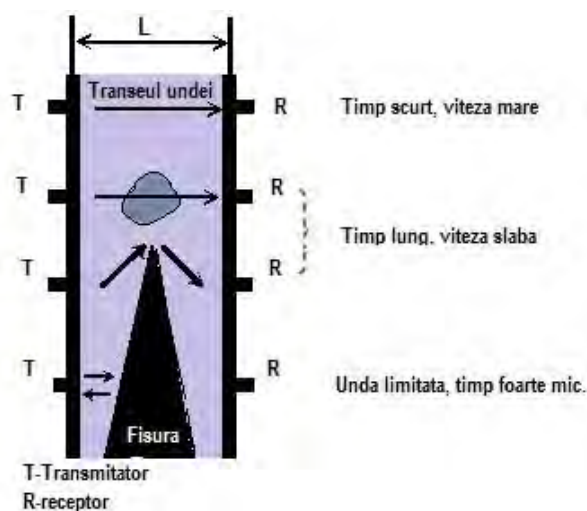


Fig. 6.8 Modul de deplasare al undei acustice intr-un material cu defecte [5]

#### 6.1.4 Testarea cu sclerometru

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 determină calității materialului, în adâncime, în primii 2-3 cm.

Principiul de funcționare: o masă propulsată de un resort proiectează o tijă de impact în contact cu suprafața, iar rezultatul încercării se exprimă prin măsurarea distanței de recul a masei. A fost folosit un SCLEROMETRUL SCHMIDT 2000 – cu recul => carcasa blocaj (fig. 6.9) [5]

Datele obținute nu depind de orientarea sclerometrului, care nu este influențat de gravitație și de frecare. Dacă mai mult de 20% din totalul încercărilor efectuate, pe o

suprafață de încercat, diferă de valoarea medie, cu mai mult de șase unități, este nevoie de o prelucrare selectivă și refacerea încercărilor (SR EN 12504-2:2013) [6].

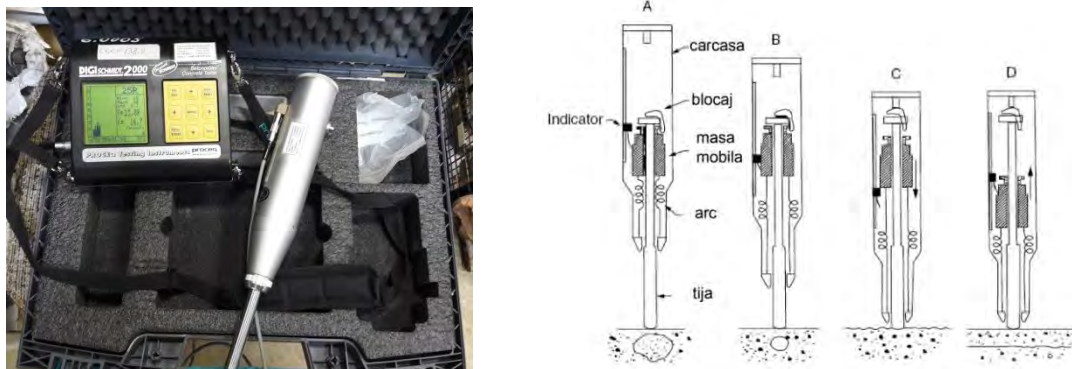


Fig 6.9 Sclerometrul SCHMIDT 2000 și schema acestuia de funcționare

Prelevarea datelor – efectuarea măsurătorilor, tehnica de încercare:

- verificarea sclerometrului înainte de începerea încercărilor, folosind nicovala metalică de calibrare;
- sclerometrul trebuie acționat de minim trei ori înainte de a se proceda la citirea unei serii de rezultate;
- distanța minimă între punctele de încercare și muchia elementului este de 25 mm;
- în timpul încercării sclerometrul se menține perpendicular pe suprafața de încercare;
- citirea indicelui de recul se face pe scala aparatului, în numere întregi;
- realizarea unei corecții de unghi  $\Delta N\alpha$  pentru încercările pe alte suprafețe decât cele verticale;
- după terminarea încercărilor in-situ se face din nou verificarea sclerometrului pe nicovala metalică.

## 6.2. Teste de laborator

### 6.2.1 Testarea cu stereomicroscopul

Analiza microscopică 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 (fig.6.10), cu următoarele capacități:

- achiziție de imagini 2D și 3D;
- procesare de imagini (segmentare, separare straturi 2D, localizare regiuni de interes etc);
- conversie imagini în capturi video;
- măsuratori (unghiulare, liniare 2D-3D, de suprafață) efectuate manual/automat.

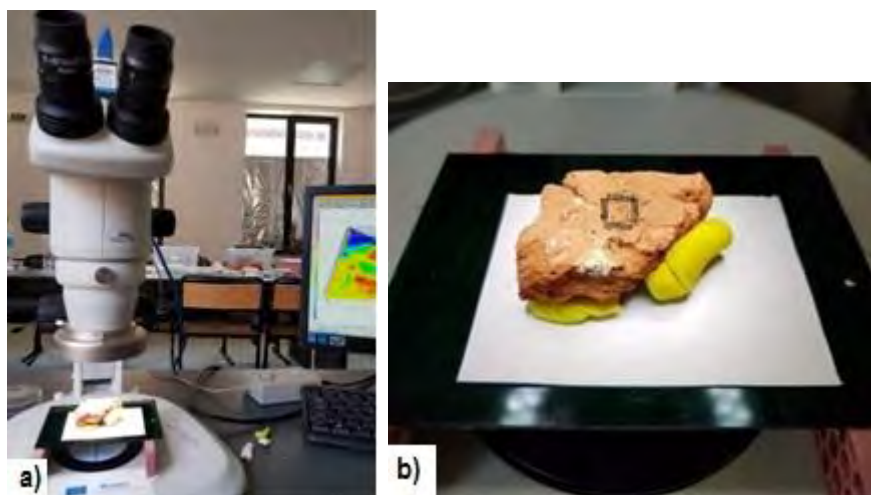


Fig 6.10. a) Stereomicroscop NIKON SMZ 745T, în timpul executării analizei b) proba 9.4 zona 4 în marime naturală

Cu ajutorul analizei microscopice se pot detecta gradele de degradare cât și defectele ascuse ale blocurilor ceramice. Deasemenea se obțin informații despre aspectul rugozității și imperfecțiunile apărute, de-a lungul timpului, în bocurile ceramice.

### 6.2.2 Determinarea rezistenței

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 (fig. 6.11 și fig.6.13).

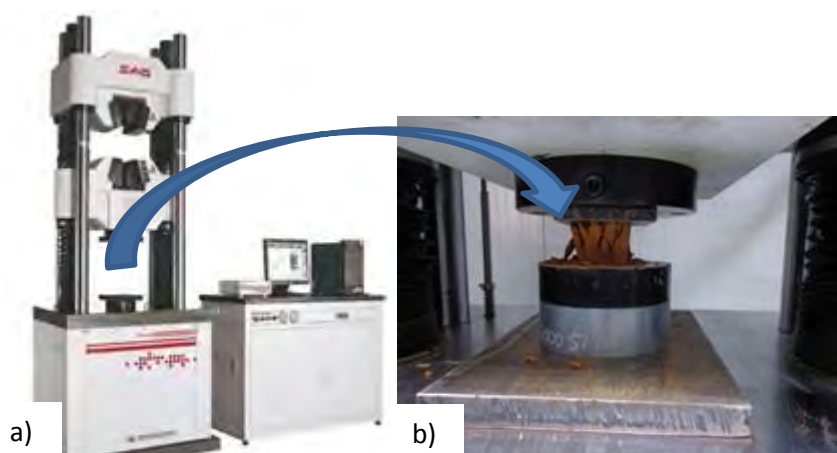


Fig. 6.11 a) Masina de testat universală SANS cu echipamentul de comandă, control și măsurare, b) cub de cărămită după testare

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 cărămizii și înlăturând imperfecțiunile exterioare, astfel încât proba testată să fie cât mai aproape de nucleul central (fig.6.12). Au fost realizate un număr de șase testări la compresiune, *cu forțe care variază ciclic, lent*.



Fig. 6.12 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 7.1

Epruvetele au fost încercate, până la cedare, la compresiune cu mașina de încercare. S-a înregistrat sarcina maximă la care a rezistat epruveta și s-a calculat rezistența la compresiune a cărămizilor prelevate. Epruvetele cubice au fost poziționate, astfel încât, sarcina să se aplice perpendicular pe direcția de punere în zidarie a cărămizilor. Sarcina se aplică pe epruvetă fără șoc și se crește continuu la viteză constantă aleasă +10%, până când epruveta nu mai poate suporta o sarcină mai mare.

Rezistența la compresiune este dată de ecuația:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (6.4)$$

unde:

- $f_c$ - rezistența la compresiune [Mpa];
- $F$  - sarcina maximă la cedare [N];
- $A$  - aria suprafeței pe care acționează forța de compresiune [mm<sup>2</sup>].



Fig. 6.13 Mașina de testat universală SANS și echipamentul de comandă în timpul testelor

Rezultatele obținute în funcție de fiecare probă, pentru toate cele trei eprubete testate au fost centralizate în tabele și grafice.



### **6.2.3 Teste îngheț-dezgheț (gelivitate)**

Efectuarea testelor de îngheț-dezgheț 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°C timp de patru ore. Au fost efectuate câte două cicluri îngheț-dezgheț pe zi, timp de 81 de zile, astfel epruvetele au fost supuse la 162 cicluri îngheț-dezgheț. 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.

#### **6.2.3.1 Pierdere de rezistență**

Epruvetelor supuse ciclurilor de îngheț-dezgheț, li se determină pierderea de rezistență la compresiune. Au fost extrase trei epruvete cubice –din blocurile ceramice supuse celor 162 cicluri de îngheț-dezgheț, și au fost supuse testelor de compresiune cu mașina de testare universală SANS. Ulterior au fost centralizate și interpretate datele obținute în urma ambelor tesari de rezistență.

Pierderea de rezistență după ciclurile de îngheț-dezgheț se obține după determinarea testelor la compresiune pentru determinarea pierderii rezistenței la compresiune.

Pierderea de rezistență la compresiune a fost determinată procentual cu ajutorul formulei (6.5):

$$\eta = \frac{R_m - R_i}{R_m} \cdot 100 \quad (6.5)$$

unde:

- $R_m$  este valoarea rezistenței inițiale;
- $R_i$  este rezistența după testele de îngheț- dezgheț.

#### **6.2.3.2 Pierdere de masă**

Probele de cărămidă prelevate din teren au fost cântărite, cu cântar de laborator, ulterior fiind supuse uscării. Uscarea s-a efectuat timp de cel puțin 24 ore, la cuptor, la o temperatură de 105°C ± 5°C, apoi, probele, au fost lăsate să se răcească până la temperatura ambientală, cel puțin 4 ore, conform prevederilor din SR EN 772-1:2011 [7]. Din diferența masei inițiale, a probelor, și masa uscată, s-a determinat procentul de umiditate naturală, a blocurilor ceramice din teren.

Pentru fiecare din cele nouă clădiri analizate, în urma testelor de îngheț-dezgheț, a fost selectată o probă căreia i s-a calculat pierderea de masă. Aceasta s-a determinat procentual cu ajutorul formulei (6.6):

$$\eta_m = \frac{m_u - m_{id}}{m_u} \cdot 100 \quad (6.6)$$

unde:

- $m_u$  este valoarea masei uscate, după 24h;
- $m_{id}$  este masei după tesele de îngheț- dezgheț.

### 6.3 Analiza cedărilor structurale ale zidărilor

#### 6.3.1 Cula Cioabă Chintescu (fig.6.14)

##### 6.3.1.1 Parametri de intrare

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă (tab.6.5):

Tabelul 6.5

Factori/parametri de intrare	<b>Cula Cioabă Chintescu (50)</b>
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
Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lipsa acoperisului a dus la degradarea în timp a grinzilor de susținere a zidăriei.</li> <li>• Fisurile pereților sunt accentuate. Fisurarea pereților cât și invadarea acestora de vegetație au dus la deteriorarea tencuielilor exterioare.</li> <li>• Tâmplăria, acolo unde mai există, este puternic deteriorată. Pardoselile, tencuielile și zugrăvelile, în mare parte, nici nu mai există.</li> </ul>
Climă	Zona climatică II (te=-15°C)
Umiditate	Media 75%
Adăpostire	Neadăpostită
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• În 1949 devine proprietatea statului;</li> <li>• după anul 1951 cula a fost folosită ca depozit până în anul 1964;</li> <li>• în 1989 a fost abandonată;</li> <li>• în prezent se află în litigiu între primărie și mostenitori.</li> </ul>
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• În 1822 restaurare generală;</li> <li>• În 1966 a fost restaurată prin înlăturarea tuturor adaosurilor, aducându-se cula aproape de forma inițială;</li> <li>• În 1967 a devenit muzeu etnografic până în 1989.</li> </ul>
Starea actuală	Ruină/precolaps

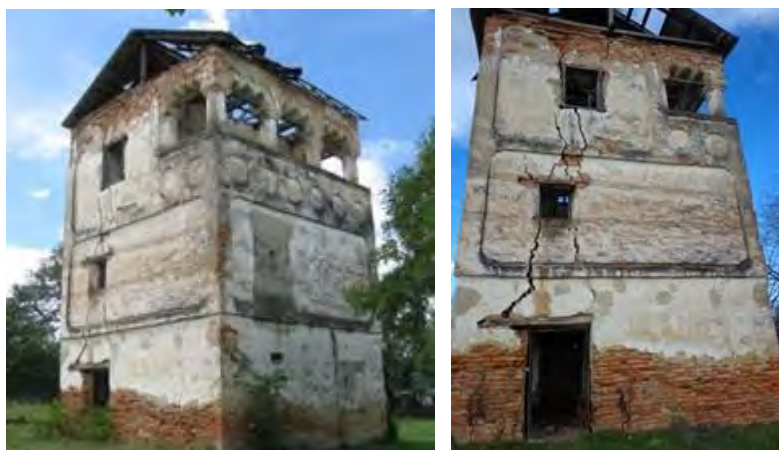


Fig.6.14 Cula Cioabă Chintescu

### 6.3.1.2 Determinarea indicelui de afectare

Cula Cioabă Chintescu, din zidărie de cărămidă se consideră a fi constituită, în principiu, din cele cinci subansambluri constructive, enumerate inițial.

Modul de depunere (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.6, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația (6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu se calculează, conform relației (6.2).

#### 1. Subansamblul fundații

Tabelul 6.6

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
1.1	A= 1	D <sub>1</sub> = 9	Tasări provocate de fundații cu adâncimi neconcordante cu calitatea terenului.
1.2	A= 3	D <sub>2</sub> = 7	Inundarea repetată a terenului de fundare de-a lungul anilor au provocat tasări la nivelul fundațiilor.
1.3	A= 1	D <sub>3</sub> = 9	Nu s-au constatat rotiri sau fracturi provocate de împingerea pământului.
1.4	A= 4	D <sub>4</sub> = 6	S-au constatat tasări locale provocate de degradarea materialului (cărămidă, mortar de legătură) din pereții subsolului.
1.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Risc alunecări ridicat (zona verde).
1.6	A= 2	D <sub>6</sub> = 8	Natura terenului de fundare (normal/difil).
1.7	A= 4	D <sub>7</sub> = 6	Capacitatea de a prelua și transmite la teren încărcările și eforturile apărute.
1.8	A= 5	D <sub>8</sub> = 5	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modului deficitar de administrare zonală.
1.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
1.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 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 <sub>1</sub> = 2	Cărămida din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuielii.
2.2	A= 6	D <sub>2</sub> = 4	Igrasie la pereți din cauza infiltrațiilor de apă în lipsa hidroizolației orizontale
2.3	A= 6	D <sub>3</sub> = 4	Fisuri în pereți, cauzate de tasări ale fundațiilor
2.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Crăpături în pereții exteriori din cauza lipsei centurilor superioare la

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

			nivelul podului.
2.5	A= 7	D <sub>5</sub> = 3	Crăpături la colțuri, din cauza lipsei de țesere între pereții longitudinali și transversali
2.6	A= 6	D <sub>6</sub> = 4	Degradări ale pereților deasupra planșeelor din lemn, cauzate de lipsa legăturilor orizontale.
2.7	A=6	D <sub>7</sub> = 4	Degradarea pereților interiori prin lipsa materialului de zidărie.
2.8	A= 5	D <sub>8</sub> = 5	Calitatea elementelor, omogenitatea țeserii, regularitatea rosturilor.
2.9	A= 6	D <sub>9</sub> = 4	Calitatea materialelor și a execuției conform reglementărilor în vigoare și existența unor zone slăbite de șlițuri sau nișe.
2.10	A= 0	D <sub>10</sub> =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 <sub>1</sub> = 5	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A=7	D <sub>2</sub> = 3	Fisuri pe zone extinse cauzate de deplasarea pereților în plan vertical/orizontal
3.3	A= 5	D <sub>3</sub> = 5	Deformații excesive ale planșeului provocate de supraîncărcare
3.4	A= 8	D <sub>4</sub> = 2	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe
3.5	A= 8	D <sub>5</sub> = 2	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem
3.6	A= 7	D <sub>6</sub> = 3	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șaibă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora
3.7	A= 8	D <sub>7</sub> = 2	Dislocări ale elementelor de rezistență provocate de putrezire, îmbătrânire, neîntreținere
3.8	A= 7	D <sub>8</sub> = 3	Efectuarea unor intervenții anterioare greșite
3.9	A= 6	D <sub>9</sub> = 4	Fisuri verticale sau înclinate în elementele de sprijinire.
3.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

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

**4. Subansamblul șarpantă din lemn**

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

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

**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 6.3, cuprinzând 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 importanța sa arhitecturală, ca și indicație generală, se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

### 6.3.1.3 Măsurarea umidității

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.7, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.15.

Tabelul 6.7

Înălțimea [m] Pct.Cardinale	Umiditatea măsurată [%]			Valoarea Medie [%]	A [%]
	0,5	0,8	1,8		
N		36,83	26,74	46,76	0,532
		51,25	42,26		
S	63,71	55,27	30,28	54,34	0,457
	20,15	76,36	66,52		
E		50,74	87,26	80,27	0,197
		62,32	98,21		
V		21,17	23,32	54,75	0,453
		74,81	34,68		

A-factor de diminuare al rezistenței la compresiune din umiditate [%]

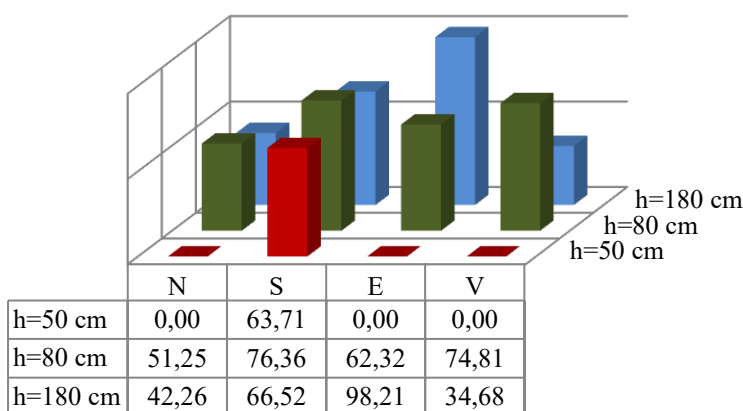


Fig.6.15 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 1.

### 6.3.1.4 Teste cu stereomicroscopul

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate două zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: o zonă cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.16). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 6.17 și 6.18.



Fig 6.16. Proba 1.4 cu cele două zone exemplificate

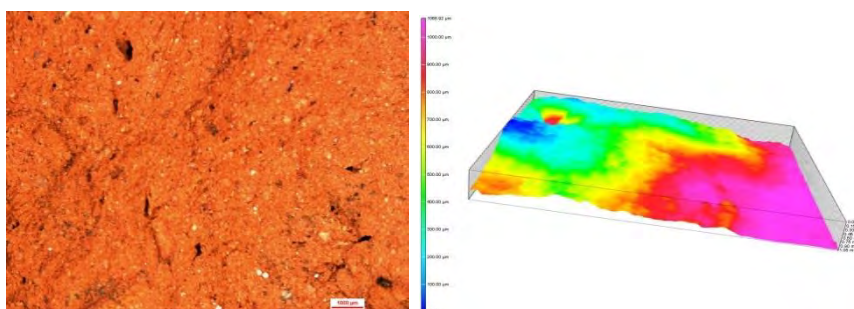


Fig. 6.17. Analiza stereomicroscopică pentru proba 1.4, zona 1, zoom 10



Fig. 6.18. Analiza stereomicroscopică pentru proba 1.4, zona 1, zoom 45

### 6.3.1.5 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.6.8). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, incinta ICECON S.A București.

Tabelul 6.8

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

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 6.9:

Tabelul 6.9

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 [ $\mu$ s]
- x - lungimea probei măsurate [cm]

### B. Testare cu sclerometrul

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 1.2 și 1.3 sunt centralizate în tabelul 6.10:

Tabelul 6.10

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

### C. Teste de rezistență

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.19, sunt centralizate în tabelul 6.11.



Fig. 6.19 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 1.4

Tabelul 6.11

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	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 6.20.

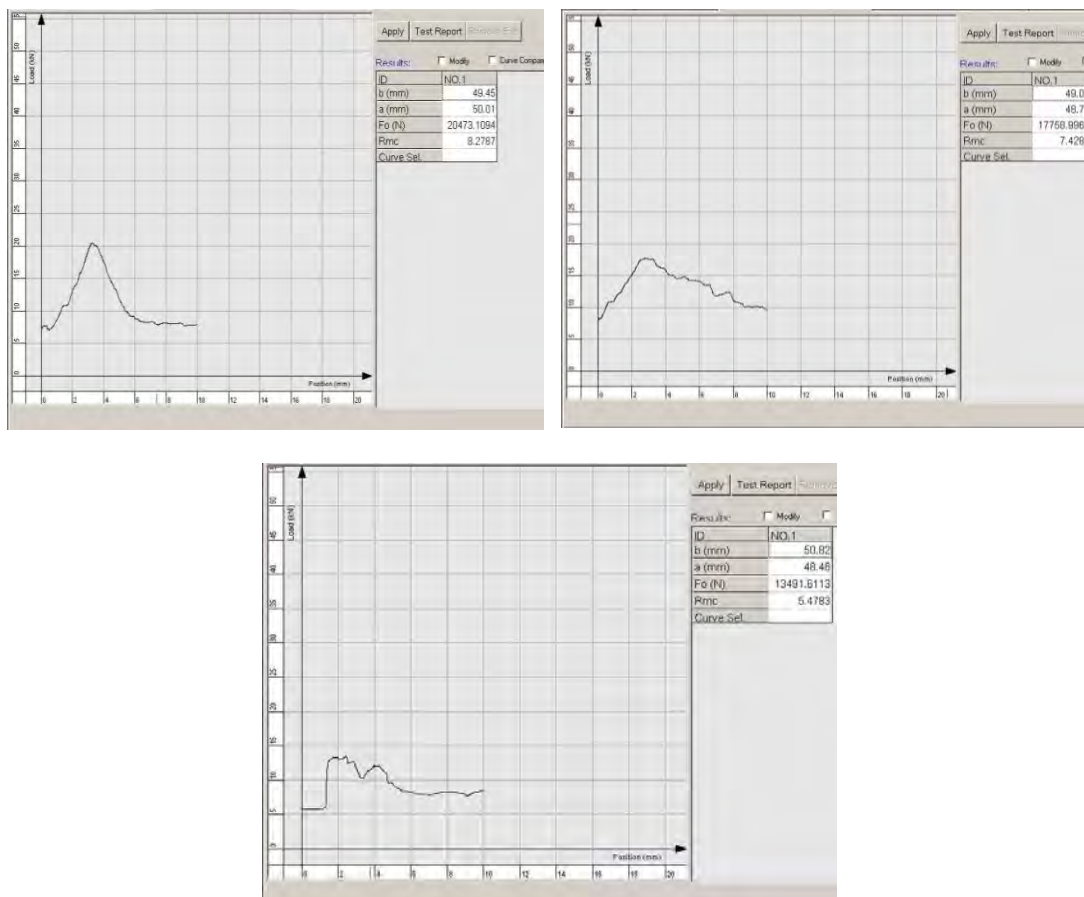


Fig.6.20. Diagramele testului la compresiune



**D. Testarea îngheț- dezgheț – gelivitate**

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

**D.1. Pierderea de rezistență**

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț sunt centralizate în tabelul 6.12.

Tabelul 6.12

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Forța [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
1.1						
	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 îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 31,851%.

**D.2. Pierderea de masă**

Centralizarea valorilor masei probei 1.4 este exemplificată în figura 6.21. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 0,83 %.

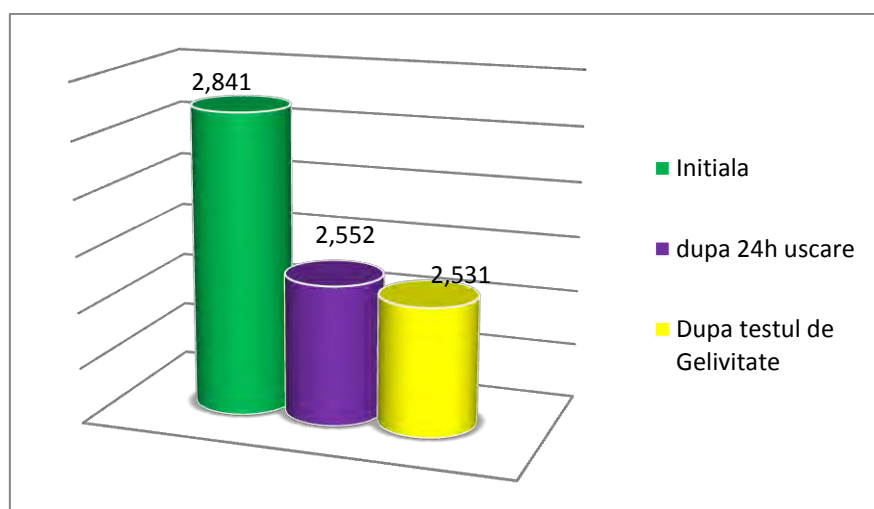


Fig. 6.21 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 1.4

### 6.3.2 Cula Crăsnaru (fig.6.22)

#### 6.3.2.1 Parametri de intrare

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă (tab.6.13):

Tabelul 6.13

Factori/parametri de intrare	<b>Cula Crăsnaru (28)</b>
Localizare	Groșerea, Județul Gorj
Categorie patrimoniu	GJ-II-m-A-09309
An edificare construcție	1780
Sistem constructiv	Parter/beci și două etaje. Plan compact, 8,0x7,8m, cu ziduri, din cărămidă, cu grosimea de 0,9 m. Înălțimea de 9,30m. Sistem constructiv tip a.
Teren fundare	Neozoic, Neogen-Pliocen Levantin.(p4) cu capacitate portantă ridicată
Alunecare teren	Probabilitatea de alunecari este ridicată. In zonă nu sunt probleme majore de instabilitate a terenului.
Seismicitate	Zona VIII- au loc cutremure de suprafață
Avarii infrastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Devenită adăpost pentru animale, terenul parterului este îmbibat cu urină și fecale, greu mirositoare și puternic distrugătoare pentru sistemul de fundare din cărămidă cât și pentru metalul ancorelor.</li> </ul>
Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prezintă mutilări pentru extragerea cărămizilor.</li> <li>• Pereții sunt puternic fisurați și fără tencuieli.</li> <li>• Acoperișul din șită de brad este puternic perforat.</li> <li>• Elementele arhitecturale sunt total pe cale de dispariție.</li> <li>• Balconul nu mai prezintă podea, fiind luat ca material de foc, la fel ca și unele grinzi dintre nivele.</li> <li>• Mediul total nefavorabil a deteriorat grinzile din lemn de stejar.</li> </ul>
Climă	Zona climatică II ( $t_e = -15^\circ\text{C}$ )
Umiditate	Media 76%.
Adăpostire	Neadăpostită
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1801 incendiată</li> <li>• 1898 incendiată prin trasnet</li> <li>• Initial nu a avut sistem de încălzire, ulterior fiind transformată în spațiu de locuit și adăugându-se sobe și coșuri.</li> <li>• Ulterior, fără o dată precisă, a fost adăugat un balcon, pe Nord-Est, la ultimul etaj, prin console fixate în zidărie.</li> <li>• 2006 proprietate particulară.</li> </ul>
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1806 reabilitată după incendiu</li> <li>• 1899 se reface acoperișul pentru a III-a oară</li> <li>• 1966 restaurată, devenind muzeu etnografic.</li> </ul>
Starea actuală	• Ruină/precolaps



Fig.6.22 Cula Crăsnaru

### 6.3.2.2 Determinarea indicelui de afectare

Cula Crăsnaru, din zidărie de cărămidă se consideră a fi constituită, în principiu, din următoarele cinci subansambluri constructive, enumerate inițial.

Modul de depunctare (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.14, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația (6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu, se calculează cu relația (6.2).

#### 1. Subansamblul fundații

Tabelul 6.14

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
1.1	A= 6	D <sub>1</sub> =4	Umpluturi de pământ sau moluz în subsoluri, ca intervenții greșite anterioare.
1.2	A=2	D <sub>2</sub> =8	Tasări și fracturi cauzate de inundarea terenului de fundare.
1.3	A=3	D <sub>3</sub> =7	Rotiri sau fracturi provocate de împingerea pământului.
1.4	A=2	D <sub>4</sub> =8	Tasări provocate de fundații cu adâncimi neconcordante cu calitatea terenului.
1.5	A=3	D <sub>5</sub> =7	Risc alunecari ridicat (zona verde).
1.6	A =2	D <sub>6</sub> = 8	Natura terenului de fundare (normal/dificil).
1.7	A = 5	D <sub>7</sub> = 5	Capacitatea de a prelua și transmite la teren încărcările și eforturile apărute.
1.8	A = 6	D <sub>8</sub> = 4	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modului deficitar de administrare zonală.
1.9	A = 4	D <sub>9</sub> = 6	Cangrene în pereții subsolurilor prin crăpături ale elementelor de zidărie.
1.10	A = 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 67 = 33,5 \text{ puncte}$$

#### 2. Subansamblul pereți de rezistență

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
2.1	A= 8	D1 = 2	Cărămida din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuielii.
2.2	A= 5	D2 = 5	Igrasie la pereți din cauza infiltrațiilor de apă în lipsa hidroizolației orizontale
2.3	A= 7	D3 = 3	Fisuri pe zone restrânse, cauzate de tasări ale fundațiilor
2.4	A= 3	D4 = 7	Crăpături în pereții exteriori din cauza lipsei centurilor superioare la

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

			nivelul podului.
2.5	A= 8	D5 = 2	Crăpături la colțuri din cauza lipsei de țesere între pereții longitudinali și transversali
2.6	A= 7	D6 = 3	Degradări ale pereților deasupra planșeelor din lemn, cauzate de lipsa legăturilor orizontale.
2.7	A=6	D7 = 4	Degradarea peretilor interiori prin lipsa materialului de zidărie.
2.8	A= 4	D8 = 6	Calitatea elementelor, omogenitatea țeserii, regularitatea rosturilor
2.9	A= 7	D9 = 3	Calitatea materialelor și a execuției cât și existența unor zone slăbite de șlituri sau nișe.
2.10	A= 0	D10 =10	Crăpături vizibile și desprinderi întregi la adăugarea de corpuri anexe.

$$I_{Apr} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 45 = 22,5 \text{ puncte}$$

**3. Subansamblul planșee**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
3.1	A=2	D1 = 8	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A=3	D2 = 7	Fisuri pe zone extinse cauzate de deplasarea pereților în plan vertical/orizontal
3.3	A= 4	D3 = 6	Deformații excesive ale planșeului provocate de supraîncărcare
3.4	A= 8	D4 = 2	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe
3.5	A= 8	D5 = 2	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem
3.6	A= 6	D6 = 4	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șaibă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora
3.7	A= 6	D7 = 4	Dislocări ale elementelor de rezistență provocate de putrezire, îmbătrânire, neîntreținere
3.8	A= 3	D8 = 7	Efectuarea unor intervenții anterioare greșite
3.9	A= 6	D9 = 4	Crăpături ale bolților din cauza creerii în mod greșit a unor goluri în boltă.
3.10	A= 0	D10 = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apl} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 50 = 25 \text{ puncte}$$

**4. Subansamblul șarpantă din lemn**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
4.1	A= 8	D1 = 2	Degradări prin putrezirea lemnului la majoritatea elementelor, din cauza pătrunderii apelor pluviale prin învelitoarea de țiglă degradată.
4.2	A= 3	D2 = 7	Nodurile dislocate, rotirile, au fost produse de legături incorecte și putrezirea lemnului de la reazemele șarpantei.
4.3	A= 5	D3 = 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	D4 = 3	Întreținerea deficitară.
4.5	A= 8	D5 = 2	Lipsa unor elemente ale învelitoarei.
4.6	A= 6	D6 = 4	Învelitoare neetanșă a acoperișului.
4.7	A= 8	D7 = 2	Depozitarea unor materiale care facilitează producerea degradării lemnului (moloz, excremente, folie, gunoi).
4.8	A= 6	D8 = 4	Lipsa/degradarea unor elemente de rezistență (căpriori, grinzi)
4.9	A= 2	D9 = 8	Degradări locale ascunse.
4.10	A= 5	D10 = 5	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) este:

$$I_A = 0,2 \times 33,5 + 0,2 \times 22,5 + 0,2 \times 25 + 0,1 \times 21 + 0,1 \times 50 = 27,65 \text{ puncte}$$

În conformitate cu tabelul 6.3, cuprinzând clasele de afectare, clădirea analizată se situează în clasa **VI** de stare de afectare.

În concluzie, dat fiind faptul că structura este încadrat ca Monument istorice (GJ-II-m-A-09309) și importanța sa istorică, ca și indicație generală, se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

### 6.3.2.3 Măsurarea umidității:

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.15, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.23.

Tabelul 6.15

Pct.Cardinale Inălțimea [m]	Umiditatea măsurată %		Valoarea Medie %	A
	0,8	1,8		
N	64,20	22,82	43,51	0,565
	74,81	29,21	52,01	
S	70,25	31,73	50,99	0,490
	47,32	88,85	68,09	
E	51,22	87,82	69,52	0,305
	46,91	98,05	72,48	
V	35,84	22,11	28,98	
	33,37	23,21	28,29	0,717

A - factor de diminuare a rezistenței la compresiune din umiditate

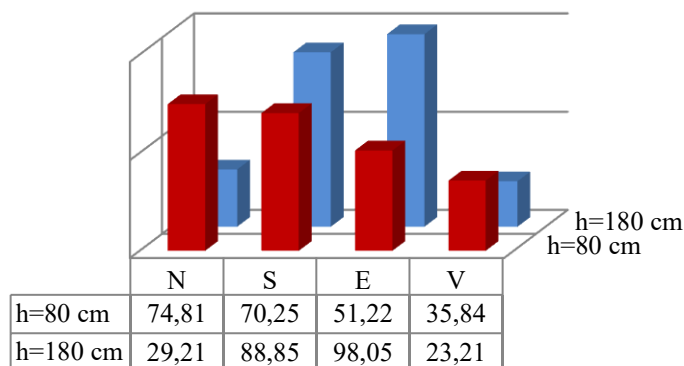


Fig.6.23 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 2.

### 6.3.2.4. Teste cu stereomicroscopul

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate două zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: o zonă cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.24). În urma analizei cu stereomicroscopul a rezultat imaginea din figurila 6.25.



Fig 6.24. Proba 2.1 pe care s-a efectuat analiza cu stereomicroscopul

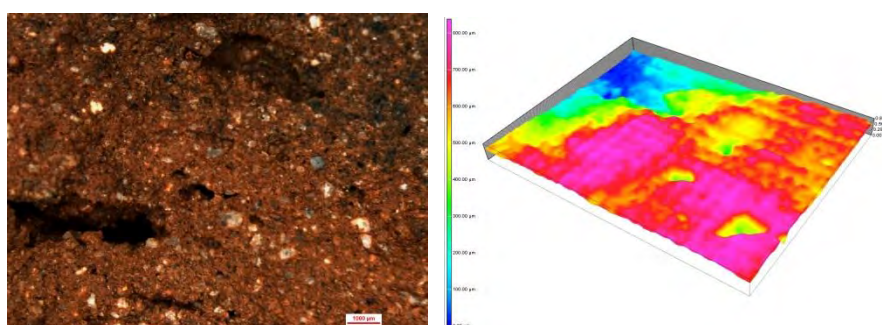


Fig. 6.25 Analiza stereomicroscopică pentru proba 2.1, zona 1, zoom 30

### 6.3.2.5. Teste de laborator

Pentru clădirea analizată s-au prelevat 6 bucăți de cărămidă provenind din zonele afectate ale clădirii, fără a se pune în pericol structura de rezistență (tab.6.16). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, incinta ICECON S.A București.

Tabelul 6.16

Probă	L [cm]	l [cm]	h [cm]	Greutatea initiala [kg]	Greutatea dupa 24 h uscare [kg]
2.1	548,19	118,16	46,44	1,9324	1,9205
2.2	189,49	120,93	43,94	1,7194	1,6643
2.3	149,90	128,11	46,90	1,474	1,4251
2.4	163,19	120,00	43,76	1,3598	1,31
2.5	113,13	100,59	47,80	1,1303	1,0976
2.6	166,44	82,76	43,12	1,2794	1,2153

### A. Teste cu ultrasunete

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 6.17:

Tabelul 6.17

proba 2.1	x	0,119
	t	61.3
	v	1937

unde:

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

t - viteza de transmitere [ $\mu$ s]

x - lungimea probei măsurate [cm]

### B. Testare cu sclerometrul

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 2.3 și 2.4 sunt centralizate în tabelul 6.18:

Tabelul 6.18

Valori / Nr. teste	Testul 1 Proba 2.3	Testul 2 Proba 2.4
Min	24	18
Max	38	45
s	$\pm 4,4$	$\pm 9,5$
$\bar{x}$	f > 20%	f > 20%
	f = 13,2 N/mm <sup>2</sup>	f = 13,9 N/mm <sup>2</sup>

### C. Teste de rezistență

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.26, sunt centralizate în tabelul 6.19.



Fig. 6.26 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 2.1

Tabelul 6.19

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maxima de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
2.1	1	45,38	46,56	2112,893	14029,73	6,64
	2	46,24	45,61	2109,006	16404,05	7,778
	3	47,59	47,25	2248,628	19124,28	8,504
Media					16519,35	7,640

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 2.1.1, 2.1.2 și 2.1.3, sunt exemplificate în figura 6.27.

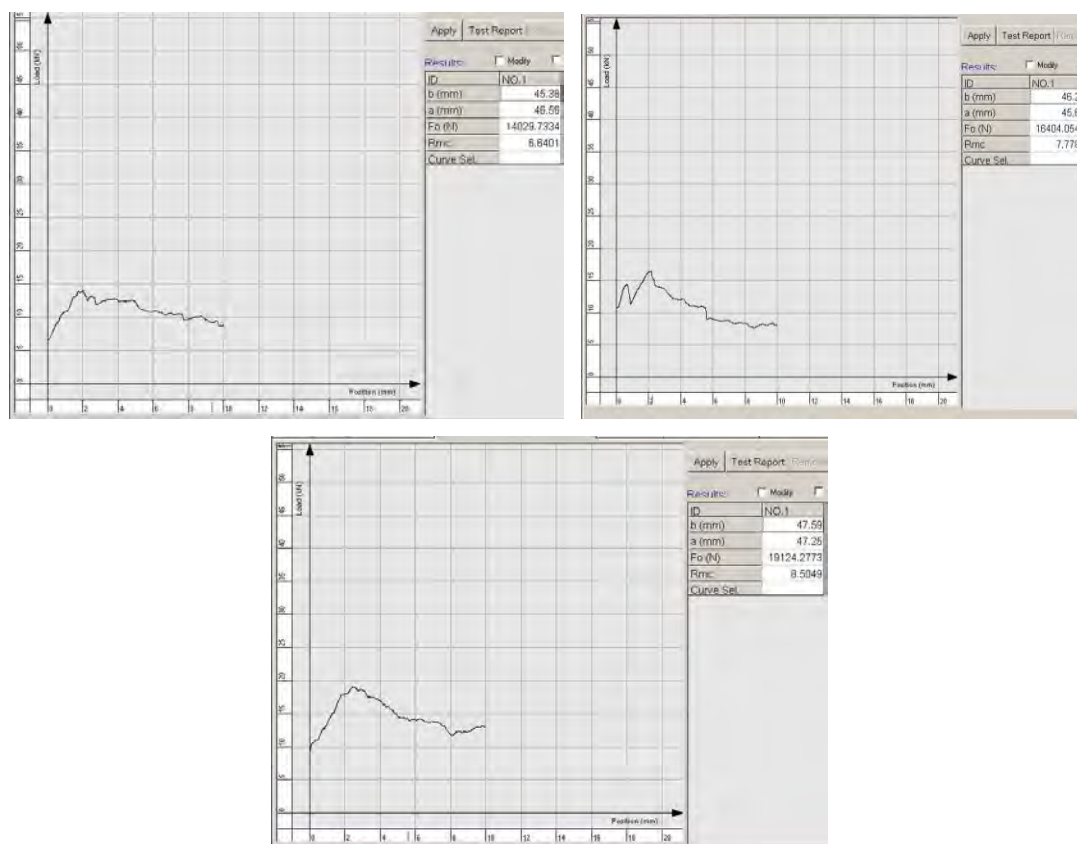


Fig.6.27. Diagramele testului la compresiune

#### **D. Testarea îngheț- dezgheț – gelivitate**

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

##### **D.1. Pierderea de rezistență**

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț sunt centralizate în tabelul 6.20.



Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Forța [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
2.4						
	1	41,45	41,17	1706,497	8578,5	5,03
	2	41,23	41,15	1696,615	14890,7	8,77
	3	42,29	40,61	1716,974	10078,2	5,87
	4	41,26	40,89	1687,121	12335,1	7,31
Media					11470,6	6,745

Pierderea de rezistență, în urma celor 162 cicluri îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 11,726 %.

### D.2. Pierderea de masă

Centralizarea valorilor masei probei 2.4 este exemplificată în figura 6.28. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 1,00 %.

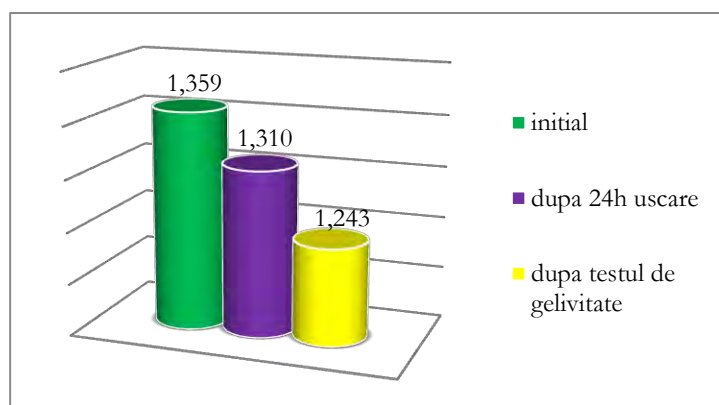


Fig. 6.28 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 2.4

### 6.3.3 Cula Zătreaanu (fig.6.29)

#### 6.3.3.1 Parametri de intrare

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă (tab.6.21):

Tabelul 6.21

Factori/parametri de intrare	<b>Cula Zătreaanu (20)</b>
Localizare	Zătreni, Județul Vâlcea
Categorie patrimoniu	VL-II-m-B-09977
An edificare construcție	1754
Sistem constructiv	Plan pătrat, beci boltit semicircular și cu acces separat și două nivele. Zidurile culei au 80 cm grosime. La ultimul nivel se păstrează holurile și încăperile originale, cu bolți semicilindrice și mănăstirești cât și foișorul, cu stâlpi de cărămidă și arcade trilobate. Sistemul constructiv tip <b>b</b> .
Teren fundare	Neozoic, Neogen-Pliocen Levantin. (p4) cu capacitate portantă ridicată
Alunecare teren	Probabilitatea de alunecări este ridicată. În zonă nu sunt probleme

	majore de instabilitate a terenului din punct de vedere geotehnic.
Seismicitate	Zona VIII- au loc cutremure de suprafață
Avarii infrastructură	• A fost bine conservată, nu prezintă degradări însemnate.
Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pereții prezintă urme vizibile de vandalism, iar podelele au fost sustrate.</li> <li>• Pereții sunt puternic fisurați și fără tencuieli.</li> <li>• Ferestrele lipsesc aproape la întreaga structură.</li> <li>• Clădirea este înconjurată de vegetație abundentă.</li> <li>• Elementele arhitecturale sunt deteriorate și aproape lipsesc.</li> </ul>
Climă	Zona climatică II (te=-15°C)
Umiditate	Media 72%
Adăpostire	Neadăpostită
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1900 iese din patrimoniul familiei având noi proprietari.</li> <li>• 1940 a fost preluată de IAS-ul local.</li> <li>• corpului central i-au fost anexate adăugiri importante, fiind transformată în conac.</li> <li>• Retrocedată moștenitorilor, dar lasată în voia sorții.</li> <li>• 2007 cula a fost scoasă la vânzare, iar în prezent este proprietate privată.</li> </ul>
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1900 s-a refăcut foișorul și au fost adăugate anexele.</li> <li>• 1977 turla clădirii s-a prăbușit și nu a mai fost refăcută.</li> <li>• 2008 au început lucrări de curățare și igienizare ale ansamblului.</li> <li>• 2017 a fost realizat proiectul de consolidare și urmează a fi transformată în zonă de agrement.</li> </ul>
Starea actuală	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruină/precolaps.</li> <li>Urmează a fi reabilitată.</li> </ul>



Fig. 6.29 Cula Zătreanu

### 6.3.3.2 Determinarea indicelui de afectare

Cula Zătreanu, din zidărie de cărămidă se consideră a fi constituită, în principiu, din cele cinci subansambluri constructive, enumerate inițial.

Modul de depunțare (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.22, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația (6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu conform relației (6.2).

#### 1. Subansamblul fundații

Tabelul 6.22

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
1.1	A= 4	D <sub>1</sub> =6	Umpluturi de pământ sau moluz în subsoluri, ca intervenții greșite anterioare.
1.2	A=3	D <sub>2</sub> =7	Tasări și fracturi cauzate de inundarea terenului de fundare.

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

1.3	A=2	D <sub>3</sub> = 8	Rotiri sau fracturi provocate de împingerea pământului.
1.4	A=2	D <sub>4</sub> = 8	Tasări provocate de fundații cu adâncimi neconcordante cu calitatea terenului.
1.5	A=2	D <sub>5</sub> = 8	Risc alunecari ridicat (zona verde).
1.6	A=2	D <sub>6</sub> = 8	Natura terenului de fundare (normal/difil).
1.7	A=1	D <sub>7</sub> = 9	Capacitatea de a prelua și transmite la teren încărcările și eforturile apărute.
1.8	A= 3	D <sub>8</sub> = 7	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modului deficitar de administrare zonală.
1.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
1.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 81 = 40,5 \text{ puncte}$$

**2. Subansamblul pereți de rezistență**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
2.1	A= 2	D <sub>1</sub> = 8	Cărămida din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuiei.
2.2	A= 2	D <sub>2</sub> = 8	Fisuri pe zone restrânse, cauzate de tasări ale fundațiilor
2.3	A= 4	D <sub>3</sub> = 6	Crăpături în pereții exteriori din cauza lipsei centurilor superioare la nivelul podului.
2.4	A= 2	D <sub>4</sub> = 8	Crăpături la colțuri din cauza lipsei de țesere între pereții longitudinali și transversali
2.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Calitatea elementelor, omogenitatea țeserii, regularitatea rosturilor
2.6	A= 3	D <sub>6</sub> = 7	Calitatea materialelor și a execuției cât și existența unor zone slăbite de șlituri sau nișe.
2.7	A= 0	D <sub>7</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apr} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 86 = 43 \text{ puncte}$$

**3. Subansamblul planșee**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
3.1	A= 2	D <sub>1</sub> = 8	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A= 3	D <sub>2</sub> = 7	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe
3.3	A= 3	D <sub>3</sub> = 7	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem
3.4	A= 2	D <sub>4</sub> = 8	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șaibă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora
3.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Aplatizarea bolții, formarea săgeții la cheie din supraîncărcări zonale.
3.6	A= 3	D <sub>6</sub> = 7	Crăpături ale bolților din cauza creerii în mod greșit a unor goluri în boltă.
3.7	A= 0	D <sub>7</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apl} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 84 = 42 \text{ puncte}$$

**4. Subansamblul șarpantă din lemn**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
4.1	A= 2	D <sub>1</sub> = 8	Degradări prin putrezirea lemnului la majoritatea elementelor, din cauza pătrunderii apelor pluviale prin învelitoarea de țigla degradată.
4.2	A= 3	D <sub>2</sub> = 7	Infestare cu diferite ciuperci, pe zone destul de extinse ale șarpantei,

## COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

			mai ales la pana de coamă și în zona tălpilor la cosoroabă.
4.3	A= 6	D <sub>3</sub> = 4	Întreținerea deficitară.
4.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Lipsa unor elemente ale învelitoarei.
4.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Învelitoarea neetanșă a acoperișului.
4.6	A= 2	D <sub>6</sub> = 8	Depozitarea unor materiale care facilitează producerea degradării lemnului (moloz, excremente, folie, gunoi).
4.7	A= 2	D <sub>7</sub> = 8	Lipsa/degradarea unor elemente de rezistență (câpriori, grinzi)
4.8	A= 2	D <sub>8</sub> = 8	Degradări locale ascunse.
4.9	A= 3	D <sub>9</sub> = 7	Deplasări, deformări, ale suportului sau a unor părți componente ca urmare a îmbătrânirii lemnului.
4.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{A\bar{s}} = 0.5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 74 = 37 \text{ puncte}$$

### 5. Subansambluri secundare

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
5.1	A= 2	D <sub>1</sub> = 8	Starea tehnică necorespunzătoare a jghiaburilor, burlanelor, trotuarelor, instalațiilor etc.
5.2	A= 2	D <sub>2</sub> = 8	Degradarea zidăriei din coșurile de fum.
5.3	A= 2	D <sub>3</sub> = 8	Degradarea învelitorii.
5.4	A=3	D <sub>4</sub> = 7	Fisuri la colțuri și la îmbinări ale pereților noi de compartimentare cu planșeele vechi, din cauza așezării pe suporturi de rezemare necorespunzătoare.
5.5	A= 2	D <sub>5</sub> = 8	Fisuri și crăpături la colțuri între pereții de rezistență și cei de compartimentare din lipsă de țesere, sau îmbinări necorespunzătoare.
5.6	A= 3	D <sub>6</sub> = 7	Întreținerea deficitară.
5.7	A= 2	D <sub>7</sub> = 8	Nețeserea corespunzătoare între corpul central și anexă a elementelor de zidărie.
5.8	A= 0	D <sub>8</sub> =10	Nu s-au constatat alte degradări.
5.9	A= 0	D <sub>9</sub> =10	Nu s-au constatat alte degradări.
5.10	A= 0	D <sub>10</sub> =10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Ass} = 0.5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 89 = 44,5 \text{ puncte}$$

**Starea generală de afectare a structurii** conform relației (3) este:

$$I_A = 0,2 \times 40,5 + 0,2 \times 43 + 0,2 \times 42 + 0,1 \times 37 + 0,1 \times 44,5 = 41,25 \text{ puncte}$$

Ca atare, în conformitate cu tabelul 6.3, cuprinzând clasele de afectare, clădirea analizată se situează în **clasa IV, stare de afectare nesatisfăcătoare**, nefiind asigurate condițiile minime de siguranță și funcționare.

În concluzie, dat fiind faptul că întreaga structură este încadrată ca Monument istoric (VL-II-m-B-09977) cât și importanța sa istorică și arhitecturală, ca și indicație generală se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

### 6.3.3.3 Măsurarea umidității:

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.23, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.30.

Tabelul 6.23

Pct.Cardinale Înălțimea [m]	Umiditatea măsurată [%]		Valoarea medie [%]	A [%]
	0,9	1,8		
N	45,21	33,22	39,22	0,608
	69,12	80,10	74,61	
	42,08	90,05	66,07	
S	42,13	65,31	53,72	0,463
	40,18	90,20	65,19	
E	37,20	43,14	40,17	
	50,91	14,55	32,73	0,673
V	78,82	26,24	52,53	
	39,54	37,17	38,36	0,616

A - factor de diminuare al rezistenței la compresiune din umiditate

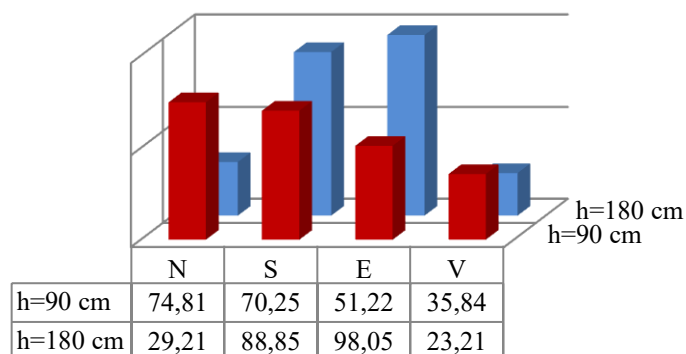


Fig.6.30 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 3.

### 6.3.3.4 Teste cu stereomicroscopul

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate două zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: o zonă cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.31). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 6.32, 6.33, 6.34 și 6.35.



Fig. 6.31 Proba 3.2 cu cele doua zone exemplificate

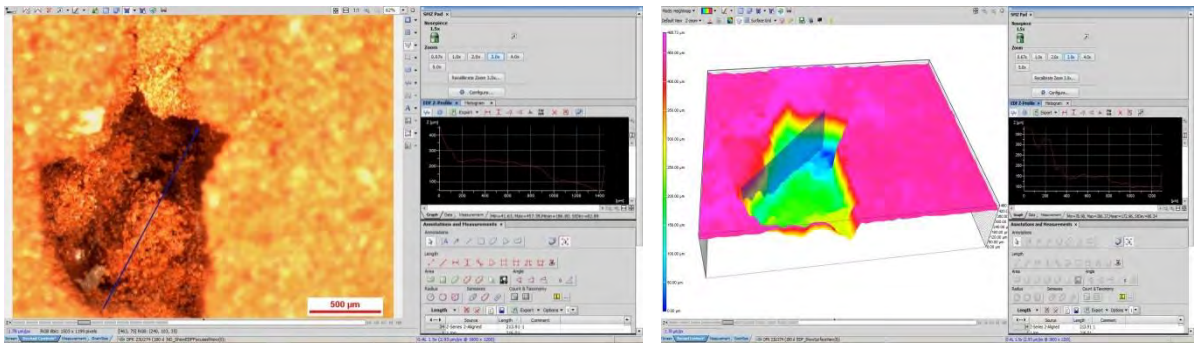


Fig.6.32. Analiza stereomicroscopică, proba 3.2, zona 1, zoom 45

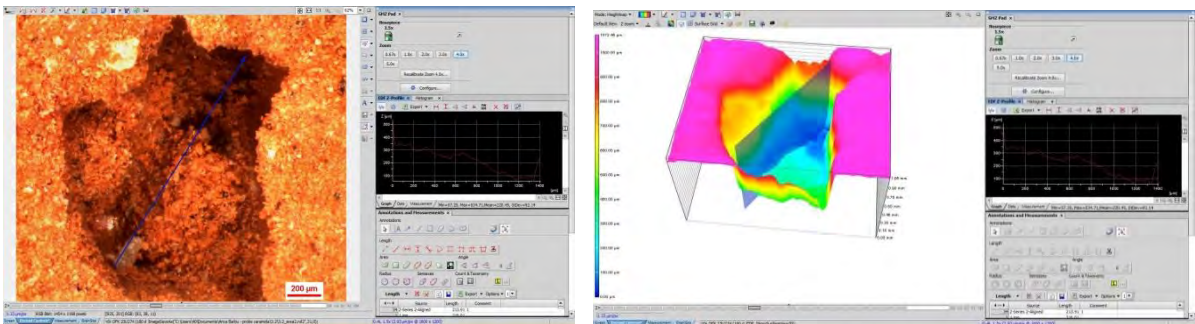


Fig.6.33. Analiza stereomicroscopică, proba 3.2, zona 1, zoom 60

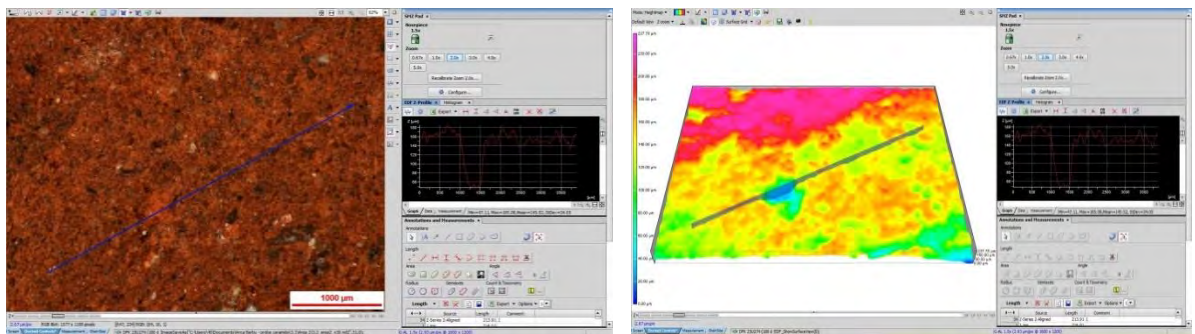


Fig. 6.34. Analiza stereomicroscopică, proba 3.2, zona 2, zoom 30

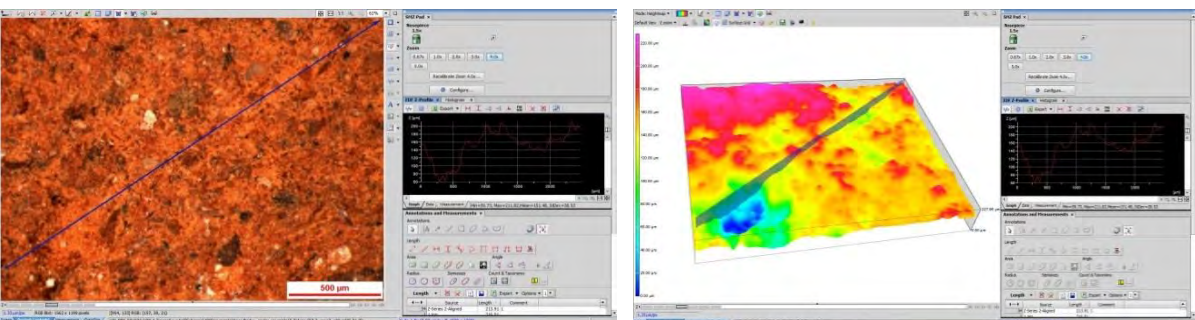


Fig. 6.35 Analiza stereomicroscopică, proba 3.2, zona 2, zoom 60

### 6.3.3.5 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.6.24). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, incinta ICECON S.A București.

Tabelul 6.24

Probă	L [cm]	l [cm]	h [cm]	Greutatea initiala [kg]	Greutatea dupa 24 h uscare [kg]
3.1	155,3517	73,24833	50,10833	1,0312	0,9673
3.2	132,5956	89,83722	56,98889	1,0312	1,0237
3.3	103,1911	92,49278	47,13556	0,7416	0,7369
3.4	127,3433	135,1922	42,24389	1,2292	1,2035
3.5	127,7194	123,1744	43,18611	1,1027	1,0938
3.6	106,2078	116,4242	53,5825	0,6429	0,6274

### A. Teste cu ultrasunete

Modul în care s-au executat încercările este expus în subcapitolul 6.1.3. Rezultatele obținute în urma testării UPV (ultrasonic pulse valocity) sunt centralizate în tabelul 6.25:

Tabelul 6.25

Proba 3.5	x	0,125
	t	67,8
	v	1842

unde:

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

t - viteza de transmitere [ $\mu$ s]

x - lungimea probei măsurate [cm]

### B. Testare cu sclerometrul

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 3.1 și 3.4 sunt centralizate în tabelul 6.26:

Tabelul 6.26

Valori Nr. teste	Testul 1 Proba 3.1	Testul 2 Proba 3.4
Min	15	18
Max	24	31
s	$\pm 3,2$	$\pm 3,5$
$\bar{x}$	17,0 R	18,0 R
	f = 13,2 N/mm <sup>2</sup>	f = 13,7 N/mm <sup>2</sup>

### C. Teste de rezistență

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.36, sunt centralizate în tabelul 6.27.

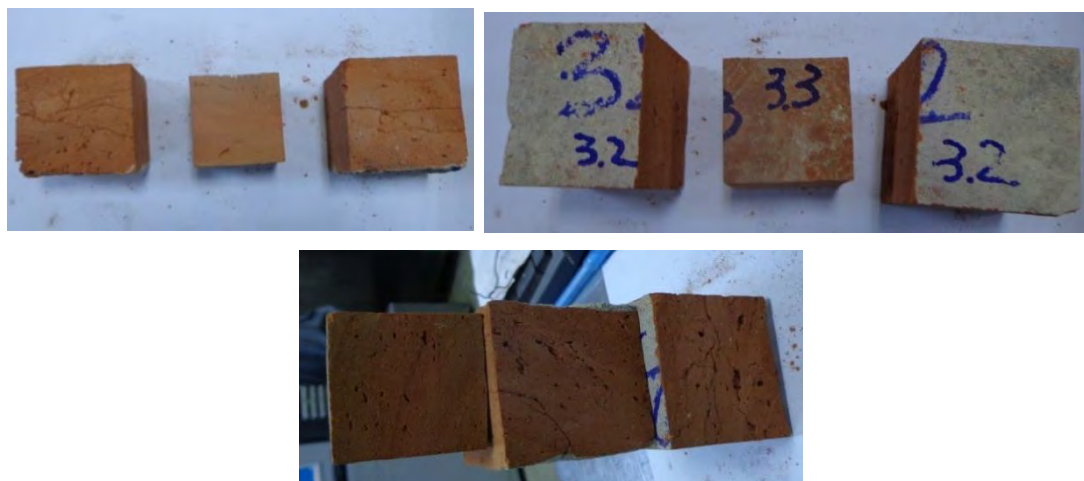
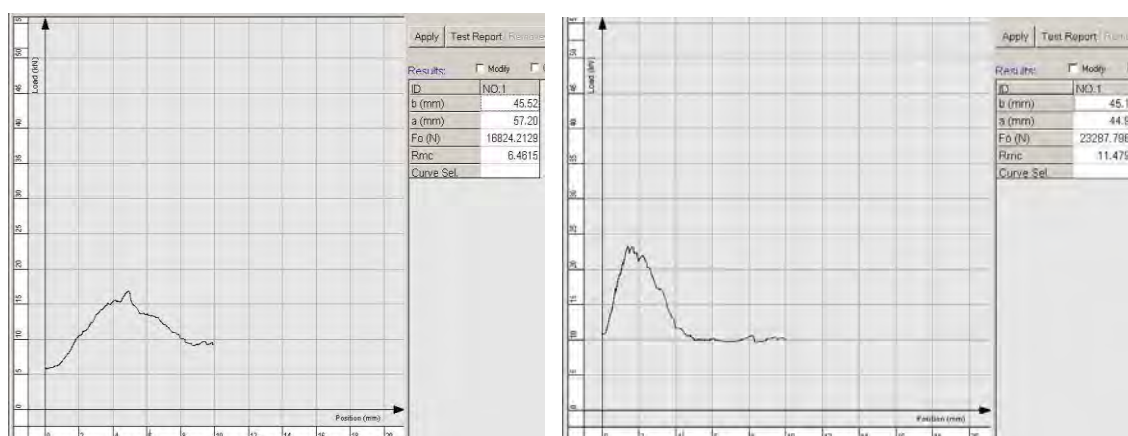


Fig.6.36 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 3.2

Tabelul 6.11

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
3.2	1	52,95	56,73	3003,854	22776,46	7,582
	2	45,52	57,20	2603,744	16829,21	6,461
	3	45,13	44,95	2028,594	23287,8	11,479
Media					20964,49	8,507

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 3.2.1, 3.2.2 și 3.2.3, sunt exemplificate în figura 6.37.





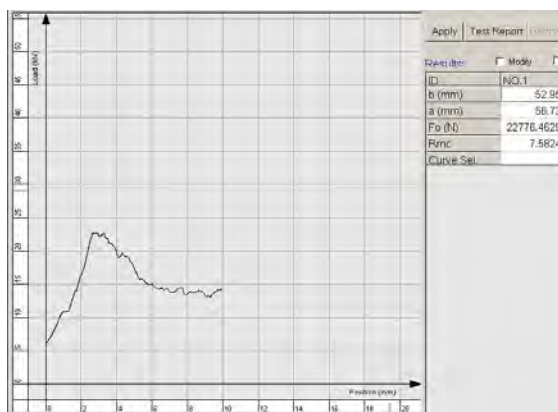


Fig. 6.37 Diagramele testului la compresiune

### D. Testarea îngheț- dezgheț – gelivitate

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

#### D.1. Pierderea de rezistență

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț ,sunt centralizate în tabelul 6.28.

Tabelul 6.28

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Forța [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
3.5	1	45,01	44,62	2008,346	14130,80	7,04
	2	44,88	43,94	1972,027	15946,00	8,09
	3	44,48	44,32	1971,354	15714,60	7,97
	4	44,90	44,43	1994,907	17348,70	8,78
Media					15785,03	7,97

Pierderea de rezistență, în urma celor 162 cicluri îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 6,312%.

#### D.2. Pierdere de masă

Centralizarea valorilor masei probei 3.5 este exemplificată în figura 6.38. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 0,26 %.

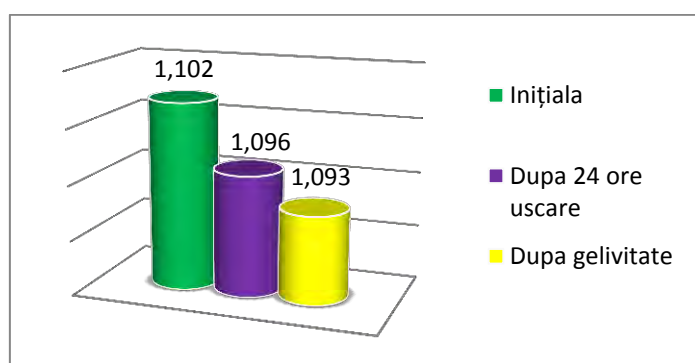


Fig. 6.38 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 3.5

### 6.3.4 Cula Galița (fig.6.39)

#### 6.3.4.1 Parametri de intrare

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă (tab.6.29):

Tabelul 6.29

Factori/parametri de intrare	<b>Cula Galița (30)</b>
Localizare	Dobroteasa/sat Câmpu Mare, Județul Olt
Categorie patrimoniu	OT-II-m-B-08811
An edificare construcție	1790
Sistem constructiv	Plan pătrat, cu trei niveluri (a avut patru, fiind acoperită cu șindrilă, în ineniul din 1907 ultimul nivel a ars). Fiecare nivel cu câte două camere, iar legătura dintre nivele și parter este asigurată de o scară de lemn. Subțierea zidurilor este accentuată de variația grosimii acestora (parter 80cm și 50cm respectiv 40cm la etaje) astfel interiorul camerelor rămânând constant. Sistem constructiv tip <b>b</b> .
Teren fundare	Neozoic, Neogen-Pliocen Levantin.(p4) cu capacitate portantă ridicată
Alunecare teren	Probabilitatea de alunecări este ridicată. În zonă nu sunt probleme majore de instabilitate a terenului din punct de vedere geotehnic.
Seismicitate	Zona VIII ½- au loc cutremure de suprafață
Avarii infrastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microfrisuri vizibile în zona contactului cu trotuarul perimetral.</li> </ul>
Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivelul degradărilor crește de la baza construcției către acoperiș.</li> <li>• Pereții parterului prezintă degradări importante la nivelul tencuielii, iar la nivelul trei în zona coșului de fum acoperișul este deteriorat ducând la infiltrarea apei în cărămidă.</li> <li>• Soclul clădirii prezintă exfolieri și porțiuni unde tencuiala a căzut.</li> <li>• Crăpături cu traseu oblic în zidăria pereților în zona golurilor ferestrelor de la ultimul etaj către acoperiș.</li> <li>• Lipsă burlane.</li> </ul>
Climă	Zona climatică II (te=-15°C)
Umiditate	Media 52%
Adăpostire	Adăpostită.
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A fost naționalizată și renovată devenind, sediu administrativ al Stațiunii Viticole Sâmburești, având același proprietar și în prezent.</li> </ul>
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• În 1907 a fost incendiată pierzându-și cerdacul.</li> <li>• În 1976 renovată.</li> <li>• După 2010 s-au făcut lucrări de reparație ale zidăriei (tencuială) din zona coșului de fum.</li> </ul>
Starea actuală	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadiu mediu de degradare.</li> </ul>



Fig. 6.39 Cula Galița

#### 6.3.4.2 Determinarea indicelui de afectare

Cula Galița, din zidărie de cărămidă se consideră a fi constituită, în principiu, din cele cinci subansambluri constructive, enumerate inițial.

Modul de depunere (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.30, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația (6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu se calculează conform relației (6.2).

##### 1. Subansamblul fundații

Tabelul 6.30

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
1.1	A=2	$D_1 = 8$	Umpluturi de pământ sau moluz în subsoluri, ca intervenții greșite anterioare.
1.2	A=3	$D_2 = 7$	Rotiri sau fracturi provocate de împingerea pământului.
1.3	A=3	$D_3 = 7$	Risc alunecări ridicat (zona verde).
1.4	A = 2	$D_4 = 8$	Natura terenului de fundare (normal/difil).
1.5	A = 5	$D_5 = 5$	Capacitatea de a prelua și transmite la teren încărcărilor și eforturile apărute.
1.6	A = 4	$D_6 = 6$	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modului deficitar de administrare zonală.
1.7	A = 3	$D_7 = 7$	Cangrene în pereții subsolurilor prin crăpături ale elementelor de zidărie.
1.8	A = 0	$D_8 = 10$	Nu s-au constatat alte degradări
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

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 78 = 39 \text{ puncte}$$

##### 2. Subansamblul pereți de rezistență

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

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

$$I_{Apr} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 73 = 36,5 \text{ puncte}$$

**3. Subansamblul planșee**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
3.1	A=2	D <sub>1</sub> = 8	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A= 3	D <sub>2</sub> = 7	Deformații excesive ale planșeului provocate de supraîncărcare.
3.3	A= 8	D <sub>3</sub> = 2	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe
3.4	A= 4	D <sub>4</sub> = 6	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem.
3.5	A= 2	D <sub>5</sub> = 8	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șaibă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora
3.6	A= 4	D <sub>6</sub> = 6	Dislocări ale elementelor de rezistență provocate de putrezire, îmbătrânire, neîntreținere
3.7	A= 2	D <sub>7</sub> = 8	Efectuarea unor intervenții anterioare greșite.
3.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apl} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 75 = 37,5 \text{ puncte}$$

**4. Subansamblul șarpantă din lemn**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
4.1	A= 2	D <sub>1</sub> = 8	Degradări prin putrezirea lemnului la elementele componente, din cauza pătrunderii apelor pluviale prin învelitoarea degradată.
4.2	A= 5	D <sub>2</sub> = 5	Infestare cu diferite ciuperci, pe zone destul de extinse ale șarpantei, mai ales la pana de coamă și în zona tălpilor la cosoroabă.
4.3	A= 4	D <sub>3</sub> = 6	Întreținerea deficitară.
4.4	A= 2	D <sub>4</sub> = 8	Lipsa unor elemente ale învelitoarei.
4.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Învelitoare neetanșă a acoperișului.
4.6	A= 2	D <sub>6</sub> = 8	Degradări locale ascunse.
4.7	A= 3	D <sub>7</sub> = 7	Deplasări, deformări, ale suportului sau a unor părți componente ca urmare a îmbătrânirii lemnului.
4.8	A= 9	D <sub>8</sub> = 1	Starea tehnică necorespunzătoare sau lipsa jghiaburilor și burlanelor.
4.9	A= 6	D <sub>9</sub> = 4	Degradarea zidăriei din coșurile de fum.
4.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Aș} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 62 = 31 \text{ puncte}$$

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) este:

$$I_A = 0,2 \times 39 + 0,2 \times 36,5 + 0,2 \times 37,5 + 0,1 \times 31 + 0,1 \times 50 = 37,45 \text{ puncte}$$

Ca atare, în conformitate cu tabelul 6.3, cuprinzând clasele de afectare, clădirea analizată se situează în clasa **V**, stare *puternic afectată*.

În concluzie, dat fiind faptul că structura este încadrată ca Monument istoric (OT-II-m-B-08811) și importanța sa istorică, ca și indicație generală se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

**6.3.4.3 Măsurarea umidității**

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.31, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.40.

Tabelul 6.31

Înălțimea [m] Pct.Cardinale	Umiditatea măsurată [%]				Valoarea Medie [%]	A [%]
	0,5	1,0	1,5	2,0		
N	98,5	65,2	30,5	82	69,05	0,310
S	52,1	44,2	17,2	34,2	36,925	0,631
V	27,1	35,6	13,4	42,5	29,65	0,704
E	67,2	42,2	25,8	17,4	38,15	0,619

A - factor de diminuare al rezistenței la compresiune din umiditate

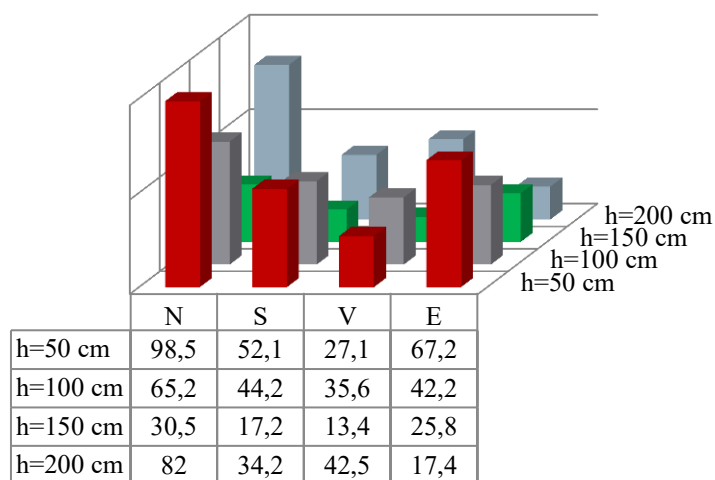


Fig.6.40 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 4.

### 6.3.4.4 Teste cu stereomicroscopul

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate trei zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: două zone cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.41). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 6.42, 6.43, 6.44 și 6.45.



Fig. 6.41 Proba 4.1 cu cele trei zone analizate exemplificate

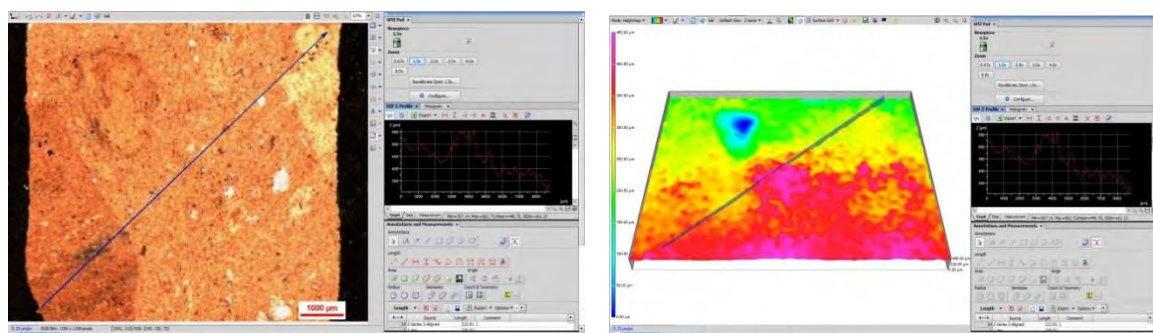


Fig. 6.42 Analiza stereomicroscopică, proba 4.1, zona 1, zoom 15

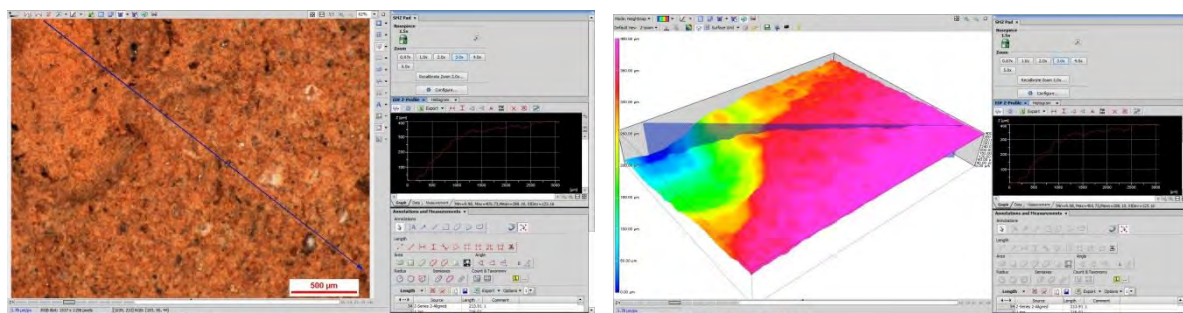


Fig. 6.43 Analiza stereomicroscopică, proba 4.1, zona 1, zoom 45

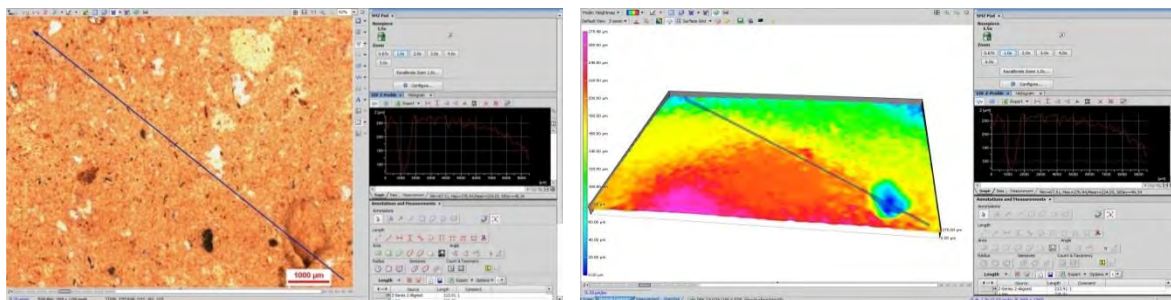


Fig. 6.44 Analiza stereomicroscopică, proba 4.1, zona 2, zoom 15

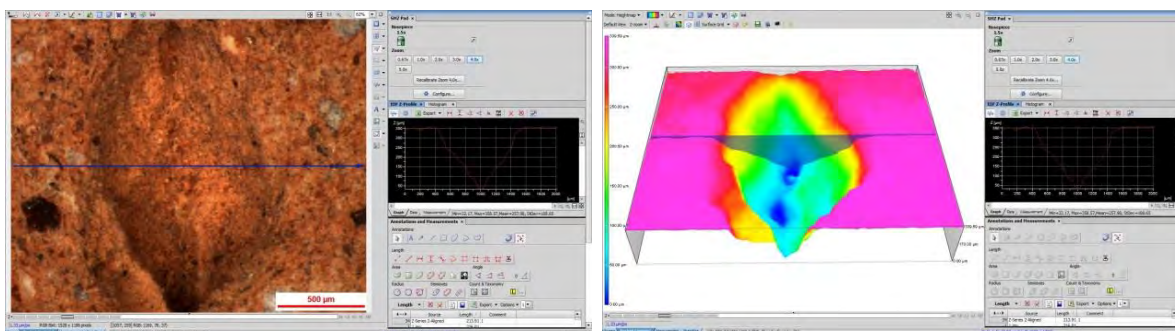


Fig. 6.45 Analiza stereomicroscopică, proba 4.1, zona 3, zoom 60

### 6.3.4.5 Teste de laborator

Pentru clădirea analizată s-au prelevat patru bucăți de cărămidă provenind din zonele afectate ale clădirii, fără a se pune în pericol structura de rezistență (tab.6.32). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, incinta ICECON S.A București.

Tabelul 6.32

Probă	L [cm]	l [cm]	h [cm]	Greutatea inițială [kg]	Greutatea după 24 h uscare [kg]
4.1	122,37	113,88	63,18	1,2881	1,2696
4.2	141,72	114,72	55,98	1,3207	1,3182
4.3	137,47	111,99	62,36	1,5604	1,5498
4.4	156,99	88,42	61,98	1,3336	1,3205

### A. Teste cu ultrasunete

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 6.33:

Tabelul 6.33

Proba 4.4	x	0,117
	t	47,2
	v	2480

unde:

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

t - viteza de transmitere [ $\mu$ s]  
 x - lungimea probei măsurate [cm]

**B. Testare cu sclerometrul**

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 4.1 și 4.4 sunt centralizate în tabelul 6.34:

Tabelul 6.34

Valori / Nr. teste	Testul 1 Proba 4.1	Testul 1 Proba 4.4
Min	15	16
Max	24	26
s	$\pm 3,2$	$\pm 3,8$
$\bar{x}$	17,0 R	18,0 R
	f = 13,2 N/mm <sup>2</sup>	f = 13,9 N/mm <sup>2</sup>

**C. Teste de rezistență**

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.46, sunt centralizate în tabelul 6.35.



Fig. 6.46 Extragerea epruvetelor cubice din probele de cărămidă 4.1 și 4.3



Tabelul 6.35

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
4.1	1	54,13	55,9	3025,867	46769,03	15,456
	2	54,33	59,82	3250,021	38561,29	11,864
4.3	1	58,52	62,34	3648,137	61001,42	16,721
	2	58,26	58,66	3417,532	46711,8	13,668
Media					48777,25	14,427

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 4.1.1, 4.1.2, 4.3.1 și 4.3.2, sunt exemplificate în figura 6.47.

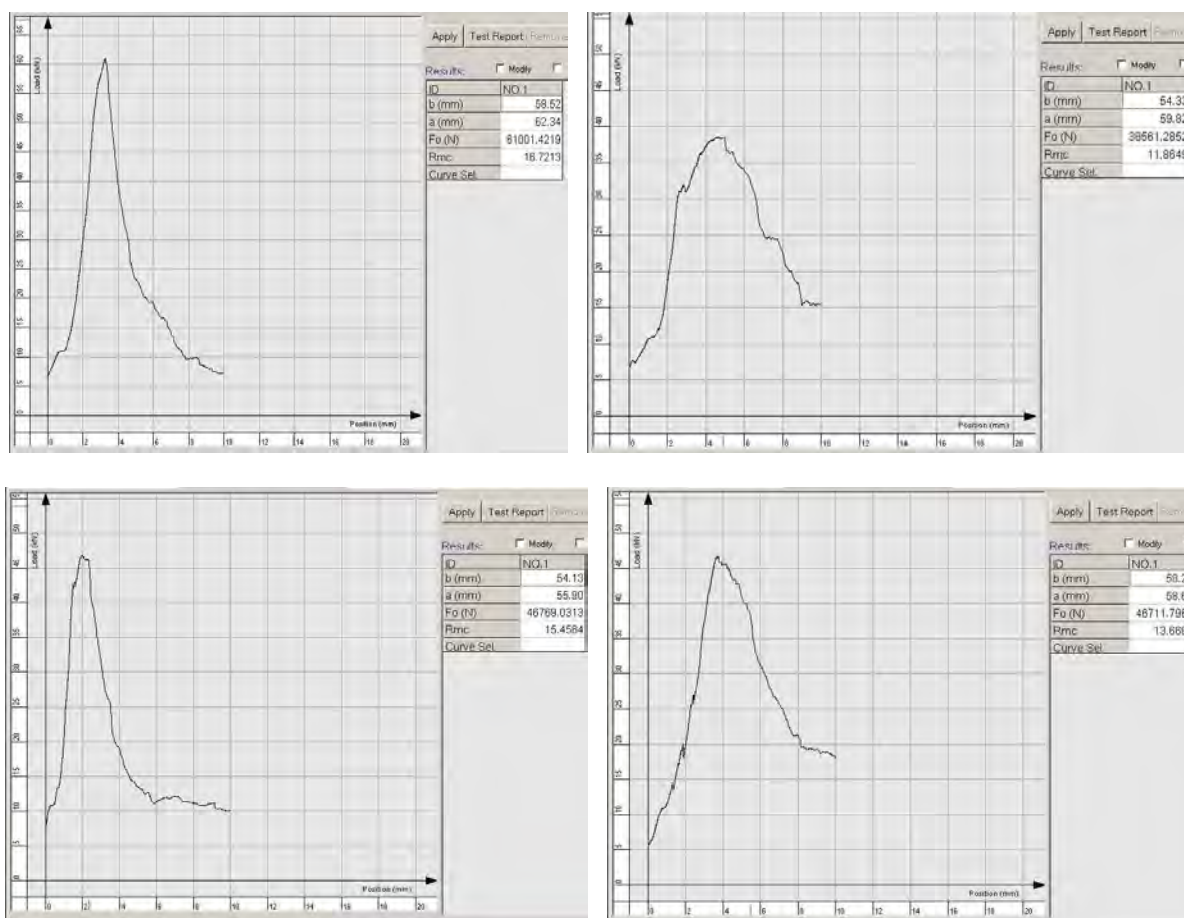


Fig. 6.47 Diagramele testului la compresiune

**D. Testarea îngheț- dezgheț – gelivitate**

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

**D.1 Pierderea de rezistență**

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț, sunt centralizate în tabelul 6.36.

Tabelul 6.36

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Forța [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
4.2	1	59,94	59,95	3593,403	23314,00	6,49
	2	48,43	47,44	2297,519	15226,81	6,63
	3	48,52	47,98	2327,99	17049,02	7,32
Media					18529,93	6,813

Pierderea de rezistență, în urma celor 162 cicluri îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 52,776%.

### D.2 Pierderea de masă

Centralizarea valorilor masei probei 4.2 este exemplificată în figura 6.48. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 0,55 %.

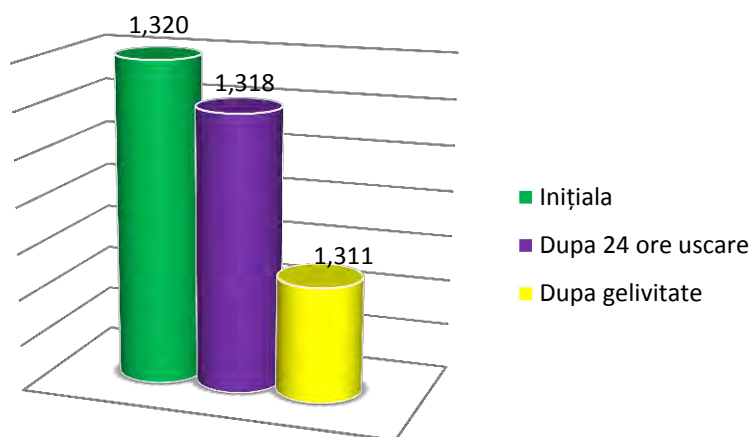


Fig.6.48 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 4.2

### 6.3.5 Cula Sultănică (fig.6.49)

#### 6.3.5.1 Parametri de intrare

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă (tab.6.37):

Tabelul 6.37

Factori/parametric de intrare	Cula Sultănică (18)
Localizare	Șuici, Județul Argeș
Categorie patrimoniu	AG-II-m-B-13807.01
An edificare construcție	Sec XVIII
Sistem constructiv	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clădirea este alcătuită dintr-un corp vechi de clădire, nucleul central provenit probabil de la o veche culă, căruia i s-au atașat, în etape diferite, extinderi pe laturile de NE, SE și SV.</li> <li>Zidărie portantă din cărămidă plină. Are două nivele. Nucleul central, cu plan compact de formă dreptunghiulară,</li> <li>Cula mai păstrează un brâu median, prezent de jur împrejur,</li> </ul>

	mai puțin pe extinderea către SV, care este cea mai recentă
Teren fundare	Complex neozoic, paleogen, eocen.
Alunecare teren	Probabilitatea de alunecări este ridicată. În zonă nu sunt probleme majore de instabilitate a terenului din punct de vedere geotehnic.
Seismicitate	Zona VII ½ - au loc cutremure intermediare
Avarii infrastructură	Infrastructura se prezintă în stare bună de conservare.
Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• În 2015 au început lucrări de punere în siguranță a clădirii, fiind refăcut acoperișul, adăugați tiranți metalici și unle lucrări de mentenanță.</li> <li>• La suprastructură au existat intervenții în trei faze.</li> <li>• Structura este dată de ziduri de dimensiuni mari cu bolți de forma semicirculară.</li> <li>• Grup de avarii conjugate în zidăria pereților de pe fiecare fațadă;</li> <li>• Tencuiala este căzută de pe toată clădirea.</li> </ul>
Climă	Zona climatică II ( $t_e = -15^\circ\text{C}$ )
Umiditate	Media 69%
Adăpostire	Moderat adăpostită.
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• În 1970 a fost transformată în muzeu sătesc, desființat 10 ani mai târziu, cula intră într-un profund declin.</li> </ul>
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• În anii 1960 a beneficiat de lucrări de reparații.</li> <li>• În 1992 și 1999 se fac lucrări minore de punere în siguranță.</li> <li>• În 2015 autoritățile locale au demarat un proiect pentru punerea în siguranță a clădirii, aceasta beneficiind de o nouă învelitoare și mici reparații</li> </ul>
Starea actuală	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadiu mediu de degradare.</li> </ul>



Fig. 6.49 Cula Sultănica

### 6.3 5.2 Determinarea indicelui de afectare

Cula Sultănica, din zidărie de cărămidă se consideră a fi constituită, în principiu, din cele cinci subansambluri constructive, enumerate inițial.

Modul de depunctare (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.38, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația (6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu se calculează conform relației (6.2).

1. Subansamblul fundații

Tabelul 6.38

Nr. Crt.	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
1.1	A= 2	D <sub>1</sub> =8	Capacitatea de a prelua și transmite la teren încărcările și eforturile apărute.
1.2	A=6	D <sub>2</sub> =4	Tasări și fracturi cauzate de inundarea terenului de fundare.
1.3	A=3	D <sub>3</sub> =7	Rotiri sau fracturi provocate de împingerea pământului.
1.4	A=2	D <sub>4</sub> =8	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modului deficitar de administrare zonală.
1.5	A=3	D <sub>5</sub> = 7	Risc alunecari ridicat (zona verde).
1.6	A=3	D <sub>6</sub> = 7	Natura terenului de fundare (normal/difcil).
1.7	A=0	D <sub>7</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări
1.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări
1.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
1.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 81 = 40,5 \text{ puncte}$$

2 Subansamblul pereții de rezistență

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
2.1	A= 8	D <sub>1</sub> = 2	Cărămida din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuielii.
2.2	A= 2	D <sub>2</sub> = 8	Igrasie la pereți din cauza infiltrațiilor de apă în lipsa hidroizolației orizontale
2.3	A= 3	D <sub>3</sub> = 7	Fisuri pe zone restrânse, cauzate de tasări ale fundațiilor
2.4	A= 2	D <sub>4</sub> = 8	Crăpături în pereții exteriori din cauza lipsei centurilor superioare la nivelul podului.
2.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Crăpături la colțuri din cauza lipsei de țesere între pereții longitudinali și transversali
2.6	A= 7	D <sub>6</sub> = 3	Degradări ale pereților deasupra planșeelor din lemn, cauzate de lipsa legăturilor orizontale.
2.7	A= 3	D <sub>7</sub> = 7	Degradarea pereților interiori prin lipsa materialului de zidărie.
2.8	A= 4	D <sub>8</sub> = 6	Calitatea elementelor, omogenitatea țeserii, regularitatea rosturilor.
2.9	A= 6	D <sub>9</sub> = 4	Friabilitatea elementelor de zidărie (cărămizi și/sau mortar).
2.10	A= 7	D <sub>10</sub> = 3	Crăpături în scară, vizibile, la colțurile golurilor (ferestre, usi, metereze).

$$I_{Apr} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 55 = 27,5 \text{ puncte}$$

3 Subansamblul planșee

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
3.1	A=2	D <sub>1</sub> = 8	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A= 4	D <sub>2</sub> = 6	Deformații excesive ale planșeului provocate de supraîncărcare.
3.3	A= 8	D <sub>3</sub> = 2	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe
3.4	A= 4	D <sub>4</sub> = 6	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem.
3.5	A= 4	D <sub>5</sub> = 6	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șabă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora
3.6	A= 4	D <sub>6</sub> = 6	Dislocări ale elementelor de rezistență provocate de putrezire, îmbătrânire, neîntreținere.
3.7	A= 3	D <sub>7</sub> = 7	Efectuarea unor intervenții anterioare greșite.
3.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apl} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 71 = 35,5 \text{ puncte}$$

**4 Subansamblul șarpantă din lemn**

Nr. Crt.	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
4.1	A= 7	D <sub>1</sub> = 3	Infestare cu diferite ciuperci, pe zone destul de extinse ale șarpantei, mai ales la pana de coamă și în zona tălpilor la cosoroabă.
4.2	A= 2	D <sub>2</sub> = 8	Întreținerea deficitară.
4.3	A= 4	D <sub>3</sub> = 6	Învelitoare neetanșă a acoperișului.
4.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Depozitarea unor materiale care facilitează producerea degradării lemnului (moloș, excremente, folie, gunoi).
4.5	A= 2	D <sub>5</sub> = 8	Degradări locale ascunse.
4.6	A= 3	D <sub>6</sub> = 7	Deplasări, deformări, ale suportului sau a unor părți componente ca urmare a îmbătrânirii elementelor de reazem.
4.7	A= 8	D <sub>7</sub> = 2	Lipsa jghiabiurilor și a burlanelor.
4.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{As} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 81 = 40,5 \text{ puncte}$$

**5 Subansambluri secundare**

Nr. Crt.	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
5.1	A= 5	D <sub>1</sub> = 5	Întreținerea deficitară.
5.2	A= 4	D <sub>2</sub> = 6	Înlocuirea coșurilor de fum cu zidărie nouă.
5.3	A= 2	D <sub>3</sub> = 8	Starea tehnică necorăspunzătoare a jghiabiurilor, burlanelor și a trotuarelor.
5.4	A= 4	D <sub>4</sub> = 6	Fisuri la colțuri și la îmbinări ale pereților ansamblului anexă cu corpul central (cula).
5.5	A= 4	D <sub>5</sub> = 6	Fisuri și crăpături la colțuri între pereții de rezistență și cei de compartimentare.
5.6	A= 8	D <sub>6</sub> = 2	Deteriorarea tiranților metalici și pierderea capacității de comprimare.
5.7	A= 3	D <sub>7</sub> = 7	Zidirea cu materiale diferite și neconforme tipului construcției corpului central.
5.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
5.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
5.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Ass} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 70 = 35 \text{ puncte}$$

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

$$I_A = 0,2 \times 40,5 + 0,2 \times 27,5 + 0,2 \times 35,5 + 0,1 \times 40,5 + 0,1 \times 35 = 35,05 \text{ puncte}$$

Ca atare, în conformitate cu tabelul 6.3, cuprinzând clasele de afectare, clădirea analizată se situează în clasa **V**, stare puternic afectată.

În concluzie, dat fiind faptul că întreaga structură este încadrată ca Monument istoric (AG-II-m-B-13807.01) cât și importanța sa istorică și arhitecturală, ca și indicație generală se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

### 6.3.5.3 Măsurarea umidității

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.39, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.50.

Tabelul 6.39

Înălțimea [m] Pct.Cardinale	Umiditatea măsurată [%]			Valoarea Medie [%]	A [%]
	0,8	1,2	1,7		
N	46,80	14,90	36,20	32,63	0,674
S	98,00	24,00	21,10	47,70	0,523
E	5,80	32,70	26,20	21,57	0,784
V	46,20	28,30	24,20	32,90	0,671

A factor de diminuare al rezistenței la compresiune din umiditate [%]

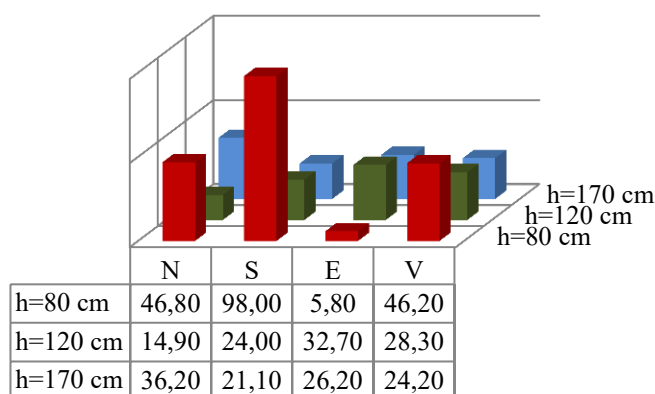


Fig.6.50 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 5.

### 6.3.5.4 Teste cu stereomicroscopul

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate două zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: o zonă cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.51). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 6.52, 6.53, 6.54 și 6.55.



Fig 6.51 Proba 5.1 cu cele două zone analizate exemplificate

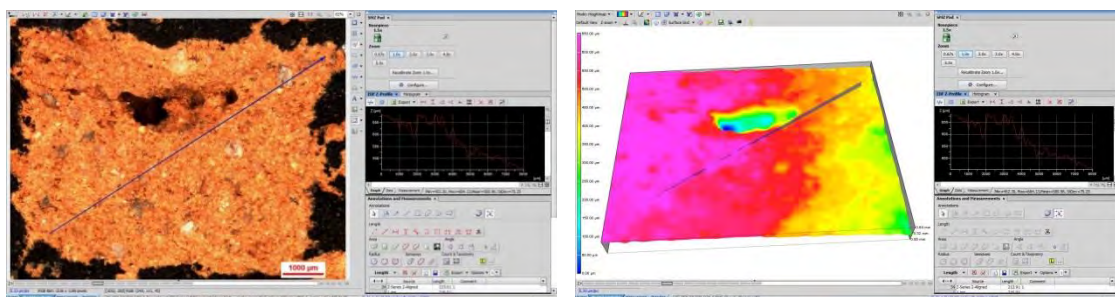


Fig. 6.52 Analiza stereomicroscopică, proba 5.1, zona 1, zoom 15

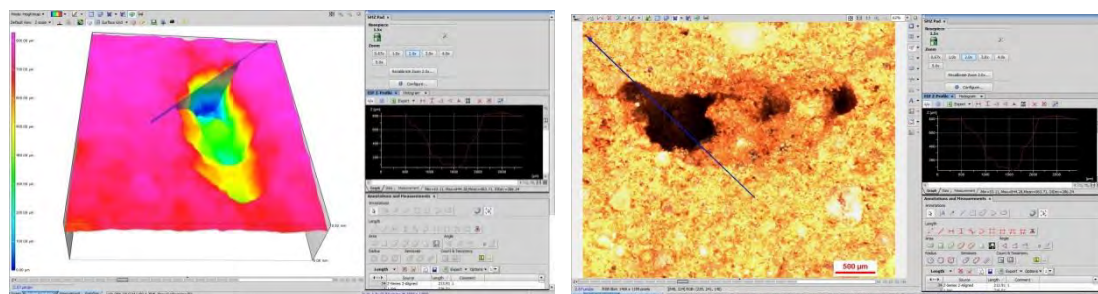


Fig. 6.53 Analiza stereomicroscopică, proba 5.1, zona 1, zoom 30

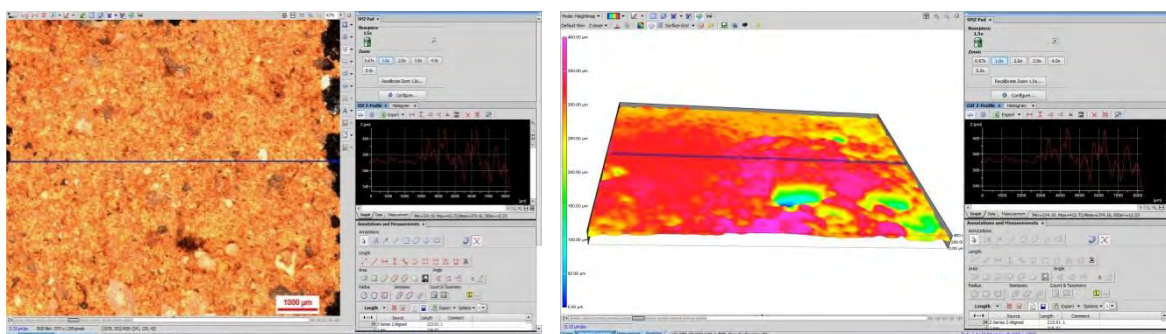


Fig. 6.54 Analiza stereomicroscopică, proba 5.1, zona 2, zoom 15

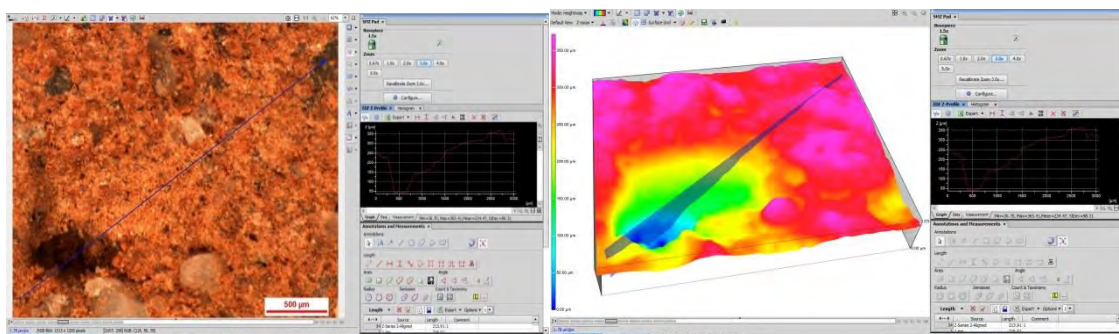


Fig. 6.55 Analiza stereomicroscopică, proba 5.1, zona 2, zoom 45

### 6.3.5.5 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.6.40). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, incinta ICECON S.A București.

Tabelul 6.40

Probă	L [cm]	l [cm]	h [cm]	Greutatea inițială [kg]	Greutatea după 24 h uscare [kg]
5.1	156,55	131,83	46,45	1,57	1,51
5.2	200,46	131,83	42,83	1,99	1,99
5.3	198,26	117,33	45,85	1,86	1,81
5.4	177,08	129,27	43,76	1,69	1,64
5.5	170,84	176,81	45,22	1,70	1,59
5.6	155,54	141,37	110,61	1,93	1,91

### A. Teste cu ultrasunete

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 6.41:

Tabelul 6.41

Proba 5.5	x	0,133
	t	110.3
	v	1205

unde:

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

t - viteza de transmitere [ $\mu$ s]

x - lungimea probei măsurate [cm]

### B. Testare cu sclerometrul

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 5.2 și 5.4 sunt centralizate în tabelul 6.42:

Tabelul 6.42

Valori	Testul 1 Proba 5.2	Testul 2 Proba 5.4
Nr. teste		
Min	15	18
Max	28	30
s	$\pm 4.2$	$\pm 4.1$
$\bar{x}$	22,0 R	23,0 R
	f = 15,2 N/mm <sup>2</sup>	f = 16,7 N/mm <sup>2</sup>

### C. Teste de rezistență

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.56, sunt centralizate în tabelul 6.43.





Fig. 6.56 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 5.1.

Tabelul 6.43

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
5.1	1	44,48	44,54	1981,139	14527,4385	7,3329
	2	44,79	43,99	1970,312	12048,7832	6,1152
	3	45,65	44,38	2025,947	13427,694	6,627
Media					13334,6386	6,6917

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 5.1.1, 5.1.2 și 5.1.3, sunt exemplificate în figura 6.57.

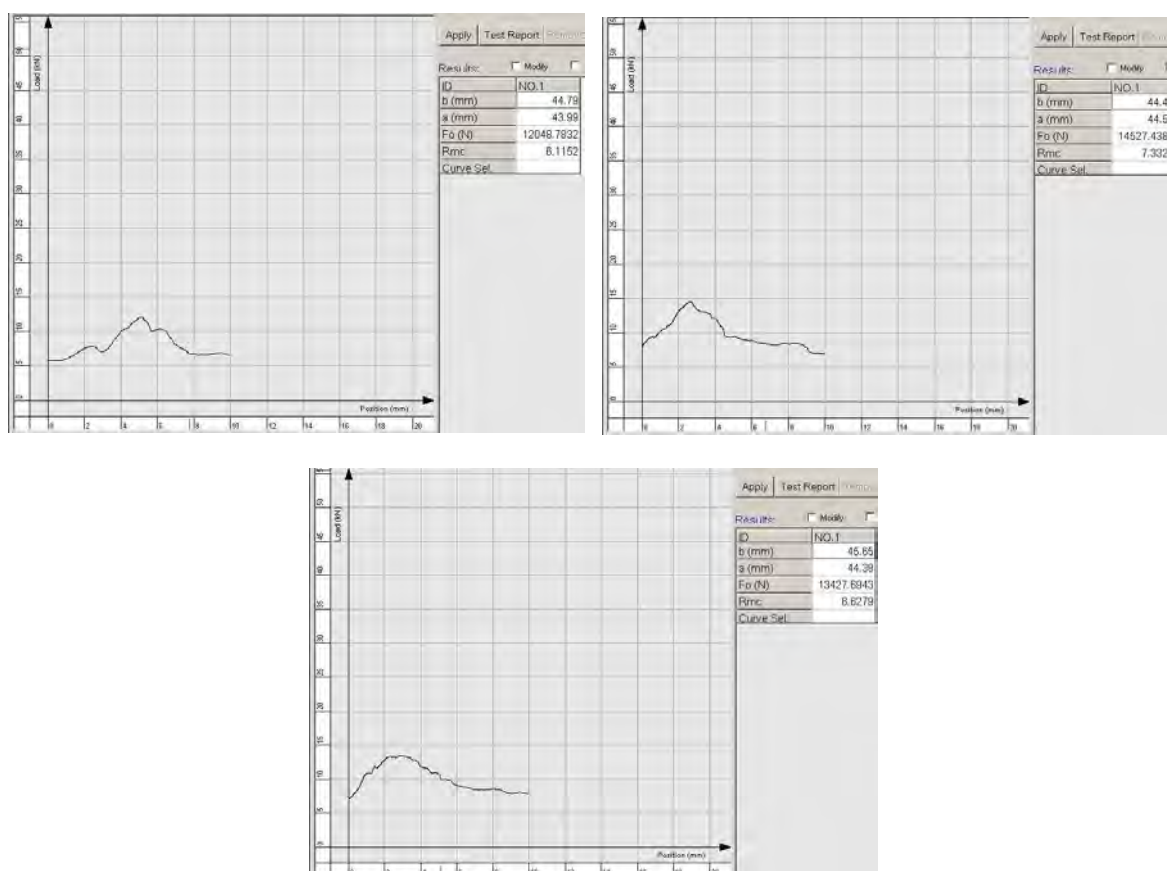


Fig. 6.57 Diagramele testului la compresiune

### D. Testarea îngheț- dezgheț – gelivitate

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

#### D.1 Pierderea de rezistență

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț, sunt centralizate în tabelul 6.44.

Tabelul 6.44

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Forța [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
5.6	1	67,12	67,13	4505,766	23126	5,13
	2	66,82	69,12	4618,598	13074	2,8
Media					18100	3,965

Pierderea de rezistență, în urma celor 162 cicluri îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 40,750%.

#### D.2 Pierderea de masă

Centralizarea valorilor masei probei 5.6 este exemplificată în figura 6.58. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 0,52 %.

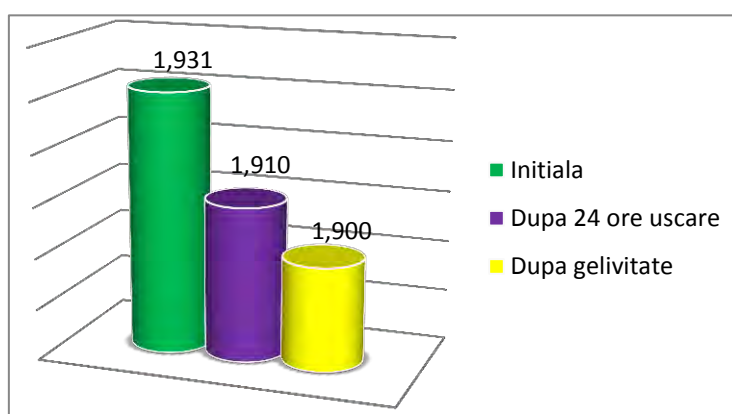


Fig.6.58 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 5.6

### 6.3.6 Cula Drugănescu (fig.6.59)

#### 6.3.6.1 Parametri de intrare

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă (tab.6.40):

Tabelul 6.40

Factori/parametri de intrare	Cula Drugănescu (51)
Localizare	Retevoiești, Județul Argeș
Categorie patrimoniu	AG-II-m-B-13777.01
An edificare construcție	1822

Sistem constructiv	Cula are plan compact, pătrat, are trei nivele. Pe latura de Nord a culei se află o extindere, care adăpostește o anexă sanitară, accesibilă de la nivelul etajului I. Sistemul constructiv este tip b.
Teren fundare	Complex Neozoic, Neogen-Pliocen Levantin.(p4) cu capacitate portantă ridicată
Alunecare teren	Probabilitatea de alunecări este ridicată.
Seismicitate	Zona VII ½- au loc cutremure intermediare
Avarii infrastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prezintă degradări însemnate datorate lipsei de întreținere a clădirii.</li> </ul>
Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planșeele deteriorate aproape total, prăbușite în mare parte;</li> <li>• Invelitoarea puternic deteriorată;</li> <li>• Lipsă ferestre, uși;</li> <li>• Goluri în structură;</li> <li>• Depozitare materiale care favorizează menținerea umidității.</li> <li>• Nivelul degradărilor este vizibil la toate elementele de rezistență.</li> <li>• Crăpături cu traseu oblic în zidăria pereților în zona golurilor.</li> </ul>
Climă	Intre zona climatică II și III ( $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ și $t_e = -18^{\circ}\text{C}$ )
Umiditate	Media 70%.
Adăpostire	Moderat adăpostită.
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A fost naționalizată și în 1967 a fost amenajat un muzeu care a rezistat pana in 1988. Ulterior cula a fost abandonata.</li> <li>• A fost retrocedată proprietarilor care au abandonat-o.</li> <li>• Nu face parte din circuitul public.</li> </ul>
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In 1965-1967 a fost reabilitată, iar podelele și ferestrele au fost înlocuite, iar acoperișul a fost acoperit cu șindrilă nouă.</li> </ul>
Starea actuală	Precolaps / Stadiu avansat de degradare



Fig.6.59 Cula Drugănescu

### **6.3.6.2 Determinarea indicelui de afectare**

Cula Drugănescu, din zidărie de cărămidă, se consideră a fi constituită, în principiu, din cele cinci subansambluri constructive, enumerate inițial.

Modul de depunere (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.41, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația

(6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu se calculează conform relației (6.2).

1. Subansamblul fundații

Tabelul 6.41

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
1.1	A= 3	D <sub>1</sub> = 7	Tasări provocate de fundații cu adâncimi neconcordante cu calitatea terenului.
1.2	A= 5	D <sub>2</sub> = 5	Inundarea repetată a terenului de fundare de-a lungul anilor a provocat tasări la nivelul fundațiilor.
1.3	A= 3	D <sub>3</sub> = 7	Nu s-au constatat rotiri sau fracturi provocate de împingerea pământului.
1.4	A= 4	D <sub>4</sub> = 6	S-au constatat tasări locale provocate de degradarea materialului (cărămidă, mortar de legătură) din pereții subsolului.
1.5	A= 2	D <sub>5</sub> = 8	Risc de alunecări ridicat (zona verde).
1.6	A= 2	D <sub>6</sub> = 8	Natura terenului de fundare (normal/difil)
1.7	A= 4	D <sub>7</sub> = 6	Capacitatea de a prelua și transmite la teren încărcările și eforturile apărute.
1.8	A= 4	D <sub>8</sub> = 6	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modului deficitar de administrare zonală.
1.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări
1.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 73 = 36,5 \text{ puncte}$$

2. Subansamblul pereții de rezistență

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
2.1	A= 8	D <sub>1</sub> = 2	Cărămida din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuiei.
2.2	A= 6	D <sub>2</sub> = 4	Umiditate ridicata din infiltrații.
2.3	A= 7	D <sub>3</sub> = 3	Fisuri în pereți, cauzate de tasări ale fundațiilor
2.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Crăpături în pereții exteriori din cauza lipsei centurilor superioare la nivelul podului.
2.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Crăpături la colțuri din cauza lipsei de țesere între pereții longitudinali și transversali
2.6	A= 7	D <sub>6</sub> = 3	Degradări ale pereților deasupra planșeelor din lemn, cauzate de lipsa legăturilor orizontale.
2.7	A= 7	D <sub>7</sub> = 3	Degradarea pereților prin lipsa materialului de zidărie.
2.8	A= 4	D <sub>8</sub> = 6	Calitatea elementelor, omogenitatea țeserii, regularitatea rosturilor
2.9	A= 3	D <sub>9</sub> = 7	Calitatea materialelor și existența unor zone slăbite de șlițuri sau nișe.
2.10	A= 4	D <sub>10</sub> = 6	Crăpături vizibile și desprinderi de zidărie.

$$I_{Apr} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 48 = 24 \text{ puncte}$$

3. Subansamblul planșee

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
3.1	A=5	D <sub>1</sub> = 5	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A=7	D <sub>2</sub> = 3	Fisuri pe zone extinse cauzate de deplasarea pereților în plan vertical/orizontal
3.3	A= 5	D <sub>3</sub> = 5	Deformații excesive ale planșeului provocate de supraîncărcare

## COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

3.4	A= 8	D <sub>4</sub> = 2	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe
3.5	A= 8	D <sub>5</sub> = 2	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem
3.6	A= 7	D <sub>6</sub> = 3	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șaibă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora
3.7	A= 8	D <sub>7</sub> = 2	Dislocări ale elementelor de rezistență provocate de putrezire, îmbătrânire, neîntreținere
3.8	A= 7	D <sub>8</sub> = 3	Efectuarea unor intervenții anterioare greșite
3.9	A= 6	D <sub>9</sub> = 4	Fisuri verticale sau înclinate în elementele de sprijinire.
3.10	A= 4	D <sub>10</sub> = 6	Depozitarea unor materiale care au favorizat creșterea umidității.

$$I_{ApI} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 35 = 17,5 \text{ puncte}$$

### 4. Subansamblul șarpantă din lemn

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

$$I_{Aș} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 45 = 22,5 \text{ puncte}$$

### 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:

$$I_A = 0,2 \times 36,5 + 0,3 \times 23,5 + 0,2 \times 17,5 + 0,2 \times 22,5 + 0,1 \times 50 = 27,35 \text{ puncte}$$

Ca atare, în conformitate cu tabelul 6.3, cuprinzând clasele de afectare, clădirea analizată se situează în clasa **VI** de *stare de precolaps, puternic afectată*.

În concluzie, dat fiind faptul că structura este încadrat ca în lista monumentelor istorice (AG-II-m-B-13777.01) și importanța sa arhitecturală, ca și indicație generală, se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

**6.3.6.3 Măsurarea umidității**

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.42, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.60.

Tabelul 6.42

Înălțimea [m] Pct.Cardinale	Umiditatea măsurată [%]			Valoarea Medie [%]	A [%]
	0,8	1,2	1,7		
N	46,80	14,90	36,20	32,633	0,674
S	98,00	24,00	21,10	47,700	0,523
E	5,80	32,70	26,20	21,567	0,784
V	46,20	28,30	24,20	32,900	0,671

A - factor de diminuare al rezistenței la compresiune din umiditate[%]

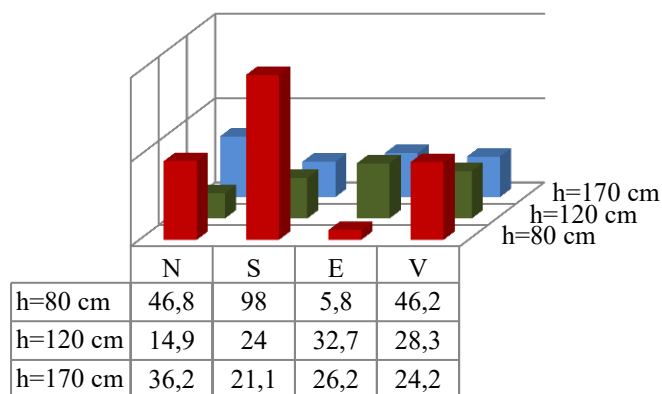


Fig.6.60 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 6.

**6.3.6.4 Teste cu stereomicroscopul**

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate două zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: o zonă cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.61). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 6.62,6.63,6.64 și 6.65.

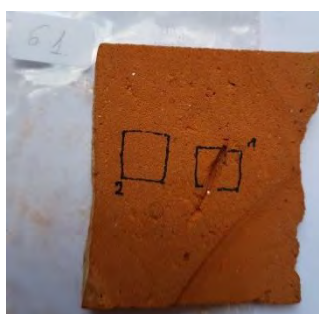


Fig. 6.61 Proba 6.1 cu cele două zone analizate exemplificate

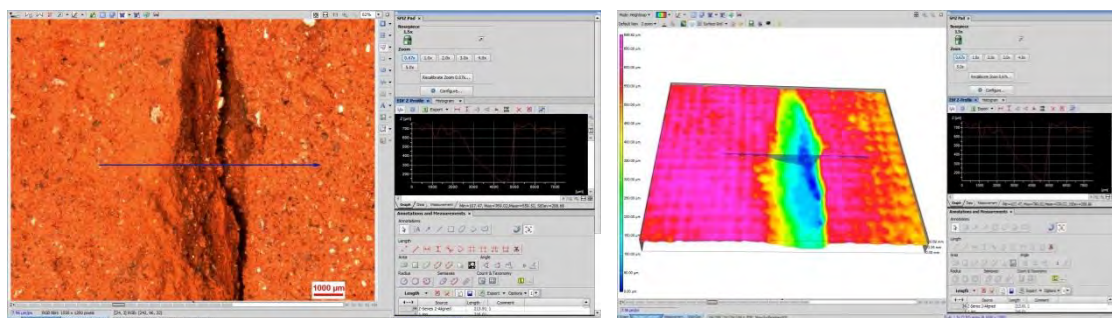


Fig. 6.62 Analiza stereomicroscopică, proba 6.1, zona 1, zoom 10

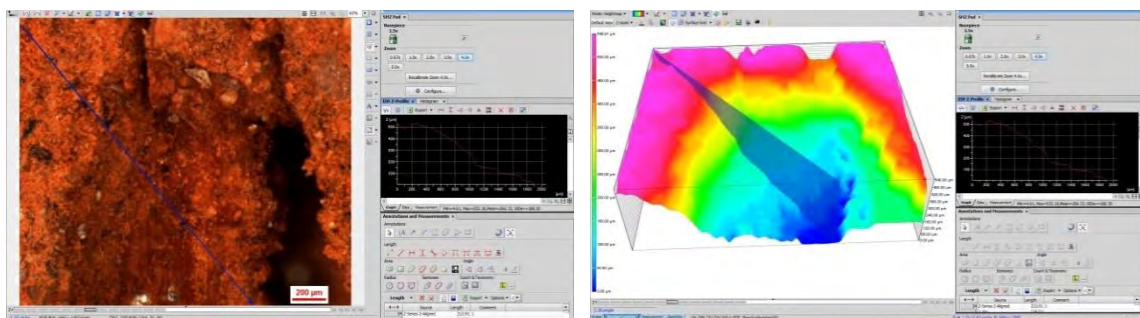


Fig. 6.63 Analiza stereomicroscopică, proba 6.1, zona 1, zoom 60

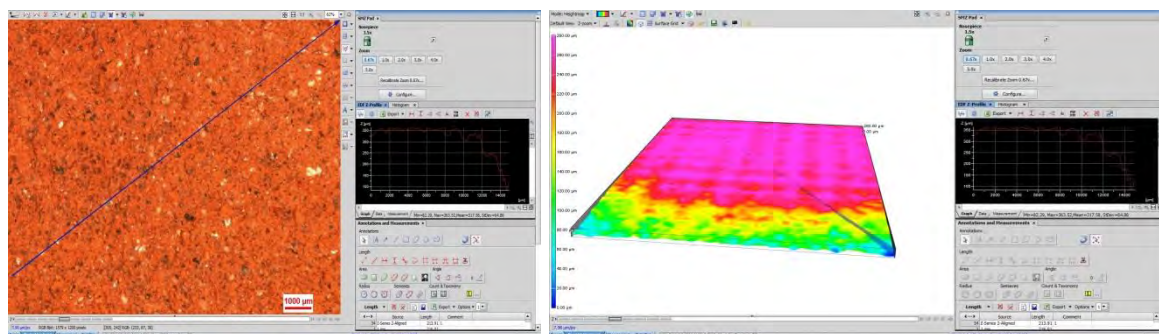


Fig. 6.64 Analiza stereomicroscopică, proba 6.1, zona 2, zoom 10

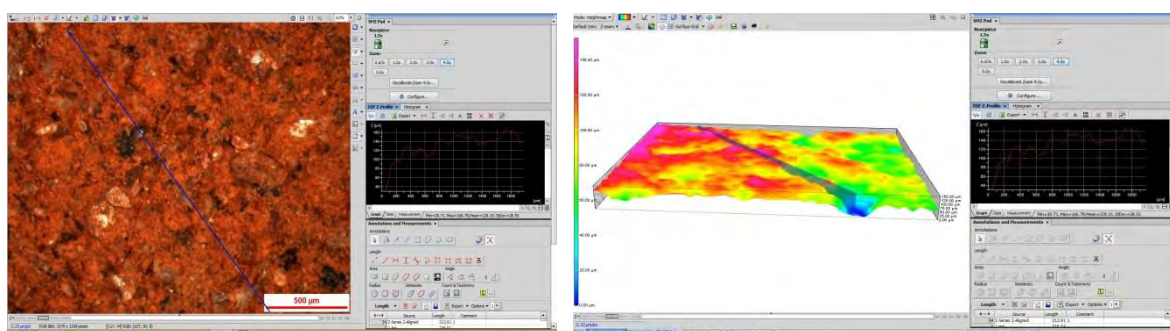


Fig. 6.65 Analiza stereomicroscopică, proba 6.1, zona 2, zoom 60

### 3.3.6.5 Teste de laborator:

Pentru clădirea analizată s-au prelevat cinci bucăți de cărămidă provenind din zonele afectate ale clădirii fără a se pune în pericol structura de rezistență (tab.6.43). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, înaintea ICECON S.A București.

Tabelul 6.8

Probă	L [cm]	l [cm]	h [cm]	Greutatea inițială [kg]	Greutatea după 24 h uscare [kg]
5.1	263,08	139,67	58,43	3,31	3,13
5.2	208,53	110,10	43,45	1,32	1,31
5.3	221,03	120,61	46,55	1,95	1,86
5.4	236,76	109,56	41,32	1,64	1,50
5.5	218,83	144,14	55,37	2,81	2,77

### A. Teste cu ultrasunete

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 6.44:

Tabelul 6.44

Proba 6.3	x	0,24	Proba 6.2	x	0,224
	t	75.7		t	153.0
	v	1638		v	1464

unde:

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

t - viteza de transmitere [ $\mu$ s]

x - lungimea probei măsurate [cm]

### B. Testare cu sclerometrul

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 6.3 și 6.4 sunt centralizate în tabelul 6.45:

Tabelul 6.45

Valori	Testul 1 Proba 6.3	Testul 2 Proba 6.4
Nr. teste		
Min	16	18
Max	25	26
s	$\pm 2.8$	$\pm 2.7$
$\bar{x}$	20.0 R	20.5 R
	f = 12,3 N/mm <sup>2</sup>	f = 13 N/mm <sup>2</sup>



**C. Teste de rezistență**

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.66, sunt centralizate în tabelul 6.46.



Fig. 6.66 Extragerea epruvetelor cubice din proba de caramida 6.1.

Tabelul 6.46

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
6.1	1	58,43	60,69	3546,117	23957,044	6,7559
	2	57,87	60,3	3489,561	24962,324	7,153
	3	58,32	59,98	3498,034	24424,201	6,982
Media					24447,8563	6,96

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 6.1.1, 6.1.2 și 6.1.3, sunt exemplificate în figura 6.67.

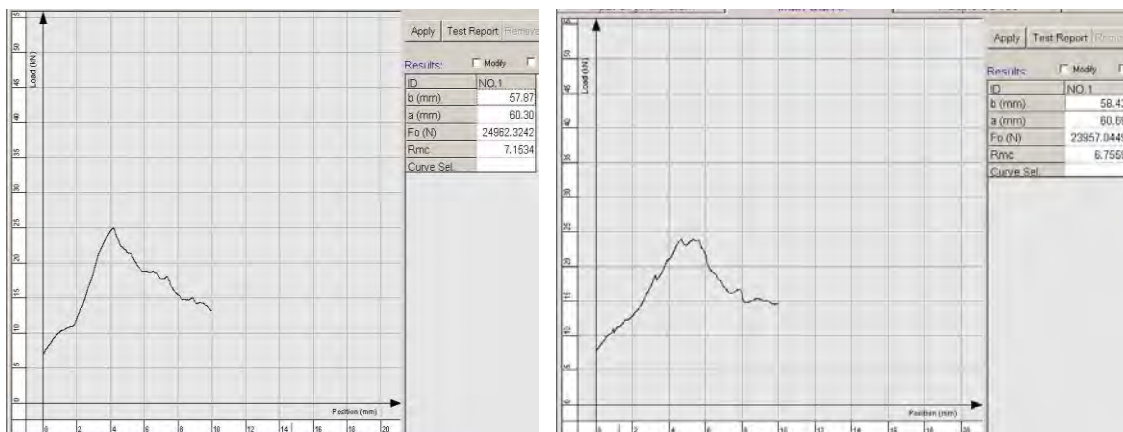




Fig.6.67 Diagramele testului la compresiune

### D. Testarea îngheț- dezgheț – gelivitate

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

#### D.1. Pierderea de rezistență

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț, sunt centralizate în tabelul 6.47.

Tabelul 6.47

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Forța [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
6.2	1	43,39	43,37	1881,824	10848,5	5,76
	2	42,75	43,1	1842,525	10613	5,76
	3	43,06	42,68	1837,801	7270,5	3,95
	4	41,77	42,99	1795,692	12550	6,99
Media					10320,5	5,615

Pierderea de rezistență, în urma celor 162 cicluri îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 19,371%.

#### D.2. Pierderea de masă

Centralizarea valorilor masei probei 6.2 este exemplificată în figura 6.68. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 0,59 %.

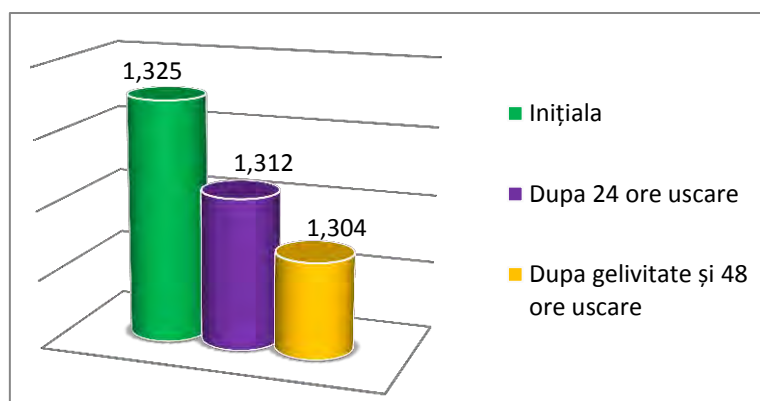


Fig. 6.68 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 6.2

### 6.3.7 Cula Izvoranu Geblescu (fig.6.69)

#### 6.3.7.1 Parametri de intrare

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă (tab.6.48):

Tabelul 6.48

Factori/parametri de intrare	<b>Cula Izvoranu Geblescu (27)</b>
Localizare	Brabova, Județul Dolj
Categorie patrimoniu	DJ-II-m-A-08200
An edificare construcție	Sec XVII (1780-1790)
Sistem constructiv	Zidărie portantă din cărămidă plină (tip b), cu pereți exteriori de 70 cm, iar cei interiori de 60 cm.
Teren fundare	Complex Neozoic, Neogen-Pliocen Levantin (p4) cu capacitate portantă ridicată.
Alunecare teren	După indicele de tasare suplimentară la umezire ( $I_{m3}$ ), conform studiilor geotehnice efectuate în zonă, straturile doi și trei (1,20-3,40m) se încadrează în categoria pământurilor sensibile la umezire colapsabile-PSUC $I_{m3} \geq 2\%$ (conform NP125/2010). Risc alunecari ridicat (zona verde).
Seismicitate	Zona VIII, falie supusa la risc seismic în caz de mișcări seismice puternice.
Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aflată în faza de precolaps, structura prezintă degradări considerabile.</li> <li>• Zidăria prezintă fracturi și crăpături la toate golurile atât la parter cât și la etaj.</li> <li>• Planșeele se află într-o stare avansată de degradare datorată în principal invelitoarei șubrede.</li> <li>• Tencuiala fațadelor lipsește pe suprafețe importante.</li> <li>• Partea de Nord este profund afectată</li> </ul>
Avarii infrastructură	Crăpături, fisuri microfisuri evidente -consecință a tasărilor inegale și modului deficitar de administrare zonală.
Climă	Zona climatică II.
Umiditate	Media 70%.
Adăpostire	Neadăpostită, fără umbră.
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1940 a fost naționalizată fiind folosită ca magazie de cereale.</li> <li>• 1990 s-a încercat revendicarea ei fiind în litigiu până în 2016, timp în care a fost abandonată.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Din 2017 beneficiază de atenția autorităților locale.</li> </ul>
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• În anul 1841, structura este modificată, se adaugă al treilea nivel, cu foișor.</li> <li>• La începutul secolului XX este adăugată cursiva din lemn și s-au executat lucrări la acoperiș.</li> </ul>
Starea actuală	Precolaps



Fig.6.69 Cula Izvoranu Geblescu

### 6.3.7.2 Determinarea indicelui de afectare

Cula Izvoranu Geblescu, din zidărie de cărămidă, se consideră a fi constituită, în principiu, din cele cinci subansambluri constructive, enumerate inițial.

Modul de depunțare (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.49, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația (6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu se calculează conform relației (6.2).

#### 1. Subansamblul fundații

Tabelul 6.49

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
1.1	A= 3	$D_1= 7$	Tasări provocate de fundații cu adâncimi neconcordante cu calitatea terenului.
1.2	A= 4	$D_2= 6$	Inundarea repetată a terenului de fundare de-a lungul anilor, au provocat tasări la nivelul fundațiilor.
1.3	A= 3	$D_3= 7$	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= 2	$D_5= 8$	Risc alunecări ridicat (zona verde).
1.6	A= 2	$D_6= 8$	Natura terenului de fundare (normal/difil).
1.7	A= 3	$D_7= 7$	Capacitatea de a prelua și transmite la teren încărcările și eforturile apărute.
1.8	A= 4	$D_8= 6$	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modului deficitar

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

			de administrare zonală.
1.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări
1.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 75 = 37,5 \text{ puncte}$$

**2. Subansamblul pereți de rezistență**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
2.1	A= 8	D <sub>1</sub> = 2	Cărămida din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuielii.
2.2	A= 7	D <sub>2</sub> = 3	Fisuri pe zone restrânse, cauzate de tasări ale fundațiilor.
2.3	A= 4	D <sub>3</sub> = 6	Crăpături în pereții exteriori din cauza lipsei centurilor superioare la nivelul podului.
2.4	A= 6	D <sub>4</sub> = 4	Crăpături la colțuri din cauza lipsei de țesere între pereții longitudinali și transversali.
2.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Calitatea elementelor, omogenitatea țeserii, regularitatea rosturilor.
2.6	A= 6	D <sub>6</sub> = 4	Calitatea materialelor și a execuției cât și existența unor zone slăbite de șlițuri sau nișe.
2.7	A= 7	D <sub>7</sub> = 3	Crăpături/fisuri la colțurile golurilor.
2.8	A= 6	D <sub>8</sub> = 4	Fisuri și crăpături din cauza unor înzidiri ulterioare de goluri fără țeserea zidăriei noi cu cea originală.
2.9	A= 6	D <sub>9</sub> = 4	Igrasie la baza pereților din cauza hidroizolațiilor.
2.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 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= 3	D <sub>1</sub> = 7	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A= 4	D <sub>2</sub> = 6	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe.
3.3	A= 4	D <sub>3</sub> = 6	Putrezirea capetelor grinzilor de planșeu pe reazem.
3.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șaibă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora.
3.5	A= 2	D <sub>5</sub> = 8	Aplatizarea boltii, formarea săgeții la cheie din supraîncărcări zonale.
3.6	A= 4	D <sub>6</sub> = 6	Deformații excesive ale planșeului provocat de supraîncărcare.
3.7	A= 4	D <sub>7</sub> = 6	Degradări din cauza unor intervenții anterioare greșite.
3.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apl} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 76 = 38 \text{ puncte}$$

**4. Subansamblul șarpantă din lemn**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
4.1	A= 2	D <sub>1</sub> = 8	Degradări prin putrezirea lemnului la majoritatea elementelor, din cauza pătrunderii apelor pluviale prin învelitoarea de țigla degradată.
4.2	A= 3	D <sub>2</sub> = 7	Infestare cu diferite ciuperci, pe zone destul de extinse ale șarpantei, mai ales la pana de coamă și în zona tălpilor la cosoroabă.
4.3	A= 4	D <sub>3</sub> = 6	Întreținerea deficitară.
4.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Lipsa unor elemente ale învelitoarei.
4.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Învelitoare neetanșă a acoperișului.

## COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

4.6	A= 2	D <sub>6</sub> = 8	Depozitarea unor materiale care facilitează producerea degradării lemnului (moloz, excremente, folie, gunoi).
4.7	A= 2	D <sub>7</sub> = 8	Lipsa/degradarea unor elemente de rezistență (căpriori, grinzi)
4.8	A= 2	D <sub>8</sub> = 8	Degradări locale ascunse.
4.9	A= 3	D <sub>9</sub> = 7	Deplasări, deformări, ale suportului sau a unor părți componente ca urmare a îmbătrânirii lemnului.
4.10	A= 5	D <sub>10</sub> = 5	Lipsa burlanelor.

$$I_{A\text{ș}} = 0.5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 71 = 35,5 \text{ puncte}$$

### 5. Subansambluri secundare

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
5.1	A= 8	D <sub>1</sub> = 2	Crăpături, înclinații la pereții despărțitori cauzate de lipsa legăturilor cu ceilalți pereți.
5.2	A= 7	D <sub>2</sub> = 3	Degradarea elementelor de rezistență provocate de îmbătrânire.
5.3	A= 2	D <sub>3</sub> = 8	Degradarea învelitorii.
5.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Fisuri la colțuri și la îmbinări ale pereților noi de compartimentare cu planșeele vechi, din cauza așezării pe suporturi de rezemare necorespunzătoare.
5.5	A= 4	D <sub>5</sub> = 6	Fisuri și crăpături la colțuri între pereții de rezistență și cei de compartimentare din lipsă de țesere, sau îmbinări necorespunzătoare.
5.6	A= 3	D <sub>6</sub> = 7	Întreținerea deficitară.
5.7	A= 2	D <sub>7</sub> = 8	Neșeserea corespunzătoare între corpul central și anexă a elementelor de zidărie.
5.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
5.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
5.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Ass} = 0.5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 71 = 35,5 \text{ puncte}$$

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

$$I_A = 0,2 \times 37,5 + 0,3 \times 23,5 + 0,2 \times 38 + 0,2 \times 35,5 + 0,1 \times 35,5 = 32,8 \text{ puncte}$$

Ca atare, în conformitate cu tabelul 6.3, cuprinzând clasele de afectare, clădirea analizată se situează în clasa **V stare puternică de afectare**.

În concluzie, dat fiind faptul că structura este încadrat ca în lista monumentelor istorice (DJ-II-m-A-08200) și importanța sa arhitecturală, ca și indicație generală, se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

#### 6.3.7.3 Masurarea umidității

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.50, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.70.

Tabelul 6.50

Pct.Cardinale Înălțimea [m]	Umiditatea măsurată [%]			Valoarea Medie [%]	A [%]
	0,5	1	1,7		
N	29,82	37,55	21,23	29,533	0,705
	25,52	32,51	50,35	36,127	
S	21,63	12,72		17,175	0,828
	18,22	27,24	54,21	33,223	
E	40,81	32,90	34,11	35,940	0,685
	28,92	34,11		31,515	
V	20,91	22,91	22,10	21,973	0,780
	60,52	36,80	32,24	43,187	

A - factor de diminuare al rezistenței la compresiune din umiditate[%]

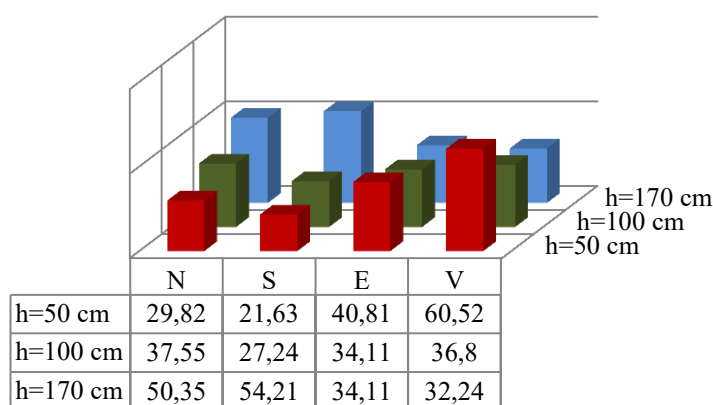


Fig.6.70 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 7

### 6.3.7.4 Teste cu stereomicroscopul

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate trei zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: două zone cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.71). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 6.72, 6.73, 6.74, 6.75 și 6.76.



Fig. 6.71 Proba 7.1 cu cele trei zone analizate exemplificate

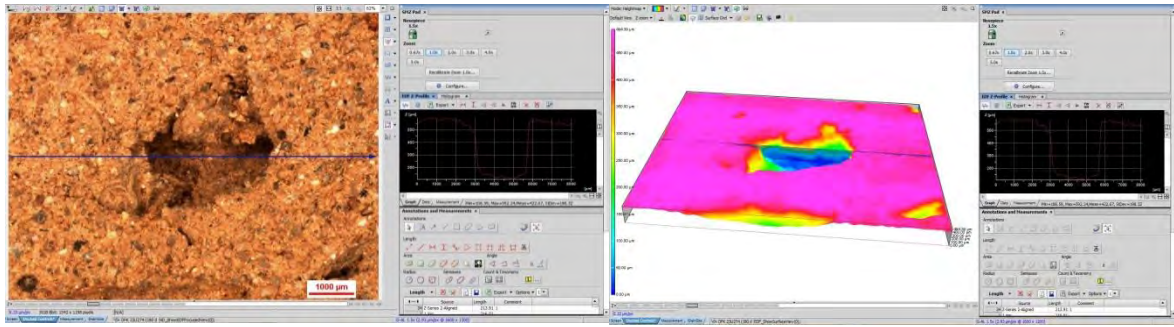


Fig. 6.72 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 1, zoom 15

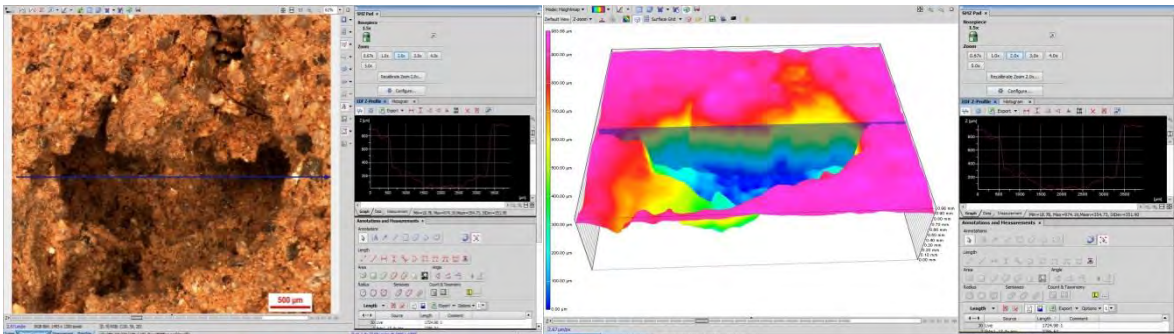


Fig. 6.73 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 1, zoom 30

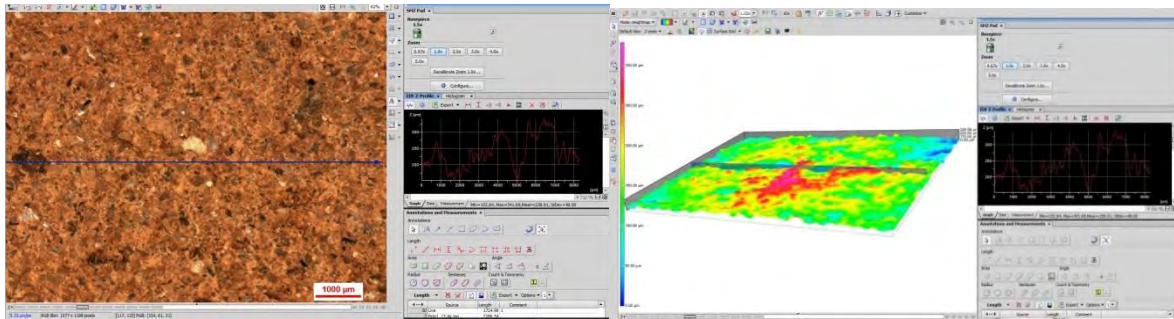


Fig. 6.74 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 2, zoom 15

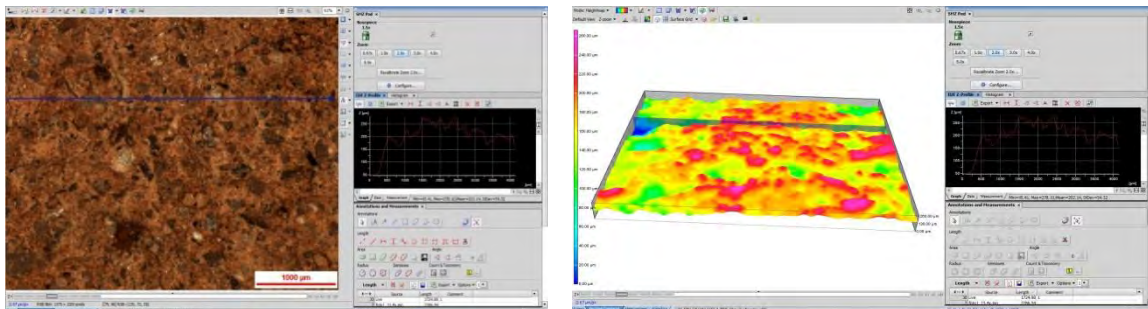


Fig. 6.75. Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 2, zoom 30



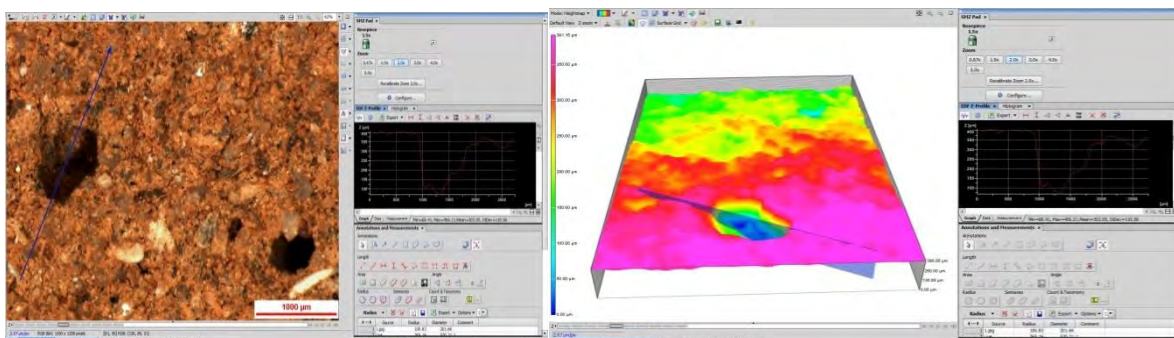


Fig. 6.76 Analiza stereomicroscopică, proba 7.1, zona 3, zoom 30

### 6.3.7.5 Teste de laborator:

Pentru clădirea analizată s-au prelevat șase bucăți de cărămidă provenind din zonele afectate ale clădirii (fig.6.77), fără a se pune în pericol structura de rezistență (tab.6.51). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, incinta ICECON S.A București.

Tabelul 6.51

Buc	L [m]	I [m]	h [m]	Greutatea inițială [kg]	Greutatea după 24h uscare
7.1	0,238	0,123	0,048	2,3958	2,1895
7.2	0,168	0,062	0,057	0,9622	0,9422
7.3	0,126	0,127	0,054	1,3636	1,3127
7.4	0,157	0,128	0,053	1,7472	1,591
7.5	0,217	0,131	0,051	2,3507	2,1197
7.6	0,130	0,132	0,161	1,5631	1,5322



Fig. 6.77 Cele șase probe procurate de la obiectivul Cula Izvoranu Geblescu și modul de notare

### A. Teste cu ultrasunete

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 6.52:

Tabelul 6.52

Proba 7.6	x	0,131
	t	87,2
	v	1500

unde:

- v - viteza de propagare a undelor longitudinale de tensiune [m/s]
- t - viteza de transmitere [ $\mu$ s]
- x - lungimea probei măsurate [cm]

### B. Testare cu Sclerometrul

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 7.2 și 7.5 sunt centralizate în tabelul 6.53:

Tabelul 6.53

Valori Nr. teste	Testul 1 Proba 7.2	Testul 2 Proba 7.5
Min	15	17
Max	24	27
s	$\pm 3,2$	$\pm 3,9$
$\bar{x}$	17,0R	21
	f = 13,2 N/mm <sup>2</sup>	f = 13,8 N/mm <sup>2</sup>

### C. Teste de rezistență

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.78, sunt centralizate în tabelul 6.54.

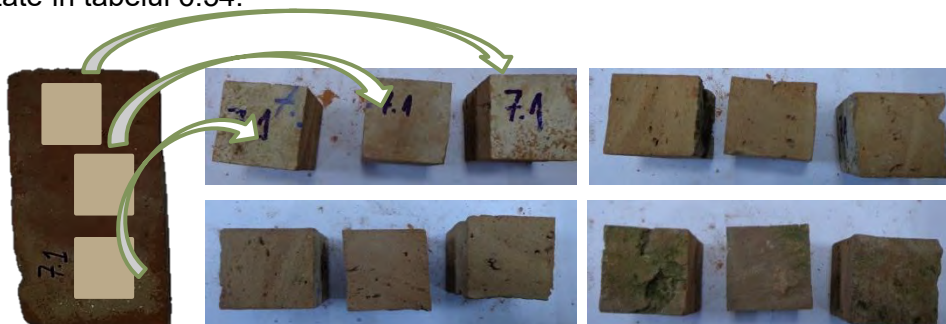


Fig. 6.78 Extragerea epruvetelor cubice din proba de cărămidă 7.1

Tabelul 6.54

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
7.1	1	44,20	43,91	1940,822	12721,32	6,554
	2	46,31	45,66	2114,515	13804,15	6,528
	3	46,45	44,98	2089,321	12640,95	6,051
Media				2048,219	13055,47	6,378

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 7.1.1, 7.1.2 și 7.1.3, sunt exemplificate în figura 6.79.

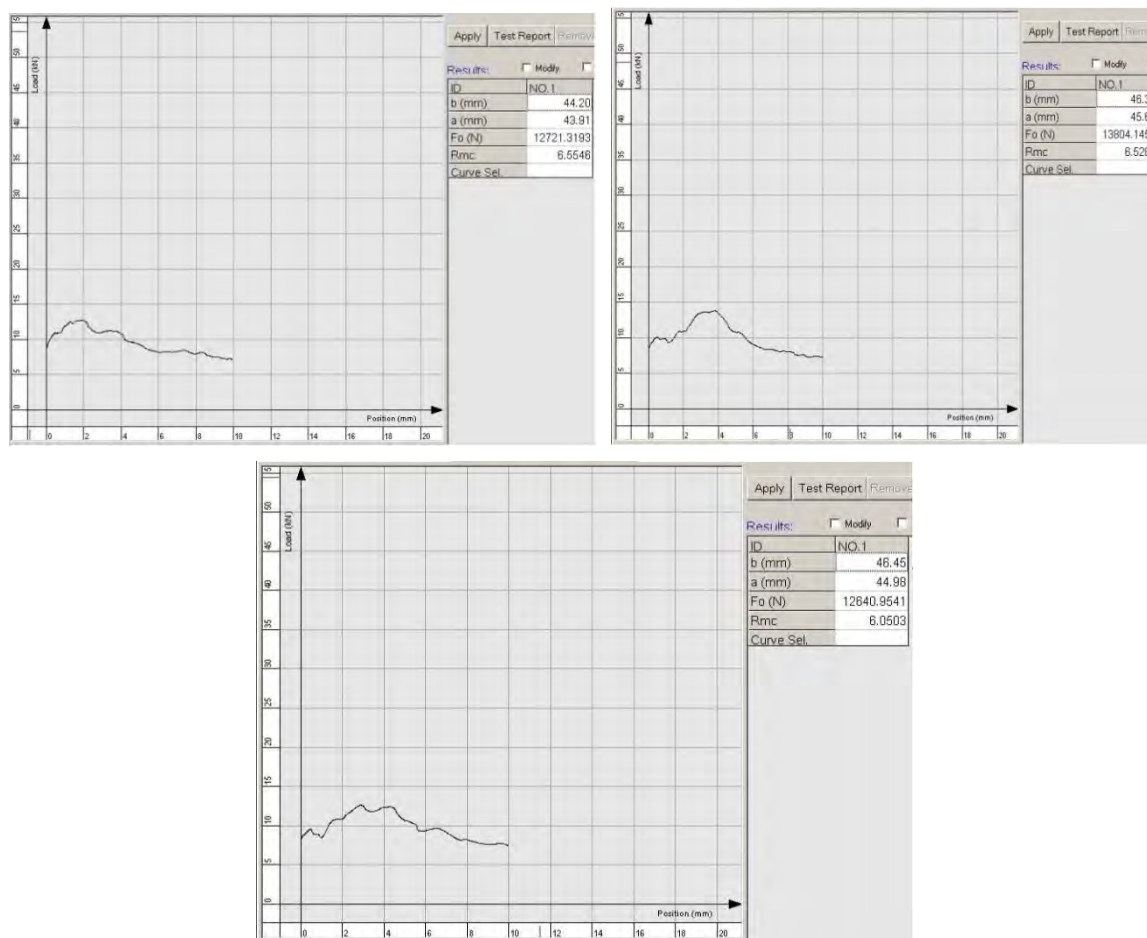


Fig.6.79. Diagramele testului la compresiune

#### **D. Testarea îngheț- dezgheț- gelivitate**

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

##### **D.1. Pierderea de rezistență**

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț, sunt centralizate în tabelul 6.55.

Tabelul 6.55

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Forța [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
7.6	1	54,70	53,98	2952,71	5491,021	1,87
	2	53,13	54,13	2875,93	8007,105	2,770
	3	54,72	55,07	3013,43	6809,211	2,241
Media				2947,354	6769,112	2,294

Pierderea de rezistență, în urma celor 162 cicluri îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 64,748%.

**D.2. Pierderea de masă**

Centralizarea valorilor masei probei 7.6 este exemplificată în figura 6.80. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 3,93 %.

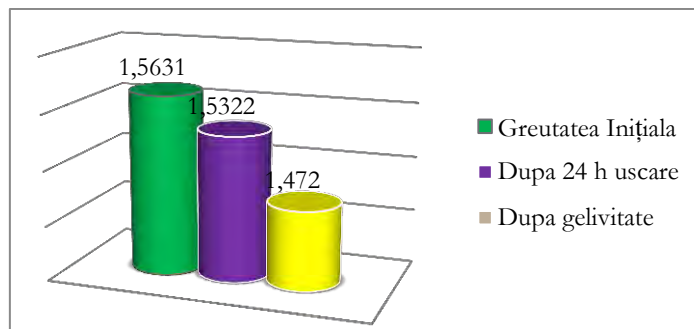


Fig. 6.80 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 7.6

**6.3.8 Cula Cernătescu (fig.6.81)**

**6.3.8.1 Parametri de intrare**

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă

Factori/parametri de intrare	<b>Cula Cernătescu (3)</b>
Localizare	Cernătești, Județul Dolj.
Categorie patrimoniu	DJ-II-m-A-08237
An edificare construcție	1600
Sistem constructiv	Zidărie portantă din cărămidă plină.
Teren fundare	Neozoic, Neogen-Pliocen Levantin. (p4) cu capacitate portantă ridicată
Alunecare teren	După indicele de tasare suplimentară la umezire (Im3), conform studiilor geotehnice efectuate în zonă, straturile doi și trei (1,20-3,40m) se încadrează în categoria pământurilor sensibile la umezire colapsabile-PSUC $Im3 \geq 2\%$ (conform NP125/2010).
Seismicitate	VIII 1/2- Falie supusa la risc seismic în caz de mișcări seismice puternice.
Avarii suprastructură	Într-o stare bună de conservare, nivelul degradărilor crește de la parter către pod. Pereții parterului și cei ai etajului unu prezintă degradări importante la nivelul tencuielii- zone cu fisuri. Pereții etajului doi prezintă doar fisuri pe verticala colțurilor ferestrelor. Tencuiala fațadelor lipsește pe suprafețe importante ale parterului și s-a observat foarte bine pe registrul superior corespunzător etajului doi.
Avarii infrastructură	Fisurile și microfisurile cele mai evidente provin din tasarea inegală și pot fi constatate și pe fațade (fațada de N cele mai evidente).
Climă	Zona climatică II
Umiditate	Partea de sud-est și nord-vest este afectată.
Adăpostire	Neadăpostită
Management clădire	Muzeu regional, încălzire cu sobe
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La sfârșitul secolului al XVIII-lea structura a fost supraînălțată cu încă un nivel, întărind-o ca pe o adevărată fortăreață;</li> <li>• în anul 1800 a fost adăugat contrafortul pe colțul sud-est al structurii;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajunsă în ruină, cula este restaurată la sfârșitul anilor '60 ai secolului XX de când devine muzeu zonal.</li> </ul>
Starea actuală	Puternic afectată.



Fig.6.81 Cula Cernătescu

### 6.3.8.2 Determinarea indicelui de afectare

Cula Cioabă Chintescu, din zidărie de cărămidă se consideră a fi constituită, în principiu, din cele cinci subansambluri constructive, enumerate inițial.

Modul de depunțare (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.56, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația (6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu se calculează conform relației (6.2).

#### 1. Subansamblul fundația

Tabelul 6.56

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea deșădărilor
1.1	A= 3	$D_1 = 7$	Tasări și fracturi cauzate de inundarea terenului de fundare.
1.2	A= 3	$D_2 = 7$	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și a modului deficitar de administrare zonală.
1.3	A= 2	$D_3 = 8$	Tasări provocate de fundații cu adâncimi neconcordante cu calitatea terenului
1.4	A= 2	$D_4 = 8$	Risc alunecări ridicat (zona verde).
1.5	A= 2	$D_5 = 8$	Natura terenului de fundare (normal/dificil).
1.6	A= 2	$D_6 = 8$	Infiltrații de apă.
1.7	A= 0	$D_7 = 10$	Nu s-au constatat alte deșădări
1.8	A= 0	$D_8 = 10$	Nu s-au constatat alte deșădări
1.9	A= 0	$D_9 = 10$	Nu s-au constatat alte deșădări.
1.10	A= 0	$D_{10} = 10$	Nu s-au constatat alte deșădări.

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 86 = 43 \text{ puncte}$$

**2. Subansamblul pereți de rezistență**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
2.1	A= 2	D <sub>1</sub> = 8	Cărămida din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuielii.
2.2	A= 3	D <sub>2</sub> = 7	Fisuri pe zone restrânse, cauzate de tasări ale fundațiilor.
2.3	A= 4	D <sub>3</sub> = 6	Crăpături în pereții exteriori din cauza lipsei centurilor superioare la nivelul podului.
2.4	A= 2	D <sub>4</sub> = 8	Crăpături la colțuri din cauza lipsei de țesere între pereții longitudinali și transversali
2.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Calitatea elementelor, regularitatea rosturilor.
2.6	A= 3	D <sub>6</sub> = 7	Calitatea materialelor și a execuției cât și existența unor zone slăbite de șlițuri sau nișe.
2.7	A= 2	D <sub>7</sub> = 8	Igrasie la baza pereților din cauza lipsei hidroizolației orizontale.
2.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apr} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 81 = 40,5 \text{ puncte}$$

**3. Subansamblul planșee**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
3.1	A= 1	D <sub>1</sub> = 9	S-au constatat fisuri cauzate de deplasări ale reazemelor.
3.2	A= 2	D <sub>2</sub> = 8	Infestarea grinzilor (și a podirii) planșeului cu ciuperci anaerobe.
3.3	A= 3	D <sub>3</sub> = 7	Planșeul din grinzi nu asigură comportarea de șaibă pentru transmiterea sarcinilor orizontale pereților proporțional cu rigiditatea acestora
3.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Aplatizarea bolții, formarea săgeții la cheie din supraîncărcări zonale
3.5	A= 2	D <sub>5</sub> = 8	Crăpături ale bolților din cauza creerii în mod greșit a unor goluri în boltă.
3.6	A= 3	D <sub>6</sub> = 7	Degradări din cauza unor intervenții anterioare greșite.
3.7	A= 0	D <sub>7</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apl} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 86 = 43 \text{ puncte}$$

**4. Subansamblul șarpantă din lemn**

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
4.1	A= 5	D <sub>1</sub> = 5	Infestare cu diferite ciuperci, pe zone destul de extinse ale șarpantei, mai ales la pana de coamă și în zona tălpilor la cosoroabă.
4.2	A= 2	D <sub>2</sub> = 8	Întreținerea deficitară.
4.3	A= 3	D <sub>3</sub> = 7	Învelitoare neetanșă a acoperișului.
4.4	A= 3	D <sub>4</sub> = 7	Depozitarea unor materiale care facilitează producerea degradării lemnului (moloz, excremente, folie, gunoi).
4.5	A= 2	D <sub>5</sub> = 8	Degradări locale ascunse.
4.6	A= 3	D <sub>6</sub> = 7	Deplasări, deformări, ale suportului sau a unor părți componente ca urmare a îmbătrânirii elementelor de reazem.
4.7	A= 2	D <sub>7</sub> = 8	Lipsa jgheaburilor și a burlanelor.
4.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{A\text{ș}} = 0.5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 80 = 40 \text{ puncte}$$

5. Subansambluri secundare

$$I_{Ass} = 0.5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 100 = 50 \text{ puncte}$$

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

$$I_A = 0,2 \times 43 + 0,2 \times 40,5 + 0,2 \times 43 + 0,1 \times 40 + 0,1 \times 50 = 42,35 \text{ puncte}$$

Ca atare, în conformitate cu tabelul 6.3, cuprinzând clasele de afectare, clădirea analizată se situează în clasa **IV**, stare de afectare nesatisfăcătoare, nefiind asigurate condițiile minime de siguranță și funcționare.

În concluzie, dat fiind faptul că întreaga structură este încadrat ca Monument istoric (DJ-II-m-A-08237) cât și importanța sa istorică și arhitecturală, ca și indicație generală se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

**6.3.8.3 Măsurarea umidității**

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.57, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.82

Tabelul 6.57

Pct.Cardinale Înălțimea [m]	Umiditatea măsurată [%]		Valoarea Medie [%]	A [%]
	0,5	1,00		
N	34,51	58,83	46,670	0,533
S	62,21	48,12	55,165	0,448
E	33,14	24,90	29,020	0,710
V	31,55	24,43	27,990	0,720

A - factor de diminuare al rezistenței la compresiune din umiditate A [%]

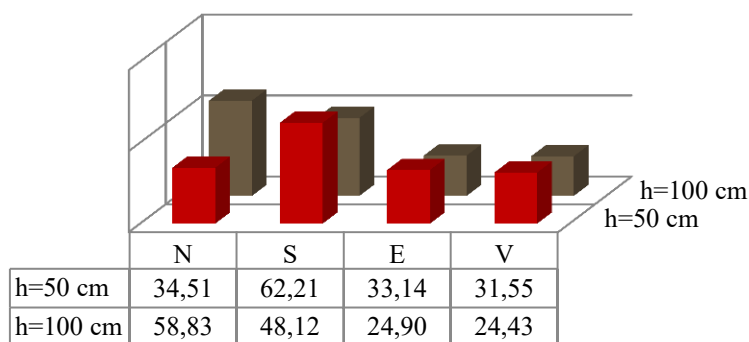


Fig.6.82 Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 8.

### 6.3.8.4 Teste cu stereomicroscopul

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate două zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: o zonă cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.83). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 6.84, 6.85, 6.86 și 6.87.



Fig. 6.83 Proba 8.3 cu cele două zone analizate exemplificate

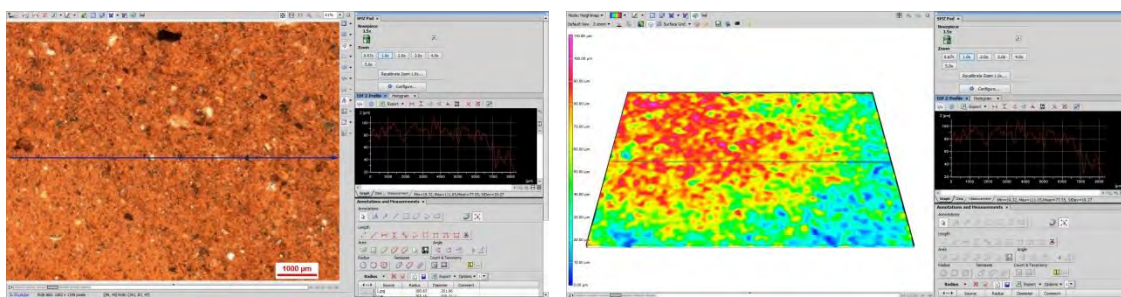


Fig. 6.84 Analiza stereomicroscopică, proba 8.3, zona 1, zoom 15

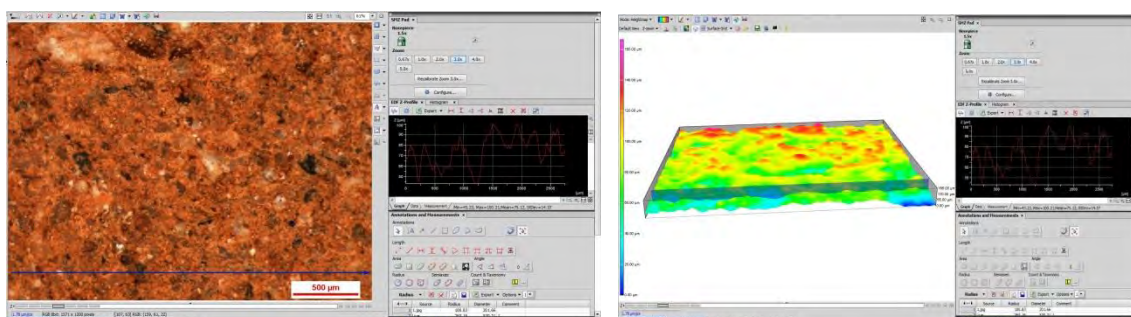


Fig. 6.85 Analiza stereomicroscopică, proba 8.3, zona 1, zoom 45



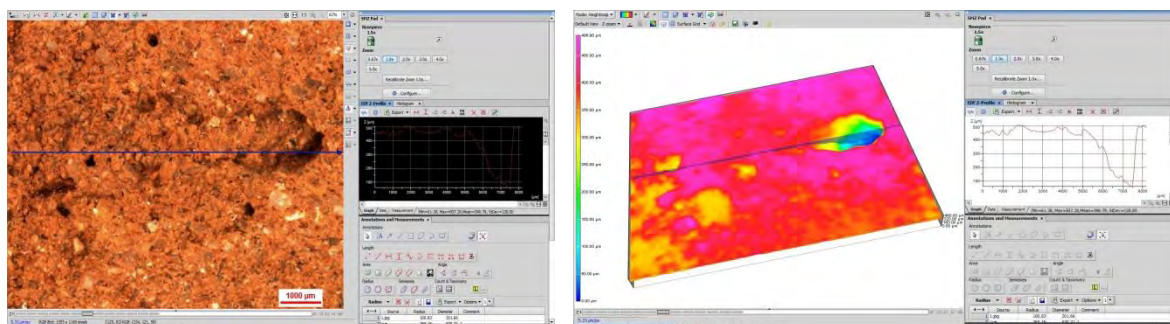


Fig. 6.86 Analiza stereomicroscopică, proba 8.3, zona 2, zoom 15

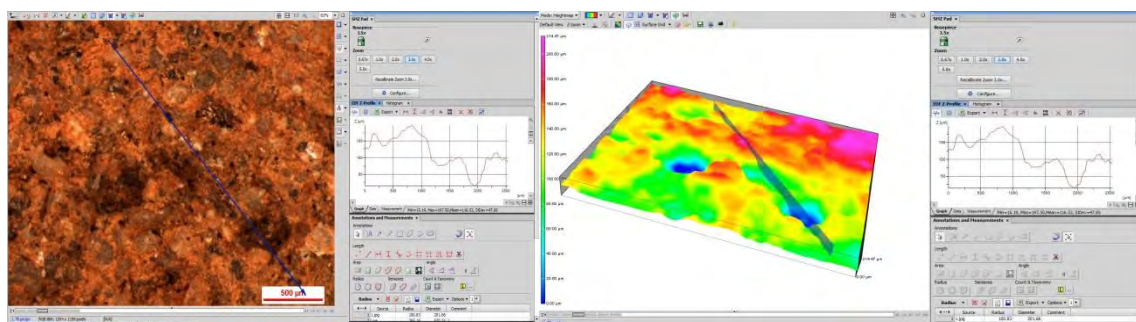


Fig. 6.87 Analiza stereomicroscopică, proba 8.3, zona 2, zoom 45,

### 6.3.8.5 Teste de laborator

Pentru clădirea analizată s-au prelevat șapte bucăți de cărămidă provenind din zonele afectate ale clădirii, fără a se pune în pericol structura de rezistență (tab.6.58). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, incinta ICECON S.A București.

Tabelul 6.58

Probă	L [m]	l [m]	h [m]	Greutatea initiala [kg]	Greutatea dupa 24 h uscare
8.1	90,09	132,66	53,22	1,00	0,93
8.2	179,35	148,79	43,16	2,58	2,49
8.3	171,09	133,93	54,58	2,05	1,83
8.4	252,08	121,87	50,61	2,99	2,70
8.5	139,35	172,21	63,18	2,16	1,90
8.6	144,45	178,96	135,70	2,34	2,054
8.7	268,96	147,61	162,11	3,90	3,79

### A. Teste cu ultrasunete:

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 6.59:

Tabelul 6.59

Proba 8.3	x	0,139	Proba 8.7	x	0,125
	t	78,6		t	74,5
	v	1767		v	1677

unde:

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

t - viteza de transmitere [ $\mu$ s]

x - lungimea probei măsurate [cm]

### B. Testare cu sclerometrul

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 8.1 și 8.5 sunt centralizate în tabelul 6.60:

Tabelul 6.60

Valori / Nr. teste	Testul 1 Proba 8.1	Testul 2 Proba 8.5
Min	15	16
Max	24	25
s	$\pm 3,2$	$\pm 3,1$
$\bar{x}$	17,0 R	20,0 R
	f = 13,2 N/mm <sup>2</sup>	f = 13,5 N/mm <sup>2</sup>

### C. Teste de rezistență

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.88, sunt centralizate în tabelul 6.61.

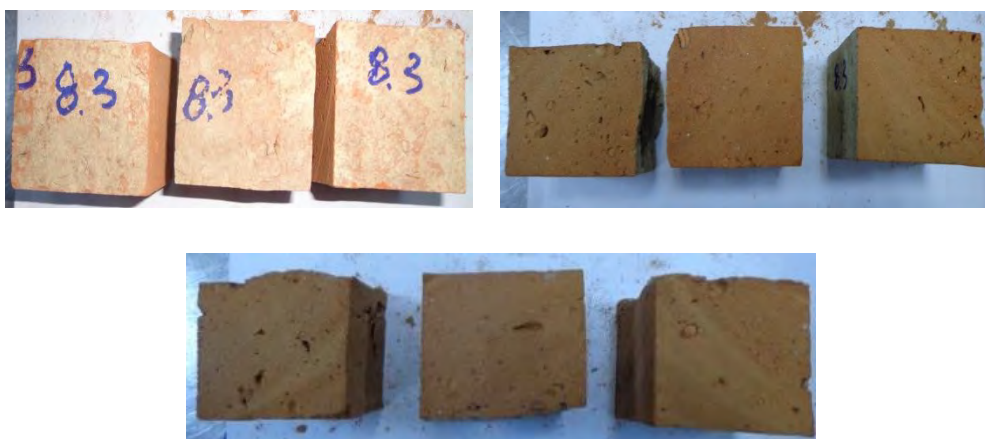


Fig.6.88 Extragerea epruvetelor cubice din probele de caramida 8.3.

Tabelul 6.61

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
8.3	1	55,89	57,15	3194,1135	14275,061	4,469
	2	54,59	53,29	2909,1011	19151,535	6,583
	3	56,79	52,35	2972,9565	16632,462	5,594
Media					16686,35267	5,549

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 8.3.1, 8.3.2 și 8.3.3, sunt exemplificate în figura 6.89.

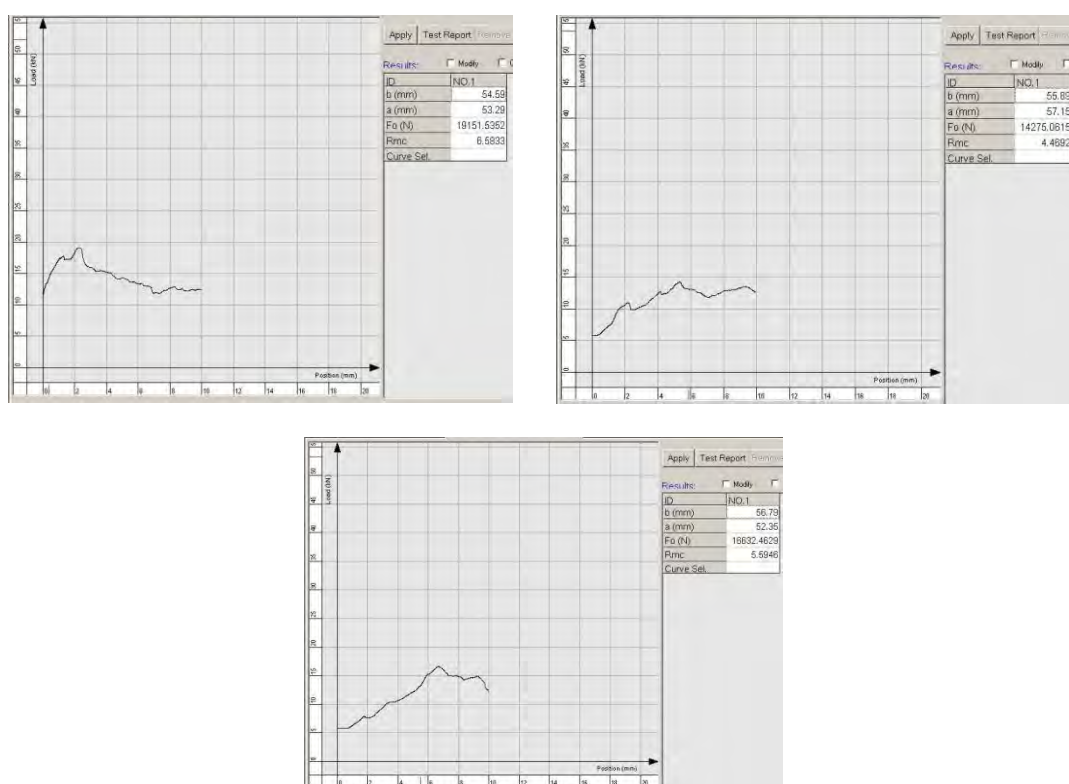


Fig. 6.89 Diagramele testului la compresiune

#### D. Testarea îngheț- dezgheț - gelivitate

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

##### D.1. Pierderea de rezistență

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț, sunt centralizate în tabelul 6.62.

Tabelul 6.62

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Forță [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
8.4	1	43,39	43,37	1881,824	10848,5	5,76
	2	42,75	43,1	1842,525	10613	5,76
	3	43,06	42,68	1837,801	7270,5	3,95
	4	41,77	42,99	1795,692	12550	6,99
Media					10320,5	5,615

Pierderea de rezistență, în urma celor 162 cicluri îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 19,841%.

### D.2. Pierderea de masă

Centralizarea valorilor masei probei 8.4 este exemplificată în figura 6.90. Pierderea de masă, conform formulei (6.6) este de 6,55 %.

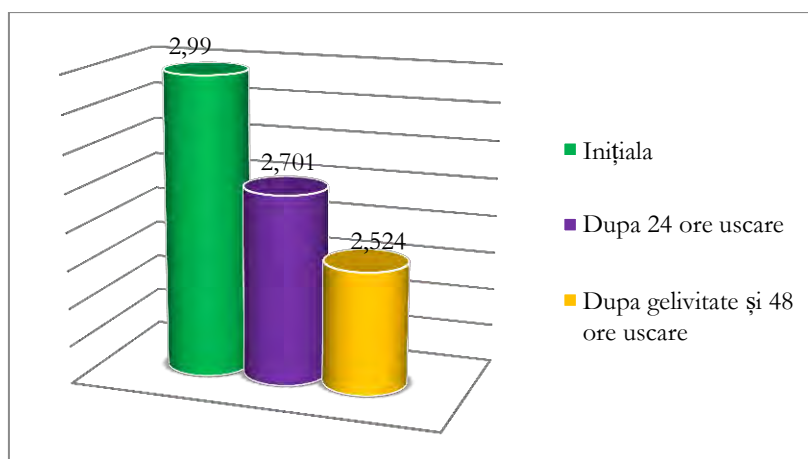


Fig. 6.90 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 8.4

## 6.3.9 Clădirea Facultății de Mecanică (fig.6.91)

### 6.3.9.1 Parametri de intrare

Parametri de intrare ai principalilor factori ce intervin la degradarea construcțiilor din zidărie masivă (tab.6.63):

Tabelul 6.63

Factori/parametri de intrare	Clădirea Facultății de Mecanică
Localizare	Craiova, județul Dolj
Categorie patrimoniu	DJ-II-m-B-07957
An edificare construcție	1898-1901
Sistem constructiv	Clădirea, construită din cărămidă și acoperită cu țiglă și tablă, având parter și etaj, avea "15 săli de clasă, 6 cancelarii și birouri, 2 laboratoare, 1 amfiteatru, 1 sală de bibliotecă, 2 ateliere, 7 dormitoare, 1 bucătărie, 1 sufragerie etc., la care se

## COMPORTAREA DE LUNGĂ DURATĂ A PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

	adăugau locuința directorului (8 camere), infirmeria, spălătoria și baia etc”. Clădirea Fostei Școli Normale de Băieți este un edificiu impunător, de dimensiuni monumentale, dispus pe trei niveluri (demisol, parter și etaj) pe un plan simetric față de verticala turnului central (intrarea din Calea București)
Teren fundare	Neozoic, cuaternar, aluviu.
Alunecare teren	În zona nu sunt probleme de instabilitate a terenului din punct de vedere geotehnic. Probabilitatea de alunecări fiind redusă.
Seismicitate	Zona VIII ½- au loc cutremure intermediare
Avarii infrastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltrații de apă.</li> <li>• Soclul clădirii prezintă exfolieri și porțiuni unde tencuiala a căzut.</li> <li>• Lipsa parțială a trotuarelor.</li> </ul>
Avarii suprastructură	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microfisuri la goluri.</li> <li>• Degradarea zidăriei din zona jgheburilor și burlanelor.</li> <li>• Fisuri și crăpături la înzidiri de goluri la uși și ferestre</li> <li>• Crăpături cu traseu oblic în zidăria pereților în zona golurilor ferestrelor la turnul principal.</li> <li>• Deteriorarea tiranților de consolidare.</li> </ul>
Climă	Zona climatică II ( $t_e = -15^\circ\text{C}$ )
Umiditate	Media 70%
Adăpostire	Adăpostită.
Management clădire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De-a lungul timpului, localul de școală a găzduit mai multe instituții de învățământ.</li> <li>• În anii '50 a fost sediul Școlii Pedagogice de Băieți.</li> <li>• Din 1977 găzduiește Facultatea de Mecanică din Craiova.</li> </ul>
Reabilitări în timp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reabilitările efectuate nu au cuprins și zona de infrastructura care face obiectul prezentului studiu.</li> </ul>
Starea actuală	Stadiu mediu de degradare.

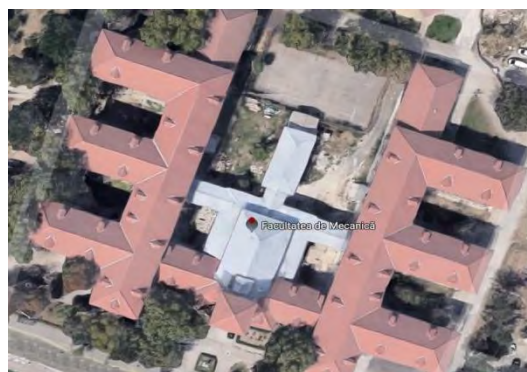


Fig. 6.91 Clădirea Facultății de Mecanică

### 6.3.9.2 Determinarea indicelui de afectare

Clădirea Facultății de Mecanică, Craiova, din zidărie de cărămidă se conideră a fi constituită, în principiu, din următoarele cinci subansambluri constructive.

Modul de depunere (A) a defectelor constatate la construcția din zidărie, sunt cuprinse în tabelul 6.64, se calculează indicii de afectare pentru clădirea analizată, cu relația (6.1), iar indicele de stare tehnică, al fiecărui subansamblu se calculează conform relației (6.2).

#### 1. Subansamblul fundații

Tabelul 6.64

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descriere degradărilor
1.1	A= 2	D <sub>1</sub> = 8	Tasări și fracturi cauzate de infiltrații de apă.
1.2	A= 2	D <sub>2</sub> = 8	Microfisuri evidente - consecință a tasărilor inegale și modulii deficitar de administrare zonală.
1.3	A= 2	D <sub>3</sub> = 8	Tasări provocate de fundații cu adâncimi neconcordante cu calitatea terenului
1.4	A= 1	D <sub>4</sub> = 9	Tasări provocate de degradarea materialului.
1.5	A= 1	D <sub>5</sub> = 9	Degradări locale provocate de instalații defecte, accidente.
1.6	A= 2	D <sub>6</sub> = 8	Intervenții anterioare cu materiale necorespunzătoare.
1.7	A= 0	D <sub>7</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări
1.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări
1.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
1.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Af} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 90 = 45 \text{ puncte}$$

#### 2. Subansamblul pereți de rezistență

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
2.1	A= 1	D <sub>1</sub> = 9	Cărămida din pereții exteriori este vizibilă după căderea tencuiei.
2.2	A= 1	D <sub>2</sub> = 9	Calitatea materialelor și a execuției cât și existența unor zone slăbite de șlițuri sau nișe.
2.3	A= 2	D <sub>3</sub> = 8	Igrasie la baza pereților din cauza lipsei hidroizolației orizontale.
2.4	A= 2	D <sub>4</sub> = 8	Fisuri și crăpături din cauza unor înzidiri ulterioare de goluri fără țeserea zidăriei noi
2.5	A= 3	D <sub>5</sub> = 7	Fisuri locale în zonele de colț, la legătura între pereții longitudinali și transversali, cauzate de sarcini orizontale (seism).
2.6	A= 0	D <sub>6</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.7	A= 0	D <sub>7</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
2.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apr} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 91 = 45,5 \text{ puncte}$$

3. Subansamblul planșee

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
3.1	A= 1	D <sub>1</sub> = 9	S-au constatat fisuri cauzate de depășirea capacității portante a bolților prin supraîncărcare.
3.2	A= 1	D <sub>2</sub> = 9	Profilele metalice de susținere a bolților de cărămidă corodate.
3.3	A= 2	D <sub>3</sub> = 8	Degradări ale zidăriei provocate de infiltrații de apă din instalații defecte, calitatea inferioară a materialului, îmbătrânirea materialului.
3.4	A= 1	D <sub>4</sub> = 9	Aplatizarea bolții, formarea săgeții la cheie din supraîncărcări zonale
3.5	A= 0	D <sub>5</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.6	A= 0	D <sub>6</sub> =10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.7	A= 0	D <sub>7</sub> =10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.8	A= 0	D <sub>8</sub> =10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.9	A= 0	D <sub>9</sub> =10	Nu s-au constatat alte degradări.
3.10	A= 0	D <sub>10</sub> =10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Apl} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 95 = 47,5 \text{ puncte}$$

4. Subansamblul șarpantă din lemn

Nr. Crt	Puncte penalizare	Indice calitate	Descrierea degradărilor
4.1	A= 1	D <sub>1</sub> = 9	Infestare cu diferite ciuperci, ale șarpantei.
4.2	A= 1	D <sub>2</sub> = 9	Învelitoare neetanșă a acoperișului.
4.3	A= 1	D <sub>3</sub> = 9	Degradări locale ascunse
4.4	A= 0	D <sub>4</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.5	A= 0	D <sub>5</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.6	A= 0	D <sub>6</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.7	A= 0	D <sub>7</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.8	A= 0	D <sub>8</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.9	A= 0	D <sub>9</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.
4.10	A= 0	D <sub>10</sub> = 10	Nu s-au constatat alte degradări.

$$I_{Aș} = 0,5 \times \sum_{i=1}^{10} D_i = 0,5 \times 97 = 48,5 \text{ puncte}$$

5. Subansambluri secundar

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:

$$I_A = 0,1 \times 45 + 0,2 \times 45,5 + 0,4 \times 47,5 + 0,3 \times 48,5 + 0,1 \times 50 = 52,15 \text{ puncte}$$

Ca atare, în conformitate cu tabelul 6.3, cuprinzând clasele de afectare, clădirea analizată se situează în clasa **III**, stare de afectare nesatisfăcătoare, nefiind asigurate condițiile minime de siguranță și funcționare.

În concluzie, dat fiind faptul că întreaga structura este încadrat ca Monument istoric (VL-II-m-B-09977) cât și importanța sa istorică și arhitecturală, ca și indicație generală se recomandă consolidarea generală cât și reparații la întreaga structură.

### 6.3.9.3 Măsurarea umidității

Măsurarea gradului de umiditate a fost efectuată conform descrierii de la subcapitolul 6.1.2. Măsurătorile obținute au fost centralizate în tabelul 6.65, iar reprezentarea grafică este indicată în figura 6.92.

Tabelul 6.65

Înălțimea [m] Pct.Cardinale	Umiditatea măsurată [%]		Valoarea Medie [%]	A [%]
	0,5	1,00		
N	34,51	58,82	46,665	0,533
S	62,11	48,31	55,210	0,448
E	33,15	24,91	29,030	0,710
V	31,54	24,46	28,000	0,720

A - factor de diminuare al rezistenței la compresiune din umiditate [%].

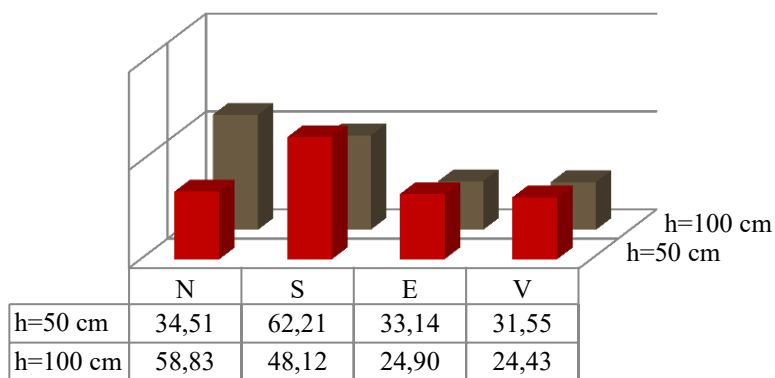


Fig.6.92. Reprezentarea grafică a umidității, clădirea 9.

### 6.3.9.4 Teste cu stereomicroscopul

A fost selectată o bucată din blocul ceramic, dintre probele analizate, și au fost studiate două zone. Echiamentul și modul de testare sunt descrise în subcapitolul 6.2.1. Zonele analizate a fost alese astfel: o zonă cu cât mai multe neregularități și o zonă cât mai plană (fig.6.93). În urma analizei cu stereomicroscopul au rezultat imaginile din figurile 6.94, 6.95, 6.96 și 6.97.



Fig. 6.93. Proba 9.3 cu cele două zone exemplificate



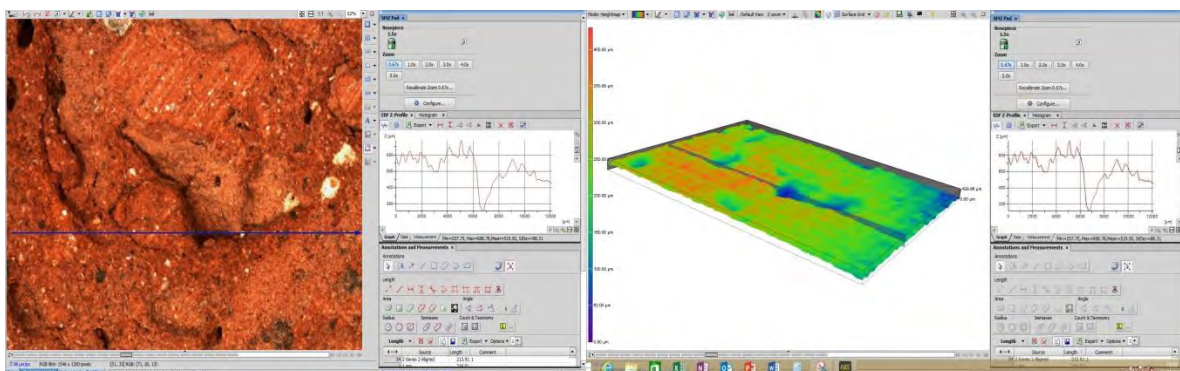


Fig.6.94. Analiza stereomicroscopică proba 9.3, zona 1, zoom 10

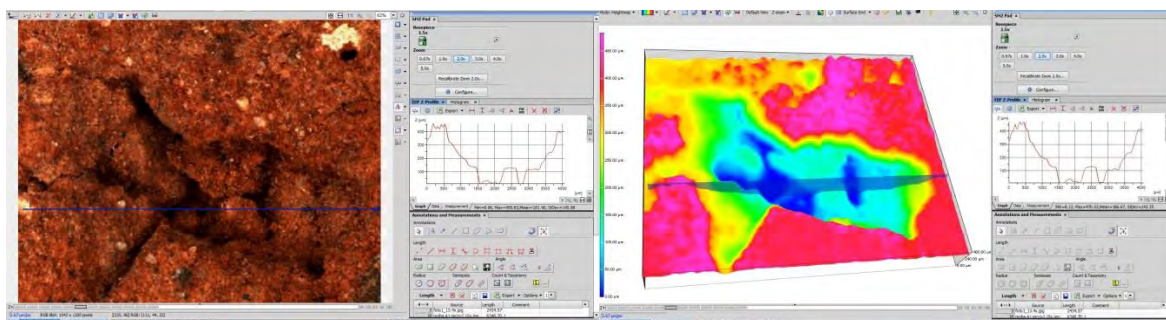


Fig. 6.95 Analiza stereomicroscopică, proba 9.3, zona 1, zoom 30

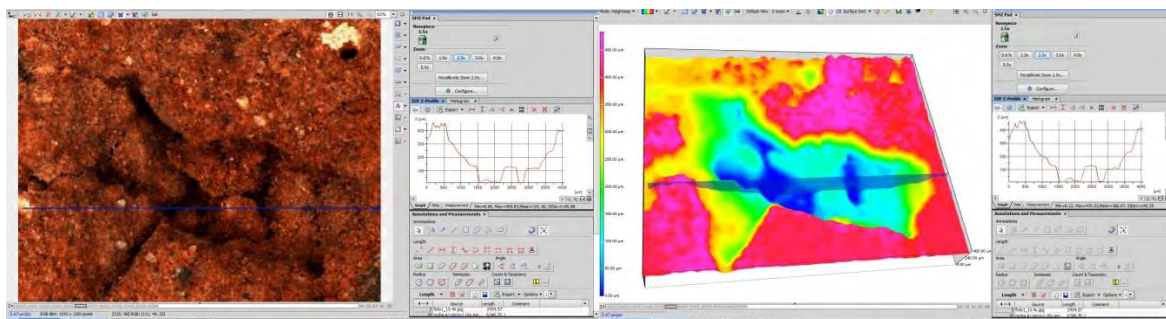


Fig. 6.96 Analiza stereomicroscopică, proba 9.3, zona 2, zoom 15

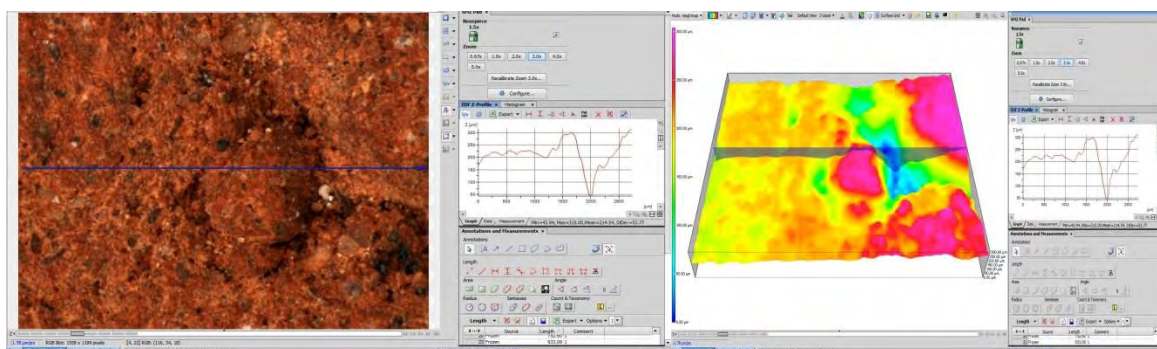


Fig. 6.97 Analiza stereomicroscopică, proba 9.3, zona 2, zoom 45

### 6.3.9.5 Teste de laborator

Pentru cladirea analizată s-au prelevat patru bucăți de cărămidă provenind din zonele afectate ale clădirii, fără a se pune în pericol structura de rezistență (tab.6.66). Acestea au fost supuse la numeroase teste de laborator, incinta ICECON S.A București.

Tabelul 6.66

Probă	L [m]	l [m]	h [m]	Greutatea inițială [kg]	Greutatea după 24 h uscare
9.1	179,84	116,99	66,96	2,52	2,52
9.2	266,71	133,27	65,61	3,73	3,70
9.3	259,95	124,65	66,24	3,51	3,51
9.4	213,09	131,63	64,45	2,92	2,92

#### A. Teste cu ultrasunete

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 6.67:

Tabelul 6.67

Proba 9.4	x	0,133	Proba 9.1	x	0,125
	t	87,8		t	85,3
	v	1515		v	1530

unde:

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

t - viteza de transmitere [ $\mu$ s]

x - lungimea probei măsurate [cm]

#### B. Testare cu sclerometrul

Modul în care s-au efectuat încercările, este expus în subcapitolul 6.1.4. Datele obținute în urma testării probelor 9.2 și 9.3 sunt centralizate în tabelul 6.68:

Tabelul 6.68

Valori / Nr. teste	Testul 1 Proba 9.2	Testul 2 Proba 9.3
Min	15	16
Max	24	25
s	$\pm 3,2$	$\pm 3,1$
$\bar{x}$	17,0 R	20,0 R
	f = 13,2 N/mm <sup>2</sup>	f = 13,5 N/mm <sup>2</sup>

### C. Teste de rezistență

Modul în care s-au desfășurat încercările cât și echipamentele utilizate, sunt descrise în subcapitolul 6.2.2. Datele obținute în urma testării probelor din figura 6.98, sunt centralizate în tabelul 6.69.

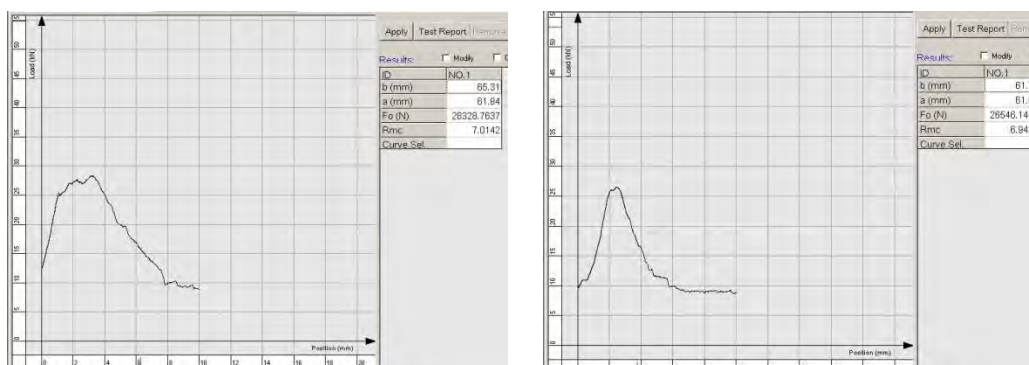


Fig. 6.98 Extragerea epruvetelor cubice din probele de cărămidă 9.4.

Tabelul 6.69

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă [mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune [MPa]
9.4	1	65,31	61,84	4038,77	28328,76	7,014
	2	61,79	61,87	3822,947	26546,14	6,943
	3	61,25	60,99	3735,638	22386,38	5,992
Media					25753,76	6,650

Diagramele generate de echipamentul de comandă, control și măsurare al mașinii de testat universală SANS, pentru epruvetele 9.4.1, 9.4.2 și 9.4.3, sunt exemplificate în figura 6.99.



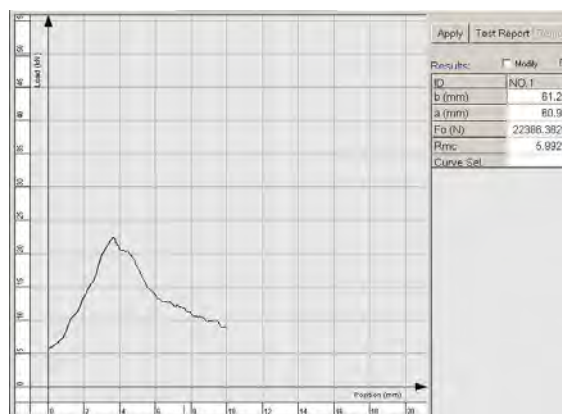


Fig.6.99. Diagramele testului la compresiune

### D. Testarea îngheț- dezgheț – gelivitate

Probele au fost supuse testelor conform descrierii din subcapitolul 6.2.3.

#### D.1. Pierderea de rezistență

Datele de testare pentru rezistența la compresiune după testul de îngheț-dezgheț, sunt centralizate în tabelul 6.70.

Tabelul 6.70

Proba	Număr încercări	Dimensiune epruvetă[mm]		Aria [mm <sup>2</sup> ]	Sarcina maximă de cedare [N]	Rezistența la compresiune după gelivitate [MPa]
9.1	1	66,57	58,53	3896,342	46891	10,280
	2	67,02	68,53	4592,881	42501	9,250
	3	66,62	67,20	4476,864	45628	10,192
Media					29797,333	9,765

Pierderea de rezistență în urma celor 162 cicluri îngheț-dezgheț, conform formulei (6.5), este 31,900%.

#### D.2. Pierdere de masa

Centralizarea valorilor masei probei 9.1 este exemplificată în figura 6.100. Pierderea de masă, în urma celor 162 cicluri îngheț/dezgheț, conform formulei (6.6) este de 0,71 %.

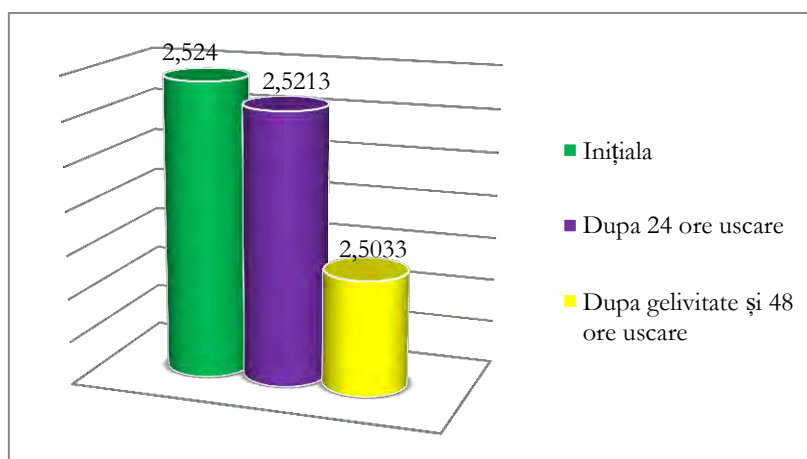


Fig.6.100 Graficul pierderilor de masă [kg] pentru proba 9.1

#### **6.4 Concluzii:**

În urma testelor nedistructive și a celor de laborator, 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.

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 obiective 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.

## 7. ANALIZA NUMERICĂ, MODELAREA ȘI SIMULAREA CLĂDIRILOR DIN ZIDĂRIE MASIVĂ

### 7.1 Analiza numerică la oboseală în ANSYS

Există două categorii generale de analiză la oboseală (fig.7.1):

- Oboseala pe baza formării fisurilor;
- Oboseala pe baza creșterii fisurilor.

Alegerea tipului de analiză se bazează pe următoarea aplicație:

- În timpul fazei de proiectare, pentru componente care necesită puține cicluri de viață, analiza pe baza formării fisurilor poate fi suficientă;
- Pentru piese foarte bine concepute, componentele care se produc vrac, cum sunt componentele auto sau pentru precizarea duratei de viață în timpul funcționării, va fi nevoie de utilizarea metodei pe baza creșterii fisurilor.

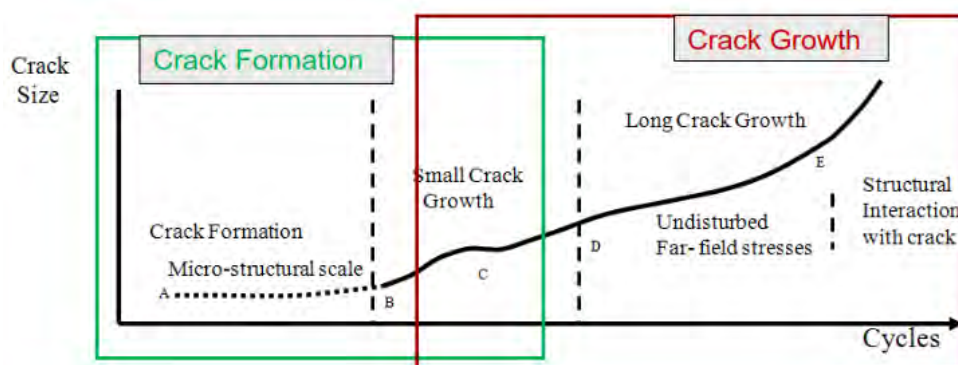


Fig.7.1 Modul de aplicare al ciclurilor [1]

Cedarea materialului apare în momentul în care se ajunge, în urma unui anumit număr de cicluri, la o valoare critică [2]. Metodele de analiză ale fisurării la oboseală, implică următoarele etape:

#### a) Analiza formării fisurilor la oboseală:

- Fisurile/defectele nu sunt considerate explicit;
- Se folosește ANSYS pentru a prezice condițiile pentru un element fără fisuri;
- Rezultatele din ANSYS sunt utilizate pentru analiza la oboseală (fig.7.2):
  - Abordarea de bază ar putea fi un grafic S-N făcut de mână sau via macros;
  - Mai cuprinzătoare ar putea fi analiza la oboseală folosind nCode.

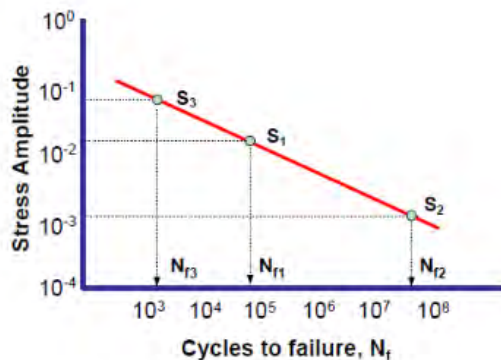


Fig.7.2 Graficul efort- număr de cicluri până la cedare [1]

**b) Analiza creșterii fisurilor include următoarele tehnici:**

- Fisura nu este inclusă în analiza ANSYS, dar câmpul de tensiuni în regiunea fisurii este folosit pentru a separa propagarea fisurii rezultată din oboseală, nCode;
- Fisura este inclusă în modelul ANSYS:
  - Este nevoie sa se actualizeze în mod constant prize pentru creșterea fisurilor;
  - Se poate ști sau nu, calea pe care o va urma fisura;
  - Diverse metode sunt utilizate pentru a obține  $\Delta K$  care este folosit ulterior împreună cu legea creșterii fisurilor pentru a determina timpul rămas;
  - Energia adițională include tehnica de închidere a fisurilor virtuale (VCCT) și zona modelată coezivă utilizată în mod normal pentru prezicerea delaminării.

**c) Procedurile tipice pentru analiza formării fisurilor la oboseală:**

- Incărcare ciclică simplă,  $R = -1$  (Fig. 7.3):
  - Modelarea încărcărilor minime și maxime;
  - Obținerea câmpului de tensiuni în locația critică ( $\Delta\sigma$ );
  - Găsirea ciclurilor până la eșec, utilizând datele din graficul S-N.

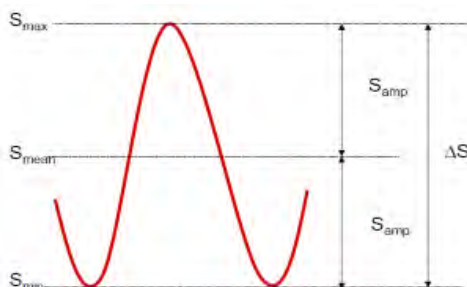


Fig.7.3. Incărcare ciclică simplă,  $R = -1$  [1]

- Incărcare ciclică simplă,  $R \neq -1$  (fig.7.4):
  - Modelarea încărcărilor minime și maxime;
  - Obținerea tensiunii medii și a câmpului de tensiuni în toate punctele;
  - Găsirea ciclurilor, până la eșec:

- Obținând date pentru variabila R;
- Comparăm tensiunea medie și tensiunea alternativă utilizând diagrama Goodman.

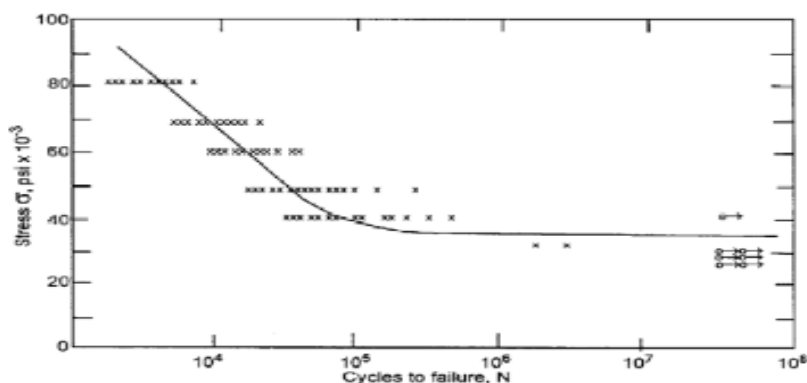


Fig.7.4. Incărcare ciclică simplă,  $R \neq -1$  [1]

- Incărcare complexă (fig.7.5):
  - Analiza completă a rezistenței la oboseală utilizând nCode;
  - Diagrama eforturilor, în funcție de numărul de cicluri de încărcare, nu este variabilă la oboseală:
    - Nu se încearcă o modelare plastică;
    - Utilizată de preferat pentru cicluri dese de rezistență la oboseală.

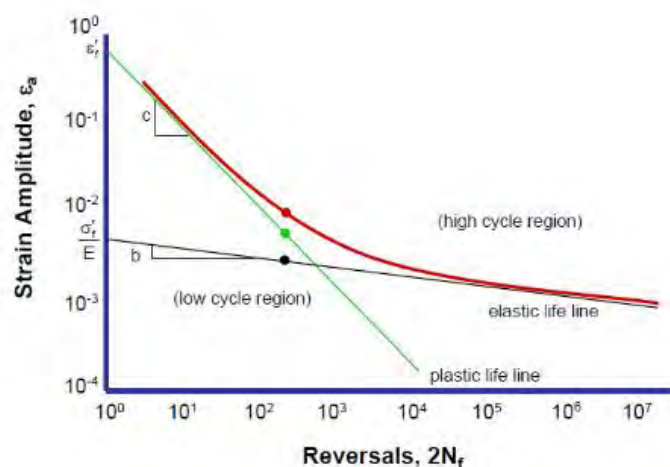


Fig.7.5. Analiza completă la oboseală [1]

- Diagrama deformațiilor în funcție de numărul de cicluri de încărcare este variabilă la oboseală:
  - Modelează randamentul materialelor și plasticitatea;
  - Utilizată pentru un număr mai mic de cicluri de încărcare la oboseală.
- Curbele de oboseală ale materialului sunt create cu încărcare sinusoidală, cu amplitudine constantă (fig.7.6):



- In mod obișnuit cu o medie de încărcare 0, de exemplu încărcare complet inversată;
- Incărcarea reală poate avea o amplitudine constantă, poate avea diverse amplitudini sau poate avea o amplitudine variabilă și poate avea o medie a eforturilor diferită de zero.

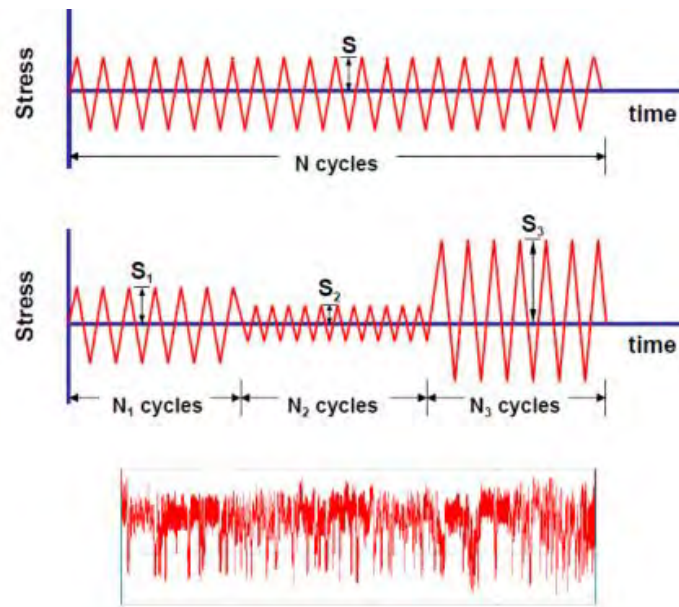
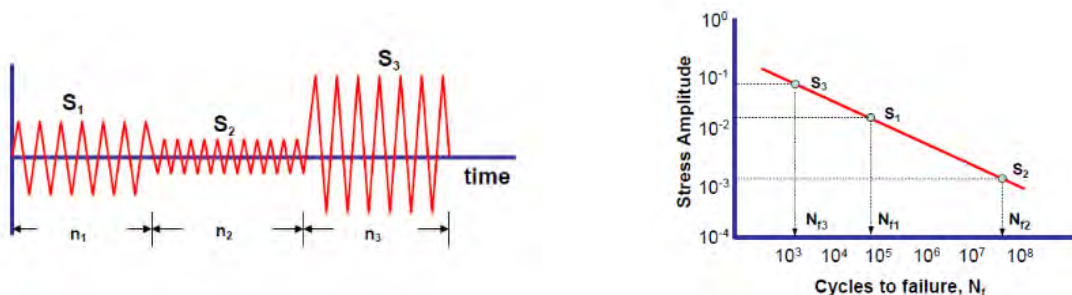


Fig.7.6 Curbele de oboseală ale materialului [1]

Fenomenul de oboseală al materialelor este tratat în literatura de specialitate și necesită determinarea sarcinilor aplicate structurilor, modul de propagare a fisurilor în materialul respectiv și estimarea durabilității elementelor analizate [2].

*Pentru a include efectul mai multor mase cu încărcări de amplitudine ciclică se utilizează legea lui Miner, pentru acumularea daunelor (fig.7.7):*

- Calculează dauna parțială pentru încărcarea fiecărei amplitudini;
- Eșecul este prezis când suma tuturor daunelor parțiale este egală cu unu.



$$Cedare\ parțială = \frac{n_i}{N_i}$$

$$\frac{n_1}{N_{f1}} + \frac{n_2}{N_{f2}} + \frac{n_3}{N_{f3}} + \dots = 1$$

Fig.7.7 Includerea efectului mai multor mase cu legea lui Miner [1].

Pentru determinarea durabilității unui material supus a  $N$  cicluri se folosește următoarea formulă (7.1):

$$D = \frac{n}{N} \quad (7.1)$$

unde:

$n/N$  -raportul ciclurilor.

Ruperea prin oboseală sau cedarea, se produce atunci când , când  $D = 1$ , deci,  $n = N$ .

Criteriul Palmgren-Miner neglijează efectul secvenței solicitărilor (un ciclu de o anumită amplitudine produce totdeauna aceeași deteriorare, independent de amplitudinea ciclurilor care îl preced) și admite o acumulare liniară, deteriorarea fiind proporțională cu raportul ciclurilor  $n/N$  [2].

Regula lui Miner este foarte simplistă (de exemplu, ordinea încărcărilor nu are niciun efect), dar este utilizată pe scară largă.

*Pentru analiza rezistenței la oboseală, cu ciclu mic, unde plasticitatea joacă un rol important, se pot utiliza două metode:*

- I. Calcularea non-liniară a materialelor și utilizarea calculelor de oboseală;
- II. Utilizarea răspunsului liniar al materialului cu un coeficient de corecție pentru randamentul materialului, utilizat în mod obișnuit, pentru randamentul regiunilor cu probleme.

Abordarea Neuber este un exemplu de corecție al plasticității (fig. 7.8).

Coeficientul efectiv de concentrare la oboseală este definit ca raportul între rezistența la boseală fără concentrator și rezistența la oboseală cu concentrator, la o anumită durabilitate (de ex. 107 cicluri) [2].

Se presupune o energie de deformare elastică = energie de deformare plastică, astfel se poate, calcula raspunsul plastic direct din soluția elastică.

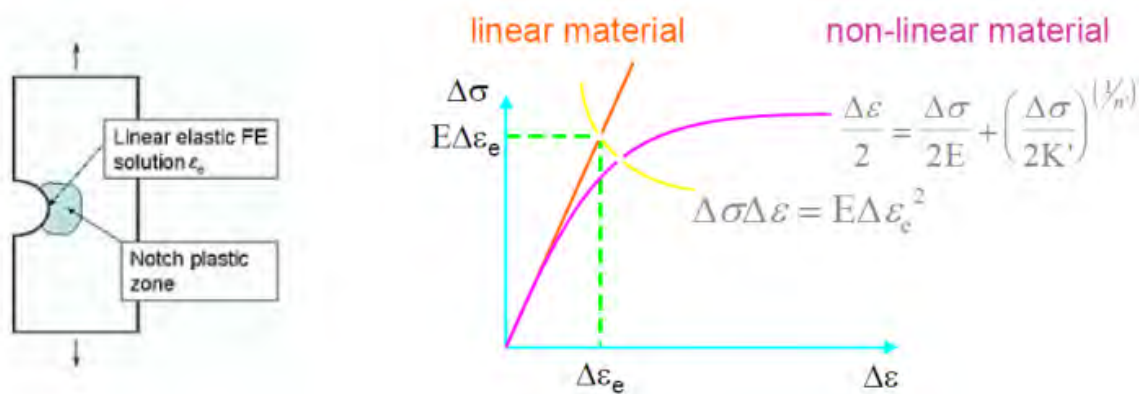


Fig. 7.8 Abordarea Neuber - corecția de plasticitate [1].

La aplicarea regulii lui Neuber, se face distincție între încărcarea inițială și răspunsul ciclic ulterior.

Metoda Neuber ciclică în testarea la oboseală, este scrisă în funcție de tensiune, solicitare și gradul deformației plastice, după un ciclu, și se bazează pe ecuația (7.2) în punctul de concentrare a tensiunilor [2]:

$$\Delta\sigma\Delta\varepsilon = (\Delta\sigma\Delta\varepsilon)_{elas}, \quad (7.2)$$

Care mai poate fi scrisă astfel:

$$\Delta\sigma\Delta\varepsilon = \frac{K_T^2}{E} (\Delta\sigma_n)^2 \quad (7.3)$$

unde:

- $K_T$  coeficient de concentrare al tensiunilor în domeniul elastic;
- $\sigma_n$  tensiune nominală;
- $\Delta\varepsilon$  variația deformației;
- $\Delta\sigma$  variația tensiunii.

Dauna dată de oboseală este influențată de efortul mediu al fiecărui ciclu. Media metodei de corecție, a efortului, este modelată și este luată în considerare.

*Analiza propagării fisurilor sub acțiunea sarcinilor ciclice se bazează pe Mecanica ruperii*, și pornește de la eliminarea ipotezei continuității materialului, care stă la baza metodelor  $\sigma - N$  și  $\varepsilon - N$ . Se consideră că pot exista discontinuități inițiale, de tip fisură, care se extind sub acțiunea solicitărilor ciclice și a factorilor de mediu. În literatura de specialitate, s-a căutat o reprezentare ușor de determinat, care să nu depindă de durabilitate [3]. Diagrama amplitudine - tensiune medie poate fi reprezentată printr-o curbă, care a fost asimilată printr-o linie dreaptă, de ecuație (7.4) numită dreapta lui Goodman [2].

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{ar}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_r} = 1, \sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} \quad (7.4)$$

unde:

- $\sigma_a$ , amplitudinea tensiunii;
- $\sigma_m$ , tensiunea medie;
- $\sigma_{max}$ , tensiunea maximă.

S-a observat că această dreaptă, descrie comportarea materialelor, cu ductilitate redusă.

**Metode support:**

- Goodman  $\longrightarrow \sigma_e(R) = \sigma_a \left[ \frac{\sigma_u}{\sigma_u - \sigma_m + \sigma_a \frac{(1+R)}{(1-R)}} \right] \quad (7.5)$

- Gerber;
- Interpolare;
- FKM;
- Doar tensiune Goodman;
- Doar tensiune Gerber.

**Etalon de timp (time-history compression- fig.7.9):**

- Analiza in timp se poate accelera utilizand diverse metode;
- Metoda minim-maxim se folosește doar pentru inversarea încărcărilor;
- Metoda limitelor se foloseste doar pentru minimul și maximul fiecărui canal de încărcări.

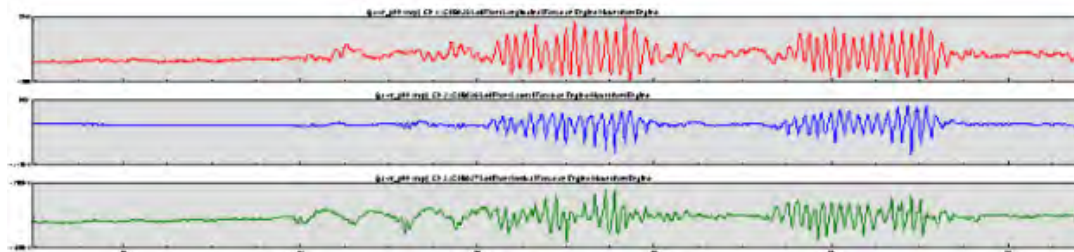


Fig. 7.9 Acelerația etalon de timp [1].

**Rezistența la oboseală multiaxială:**

- Condensarea tensorului de efort la un singur efort utilizând metoda **Von Mises** sau valoarea maximă principal absolută;
- Metoda planului critic identifică planul cu cele mai multe daune.

**7.2 Conceptul FEA (Finite Elements Analysis - analiză cu elemente finite) aplicabil structurilor compozite din domeniul construcțiilor**

Acest concept a apărut din necesitatea existenței unor sisteme puternice de calcul de rezistență, de transmitere a căldurii și a altor fluxuri și câmpuri întâlnite în inginerie. De asemenea, optimizarea formelor pornind de la anumite criterii s-a dezvoltat în urma adâncirii concurenței pe piața produselor din industria aeronautică, a autovehiculelor și a bunurilor de larg consum. Pe piața programelor de element finit și elemente de frontieră s-au dezvoltat următoarele produse mai importante:

- ANSYS produs de Ansys Inc.;
- COSMOS produs de Structural Research & Analysis Corporation;
- NASTRAN produs MSC Software.

Analiza cu element finit pentru un model tridimensional (piesă-part) presupune parcurgerea următorilor pași:

- Generarea modelului tridimensional utilizând modul propriu de definire 3D sau importarea acestuia dintr-un program CAD specializat;
- Definirea constrângerilor, a forțelor, a presiunilor, a surselor de căldură, de radiații etc. sau a legilor de definire ale acestora atunci când se lucrează în regim dinamic;
- Impărțirea modelului inițial în elemente finite utilizând diferite tehnici în urma căreia se obține modelul MESH;

- Rularea analizei care are ca rezultat obținerea de hărți de tensiuni, de deplasări, de deformări, de temperaturi etc.

### 7.2.1. Simularea curgerii fluidelor cu COSMOSFLOWWORKS (CFD - Computer Fluids Dynamics)

Soluția de simulare virtuală **SolidWorks** este completată de modulul **COSMOSFloWorks**, software de simulare a *curgerii fluidelor* [4].

În cazul clădirilor analizate este necesară introducerea, ca parametru de intrare, a fluidului – aer, în vederea obținerii de rezultate cu privire la modul de curgere al fluidului (turbulent sau laminar), la presiunea aerului și distribuția temperaturii pe suprafața exterioară a unei clădiri sau în interiorul acesteia.

### 7.3 Strudiu de caz I- Generarea modelul tridimensional al Culei Izvoranu- Geblescu (Brabova)

Pentru obținerea modelului tridimensional complet al Culei Izvoranu- Geblescu, din comuna Brabova, județul Dolj, analizat în subcapitolul 6.3.7, s-au utilizat planșele obținute prin măsurare și constatare directă. O parte dintre acestea sunt redată în figura 7.10

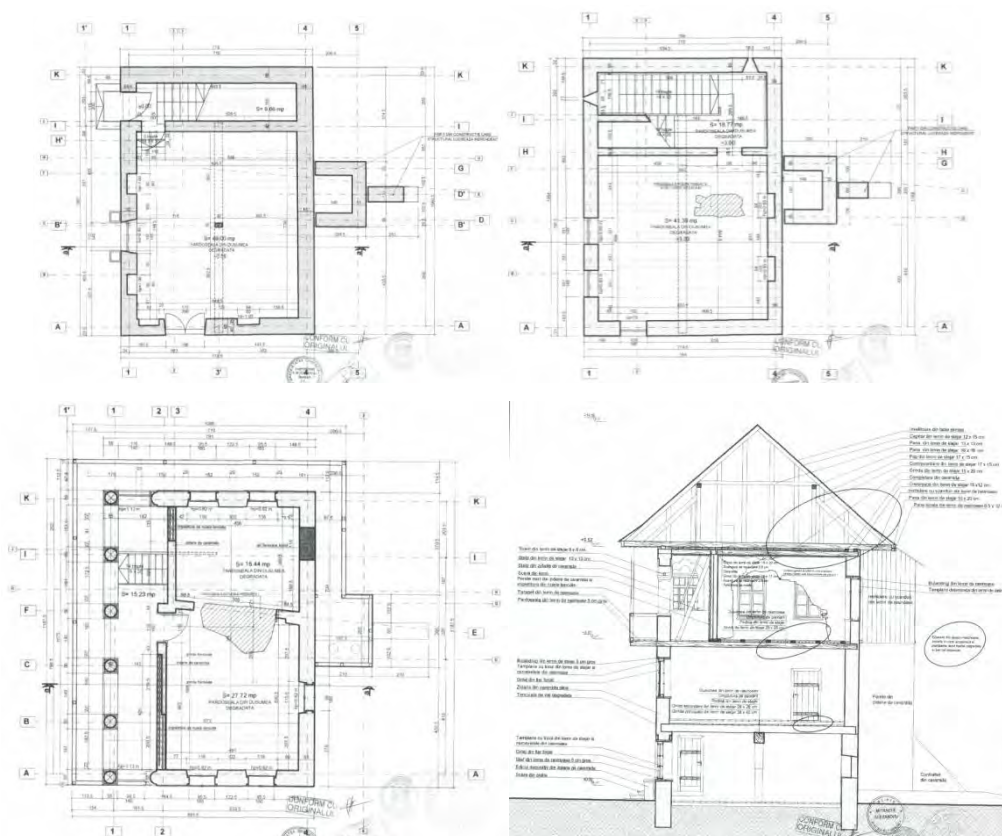




Fig. 7.10 Planuri utilizate la modelarea 3D a Culei Ivzoranu-Geblescu

De asemenea, s-au realizat o serie de fotografii, din care, o parte sunt prezentate în figura 7.11 (arhiva personală).





Fig.7.11 Fotografii ale Culei Izvoranu-Geblescu, din Brabova.

Parterul clădirii a fost modelat pornind de la doua schite: prima corespunzand cotei 0,00m și cea de-a doua cotă 3,60m (fig.7.12) [4].

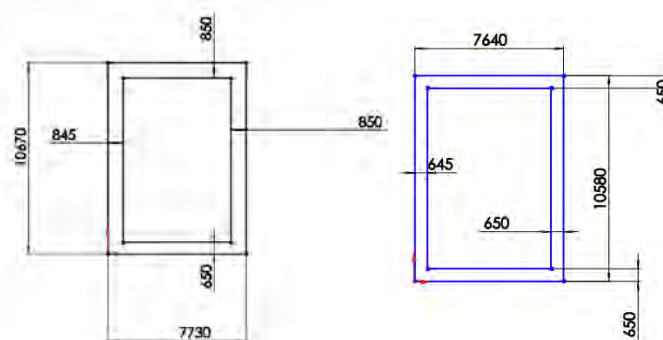


Fig. 7.12 Cele doua schițe, care definesc parterul culei.

Folosind forma de tip *Loft*, a fost definit solidul primar al parterului (fig. 7.13) [4]

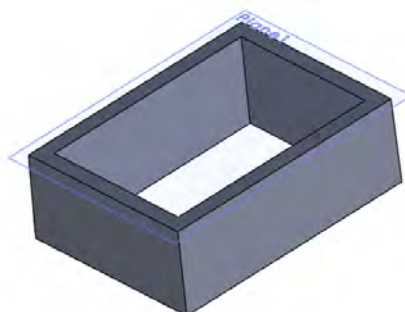


Fig.7.13 Solidul inițial al parterului

Pentru generarea unui gol pentru ușă în planul de bază, s-a schițat trapezul din figura 7.14a. Folosind comanda *Cut Extrude*, se obține golul pentru ușă, prezentat în figura 7.14b. [4].

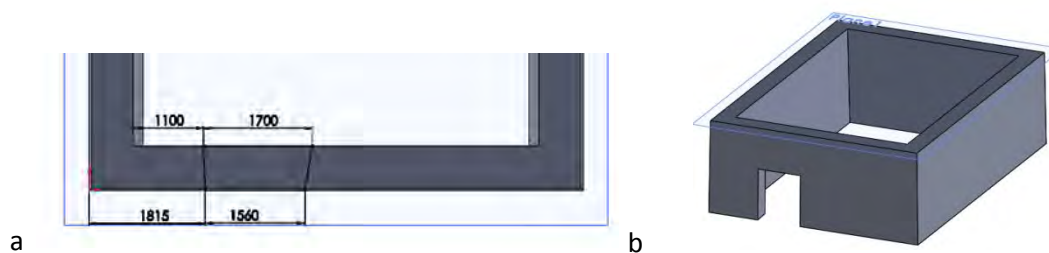


Fig.7.14 Schița din planul de bază pentru obținerea golului de ușă.

Utilizând un plan amplasat la 100 cm față de planul de bază, s-au generat, asemănător, scafele prezentate în figura 7.15a. Asemănător, utilizând comanda *Cut Extrude*, s-au obținut și alte goluri (fig. 7.15b).

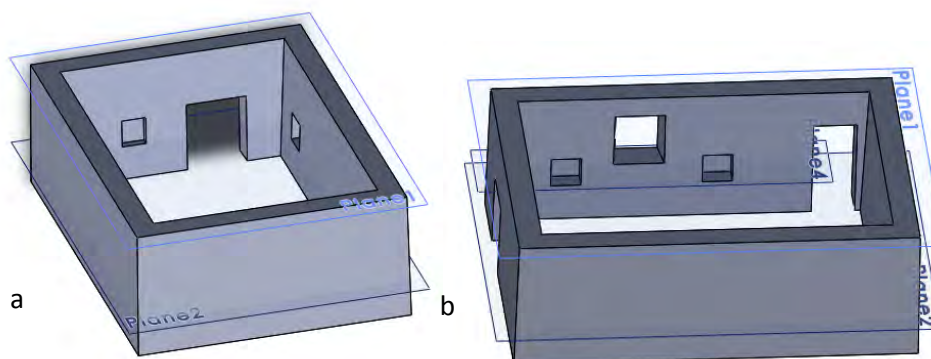


Fig.7.15 Scafele din perete și alte goluri obținute cu Cut Extrude.

Utilizand comenzi asemanatoare, s-a obținut, modelul final al parterului, prezentat în figura 7.16.

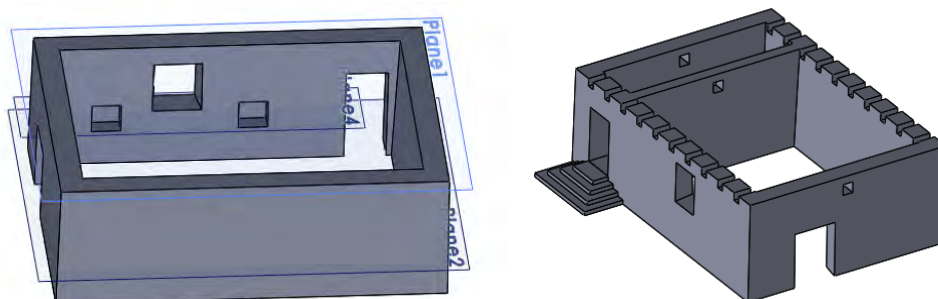


Fig.7.16 Modelul final al parterului



Asemănător, a fost obținut etajul întâi prezentat în figura 7.17 [4].

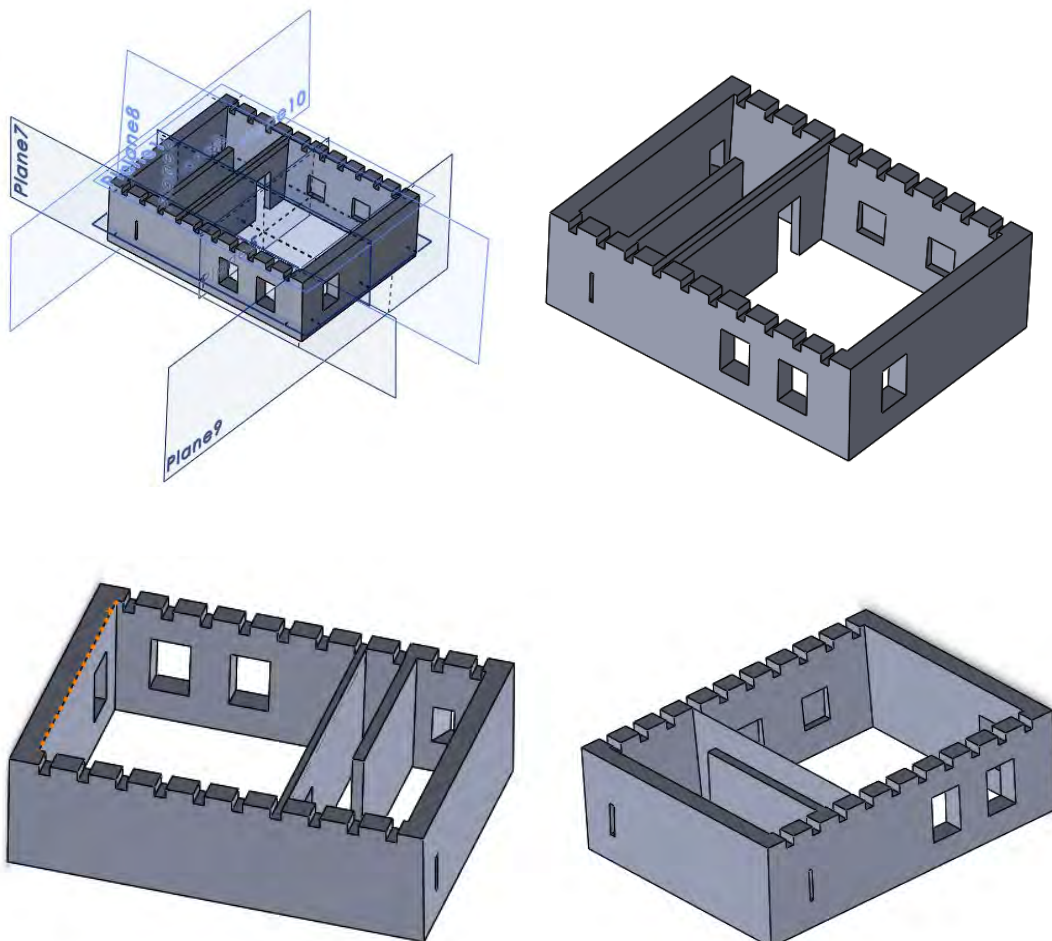


Fig.7.17 Modelul etajului întâi

Folosind comenzi similare s-a generat modelul etajului al doilea prezentat în figura 7.18.

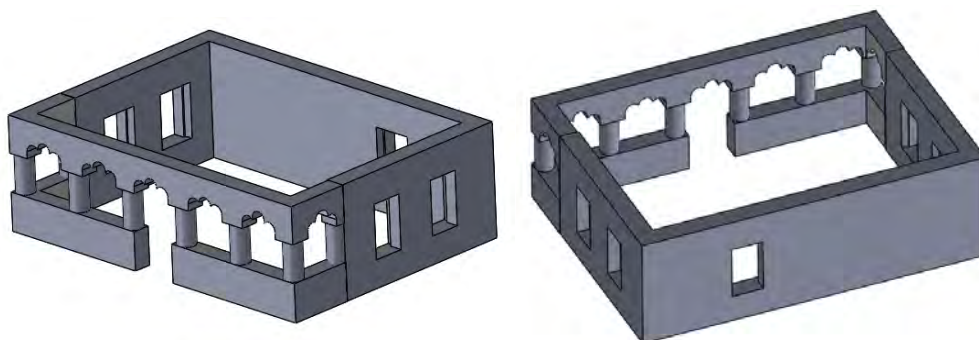


Fig.7.18 Modelul etajului al doilea

Folosind comenzi similare s-au modelat și elementele din lemn prezentate în figura 7.19 [4].

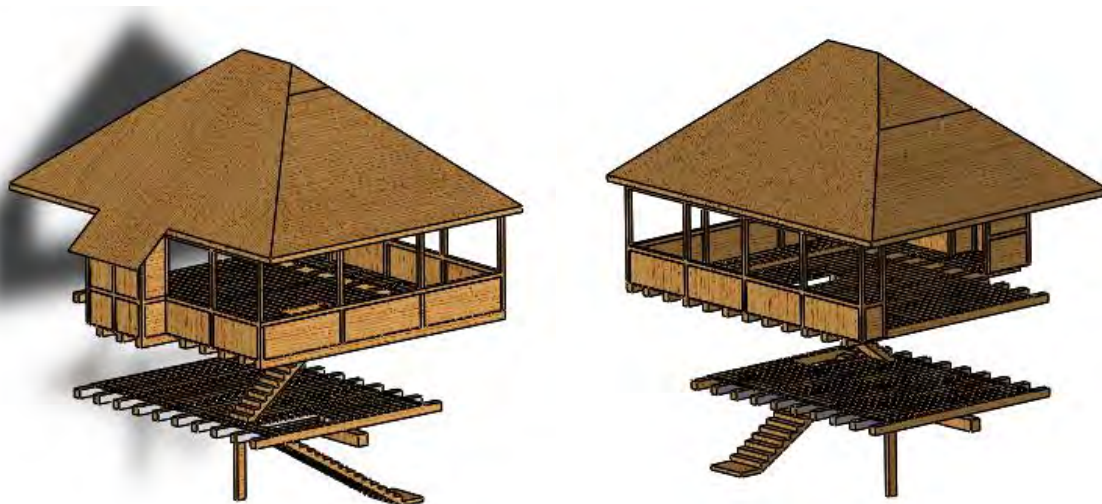


Fig.7.19 Elemente din lemn

Modelul a fost completat cu fundația și pardoseala din cărămidă (fig. 7.20).



Fig.7.20. Fundația și pardoseala

Toate aceste componente au fost încărcate în modulul *Assembly* al programului **SolidWorks** unde, prin constrângeri de tip *Mate* s-a obținut modelul final al culei de la Brabova (fig.7.21) [4].

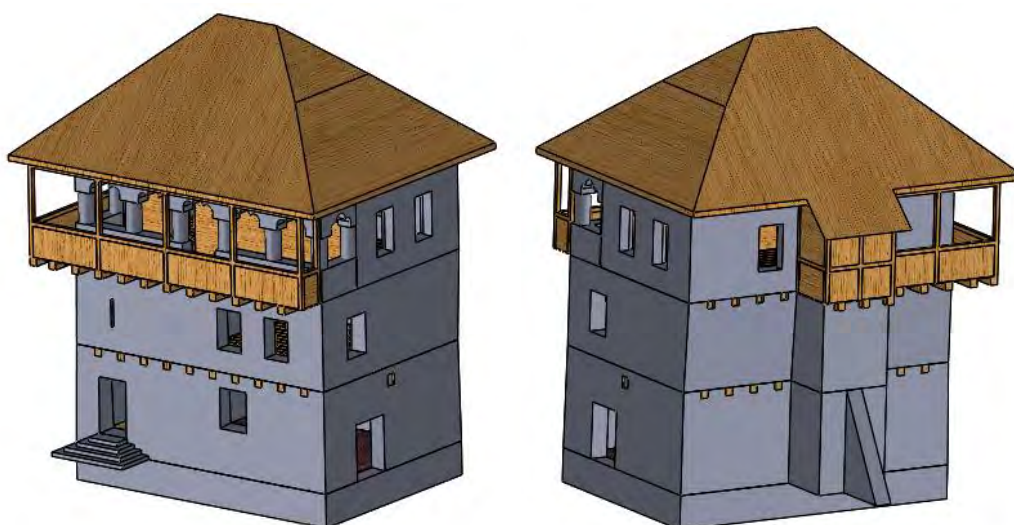


Fig.7.21. Modelul final al culei Izvoranu-Geblescu, Brabova

### 7.3.1 Determinarea comportamentului culei de la Brabova la solicitările datorate vântului, utilizând modulul *Flow Simulation*

Pentru determinarea efectului vântului asupra culei s-a apelat la modulul **Flow Simulation Analysis**. Pentru a defini parametrii necesari rulării unei astfel de aplicații, s-au analizat, diferite statistici și arhive meteo. Astfel, din figura 7.22 se poate extrage direcția vântului și viteza sa.

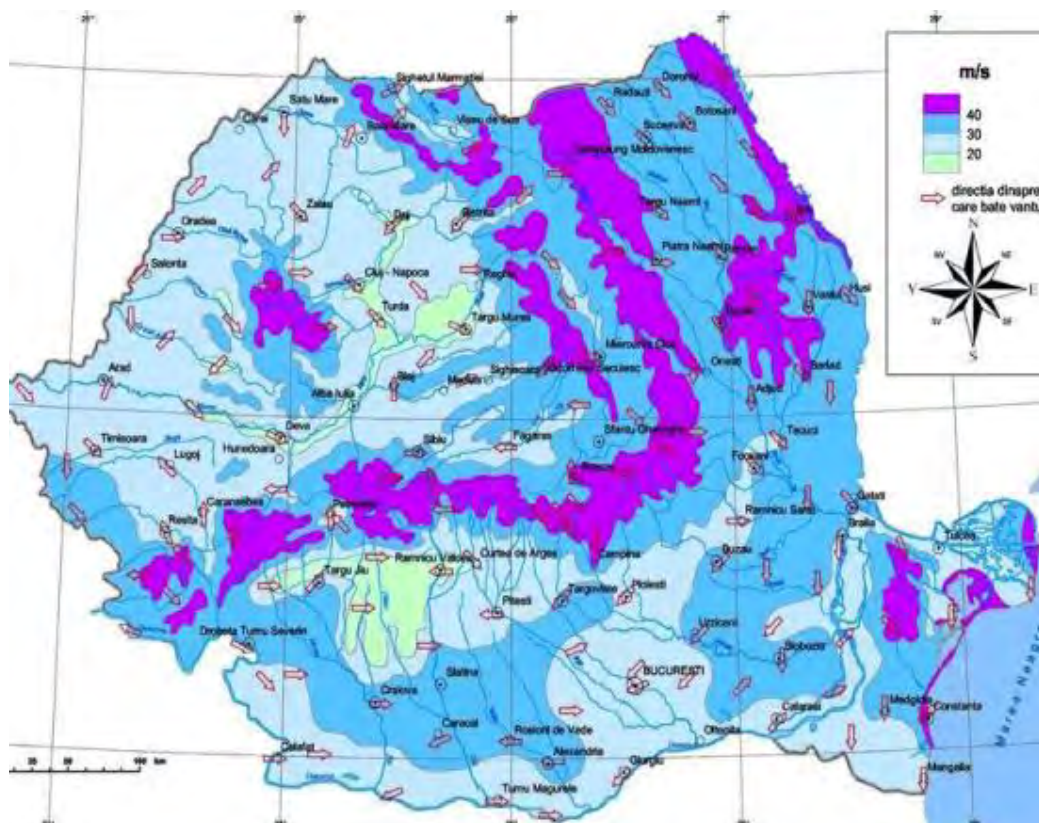


Fig.7.22. Harta direcției și viteza vântului [5]

Din figura 7.22, se constată, că acțiunea vântului asupra clădirii studiate, se va face din direcția vest și va fi de 35 m/s.

De asemenea, este important de știut câte zile din an sunt zile cu vânt. Din arhiva meteo, pentru zona studiată, s-a constatat, statistic, că vântul acționează trei zile pe an (fig.7.23).

Din statistici, o zi de vânt are în medie 32 de rafale. Concluzionând, se poate spune că într-un an, se pot considera că sunt 96 rafale de vânt de 35m/s.

Având aceste date stabilite, se pot defini principalii parametri pentru simularea solicitării la vânt, pentru clădirea analizată. Într-o primă fază se definește mediul de lucru (aerul) și viteza acestuia (fig.7.24).

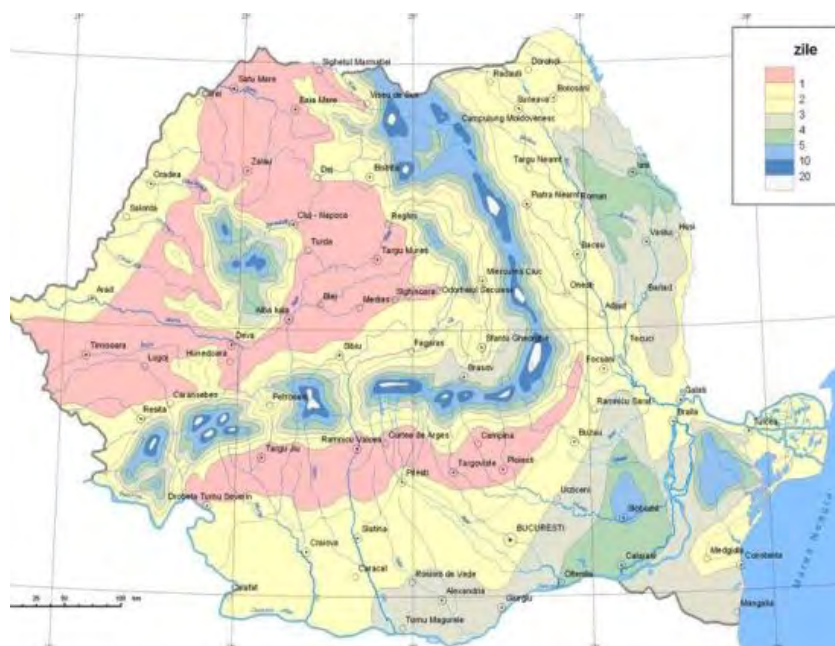


Fig.7.23 Durata acțiunii vântului [5]

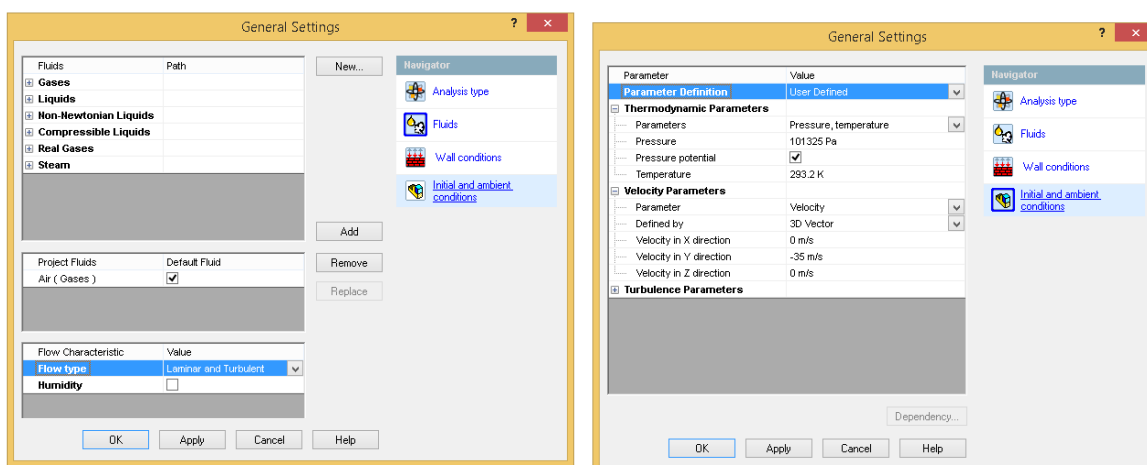


Fig.7.24. Stabilirea mediului de lucru

De asemenea, s-a definit domeniul computațional în care este cuprinsă clădirea analizată (fig.7.25).

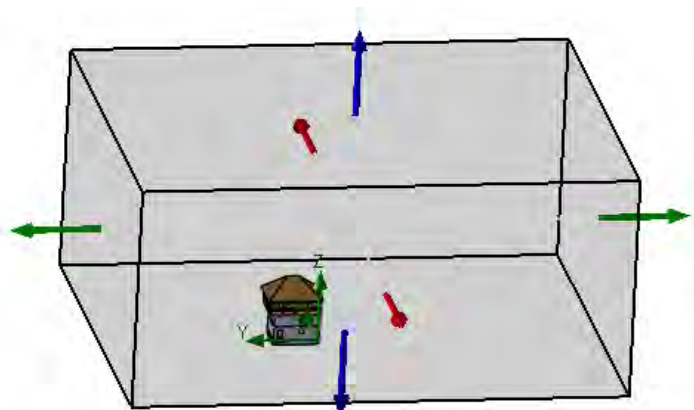


Fig.7.25 Domeniul computațional al simulării

Având aceste date, se poate rula simularea, în funcție de sistemul de calcul, rezultatele apar după câteva zeci de minute. Interesant este în principal, distribuția presiunii pe fațadele clădirii analizate. Astfel, în figurile 7.26-7.29 sunt prezentate hărțile cu presiunile obținute pe cele patru fațade.

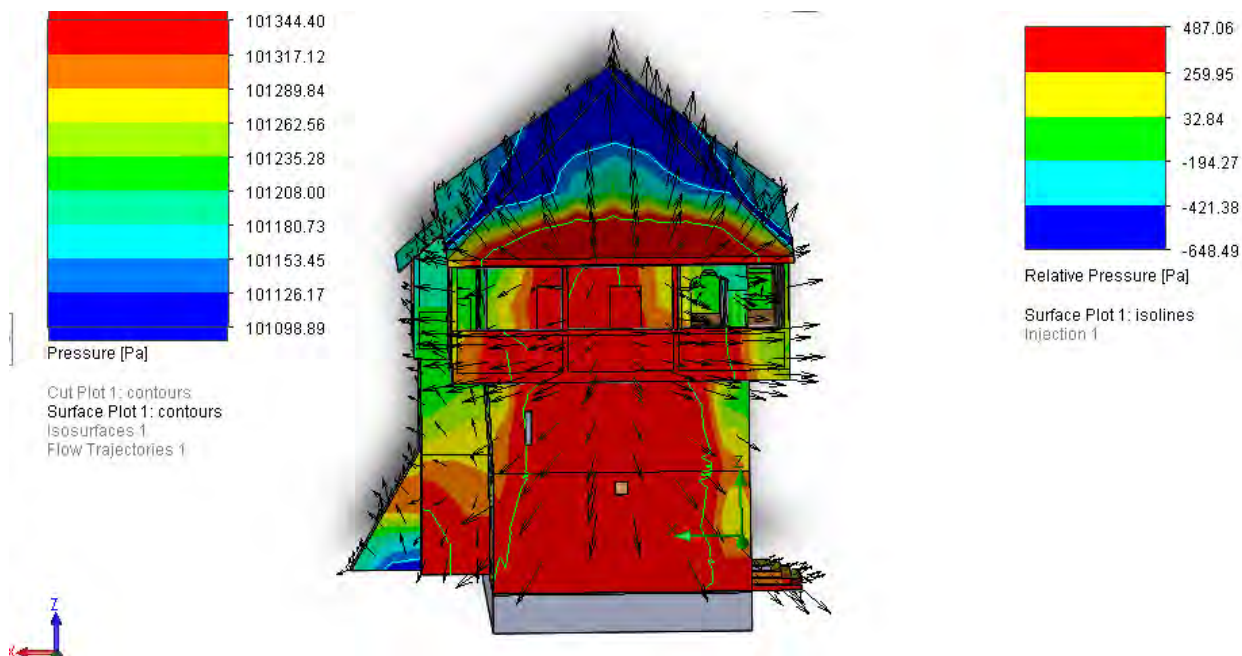


Fig.7.26 Distribuția presiunii pe fațada vest.

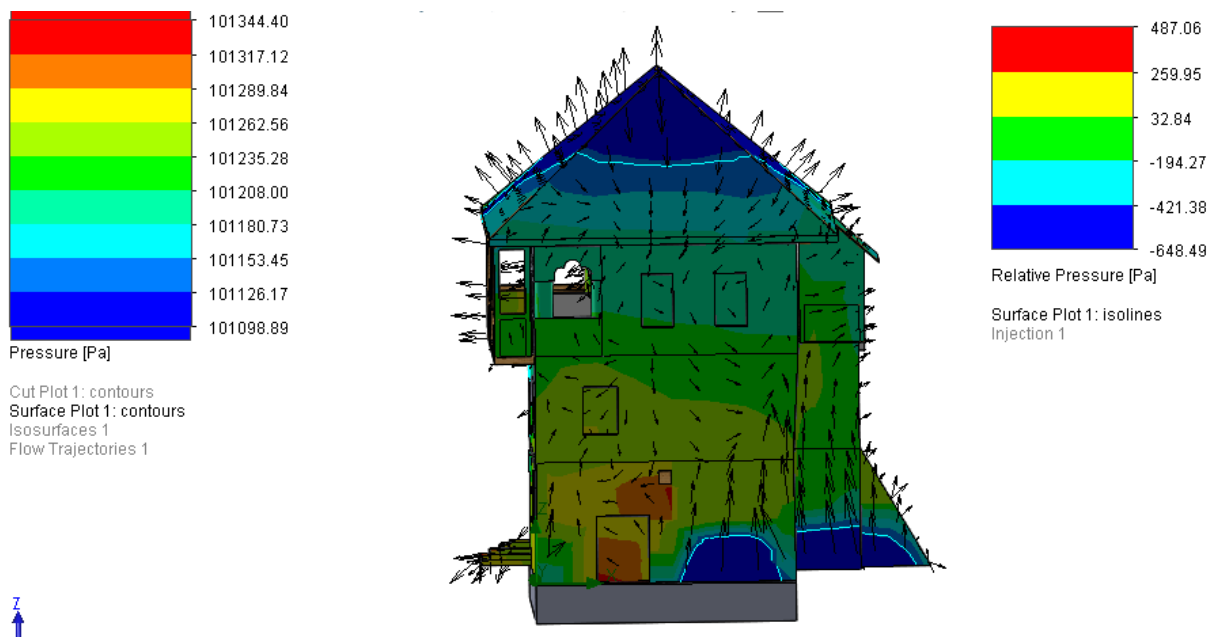


Fig.7.27 Distribuția presiunii pe fațada est.

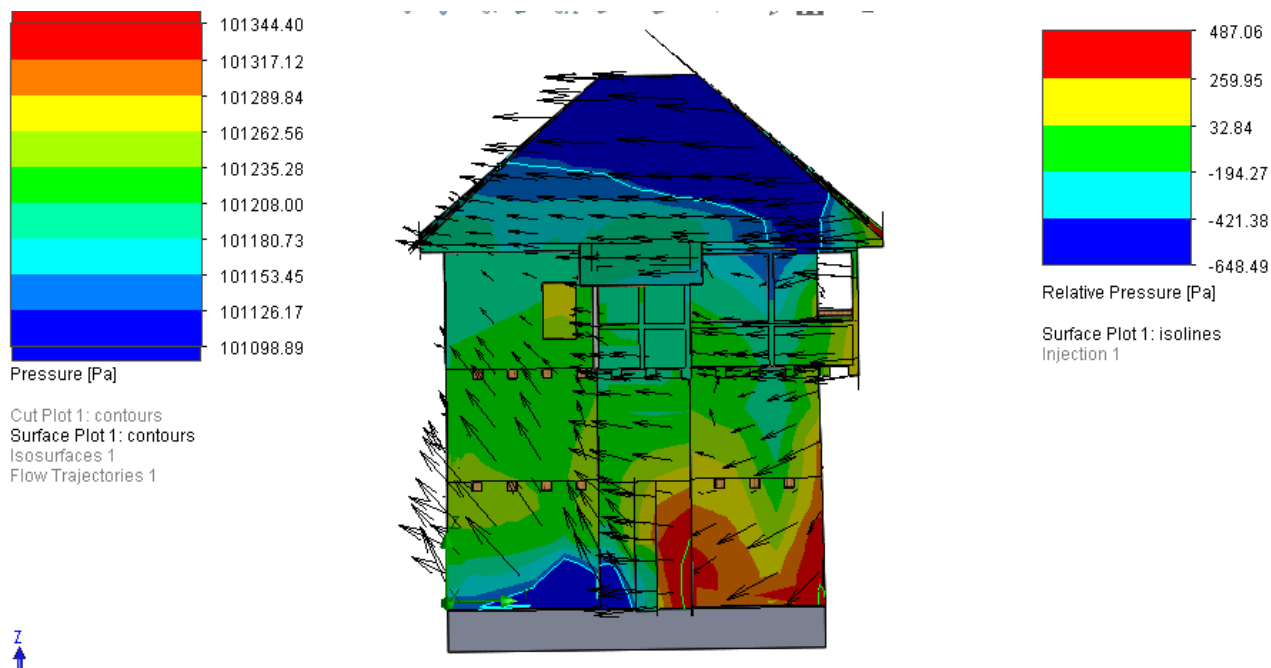


Fig.7.28 Distribuția presiunii pe fațada nord.

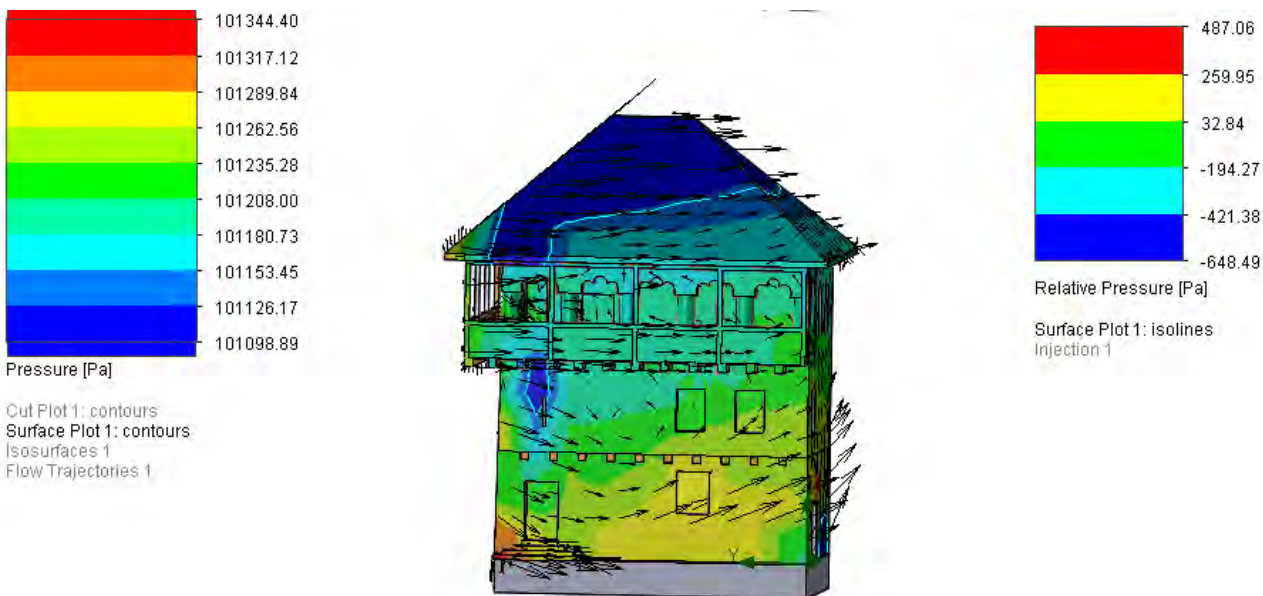


Fig.7.29 Distribuția presiunii pe fațada sud.

Se constată că, presiunea maximă, se obține pe fațada vestică și are valoarea de 101344,4 Pa.

Este importantă și vizualizarea traiectoriilor maselor de aer (fig.7.30), din care, se poate determina, cu ușurință, că pe fațada estică, se formează un vortex.

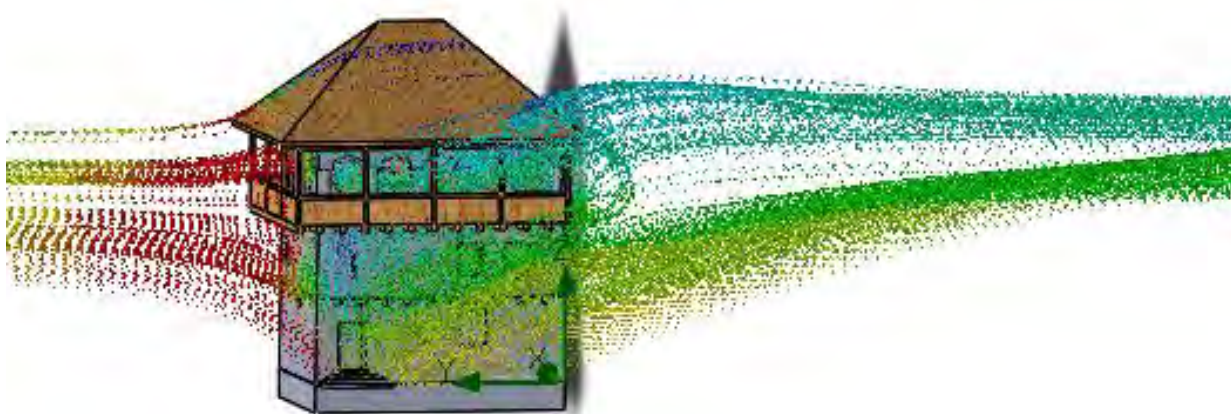


Fig.7.30 Trajectoriile maselor de aer (studiu de particule).

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

#### 7.3.2.1 Simulari numerice ale comportamentului clădirii studiate la vânt și oboseală

Se intenționează, analizarea modelului Culei, folosind încărcările datorate vântului, cutremurelor, zăpezii și fenomenului îngheț-dezgheț. Pentru aceasta, modelul obținut în *SolidWorks* se exportă în *Ansys Workbench*, apăsând menu-ul *Workbench* din menu-ul de acces *Ansys 14* din *SolidWorks*. Prin această operație, geometria clădirii studiate, este exportată în *Ansys*. Inițial, interfața *Ansys* va arata ca în figura 7.31 [6].

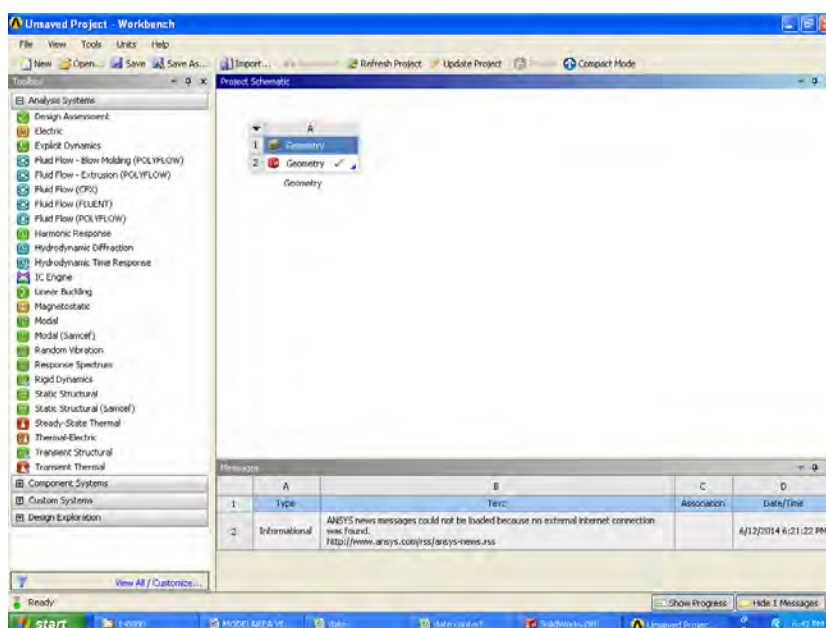


Fig.7.31 Interfața Ansys, după exportarea geometriei din SolidWorks.

În partea din stânga sunt afișate tipurile de simulări care pot fi realizate cu acest program. Pentru studiul expus în această lucrare s-a ales **Static Structural** accesat prin dublu click. Interfața Ansys arată ca în figura 7.32.



Fig.7.32 Alegerea modulului de simulare.

Pentru accesarea în simulare a geometriei deja încărcate, cu click-stânga se “trage” iconita Geometry în *Static Structural*, obținându-se imaginea din figura 7.33.

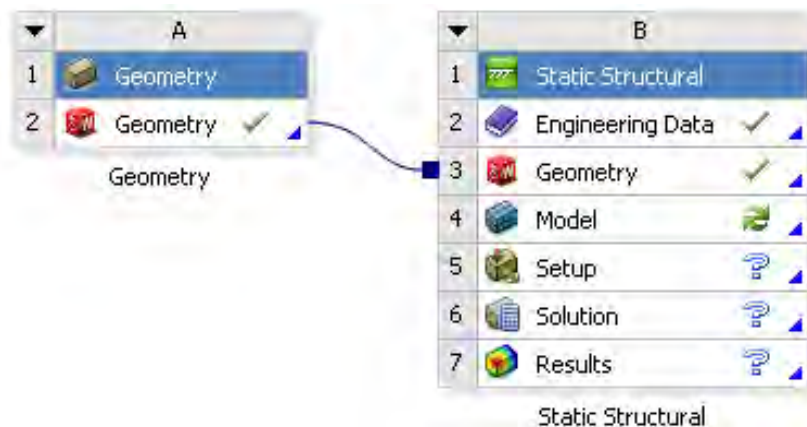


Fig.7.33. Cuplarea geometriei la modulul de simulare.

Este evident că se vor realiza patru simulări statice cuplate cu analiza la oboseală. În final, studiul va arăta ca în figura 7.34



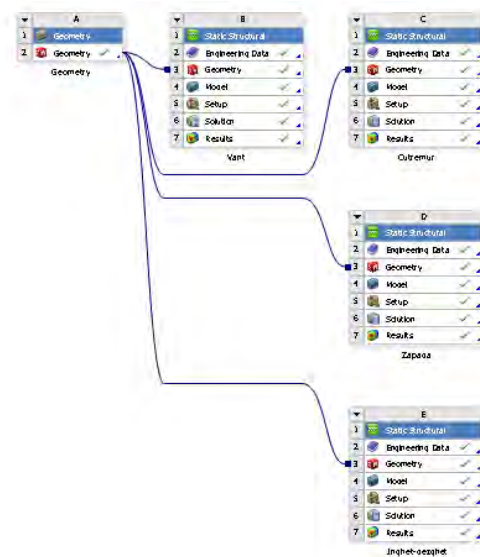


Fig.7.34. Cele patru studii definite în Ansys

Pentru definirea materialului, care se va atașa modelului analizat, se face dublu-click pe *Engineering Data*, obținându-se interfața din figura 7.35.

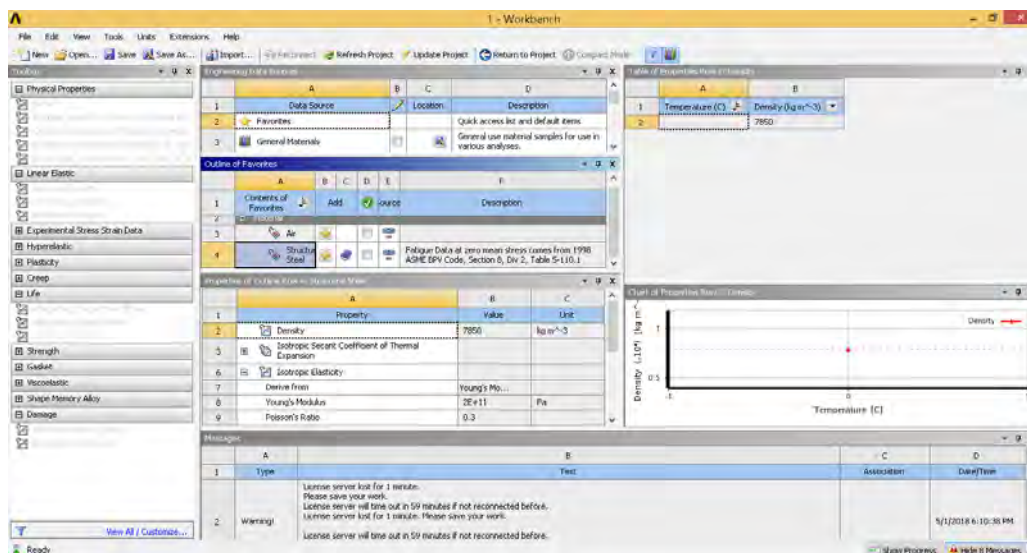


Fig.7.35 Modulul de materiale Engineering Data

Pentru accesarea bibliotecilor cu materiale se apasă iconița *Engineering Data Sources* [6], iar în partea superioară a interfeței sunt afișate acestea. Pentru analizarea clădirii studiate s-a definit o bibliotecă specială de materiale. S-au utilizat materialele din tabelul 7.1 .

Tabelul 7.1

Material	Densitate [kg/m <sup>3</sup> ]	Modulul de elasticitate Young [N/m <sup>2</sup> ]	Coeficientului lui Poisson
Zidarie	1765,4	1,8 · 10 <sup>9</sup>	0.25
Lemn	600	1 · 10 <sup>9</sup>	0.3

De asemenea, sunt importante curbele S-N pentru cele două materiale prezentate în figurile 7.36 a și b.. Pentru curba S-N, pentru zidărie și lemn, s-au analizat mai multe lucrări de specialitate [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14].

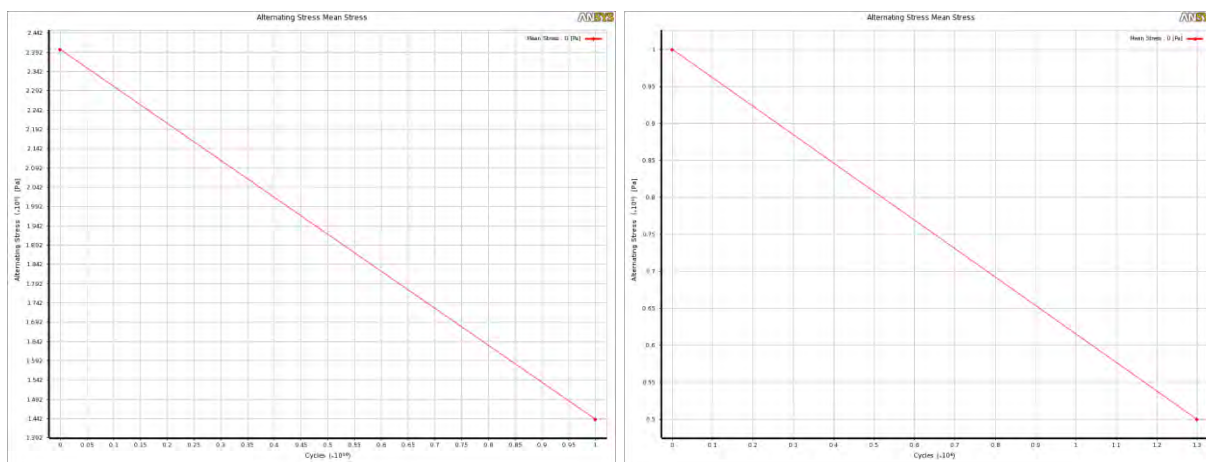


Fig.7.36 a) Curba S-N pentru zidărie, b) Curba S-N pentru lemn.

Pentru definirea parametrilor inițiali, ai simulării, se face dublu-click pe *Model*, iar fereastra Ansys, devine similară cu cea prezentată în figura 37.

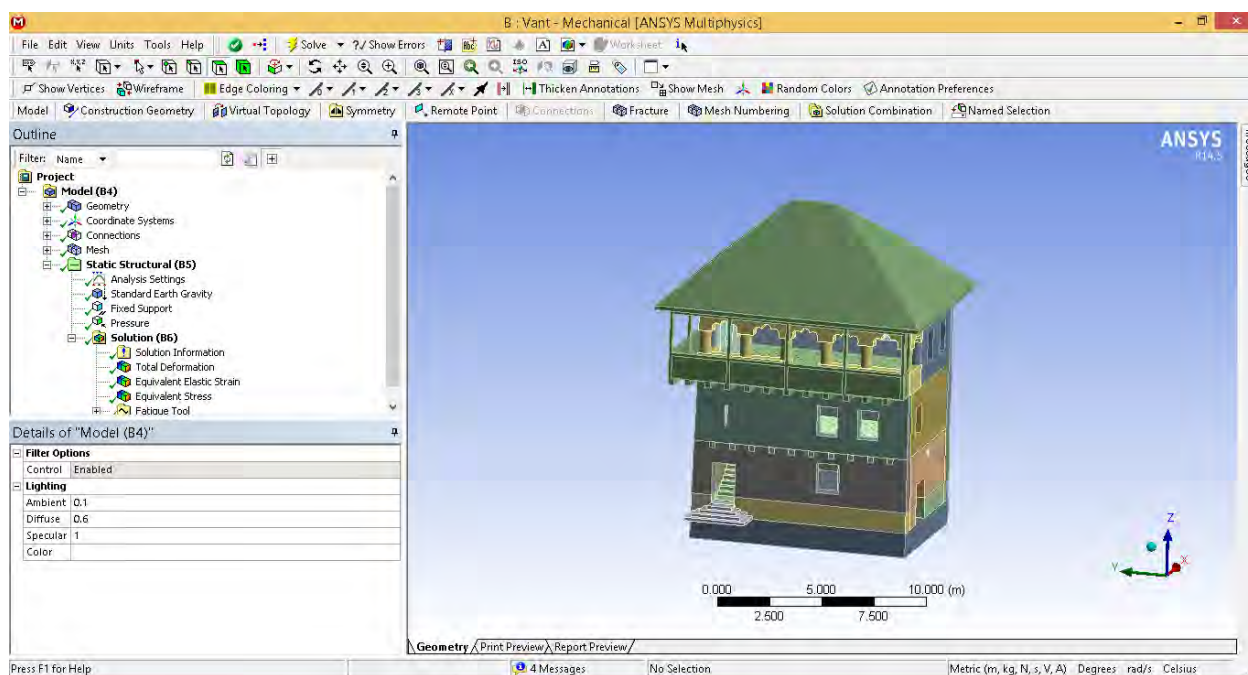


Fig.7.37 Fereastra de lucru *Static Structural* - Vânt.

Pentru obținerea divizării, în elemente finite, se face click-dreapta pe rubrica *Mesh* și cu click-dreapta se selectează *Generate Mesh*. In panoul din stânga-jos, se regăsesc parametrii structurii, de elemente finite (fig.7.38).

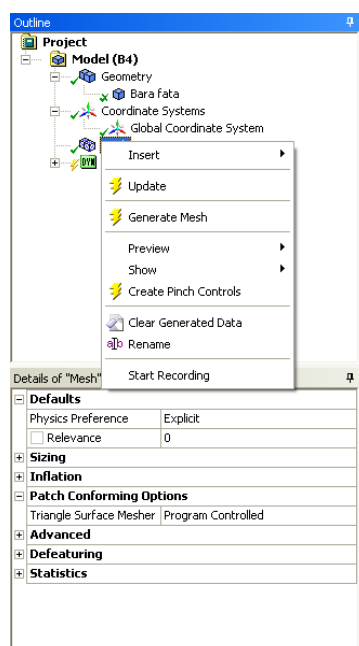


Fig.7.38. Menu-ul de lansare al divizării solidelor în elemente finite

După o perioadă, care depinde de performanțele hard ale sistemului de calcul utilizat, se obține divizarea în elemente finite a modelului analizat (fig.7.39).

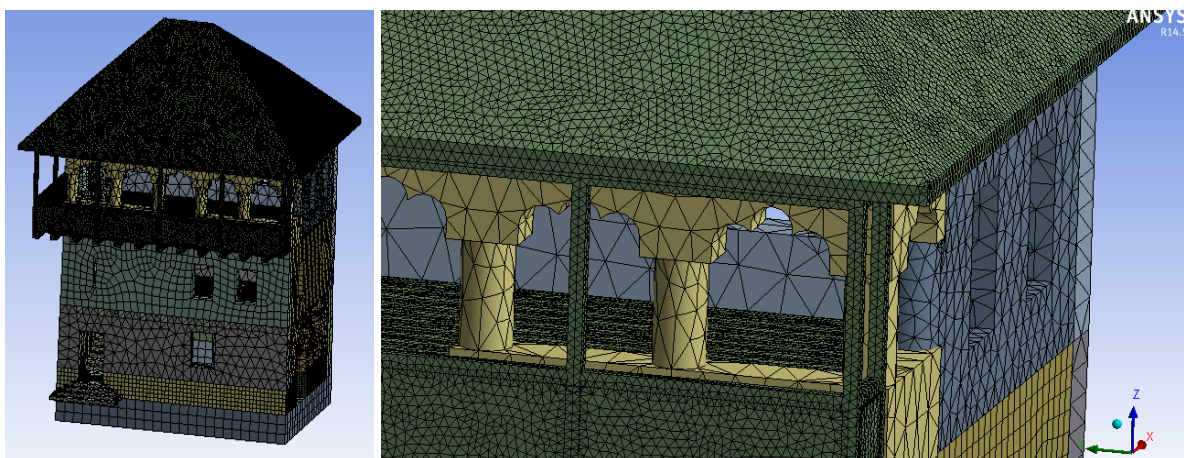


Fig.7.39 Modelul divizat în elemente finite

Pentru definirea presiunii care acționează în simulare, se accesează *Static Structural/Insert/Pressure*. In panoul de definire din stânga-jos se apasă *Geometry Selection* și se selectează suprafețele frontale de pe fațada vest (fig.7.40).

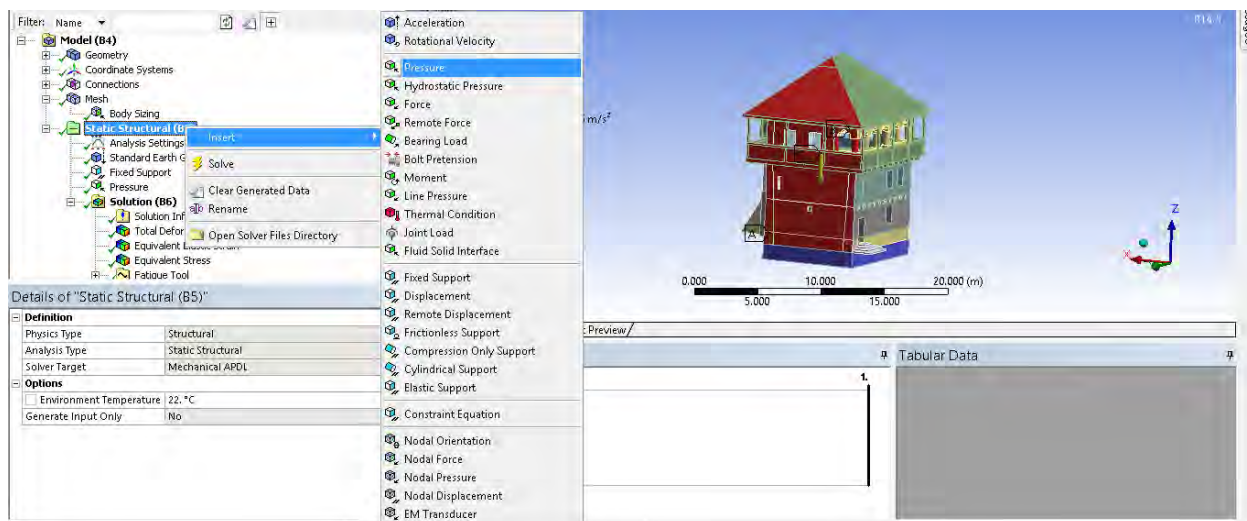


Fig.7.40. Indicarea suprafețelor de acțiune a presiunii

S-a folosit presiunea obținută în simularea *Flow*, în SolidWorks, și anume  $p = 101344,4 \text{ Pa}$ .

În acest moment sunt toate elementele definite și modelul este pregătit pentru analiză. Pentru rularea simulării, se face click-dreapta pe *Static Structural/Solve*. În funcție de capacitățile hardware ale sistemului de calcul utilizat, după o perioadă se obțin rezultatele.

Pe parcursul rulării aplicației se pot afla diferite informații, făcând click pe *Solution Information*. De asemenea, programul afișează o fereastră de status. După rularea aplicației s-au obținut tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În cele ce urmează, sunt prezentate, doar diagramele cu valorile maxime pentru tensiuni de tip *von Mises*. Pentru întregul sistem analizat valoarea maximă a tensiunii a fost de  $7.32 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ .

În figura 7.41 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea analizată.

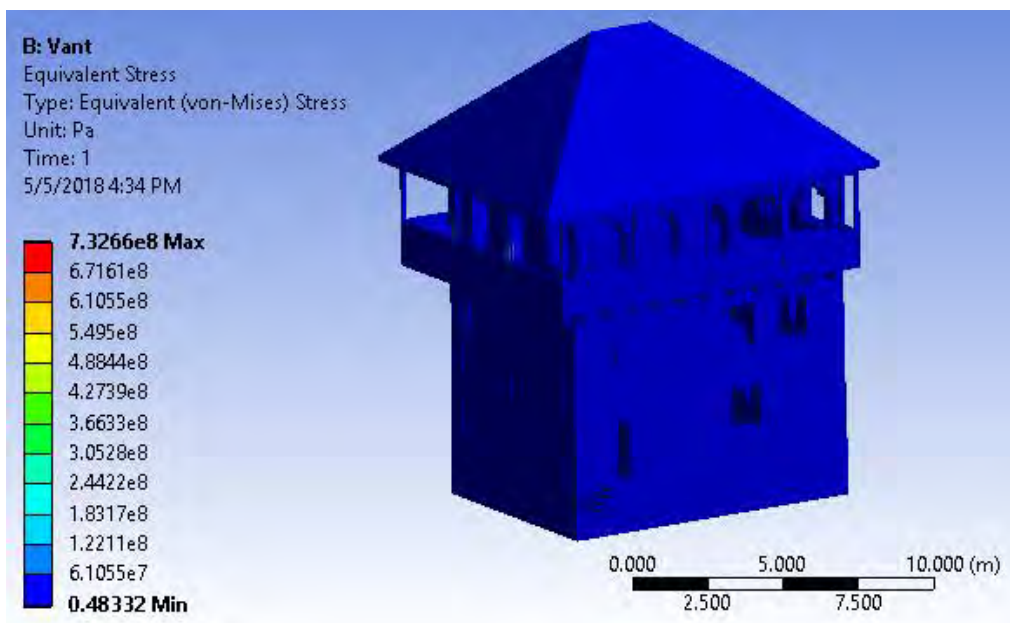


Fig.7.41 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat.

În figura 7.42. este prezentată harta de deformații pentru sistemul analizat.

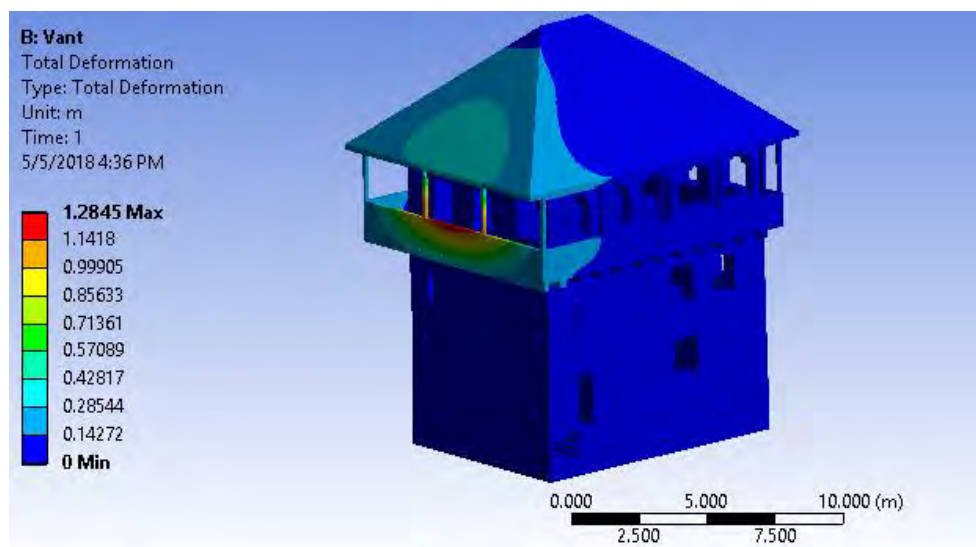


Fig.7.42 Harta de deformații pentru sistemul analizat.

S-a constatat anterior că, pe durata unui an, există în medie 96 de rafale de vânt, deci în decursul unui secol există 9600 de rafale, iar în 200 de ani există 19.200 de rafale. Conform teoriei care stă la baza simulării la oboseală, încărcarea obținută la analiza statică, se va considera a fi aplicată prin 19200 de cicluri de lucru. Rezultatele obținute sunt:

- *Harta Life* (durabilitate) care indică (în roșu) zonele care nu vor rezista la solicitarea ciclică dată, în analiza statică;
- *Harta Damage* (deteriorare) indică durabilitatea "consumată" a structurii analizate de evenimentele care duc la oboseală.

În figura 7.43 este prezentată harta de durabilitate pentru clădirea analizată.

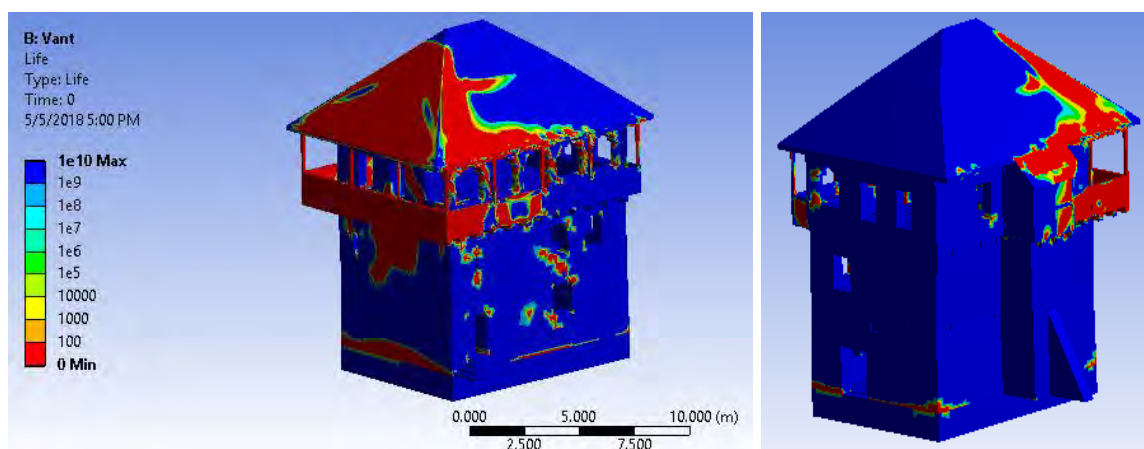


Fig.7.43. Harta de durabilitate pentru 19200 cicluri de încărcare (200 de ani).

In figura 7.44 este prezentată harta de deteriorare pentru 19200 de cicluri de încărcare, echivalent cu 200 de ani.

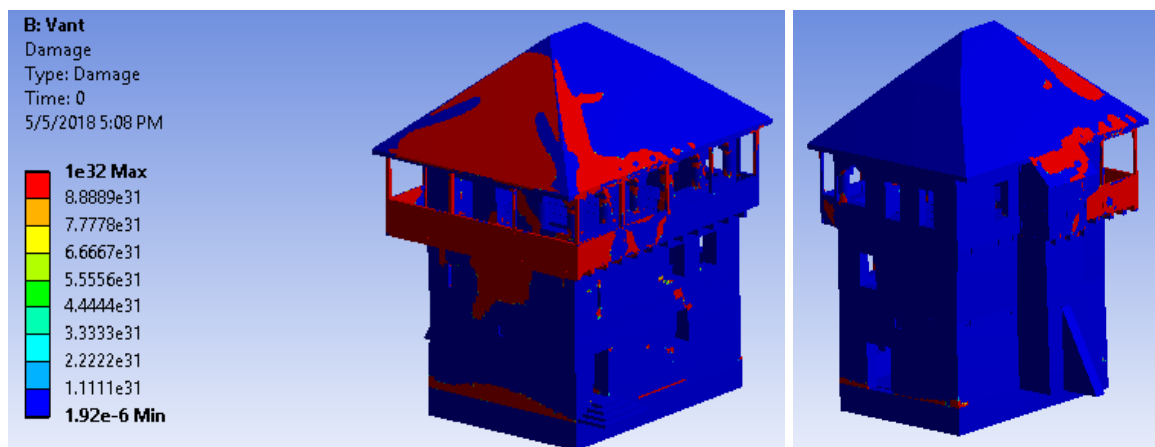


Fig.7.44 Harta de deteriorare pentru 19200 cicluri de încărcare (200 de ani).

### 7.3.2.2 Simulari numerice ale comportamentului clădirii studiate la cutremur și oboseală

Pentru a obține simularea la oboseală, pentru solicitările care apar la cutremur, s-a ținut seama de următoarele considerente:

- S-a analizat harta care prezintă zona de accelerație a terenului pentru proiectare și s-a constatat că aceasta are valoarea  $a_g = 0,2g$ , adică  $a_g = 1.962 \text{ m/s}^2$  (fig.7.45);
- In general, s-a constatat că, în medie, în fiecare secol, avem patru cutremure, două de mare adâncime și două de suprafață;
- Analizând accelerogramele cutremurelor de adâncime și de suprafață, s-a constatat că, în medie, pe durata cutremurelor, accelerația prezintă șapte vârfuri importante;

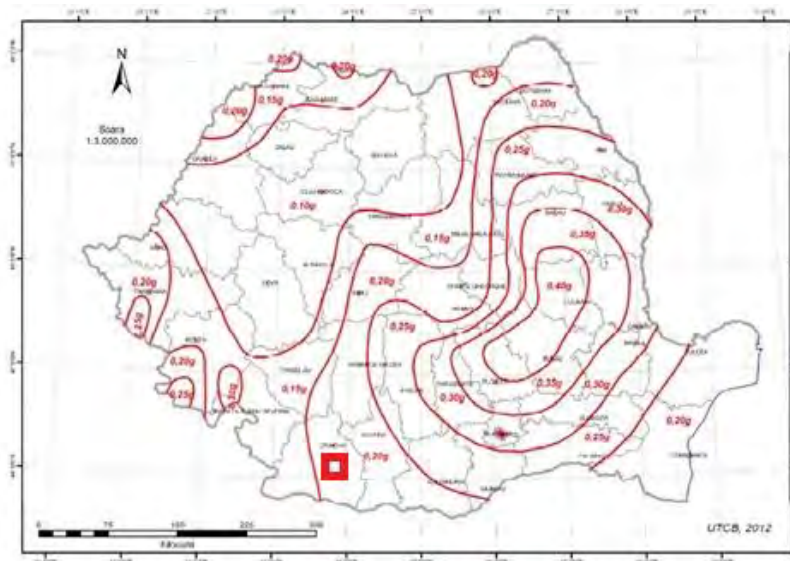


Fig.7.45 Zonarea valorilor de vârf ale accelerației terenului [15]

- Utilizând materialele prezentate în tabelul 7.1 în SolidWorks, s-a calculat automat masa clădirii la valoarea  $m = 295595$  kg. În acest caz, forța de calcul suplimentară datorată cutremurului va fi:

$$F = m \cdot a_g = 579957.4 \text{ N}; \quad (7.6)$$

- Pentru analiza la oboseală, numărul de cicluri de aplicare, a forței pentru 200 de ani:

$$N = 2 \cdot 4 \cdot 7 = 56 \text{ cicluri} \quad (7.7)$$

După rularea aplicației s-au obținut tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În cele ce urmează, sunt prezentate doar diagramele cu valorile maxime pentru tensiuni de tip *von Mises*. Pentru întregul sistem analizat valoarea maximă, a tensiunii, a fost de  $2,68 \cdot 10^7$  Pa. În figura 7.47 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea analizată.

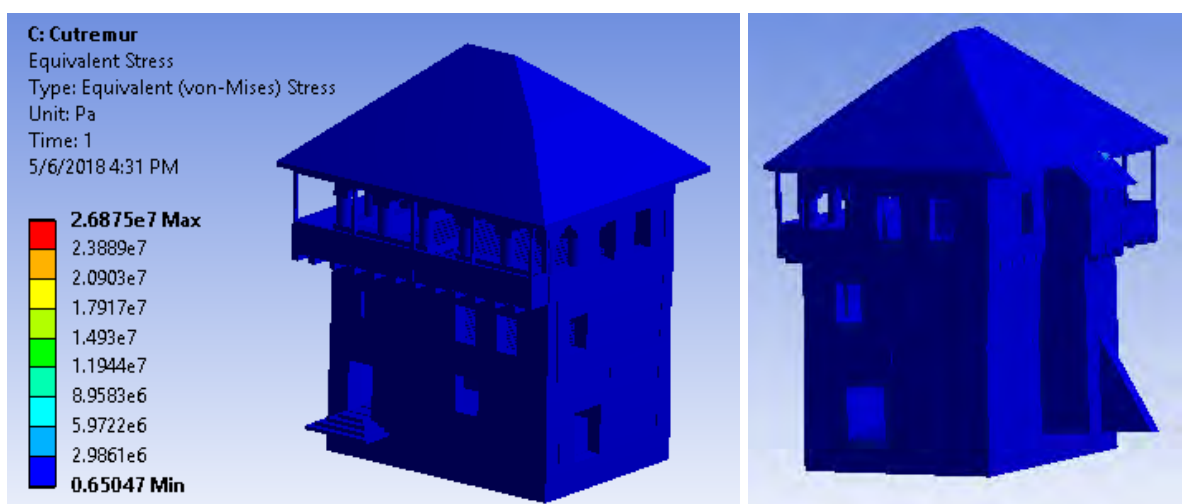


Fig.7.47 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat

În figura 7.48 este prezentată harta de deformații pentru sistemul analizat

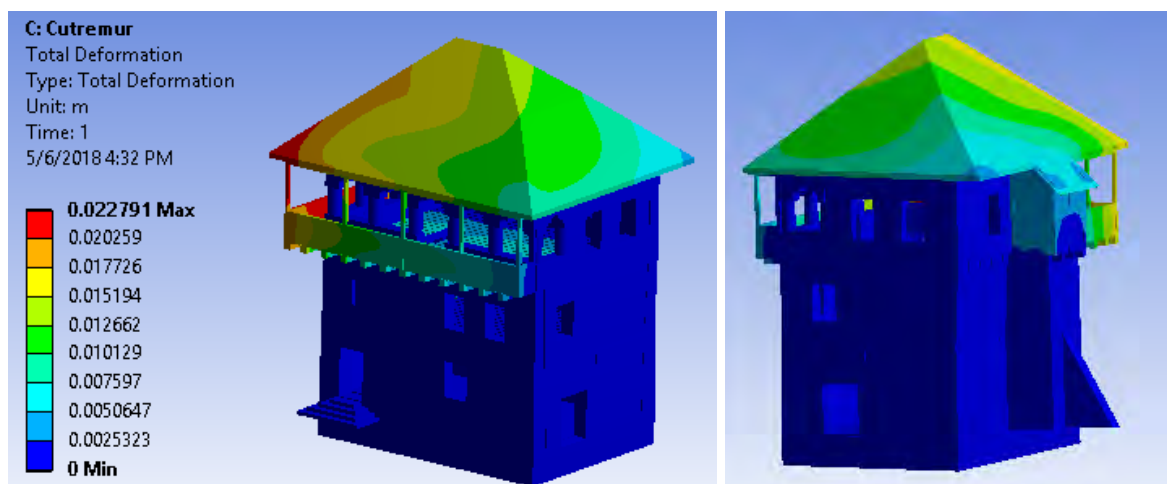


Fig.7.48 Harta de deformații pentru sistemul analizat

În figura 7.49 este prezentată harta de durabilitate pentru clădirea analizată.

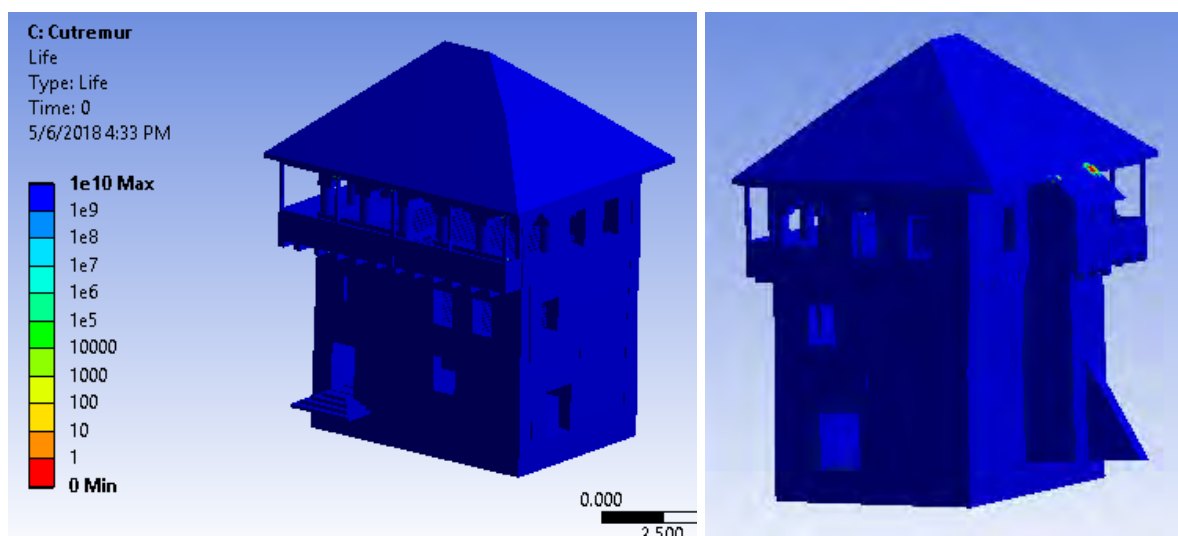


Fig.7.49 Harta de durabilitate pentru 56 cicluri de încărcare (200 de ani).

În figura 7.50 este prezentată harta de deteriorare pentru 56 de cicluri de încărcare, echivalent cu 200 de ani.

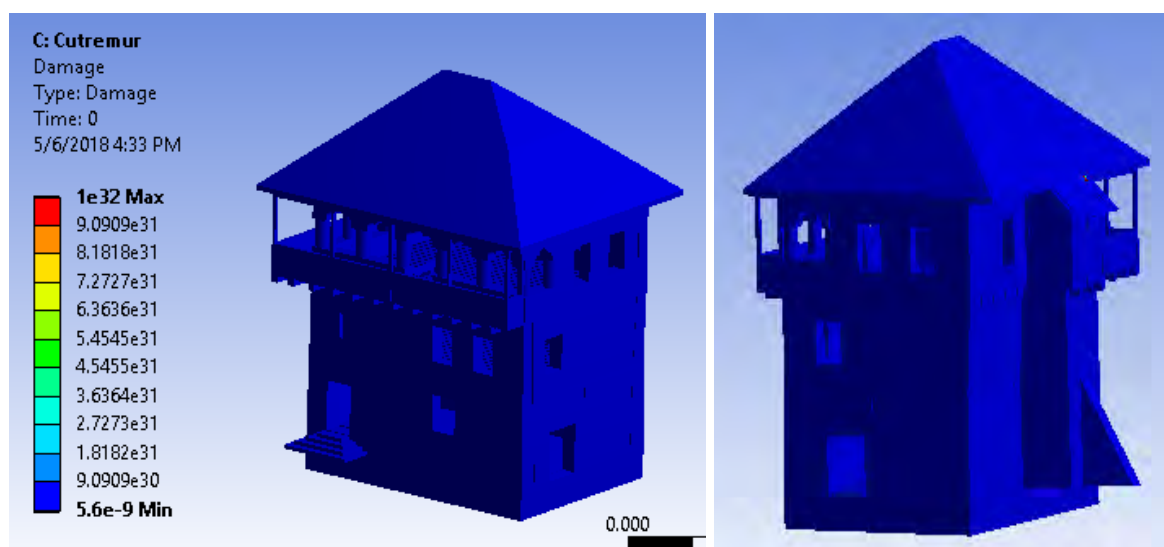


Fig.7.50. Harta de deteriorare pentru 56 cicluri de încărcare (200 de ani).

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

Pentru a obține simularea la oboseală pentru solicitările care apar la încărcarea cu zăpadă s-a ținut seama de următoarele considerente:

- S-a analizat harta care prezintă evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor și, în funcție de poziționarea clădirii analizate, s-a ales o încărcare de calcul de  $2\text{KN/m}^2$  (fig.7.51);



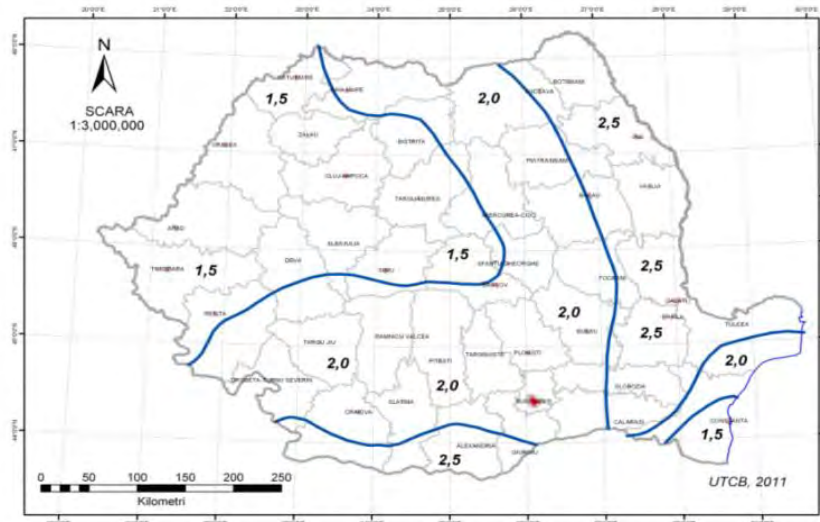


Fig.7.51 Zonarea valorilor caracteristice ale încărcării din zăpadă pe sol  $s_k$ , kN/m<sup>2</sup>, pentru altitudini  $A \leq 1000$  m [16]

- Analizând diferite baze de date meteorologice, s-a constatat că, în medie, într-un an, au loc patru evenimente de încărcare semnificative cu zăpadă. Aceasta înseamnă că, într-un secol, există 400 de evenimente, iar în 200 de ani, 800 de încărcări semnificative cu zăpadă.

După rularea aplicației, s-au obținut tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În cele ce urmează, sunt prezentate, doar diagramele cu valorile maxime pentru tensiuni de tip *von Mises*. Pentru întregul sistem analizat valoarea maximă a tensiunii a fost de  $1,169 \cdot 10^8$  Pa. În figura 7.52 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea analizată.

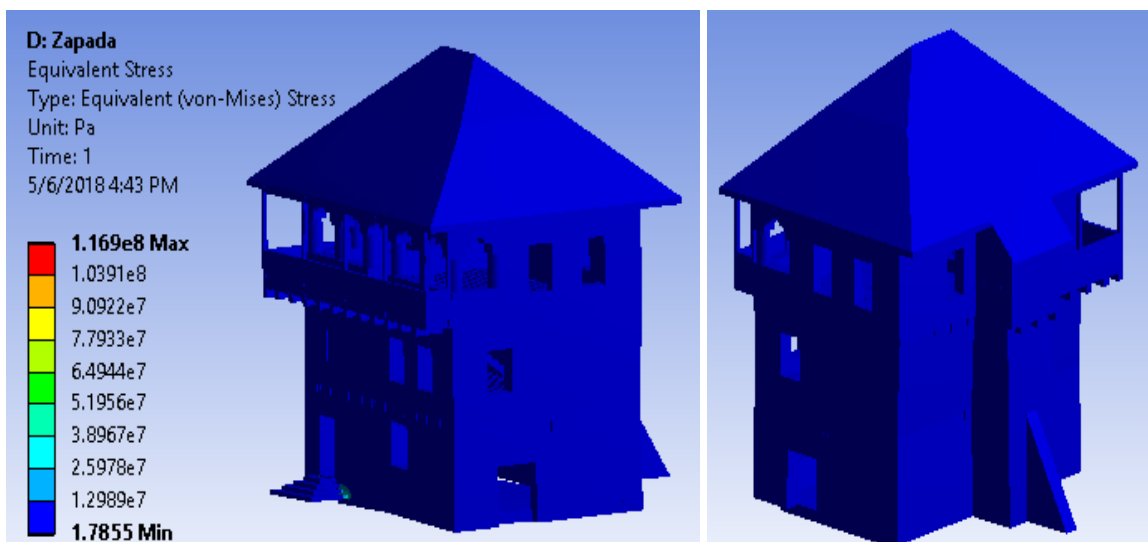


Fig.7.52. Harta de tensiuni pentru sistemul analizat.

În figura 7.53 este prezentată harta de deformații pentru sistemul analizat.

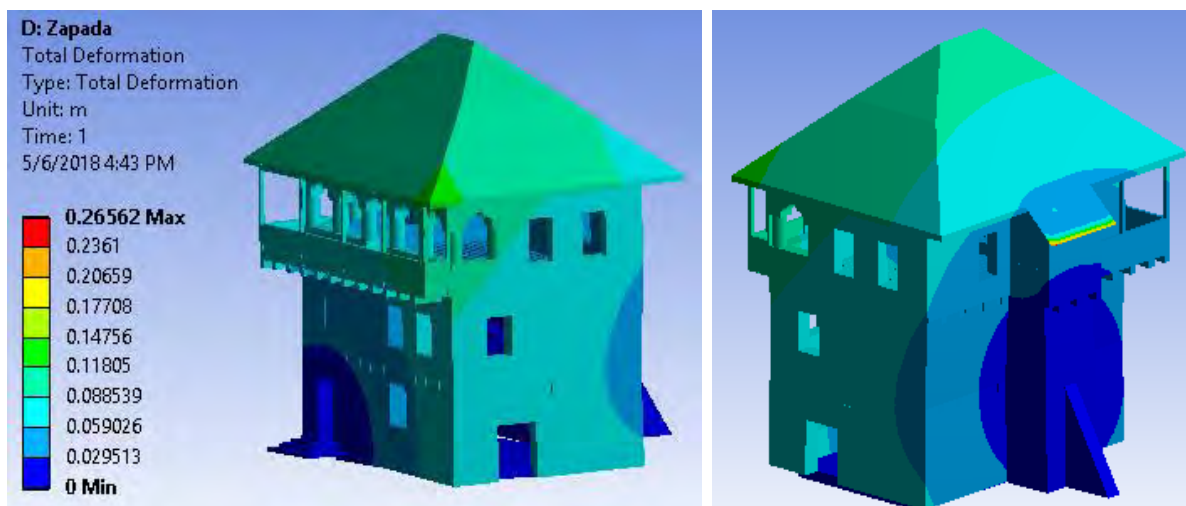


Fig.7.53. Harta de deformații pentru sistemul analizat.

In figura 7.54 este prezentată harta de durabilitate pentru clădirea analizată.

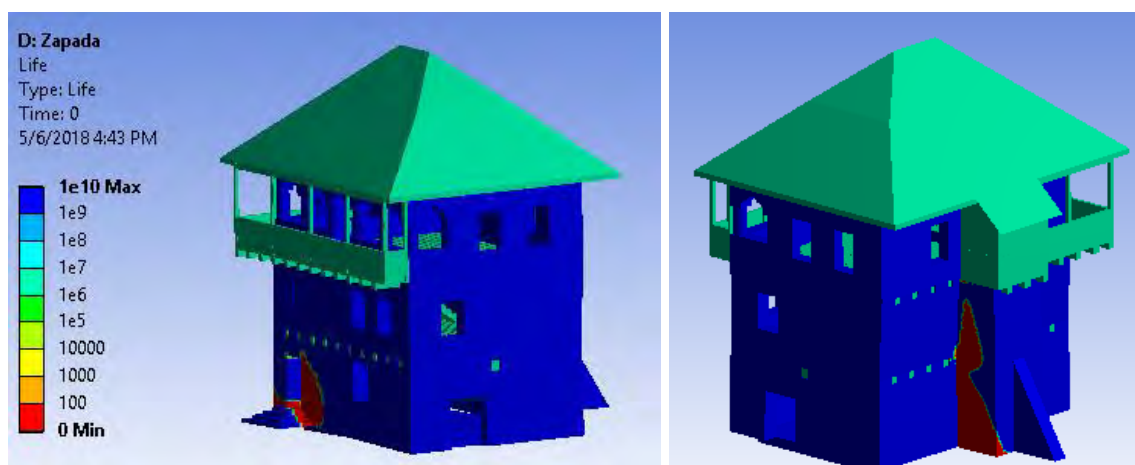


Fig.7.54. Harta de durabilitate pentru 800 cicluri de încărcare (200 de ani).

In figura 7.55 este prezentată harta de deteriorare, pentru 800 de cicluri de încărcare, echivalent cu 200 de ani.

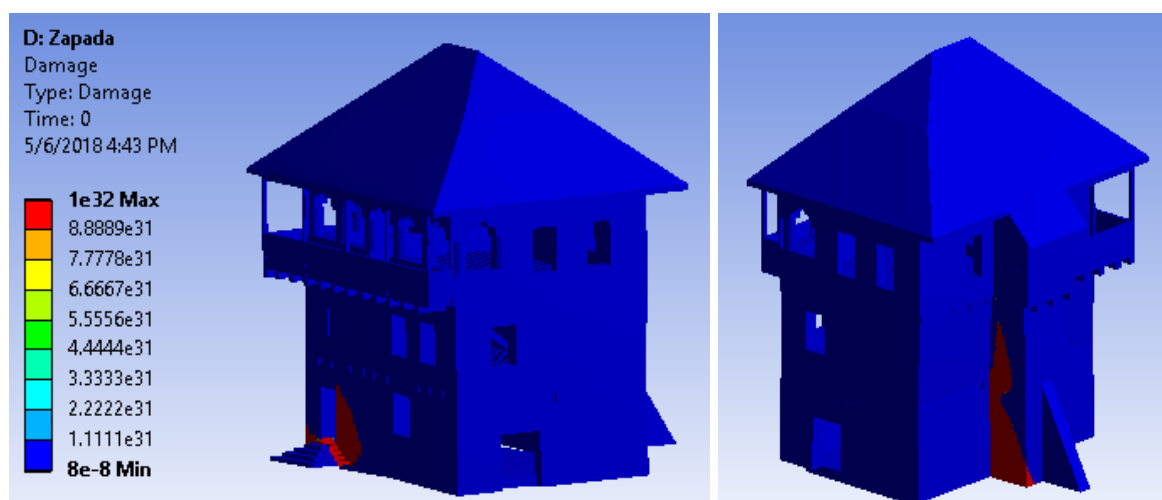


Fig.7.55 Harta de deteriorare pentru 800 cicluri de încărcare (200 de ani).

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

Pentru a obține simularea la oboseală, pentru solicitările care apar la încărcarea datorată fenomenului de îngheț-dezgheț, s-a ținut seama, de următoarele considerente:

- Fenomenul de îngheț-dezgheț produce o încărcare suplimentară de 200.000 Pa pe zidărie, până la înălțimea de 1m de la sol;
- Analizând statistici meteo, se poate considera, că acest fenomen apare de 60 de ori pe an, deci de 6000 de ori pe secol și de 12000 de ori în 200 de ani.

După rularea aplicației s-au obținut tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În cele ce urmează, sunt prezentate doar diagramele cu valorile maxime pentru tensiuni de tip *von Mises*. Pentru întregul sistem analizat valoarea maximă a tensiunii a fost de  $3,468 \cdot 10^7$  Pa.

În figura 7.56 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea analizată.

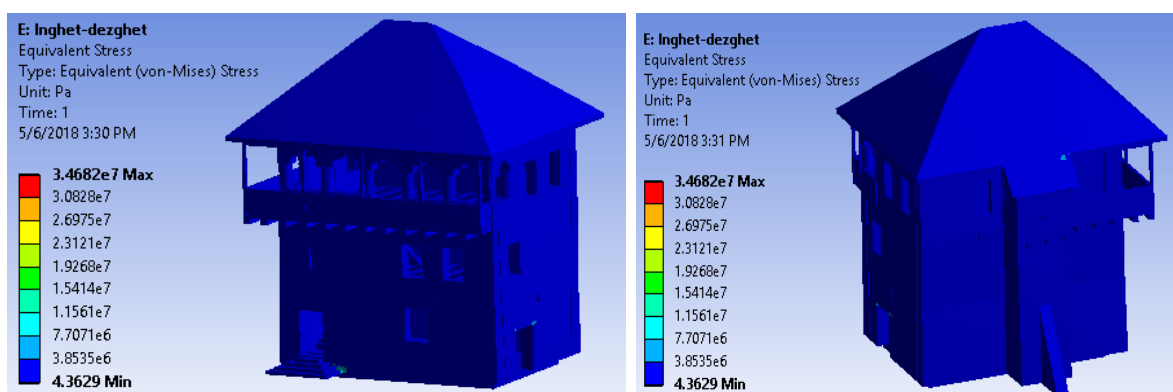


Fig.7.56 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat.

În figura 7.57 este prezentată harta de deformații pentru sistemul analizat.

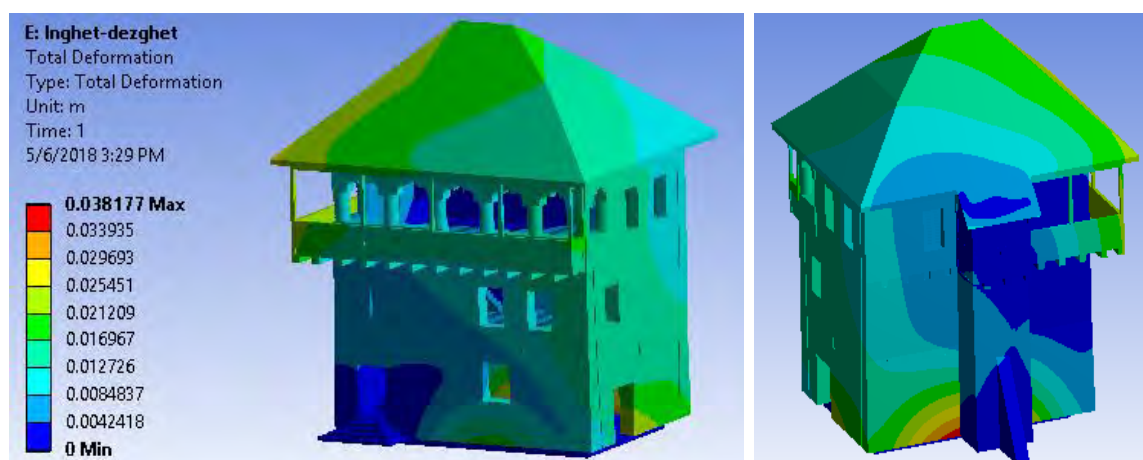


Fig.7.57 Harta de deformații pentru sistemul analizat.

În figura 7.58 este prezentată harta de durabilitate pentru clădirea analizată.

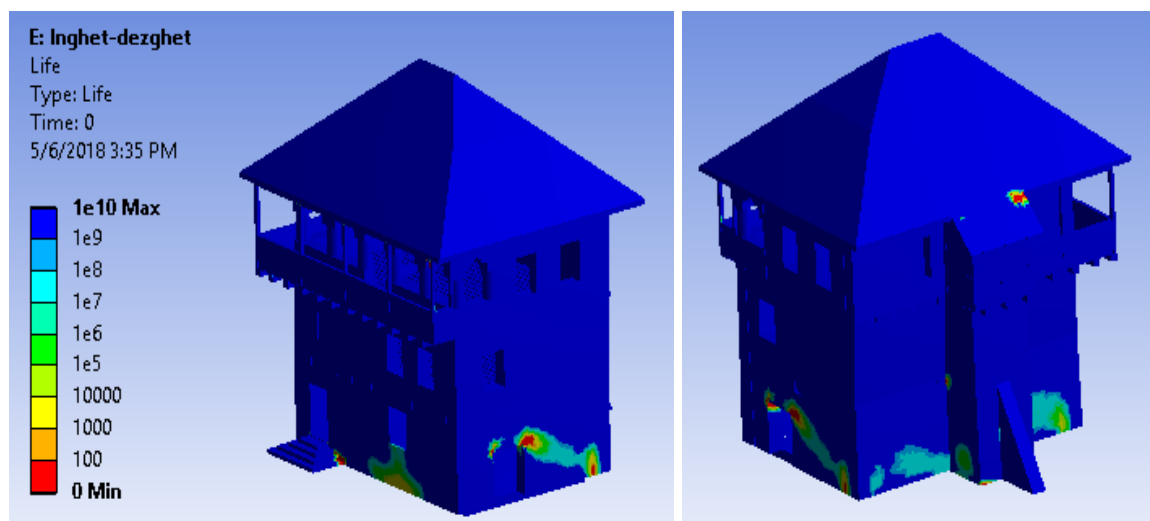


Fig.7.58. Harta de durabilitate pentru 12000 cicluri de încărcare (200 de ani).

În figura 7.59 este prezentată harta de deteriorare, pentru 12000 de cicluri de încărcare, echivalent cu 200 de ani.

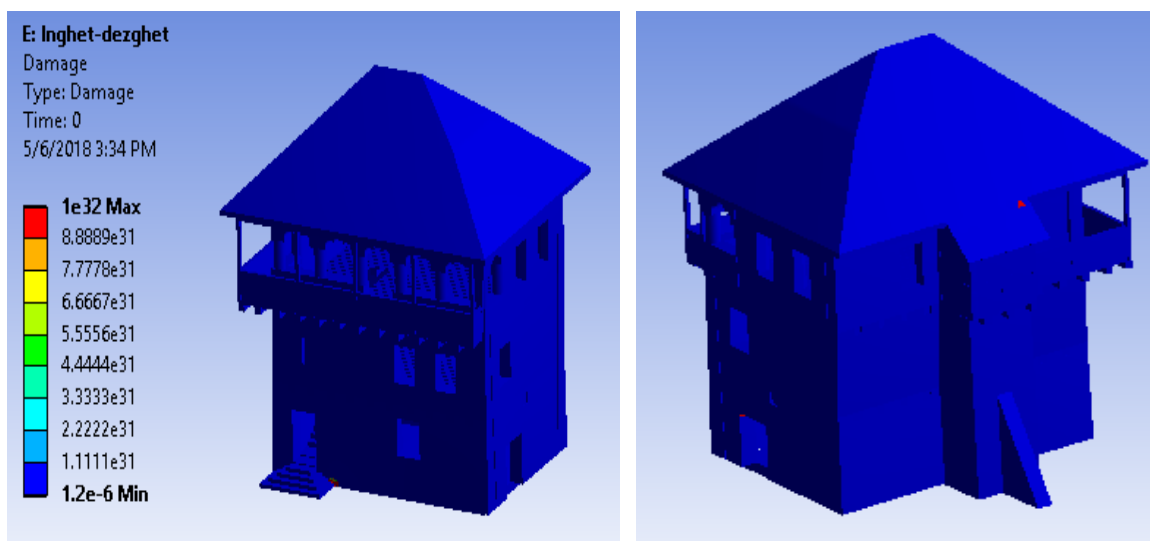


Fig.7.59 Harta de deteriorare pentru 12000 cicluri de incarcare (200 de ani).

### 7.3.3 Concluzii și discuții

Pentru o analiză mai corectă, s-au utilizat fotografiile culei și planșele care redau structura și configurațiile fisurilor în zidărie și s-a remodelat Cula din Brabova, ținând seama de aceste aspecte. Astfel, în figura 7.60, sunt redade cele patru fațade ale clădirii analizate.

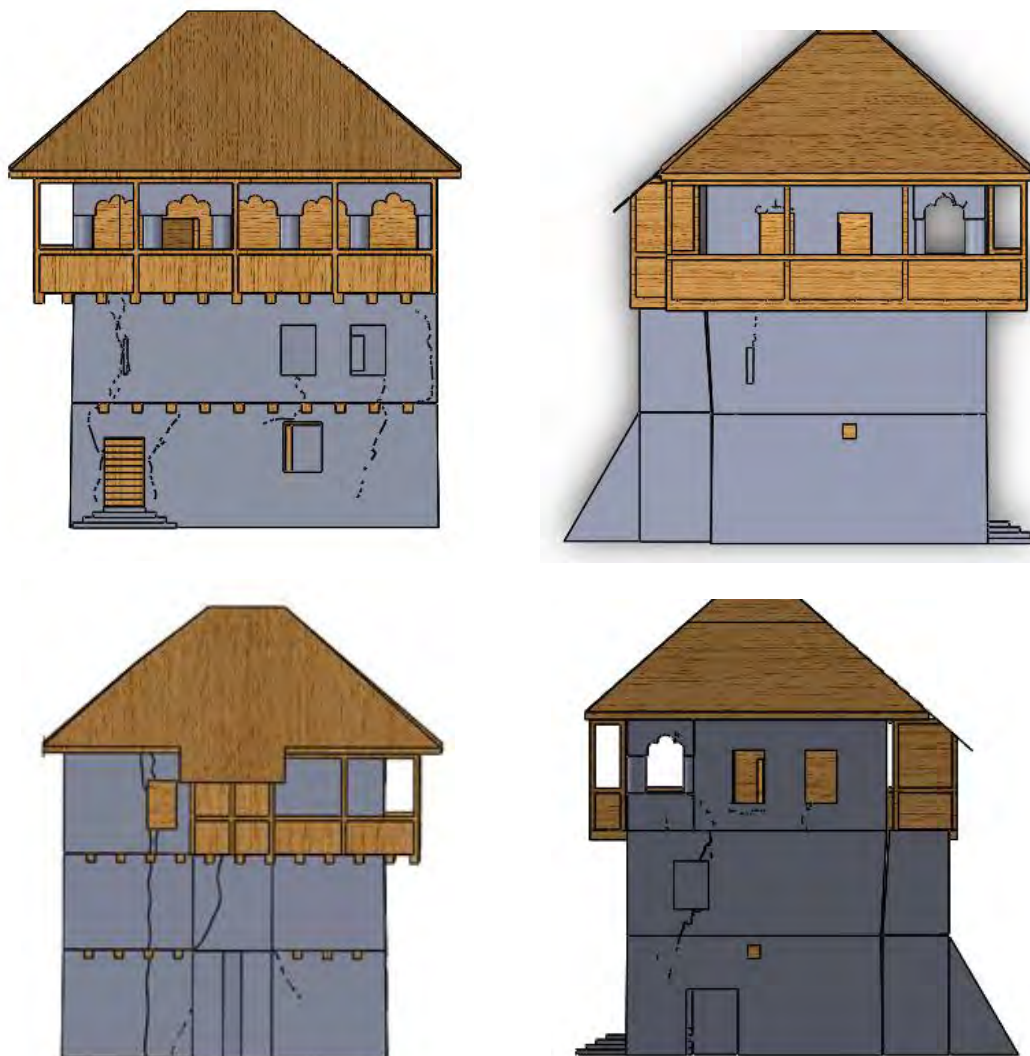


Fig.7.60 Cele patru fațade ale Culei, în ordinea sud, vest, nord și est.

Pentru o analiză corectă, s-au analizat, pentru fațada sud, diagramele de tip *Life (durabilitate)*, dar și planșele relevate de la Cula Izvoranu-Geblescu (Brabova) (fig.7.61). 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 (culoarea roșie);
- fisurile de la etaj, sunt similare zonelor de cedare de pe harta de durabilitate obținută de la harta pentru solicitarea la vânt;
- fisurile de la parter, sunt similare zonelor de cedare de pe harta de durabilitate obținută de la harta pentru solicitările din vânt și zăpadă;
- șarpanta este distrusă, în proporție de 90%, ceea ce se poate constata pe harta de durabilitate de la solicitarea din vânt.

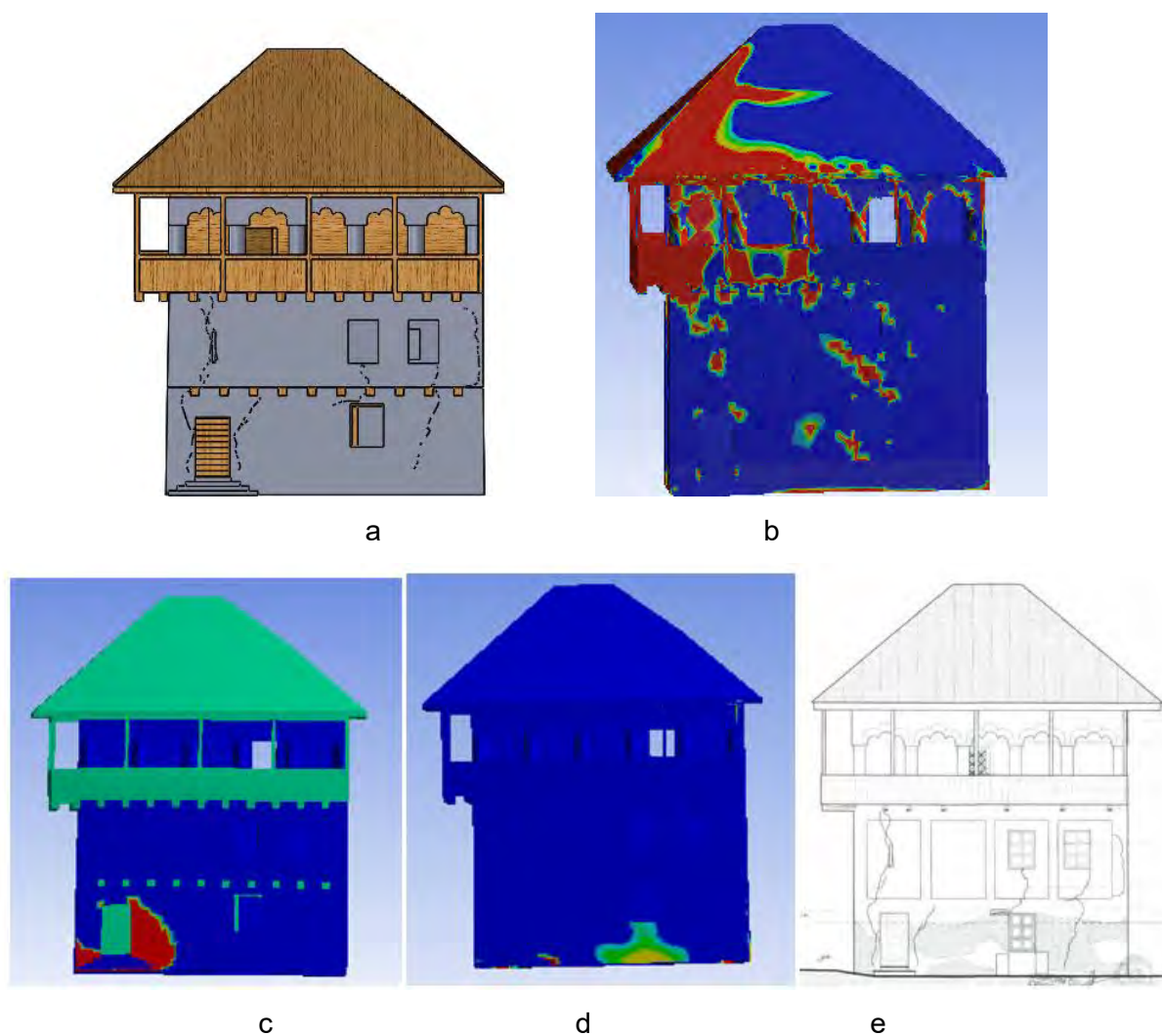


Fig.7.61 Fațada sud: a) model virtual, b) diagrama *life* vânt, c) diagrama *life* zăpadă, d) diagrama *life* îngheț-dezgheț, e) planșa fațada sud- relevu

Din analiza hărților de durabilitate, a modelului cu fisuri și a planșei relevate (fig.7.62) se constată următoarele:

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

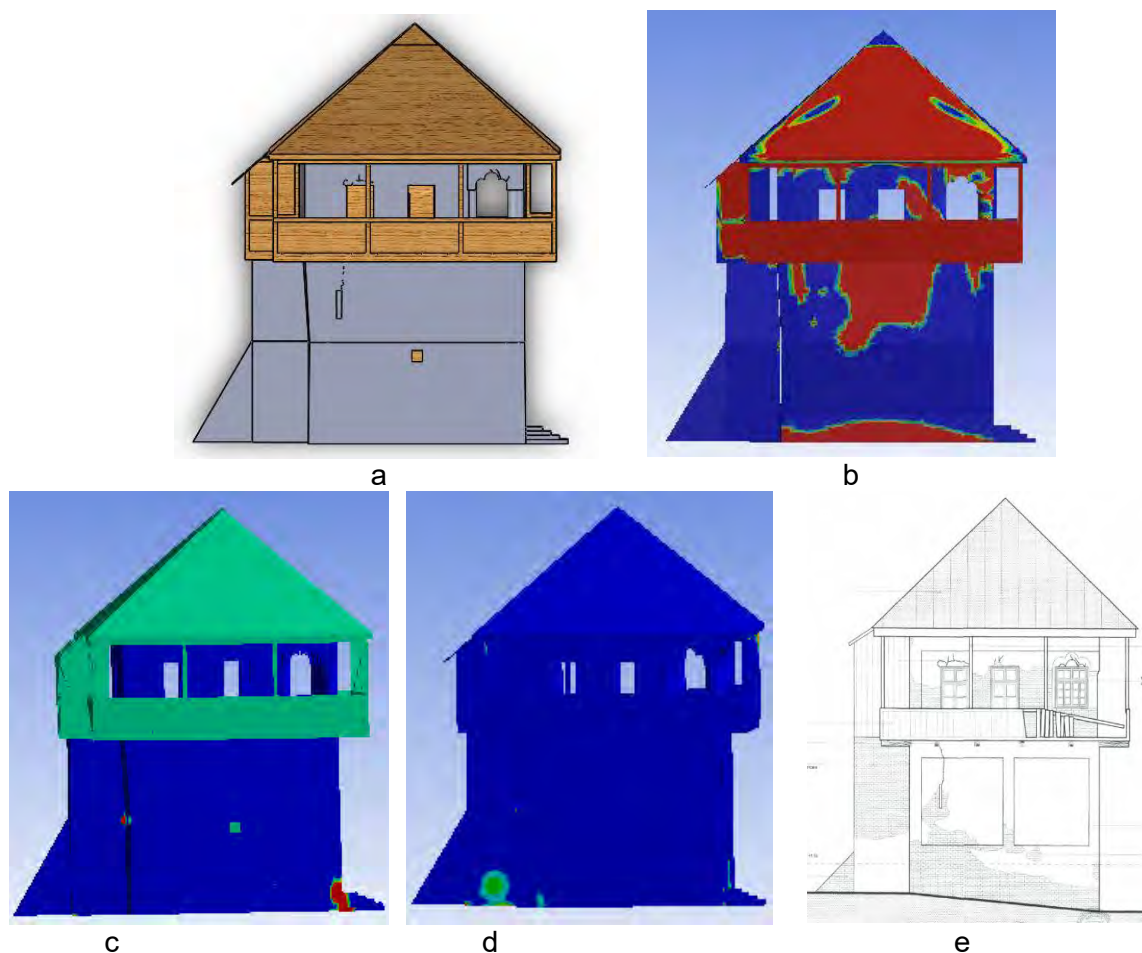


Fig.7.62. Façada vest: a) model virtual, b) diagrama *life* vânt, c) diagrama *life* zăpadă, d) diagrama *life* îngheț-dezgheț, e) planșa fațadă vest relevu

Din analiza hărților de durabilitate, a modelului cu fisuri și a planșei relevate (fig.7.63) 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.

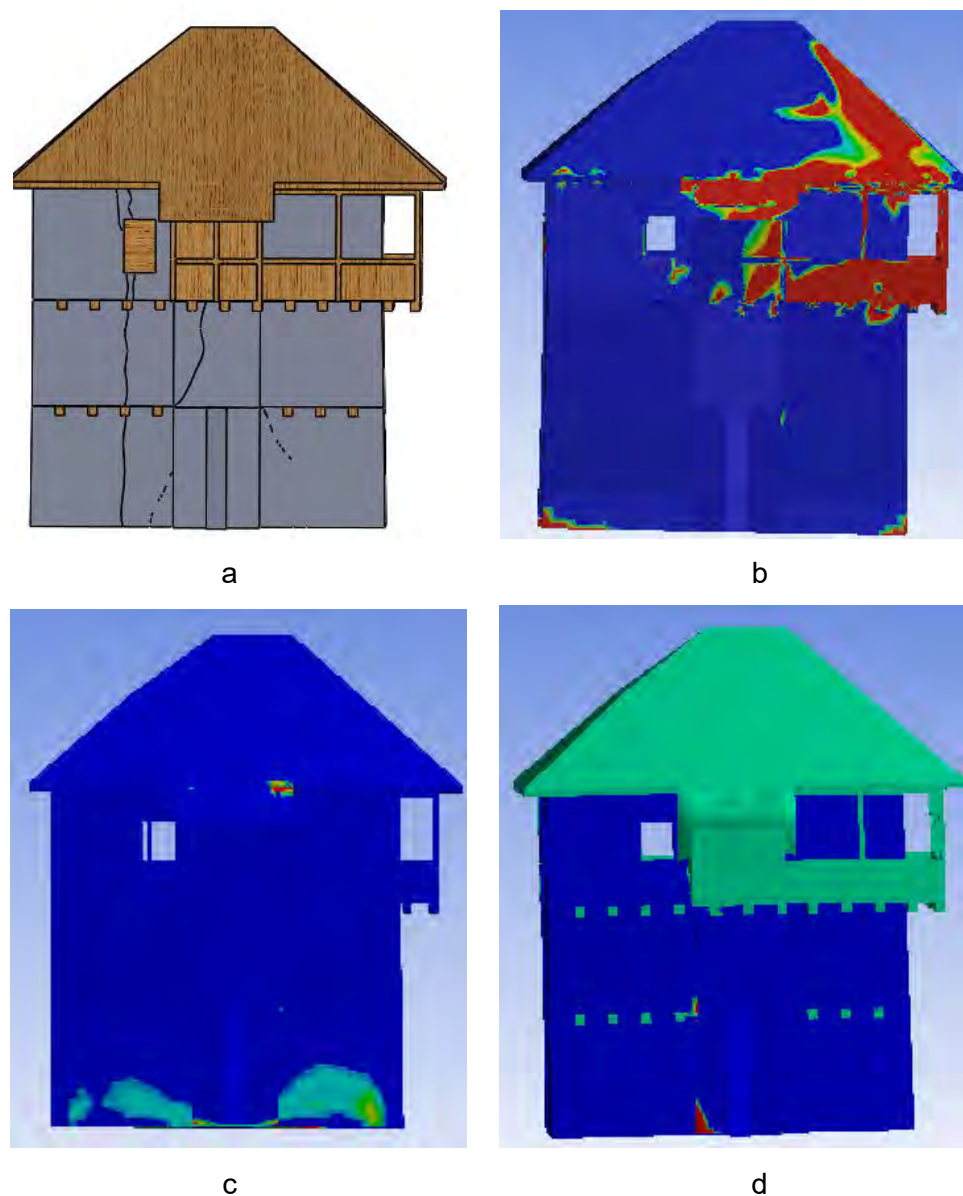


Fig.7.63 Fațada nord: a) model virtual, b) diagrama *life* vânt, c) diagrama *life* zăpadă, d) diagrama *life* îngheț-dezgheț

Din analiza hărților de durabilitate, a modelului cu fisuri și a planșei relevate (fig.7.64) se constată următoarele:

- majoritatea fisurilor corespund zonelor de cedare din harțile de durabilitate (culoare roșie);
- fisurile de la parter și 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.



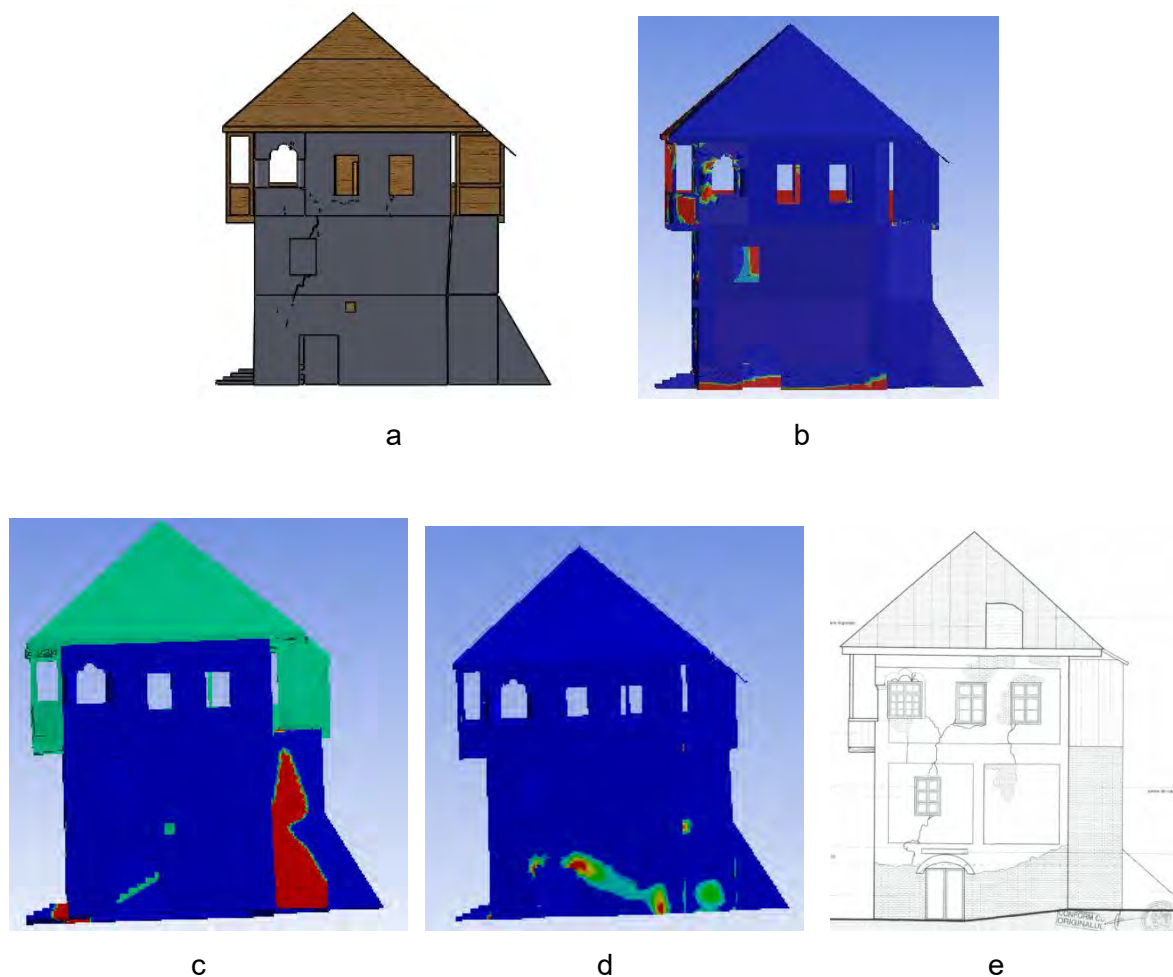


Fig.7.64 Façada est: a) model virtual, b) diagrama *life* vânt, c) diagrama *life* zăpadă, diagrama *life* îngheț-dezghet, e) planșă fațada est relevu

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. Rezistența la oboseală este treptat 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 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 acestora a reieșit de 200 ani. Putem considera astfel ca rezonabilă diferența rezultată.

Zidăria masivă în timpul duratei de viață, este supusă la sarcini extraordinare, încărcări 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 duratei 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).

## 7.4 Studiu de caz II- Generarea modelului tridimensional al Turnului Civic din Pavia, Italia

Turnul Civic din Pavia a fost construit în Pavia, Italia, în secolul al XI-lea (fig.7.65). Acesta a fost situat lângă Catedrala Pavia. Turnul a fost construit în trei - patru etape diferite, începând din 1060 și în cele din urmă finalizat în 1598. Turnul de cca 60m înălțime, cu o baza pătrată măsurând 12,3x12,3m, era amplasat la colțul de NV al catedralei. În 1583 a început construcția de adăugare a unei clopotnițe, în partea de sus a turnului. Acesta a fost construit, ca multe alte turnuri zonale, cu ziduri groase la bază care se subțiază pe înălțime, având grosimi variabile 150 - 490 mm. La un moment dat, în timpul vieții turnului, o scară permanentă a fost construită în grosimea peretelui.

În dimineața zilei de 18 martie 1989, au început să cadă cărămizi din turn, ceea ce a dus la prăbușirea bruscă a acestuia. Întregul Turn Civic, a fost redus la o grămadă de moloz. Colapsul a omorât patru persoane și a rănit alte 15 persoane. Motivul prăbușirii a fost speculat și au fost efectuate mai multe teste pentru a determina motivul acestui eșec.



Fig. 7.65 Localizarea Turnului Civic din Pavia, pe Harta Italiei [17]

Pentru obținerea modelului tridimensional complet, al Turnului Civic din Pavia, Italia, s-au utilizat o serie de fotografii, dintre care, o parte sunt prezentate în figura 7.66 [18]. S-au utilizat și analizat o serie de planșe redată în figura 7.67 [12].





Fig.7.66 Fotografii ale Turnului Civic din Pavia

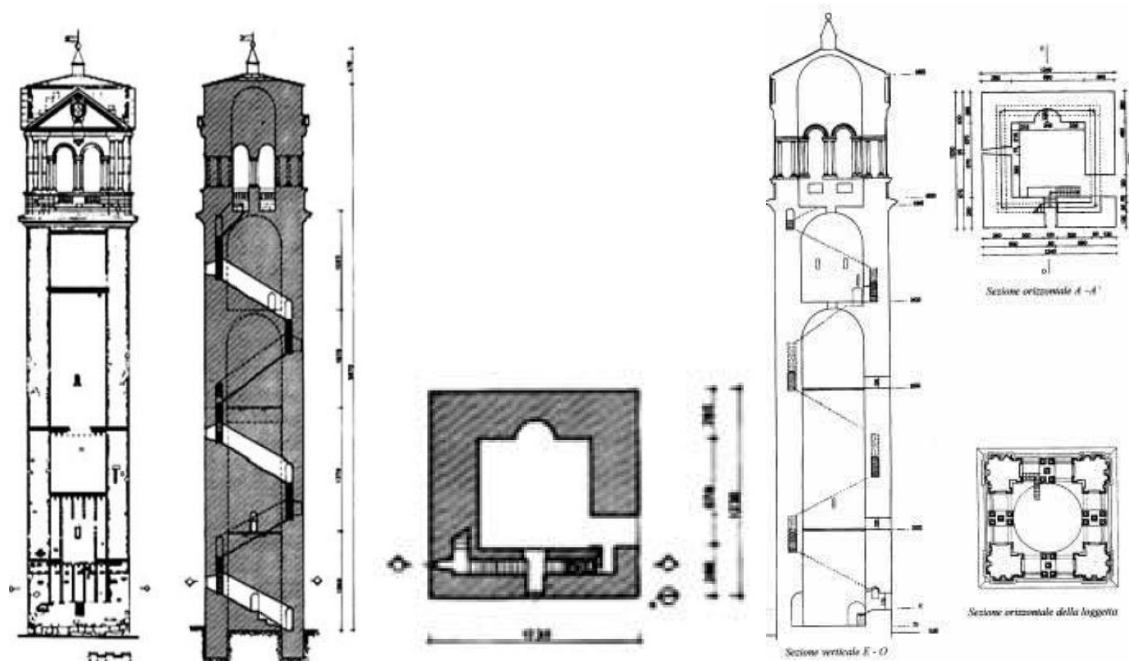


Fig. 7.67 Dimensiunile principale ale Turnului Civic din Pavia [12]

A fost utilizată și o animație realizată pentru un model virtual de la care s-au analizat o serie de detalii. Aceste capturi sunt prezentate în figura 7.68 [18].

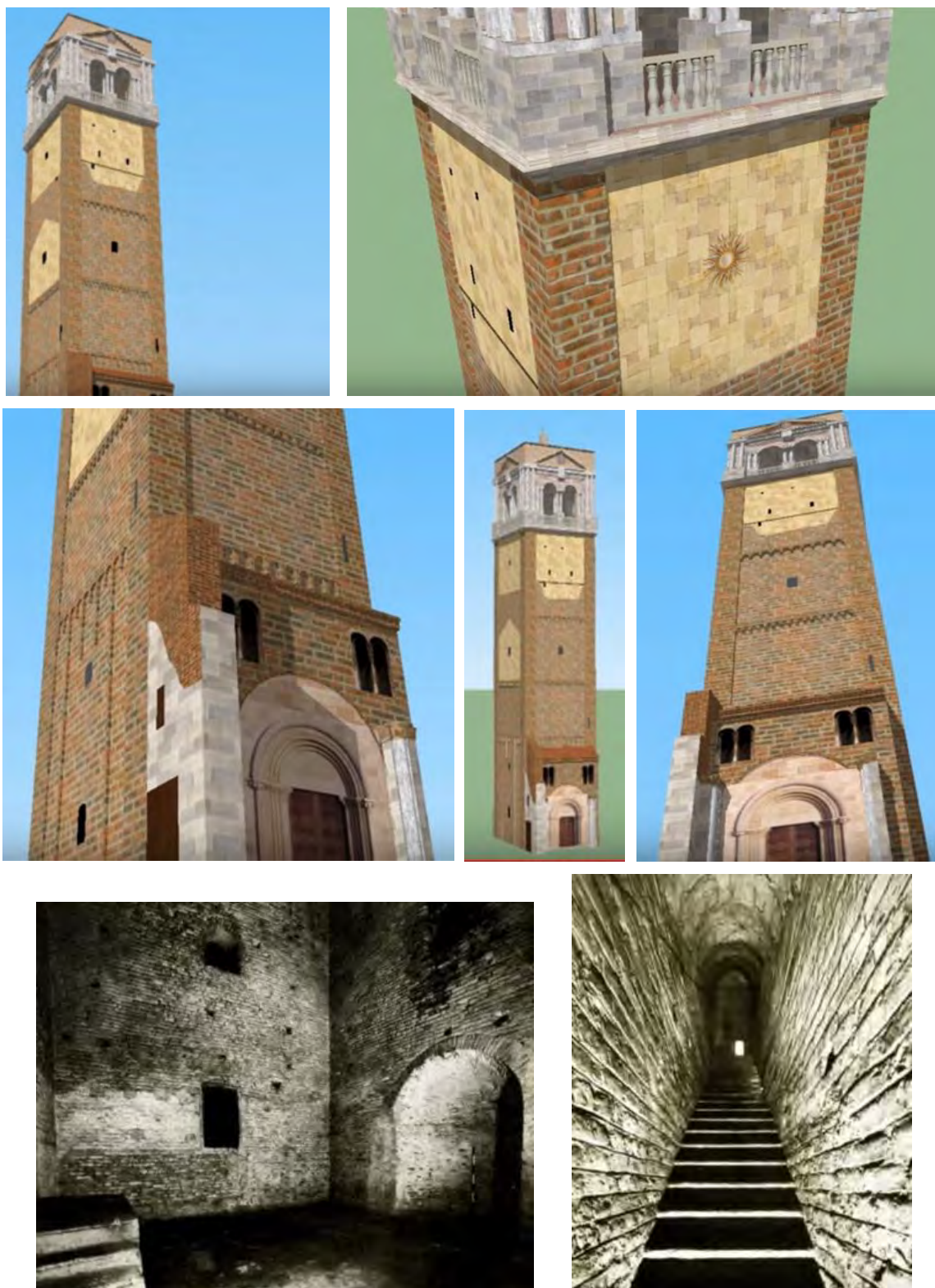


Fig.7.68. Imagini capturate din diferite filmări ale Turnului Civic din Pavia [18]

Parterul clădirii a fost modelat pornind de la o schiță corespunzând cotei 0,00 conform figurii 7.69 [4].

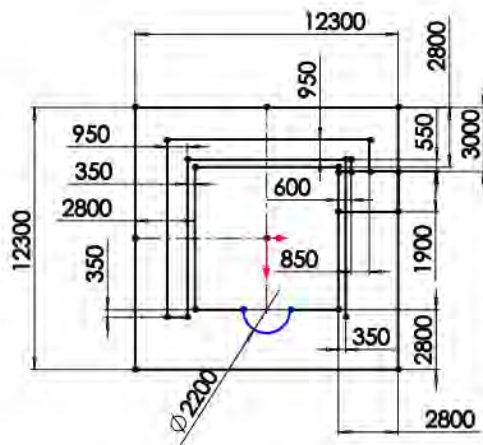


Fig.7.69 Schița care definește parterul turnului

Folosind forma de tip *Extrude* s-a definit solidul primar al turnului până la cota +44,67 m, conform figurii 7.70.

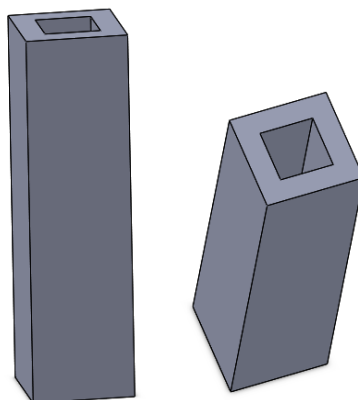
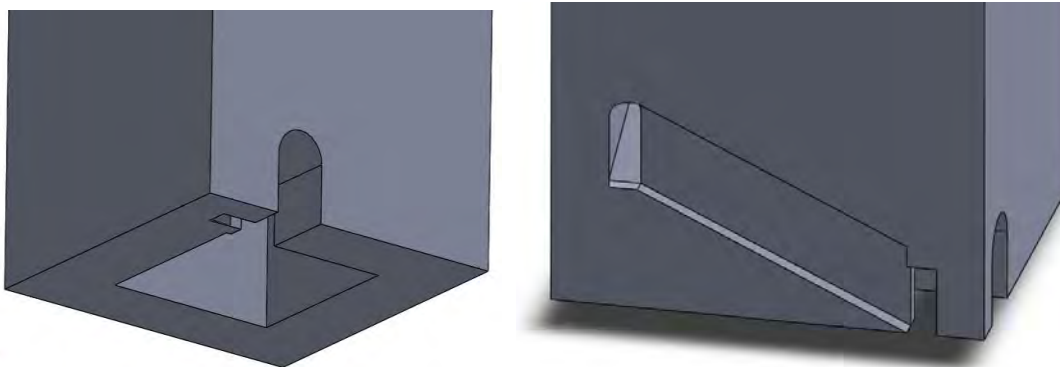
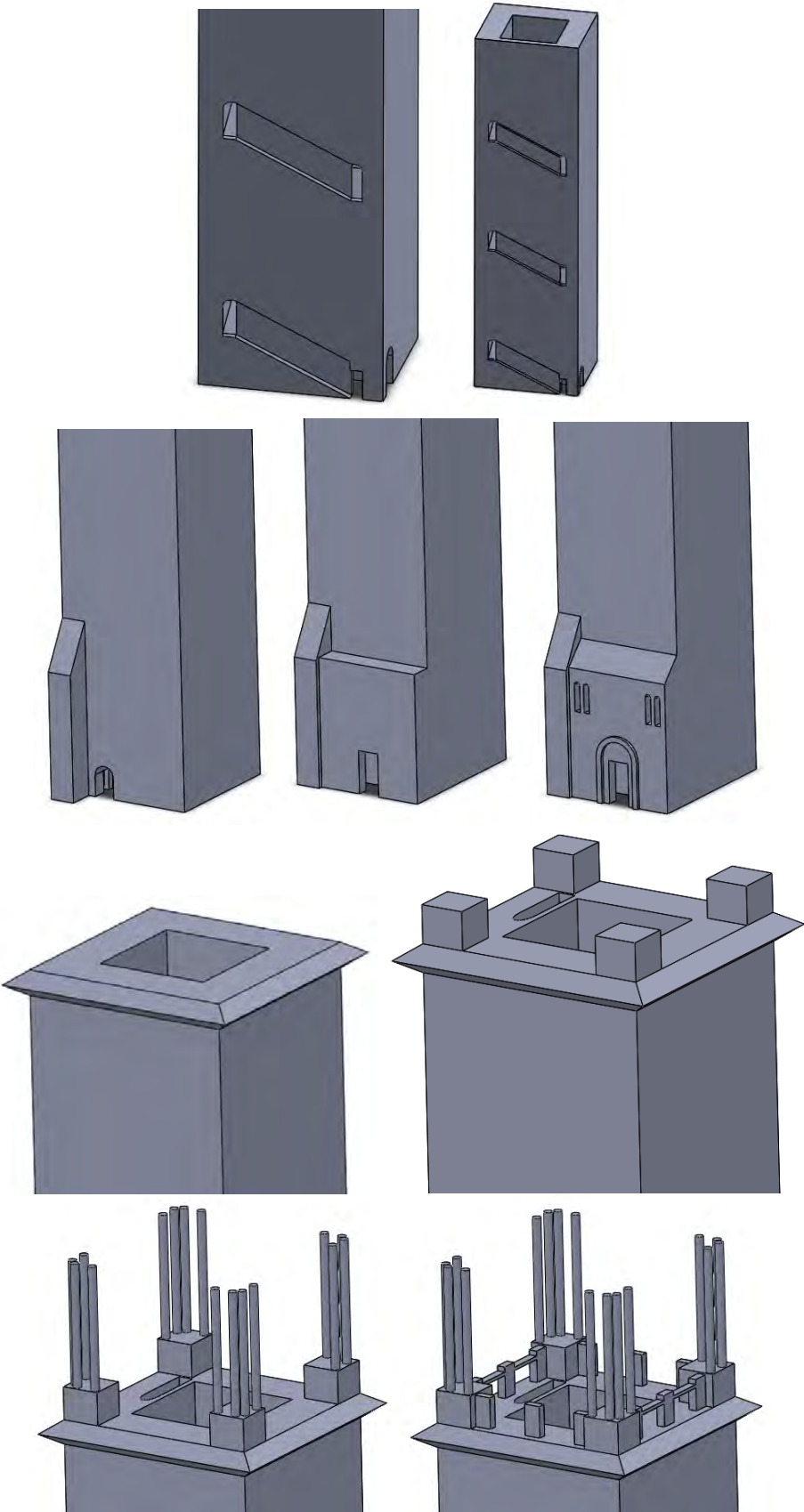
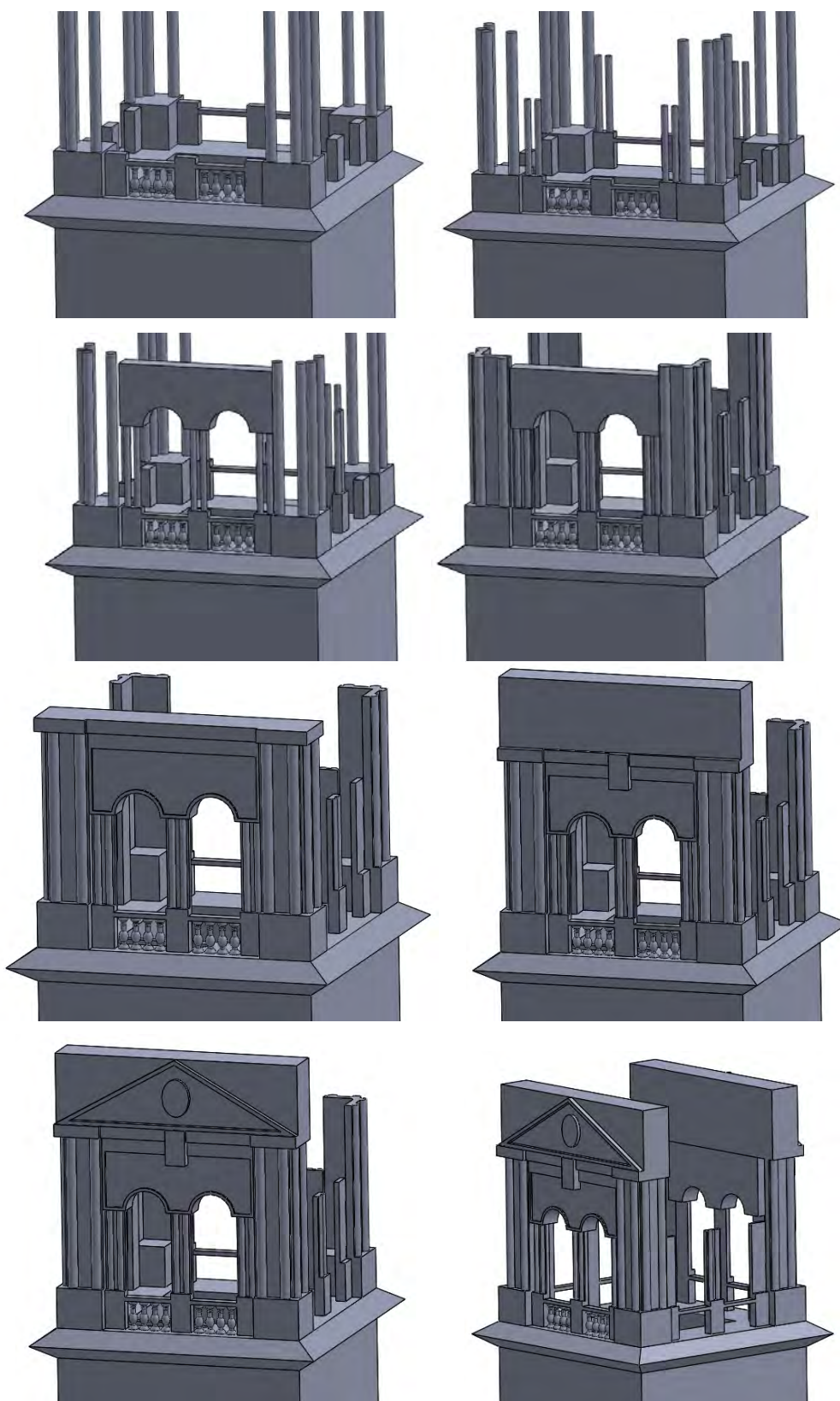


Fig.7.70 Solidul inițial al turnului

Pentru generarea modelului virtual complet al turnului s-au utilizat comenzi *SolidWorks* uzuale [4], similare cu cele folosite la generarea modelului Culei din Brabova. În figura 7.71 sunt redată etapele principale, ale realizării, modelului Turnului Civic din Pavia.









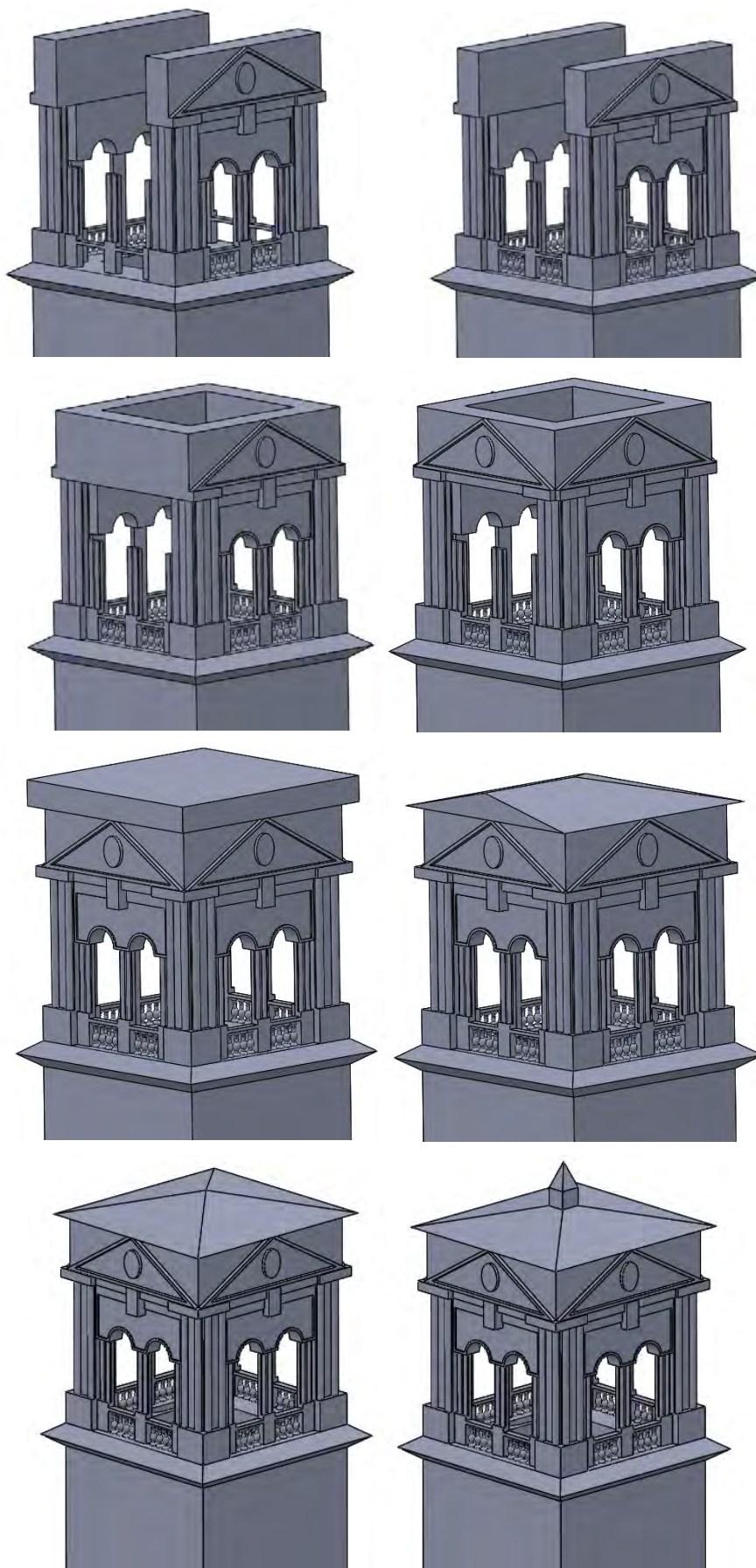


Fig.7.71 Etape principale ale realizării modelului virtual al Turnului Civic din Pavia

Folosind comenzi specifice *SolidWorks* a fost obținut modelul virtual complet al Turnului Civic din Pavia în figura 7.72.

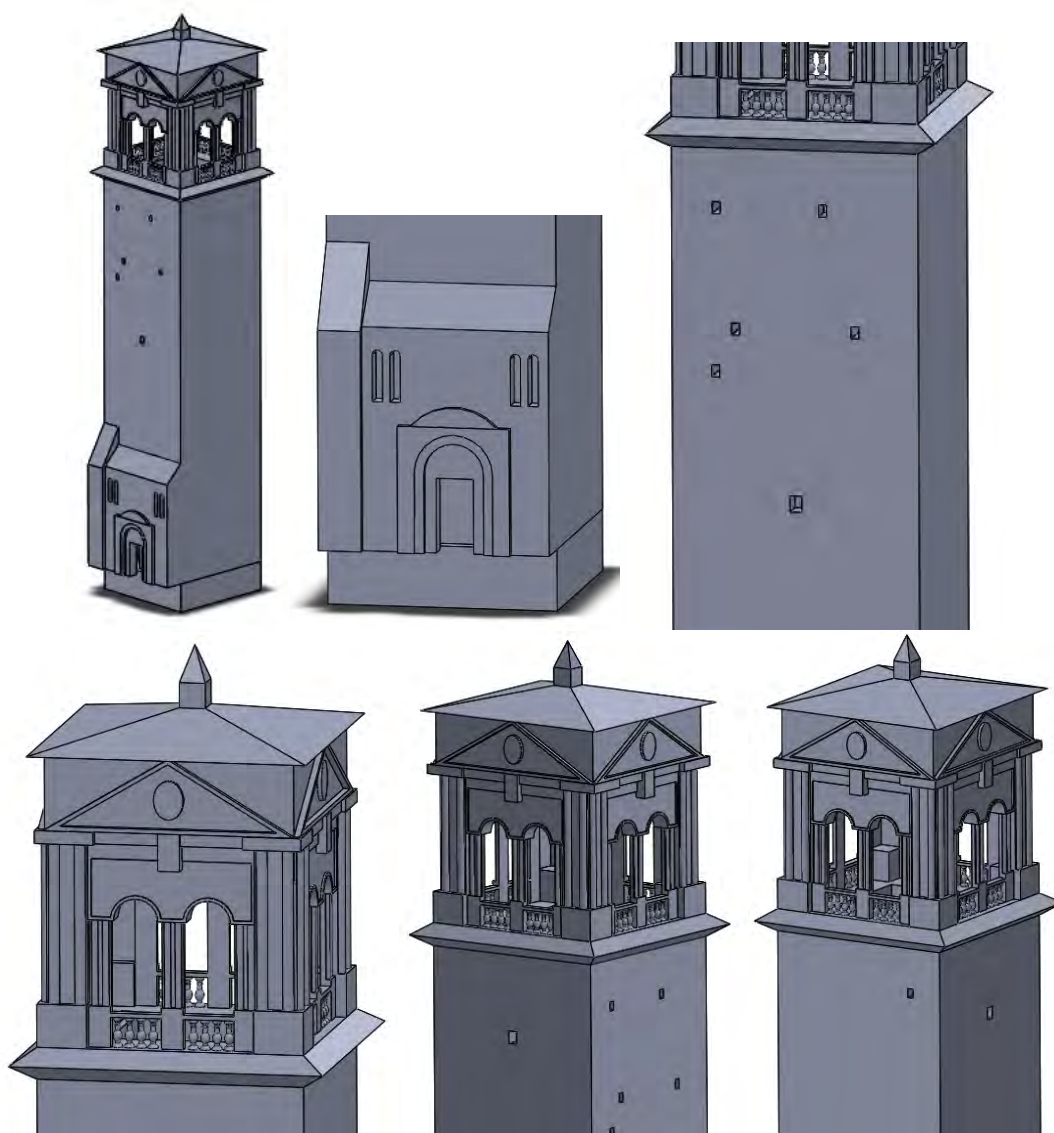


Fig.7.72. Modelul final al Turnului Civic din Pavia

#### **7.4.1 Determinarea comportamentului Turnului Civic din Pavia la solicitările datorate vântului utilizând modulul *Flow Simulation***

Pentru determinarea efectului vântului asupra turnului s-a apelat la modulul ***Flow Simulation Analysis*** [6]. Pentru a defini parametrii necesari rulării unei astfel de aplicații s-au analizat diferite statistici și arhive meteorologice.

S-a apreciat că, acțiunea vântului asupra turnului studiat se va face din direcția sud-vest și viteza este de 35 m/s (fig.7.73)..

Din statistici, o zi cu vânt are, în medie, 32 de rafale. Concluzionând, se poate spune că, într-un an, se pot considera că sunt 96 rafale de vânt de 35m/s, în 100 de ani 9600 de rafale, iar în 900 de ani 86400 rafale.

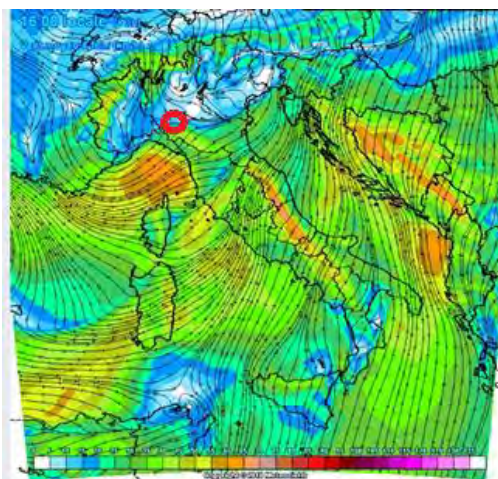


Fig.7.73. Direcția de acțiune a vântului pentru Italia [20]

Având aceste date stabilite, se pot defini principalii parametri pentru simularea solicitării la vânt, pentru Tutnul Civic din Pavia. Într-o prima fază se definește mediul de lucru (aerul) și viteza acestuia. De asemenea, s-a definit domeniul computațional în care este cuprins turnul analizat (fig.7.74).

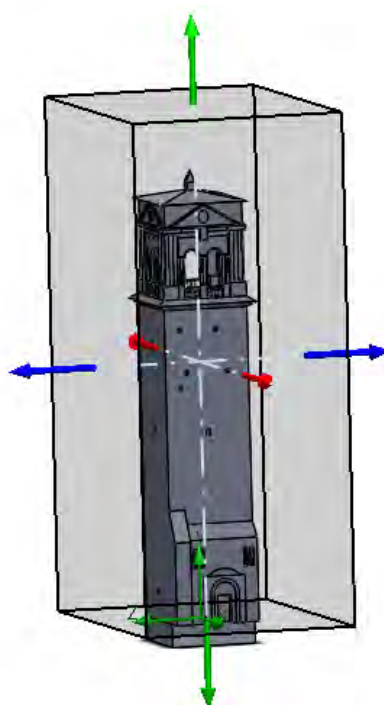


Fig.7.74. Domeniul computațional al simulării

Interesează, în principal, distribuția presiunii pe fațadele clădirii analizate. Astfel, în figurile 7.75 și 7.76 sunt prezentate hărțile cu presiunile obținute pe cele patru fațade.

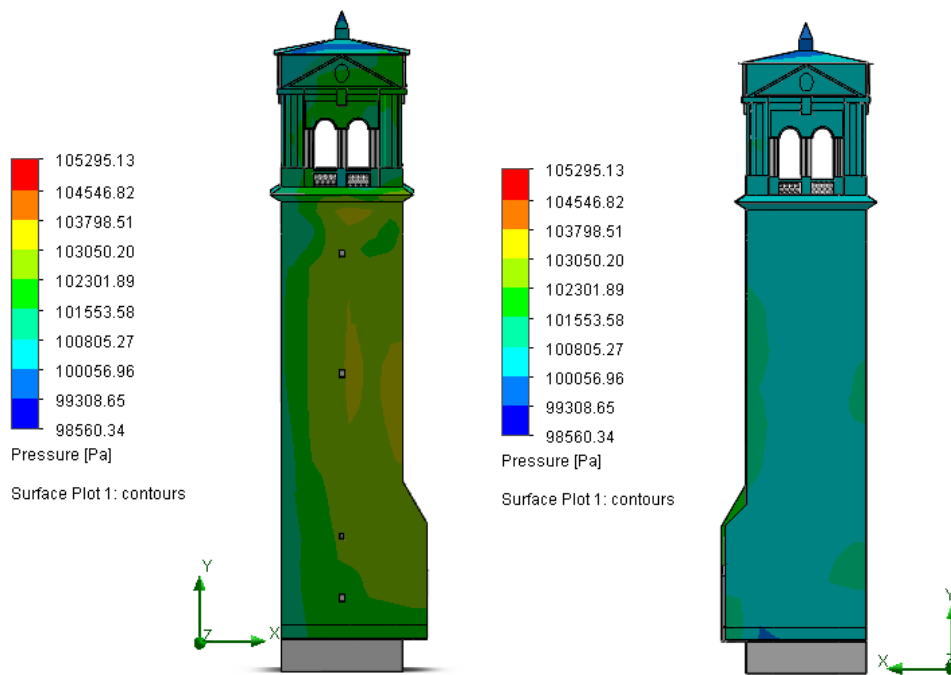


Fig.7.75 Distribuția presiunii pe fațada vest, respectiv est

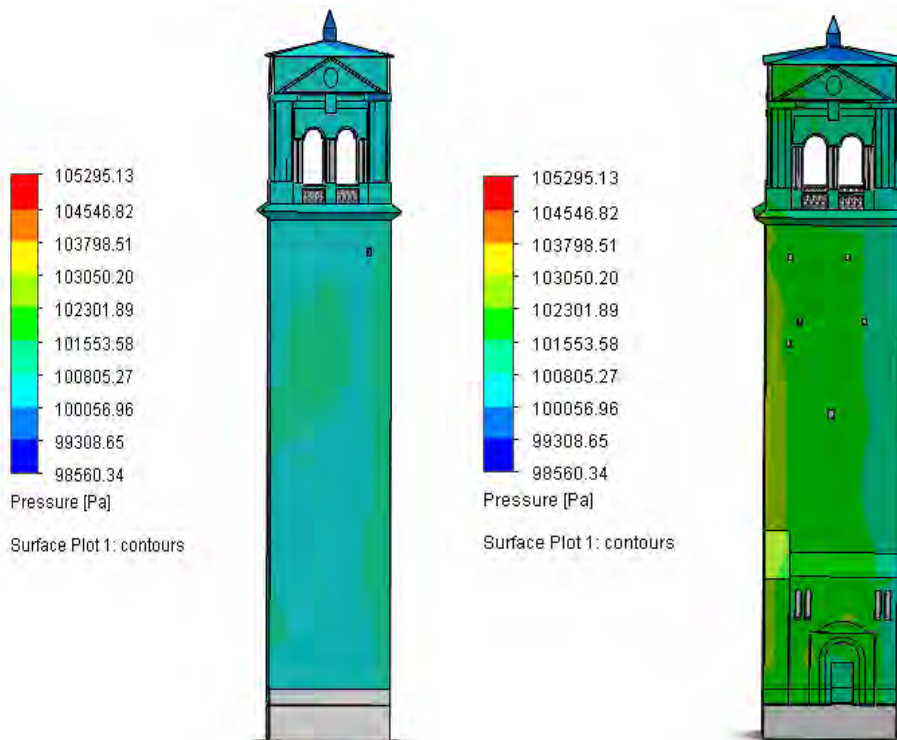


Fig.7.76 Distribuția presiunii pe fațada nord, respectiv sud

Se constată că, presiunea maximă se obține pe fațada vestică și are valoarea de 103798,51 Pa.

Este importantă și vizualizarea traiectoriile maselor de aer (fig.7.77) din care se poate determina cu ușurință, că pe fațadale estică și nordică, se formează un vortex.

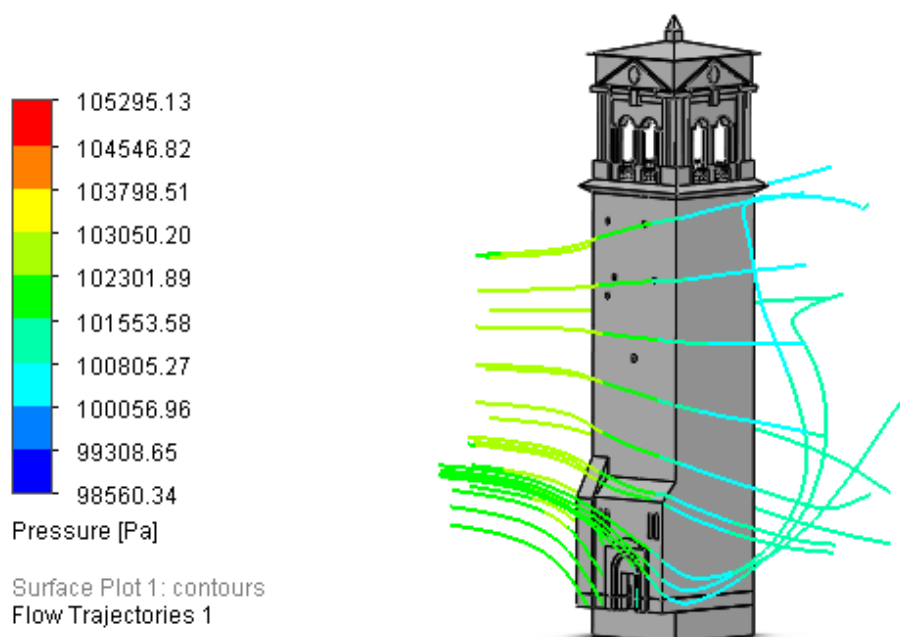


Fig.7.77 Traiectoriile maselor de aer (studiu de particule)

#### 7.4.2 Simulări numerice ale comportamentului Turnului Civic la vânt, cutremur, zăpadă, îngheț-dezgheț și la oboseală folosind Ansys Workbench

##### 7.4.2.1 Simulări numerice ale comportamentului Turnului Civic din Pavia, la vânt și oboseală

Se intenționează analiza modelului turnului folosind încărcările datorate vântului, cutremurelor, zăpezii și fenomenului îngheț-dezgheț. Pentru aceasta, modelul obținut în *SolidWorks* se exportă în *Ansys Workbench*. Este evident că se vor realiza patru simulări statice cuplate cu analiza la oboseală.

Pentru analiza clădirii studiate, s-a definit o bibliotecă specială de materiale. S-au utilizat materialele din tabelul 7.2.

Tabelul 7.2.

Material	Densitate [kg/m <sup>3</sup> ]	Modulul de elasticitate Young [N/m <sup>2</sup> ]	Coeficientul lui Poisson
Zidărie (cărămidă și piatră)	2000	$2 \cdot 10^9$	0.25
Lemn	600	$1 \cdot 10^9$	0.3

De asemenea, sunt importante curbele S-N pentru cele două materiale prezentate în figura 7.78. Pentru curba S-N pentru zidărie și lemn s-au analizat mai multe lucrări de specialitate [6] [10] [11] [12] [14].

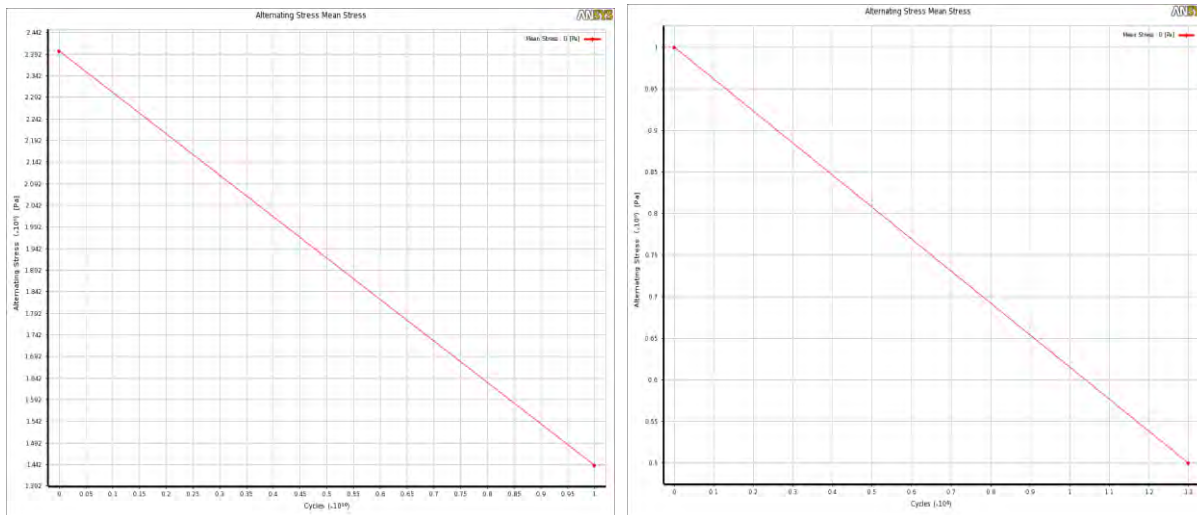


Fig.7.78. Curba S-N pentru zidarie (cărămidă și piatră) respective pentru lemn

După definirea acestor parametri, fereastra Ansys devine similară cu cea prezentată în figura 7.79.

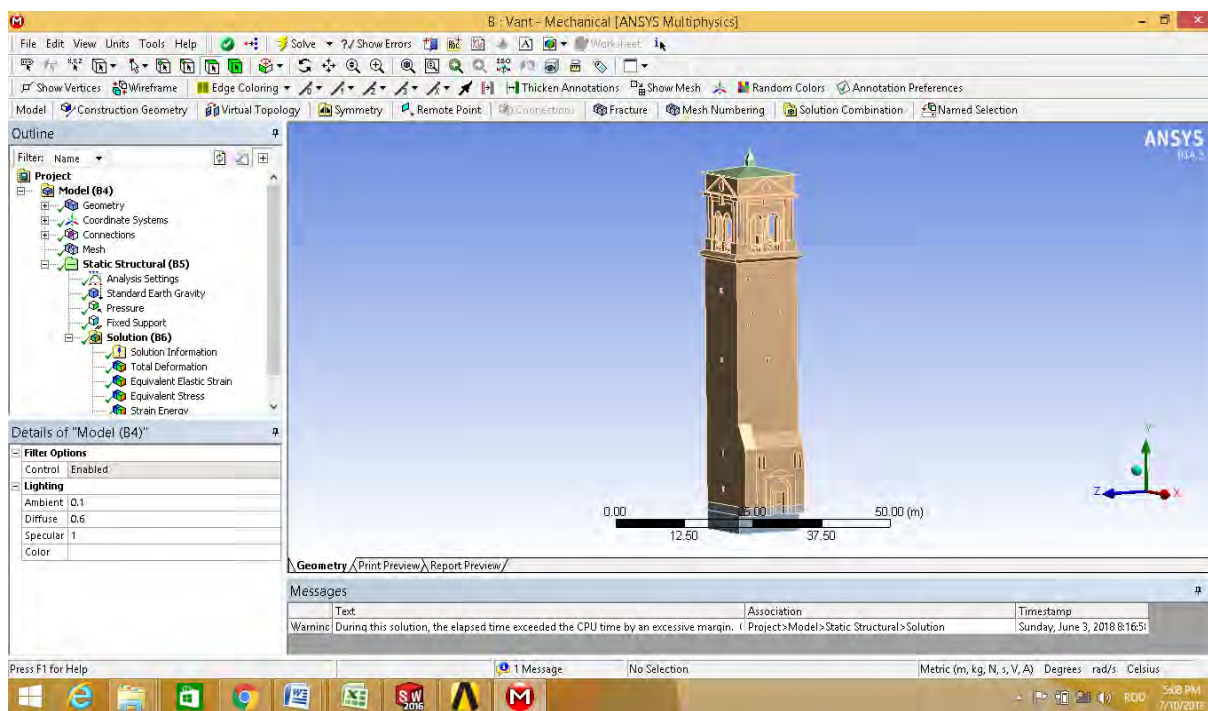


Fig.7.79. Fereastra de lucru Static Structural - Vânt

După o perioadă care depinde de performanțele hardware ale sistemului de calcul utilizat, se obține divizarea în elemente finite a modelului analizat (fig.7.80).

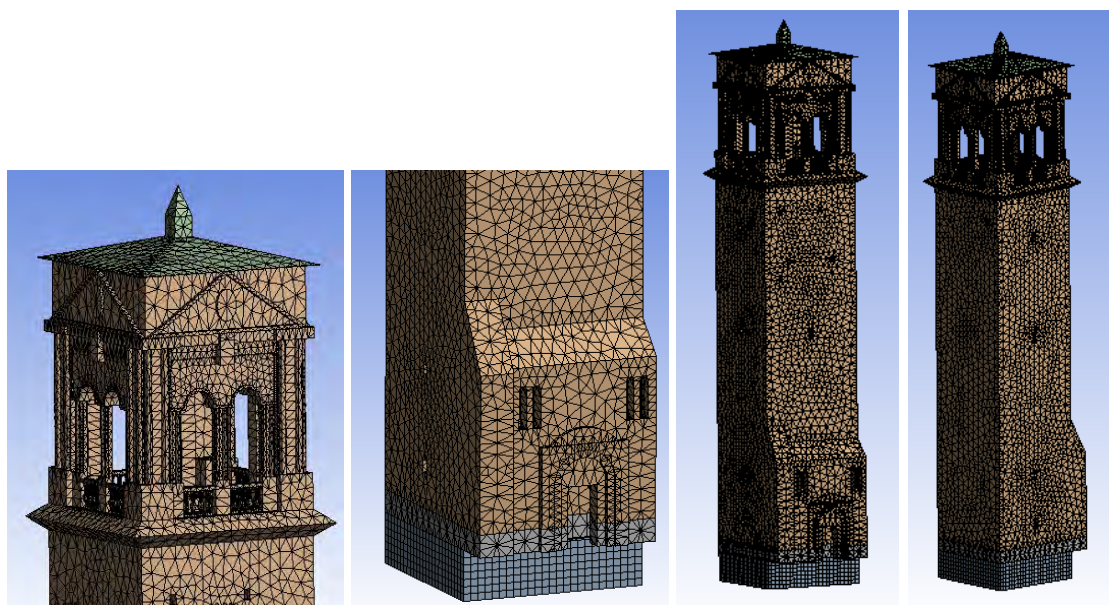


Fig.7.80. Modelul divizat în elemente finite

S-a folosit presiunea obținută în simularea *Flow* în *SolidWorks* și anume  $p = 103798,51 \text{ Pa}$ .

După rularea aplicației, s-au obținut tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În cele ce urmează sunt prezentate diagramele cu valorile maxime pentru tensiuni de tip *von Mises*. Pentru întregul sistem analizat, valoarea maximă a tensiunii a fost de  $5.289 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ . În figura 7.81 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea Turnului Civic din Pavia, Italia.

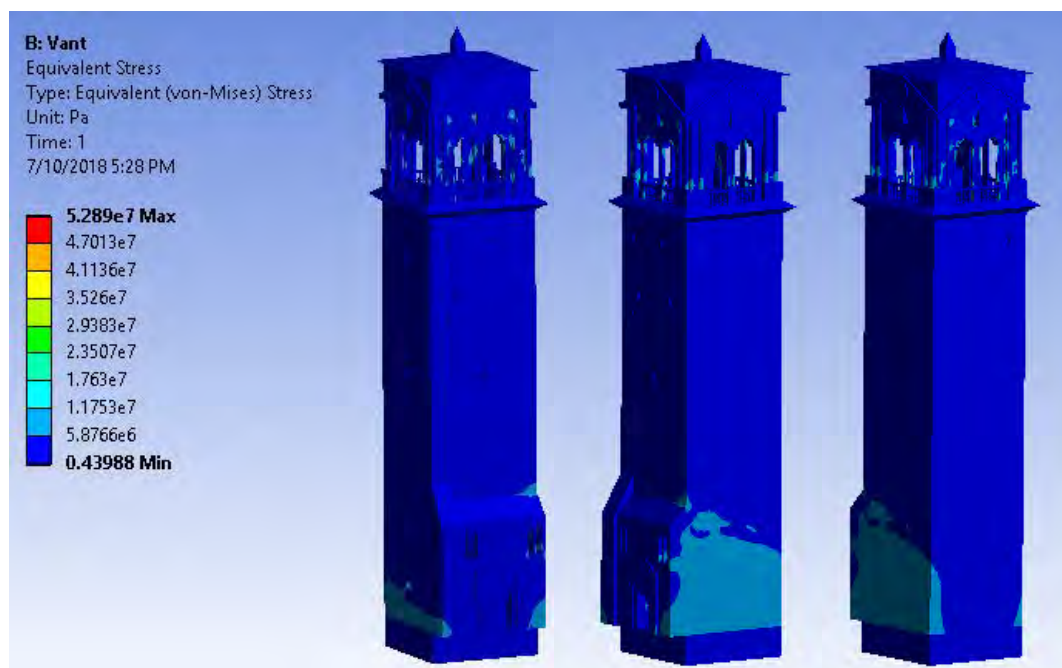


Fig.7.81. Harta de tensiuni pentru sistemul analizat

În figura 7.82 este prezentată harta de deformații pentru Turnului Civic din Pavia.

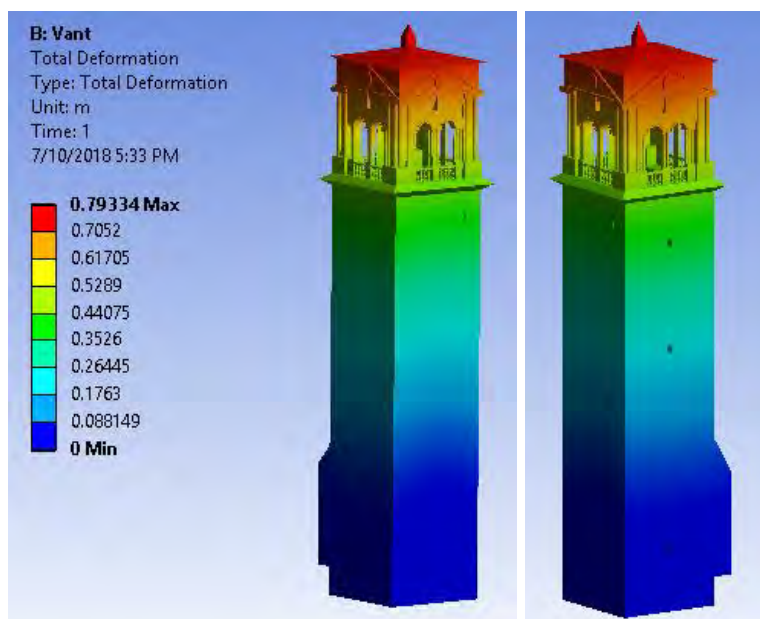


Fig.7.82 Harta de deformații pentru sistemul analizat

S-a constatat anterior că, pe durata unui an există, în medie, 96 de rafale de vânt, deci în decursul unui secol există 9600 de rafale, iar în 900 de ani sunt 86.400 de rafale.

Conform teoriei care stă la baza simulării la oboseală, încărcarea obținută la analiza statică, se va considera a fi aplicată prin 86.400 de cicluri de lucru. Rezultatele obținute sunt:

- *harta Life* (durabilitate) care indică (în roșu) zonele care nu vor rezista la solicitarea ciclică dată la analiza statică (fig.7.83);
- *harta Damage* (deteriorare) indică durabilitatea "consumată" a structurii analizate de evenimentele care duc la oboseală (fig.7.84).

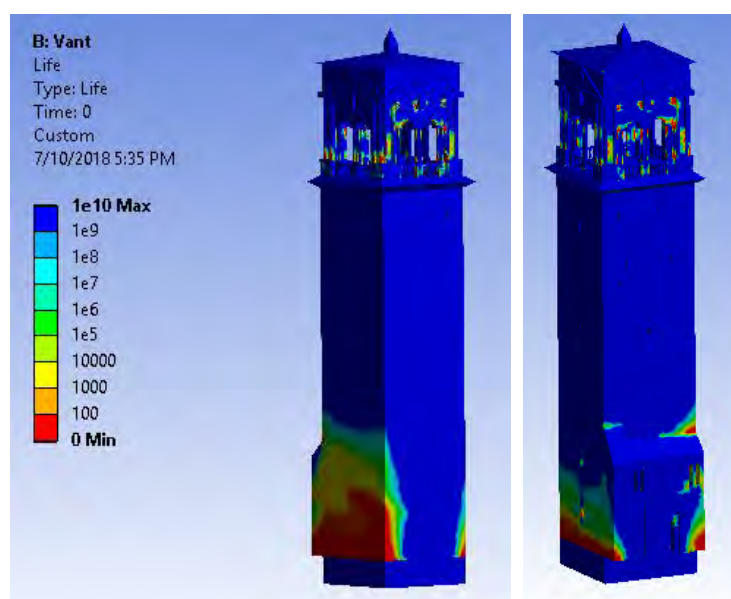


Fig.7.83 Harta de durabilitate pentru 86.400 cicluri de încărcare (900 de ani)



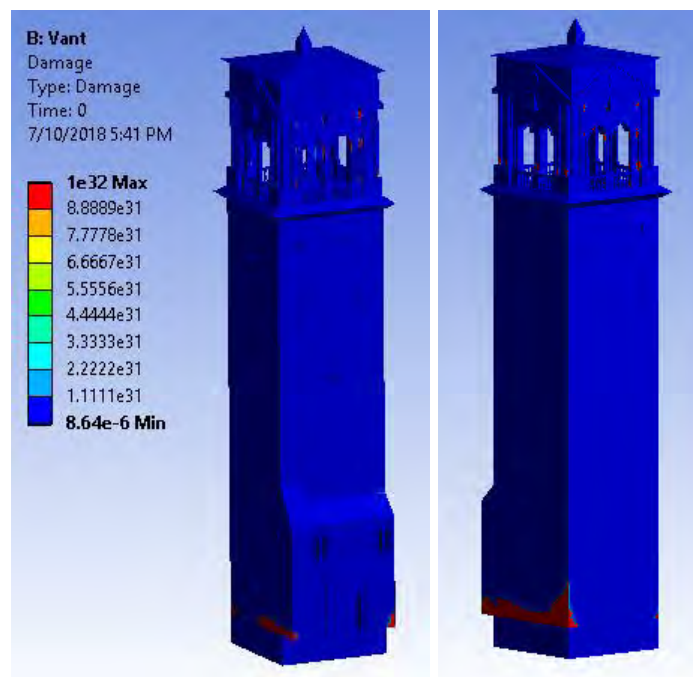


Fig.7.84 Harta de deteriorare pentru 86.400 cicluri de încărcare (900 de ani)

#### 7.4.2.2 Simulări numerice ale comportamentului Turnului Civic din Pavia, la cutremur și oboseală

Pentru a obține simularea la oboseală pentru solicitările care apar la cutremur s-a ținut seama de următoarele considerente:

- s-a analizat harta care prezintă zonarea accelerației terenului pentru proiectare și s-a constatat că, aceasta are valoarea  $a_g = 0,15 \text{ g}$ , adică  $a_g = 1.471 \text{ m/s}^2$ ;
- analizând accelerogramele cutremurelor de adâncime și de suprafață, s-a constatat că, în medie, pe durata cutremurelor, accelerația prezintă șapte vârfuri importante;
- utilizând materialele prezentate în tabelul 7.2, în *SolidWorks*, s-a calculat automat masa clădirii la valoarea  $m = 9832091,274 \text{ kg}$ . În acest caz, forța de calcul suplimentară datorată cutremurului va fi:

$$F = m \cdot a_g = 14467922 \text{ N}; \quad (7.8)$$

- pentru analiza la oboseală, numărul de cicluri de aplicare, ale forței pentru 900 de ani va fi:

$$N = 7 \cdot 67 \text{ cutremure} = 469 \text{ cicluri}. \quad (7.9)$$

După rularea aplicației s-au obținut tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În cele ce urmează sunt prezentate doar diagramele cu valorile maxime pentru tensiuni de tip *von Mises*. Pentru întregul sistem analizat valoarea maximă a tensiunii a fost de  $6.855 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ .

În figura 7.85 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea analizată.

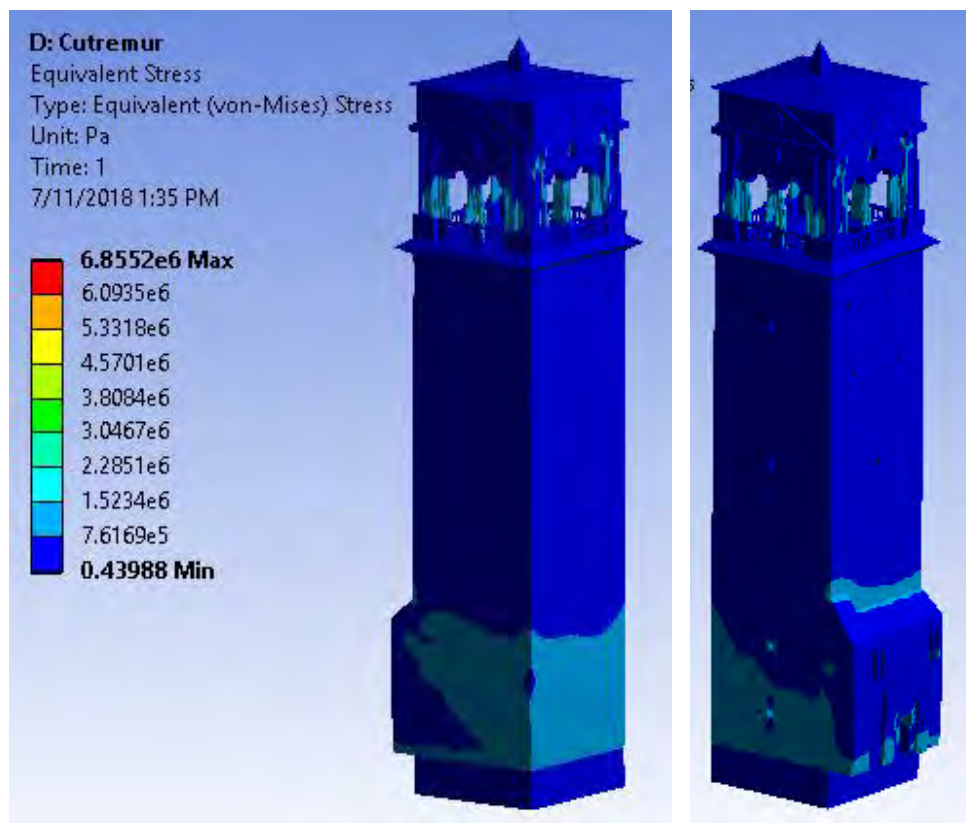


Fig.7.85 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat

În figura 7.86 este prezentată harta de deformații pentru sistemul analizat.

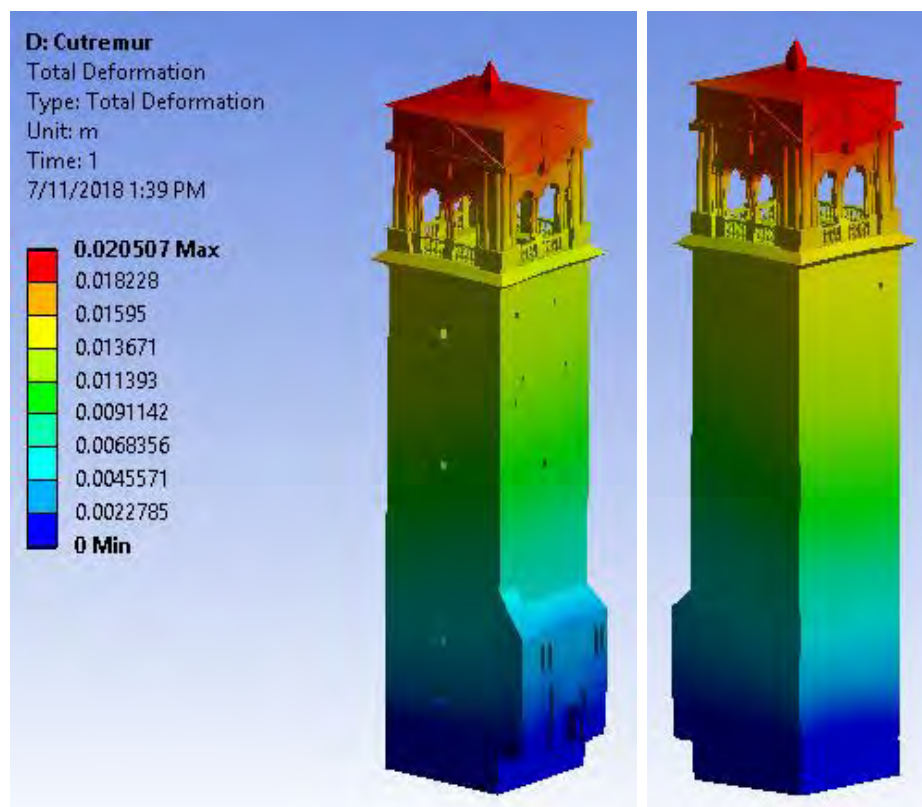


Fig.7.86. Harta de deformații pentru sistemul analizat

În figura 7.87 este prezentată harta de durabilitate pentru clădirea analizată.

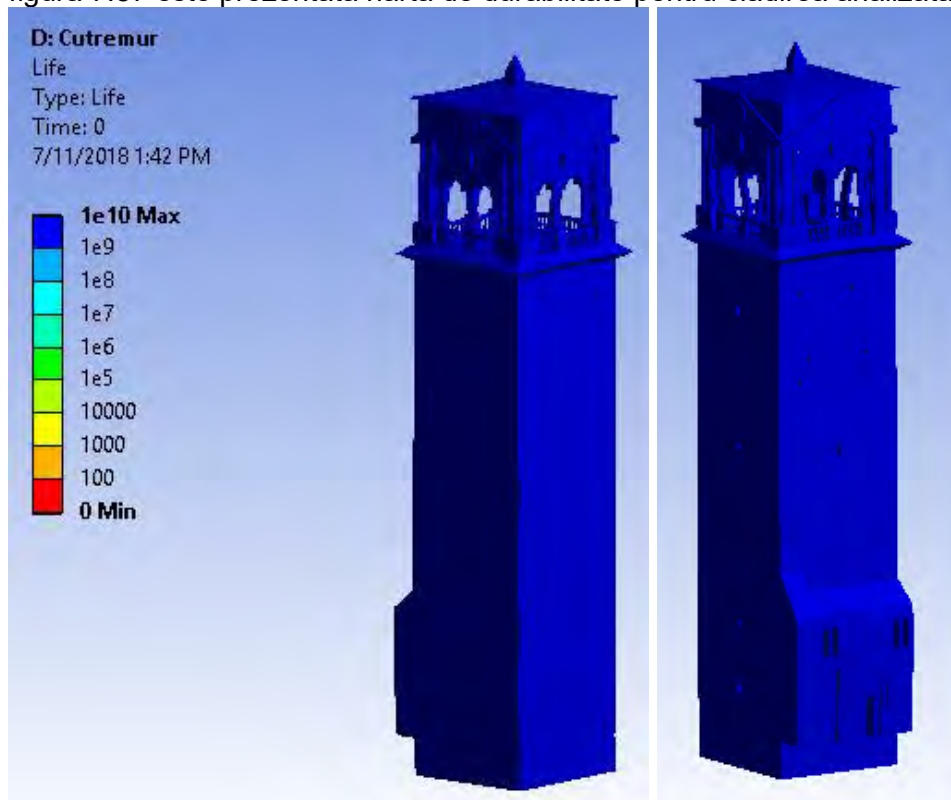


Fig.7.87 Harta de durabilitate pentru 469 cicluri de încărcare (900 de ani)

În figura 7.88 este prezentată harta de deteriorare pentru 469 de cicluri de încărcare, echivalent cu 900 de ani.

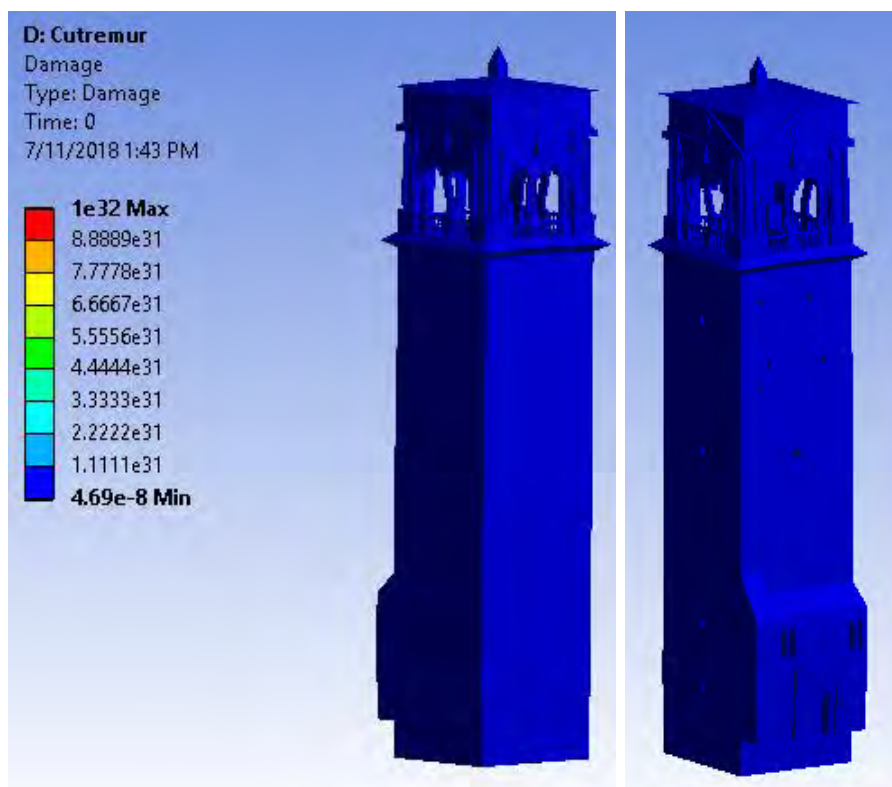


Fig.7.88 Harta de deteriorare pentru 469 cicluri de încărcare (900 de ani)

### 7.4.2.3 Simulări numerice ale comportamentului Turnului Civic din Pavia, la încărcarea cu zăpadă și oboseală

Pentru a obține simularea la oboseală, pentru solicitările care apar la încărcarea cu zăpadă s-a ținut seama de următoarele considerente:

- s-au analizat arhive de date meteorologice și, în funcție de poziționarea clădirii analizate s-a ales o încărcare de calcul de  $2\text{KN/m}^2$ ;
- analizând diferite baze de date meteorologice s-a constatat că, în medie, într-un an, au loc patru evenimente de încărcare semnificative cu zăpadă. Aceasta înseamnă că, într-un secol, exista 400 de evenimente, iar în 900 de ani, 3600 de încărcări semnificative cu zăpadă.

După rularea aplicației, s-au obținut tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În cele ce urmează sunt prezentate doar diagramele cu valorile maxime pentru tensiuni de tip *von Mises*. Pentru întregul sistem analizat valoarea maximă a tensiunii a fost de  $4.288 \cdot 10^8$  Pa.

În figura 7.89 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea analizată.

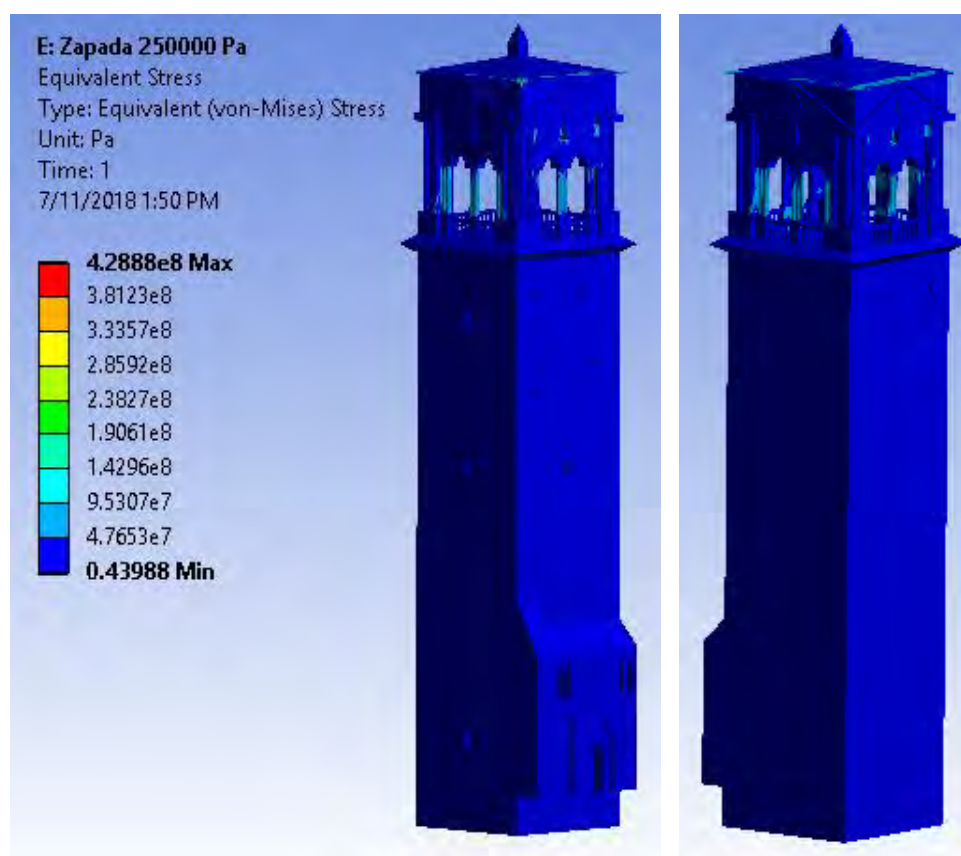


Fig.7.89. Harta de tensiuni pentru sistemul analizat

În figura 7.90 este prezentată harta de deformații pentru sistemul analizat.

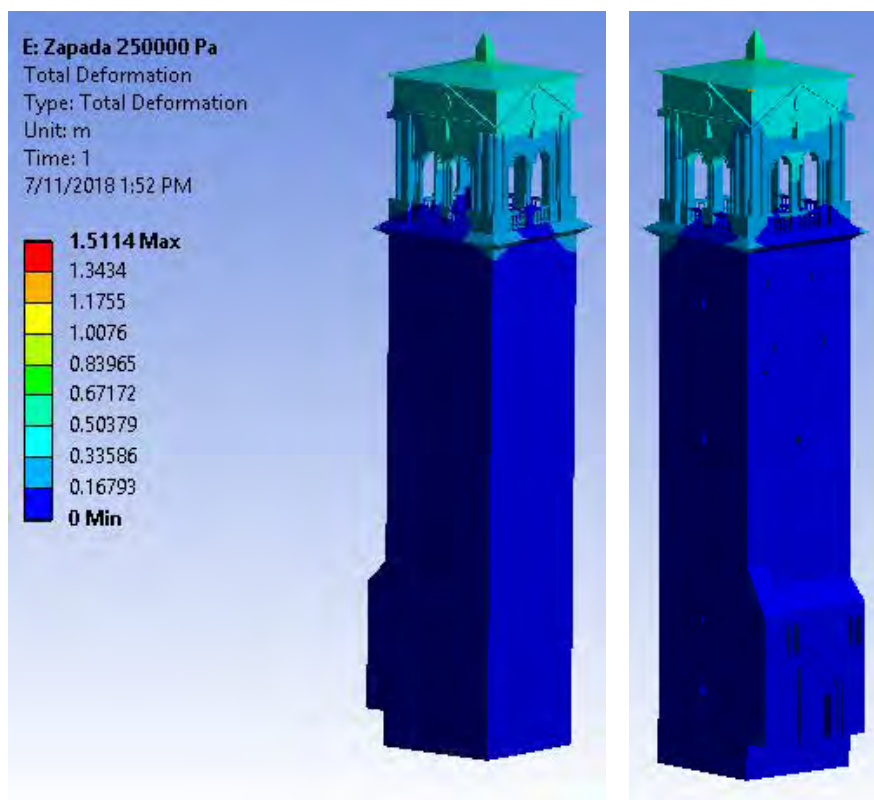


Fig.7.90 Harta de deformații pentru sistemul analizat

În figura 7.91 este prezentată harta de durabilitate pentru clădirea analizată.

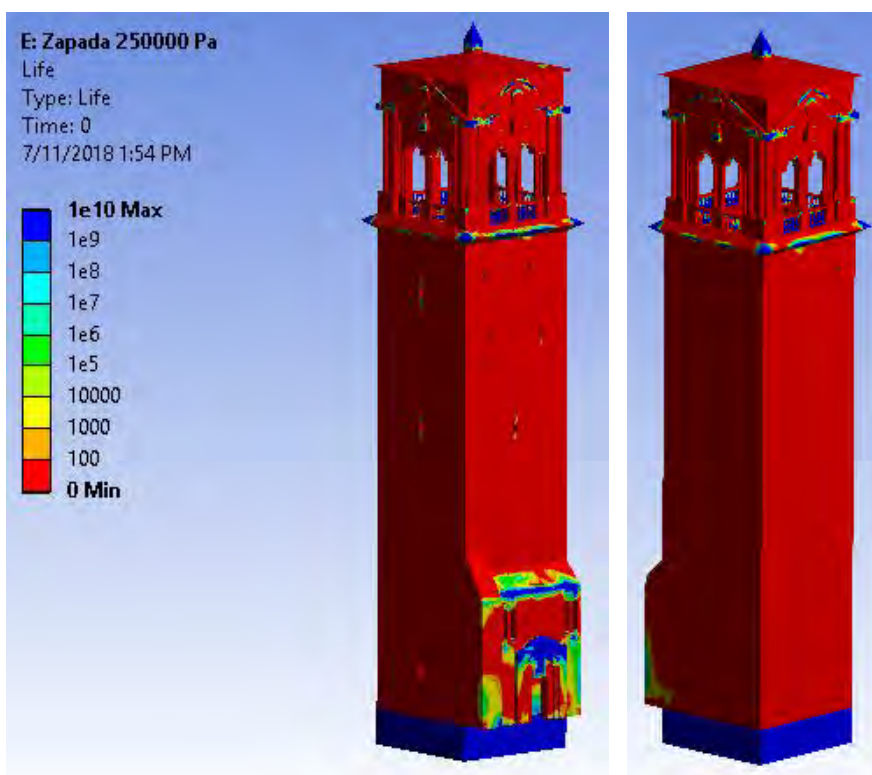


Fig.7.91 Harta de durabilitate pentru 3600 cicluri de încărcare (900 de ani)

În figura 7.92 este prezentată harta de deteriorare pentru 3600 de cicluri de încărcare, echivalent cu 900 de ani.

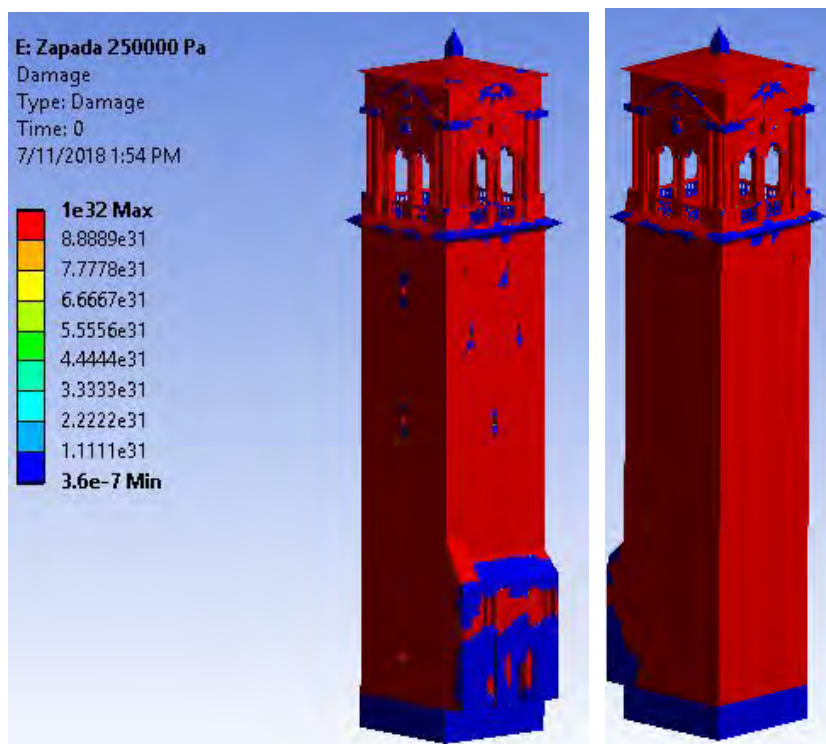


Fig.7.92 Harta de deteriorare pentru 3600 cicluri de încărcare (900 de ani)

#### **7.4.2.4 Simulări numerice ale comportamentului Turnului Civic din Pavia, studiat la încărcarea datorată fenomenului de îngheț-dezgheț și oboseală**

Pentru a obține simularea la oboseală, pentru solicitările care apar la încărcarea datorată fenomenului de îngheț-dezgheț, s-a ținut seama de următoarele considerente:

- fenomenul de îngheț-dezgheț, produce o încărcare suplimentară de 200.000Pa pe zidărie până la înălțimea de 1m de la sol;
- analizând statistici meteorologice se poate considera că acest fenomen apare de 20490 de ori în 900 de ani.

După rularea aplicației, s-au obținut tabele de date, grafice și diagrame dinamice (filme ale simulării). În cele ce urmează, sunt prezentate, diagramele cu valorile maxime pentru tensiuni de tip *von Mises*. Pentru întregul sistem analizat valoarea maximă a tensiunii a fost de  $2.909 \cdot 10^6$  Pa.

În figura 7.93 este prezentată harta de tensiuni pentru clădirea analizată.

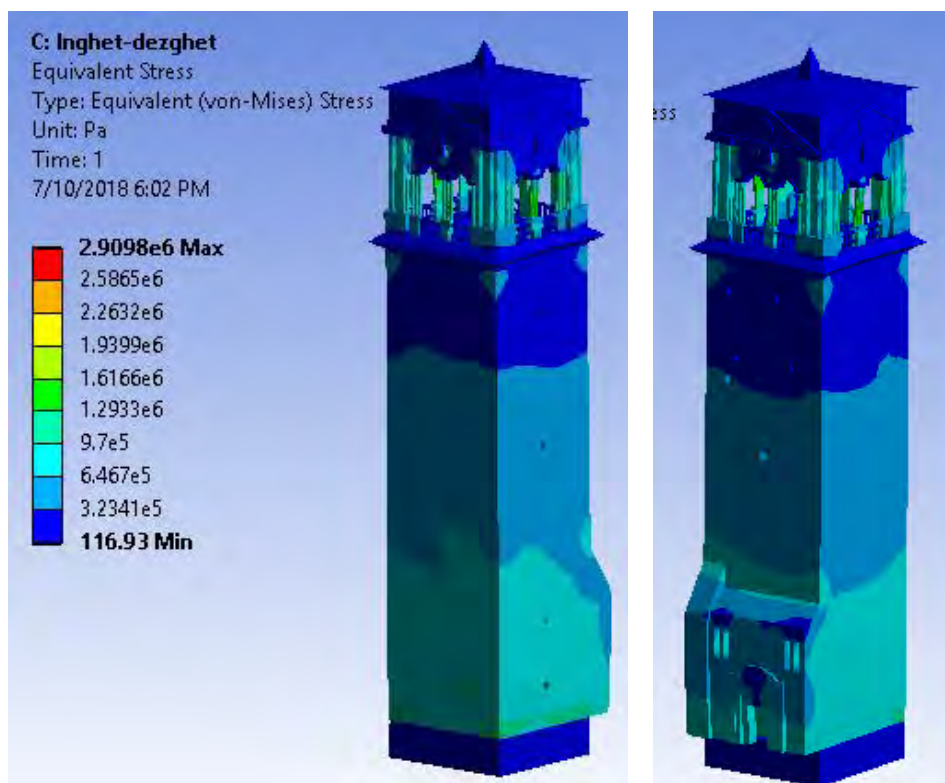


Fig.7.93 Harta de tensiuni pentru sistemul analizat

În figura 7.94 este prezentată harta de deformații pentru sistemul analizat.

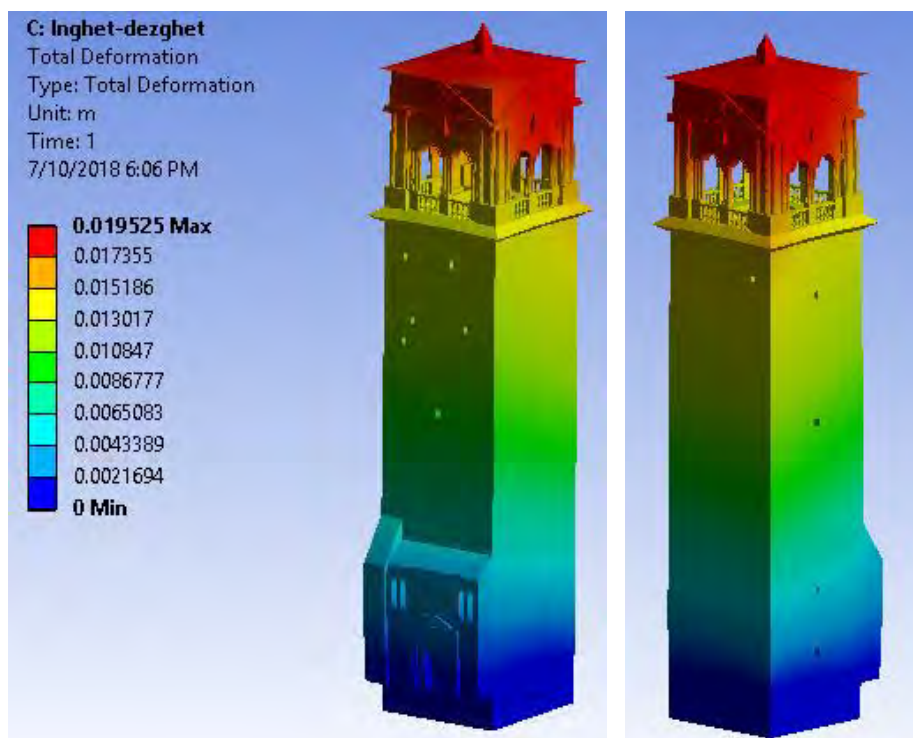


Fig.7.94. Harta de deformații pentru sistemul analizat

În figura 7.95 este prezentată harta de durabilitate pentru clădirea analizată.

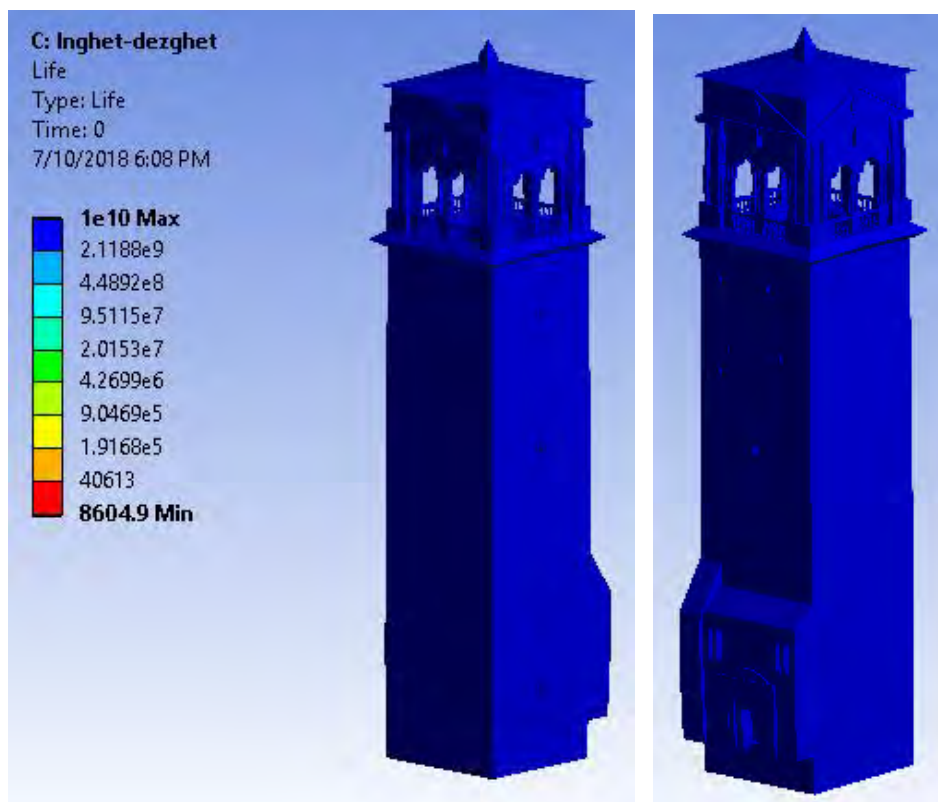


Fig.7.95. Harta de durabilitate pentru 20490 cicluri de încărcare (900 de ani)

În figura 7.96 este prezentată harta de deteriorare pentru 20490 de cicluri de încărcare, echivalent cu 900 de ani.



Fig.7.96. Harta de deteriorare pentru 20490 cicluri de încărcare (900 de ani)



### 7.4.3 Concluzii

Pentru o analiză mai corectă s-au utilizat fotografiile ruinelor Turnului Civic din Pavia (fig. 7.97) și s-a remodelat clădirea ținând seama de aceste aspecte. Astfel, în figura 7.98 sunt redată o serie de imagini ale acestui model virtual aproximativ, obținute în urma analizei cu element finit.



Fig.7.97. Imagini fotografice ale ruinelor Turnului Civic din Pavia [21]

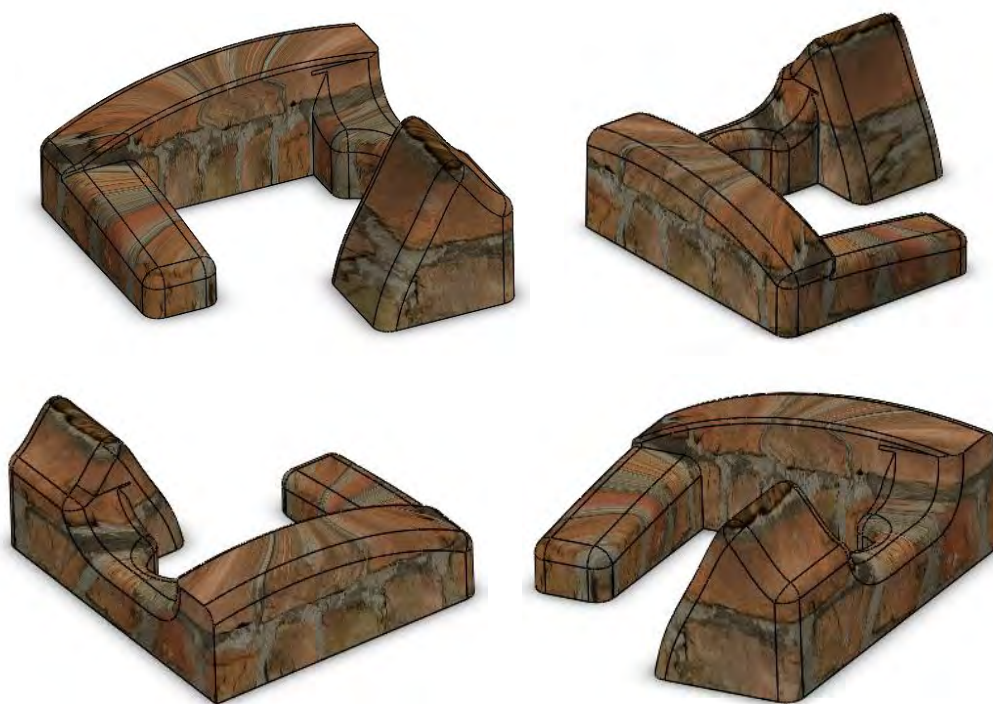
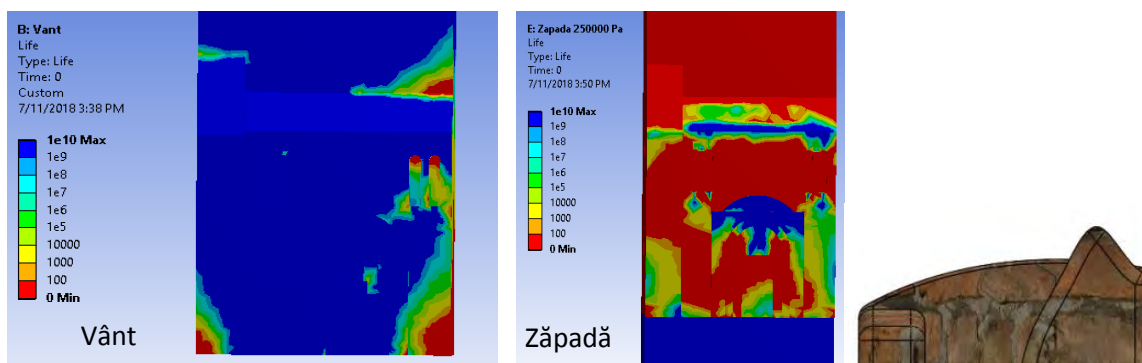


Fig.7.98. Cele patru imagini spațiale în ordinea: sud-vest, nord-vest, nord-est și sud-est

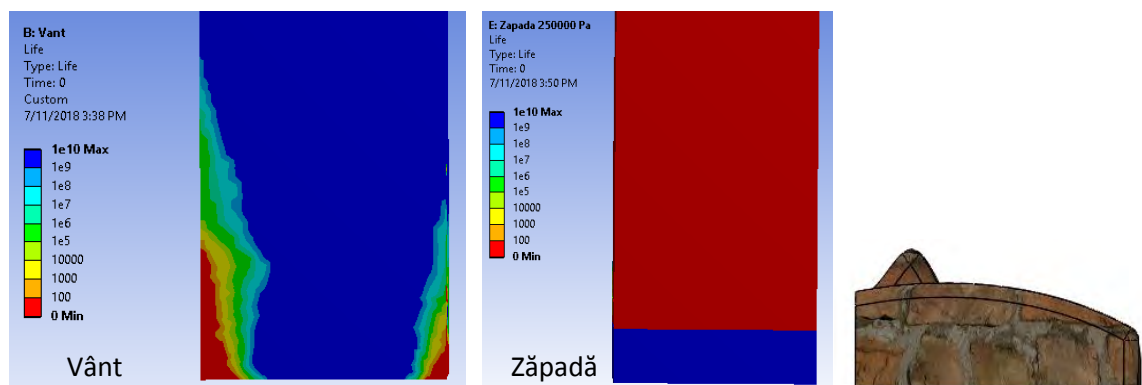
Pentru o analiză corectă, s-au studiat hărțile de durabilitate (*Life*) și de degradare (*Damage*) și s-au constatat următoarele aspecte relevante:

- hărțile corespunzând fenomenului de oboseală pentru încărcările datorate cutremurelor și fenomenul de îngheț-dezghet nu indică degradări semnificative de material pentru cei 900 de ani studiați;
- hărțile corespunzând fenomenului de oboseală pentru încărcările datorate vântului și zăpezii indică degradări semnificative de material pentru cei 900 de ani studiați;
- hărțile corespunzând fenomenului de oboseală pentru încărcările datorate vântului și zăpezii indică o degradare masivă a zidăriei pe fațadele est și vest și mai puțin pe fațadele nord și sud (figura 7.99);

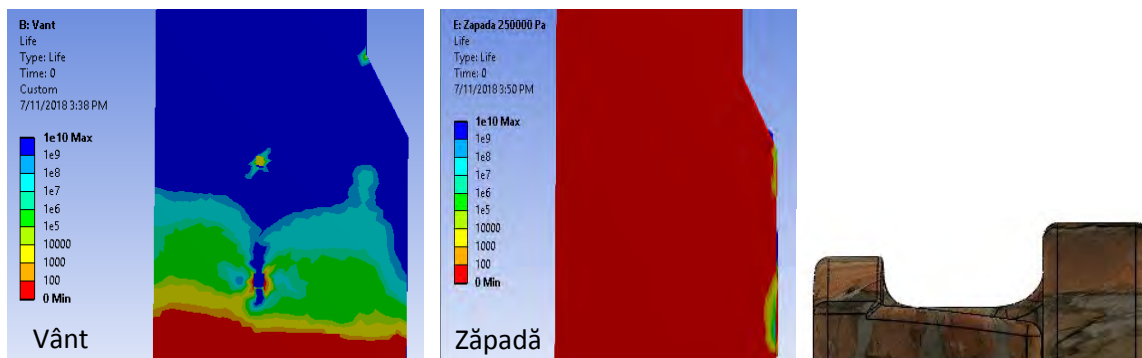
### Fațada Sud



### Fațada Nord



### Fațada Vest



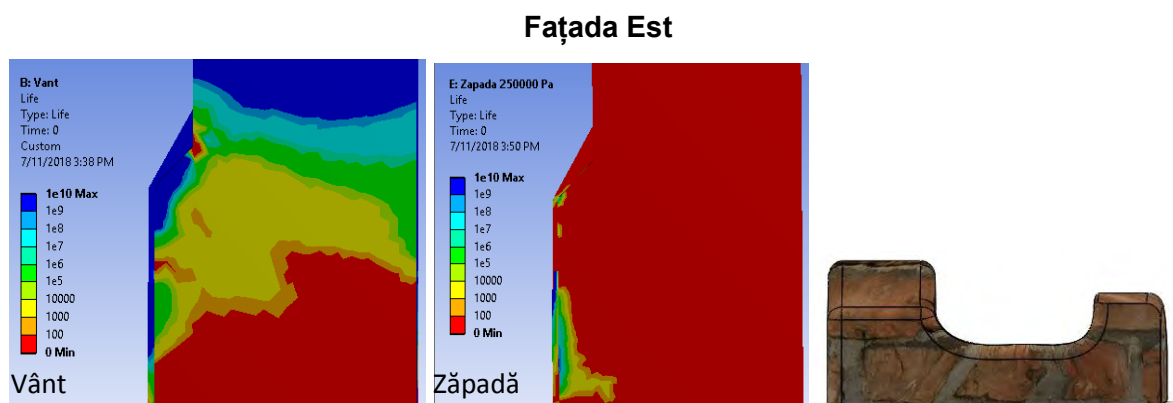


Fig.7.99. Analiză comparativă a hărților de durabilitate (vânt, zăpadă) pentru cele patru fațade, în dreapta fiind prezentat modelul virtual al ruinelor.

- hărțile de durabilitate datorate încărcărilor de zăpadă indică o degradare masivă a zidăriei după 900 de ani;
- analizând imagini fotografice, după căderea Turnului Civic (figura 7.100), dar și hărțile de durabilitate pentru fațadele nord și sud, s-a constatat că, în timpul căderii clădirii, materialele s-au deplasat mai mult pe direcțiile est (unde au fost avariate grav clădiri apropiate) și vest, unde Piazza del Duomo s-a umplut cu spărturi de cărămidă și mortar, și mai puțin în direcția nord (unde au fost avariate ușor unele clădiri) și în direcția sud (unde a fost avariat ușor Duomo di Pavia).

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.7.100 Imagini fotografice după căderea Turnului Civic din Pavia [21]

## 8. METODE DE CONSOLIDARE, REABILITARE ȘI INTERVENȚIE LA CLĂDIRILE DIN ZIDĂRIE

Importanța conservării patrimoniului construit constituie o întâietate pentru societate, astfel în ultimii ani au fost publicate numeroase articole și materiale cu studii întreprinse, pentru a se găsi soluții cât mai optime pentru acest domeniu.

Cel mai cunoscut document adoptat pentru intervenții asupra clădirilor istorice, este „Cartea de la Veneția” în care au fost enunțate direcții principale pe care specialiștii ce intervin pe clădirile istorice trebuie să le respecte în munca pe care o desfășoară. Acest tratat a fost adoptat în anul 1965 cu prilejul uneia din Conferințele Internaționale ale ICOMOS la al II-lea Congres Internațional al Arhitecților Tehnicienilor Clădirilor Istorice. Acest tratat este și în prezent considerat cel mai influent document internațional de conservare, fiind totodată unul din cele mai cunoscute. În carte, sunt stabilite principiile de conservare bazate pe conceptul de autenticitate și importanța menținerii contextului istoric și fizic al unui, al unei clădiri. Cartea evidențiază faptul că monumentele trebuie să fie conservate nu numai ca opere de artă, dar și ca dovezi istorice și trebuie reabilite și conservate în funcție de perioada istorică în care au fost ridicate.

Conservarea clădirilor cu valoare istorică trebuie să reprezinte o prioritate pentru cultura și civilizația oricărei țări [1] ..

Atunci când clădirile istorice necesită lucrări de reparații, reabilitare și consolidare, se recomandă folosirea materialelor tradiționale (lemnul, piatra cioplită sau turnată, betonul, teracota, fonta și oțelul), materiale cu caracteristici apropiate de caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor istorice inițiale. În cazul în care este necesară înlocuirea unor părți din elementele unor clădiri cu valoare istorică, trebuie ca materialul ce substituie originalul să prezinte caracteristici asemănătoare de structură, aspect, culoare sau alte proprietăți. În ultimele decenii, la conservarea totală sau parțială a monumentelor istorice s-au folosit materiale sintetice de tipul polimerilor acrilici, rășinilor epoxidice sau polimerice, dar și materiale moderne de tipul compozitelor polimerice armate cu fibre. Au fost studiate și analizate o serie de soluții de consolidare a monumentelor istorice folosind materiale polimerice armate cu fibre cu aplicații la elementele structurale din materiale tradiționale.

Înlocuirea materialelor de construcție originale cu materiale compozite trebuie să satisfacă trei criterii [1]:

- Să fie compatibile la exterior cu materialele originale;
- Proprietățile fizice ale materialelor compozite trebuie să fie similare, maxim să aibă mici toleranțe, cu ale materialelor din care au fost concepute monumentele istorice;

- Materialele noi utilizate să fie durabile îndeplinind condițiile de performanță pe o perioadă cât mai mare de timp.

Materialele care pot înlocui, parțial sau total, elementele din materiale tradiționale cu valoare istorică sunt: aluminiul turnat, piatra, betonul armat cu fibre de sticlă, betonul prefabricat, compozitele polimerice armate cu fibre, betoanele epoxidice sau cu alte rășini polimerice etc.

La reabilitarea/consolidarea structurilor din zidărie trebuie luate în considerare:

- Vechimea construcției;
- Tipul zidăriei: - din piatră naturală sau din caramidă arsă sau nearsă;
- Materialul de legătură dintre elementele de zidărie: zidărie uscată, mortare cu lianți (de tip argilă, var, mortar de ciment);
- Sistemul structural: zidărie nearmată, zidărie armată, zidărie confinată;
- Tipul fundațiilor, etc.

La reabilitarea și restaurarea construcțiilor din zidărie se remarcă următoarele categorii de intervenții:

### A) Intervenții de completare

Prin simpla alăturare vechi/nou, a reintegrării sau completării cu elemente de construcție sau chiar corpuri noi. Intervențiile de acest gen necesită asigurarea echilibrului dintre structura nou creată și cea deja existentă.

### B) Intervenții de consolidare

În cazul acestui tip de intervenții sunt luate în considerare doar performanțele sistemului structural, incluzând soluții tehnice specifice materialelor. Se disting două mari clase de intervenții de consolidare:

- Substituirii de componente structurale - categorie în care intră o serie de intervenții asupra fundațiilor, pereților portanți ai structurii, elementelor structurale orizontale plane sau boltite (înlocuiri de arce și bolți cu structuri similare din beton armat sau oțel, înlocuirea de pereți din zidărie tradițională cu zidării cu inimă armată, etc.);
- Consolidări și reintegrări de componente structurale existente – reprezintă o intervenție complexă din punct de vedere structural.

## 8.1. Metode moderne de intervenție pentru consolidarea structurilor din zidărie

### 8.1.1 Generalități

Metodele utilizate în cadrul proiectelor de intervenție asupra structurilor din zidărie masivă sunt de două feluri:

- I. **Lucrări de reparații;**
- II. **Lucrări de consolidare.**

În cadrul proiectării lucrărilor de intervenție asupra monumentelor istorice trebuie folosită o metodologie diferită de cele mai multe ori de cea din standardele în vigoare. Fiecare clădire de tip monument istoric trebuie tratată individual fiecare având particularitățile sale.

### 8.1.2 Metode de consolidare folosind lamele de carbon activ

Una dintre metodele de actualitate în reabilitarea structurilor din zidărie masivă folosește lamelele de carbon (Carbodur), utilizate în dispuneri specifice tipului de cedare al elementelor structurale ce necesită consolidare [2].

În urma cecetărilor experimentale asupra elementelor care au fost consolidate în acest fel (Cărămidă tip 2S cu goluri verticale) s-au obținut rezultatele din tabelul 8.1 [2]:

Tabelul 8.1

Indice Proba	B mm	L mm	A mm <sup>2</sup>	P <sub>rup</sub> N	$\tau_{rup}$ N/mm <sup>2</sup>	$\gamma_{rup} * 10^{-3}$ %	$0,5\tau_{rup}$	$0,5\gamma_{rup}$ %	G N/mm <sup>2</sup>
I	298	1226	365348	110	0,213	45	0,106	0,106	473
II	298	1222	364156	170	0,333	27	0,165	0,165	1222
III	300	1226	367800	80	-	-	-	-	-
IV	303	1231	372993	300	0,569	145	145	0,284	392
V	301	1238	372638	200	0,379	77	77	0,190	493

Probele I, respectiv II, au fost probe martor iar probele III-V au fost consolidate pe ambele fețe cu lamele Carbodur S 1012 (fig.8.1b) [3]. S-a observat faptul că suprafața lamelelor a reprezentat 1,4% -în cazul probei III, 3,33% la cea de-a VI-a probă, respectiv 2% pentru proba a V-a din suprafața totală a probelor.

Cedarea s-a produs prematur în celei de-a III-a probă la o valoare a încărcării reprezentând aproximativ 70% din valoarea forței sub care au cedat probele neconsolidate iar rezultatul nu s-a considera concludent .

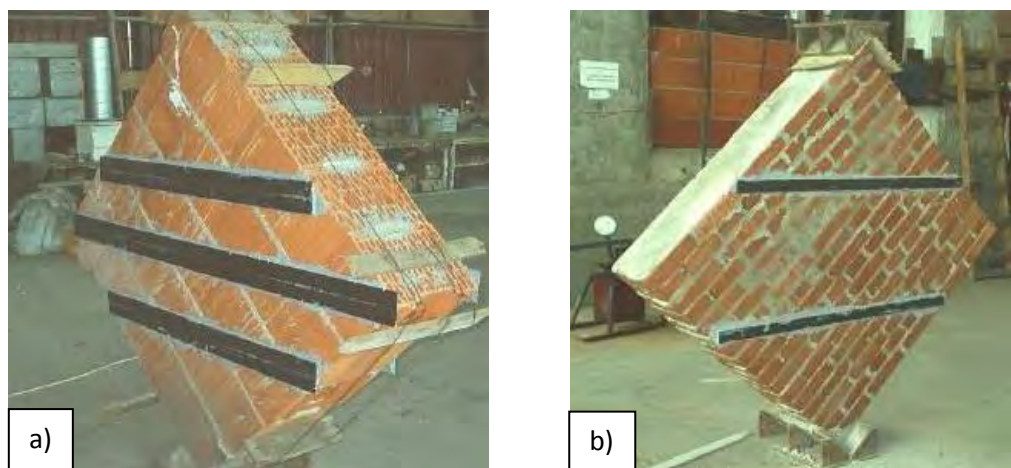


Fig. 8.1 Probă realizată din cărămidă a) modul de dispunere al lamelelor Carbodur, b) specimene realizate din cărămidă plinăplină [3]

S-a remarcat în aceeași timp, pentru probele IV și V, și o mărire considerabilă a deformației (aproape dublă în cazul celei de-a V-a probă și de peste trei ori în cazul celei de-a IV-a probă). Zonele pe care au fost aplicate lamelele nu au prezentat nici un fel de degradare [3].

Consolidarea panourilor de zidărie de dimensiuni mici, cu lamele din fibre de carbon, tip Carbodur, contribuie în mod cert la mărirea considerabilă a deformațiilor panoului la rupere, acest aspect fiind evidențiat în diagramele rezultate în urma testelor de laborator.

## **8.2 Procedee de realizare a lucrărilor de consolidare utilizând bare înglobate**

Se cunosc în tehnica reabilitării construcțiilor diverse soluții de consolidare utilizând bare din oțel pentru consolidarea unor elemente sau corpuri de clădiri. Recent, și în România, s-a utilizat tehnologia de consolidare a unor monumente istorice, folosind bare din oțel înglobate în masa construcției din zidărie de piatră sau cărămidă. Pe această temă a fost elaborată și o „metodologie privind investigarea, expertizarea și proiectarea soluțiilor de consolidare a construcțiilor vechi din zidărie aparținând patrimoniului național, utilizând bare din oțel” (Redactarea I/432/2002/MTCT – ing.Mircea Mironescu) [4].

Soluția cu bare înglobate prezintă exigențe noi pentru aplicarea în special privind tehnologia și detaliile care să dea garanție asupra calității și durabilității în (exploatare) timp. În anumite condiții, soluția permite, să se facă intervenții reversibile sau temporar reversibile. Cu variante diferite de armare, soluția cu armături din oțel – introduse în galerii forate s-a aplicat la consolidarea unor monumente istorice din Franța, cu rezultate remarcabile [5]. Un exemplu este Arcul de Triumf din Paris (fig.8.2).

Barele de oțel utilizate în exemplur prezentat sunt sub forma profilată din oțel beton PC52/PC60 cu diametru adecvat soluției necesare a fi utilizată la un element sau structură istorică în ansamblul său. Studiind literatura de specialitate se poate face o clasificare în trei



tipuri de bare înglobate în galerii forate așa cum au rezultat din încercările studiate ținând cont de lungimea de ancorare în galeria forată în masa zidului ( $l_a$ ):

- bare scurte (dornuri) =  $l_a = 0,5 \div 2,0$  m;
- bare medii =  $l_a = 2,5 \div 7,5$  m;
- bare lungi =  $l_a = 8,0 \div 30$  m.

Diametrul barelor este stabilit prin calcul și trebuie să respecte condiția:  $d_g \geq 2,5\varnothing$ ; Unde  $\varnothing$  reprezintă diametrul barei înglobate iar  $d_g$  este diametrul galeriei care variază între 30-100 mm în funcție de utilaj.

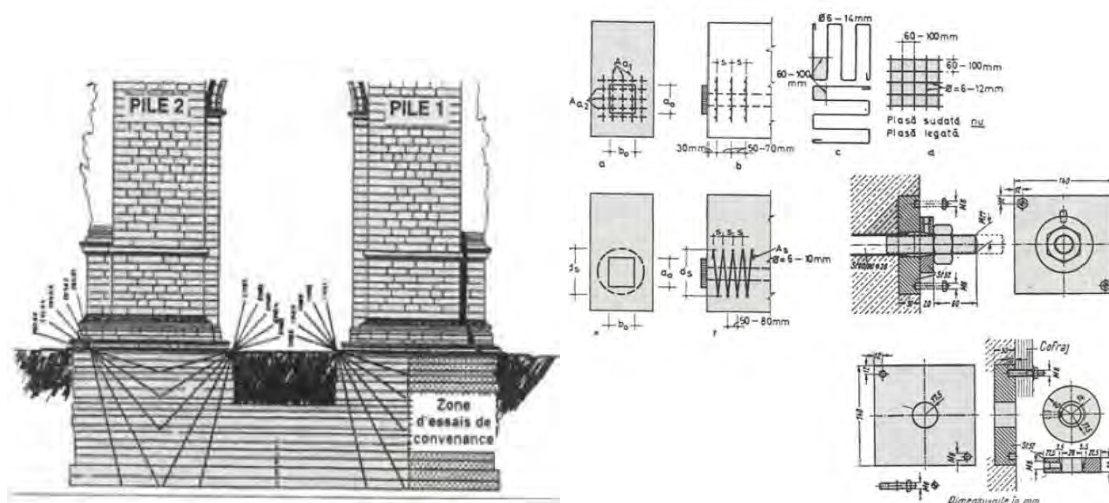


Fig. 8.2 Foraje fundații - Arcul de Triumf din Paris [1]

Precizia în realizarea forajului pe care se poate conta este o deviere de aproximativ 1cm/10m, însă practic s-au obținut și 2,2cm/10m, în funcție de amplasarea și poziția utilajului, și de accesibilitatea zonei de intervenție. Pentru clădirile monument, aceste intervenții reprezintă un mijloc de a rezolva chiar și parțial conservarea și restaurarea care faectează într-o pondere foarte redusă a materialele originale.

Lucrările de intervenție cu bare înglobate permit revenirea colapsului structural de ansamblu sau subansamblu și se recomandă utilizarea în toate cazurile în care construcția are ziduri groase și formă adecvată.

### 8.2.1. Soluția cu bare scurte - dornuri

Aplicarea s-a generalizat la mi multe monumentele la care ing. V. Dascălu și ing. L. Prislopan au executat lucrări de consolidare [1], dintre acestea amintesc cele de la Mănăstirea Agapia, biserica Holboca Iași, Catedrala Mitropolitană Iași, mănăstirea Golia Iași, biserica Sf. Sava, Palatul Copiilor Iași, Institutul de Anatomie Iași etc.

La intervențiile pe construcții vechi monument istoric se întâlnesc utilizări de armături metalice înglobate în masa zidăriei, odată cu execuția acestora cu rol de tirant care ancorează pereții exteriori (opuși) sau elemente în consolă/cornișe, brâie etc). Aceste

sisteme sub diverse forme de alcătuire (chiar și din lemn) s-au găsit la biserica „Sfinții Voievozi” Agapia, biserica „Sf. Nicolae” Holboca, biserica Golia, Catedrala Mitropolitană Iași, Institutul de Anatomie Iași etc. (fig. 8.3).



Fig. 8.3 Elemente de armătură din lemn [5]

Barele înglobate în galerii forate se utilizează postconstrucție și au rolul de a reabilita structura istorică fără a afecta calitatea intrinsecă specifică. În literatura de specialitate, barele scurte (dornuri) montate și înglobate în galerii forate sunt recomandate cu rol de conectori între elementele din beton înglobate în masa zidăriei și elemente din zidărie de piatră sau cărămidă care prin asociere vor căpăta un spor semnificativ de rezistență, în special la solicitări seismice (fig.8.4) [5].

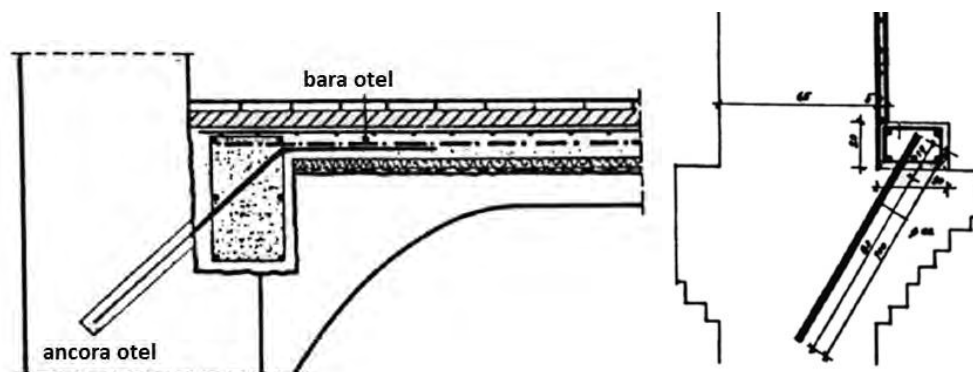


Fig. 8.4 Ancorarea unei diafragme orizontale în zidărie, respectiv consolidarea unei cupole [5]

Un pas esențial înainte de a se trece la execuția lucrărilor de consolidare cu bare înglobate, este realizarea de lucrări de reparații structurale de refacere a continuității materiei originale prin reșeseri, rezidiri, injectare fisuri și injectări în masă (volumul elementelor din zidărie).

În cazul Catedralei Mitropolitane, Iași, la consolidarea la nivelul fundațiilor navei centrale, s-au experimentat și executat [18], cu o tehnologie originală, bare înglobate de

conexiune în etape între grinda de consolidare exterioară și viitoarea grindă din subsolul navei centrale care s-a executat într-o etapă ulterioară (fig.8.5) [5].

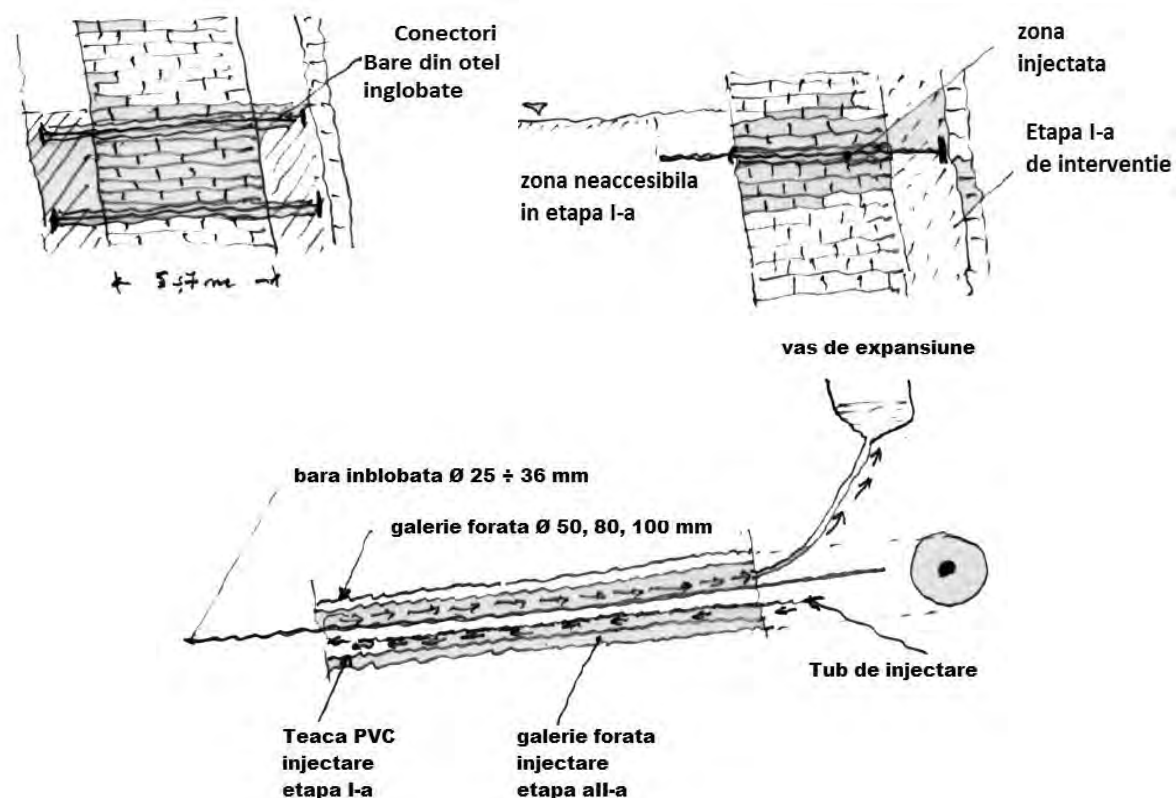


Fig. 8.5 Procedeu de realizare conectori cu bare de oțel înglobate [5]

Se cunoaște din experiența mondială și din practica construcțiilor, sistemele bazate pe armături în galerii forate și/sau cu teacă în care se anfilează trebuie protejate anticorrosiv și supuse unor proceduri speciale de control și asigurare a calității tuturor operațiilor, în mod deosebit celor care devin ascunse sau neaccesibile. În acest sens, în cazul exemplului prezentat au fost aplicat un procedeu de protecție cu teacă din PVC semirigid, iar injectarea a fost executată pe standul de probă amenajat în imediata apropiere a locului de introducere în galeria forată. Bara introdusă în teacă a fost prevăzută cu distanțieri pentru menținerea ei în axul tecii. Bara nu a fost injectată pe zonele de capăt, unde urma a fi înglobată în masa betonului din EVL-uri (la exterior) și zona de înglobare în etapa a II-a – intervenție din interior (această zonă fiind protejată prin acoperirea cu un strat de mortar și o fașă de protecție). Injectarea s-a făcut prin metoda tubajului, prin umplerea tecii de la capătul opus și dublă compactare prin menținerea unei presiuni constante fiind utilizat un vas de aerisire cu rol compensator (fig.8.6).

După întărirea mortarului, barele înglobate în teaci au fost introduse în galeriile forate în prealabil și fixate cu ancoraj în EVL (Elemente Verticale Lamelare).

În cazul prezentat, injectarea s-a făcut prin metoda tubajului, mai exact prin umplerea tecii de la capătul opus și dublă compactare prin menținerea unei presiuni constante utilizând un vas de aerisire cu rol compensator [5].



Fig.8.6 Prezentare metoda tubajului [5]

La biserica Mănăstirii Golia s-a utilizat pentru execuția galeriilor verticale în masa zidăriei din piatră o instalație de foraj cu diametrul de 100 mm. Au fost executate experimental 3 galerii pe înălțimea corpului bisericii de la cota primei cornișe (+13,45) și până sub nivelul tălpii superioare a grinzii Vierendeel (-0,78 m).

În concluzie, utilizarea soluției de consolidare cu bare înglobate în galerii forate prezintă certe avantaje, nu prezintă dificultăți în aplicare și aduce o contribuție semnificativă la lucrările de intervenții pe construcții vechi, cu structură din zidărie de piatră sau cărămidă, cu ziduri groase dar accesibile.

Aplicarea soluției de consolidare utilizând bare de oțel anfilate în galerii forate, în special la construcții vechi din zidărie aparținând patrimoniului național, s-a extins continuu și în România în ultimii ani. Utilizarea acestui sistem prezintă unele avantaje incontestabile, între care:

- conservarea materiei originale a monumentului în proporția cea mai ridicată față de alte soluții;
- singura soluție utilizabilă (până în prezent) în cazul zidurilor pictate pe ambele fețe sau sculptate;
- rapiditatea și acuratețea în execuție, în special la conexiuni scurte.

Armăturile pot fi alcătuite din fascicule de sârme (sau toroane) sau bare groase din oțel. Armăturile utilizate sunt ancorate la capete și rezemate pe plăci de ancorare și cuzineți din beton armat. Ancorajele pot fi fixe înglobate (necesită o execuție ireproșabilă) sau mobile (în special la armături active) [5].

### 8.3. Analiza și diagnoza construcțiilor

Pentru reabilitarea sau consolidarea structurilor din zidărie trebuie luate în considerare:

➤ *Vechimea construcției.* Unul din principalii parametri ce trebuie identificați la examinarea unei construcții existente, în vederea determinării nivelului ei de asigurare antiseismică și a măsurilor necesare pentru menținerea sau majorarea acestui nivel este **stabilirea perioadei în care a fost realizată [...]. Important este ca printr-o investigație de acest fel să se scoată în evidență punctele nevralgice ale unei construcții, de regulă caracteristice epocii în care a fost realizată [5].**

➤ *Tipul zidăriei:* din piatră naturală, cărămidă arsă sau nearsă. Aceasta prezintă o serie de caracteristici ce îi conferă atuurile unui bun material pentru construcții: se găsește din abundență, se prezintă sub o mare diversitate de tipuri, durabilitate, rezistențe mecanice mari și în special rezistență la foc [6].

➤ *Materialul de legatură dintre elementele de zidărie:* zidărie uscată, mortare cu lianți (de tip argilă, var, mortar cu ciment).

➤ *Sistemul structural:* zidărie nearmată, zidărie armată, zidărie confinată; *tipul fundațiilor, etc;*

➤ *Mediul unde se află amplasată clădirea.*

Pe baza unei documentații bine întocmită și selectivă, se recomandă realizarea documentației de reabilitare, sarcină ce îi revin unui inginer proiectant. Acesta are calitatea de a propune soluții tehnice de reabilitare. Tehnica de intervenție, materialele utilizate cât și modul de punere în aplicare, trebuie realizată în funcție de caracteristicile tehnologice ale clădirii restaurate.

Oportunitatea tehnologiilor și materialelor noi, trebuie bine analizată și studiată, ținând cont de ideea de reversibilitate a intervențiilor, astfel o serie de intervenții ulterioare putând fi posibile și mai ales ca acestea să deterioreze structura pe care sunt aplicate, pe termen lung. În cazul intervențiilor ireversibile, care sunt cele mai des folosite, la structurile din zidărie, apare problema compatibilității materialelor noi (proprietățile fizice, chimice și mecanice), cu cele originale și durabilitatea noului ansamblu de materiale fiind capabile să își păstreze caracteristicile inițiale, pe o perioadă de timp similară cu cea a materialelor inițiale.

În ultimii ani, materialele și tehnologiile tradiționale, au făcut obiectul preocupării mai multor firme de materiale speciale de construcții, dezvoltând astfel tehnologii moderne de îmbunătățire a proprietăților materialelor tradiționale.

Tehnologiile și materialele moderne pot fi utilizate pe două direcții:

- intervenții de completare: constau în alăturarea vechi-nou, fără interacțiuni structurale sau cu modificări ale elementelor constructive și funcționale existente;

- intervenții de consolidare: înlocuirea unor componente structurale și respectiv, reutilizarea și întărirea elementelor structurale.

Colaborarea între proiectant și executant este esențială, întrucât de multe ori, în faza de investigare și expertizare accesul nu este posibil la toate subansamblurile clădirii. Din practici reiese că în faza de executare sunt dese completările în proiectul inițial.

Autoritățile locale, din mai multe orașe ale țării, cu ajutorul unui comitet de specialiști, au întocmit "Ghid de bune practici în reabilitarea clădirilor..." scopul lor fiind de a informa, ce se poate și ce nu se poate, ce e de făcut și la cine trebuie apelat pentru o acțiune reușită în reabilitarea unei clădiri monument.

## 8.4 Principalele metode de consolidare a zidărilor

Cele mai uzuale metode de consolidare a elementelor structurale, de la fundații și până la planșee, ce intră în alcătuirea construcțiilor din zidărie sunt prezentate în tabelul 8.2 [7].

Tabelul 8.2.

Fundații	Injecții, cusături armate de profunzime, subzidiri simple sau armate, grindă laterala vierendell cu talpă inferioară lărgită, subzidiri armate rezemate pe piloți forți, etc.
Pereți	Injecții, cusături armate de suprafață, centuri, stâlpișori înglobați, cămășuieli, elemente tip ZIA, consolidări cu elemente metalice asociate, tiranți laterali vizibili, tiranți laterali înglobați
Coloane	Injecții, cusături armate de profunzime, cămășuieli, fretări cu elemente metalice
Arce	Împănări, injecții, cusături armate de profunzime, tiranți vizibili, grinzi asociate, arce asociate la intrados
Bolți	Injecții, împănări, centuri, structuri asociate, suprabetonări
Planee	Înlocuirea porțiunilor deteriorate cu elemente din rășini armate, consolidarea cu platbande și gușee, consolidarea cu cabluri și tiranți, structuri asociate.

La structurile din zidărie cele mai des avariate elemente structurale sunt pereții. În funcție de natura acestor avarii cât și de gravitatea lor, pereții structurali pot să fie consolidați prin metoda de Injecție a fisurilor. Fisurile din pereții de zidării cu o deschidere mai mică de 10 mm pot fi etanșate cu mortar. De regulă, în fisuri cu deschiderea mai mică de 2mm se injectează rășină epoxidică, iar pentru deschideri mai mari, se injectează amestecuri pe bază de ciment. Pentru fisuri cu o deschidere mai mare de 10mm, aria degradată trebuie consolidată prin aplicarea unor metode mai complexe.

Refacerea mortarului din rosturi este recomandată în cazul în care mortarul este degradat din acțiunea unor factori de mediu (precipitații cu sau fără îngheț/dezghet, agenți agresivi din atmosferă etc.) și de asemenea în cazul mortarelor foarte slabe. Scopul injectării fisurilor este "refacerea continuității aparente a zidăriei".

Prin injectarea fisurilor cu amestecuri pe bază de ciment se asigură sporirea rezistenței zidăriei la compresiune și la forfecare și a rigidității pereților avariați până la valori apropiate de cele inițiale, sau chiar peste acestea: circa 80% din rezistența inițială la compresiune și între 0,8 ÷ 1,1 din rigiditatea peretelui cât și 0,8 ÷ 1,4 din rezistența peretelui

în plan. Injectarea fisurilor cu amestecuri pe bază de rășini epoxidice are ca efect sporirea de 2 ÷ 4 ori a rezistenței la forțe laterale în planul peretelui dar creșteri mult mai mici (10 ÷ 20%) ale rigidității.

Injectările însoțite de introducerea unor elemente metalice (platbande, bare rotunde) – denumite injecții armate - sporesc rezistența la întindere și forfecare în zonele importante pentru realizarea conlucrării spațiale a pereților pe direcțiile principale ale clădirii (colțuri, ramificații, intersecții).

Efectul injecțiilor armate este bazat pe confinarea laterală a zidăriei datorată barelor metalice. Intervenția poate fi asociată cu placarea cu beton armat pe ambele fețe ale peretelui în scopul de a îmbunătăți confinarea laterală și de a mări secțiunea rezistentă. În felul acesta se sporește aderența între straturile zidăriei, rezistența la forfecare a zidăriei cât și ductilitatea zidăriei.

Reintegrarea prin părți, desfacerea profundă a rosturilor și chituirea lor este aplicabilă doar în cazurile paramentelor (partea exterioară finită a unei construcții, a unui element de construcție etc.; material care căptușește-cu scop ornamental, această parte) zidurilor din piatră, care se prezintă într-o stare relativ bună de conservare și unde mortarul din rosturi și-a pierdut din proprietățile care asigurau legătura zidăriei. Eficiența sistemului este mare pentru pereții despărțitori; aplicarea metodei conduce la importante economii de materiale.

Modul de execuție constă în desfacerea în profunzime a rosturilor din zidărie de piatră cu ajutorul raschetelor (fig. 8.7a) [8], evitând dalțuirea și utilizarea instrumentelor mecanice, spălarea cu jet de apă sub presiune și rostuirea cu mortar poros, care trebuie să rămână aparent.

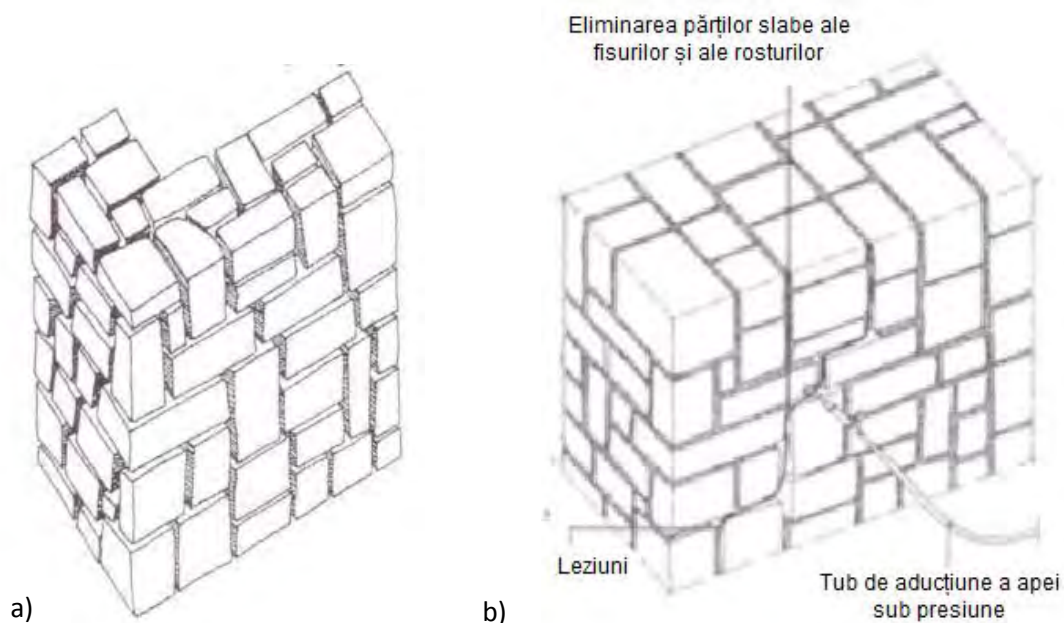


Fig. 8.7 a) Desfacerea profundă a rosturilor și b) împregnarea paramentelor din zidărie [9]

Repararea și refacerea leziunilor cu mortar special (fig.8.7 b) [9], este aplicabilă pe suprafețe locale înainte de a se face un tratament amplu pentru regenerarea structurii distruse. Produsele folosite sunt cele pe baza de ciment de consistență fluidă, încărcate cu particule inerte, cu o granulometrie specială. Etapele de execuție sunt îndepărtarea bucăților de perete desprins până se ajunge la suprafețe sănătoase, curățarea fisurilor cu apă sub presiune și chituiră fisurilor. În cazul chituirii superficiale, este necesară folosirea materialelor tradiționale care includ pulberi provenite din măcinarea materialelor rezultate din cioplirea pereților din piatră. Dacă absorbția de apă indică stări profunde de leziune în grosimea peretelui, se recomandă tehnica de injecție punctiformă sub presiune.

Ameliorarea caracteristicilor mecanice ale pereților din zidărie se poate realiza prin impregnare. Primă etapă de execuție este stropirea manuală (cu bidineaua sau cu jet de aer sub presiune) a materialelor consolidante (acrilice, fluoro-carbonice, silicice), materialele trebuie să penetreze în perete pe o grosime de cca. 3-5mm, pelicula fiind un înveliș care conduce la creșterea mecanică a peretelui consolidat (fig.8.8a) [9]. Apoi se realizează amorțirea superficială cu o rășină de vascozitate redusă, care împiedică capilaritatea, acest amestec trebuie să pătrundă în profunzime pentru a ajunge la stratul de material sănătos. Operațiunea se întrerupe când pe paramentul extern rămân pete de material refuzat.

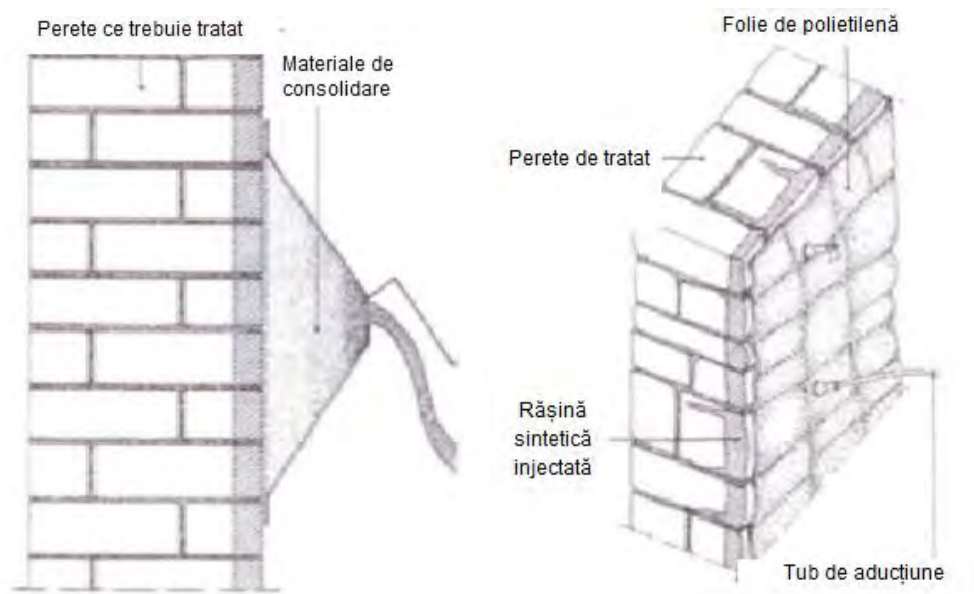


Fig.8.8 a) Împregnarea paramentelor din zidărie și b) Împregnarea paramentelor din zidărie în mediul vidat [9]

În procesul de consolidare se recomandă evitarea formării unei bariere impermeabile în interior, care să conducă la apariția fenomenelor de desprindere a stratului superficial.

Ameliorarea caracteristicilor mecanice prin impregnarea în vid este recomandabilă la consolidarea oricărui tip de structură din piatră, din cărămidă sau din beton armat, și constă în impregnarea unui amestec consolidat antigelif și hidrofug, aplicat în vid pe elemente



poroase. Metoda se aplică astfel: mai întâi se face înfășurarea elementelor supuse tratamentului în folie de polietilenă susținute de o rețea metalică; apoi se face aspirarea suprafețelor de gaze reziduale și de eventuala umiditate a porozității și microcavităților structurii; după aceste prime etape se poate face pulverizarea sub presiune a rășinilor sintetice (silan, rășini epoxidice, acrilice, flour-carbonice); după întărirea stratului de rășini se se poate înlătura folia de polietilenă (fig. 88b) [9].

Gradul de împregnare este direct proporțional cu timpul de gazare, mărirea caracteristicilor de rezistență mecanică depinde la rândul său de gradul de absorbție. După două ore de gazare, gradul de împregnare crește cu 2% și corespunde creșterii caracteristicilor de rezistență cu aproximativ 70%. Valorile structurale obținute pot fi similare cu cele inițiale.

Regenerarea cu injecții din amestec pe bază de ciment este o metodă eficientă dacă pereții din zidărie prezintă următoarele afecțiuni:

- Degradări ale mortarului poros sau porțiuni pe care mortarul lipsește;
- Pereți cu suprafețe neregulate și tencuieli desfăcute;
- Prezența unor degradări evidente.

Intervenția constă în executarea unei serii de injecții cu amestec de produse pe bază de ciment sau de produse chimice, realizate la presiuni variabile, în funcție de condițiile oferite de peretele tratat. Scopul este de a restitui peretelui rezistența inițială prin substituția mortarului cu noile materiale injectate. Execuția presupune eventualele îndepărtări ale tencuielii dacă există și dacă sunt lipsite de valoarea istorico-artistică, desfacerea în profunzime a rosturilor de mortar din pereți, spălarea cu un jet de apă sub presiune, rostuirea paramentului cu mortar de ciment și nisip de granulație mare (cu mortar poros). Etapele ce trebuie parcurse (fig.8.9) [9]:

- executarea forajelor pentru injecție cu ajutorul carotierelor de rotație;
- se fixează și se dispun tuburile de injecție;
- se udă paramentul în mai multe reprize până la saturare;
- se realizează injectarea amestecului.

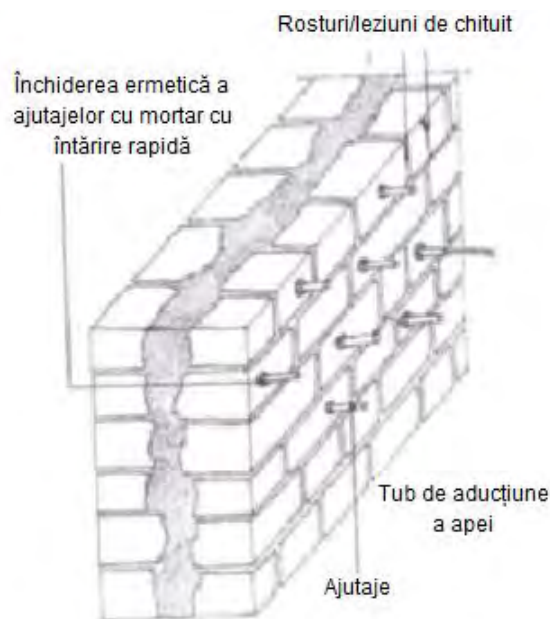


Fig. 8.9 Montarea tuburilor, etanșarea lor și chituirea fisurilor [9]

Fluxul de injectare trebuie să fie continuu, fără a crea goluri de aer. Se recomandă ca operațiunea să înceapă de jos în sus și din zonele perimetrice astfel încât să se blocheze posibilele ieșiri din perete a amestecului injectat.

Zidăria fisurată sau crapată se poate cămășui prin aplicarea pe cele două fețe ale zidului a două plase sudate  $\phi 3$  mm, cu ochiuri de 15-20 cm, cu sau fără injectare prealabilă cu mortar de ciment. Plasele se leagă între ele cu agrafe din oțel beton  $\phi 6$  mm, prevăzute cu ciocuri, introduse prin găurile create în zidărie, pe ambele direcții, la intervale de 50-60 cm (fig. 8.10) [9]. Găurile se fac cu mașina rotopercutantă și trebuie să aibă diametrul de 25-30 cm, pentru a putea fi umplute cu mortar.

Cămășuirea zidăriei se va realiza cu mortar marca M100, iar operațiunea de cămășuire va fi precedată de îndepărtarea tencuiei, a cărămizilor sfărâmate, de curățarea rosturilor și de spălarea și perierea zidăriei. Metodele folosite în vederea reparării utilizează plase sudate unite între ele cu agrafe, aplicate de-a lungul fisurilor.

Consolidarea legăturilor dintre pereții portanți și cei de contravântuire se poate face cu plase sudate sau cu injectții de mortar, după caz. În cazul injectării este necesar curățarea de mortar a două rosturi orizontale de la partea superioară și introducerea a două bare de oțel beton, care se înglobează în mortarul de ciment.

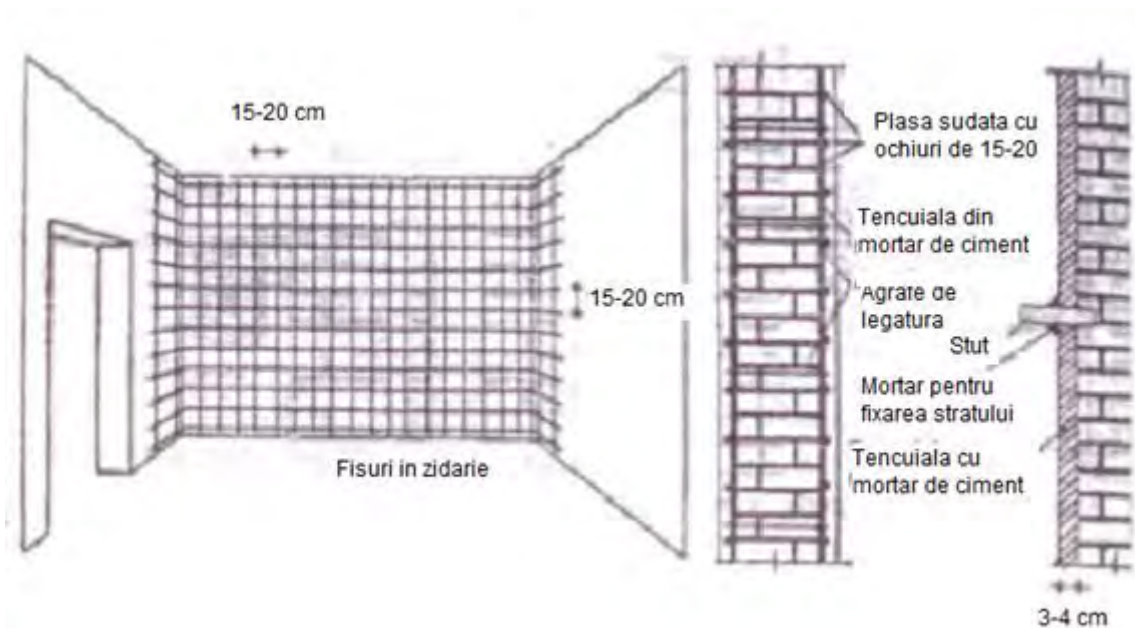


Fig. 8.10 Cămășuirea zidăriei fisurate și injectarea acesteia [9]

Pereții portanți se consolidează la intersecții cu plase sudate ancorate între ele cu bare din oțel beton, introduse în rosturile orizontale prin găuri perforate, în minim trei secțiuni, pe înălțimea zidăriei.

Cămășuirea pereților din zidărie se execută începând de la nivelul fundațiilor dintr-o centură de beton armat. În acest fel se asigură transmiterea încărcărilor la terenul de fundare.

Fixarea armăturilor din cămășuială poate fi realizată și cu scoabe dispuse sub formă de șah la cca. 20 cm pe direcția verticală și orizontală. Scoabele pot fi fixate prin batere în rosturi în găuri în care s-a introdus mortar. În cazul cămășuieiilor duble se practică și sistemul cu scoabe trecute prin zid care leagă armăturile de pe ambele fețe. Dacă se utilizează scoabe fixate prin batere, atunci acestea se dispun în rosturi verticale înclinate la cca. 10-15°, și se fac din oțel obișnuit cu diametrul min de 10 mm și cu lungimea de 15 cm iar ciocul de 6-8 cm, ascuțite și îndoite cu colț drept, la cald.

În cazul cămășuieiilor cu mortar, grosimea cămășuieiii nu trebuie să depășească 4 cm, iar în cazul celor din beton max. 10 cm. Grosimea cămășuieiii este dată de capacitatea portantă ce trebuie asigurată, dar și de tehnologia de execuție (turnarea în cofraj sau torcretarea).

Tiranți centură - metoda este o alternativă la consolidarea zidăriilor cu ajutorul tiranților metalici. Tiranții centură constau în armături petrecute în afara zidurilor, de o parte și de cealaltă a lor și care sunt betonate după ancorare sau chiar pretensionate. În acest mod

zidul este prins cu două eclise cu rol de tirant și centură. Ele se leagă din loc în loc cu bride de beton armat, solidarizate de zid.

Coaserea fisurilor cu scoabe din oțel se practică în cazul fisurilor izolate. Scoabele se fixează de o parte și de alta a fisurii pe cât posibil, perpendicular pe aceasta, în zonele cu zidărie nedegradată. Numărul scoabelor se determină în funcție de secțiunea acestora și capacitatea portantă a peretelui de zidărie, cu asigurarea unei lungimi suficiente de ancorare.

Cele mai uzuale scoabe utilizate sunt din oțel rotund, fixate în găuri cu mortar pe bază de ciment (fig. 8.11) [9]. Dacă este posibil se indică introducerea scoabelor pe ambele fețe ale zidăriei. În practică se întâlnesc și scoabe din oțel lat (platbanda), care au avantajul că pot fi mai simplu fixate în zid cu mijloace obișnuite.

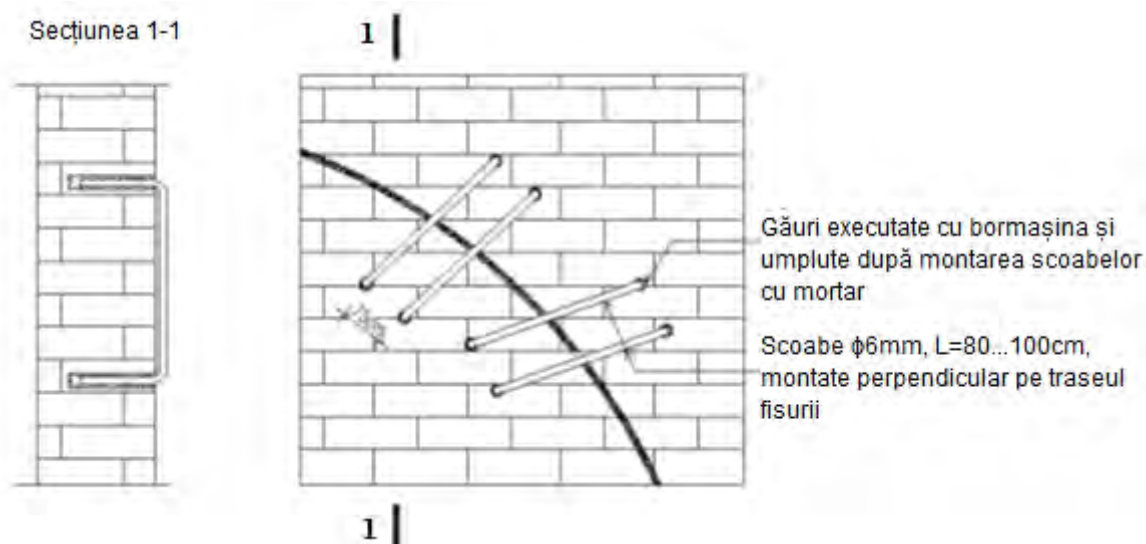


Fig.8.11 Remedierea fisurilor elementelor din zidarie cu scoabe din oțel [9]

În practica se întâlnesc și scoabe din oțel lat-platbanda, care au avantajul că se fixează mai simplu în zid cu mijloace obișnuite (fig.8.12).

Bordarea golurilor poate fi realizată prin:

- Dispunerea de armatură suplimentară în jurul golului, înglobată în cămășiuială,
- Înramarea golului cu o structură din beton armat;
- Înramarea golului cu profile metalice.



Fig. 8.12 Remedierea fisurilor cu bride din oțel lat [9]

În cazul bordării cu armatură, aceasta se dispune suplimentar armăturii din cămășuială și va fi reprezentată de minimum doua bare cu diametrul de 12 mm, dispuse la 10 cm distanță una de cealaltă, pe conturul golului la cca 3-5 cm, de marginea acestuia. Barele se fixează suplimentar în zidărie cu scoabe. Încadrarea golurilor cu o ramă din beton armat se realizează prin scoaterea unui rând de cărămidă. Dacă peretele este gros acest lucru se poate efectua prin realizarea separat la interior respectiv la exterior și eventual se pot realiza legături între cele două rame (fig. 8.13) [9].

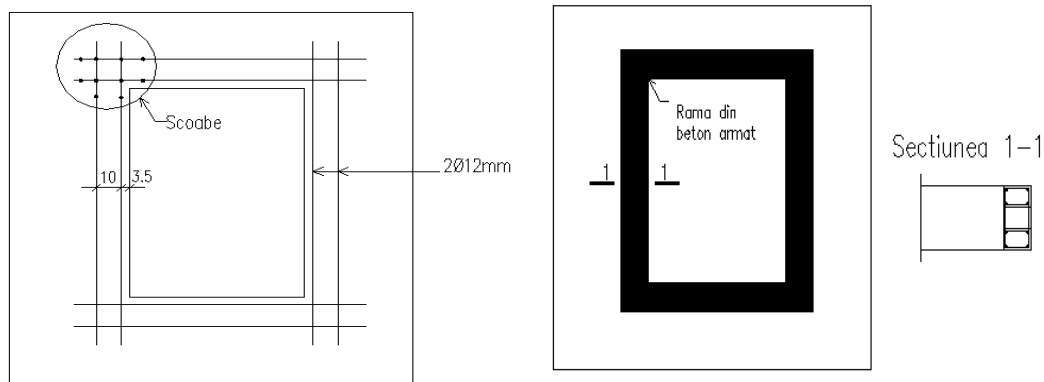


Fig. 8.13 Bordarea golurilor [9]

Plombarea zidărilor este o altă metodă de reabilitare utilizând plombe de beton [10].

## 8.5 Reabilitarea structurală a clădirilor din zidărie în zone seismice

Viteza de degradare a construcțiilor poate fi mărită în cazul existenței unor defecte inițiale datorate greșelilor din fazele de concepere, proiectare, execuție sau chiar exploatare a acestora (lipsa continuității rezemării pe verticală, poziționare greșită a armăturii sau strivirea ei în timpul execuției, eliminarea unor componente constructive după darea în exploatare s.a.). Toate acestea duc la apariția unor construcții a căror înfățișare frizează esteticul, dar și siguranța utilizării lor, constituind, în ultimă instanță, o dovadă a neglijenței din

partea proprietarilor, dar și a autorităților publice obligate să vegheze la siguranța publică și curățenia mediului [10].

Cea mai eficientă cale în prevenirea degradării construcțiilor și prelungirea duratei de exploatare, o constituie monitorizarea atentă, perseverentă și competentă a comportării în situ a construcțiilor, adică urmărirea curentă și specială a comportării lor și intervențiile de mentenanță (întreținere și reparații) și de reabilitare (renovare și restructurare). Comisia Nationala Comportarea in situ a Constructiilor, o asociație profesională înființată în 1994 pe scheletul fostei comisii tehnice din CNIT aparută în 1984, militează de la înființarea sa pentru recunoașterea activității respective prin CAEN și introducerea în COR a trei ocupații derivate, respectiv de „responsabil cu urmărirea curentă a comportării în situ a construcțiilor”, de „specialist în urmărirea specială a comportării în situ a construcțiilor” și de „expert în monitorizarea comportării în situ a construcțiilor”.

*Mecanismul global de producere a avariilor seismice, la structurile bisericilor ortodoxe, constatat și introdus în literatura de specialitate de către prof. Ing. Alexandru Cișmigiu [11].*

*În încercarea de a reduce efectele cutremurelor în clădirile existente una dintre metode constă în reducerea cerințelor seismice. În acest scop, o soluție constă în decuplarea clădirii de mișcarea pământului, prin utilizarea unor dispozitive special proiectate și înzestrate cu rigiditate semnificativă pe direcția verticală și capacitate mare de deformare în plan orizontal. Pe ansamblul bisericii, metoda s-a dovedit a fi eficientă, riscul seismic fiind redus, iar structura bisericii nu necesită alte intervenții de consolidare [12].*

În ultimi ani au fost efectuate cercetări în privința amplificării dinamice a răspunsului seismic la clădirile neregulate iar in acest scop s-a evidențiat necesitatea realizării de tronsoane la cladirile de tip L si la cele cu forma neregulata in plan, in special la cladirile vechi, construite inainte de existenta unor norme de protectie seismica. In urma studiilor desfasurate a rezultat ca la „planul in forma de L este o cauza cu efect global, de ansamblu, iar consecinta a fost torsiunea generala a fiecarui corp in parte” [13]. De asemenea s-a concluzionat ca „ la aceleasi rigiditati flexionale clădirile neregulate prezintă deformații și deplasări mult mai mari decât clădirile uniforme,[..] si că amplificarea dinamica variaza neliniar cu înălțimea clădirilor. Pentru protecția seismică a clădirilor neregulate, mai ales la cele vechi există două alternative constructive:consolidarea sau reconformarea” [13].

„Construcțiile din cărămida simplă, de tipul celor de cult si a monumentelor istorice, prezintă fisuri si crăpături, rezultate in urma evenimentelor care au afectat tara noastră. Pentru o evaluare analitică corectă a siguranței structurale, se va ține cont de faptul că zidăria din componența acestor structuri, are amortizări mai mari decât valoarea de 8%

prevăzută în normativul P100-3/2008 [14]. În încercarea de a reduce efectele cutremurelor în clădirile existente (de cult sau monumente istorice), una dintre metode constă în reducerea cerinței seismice (sau a cantității de energie pe care clădirea o primește din mișcarea pământului).” Pentru realizarea acestui lucru s-au folosit dispozitive special proiectate și configurate cu rigiditate semnificativă pe direcția verticală și având capacitate de deformare mare, în plan orizontal astfel realizându-se decuplarea construcției de mișcarea pământului. De asemenea s-au efectuat și cercetări prin metoda izolării bazei (la o clădire de cult) în urma cărora s-au obținut pe înălțimea clădirii, valori reduse ale accelerațiilor de la nivelul terenului, obținându-se chiar o mișcare de corp rigid (la construcție). În ansamblu metoda s-a dovedit eficientă, riscul seismic fiind redus iar asupra construcției nefiind necesare alte lucrări de consolidare.

În încercarea de a reduce efectele cutremurelor în clădirile existente (de cult sau monumente istorice), una dintre metode constă în reducerea cerinței seismice (sau a cantității de energie pe care clădirea o primește din mișcarea pământului). În acest scop, una dintre soluții constă în decuplarea clădirii de mișcarea pământului, prin utilizarea unor dispozitive special proiectate și înzestrate cu rigiditate semnificativă pe direcția verticală și capacitate mare de deformare în plan orizontal. Prin implementarea metodei de izolare a bazei în cazul unei clădiri de cult ortodox, sunt înregistrate valori reduse ale accelerațiilor de la nivelul terenului pe înălțimea clădirii. Mai mult biserica capătă o mișcare de corp rigid, cu toate deplasările îndeplinind cerința de concentrare în sistemul de izolare. Metodele noi, utilizate pentru reabilitarea structurală seismică a clădirilor existente (din zidărie simplă) sunt foarte eficiente în reducerea efectelor cutremurelor în structură, însă atât materialele compozite cât și dispozitivele componente ale dispozitivului de izolare, au un cost ridicat, care poate reprezenta un neajuns în luarea deciziei finale de intervenție [15].

Apariția fisurilor, a unor dislocări sau prăbușiri parțiale de zidărie poate fi cauzată de tasările diferențiate ale tălpii fundației, acțiunea calamităților naturale sau acțiunea timpului asupra zidăriei. Primul pas important care trebuie făcut în acest caz este acela de a lua măsuri în ceea ce privește restabilirea continuității materialului deteriorat. Aceasta se poate realiza aplicând următoarele tehnici:

A) Realizarea de injectări în adâncimea zidului - Procedul de injectare de mortar în masa zidului are rolul de pătrundere a acestuia în golurile formate între cărămizi și de a realiza monolitizarea zonelor care au suferit avarii precum și realizarea unei îmbunătățiri a proprietăților structurii. Mortarele folosite în cazul

injectărilor este de preferat să fie realizate cu aceeași rețetă ca și a mortarelor vechi degradate. Materialul nou folosit are proprietăți diferite față de cel existent în ceea ce

privește rigiditatea, permeabilitatea la vapori de apă și coeficienții de dilatare termică iar această diferență duce la producerea în timp a unei separări între materialul nou și cel vechi. Nu se poate determina exact continuitatea în masa zidului a materialului injectat și conlucrarea acestuia cu materialele existente, materialul nou având o rigiditate mult mai mare. Efectuarea de găuri în zidărie în vederea realizării procedurii de injectare se face pe perețele exterior a clădirii unde este posibil să existe picturi sau alte elemente de valoare care pot fi afectate. Procedul este situat în categoria procedurilor ireversibile.

*B) Teseri de suprafață* - Procedul se folosește pentru repararea la suprafața peretelui a unor zone fisurate. Nu se pătrunde în masa zidului pentru repararea porțiunilor distruse și de aceea este rar utilizat.

*C) Teseri de adâncime* - Au rolul de a realiza repararea unor fisuri sau rigidizarea unui perete. Procedul constă în realizarea unor găuri în perețele de zidărie unde se vor monta bare metalice, umplerea găurii pentru rigidizare realizându-se cu mortar de ciment. Se pot folosi bare din oțel profilat sau din oțel inoxidabil pentru a preveni ruginirea. Dezavantajele acestei metode sunt diferențele de deformații specifice dintre materiale (oțelul și cărămida) care apar la variația temperaturii aerului și apariția fenomenului de coroziune în cazul barelor din oțel.

*D) Rezidiri parțiale a unor porțiuni de zidărie* - Este indicat ca materialele noi folosite să aibă caracteristicile cât mai apropiate de cele ale materialelor vechi pentru ca acestea să poată conlucra. În cazurile în care zidăria nouă a fost realizată cu materiale a căror rezistență era mult diferită de cea a materialelor tradiționale, acestea au început să lucreze separat în timp și astfel sau produs avarii importante la suprafața de contact dintre zidăria veche și cea nouă.

*E) Zidării rigidizate cu sâmburi și centuri realizate din beton armat la suprafața exterioară a zidului* - Această metodă a fost des utilizată pentru consolidarea clădirilor din zidărie dar cu trecerea timpului s-au constatat o serie de nereguli:

- detașarea materialelor noi de cele vechi, în special în zonele de Sud unde au existat variații mai pronunțate ale temperaturii;

- ieșirea din lucru a centurilor datorită lipsei de legături ale acestora și pe direcția transversală cu elemente capabile să preia atât eforturi de întindere cât și eforturi de compresiune;

- pătrunderea apei în perete a favorizat formarea condensului în zona elementelor din beton armat și apariția de pete în dreptul acestora, cauza fiind datorată porozității și conductivității termice diferite a materialelor componente;



- pătrunderea prin capilaritate a apei sau fenomenele naturale de îngheț-dezghet contribuie și ele la producerea separării între materialele noi și cele vechi.

### F) Încadrarea golurilor din pereți cu elemente realizate din beton armat

În cazul pereților din zidărie care prezintă goluri, uneori pe lângă lucrările de reparare obișnuite, este necesar să se încadreze aceste goluri cu elemente realizate din beton armat.

Pilaștrii de eclisare: această soluție se utilizează în cazul clădirilor în care peretele de zidărie nu prezintă dislocări, în zidărie nu sunt dispuse elemente din beton armat (stâlpișori sau centuri) iar structura are o formă regulată. În cazul existenței în peretele de zidărie a unor fisuri acestea vor fi remediate înaintea începerii lucrărilor de consolidare. Dacă peretele prezintă porțiuni cu zidărie deteriorată această va fi înlocuită. Prin folosirea pilaștrilor în combinație cu tiranți centură se obține o rigidizare bună de ansamblu a clădirii, dar trebuie asigurată conlucrarea dintre peretele de zidărie și elementele din beton. Rigidizarea are loc pe toată înălțimea peretelui incluzând și fundațiile. Procedeu constă în realizarea unor elemente de beton armat pe înălțimea zidăriei în zona îmbinărilor dintre pereți și în câmp, pe ambele părți ale zidului. Pe înălțimea peretelui se realizează bride cu rol în asigurarea conlucrării dintre eclise și zidărie. Înainte de a se ajunge la planșeu se realizează tiranții centură. Prinderea la capăt al tiranților în acest caz se poate face direct în pilaștrii de colț. Pentru ca sistemul să lucreze eficient trebuie asigurată conlucrarea dintre zidăria veche și betonul armat.

Consolidarea folosind zidăria cu inimă armată: utilizează două tipuri de elemente: verticale și orizontale. Aceste elemente se asociază formând un sistem spațial gen carcasă. Componentele orizontale ale sistemului sunt realizate sub forma unor centuri amplasate la partea inferioară (deasupra fundației) și superioară (zona nașterii sistemului boltit) a clădirii. Componentele verticale ale sistemului sunt elemente izolate, situate din loc în loc pe lungimea zidului, în interiorul acestuia, care împreună cu elementele orizontale de care sunt legate realizează rigidizarea structurii. Conlucrarea între elementele noi din beton armat și zidăria veche este realizată prin ancoraje metalice și prin folosirea unui material special numit "mortar-beton". Forma elementele verticale au evoluat de la "sâmbure" în faza inițială la varianta "lamă" în faza finală. Această evoluție se datorează studiului din care rezultă că prin folosirea celei de a doua variantă este rigidizat un volum mai mare din peretele de zidărie. Se folosește aceeași tehnică pentru realizarea ambelor componente.

## 8.6 Concluzii

Reabilitarea și consolidarea patrimoniului construit reprezintă o obligație ce trebuie tratată cu eriozitate și responsabilitate. Importanța și valoarea monumentelor istorice impun o conduită de bună practică în modul de realizare a lucrărilor nefiind admise 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.

Orice intervenție structurală trebuie să aibă la bază o evaluare a degradărilor, cu identificarea cauzelor de producere ale acestora; orice măsură de intervenție fiind neadecvată fără o diagnoză precisă.

Sistemul structural al oricărei clădiri existente a fost supus în timp factorilor degradanți de mediu, care sunt imprevizibili și nu pot fi înlăturați. Prin calcul modern, acțiunea cumulată a acestor factori poate fi analizată, studiată, deci luată în calcul, la alegerea metodei de consolidare pentru garantarea supraviețuirii, în timp îndelungat, a structurii.

Pentru a păstra autenticitatea unui obiect, unei clădiri cu valoare istorică, ce se dorește a fi protejat, trebuie ținut întotdeauna cont de gradul și modul de intervenție, de tipul materialelor cât și de procedeele constructive moderne alese. Tehnicile de conservare și consolidare, trebuie să pună în valoare "originalul", scopul lor fiind de a evidenția valorile estetice și istorice ale acestor clădiri monument.

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.

## 9 CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE ULTERIOARE

### 9.1 Concluzii privind degradarea 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, în particular, a structurii de rezistență a acestora, este nevoie de o echipă de specialiști din diverse domenii.

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 sau modificate ulterior.

O problema de mare actualitate, în întreaga lume inginerescă, o reprezintă punerea în siguranță, întreținerea, consolidarea și mai ales reabilitarea construcțiilor de cult și a celor de patrimoniu. Acest lucru se datorează nevoii de conservare, iar necesitatea evaluării siguranței seismice, a vulnerabilității la acțiunea factorilor de mediu, a comportamentului higrotermic și a modului de întreținere și exploatare a clădirilor de patrimoniu, din zidărie masivă, este evidentă și stringentă.

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 asemănate, 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.**

Conținutul de **umezeală și temperatură** afectează curgerea lentă în două moduri diferite: **direct** prin alterarea vâscozității 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. 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 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.**

- 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%. Incadrând 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 află în zona de intensitate seismică VIII și VIII  $\frac{1}{2}$ . Este evidentă în acest caz ponderea acestui parametru în estimarea duratei de viață a acestor clădiri.
- În ceea ce privește riscul de alunecare al terenului de fundare, 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 află în zonă 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 distrugeri atât la elementele structurale cât și la cele nestructurale. În unele cazuri sunt prezente avarii cauzate de instabilitatea terenului de fundare.**

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 a 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, încărcări ocazionale (cum ar fi vânturi puternice, acumulări masive de zăpadă, cutremure etc.), circulație persoane. Supunerea la diverși factori de mediu, cum ar fi soarele, temperatura, îngheț și decongelare, vânt, ploaie și zăpadă, eroziunea și degradarea biologică, reprezintă încărcări 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.

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, România) 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 elementului 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 treptat 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.

## 9.2 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 parametri de comparație:

- Starea degradării structurale;
- Durata de viață în cazul culelor în stare de pre-colaps și cele dispărute;
- Riscul seismic;

- Accelația 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 microscopică a probelor cu stereomicroscopul;
- Determinarea rezistenței la compresiune;
- Testarea la îngheț-dezghet 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:

- Localizare;
- Categorie patrimoniu;
- An edificare construcție;
- Sistem constructiv;
- Teren fundare;
- Alunecare teren;
- Seismicitatea;
- Avarii infrastructură;
- 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 prelevate 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 calitatea managementului, 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-dezghet 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.

### 9.3 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 Roadeș 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

### Referințe bibliografice capitolul 1

- [1] Gramescu A.M, Barbu A.M.D,, „ Repararea si consolidarea constructiilor,” în *Seria Ingineria Constructiilor*, Bucuresti,, Editura AGIR, 2008.
- [2] xxx, „[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alba\\_Lulia\\_Poarta\\_a\\_III-a\\_a\\_Cetatii.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alba_Lulia_Poarta_a_III-a_a_Cetatii.jpg)”.
- [3] Crisan R.,, *Constructii din zidarie si beton-curs* Universitatea de Arhitectura si Urbanism Ion Mincu, Bucuresti: Universitara Ion Mincu, 2012.
- [4] Mironescu M., Stănescu A. M., Brotea T., Comănescu R, Purdea D, Stănescu M.V., Miro Grup SRL, , „Necesitatea și oportunitatea unui cod (reglementare) pentru interventii structurale la monumentele istorice și cele aparținând patrimoniului arhitectural și o propunere pentru realizarea sa, Bucuresti: Conferinta Internationala AICPS, 2013.
- [5] Binda L., Anzani A., Saisi A. et al.,, *Learning from failure. Long-term behaviour of heavy masonry structures*,, WIT Press, 2008.
- [6] Feilden B. M.,, „Conservation of Historic Buildings,,” Londra, Architectural Press, 2003.
- [7] xxx, „<http://www.monumenteuitate.org/ro/map#.W1n3LdUzbMU>”.

### Referințe bibliografice capitolul 2

- [1] Crisan R.,, *Constructii din zidarie si beton-curs* Universitatea de Arhitectura si Urbanism Ion Mincu, Bucuresti: Universitara Ion Mincu, 2012.
- [2] Mogosanu A.M.,, „Contributions about Humidity Influence above the Massive Masonry Buildings Degradation,,” în 2nd Conference for PhD students in Civil Engineering CE-PhD, Cluj Napoca, 2014.
- [3] xxx, „[http://www.revistamonumenteloristorice.ro/fisiere/RMI\\_2009\\_1-2\\_004.pdf](http://www.revistamonumenteloristorice.ro/fisiere/RMI_2009_1-2_004.pdf)”.
- [4] Proca G., „Deteriorări în construcții cauzate de excesul de apă,,” în *Revista Construcțiilor*, Universitatea Tehnică Iași, ian-feb 2011.
- [5] Crisan R, Danaila D. , Cristian M. , „Principii de restaurare,” în *BCMI* nr. 1-4, 2000, pp. p. 94-143.
- [6] TRIFAN A.,, „Contribuții în domeniul analizei deformațiilor și deplasărilor construcțiilor și terenurilor, teza de doctorat,” Facultatea de Geodezie, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2013 .
- [7] xxx, „[http://www.revistamonumenteloristorice.ro/fisiere/RMI\\_2009\\_1-2\\_004.pdf](http://www.revistamonumenteloristorice.ro/fisiere/RMI_2009_1-2_004.pdf)”.
- [8] Mihalcu M.,, „Coroziunea bacteriana si problemele conservarii obiectelor muzeale si a monumentelor istorice,” în *R. M.*, 3, , 1966, pp. p. 224-228..
- [9] Zbarnea I.,, „Pridvorul bisericii Coltea din Bucuresti. Stabilirea patologiei si a operatiilor de remediere a degradarilor pietrei, Concepte si tehnici de restaurare. Sesiunea de comunicari stiintifice,” Bucuresti,, Editura DAIM (prescurtat CTR), 1998, p. p. 101.
- [10] Fabini H.,, „Probleme legate de restaurarea bisericii Negre din Brasov,” *RMM MIA* 2, 1981, p. p. 47..
- [11] Kent R.,, „A Heritage In Ruins The Maintenance and Preservation of Ruined Monuments,,,” [www.buildingconservation.com/articles/heritageruins.htm](http://www.buildingconservation.com/articles/heritageruins.htm).
- [12] FABINI H., , „Turnuri de patricieni in Sibiu,” *Revista Muzeelor si Monumentelor*, 1974, p. p. 44..
- [13] Gherghel G, „Studii si cercetari privind solutii de consolidare a constructiilor avariate si urmarirea in timp a acestora, Teza de doctorat,” Brasov, Univ. Transilvania, 2011.

- [14] xxx, „<https://slatinadealtadata.wordpress.com/tag/conac/>”.
- [15] xxx, „[https://www.welcometoromania.ro/E68\\_Sibiu\\_Brasov/E68\\_Sibiu\\_Brasov\\_Breaza\\_r.htm](https://www.welcometoromania.ro/E68_Sibiu_Brasov/E68_Sibiu_Brasov_Breaza_r.htm)”.
- [16] Mihailescu M., Constantinescu C., Camui I., , „Influenta unor factori de mediu asupra monumentelor istorice,„ în Constantin Brancusi , Univerity-8 International conference, Targu Jiu, 2002.
- [17] Dan T., „Reabilitarea si consolidarea constructiilor de zidarie I si II -curs,„ Bucuresti, Facultatea de Constructii, 2009-2010.
- [18] Petrovici R., „Proiectarea seismică a structurilor și elementelor nestructurale din zidărie I,„ Cursul online AICPS.
- [19] Dragomir C.S, „Amplificarea dinamica a cladirilor neregulate,„ în INCERC Bucuresti.
- [20] xxx, „Dilemma on some existing buildings: Collapse prevention or demolation?, International Workshop on Measures for the Prevention of Total Collapse of Existing Low-Rise Structures,„ Istanbul, Turcia, 17-20 Nov. 2007.
- [21] Feilden B. M., „Conservation of Historic Buildings,„ Londra, Architectural Press, 2003.
- [22] Purcaru M., „Contributii privind reabilitarea structurala a cladirilor de cult si monumentelor istorice in zone seismice, Teza de Doctorat,„ UTCB, 2012.
- [23] xxx, Cod de evaluare pentru cladirile existente P100-3-2008.
- [24] Matei C.,L., „Contribuții asupra definirii caracteristicilor de rezistență și deformabilitate ale zidăriei uilizate în zone seismice – teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București,„ 2013.
- [25] L. Schueremans, F. Van Rickstal,et al, „A State of Art of applied Research and Practice in Belgium,„ în Continuous Assessment of Historic Structures, Belgium, 2001.
- [26] Thesis D., Leuven K.,U., „[1] Van de Vijver D., “Les relations franco-belges dans l’architecture des Pays-Bas méridionaux, 1750-1830”,„ în Department of Architecture, Civil Planning and Environmental Organisation, 2000..
- [27] Van Balen K., „ “Methodologies for the monitoring of degradation în view of the selection of treatment strategies - expert system for evaluation of deterioration of ancient masonry structures”,„ Berlin,, Dahlem Conferences, 1998.
- [28] Van Rickstal F, „“Grout injection of masonry, scientific approach and modeling”, Ph.D. Thesis, KULeuven, Department of Civil Engineering,„ 2000..
- [29] Venderickx K., Thesis D, „ “Evaluatie van geo-electrische metingen op metselwerk”, ,KULeuven, Department of Civil Engineering,„ 1999..
- [30] Wenzel F., Kahle M., „“Indirect methods of investigation for evaluating historic masonry”,„ Zurich,, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 1993., pp. pp. 75-90.
- [31] Wenzel F., Kahle M., „Indirect methods of investigation for evaluating historic masonry - Ein Dienst der ETH-Bibliothek ETH Zürich, Rämistrasse 101,„ Zürich, Schweiz, , , [www.library.ethz.ch](http://www.library.ethz.ch) <http://www.e-periodica.ch>, 1993..
- [32] Thomasen S.E., Sears C.L., „ “Historic preservation. High and Low tech diagnostic technology”,„ Zurich, International Association for Bridge and Structural Engineering, 1993., pp. pp. 91-98.
- [33] Schaerlaekens S., De Bruyn R., Van Gemert D. and Schueremans L., „ “Restauratie van buitenmuren: beoordelen van oud metselwerk”,„ WTCB Tijdschrift, Vol. 2, 1999., pp. pp. 3- 13.
- [34] xxxx, „Cod proiectare P100-3/2008 - Construcții ancheta publică, Anexa D.”.
- [35] Wendrich, A., Trela., Krause, M., Maierhofer, C., Effner, U., Wostmann, J., „ Location of Voids in Masonry Structures by Using Radar and Ultrasonic Traveltime, Tomography,„ <http://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/Tu.3.2.5.p>, ECNDT 2006 - .
- [36] xxx, „<http://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/Tu.3.2.5.pdf>”.

- [37] Franke, L., Schumann, I., et. al., „Damage Atlas, Classification of damage patterns found in brick masonry”, în Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report,, Stuttgart, European Commission Vol.2, No.8, 1998.
- [38] Mair, J., „Handbuch historisches Mauerwerk, Untersuchungsmethoden und Instandsetzungsverfahren”, Birkhäuser Verlag,, Berlin, , 2002.
- [39] xxx, „ONSITEFORMASONRY, EVK4CT200100060, www.onsiteformasonry.bam.de).”.
- [40] Aniels, D. , „Surface-Penetrating Radar”, Londra: The Institution of Electrical Engineers., 1997.
- [41] Azevedo, S. G., Mast, J. E., et al. , „HERMES: A high-speed radar imaging system for inspection of bridge decks,” SPIE Procedurings, 1996, pp. Vol. 2946, 195-204.
- [42] Göttel, R., Mönich, G. and Maierhofer, Ch., „High frequency radar antennas for resolution enhancement of concrete structure images”, Washington, USA, Proceedings of the EOS/SPIE International Symposia on Industrial Lasers and Inspection & Envirosense,, 1999, pp. Vol. 3827, 96-103.
- [43] Maierhofer, Ch., Leipold, S., Schaurich, D., Binda, L. et al , „Determination of the moisture distribution in the outside walls of the S. Maria Rossa using radar”, Kansas, USA, Proceedings of the 7th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 1998, pp. Vol.2, 509-514.
- [44] Maierhofer, Ch. and Wöstmann, J. , „Investigation of dielectric properties of brick materials as a function of moisture and salt content using a microwave impulse technique at very high frequencies”, NDT&E International, , 1998a, pp. Vol. 31, No. 4, 259-263.
- [45] Maierhofer, Ch. , „Radar investigation of masonry structures”, NDT&E International, , 2001, pp. Vol. 34, No. 9, 139-147.
- [46] 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. pp. 11–20, .
- [47] Maierhofer, Ch., Wöstmann, J., Schaurich, D. and Krause, M., „Radar investigation of historical structures”, Uomoto, T. (ed.), Seiken Symposium No. 26, Non-Destructive Testing in Civil Engineering,” Tokyo, Japan, 2000 .
- [48] ILINOIU O.,G., „Controlul calitatii elementelor de constructii, Metode Vizuale, – Gardiner & Theobald International Project & Cost Management,” Revista construcțiilor, august 2007, pp. pag 28-34.
- [49] Crișan, M., „Restaurarea structurală a clădirilor de cult ortodox din Țara Românească și Moldova”, Teză de doctorat,, București, Institutul de arhitectură „Ion Mincu”, 1998.
- [50] Coman, M., Gagionea, B., Marcu, D., et al , „ Metode de evaluare a proprietăților zidărilor. Încercări cu prese plate vs. încercări pe elemente extrase. Studiu de caz – Casa Vernescu,” Revista AICPS, nr. 1-2, 2016.

### **Referințe bibliografice capitolul 3**

- [1] xxx, „Eurocod 6: SR EN 1996-1-1:2006: Proiectarea structurilor de zidărie.”.
- [2] xxx, „P 100-1/2013 Cod de proiectare seismică. Prevederi pentru clădiri,” 2013.
- [3] xxx, „CR 6 2013- Cod de proiectare pentru structuri din zidărie”.
- [4] xxx, „SR EN 1052 1 Metode de Incercare a Zidăriei Partea 1 Determinarea Rezistenței la compresiune,” 2005.
- [5] „SR EN 771-1 - Elemente pentru zdărie de argilă arsă,” 2003.
- [6] xxx, „Strategia de dezvoltare teritorială a României, Studii de fundamentare, Studiul 20: Protecția monumentelor istorice și a patrimoniului construit, Raport de sinteză,” 2014.
- [7] xxx, „CR 6 2006- Cod de proiectare pentru structuri din zidărie,” 2006.

- [8] xxx, „SR EN 772 2011 Metode de incercare pentru zidarie”.
- [9] xxx, „SR EN 998-2 Specificatie a mortarelor pentru zidarie,” 2004.
- [10] xxx, „STAS 10109-1-82 Lucrari de Zidarie,” 1982.
- [11] Como M., „Springer Series in Solid and Structural,” Springer International Publishing Switzerland 2013, 2016, ISSN 2195-352X, p. Volumul 5.
- [12] Petrovici R., „Proiectarea seismică a structurilor și elementelor nestructurale din zidărie I,,” Cursul online AICPS, 2016.
- [13] xxx, Cod de evaluare pentru cladirile existente P100-3-2008.
- [14] D. T, „Reabilitarea structurilor din beton si zidarie-suport de curs,” Bucuresti, Facultatea de Constructii, 2014.
- [15] xxx, „SR EN 1052-3:2003 Metode de încercare a zidariei. Partea 3: Determinarea rezistenței inițiale la forfecare,” 2003.
- [16] A. A. S. A. e. a. Binda L., Learning from failure. Long-term behaviour of heavy masonry structures,, WIT Press, 2008.
- [17] Binda. L., Tiraboschi, C., Tongini Folli, R., „ On site and laboratory investigation on materials and structure of a bell-tower in Monza.,” în *Jahrgang, Aedification Publishers, Heft 1*, 2000, pp. pp. 41-62.
- [18] Binda, L., Poggi, C., „Binda, L. & Poggi, C., Ricerca volta a stabilire le condizioni statiche ed il comportamento meccanico della muratura del campanile del Duomo di Cremona. Realizone Finale,,” Contratto Consiglio dela Chiesa Cattedrale di Cremona,, 1999.
- [19] Crisan R., Constructii din zidarie si beton-curs Universitatea de Arhitectura si Urbanism Ion Mincu, Bucuresti: Universitara Ion Mincu, 2012.
- [20] CDCAS, Monografie Prof. Alexandru Cișmigiu, editura Monitorul official., Bucuresti: editura Monitorul Official, 2002.
- [21] Dan T., „Reabilitarea si consolidarea constructiilor de zidarie I si II -curs,” Bucuresti, Facultatea de Constructii, 2009-2010.

#### **Referințe bibliografice capitolul 4**

- [1] Gramescu A.M, Barbu A.M.D., „ Repararea si consolidarea constructiilor,” în *Seria Ingineria Constructiilor*, Bucuresti,, Editura AGIR, 2008.
- [2] Petrovici R, „Protectia componentelor nestructurale din zidarie,” *Revista Constructiilor*, vol. 89, p. 2013.
- [3] Mironescu M., Stănescu A. M., Brotea T., Comănescu R, Purdea D, Stănescu M.V., Miro Grup SRL, „Necesitatea și oportunitatea unui cod (reglementare) pentru interventii structurale la monumentele istorice și cele apartinand patrimoniului arhitectural și o propunere pentru realizarea sa, Bucuresti: Conferinta Internationala AICPS 2, 2002.
- [4] xxx, Cod de evaluare pentru cladirile existente P100-3-2008.
- [5] xxx, „P 100-1/2013 Cod de proiectare seismică. Prevederi pentru clădiri,” 2013.
- [6] CDCAS, Monografie Prof. Alexandru Cișmigiu, editura Monitorul official., Bucuresti: editura Monitorul Official, 2002.
- [7] Vintila D., Ionescu A., Mecanica zidariilor, Craiova: Editura Sitech, 2015.
- [8] Osztrólucky M, Degradari si defecte in constructii-cauze si solutii, Oradea,: Editura Casa, 2015.
- [9] Mironescu M, Evaluările prin calcul a structurilor monumente istorice și cele aparținând patrimoniului arhitectural, Bucuresti: Curs Online AICPS- <http://cursurionline.aicps.ro/>, 2014..
- [10] Binda L., et al, „Learning from failure. Long-term behaviour of heavy masonry structures,, WIT Press, 2008.

- [11] Frigerio G., Frigerio, P., „Influence of the Components and Surrounding Environment in the Mechanical Behaviour of Brick Masonry (in Italian).”, Milan, Italy, : Graduation thesis, Politecnico di Milano., 1985.
- [12] 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., pp. pp. 1305-1313.
- [13] Berto, L., Saetta, A., Scotta, R., „Failure, mechanism of masonry prism loaded in axial compression: computational aspects,” în *Materials and Structures*, 38(276), 2005., pp. pp. 249-256.
- [14] Lenczner, D., Warren, D.J.N., „In situ measurement of long-term movements in a brick masonry tower block,” în *Proceedings of the 6th IBMaC*, Rome, 1982, pp. pp.1467-1477.
- [15] Rots, J.G., „Computational Modelling of Concrete Fracture. PhD Disstertation,” în *Delft University of Tehnology Delft*, The Netherlands, 1988.
- [16] Binda. L., Tiraboschi, C., Tongini Folli, R., „On site and laboratory investigation on materials and structure of a bell-tower in Monza.” în *Jahrgang, Aedification Publishers, Heft 1*, 2000, pp. pp. 41-62.
- [17] Vermeer, P.A., De Borst, R., „Non-associated plasticity for soils, concrete and rock. Heron, 29(3),” 1984, pp. pp. 1-64, .
- [18] Lourenco P.B., „/Programmer Guide for the Micro-Modelling of Masonry Structures,” în *Delft University of Tehnology Report 03.21.1.31.35*, Amsterdam, Available from <http://www.civil.uminho.pt/masonry>., 1996.
- [19] xxx, „CEB-FIP Model Code 1990;,” în *Bulletin D’Information No.213/214*, , Londra, 1993., pp. Comite Euro-Internatiomal du Beton.
- [20] Scotti A., „L’età dei Boromei in Monza. Il Duomo nella storia e nell’arte,” Milano, , 1989 .
- [21] Lourenco P.B., Rots, J.G., „A multi- surface interface model for the analysis of masonry structures,” în *J. Engineering Mechanics*, ASCE, 123(7), 1997., pp. pp. 660-668.
- [22] DIANA, „DIANA Finite Element Code, version 8.1.,” în *TNO Building and Construction Research*, Delft, Olanda.
- [23] Lorencio P.B., „Computational Strategies for Masonry Structures. PhD Dissertation,” Delft University of Technology, Olanda, Available from [www.civil.uminho.pt/masonry](http://www.civil.uminho.pt/masonry), 1996. .
- [24] Van der Pluijm R., „Out-of-plane Bending of Masonry: Behaviour and Strength. PhD Dissertation,” în *Eindhoven University of Technology, Eindhoven*, Olanda, 1999.
- [25] Papa E., Binda L., Nappi A., „Effect of persistent loads in masonry structures.” în *Proc. 3rd Int. Masonry Conf.*, , London, 1992, pp. pp. 290-294.
- [26] xxx, Eurocode 6: Desidin of Masonry Structures, pr.EN 1996-1-1: 2002 CEN Brussels, Belgium, 2003.
- [27] Mazzotti C., Savoia M., „Nonlinear creep, Poisson’s Ratio, and creepdamage interaction of concrete in compression,” *ACI Materials J.*, 99(5), 2002, pp. pp. 450-457.

### **Referinte bibliografice capitolul 5**

- [1] xxx, Monografie Prof. Alexandru Cișmigiu, editura Monitorul official., Bucuresti: editura Monitorul Official, 2002.
- [2] Atanasescu I., Popescu P., Culeledin Oltenia...și evoluția lor până astăzi,, Craiova: ISBN 978-973-0-15178-7, Colecția Patrimoniul Cultural National, 2013.
- [3] Atanasescu, I., Grama V., Culele din Oltenia, Craiova: Editura Scrisul Romanesc, 1974.
- [4] xxx, Cule case boierești fortificate din Romania - Kule Boyar Fortified Houses in Romania,



- București.: ISBN 978-973-87938-5-9, Igloo, 2007.
- [5] xxx, Cule: case fortificate între fală și ruină, București: ISBN 978-606-8026-39-8, Igloo media, 2014.
- [6] Olteanu A. C., Tomsa C., „Monitorizarea masivelor de pamant si a structurilor,” în *Revista Constructiilor*, nr .109- noiembrie 20014,, p. 76..
- [7] Mogosanu A.M., Calbureanu M.X., Duta A., Sass L., Stanescu G., „Studii privind durabilitatea și degradarea consrucțiilor din zidărie masivă,” *International Congres S.M.A.T*, Craiova, 23-25 oct 2014.
- [8] Hann F.E.I, „Degradarea construcțiilor,” în *Revista Construcțiilor*, ian-feb 2011..
- [9] 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.
- [10] Mironescu M., Stanescu A.M, Brotea T, et al,. – SC MIRO GRUP SRL, „Interventii structurale dupa cutremurele din 10 noiembrie 1940 si 4 martie 1977 la bisericile de rit ortodox in România,” în *Revist Constructiilor*, Bucuresti, nr.132/2016.

### Imagini:

- [11] <http://www.balkanarchitecture.org/montenegro/plav3.php>
- [12] [https://de.wikipedia.org/wiki/Mic\\_Sokoli](https://de.wikipedia.org/wiki/Mic_Sokoli)
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/Tower\\_houses\\_in\\_the\\_Balkans#/media/File:enadovi%C4%87\\_Tower.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tower_houses_in_the_Balkans#/media/File:enadovi%C4%87_Tower.jpg)
- [14] <http://www.vratzadnes.com/page.php?n=218209>
- [15] <https://www.uar-bna.ro/res/2014/up/auto/full/pimngs/14/178.png>
- [16] <http://www.revistaconstructiilor.eu/index.php/2014/11/01/monitorizarea-masivelor-de-pamant-si-a-structurilor/#.WqkyAWpubMU>

### Referințe bibliografice capitolul 6

- [1] Bulbuk M.S, „Intervenții structurale la clădiri monumentale-Teza de doctorat,” Cluj-Napoca, Universitatea Tehnica Cluj Napoca, 2011.
- [2] 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.
- [3] xxx, Cod de evaluare pentru cladirile existente P100-3-2008.
- [4] Breysse D., „Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods,” în *10.1016/j.conbuildmat.2011.12.103*, Elsevier - Construction and Building Materials, 2012, pp. 139-163.
- [5] Diaconu D., Stoian V, „Tehnici si metode experimentale- Indrumator de proiect,” Timisoara, UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA, 2015.
- [6] xxx, „SR EN 12504-2:2013, Încercări pe beton în structuri. Partea 2: Încercări nedistructive. Determinarea indicelui de recul,” 2013.
- [7] xxx, „SR EN 772 2011 Metode de incercare pentru zidarie”.
- [8] xxx, „SR 3518:2009 Încercări pe betoane. Determinarea rezistenței la îngheț-dezghet,” 2009.
- [9] M. Rades, Rezistenta Materialelor 2, Universitatea Politehnica, Bucuresti: Editura Printech, 2007.
- [10] xxx, Ansys Workbench Tutorials, 2001-2018.
- [11] SolidWorks Software Tutorials, 2011-2018.

### Referințe bibliografice capitolul 7

- [1] xxx, „Fatigue Analysis in ANSYS,” CAE Associates, 2011.
- [2] M. Rades, Rezistentă Materialelor 2, Universitatea Politehnică, București: Editura Printech, 2007.
- [3] Como M., „Springer Series in Solid and Structural,” Springer International Publishing Switzerland 2013, 2016, ISSN 2195-352X, p. Volumul 5.
- [4] xxx, SolidWorks Software Tutorials, 2011-2018.
- [5] xxx, „[https://www.meteoblue.com/ro\\_RO/vreme/harta/vant/romania](https://www.meteoblue.com/ro_RO/vreme/harta/vant/romania)”.
- [6] xxx, Ansys -tutorials,, 2011- 2018.
- [7] Sasaki Y., Yamasaki M., Fatigue strength of wood under pulsating tension-torsion combined loading, pp.508-515: Wood and Fiber Science, 2002.
- [8] Tomor A., „Life-cycle assessment and deterioration models for masonry arch bridges, The Sustainable City VIII, Vol. 1, WIT Transactions on Ecology and The Environment,,” 2013;, pp. Vol 179, 535-546,.
- [9] Tomor A., Verstryng E., „A joint fatigue - creep deterioration model for masonry with acoustic emission based damage assessment,” în *Construction & Building Materials*, 43,, 2013;, pp. pp. 575-588:.
- [10] Clorius C. O., „Fatigue in Wood. An investigation in tension perpendicular to the grain, PhD Thesis,,” *Danmarks Tekniske Universitet*, , nr. ISBN 87-7877-096-3, 2002.
- [11] Yildirim M.N., Uysal B., Ozcifici A., Ertas A.H., „, Determination of fatigue and static strength of scots pine and beech wood,,” în *WOOD RESEARCH 60 (4)*, 2015, pp. pp. 679-686.
- [12] Binda L., Anzani A., Saisi A. et al., Learning from failure. Long-term behaviour of heavy masonry structures,, WIT Press, 2008.
- [13] Koltsida S.-I., „Experimental and analytical investigations of brick masonry under compressive fatigue loading, PhD Thesis,,” în *University of the West of England, Bristol*, 2017, pp. pp.221, .
- [14] 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.
- [15] xxx, „P 100-1/2013 Cod de proiectare seismică. Prevederi pentru clădiri,” 2013.
- [16] xxx, „Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zapezii asupra construcțiilor. Indicativ CR 1-1-3/2012,” 2012.
- [17] xxx, „<https://www.google.com/maps/@44.8153027,8.1435359,7.67z>”.
- [18] xxx, „<https://www.youtube.com/watch?v=u5KPRdUICRU>”.
- [19] xxx, „<https://www.windfinder.com/weather-maps/forecast/italy>”.
- [20] xxx, „<https://buildingfailures.wordpress.com/1989/03/18/civic-tower-of-pavia/>”.
- [21] xxx, „<http://www.campanologia.it/contenuto/pagine/02-ARS/ARS-C01-Archeologia-Fusoria/ARS-C01-10-Archeofonderia-Torre-Pavia.htm>”.

### **Referințe bibliografice capitolul 8**

- [1] Dascălu V., Prislopan L., , „, Procedee de realizare a lucrărilor de consolidare utilizând bare înglobate,” <http://www.monumentul.ro/>,, 2006..
- [2] De Borst, Feenstra, P.H., Pamin, J. & Sluys, L.J., „Some current issues in computational mechanics of concrete. Computational Modelling of Concrete Structures,,” Pineridge Press: Sansea, UK, eds H. Mang et al., 1994, p. 283–302.
- [3] Diaconu, D., , „Tehnici și metode experimentale - Îndrumător de proiect –,” Timisoara, Univesitatea Politehnică Timisoara,, 2007.
- [4] MIRONESCU M., STANESCU A.M, BROTEA T, COMANESCU R., PURDEA D.,STANESCU V. – SC MIRO GRUP SRL, „Interventii structurale dupa cutremurele din 10 noiembrie 1940 si 4 martie

- 1977 la bisericile de rit ortodox in România,” în *Revist Construcțiilor*, Bucuresti, nr.132/2016.
- [5] Dragomir C.S, „ Amplificarea dinamica a cladirilor neregulate, INCERC Bucuresti,„ Bucuresti, 2012.
- [6] Pleșu, A., Ionescu, G., „Proiect de lege privind „Legea monumentelor, ansamblurilor și siturilor istorice”,” Bucuresti, Litografie, Camera deputaților nr. 89, 16.10.1991..
- [7] Román, A., „Műemlék, építészeti örökség, város (Monument, patrimoniu arhitectural, oraș),” OMH-Budapest, ISBN 963 513 133 X., 1996.
- [8] Norman, E, „ Isten hajléka (Templul lui Dumnezeu - Stilurile și istoria arhitecturii bisericești),” Kairosz kiadó, Budapest, 2007.
- [9] Niculita M., Groll L.,,, „Consolidarea cladirilor din patrimoniu,” Iasi, editura Societatii Academice “MateiTeiu, 2007.
- [10] xxx, „Strategia de dezvoltare teritoriala a Romaniei, Studii de fundamentare, Studiul 20: Protecția monumentelor istorice și a patrimoniului construit, Raport de sinteză.,” 2014.
- [11] CDCAS, Monografie Prof. Alexandru Cișmigiu, editura Monitorul oficial., Bucuresti: editura Monitorul Oficial, 2002.
- [12] Dan T., „Reabilitarea si consolidarea constructiilor de zidarie I si II -curs,” Bucuresti, Facultatea de Constructii, 2009-2010.
- [13] Crisan R., Danaila D., Cristian M., „ Studiile publicate in BCMI nr. 1-4, .,” p. 94-143,2000.
- [14] xxxx, „Cod proiectare P100-3/2008 - Construcții ancheta publică, Anexa D.”.
- [15] Robin, K, „A Heritage In Ruins. The Maintenance and Preservation of Ruined Monuments,” <http://www.buildingconservation.com/articles/heritageruins/heritageruins.htm>,, 2003.
- Imagine coperta - <https://www.deviantart.com/dedeyutza/art/Cula-Greceanu-2-246019145>