

# **STUDIUL COMPORTĂRII PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE LA ÎNCĂRCĂRI SEISMICE. CONSOLIDAREA PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE CU MATERIALE POLIMERICE**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul INGINERIE CIVILĂ  
de către

**Ing. Eleonora Eva Partene**

Conducător științific:  
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing. Valeriu Stoian  
prof.univ.dr.ing. Călin Mircea  
conf.univ.dr.ing. Viorel Popa  
prof.univ.dr.ing. Marius Moșoarcă

Ziua susținerii tezei: 23 noiembrie 2018

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 2. Chimie                                   | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 3. Energetică                               | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 4. Ingineria Chimică                        | 13. Inginerie energetică                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 6. Inginerie Electrică                      | 15. Ingineria materialelor                 |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 16. Inginerie și Management                |
| 8. Inginerie Industrială                    | 17. Arhitectură                            |
| 9. Inginerie Mecanică                       | 18. Inginerie civilă și instalații         |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2018

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
Tel./fax 0256 403823  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Construcții Civile și Instalații al Universității Politehnica Timișoara, în perioada 2012-2018.

În primul rând aș dori să mulțumesc conducătorului de doctorat, domnul Prof.dr.ing. Valeriu-Augustin STOIAN, pentru îndrumarea, răbdarea și sprijinul oferit pe parcursul elaborării tezei și pentru contribuția semnificativă la dezvoltarea pe plan profesional și personal.

Mulțumesc în mod deosebit membrilor comisiei de îndrumare, domnul Prof.dr.ing. Dan TUDOR, domnul Conf.dr.ing. Ștefan IOSIP-MOȚ și doamnei Ș.l.dr.ing. Luminița FEKETE-NAGY pentru susținerea și îndrumarea constantă.

Mulțumesc tuturor colegilor și prietenilor din Departamentul de Construcții Civile și Instalații, care au contribuit la realizarea programului experimental în bune condiții.

În final, dar nu în ultimul rând, vreau să mulțumesc familiei pentru încrederea necondiționată și încurajările pe parcursul acestor ani.

Timișoara, Noiembrie 2018

Eleonora-Eva PARTENE

„This work was partially supported by the strategic grant POSDRU/159/1.5/S/137070 (2014) of the Ministry of National Education, Romania, co-financed by the Fondul Social European/European Social Fund – Investing in People, within the Sectoral Operational Programme Human Resources Development 2007-2013”.

Această lucrare a fost susținută parțial de MAPEI ROMÂNIA și SIKA ROMÂNIA.

PARTENE, Eleonora-Eva

**STUDIUL COMPORTĂRII PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE LA ÎNCĂRCĂRI SEISMICE. CONSOLIDAREA PEREȚILOR DIN ZIDĂRIE CU MATERIALE POLIMERICE.**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 144, Editura Politehnica, 2018, 188 pagini, 125 figuri, 62 tabele.

ISSN: 1842-581X

ISBN: 978-606-35-0253-8

**Cuvinte cheie:** pereți zidărie, consolidări, fibre carbon, materiale compozite polimerice, acțiuni seismice, încercări experimentale.

**Rezumat:**

Teza de doctorat are ca subiect studiul comportării pereților din zidărie, realizați din blocuri ceramice cu goluri verticale, la acțiuni seismice. Aceștia sunt conformați în mai multe feluri, pentru a compara diferite conformări solicitate la acțiuni orizontale. Se realizează apoi consolidarea acestora cu materiale compozite polimerice și se compară rezultatele cu pereții în stare inițială. Se stabilește astfel eficiența utilizării acestor tipuri de pereți în zone seismice, dar și eficiența sistemului de consolidare cu materiale polimerice, la acest tip de element structural.

## CUPRINS

Notații, abrevieri, acronime .....	7
Lista de tabele .....	10
Lista de figuri .....	12
Rezumat .....	15
<b>1. INTRODUCERE .....</b>	<b>19</b>
1.1. Generalități .....	19
1.2. Motivație .....	20
1.3. Cadru general de realizare a lucrării .....	20
<b>2. SINTEZA PREVEDERILOR NORMATIVELOR ACTUALE PENTRU PEREȚII PORTANȚI DIN ZIDĂRIE .....</b>	<b>21</b>
2.1. Prevederi de proiectare – conform CR6-2013 .....	21
2.2. Prevederi de proiectare seismică – conform P100-1/2013 .....	23
2.3. Evoluția normativelor de proiectare în zone seismice .....	27
<b>3. ASPECTE PRIVIND COMPORTAREA PEREȚILOR STRUCTURALI DIN ZIDĂRIE. CONSOLIDAREA PEREȚILOR STRUCTURALI DIN ZIDĂRIE FOLOSIND MATERIALE COMPOZITE. STUDIU BIBLIOGRAFIC .....</b>	<b>29</b>
3.1. Aspecte generale .....	29
3.2. Moduri de cedare a zidăriei .....	30
3.3. Consolidarea cu materiale compozite .....	31
3.4. Studiu bibliografic .....	34
<b>4. ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE .....</b>	<b>43</b>
4.1. Introducere .....	43
4.2. Strategie de încercare. Cadru experimental .....	43
4.3. Elemente experimentale .....	50
4.3.1. Caracteristici geometrice, alcătuire .....	50
4.3.2. Proprietăți materiale .....	58
4.3.2.1. Rezistența la compresiune a blocului ceramic .....	58
4.3.2.2. Curba granulometrică a agregatelor .....	59
4.3.2.3. Rezistența la încovoiere și compresiune a prismelor de mortar .....	60
4.3.2.4. Rezistența la compresiune a betonului .....	62
4.3.3. Materiale compozite utilizate la consolidare .....	63
4.4. Consolidare elemente experimentale .....	64
4.5. Protocol încărcări .....	68
4.6. Măsurători efectuate .....	69
<b>5. REZULTATE .....</b>	<b>73</b>
5.1. Date generale .....	73
5.1.1. Procesarea datelor .....	73
5.2. Încercări experimentale elemente în stare inițială .....	74
5.2.1. Încercări elemente zidărie nearmată URM1, URM2 și URM3 .....	74
5.2.2. Încercări elemente zidărie confinată cu stâlpișori laterali RM1, RM1' și RM1" .....	81
5.2.3. Încercări elemente zidărie confinată cu stâlpișor central RM2, RM2' și RM2" .....	87
5.3. Încercări experimentale elemente consolidate .....	95
5.3.1. Încercări elemente zidărie nearmată consolidate URM1-C, URM2-C și URM3-C .....	95
5.3.2. Încercări elemente zidărie confinată cu stâlpișori laterali .....	104

consolidate RM1-C, RM1'-C și RM1''-C .....	
5.3.3. Încercări elemente zidărie confinată cu stâlpișor central consolidate RM2-C, RM2'-C și RM2''-C .....	110
5.4. Concluzii program experimental .....	116
5.4.1. Comparare rezultate. Moduri de cedare .....	116
5.4.2. Energia disipată .....	121
5.4.3. Rigiditate elemente .....	122
5.4.4. Studiul fisurilor și al modului de cedare .....	123
5.5. Modelări numerice și calcul conform normative. Comparație rezultate cu programul experimental .....	126
5.5.1. Calcul capacitate portantă pereți conform CR6-2013 .....	126
5.5.2. Modelări numerice cu ATENA 3D .....	128
5.5.3. Calcul capacitate portantă pereți consolidați conform CNR- DT200:2004 .....	133
5.5.4. Analiză economică .....	134
<b>6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE .....</b>	<b>137</b>
6.1. Concluzii .....	137
6.2. Contribuții personale .....	141
6.3. Publicații .....	142
6.4. Perspective de cercetare .....	144
<b>ANEXĂ - STUDIU DE CAZ .....</b>	<b>145</b>
A.1. Introducere .....	145
A.2. Calcul realizat conform normativ P100/1-2013 .....	145
A.2.1. Date generale .....	145
A.2.2. Calcul greutate proprie clădire .....	146
A.2.3. Calcul forțe seismice echivalente .....	147
A.2.4. Stabilirea modelelor plane pentru calculul seismic .....	148
A.2.5. Distribuția forței tăietoare de bază la pereții structurali prin Metoda consolelor legate la ultimul nivel .....	148
A.2.6. Determinare încărcări verticale pe pereții structurali .....	153
A.2.7. Calcul momente încovoietoare capabile pereți .....	156
A.2.8. Verificarea siguranței la compresiune+încovoiere .....	159
A.2.9. Calculul rezistențelor de proiectare la forță tăietoare ale pereților structurali .....	160
A.2.9.1. Mecanismul de cedare prin lunecare în rost orizontal .....	160
A.2.9.2. Mecanismul de cedare pe secțiune înclinată .....	163
A.2.9.3. Forța tăietoare asociată armării în rosturile orizontale .....	166
A.2.10. Siguranța la forță tăietoare .....	168
A.3. Calcul spațial realizat cu programul AmQuake .....	171
Bibliografie .....	177

## NOTAȚII, ABREVIERI ȘI ACRONIME

### Definiții:

**Factor de comportare** – factor care reduce forțele răspunsului elastic, ținând cont de răspunsul neliniar al structurii. Se determină în funcție de materialul din care se realizează structura, tipul sistemului și metoda de proiectare (structură disipativă/nedisipativă sau media celor două)

**Factor de importanță** – evaluat pe baza consecințelor cedării structurale.

Clasa III de importanță – în această clasă se încadrează clădiri de tip curent

Clasa IV de importanță – clădiri de mică importanță, cu ocupare redusă

### Simboluri:

$a_g$  – accelerația terenului pentru proiectare (componenta orizontală a mișcării seismice)

IMR – intervalul mediu de recurență de referință al acțiunii seismice

$g$  – accelerația gravitațională

$T_B, T_C, T_D$  – perioadele de control (colț) ale spectrului de răspuns elastic pentru componentele orizontale ale accelerației terenului

$\beta(T)$  – spectrul normalizat de răspuns elastic pentru componentele orizontale ale accelerației terenului

$\beta_0$  – factorul de amplificare dinamică maximă a accelerației orizontale

$T$  – perioada de vibrație a unui sistem cu un grad de libertate dinamică și cu răspuns elastic

$S_e(T)$  – spectrul de răspuns elastic de accelerații pentru componentele orizontale ale accelerației terenului

$q$  – factor de comportare

$\gamma_{I,e}$  – factorul de importanță și de expunere la cutremur

$A_{asc}$  – aria de armătură a stâlpișorului comprimat

$A_{sw}$  – aria armăturilor din rosturile orizontale pentru preluarea forței tăietoare

$E_b$  – modulul de elasticitate al betonului

$E_z$  – modulul de elasticitate secant de scurtă durată al zidăriei

$E_{zc}$  – modulul de elasticitate longitudinal al zidăriei confinate

$G_z$  – modulul de elasticitate transversal al zidăriei simple

$G_{zc}$  – modulul de elasticitate transversal al zidăriei confinate

$I_b$  – momentul de inerție al secțiunii de beton a elementelor de confinare  
 $I_{st}$  – valoarea medie a momentelor de inerție ale stâlpilor care mărginesc panoul  
 $I_z$  – momentul de inerție al secțiunii de zidărie confinată  
 $H_w$  – înălțimea peretelui  
 $M_{Ed}$  – valoare de proiectare a momentului încovoietor în planul peretelui  
 $M_{Rd}$  – rezistența de proiectare la încovoiere în planul peretelui  
 $N_{Ed}$  – valoarea de proiectare a forței axiale  
 $V_{Ed}$  – valoarea forței tăietoare asociată rezistenței la încovoiere a secțiunii de zidărie simplă, confinată sau cu inimă armată, determinată ținând seama de suprazistențele armăturilor  
 $V_{Ed}$  – valoare de proiectare a forței tăietoare determinată prin calculul structurii în domeniul elastic liniar  
 $V_{Rd}$  – rezistența de proiectare la forță tăietoare  
 $f_b$  – rezistența caracteristică la compresiune a corpurilor de zidărie normal pe fața rostului orizontal  
 $f_{b,med}$  – rezistența medie la compresiune a zidăriei normal pe fața rostului orizontal  
 $f_{b,min}$  – rezistența la compresiune minimă a zidăriei  
 $f_{b,max}$  – rezistența la compresiune maximă a zidăriei  
 $f_{bh}$  – rezistența caracteristică la compresiune a corpurilor de zidărie, paralel cu fața rostului orizontal, în planul peretelui  
 $f_i$  – rezistența la încovoiere a mortarului, pe prismă  
 $f_c$  – rezistența la compresiune a mortarului, pe prismă  
 $f_{cm,cub}$  – valoare medie a rezistenței la compresiune a betonului, măsurată pe cub  
 $f_{ck}$  – valoarea caracteristică a rezistenței la compresiune a betonului  
 $F$  – forța maximă de rupere (la compresiune sau încovoiere)  
 $f_d$  – rezistența de proiectare la compresiune a zidăriei  
 $f_k$  – rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei  
 $f_{vk}$  – rezistența caracteristică la forfecare a zidăriei  
 $h_{etaj}$  – înălțimea nivelului clădirii ( $h_{nivel}$ )  
 $h_{tot}$  – înălțimea totală a peretelui structural  
 $p\%$  – densitatea pereților structurali – raportată la aria planșeului de la nivelul respectiv  
 $s$  – distanța între armăturile  $A_{sw}$   
 $t$  – grosimea peretelui de zidărie  
 $\gamma_M$  – coeficientul parțial de siguranță pentru material



- $\delta$  – coeficient în funcție de dimensiunile blocurilor din zidărie
- $\sigma$  – efort unitar normal
- $\sigma_d$  – efort unitar de compresiune determinat considerând încărcarea verticală uniform distribuită pe lungimea peretelui
- $\alpha_1$  – factorul de multiplicare a forței seismice orizontale corespunzător formării primei articulații plastice în sistem
- $\alpha_u$  – factorul de multiplicare a forței seismice orizontale corespunzător formării mecanismului cinematic global
- $f_{yd}$  – rezistența de proiectare a armăturii din stâlpișorul comprimat
- $m$  – masa totală a clădirii supusă acțiunii seismice
- $n_{niv}$  – numărul de niveluri peste secțiunea de încastrare a pereților structurali
- $y_G$  – distanța de la centrul de greutate până la fața cea mai comprimată a unui perete din ZNA
- $y_{zc}$  – distanța de la centrul peretelui până la centrul de greutate al zonei comprimate a secțiunii ideale din zidărie

**Abrevieri:**

- ZNA – zidărie simplă/nearmată
- ZC – zidărie confinată
- ZC+AR – zidărie confinată și armată în rosturile orizontale
- ZIA – zidărie cu inimă armată
- ZIC – zidărie înrămată în cadre
- Raport A/C – raport apă/ciment din compoziția mortarului
- PIa, PIb – proba de mortar nr. 1, care apoi a fost ruptă în două jumătăți a și b
- PIIa, PIIf – proba de mortar nr. 2, care apoi a fost ruptă în două jumătăți a și b
- PIIIa, PIIIb – proba de mortar nr. 3, care apoi a fost ruptă în două jumătăți a și b
- SLU – Stări limită ultime, asociată cu ruperea elementelor structurale și cu punerea în pericol a vieților oamenilor
- SLS – Stare limită de serviciu, asociată cu limitarea degradărilor nestructurale la un anumit nivel

## LISTA TABELELOR

Tabelul 2.1.	Factorul de comportare "q" pentru clădiri cu pereți structurali din zidărie [5] .....	24
Tabelul 2.2.	Proprietăți geometrice ale elementelor din zidărie [5] .....	25
Tabelul 2.3.	Valori minime $f_k$ (N/mm <sup>2</sup> ) – rezistența la compresiune [5] ....	25
Tabelul 2.4.	Numărul de niveluri peste secțiunea de încastrare pentru ZNA [5] .....	26
Tabelul 2.5.	Numărul de niveluri peste secțiunea de încastrare pentru zidăria armată [5] .....	26
Tabelul 4.1.	Denumire elemente experimentale .....	50
Tabelul 4.2.	Caracteristici blocuri ceramice .....	59
Tabelul 4.3.	Compoziție mortar M5 .....	60
Tabelul 4.4.	Rezultate încercări prisme mortar .....	61
Tabelul 4.5.	Rezultate încercări prisme beton .....	62
Tabelul 4.6.	Proprietăți material consolidare .....	63
Tabelul 5.1.	Rezultate centralizate program experimental .....	116
Tabelul A.1.	Pereți transversali .....	149
Tabelul A.2.	Pereți longitudinali .....	150
Tabelul A.3.	Calcul moment de inerție la torsiune .....	151
Tabelul A.4.	Momente de torsiune .....	152
Tabelul A.5.	Repartizarea forței tăietoare la pereții transversali .....	152
Tabelul A.6.	Repartizarea forței tăietoare la pereții longitudinali .....	153
Tabelul A.7.	Centralizare eforturi de compresiune .....	155
Tabelul A.8.	Momente încovoietoare capabile - Direcție transversală – Parter .....	156
Tabelul A.9.	Momente încovoietoare capabile - Direcție transversală – Etaj 1 .....	156
Tabelul A.10.	Momente încovoietoare capabile - Direcție transversală – Etaj 2 .....	156
Tabelul A.11.	Momente încovoietoare capabile - Direcție longitudinală – Parter .....	157
Tabelul A.12.	Momente încovoietoare capabile - Direcție longitudinală – Etaj 1 .....	157
Tabelul A.13.	Momente încovoietoare capabile - Direcție longitudinală – Etaj 2 .....	157
Tabelul A.14.	Momente capabile stâlpișori - Direcție transversală – Parter ..	158
Tabelul A.15.	Momente capabile stâlpișori - Direcție transversală – Etaj 1 ..	158
Tabelul A.16.	Momente capabile stâlpișori - Direcție transversală – Etaj 2 ..	158
Tabelul A.17.	Momente capabile stâlpișori - Direcție longitudinală – Parter ..	159
Tabelul A.18.	Momente capabile stâlpișori - Direcție longitudinală – Etaj 1 ..	159
Tabelul A.19.	Momente capabile stâlpișori - Direcție longitudinală – Etaj 2 ..	159
Tabelul A.20.	Verificare siguranță compresiune+încovoiere - Direcție Transversală .....	160
Tabelul A.21.	Verificare siguranță compresiune+încovoiere - Direcție Longitudinală .....	160
Tabelul A.22.	$V_{Rd}(ZC)$ – Direcție transversală – Parter .....	161
Tabelul A.23.	$V_{Rd}(ZC)$ – Direcție transversală – Etaj 1 .....	162
Tabelul A.24.	$V_{Rd}(ZC)$ – Direcție transversală – Etaj 2 .....	162

Tabelul A.25.	$V_{Rd}(ZC)$ – Direcție longitudinală– Parter .....	162
Tabelul A.26.	$V_{Rd}(ZC)$ – Direcție longitudinală– Etaj 1 .....	162
Tabelul A.27.	$V_{Rd}(ZC)$ – Direcție longitudinală– Etaj 2 .....	163
Tabelul A.28.	$V_{Rd,i}(ZC)$ – Direcție transversală – Parter .....	164
Tabelul A.29.	$V_{Rd,i}(ZC)$ – Direcție transversală – Etaj 1 .....	164
Tabelul A.30.	$V_{Rd,i}(ZC)$ – Direcție transversală – Etaj 2 .....	165
Tabelul A.31.	$V_{Rd,i}(ZC)$ – Direcție longitudinală – Parter .....	165
Tabelul A.32.	$V_{Rd,i}(ZC)$ – Direcție longitudinală – Etaj 1 .....	165
Tabelul A.33.	$V_{Rd,i}(ZC)$ – Direcție longitudinală – Etaj 2 .....	166
Tabelul A.34.	$V_{Rd}(ZC+AR)$ – Direcție transversală – Parter .....	166
Tabelul A.35.	$V_{Rd}(ZC+AR)$ – Direcție transversală – Etaj 1 .....	167
Tabelul A.36.	$V_{Rd}(ZC+AR)$ – Direcție transversală – Etaj 2 .....	167
Tabelul A.37.	$V_{Rd}(ZC+AR)$ – Direcție longitudinală – Parter .....	167
Tabelul A.38.	$V_{Rd}(ZC+AR)$ – Direcție longitudinală – Etaj 1 .....	168
Tabelul A.39.	$V_{Rd}(ZC+AR)$ – Direcție longitudinală – Etaj 2 .....	168
Tabelul A.40.	Siguranță forță tăietoare - Direcție transversală – Parter .....	168
Tabelul A.41.	Siguranță forță tăietoare - Direcție transversală – Etaj 1 .....	169
Tabelul A.42.	Siguranță forță tăietoare - Direcție transversală – Etaj 2 .....	169
Tabelul A.43.	Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală – Parter .....	169
Tabelul A.44.	Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală – Etaj 1 .....	169
Tabelul A.45.	Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală – Etaj 2 .....	170
Tabelul A.46.	Încărcări gravitaționale introduse în AmQuake .....	172
Tabelul A.47.	Sinteză rezultate calcul static-neliniar AmQuake .....	173
Tabelul A.48.	Sumar analiza X+ .....	174
Tabelul A.49.	Sumar analiza Y+ .....	174
Tabelul A.50.	Comparație rezultate studiu caz vs. experimental .....	176

## LISTA FIGURILOR

Figura 2.1.	Alcătuirea pereților din zidărie armată: a. Zidărie confinată, b. Zidărie cu inimă armată [2] .....	22
Figura 2.2.	Zonarea valorilor $a_g$ în România, pentru IMR=225 ani și 20% probabilitate de depășire în 50 de ani [4] .....	24
Figura 3.1.	Moduri de cedare a zidăriei în planul ei: a. alunecare în rost orizontal, b. încovoiere, c. forfecare [12] .....	30
Figura 4.1.	Model simplificat al încercărilor [20] .....	44
Figura 4.2.	Cadru experimental preluare încărcări orizontale .....	45
Figura 4.3.	Cadru special prindere elemente zidărie .....	46
Figura 4.4.	Armare grinzi suport .....	47
Figura 4.5.	Stand experimental final .....	48
Figura 4.6.	Piston hidraulic, controler și softul de acționare .....	49
Figura 4.7.	Bloc ceramic cu goluri verticale – Porotherm 25 .....	50
Figura 4.8.	Specimen zidărie nearmată – URM 01/URM 02/URM 03 .....	51
Figura 4.9.	Specimen zidărie confinată cu stâlpișori laterali RM 1/RM 1'/RM 1" .....	53
Figura 4.10.	Specimen zidărie confinată cu stâlpișor central RM 2/RM 2'/RM 2" .....	55
Figura 4.11.	Clădire de referință cu pereți structurali din zidărie confinată ..	56
Figura 4.12.	Specimene pereți zidărie montați în standul experimental .....	58
Figura 4.13.	Echipament determinare rezistență la compresiune .....	59
Figura 4.14.	Curba granulometrică agregate .....	60
Figura 4.15.	Prelevare epruvete prismatice mortar .....	60
Figura 4.16.	Încercare probe mortar la încovoiere și compresiune .....	61
Figura 4.17.	Încercări cuburi beton – aparat și rezultate .....	62
Figura 4.18.	Lamelă carbon [90] .....	63
Figura 4.19.	Țesătură din fibră de carbon [91] .....	64
Figura 4.20.	Element zidărie consolidat cu lamelă de carbon URM1 – vedere față-spate .....	64
Figura 4.21.	Element zidărie consolidat cu lamelă de carbon URM2, URM3 – vedere față-spate .....	65
Figura 4.22.	Elemente zidărie consolidate cu țesătură din fibră de carbon – RM1, RM1', RM1" – vedere față-spate .....	66
Figura 4.23.	Elemente zidărie consolidate cu țesătură din fibră de carbon – RM2, RM2', RM2" – vedere față-spate .....	66
Figura 4.24.	Elemente zidărie consolidate cu țesătură din fibră de carbon – montate în standul experimental .....	68
Figura 4.25.	Protocol încărcări ciclice orizontale .....	69
Figura 4.26.	Instrumentare încercări .....	70
Figura 4.27.	Sistem de achiziții date PCS 8000-Walter Bai [112] .....	70
Figura 4.28.	Sistem de achiziții date Almemo 5990-0 Ahlborn [96] .....	71
Figura 4.29.	Captori de deplasare HBM [97] .....	71
Figura 4.30.	Captori de deplasare Ahlborn [96] .....	71
Figura 5.1.	Curbă forță-deplasare – puncte încărcare-descărcare [109] ....	74
Figura 5.2.	Mod realizare curbă forță-deplasare înfășurătoare [109] .....	74
Figura 5.3.	Avarii ale elementului URM1 – zidărie nearmată .....	75
Figura 5.4.	Avarii ale elementului URM2 – zidărie nearmată .....	77
Figura 5.5.	Avarii ale elementului URM3 – zidărie nearmată .....	78
Figura 5.6.	Grafic Forță-Deplasare – URM1 .....	78

Figura 5.7.	Grafic Forță-Deplasare – URM2 .....	79
Figura 5.8.	Grafic Forță-Deplasare – URM3 .....	79
Figura 5.9.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – URM1 .....	80
Figura 5.10.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – URM2 .....	80
Figura 5.11.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – URM3 .....	81
Figura 5.12.	Avarii ale elementului RM1 – zidărie confinată cu stâlpișori laterali .....	82
Figura 5.13.	Avarii ale elementului RM1' – zidărie confinată cu stâlpișori laterali .....	83
Figura 5.14.	Avarii ale elementului RM1'' – zidărie confinată cu stâlpișori laterali .....	84
Figura 5.15.	Grafic Forță-Deplasare – RM1 .....	84
Figura 5.16.	Grafic Forță-Deplasare – RM1' .....	85
Figura 5.17.	Grafic Forță-Deplasare – RM1'' .....	85
Figura 5.18.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM1 .....	86
Figura 5.19.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM1' .....	86
Figura 5.20.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM1'' .....	87
Figura 5.21.	Avarii ale elementului RM2 – zidărie confinată cu stâlpișor central .....	88
Figura 5.22.	Avarii ale elementului RM2' – zidărie confinată cu stâlpișor central .....	89
Figura 5.23.	Avarii ale elementului RM2'' – zidărie confinată cu stâlpișor central .....	89
Figura 5.24.	Grafic Forță-Deplasare – RM2 .....	90
Figura 5.25.	Grafic Forță-Deplasare – RM2' .....	91
Figura 5.26.	Grafic Forță-Deplasare – RM2'' .....	92
Figura 5.27.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM2 .....	93
Figura 5.28.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM2' .....	94
Figura 5.29.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM2'' .....	95
Figura 5.30.	Avarii ale elementului URM1-C – zidărie nearmată consolidată ..	97
Figura 5.31.	Avarii ale elementului URM2-C – zidărie nearmată consolidată ..	99
Figura 5.32.	Avarii ale elementului URM3-C – zidărie nearmată consolidată ..	100
Figura 5.33.	Grafic Forță-Deplasare – URM1-C .....	101
Figura 5.34.	Grafic Forță-Deplasare – URM2-C .....	101
Figura 5.35.	Grafic Forță-Deplasare – URM3-C .....	102
Figura 5.36.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – URM1-C .....	102
Figura 5.37.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – URM2-C .....	103
Figura 5.38.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – URM3-C .....	103
Figura 5.39.	Avarii ale elementului RM1-C – zidărie confinată cu stâlpișori laterali consolidată .....	105
Figura 5.40.	Avarii ale elementului RM1'-C – zidărie confinată cu stâlpișori laterali consolidată .....	106
Figura 5.41.	Avarii ale elementului RM1''-C – zidărie confinată cu stâlpișori laterali consolidată .....	106
Figura 5.42.	Grafic Forță-Deplasare – RM1-C .....	107
Figura 5.43.	Grafic Forță-Deplasare – RM1'-C .....	107
Figura 5.44.	Grafic Forță-Deplasare – RM1''-C .....	108
Figura 5.45.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM1-C .....	108
Figura 5.46.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM1'-C .....	109
Figura 5.47.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM1''-C .....	109
Figura 5.48.	Avarii ale elementului RM2-C – zidărie confinată cu stâlpișor	111

	central consolidată .....	
Figura 5.49.	Avarii ale elementului RM2'-C – zidărie confinată cu stâlpișor central consolidată .....	112
Figura 5.50.	Avarii ale elementului RM2"-C – zidărie confinată cu stâlpișor central consolidată .....	112
Figura 5.51.	Grafic Forță-Deplasare – RM2-C .....	113
Figura 5.52.	Grafic Forță-Deplasare – RM2'-C .....	113
Figura 5.53.	Grafic Forță-Deplasare – RM2"-C .....	114
Figura 5.54.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM2-C .....	114
Figura 5.55.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM2'-C .....	115
Figura 5.56.	Înfășurătoare Forță-Deplasare – RM2"-C .....	115
Figura 5.57.	Rezultate comparative zidărie nearmată .....	117
Figura 5.58.	Rezultate comparative zidărie confinată cu stâlpișori laterali ...	118
Figura 5.59.	Rezultate comparative zidărie confinată cu stâlpișor central ....	118
Figura 5.60.	Rezultate comparative zidărie nearmată: inițial și consolidare .	119
Figura 5.61.	Rezultate comparative zidărie confinată cu stâlpișori laterali: inițial și consolidare .....	119
Figura 5.62.	Rezultate comparative zidărie confinată cu stâlpișor central: inițial și consolidare .....	120
Figura 5.63.	Definire energie disipată [113] .....	121
Figura 5.64.	Energie totală disipată [kNmm] .....	122
Figura 5.65.	Definire rigiditate .....	122
Figura 5.66.	Rigiditate inițială [kN/mm] .....	123
Figura 5.67.	Fisuri element din zidărie nearmată .....	124
Figura 5.68.	Fisuri element din zidărie confinată cu stâlpișori laterali .....	124
Figura 5.69.	Fisuri element din zidărie confinată cu stâlpișor central .....	125
Figura 5.70.	Comparație teoretic vs. Experimental .....	128
Figura 5.71.	Caracteristici zidărie modelare numerică .....	129
Figura 5.72.	Caracteristici beton C16/20 modelare numerică .....	129
Figura 5.73.	Caracteristici de bază ale oțelului .....	130
Figura 5.74.	Mod de cedare perete din zidărie nearmată .....	131
Figura 5.75.	Mod de cedare perete din zidărie confinată cu stâlpișori laterali	131
Figura 5.76.	Comparație rezultate zidărie nearmată și zidărie confinată .....	132
Figura 5.77.	Comparație zidărie nearmată: Experimental vs. ATENA 3D .....	132
Figura 5.78.	Comparație zidărie confinată: Experimental vs. ATENA 3D.....	133
Figura 5.79.	Moduri de cedare perete consolidat .....	134
Figura 5.80.	Rezultate comparative teoretic vs. experimental .....	134
Figura 6.1.	Forță-deplasare pentru elementele în stare inițială .....	138
Figura 6.2.	Forță-deplasare pentru elementele consolidate .....	138
Figura 6.3.	Zidărie nearmată – Inițial vs. Consolidare .....	139
Figura 6.4.	Zidărie confinată cu stâlpișori laterali – Inițial vs. Consolidare..	140
Figura 6.5.	Zidărie confinată cu stâlpișor central – Inițial vs. Consolidare...	140
Figura A.1.	Plan nivel curent, clădire P+2E .....	146
Figura A.2.	Distribuție pereți transversali .....	149
Figura A.3.	Distribuție pereți longitudinali .....	150
Figura A.4.	Ochiuri placă și grupare pereți .....	154
Figura A.5.	Generare rețea structură zidărie .....	173
Figura A.6.	Analiză Pushover X+ .....	174
Figura A.7.	Analiză Pushover Y+ .....	175

# REZUMAT

Teza de doctorat are ca subiect studiul comportării pereților din zidărie realizați din blocuri ceramice cu goluri verticale, la acțiunea seismică. În teză se studiază și reabilitarea acestor tipuri de pereți folosind materiale compozite polimerice. Se face o comparație între pereții din zidărie nearmată și cei din zidărie confinată, raportat la comportarea acestora sub încărcări orizontale ciclice, simulând astfel acțiunea seismică. O a doua comparație se face între pereții în stare inițială și pereții consolidați cu materiale polimerice. Se studiază astfel eficiența sistemului de consolidare în restabilirea capacității portante inițiale a elementului din zidărie.

La finalul tezei se prezintă un studiu de caz pe o clădire reală realizată din zidărie portantă, cu pereți din blocuri ceramice cu goluri verticale. Se realizează un calcul conform normativului P100-1/2013, apoi un calcul cu un program care permite observarea conlucrării spațiale a elementelor. În final se face și o comparație cu nivelul maxim de solicitări în montanții structurii și nivelul maxim de solicitare rezultat din programul experimental.

Teza este împărțită în 6 capitole și o anexă și are un număr total de 188 pagini.

## **Capitolul 1: Introducere**

Capitolul prezintă o introducere în tematica abordată în teza de doctorat, obiectivele și scopul lucrării, precum și cadrul general de realizare a programului experimental.

## **Capitolul 2: Sinteza prevederilor actuale pentru pereții portanți din zidărie**

Capitolul prezintă în prima parte o serie de prevederi din normativul CR6-2013, în care se face o definiție a tipurilor de sisteme structurale din zidărie, se definesc caracteristicile materialelor care intră în componența zidăriei și se stabilesc caracteristicile minime de rezistență ale acestora. Partea a doua a capitolului face referire la prevederile de proiectare seismică din normativul P100-1/2013.

Se definesc zonele seismice de pe teritoriul României și se stabilesc sistemele structurale permise pentru fiecare zonă seismică, în funcție de accelerația gravitațională a terenului. Se face o limitare la nivelul de înălțime și se permite doar folosirea zidăriei confinate și armate, pentru clădiri cu regim de înălțime peste Parter.

De asemenea se face o clasificare a blocurilor ceramice în funcție de volumul golurilor și sunt prezentate o serie de alte cerințe și prevederi pentru fiecare tip de perete din zidărie.

Partea a treia a capitolului prezintă o evoluție în timp a normativelor, începând cu anul 1942 și până în prezent. Se poate observa că după fiecare cutremur important de pe teritoriul României, normativele au fost îmbunătățite, iar în ultimii ani, se fac și numeroase încercări experimentale și studii teoretice care stau la baza îmbunătățirii normativelor din domeniul construcțiilor.

### **Capitolul 3: Aspecte privind comportarea pereților structurali din zidărie. Consolidarea pereților structurali din zidărie folosind materiale compozite. Studiu bibliografic**

Capitolul prezintă probleme generale ale sistemului structural cu pereți portanți din zidărie și necesitatea realizării unor programe experimentale în acest domeniu. Partea a doua prezintă modurile de cedare a pereților din zidărie, precum și necesitatea de consolidare a acestora.

Partea a treia a capitolului o reprezintă o scurtă prezentare a materialelor compozite, clasificarea acestora și modul de utilizare/aplicare. Se prezintă și o serie de avantaje ale acestor sisteme de consolidare, dar și dezavantaje.

Partea a patra prezintă un studiu bibliografic al literaturii de specialitate, în domeniul studiat în prezenta teză de doctorat, sub forma unor sinteze a articolelor sau tezelor de doctorat analizate.

### **Capitolul 4: Încercări experimentale**

În acest capitol se prezintă în detaliu partea de program experimental. În prima și a doua parte se face o prezentare a standului experimental, care este compus din mai multe componente importante, dar și a strategiei de încercare. Se detaliază partea de echipamente folosite pentru realizarea obiectivelor propuse.

În partea a treia a capitolului se prezintă elementele experimentale și anume pereții din zidărie. Se prezintă alcătuirea acestora pe cele trei configurații: zidărie nearmată, zidărie confinată cu stâlpișori laterali și zidărie confinată cu stâlpișor central. Se detaliază modul de armare al stâlpișorilor, dar și al grinzilor suport pentru elementele din zidărie.

Capitolul detaliază și materialele folosite la realizarea elementelor experimentale, încercările realizate pe probele preluate din acestea, pentru determinarea proprietăților acestora. Aceste încercări sunt necesare, pentru a se asigura faptul că materialele respectă cerințele din normativele actuale, pentru realizarea acestui tip de element structural.

În a patra parte a capitolului se prezintă strategia de consolidare a elementelor structurale, după ce acestea au fost testate în starea inițială. Se prezintă și materialele folosite la consolidarea acestora și metodologia de aplicare a soluțiilor propuse.

În toate etapele, se prezintă și imagini din timpul realizării și montării efective a elementelor experimentale în standul de încercare.

Ultima parte prezintă strategia de aplicare a încărcărilor verticale și orizontale, astfel încât să se obțină modul de cedare așteptat și dorit în cazul acestor elemente structurale. De asemenea se prezintă și măsurătorile efectuate și modul de amplasare a captorilor de forță și de deplasare pe elementele experimentale.

### **Capitolul 5. Rezultate**

Capitolul detaliază rezultatele obținute în cadrul programului experimental. Sunt prezentate în prima etapă, elementele din zidărie în stare inițială și se prezintă cele nouă elemente încercate, trei elemente pentru fiecare tip de perete: zidărie nearmată, zidărie confinată cu stâlpișori laterali și zidărie confinată cu stâlpișor central. Pentru cele nouă elemente se prezintă modul de cedare, apariția fisurilor, graficele Forță-Deplasare și graficele înfășurătoare ale acestora.



În a doua parte se prezintă etapa de pereți din zidărie consolidată, prezentându-se la fel, pentru fiecare din cei nouă pereți consolidați, modul de cedare, graficele Forță-Deplasare și graficele înfășurătoare ale acestora.

La finalul capitolului se prezintă centralizate rezultatele programului experimental, comparând rezultatele de la diferitele tipologii de pereți în stare inițială, dar și rezultatele între elementele inițiale și cele consolidate cu materiale polimerice. Se prezintă și un calcul al energiei totale disipate, precum și al rigidității inițiale pentru cele 18 încercări realizate.

De asemenea se prezintă și un calcul conform normativelor în vigoare pentru elementele testate și se compară rezultatele cu cele obținute pe cale experimentală.

Pentru elementele din zidărie nearmată și zidărie confinată cu stâlpișori laterali s-au realizat modelări numerice, putând astfel compara rezultatele cu programul experimental. Aceste modelări urmează să treacă printr-un proces de recalibrare și vor putea fi folosite pentru alte calcule pentru acest tip de zidărie.

În finalul capitolului se prezintă și o analiză economică sumară, care compară costurile unei soluții de consolidare clasice, cu consolidarea folosită în prezenta lucrare.

## **Capitolul 6. Concluzii și contribuții personale**

În acest capitol se face o analiză amănunțită a programului experimental realizat în cadrul tezei de doctorat. Se prezintă o comparație între elementele din zidărie nearmată, față de cea confinată, privind comportamentul la acțiuni orizontale. Apoi se trece la comparația elementelor inițiale și a elementelor după consolidare. Se observă eficiența sistemului de consolidare propus, în redobândirea capacității portante inițiale a elementelor din zidărie sau în unele cazuri chiar creșterea acesteia. Se validează astfel eficiența folosirii materialelor compozite polimerice pentru consolidarea pereților din zidărie realizați din blocuri ceramice cu goluri verticale.

În finalul capitolului se prezintă contribuțiile personale aduse în cadrul tezei de doctorat de către autoare și se prezintă lista publicațiilor realizate pe parcursul studiilor de doctorat. Se mai prezintă și un mic capitol de teme de cercetare pe care autoarea și le propune în perioada post-doctorat.

## **Anexă - Studiu de caz**

În acest capitol se prezintă un studiu de caz pe o clădire reală realizată din zidărie portantă, cu pereți din blocuri ceramice cu goluri verticale, identici cu cei studiați în cadrul programului experimental. Se realizează un calcul conform normativului P100-1/2013, apoi un calcul cu programul AmQuake, care permite observarea conlucrării spațiale a elementelor structurale și astfel stabilește în mod mult mai eficient, necesitatea armării pereților din zidărie și modul de amplasare a acestora. În final se face și o comparație cu nivelul maxim de solicitări în montanții structurii și nivelul maxim de solicitare rezultat din programul experimental.



# 1. INTRODUCERE

## 1.1. Generalități

Zidăria reprezintă unul dintre cele mai vechi materiale de construcții, fiind folosit foarte des și în zilele noastre.

Însă, datorită lipsei de cunoștințe, de-a lungul timpului s-au construit mai multe tipuri de construcții din zidărie, fără să se țină cont de toate tipurile de solicitări la care acestea urmează să fie supuse. Astfel, există un număr foarte mare de clădiri vulnerabile la acțiuni seismice, acestea fiind gândite în trecut, în principal pentru preluarea încărcărilor gravitaționale.

Astfel, a apărut necesitatea consolidării structurilor vechi și de-a lungul timpului aceste tehnici de consolidare au devenit tot mai performante și mai ușor de realizat, restabilind de cele mai multe ori capacitatea inițială a clădirii și în plus conformând structura pentru a putea prelua încărcări seismice ulterioare.

Începuturile acestui tip de structură, au la bază construirea pereților din argilă nearsă, apoi formarea unor blocuri de argilă nearsă pentru o formă mai regulată, urmând și pasul major în care s-a descoperit că încălzind cărămida de argilă crudă, se obține un produs mult mai dur și mai rezistent.

Tehnologia evoluată din zilele noastre a permis perfecționarea producerii blocurilor ceramice, astfel existând mai multe tipuri, pentru diferite conformații structurale, care depind de zona seismică, regimul de înălțime, regularitate în plan/elevație, dar și deschiderile dorite într-o structură. De asemenea, foarte important, la alegerea blocurilor ceramice, se ține cont și de faptul că peretele este structural, nestructural sau de umplutură. Este unul dintre cei mai importanți factori care determină posibilitatea folosirii unui anumit tip de zidărie.

Zidăria nu se mai folosește în prezent pentru clădiri de mare importanță, ci pentru clădiri cu regim de înălțime redus, cu încărcări relativ reduse sau pentru pereți de umplutură, la structuri în cadre din beton. Acest lucru se datorează faptului că structurile din beton, oțel sau materiale compozite, au capacitate mult mai mare de disipare a energiei seismice. De asemenea aceste structuri permit și folosirea unor deschideri mult mai mari, permițând o întrebuințare mai vastă a interiorului clădirilor, în funcțiuni diferite. [1]

Pentru a putea totuși întrebuința zidăria cu succes, în zone seismice, cum este țara noastră, se iau o serie de măsuri de consolidare a acesteia și anume: folosirea zidăriei confinate sau armate, care prin prezența stâlpișorilor, centurilor din beton armat sau a armăturilor în rost orizontal, permite o mai bună comportare și disipare a energiei seismice. De asemenea se recomandă, ca în zonele seismice să se realizeze efectul de șabă rigidă la nivelul planșeelor, fiind obligatorie realizarea acestora din beton armat.

Datorită faptului că zidăria este un material neomogen, alcătuit din blocuri ceramice și materiale de legătură, la calculul acesteia s-au întâmpinat probleme la stabilirea comportării unui ansamblu structural, având la baza doar proprietățile blocurilor ceramice și ale mortarului. Din acest motiv, pentru cunoașterea și stabilirea cât mai exactă a proprietăților zidăriei, au fost necesare programe experimentale, realizate în întreaga lume de-a lungul timpului. Astfel, în prezent

putem spune că avem un nivel ridicat de cunoaștere a comportării reale a structurilor din zidărie.

Construcțiile din zidărie, nu pot egala performanțele unor structuri din metal sau beton armat, dar cercetările teoretice și experimentale vor continua în acest domeniu.

## **1.2. Motivație**

Principalul obiectiv al lucrării, îl reprezintă studiul comportării pereților din zidărie alcătuiți din blocuri ceramice cu goluri verticale, cu sau fără stâlpișori din beton armat, la acțiuni verticale constante și orizontale ciclice. Acest studiu s-a realizat printr-un program experimental, dar și prin studii teoretice și un studiu de caz concret, pe o clădire existentă.

O a doua parte a tezei o reprezintă studiul pereților din zidărie consolidați cu materiale polimerice performante și de ultimă generație, care încep să fie folosite tot mai des și pentru consolidarea acestui tip de element structural.

## **1.3. Cadru general de realizare a lucrării**

Lucrarea de față a fost realizată în cadrul Departamentului de Construcții Civile și Instalații, Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnica Timișoara.

Rezultatele au fost publicate și prezentate în cadrul unor manifestări științifice naționale și internaționale, de către autoarea prezentei lucrări.

În calitate de doctorand UPT și de bursier al Programului Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane (POS DRU) 2007-2013, cu cofinanțare din Fondul Social European în cadrul proiectului strategic 137070:

„This work was partially supported by the strategic grant POS DRU/159/1.5/S/137070 (2014) of the Ministry of National Education, Romania, co-financed by the European Social Fund – Investing in People, within the Sectoral Operational Programme Human Resources Development 2007-2013”.

Partea de realizare a elementelor experimentale a fost finanțată de către autoare, prin intermediul unor contracte de cercetare conduse de Prof.dr.ing. Stoian Valeriu.

Partea de consolidare a elementelor experimentale a fost sprijinită de către MAPEI ROMÂNIA și de către SIKA ROMÂNIA, care au furnizat toate materialele necesare și au asigurat consultanță și asistență la punerea lor în aplicare.

Partea de studiu de caz, a fost sprijinită de WIENERBERGER ROMÂNIA, care a pus la dispoziția Departamentului CCI, licențe ale programului AmQuake, cu care se realizează calculul structural pe clădiri realizate din produsele fabricate de aceștia sau similare.

## 2. SINTEZA PREVEDERILOR NORMATIVELOR ACTUALE PENTRU PEREȚII PORTANȚI DIN ZIDĂRIE

### 2.1. Prevederi de proiectare – conform CR6-2013

Normativul CR6 face o clasificare a structurilor din zidărie și conține prevederi de proiectare pentru structuri cu pereți portanți din zidărie, dar și alte tipuri de pereți.

Acesta are ca obiect enunțarea cerințelor generale de alcătuire și conformare arhitecturală și structurală, cerințelor de calcul și a condițiilor constructive de ansamblu și de detaliu pentru acestea. [2]

Codul se aplică în mod obligatoriu, împreună cu codul P100-1/2013, capitolul 8, pentru construcții cu pereți structurali din zidărie amplasate în zone seismice.

Cel mai important aspect în stabilirea tipului de zidărie care urmează a fi folosit într-o structură, este cunoașterea clasificării acestora:

**Zidăria simplă/nearmată (ZNA)** este zidăria care nu conține suficientă armătură pentru a putea fi încadrată în categoria de zidărie armată. [2]

**Zidăria confinată (ZC)** este zidăria cu elemente de confinare verticale (stâlpișori) și elemente de confinare orizontale (centuri), pe toate laturile panoului de zidărie. [2]

**Zidăria confinată și armată în rosturile orizontale (ZC+AR)** este zidăria confinată, care are prevăzută în rosturile orizontale armătură (din materiale cu rezistență bună la întindere) pentru sporirea rezistenței la forță tăietoare și a ductilității panoului de zidărie. Fig. 2.1.a [2]

**Zidărie cu inimă armată (ZIA)** este zidăria care are prevăzută între două rânduri de zidărie, un strat de beton sau de mortar armat, cu sau fără legături mecanice între straturi și la care toate componentele contribuie la preluarea încărcărilor de orice tip. Fig. 2.1.b [2]

**Zidăria înrămată în cadre (ZIC)** este zidăria înrămată într-un cadru din beton armat sau oțel, realizată după realizarea cadrului. Acesta nu face parte din structura de rezistență, dar în anumite cazuri contribuie la rigiditatea laterală a clădirii și la disiparea energiei seismice. [2]

De asemenea este important să cunoaștem și tipurile de mortar pentru zidărie, care sunt alcătuite din liant, nisip și apă, clasificându-se astfel:

- mortar performant sau mortar de rețetă, primul având compoziția aleasă de fabricant, iar al doilea realizându-se după o rețetă prestabilă.
- mortar pentru utilizare generală sau mortar pentru straturi subțiri, al doilea având valori indicate pentru dimensiunile maxime ale agregatelor.

Mai există și mortar-beton pentru utilizare generală, cu compoziția standard, având consistență-tasare redusă, sau mortar adeziv, care se folosește pentru straturi subțiri. [2]

Pentru calculul structurilor din zidărie se iau în calcul rezistențele blocurilor ceramice și ale mortarului, ca un material omogen. Aceste rezistențe sunt stabilite în normativul CR6, dar se pot determina și pe cale experimentală.

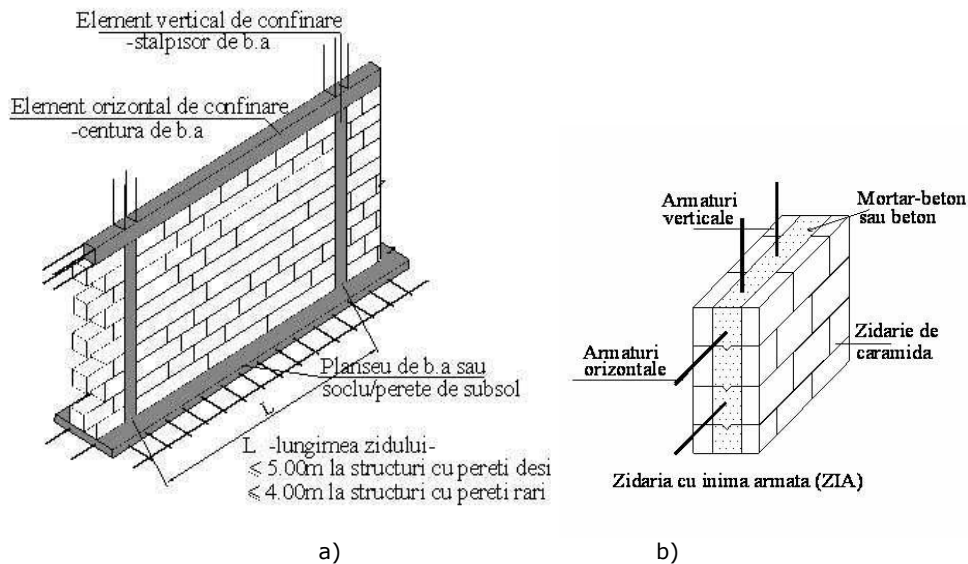


Fig. 2.1. Alcătuirea pereților din zidărie armată:  
a – zidărie confinată; b – zidărie cu inimă armată. [2]

Pereții din zidărie pot fi: structurali, structurali de rigidizare, nestructurali sau înrâmați. În continuare, prezenta lucrare face referire doar la pereții structurali din zidărie, care sunt destinați să reziste la forțe verticale și orizontale, aplicate în planul lor. [2]

Pereții structurali din zidărie sunt folosiți pentru: clădiri cu regim de înălțime de maxim P+4E, în funcție de zona seismică, cu destinația de locuințe sau funcțiuni similare, clădiri social-culturale la care nu sunt necesare spații libere mari, cu funcțiune fixă, clădiri tip hală/sală, având deschideri moderate. [2]

Pentru proiectarea structurilor în zone seismice, se vor respecta simultan prevederile normativelor CR6-2013 și P100-1/2013. De asemenea se vor respecta și prevederile normativului CR0-Bazele proiectării construcțiilor.

Normativul conține detalii și cerințe pentru toate materialele care intră în componența pereților din zidărie. De asemenea prezintă metode de calcul și determinarea a rezistențelor materialelor. La capitolul de program experimental se va detalia modalitatea de stabilire a caracteristicilor mecanice ale materialelor, dar și determinarea rezistențelor pereților din zidărie, ținând cont de prevederile normativului actual CR6-2013.

În proiectarea structurilor cu pereți din zidărie, este importantă alcătuirea unui ansamblu structural spațial unitar, realizat prin următoarele:

- țeserea zidăriei;
- dispunerea unor armături în rosturile orizontale;
- realizarea unor stâlpișori din beton armat;
- realizarea unor centuri cu continuitate a betonului și a armăturilor.

Se vor lua toate măsurile necesare pentru asigurarea conlucrării spațiale între elementele structurale orizontale și cele verticale. [2]

Un alt detaliu important în alcătuirea structurilor din zidărie, este realizarea unor rezistențe și rigidități structurale aproximativ egale pe cele două direcții principale și menținerea lor și pe înălțimea clădirii. Diferența între aceste valori nu trebuie să depășească 25% pe nivel și 20% în elevație. Pentru eventualele reduceri de rezistență și rigiditate necesare se vor lua măsuri de scădere a densității pereților, a grosimii zidurilor sau a rezistenței zidăriei la compresiune. [2]

Normativul prezintă și o serie de reguli pentru păstrarea unei regularități în plan și în elevație, prin respectarea unor reguli de alcătuire, precum și reguli de separare a clădirilor în tronsoane, când nu este posibilă realizarea unei regularități în plan, ca sisteme unitare.

În funcție de cerințele funcționale, de confort dar și de siguranță structurală, pereții din zidărie se pot încadra în două categorii:

- pereți deși (sistem fagure), la care  $h_{\text{nivel}} \leq 3,50$  m, distanța între pereți  $\leq 5,00$  m, iar aria celulei formate de pereți este  $\leq 25,0$  m<sup>2</sup>;
- pereți rari (sistem celular), la care  $h_{\text{nivel}} \leq 4,00$  m, distanța între pereți  $\leq 9,00$  m, iar aria celulei formate de pereți este  $\leq 75,0$  m<sup>2</sup>. [2]

Normativul CR6-2013 are un rol important în stabilirea unui sistem structural potrivit cu nevoile unui anumit proiect și este esențială parcurgerea tuturor etapelor prezentate în acesta pentru realizarea unei structuri conforme, care să se comporte corespunzător la încărcările la care este supusă, fie ele permanente, fie ele accidentale.

## 2.2. Prevederi de proiectare seismică – conform P100-1/2013

Proiectarea la seism are ca scop satisfacerea, cu un grad ridicat de siguranță, a unor cerințe fundamentale, și anume: cerința de siguranță a vieții și cerința de limitare a degradărilor. Astfel toate clădirile vor satisface aceste două cerințe esențiale simultan, acestea controlându-se prin două categorii de stări limită: Stări Limită Ultime (SLU), asociată cu ruperea elementelor structurale și cu punerea în pericol a vieții oamenilor, și Starea Limită de Serviciu (SLS) – asociată cu limitarea degradărilor nestructurale la un anumit nivel.

Teritoriul României este împărțit în mai multe zone de hazard seismic, care se consideră constant în fiecare zonă. Acesta este determinat de valoarea de vârf a accelerației seismice  $a_g$ , care se determină pentru o perioadă medie de recurență (IMR). [3]

În ultima perioadă s-a modificat semnificativ valoarea accelerației seismice. În figura 2.2. se pot vedea valorile  $a_g$  pentru un interval IMR=225 ani. [4]

Mișcarea seismică, la suprafața terenului se reprezintă prin spectre de răspuns elastic pentru accelerații absolute, care se definește prin relația:

$$S_e(T) = a_g \beta(T),$$

unde valoarea  $a_g$  este în m/s<sup>2</sup>, iar  $\beta(T)$  este raportul normalizat de răspuns elastic al accelerațiilor absolute.

Spectrele normalizate de răspuns  $\beta(T)$ , pentru amortizare critică  $\xi=0,05$ , depind de perioadele de control (colț)  $T_B$ ,  $T_C$  și  $T_D$  și de  $T$ , care este perioada de vibrație a unui sistem cu un grad de libertate dinamică, cu răspuns elastic. Normativul are 3 spectre de răspuns, în funcție de valoarea lui  $T_C=0,7s$ ,  $1,0s$  sau  $1,6s$ . Și pentru această perioadă de colț există o hartă de zonare a României. [4]

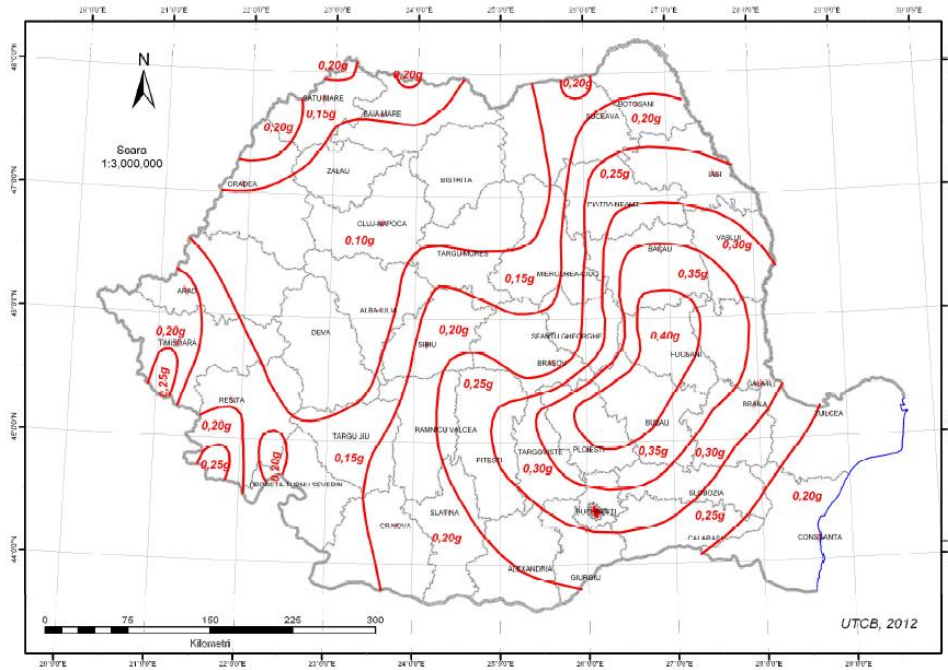


Fig.2.2. Zonarea valorilor  $a_g$  în România, pentru IMR=225 ani și 20% probabilitate de depășire în 50 de ani [4]

Pentru determinarea spectrului de proiectare folosit în calcule, este necesară luarea în calcul și a factorului de comportare  $q$ , care depinde de sistemul structural, dar și de clasa de ductilitate considerată în proiectarea clădirilor. La clădirile cu pereți structurali din zidărie, acesta se determină în funcție de tipul zidăriei și de regularitatea în plan și în elevație a structurii, conform tabelului 8.10 din P100-1 (tabel 2.1) [5]

Tabelul 2.1. Factorul de comportare "q" pentru clădiri cu pereți structurali din zidărie [5]

Regularitate		Factorul de comportare $q$ pentru tipul zidăriei			
Plan	Elevație	ZNA	ZC	ZC+AR	ZIA
Da	Da	1,75 $\alpha_u/\alpha_1$	2,25 $\alpha_u/\alpha_1$	2,50 $\alpha_u/\alpha_1$	2,75 $\alpha_u/\alpha_1$
Nu	Da				
Da	Nu	1,50 $\alpha_u/\alpha_1$	2,00 $\alpha_u/\alpha_1$	2,25 $\alpha_u/\alpha_1$	2,50 $\alpha_u/\alpha_1$
Nu	Nu				

$\alpha_u/\alpha_1$  – este un factor de suprarezistență și se poate determina printr-un calcul static nelinier, dar nu va depăși cu mai mult de 25% valorile specificate în normativ.

În normativ se face o deosebire clară între pereții structurali și pereții structurali de rigidizare, astfel: pereții structurali sunt capabili să preia eforturi verticale și orizontale în special în planul lor, iar cei de rigidizare sunt pereții perpendiculari pe cei structurali și ajută la conformarea și conlucrarea acestora



spațială, la preluarea eforturilor și de asemenea au o contribuție semnificativă la asigurarea stabilității peretelui structural. [5]

În momentul de față, pentru realizarea pereților structurali din zidărie se pot folosi mai multe tipuri de elemente pentru zidărie și anume: din argilă arsă, pline sau cu goluri verticale (SR EN 771-1) și din BCA (beton celular autoclavizat) (SR EN 771-4). Aceste elemente sunt împărțite în grupa 1 sau 2 de materiale, având proprietățile conform tabelului 8.1 din P100-1. (tabelul 2.2) [5]

Tabelul 2.2. Proprietăți geometrice ale elementelor din zidărie [5]

Caracteristici	Grupa 1 - argilă arsă și BCA	Grupa 2 – argilă arsă cu goluri verticale			
		perete interior		perete exterior	
Volumul total al golurilor (% din volumul brut)	≤25%	$a_g \leq 0,15g$		$a_g \geq 0,20g$	
		>25%; ≤55%		>25%; ≤45%	
Volumul fiecărui gol (% din volumul brut)	≤12,5%	*fiecare din golurile multiple ≤2% *total goluri de manipulare ≤12,5%			
Valoarea declarată a grosimii pereților interiori și exteriori (mm)	Fără cerințe	perete interior		perete exterior	
		$a_g \leq 0,15g$	$a_g \geq 0,20g$	$a_g \leq 0,15g$	$a_g \geq 0,20g$
		≥5	≥10	≥8	≥12

În plus, față de elementele specificate în tabelul 2.2. se mai pot folosi și elemente de zidărie cu goluri verticale, cu pereți subțiri, din grupa 2S, dacă sunt îndeplinite următoarele condiții: volumul golurilor este ≤50% din volumul blocului; grosimea pereților exteriori este  $11 \text{ mm} \leq t_e < 15 \text{ mm}$ ; grosimea pereților interiori este  $6 \text{ mm} \leq t_i < 10 \text{ mm}$ ; pereții verticali interiori se realizează continuu în planul peretelui, pe toată lungimea elementului. [5]

Lucrarea de față va face referire la pereții structurali cu elemente din grupa 2S, pentru care s-au realizat încercări experimentale și modelări numerice, pentru a reuși o mai bună înțelegere a comportării acestora la acțiuni orizontale și verticale constante.

În normativul P100-1/2013 se face referire și la rezistențele minime ale elementelor din zidărie, la compresiune, forfecare și încovoiere, care influențează regimul de înălțime maxim admis și zona seismică în care se pot folosi diferitele tipuri de elemente. Pentru structurile cele mai uzuale, la care folosim pereți structurali din zidărie, la clasele de importanță III și IV, conform tabelului 8.2. (tabel 2.3.) din normativ avem următoarele valori. [5]

Tabelul 2.3. Valori minime  $f_k$  (N/mm<sup>2</sup>) – rezistența la compresiune [5]

Număr niveluri $n_{niv}$	Accelerația terenului $a_g$		
	0,10g și 0,15g	0,20g și 0,25g	0,30g÷0,40g
1 (P)	1,70	2,15	3,00
2 (P+1)	1,85	2,30	3,15
3 (P+2)	2,00	2,50	3,25
4 (P+3)	2,50	3,00	4,00
5 (P+4)	2,70		

Numărul de niveluri maxim admis mai este influențat și de tipul de zidărie folosit și de densitatea pereților structurali (p%).

**Zidăria nearmată (ZNA)** are o capacitate redusă de disipare a energiei provenite din încărcări orizontale, astfel utilizarea acesteia în zone seismice este restricționată.

Normativul P100-1/2013 impune o serie de condiții de conformare și anume:

- clădiri cu regularitate în plan și în elevație;
- clădiri încadrate în clasele III și IV de importanță;
- $h_{etaj} \leq 3,00$  m;
- prevederea de elemente care să asigure conlucrarea spațială și integritatea structurală;

Avem în normativ, în tabelul 8.8 (tabelul 2.4.) numărul de niveluri admis, în funcție de zona seismică și de densitatea pereților (p%). [5]

Tabelul 2.4. Numărul de niveluri peste secțiunea de încastrare pentru ZNA [5]

$n_{niv}$	$a_g$					
	0,10g și 0,15g		0,20g și 0,25g		0,30g÷0,40g	
	Argilă arsă gr.1 și 2	Argilă arsă gr.2S și BCA	Argilă arsă gr.1 și 2	Argilă arsă gr.2S și BCA	Argilă arsă gr.1 și 2	Argilă arsă gr.2S și BCA
1 (P)	≥4,0%	≥4,5%	≥5,0%	≥5,5%	NA	NA
2 (P+1)	≥4,5%	≥5,0%	≥5,5%	≥6,0%		
3 (P+2)	≥5,0%	≥5,5%	NA	NA		
NA – nu se acceptă						

**Zidăria armată (ZC, ZC+AR, ZIA)** se poate folosi în zone seismice, ținând cont de condițiile din tabelul 8.9. din normativ (tabelul 2.5.), în funcție de accelerația terenului  $a_g$  și de densitatea pereților. Densitatea pereților (p%) se consideră în tabel cea de la primul nivel al clădirii, iar pentru etajele superioare se poate reduce cu maxim 1%/nivel, păstrând regularitatea în elevație. Dacă condiția de regularitate nu este satisfăcută este necesară realizarea unei analize modale pentru determinarea forței tăietoare la bază. [5]

Tabelul 2.5. Numărul de niveluri peste secțiunea de încastrare pentru zidăria armată [5]

$n_{niv}$	$a_g$					
	0,10g și 0,15g		0,20g și 0,25g		0,30g÷0,40g	
	Argilă arsă gr.1 și 2	Argilă arsă gr.2S și BCA	Argilă arsă gr.1 și 2	Argilă arsă gr.2S și BCA	Argilă arsă gr.1 și 2	Argilă arsă gr.2S și BCA
1 (P)	≥3,0%	≥3,0%	≥4,0%	≥4,0%	≥5,0%	≥5,5%
2 (P+1)		≥3,5%		≥4,5%	≥5,5%	≥6,5%
3 (P+2)	≥4,0%	≥4,0%	≥5,0%	≥5,5%*	≥6,0%*	≥6,0%*
4 (P+3)		≥5,0%	≥6,0%*	≥6,0%*	≥6,5%*	**
5 (P+4)	≥5,0%*	≥5,5%*	**	**		NA
*se va folosi obligatoriu ZC+AR sau ZIA **se va verifica structura printr-o analiza statică neliniară NA – nu se acceptă						

Informațiile prezentate reprezintă o sinteză a celor mai importante prevederi pentru structurile din zidărie, conform normativului de proiectare seismică P100-1/2013. Acestea sunt mult mai complexe și elaborate, în normativ, în capitolul 8, care face referire la structurile din zidărie – proiectare în zone seismice. Sunt redată în normativ toate etapele de calcul necesare, de la stabilirea spectrelor, calculul forțelor seismice echivalente, alegerea metodelor de calcul și distribuția forțelor seismice în structură. Toate acestea, împreună cu regulile generale de conformare structurală asigură o proiectare adecvată a structurilor din zidărie, indiferent de tipul de zidărie sau zona seismică în care acestea se află.

În lucrarea de față se va prezenta și un studiu de caz pentru o structură din zidărie portantă, cu regim de înălțime P+2E, realizată din blocuri ceramice din grupa 2S. Se va prezenta o comparație a unui calcul realizat manual, urmând exemplele din P100-1/2013 și un calcul neliniar realizat cu un program de calcul. S-a ales pentru studiul de caz, o clădire cu blocuri ceramice cu goluri verticale, din grupa 2S, datorită faptului că în cadrul lucrării s-au realizat și încercări experimentale pe acest tip de pereți.

### **2.3. Evoluția normativelor de proiectare în zone seismice**

Primele documente care fac referire la proiectarea și conformarea structurilor în zone seismice sunt: *"Instrucțiuni provizorii pentru prevenirea deteriorării construcțiilor din cauza cutremurelor și pentru refacerea celor degradate. Monitorul Oficial nr. 15/19 ianuarie 1942"* și *"Instrucțiuni pentru prevenirea deteriorării construcțiilor din cauza cutremurelor. Monitorul oficial nr. 120/30 mai 1945"*. În aceste documente se face o zonare a României în două regiuni, cu caracteristici diferite din punct de vedere seismic, și anume: A - zona de la sudul și estul Carpaților + județul Brașov – zonă considerată cu expunere mare la cutremure și zona B – celelalte zone, cu expunere redusă. [6]

Aceste documente aveau la baza norma italiană din 1938 și considerau forța seismică de bază egală cu 5% din rezultanta forțelor gravitaționale, fiind distribuită la nivelul planșeelor în mod uniform. [7]

În anul 1963 apare primul normativ de proiectare seismică *"Normativ condiționat pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice. Indicativ P13-63"*. Acesta a fost inspirat din normativul sovietic din cadrul CAER. [7]

O nouă ediție a normativului P13-63, apare în anul 1970, sub denumirea *"Normativ pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice. Indicativ P13-70"*. Acesta reprezenta o variantă îmbunătățită a normativului anterior, având la bază progresele în cercetare realizate de normativele străine. Acesta însă nu făcea o evaluare directă a comportării clădirilor în domeniul plastic. [7]

A urmat elaborarea succesivă a două normative și anume: P100-78 *"Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social – culturale, agrozootehnice și industriale"*, precum normativul P100-81 *"Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale"*, care introduc pentru prima dată calculul spațial al structurilor, astfel stabilind poziția centrului maselor și al centrului de rigiditate de nivel, devine foarte importantă torsiunea generală. [7] Aceste normative au avut la bază concluziile obținute după cutremurul din 4 martie 1977, a cărui accelerație a fost înregistrată, dar și studierea altor cutremure de suprafața la nivel mondial.

Următorul normativ a fost "*Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale. Indicativ P100-92*", în care se prezintă o hartă de zonare seismică cu 6 zone seismice și o hartă de zonare în funcție de perioadele de colț  $T_c$ . De asemenea se introduce și un coeficient care ține cont de clasa de importanță a construcțiilor, având nivel diferit de protecție seismică.

În normativele ulterioare P100-2004, P100-2006 și P100-2013, apar modificări la reprezentarea acțiunii seismice, la criteriile de performanță, la nivelul de detaliere al prevederilor pentru fiecare tip de structură – în funcție de materialul din care acestea sunt executate, la nivelul componentelor nestructurale. Se mai face de asemenea și un control al răspunsului structural prin izolarea bazei structurii. [7]

Apar o serie de îmbunătățiri și la nivelul relațiilor de calcul, care au scopul de a ajuta proiectantul să înțeleagă mai bine comportarea structurii și răspunsul structurii la acțiuni seismice.

În ceea ce privește evoluția normativelor pentru structurile din zidărie, avem "*Instrucțiuni tehnice privind măsurile constructive la clădirile cu zidărie portantă, situate în zone seismice. Indicativ P32*".

Următorul normativ este "*Normativ privind alcătuirea și calculul structurilor din zidărie. Indicativ P2-75*", urmând normativul "*Normativ privind alcătuirea, calculul și executarea structurilor din zidărie. Indicativ P2-85*".

În acestea se regăsesc o serie de măsuri, care stau la baza proiectării și execuției structurilor din zidărie portantă, situate în zone seismice.

Se introduc măsuri de conformare structurală generală, măsuri pentru asigurarea rigidității la deplasări laterale și măsuri pentru crearea unui mecanism favorabil de disipare a energiei sub acțiunea cutremurului. [7]

Ultimele normative pentru structurile din zidărie sunt CR6-2006 și varianta îmbunătățită a acestuia CR6-2013 "*Cod de proiectare pentru structuri din zidărie*".

O parte din prevederile cele mai importante de conformare structurală din CR6 au fost prezentate în subcapitolul 2.1.

Se poate observa evoluția și îmbunătățirea normativelor de proiectare seismică pentru structurile din zidărie, datorită evoluției tehnologiei, dar și a numeroaselor programe de cercetare realizate în domeniu. [8]

### **3. ASPECTE PRIVIND COMPORTAREA PEREȚILOR STRUCTURALI DIN ZIDĂRIE. CONSOLIDAREA PEREȚILOR STRUCTURALI DIN ZIDĂRIE FOLOSIND MATERIALE COMPOZITE. STUDIU BIBLIOGRAFIC**

#### **3.1. Aspecte generale**

Zidăria este considerată unul dintre cele mai vechi tipuri de structuri în realizarea clădirilor, având o evoluție lentă din punct de vedere al conceptului structural, dar și al procesului tehnologic de producție a elementelor pentru zidărie. [9].

Evoluția acestui sistem structural se poate totuși regăsi în câțiva factori importanți. Primul factor a fost descoperirea unor noi posibilități de combinare a materiilor prime și a materialelor locale. Al doilea factor, a fost dezvoltarea și industrializarea producției materialelor componente. Un al treilea factor, a fost creșterea nivelului de cunoaștere a comportării structurilor din zidărie, având la bază observațiile comportării în timp, dar și comportarea în timpul mișcărilor seismice.

Un ultim factor este evoluția normativelor și a diverselor forme de suport tehnic, teoretic și legislativ, necesare realizării structurilor din zidărie. [9]

Normativele au evoluat după fiecare seism major și sunt în continuă creștere și perfecționare.

Principala problemă a zidăriei este neomogenitatea materialului, fiind compusă din materiale cu proprietăți mecanice diferite. Transformarea ei într-un material omogen echivalent, pentru calcule, nu este deloc simplă, datorită faptului că aceasta depinde de mai mulți factori: proprietățile materialelor componente, tipul zidăriei, dar și calitatea execuției acesteia. [10]

Zidăria se comportă foarte bine la încărcări verticale, însă are o mare vulnerabilitate la încărcări orizontale. Această vulnerabilitate se datorează în special faptului că zidăria are o rezistență foarte mică la întindere și are o capacitate redusă de a disipa energia, având ductilitate redusă și deformabilitate redusă. [10], [11]

Un mod de a îmbunătăți aceste vulnerabilități a fost introducerea unor elemente din beton armat, care conlucrând cu zidăria într-o structură, sunt capabile să preia o parte din forțele seismice și să crească capacitatea zidăriei de a disipa energia seismică. De aceea, în prezent, este obligatorie folosirea zidăriei confinate sau armate, în zone seismice.

În proiectarea structurilor din zidărie, modelul de calcul utilizat pentru determinarea eforturilor și deformațiilor, folosește următoarele simplificări:

- materialul se consideră omogen, cu răspuns elastic până la stadiul ultim;
- caracteristicile secționale se determină pentru secțiune brută, fără fisuri.

Determinarea eforturilor și a rezistenței de proiectare, a pereților structurali din zidărie, printr-un model de calcul, trebuie să reprezinte în mod adecvat rezistența întregului sistem structural.

### 3.2. Moduri de cedare a zidăriei

Zidăria are mai multe moduri de cedare sau solicitare, în funcție de modul/direcția acționării solicitărilor, și anume:

- în planul peretelui;
- în afara planului peretelui.

Cedarea în afara planului peretelui se produce când forțe horizontale foarte mari acționează perpendicular pe perete. Acest mod de cedare este comun în special pentru pereții de umplură, la structurile în cadre metalice sau din beton armat.

Pentru o structură din zidărie portantă, dacă cedarea se produce în afara planului peretelui, se poate trage concluzia că structura nu este bine conformată spațial și peretele nu este legat suficient pe direcția perpendiculară cu alți pereți structurali sau de rigidizare.

Cedarea în planul pereților se produce când structura este corespunzător conformată structural și transmite eficient solicitările externe la elementele structurale.

Lucrarea de față s-a concentrat pe studiul pereților structurali din zidărie solicitați în planul lor, datorită faptului că acesta este modul de cedare așteptat și dorit în acest tip de structuri.

Pereții din zidărie pot ceda în mai multe feluri, și anume Fig. 3.1.:

- alunecare în rost orizontal (a);
- forfecare (b);
- încovoiere (c).

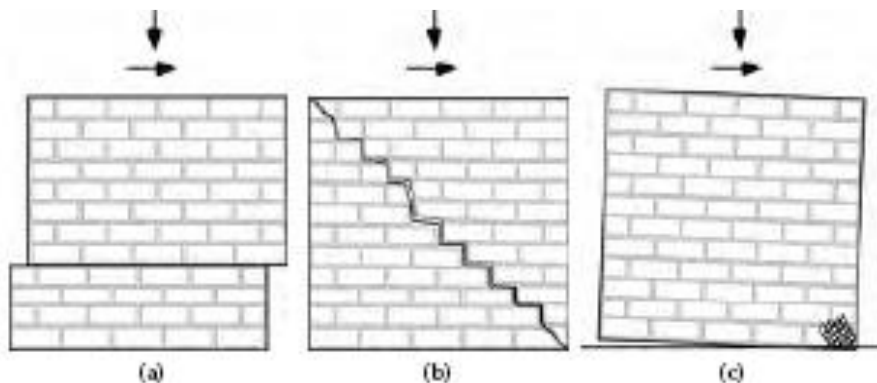


Fig. 3.1. Moduri de cedare a zidăriei, în planul ei:  
a – alunecare în rost orizontal; b – forfecare; c – încovoiere. [12]

Cedarea prin alunecare în rost orizontal, se produce prin deplasarea unei întregi zone de zidărie. Se produce de obicei în zona inferioară a peretelui, când raportul înălțime/lățime  $h/b$  este mai mic decât 1 sau dacă încărcările verticale sunt reduse, fiind un mod de cedare neductil. [10]

Cedarea prin încovoiere se produce prin întinderea unei zone și zdrobirea în partea opusă. Acest mod de cedare apare la pereții cu  $h/b > 2$ , fiind de asemenea un mod neductil de cedare. [10]

Cedarea prin forfecare apare atunci când pereții sunt solicitați la compresiune cu tăiere, producând fisuri pe diagonalele peretelui. De obicei se pot observa două tipuri de fisuri: fisuri care urmăresc legătura de mortar dintre blocurile

ceramice sau fisuri care apar în blocurile ceramice. Este cel mai comun mod de cedare al pereților structurali din zidărie. [10]

În calculul structurilor din zidărie, se vor lua în calcul toate aceste trei moduri de cedare, în normative existând metodologia de calcul pentru rezistențele specifice ale fiecăruia.

Avarierea structurilor din zidărie, poate avea la bază mai mulți factori, și anume:

- asigurarea capacității de rezistență în etapa de proiectare a clădirii, respectare prevederi de alcătuire și dimensionare;
- asigurarea capacității de rezistență în timpul execuției construcției, respectarea proiectului și a detaliilor de execuție;
- conservarea în timp a construcțiilor, luând în considerare acțiunile exterioare asupra structurii: acțiuni seismice, modificări structurale, schimbări de destinație și alte condiții de exploatare. [13]

Cele mai importante sunt însă avariile provocate de factorii externi, în special acțiunile seismice. Avariile din acțiuni seismice sunt provocate de depășirea capacității portante la forfecare, în rost orizontal, compresiune excentrică, dar și eforturi principale de întindere. Acestea produc fisuri, zdrobirea zidăriei, rupere legătură pereți, deplasări, degradări legături cu planșee, etc. [13], [14], [15]

Avariile structurilor din zidărie, indiferent de cauza de producere, necesită consolidare, urmărindu-se următoarele:

- conservare;
- refacere capacitate portantă inițială;
- mărire capacitate portantă;
- micșorare încărcări;
- reprojectare antiseismică;
- reconstrucție. [13]

Normativele actuale prevăd o serie de măsuri de conformare structurală a structurilor din zidărie, în funcție de tipul de bloc ceramic folosit. Acestea prevăd și metode clasice de consolidare. Însă în ultimii ani, se consideră de o importanță majoră, realizarea unor încercări experimentale pe elemente din zidărie, precum și folosirea unor tehnologii inovative de consolidare/reabilitare, care de asemenea necesită confirmare prin încercări experimentale.

Mai jos se prezintă o sinteză din literatura de specialitate, a unor programe experimentale similare realizate pe pereți din zidărie, solicitați la încărcări orizontale (similar cu încărcările seismice).

O serie din aceste încercări experimentale s-au realizat chiar în cadrul Universității Politehnica din Timișoara, la Facultatea de Construcții, unde s-a realizat și prezenta lucrare.

Noutatea din prezenta lucrare, o reprezintă tipul de bloc ceramic utilizat la realizarea pereților din zidărie și anume, blocuri ceramice cu goluri verticale, din grupa 2S, conform P100-1/2013.

### **3.3. Consolidarea cu materiale compozite**

Datorită caracterului imprevizibil al acțiunii seismice, este imposibil să realizăm clădiri complet sigure la cutremur. Însă putem, datorită stadiului actual și al inovațiilor în construcții, să facem clădiri sigure pentru ocupanții acestora, să reducem numărul fatalităților după un seism și de ce nu, să avem avarii ale

clădirilor, ușor și rapid de reparat, cu costuri reduse și posibilitate rapidă de reocupare a clădirilor. [16], [17]

Codurile actuale de proiectare impun ca proiectarea clădirilor noi să respecte aceste cerințe, însă există problema clădirilor existente, la care proprietarii nu își permit să intervină pentru aducerea lor la cerințele actuale. Tehnologia și cercetarea în domeniul consolidării clădirilor existente este în continuă dezvoltare, existând mai multe metode de consolidare, cu avantaje și dezavantaje. [18], [19]

Primele metode de consolidare constă în folosirea materialelor tradiționale, cum sunt oțelul și betonul. Acestea au însă dezavantajul de a adăuga o masă suplimentară semnificativă, elementului consolidat.

Mai recent, începând cu anii '80, a început folosirea materialelor compozite polimerice, pentru consolidarea elementelor structurale din zidărie și nu numai. Acestea au avantajul unei instalări ușoare, au greutate redusă și oferă posibilitatea păstrării formei inițiale a elementului structural. Acestea ating performanțe crescute și datorită posibilității orientării fibrelor, pe direcția necesară consolidării elementelor structurale.

Avantajele materialelor polimerice sunt următoarele:

- greutate redusă, cu 80% mai mică decât cea a oțelului, astfel reducându-se costurile de transport și de instalare, dar constituie avantaj și în cazul clădirilor unde nu se pot modifica încărcările permanente prin consolidare;
- rezistența ultimă la rupere foarte mare, de 3 ori mai mare decât a oțelului;
- raport rezistență-greutate ridicat, având sub 10% din greutatea oțelului, la aceeași rezistență;
- posibilitatea de a alege orientarea, poziția și volumul fibrelor, pentru a direcționa într-un anumit fel capacitatea maximă;
- durabilitate ridicată, posibilitate de utilizare în medii agresive;
- stabilitate dimensională, conductivitate termică și coeficient de dilatare termică foarte mici;
- transparența magnetică și la radar;
- nu necesită întreținere;
- posibilitate de precomprimare;
- posibilitate de producere la orice lungimi/dimensiuni;
- execuție în timp redus, minimalizând costurile de producție și trafic;
- utilizare în locuri cu acces limitat, având grosimi reduse;
- rezistență crescută la impact/explozii. [20]

Cu toate acestea, materialele compozite prezintă și o serie de dezavantaje:

- rezistență la foc redusă;
- ușoară deteriorare mecanică, cu obiecte tăietoare;
- degradări cauzate de radiațiile ultraviolete;
- alungire la rupere mai redusă decât a oțelului, ducând la ruperi fragile;
- comportare liniară, fără palier de curgere;
- costuri ridicate ale materialelor. [20], [21]

Înainte de luarea unei decizii în privința utilizării soluțiilor clasice sau soluțiilor cu materiale compozite, se vor lua în calcul toate aspectele menționate mai sus.

Lucrarea de față prezintă eficiența consolidărilor cu materiale compozite, utilizate pentru consolidarea pereților din zidărie. La capitolul de rezultate se prezintă și un calcul economic, pentru realizarea unei comparații cu consolidările clasice.



Materialele compozite au o alcătuire complexă, dintr-un număr mare de fibre de diametre mici, legate împreună și se împart în:

- polimeri armați cu fibră de carbon CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)
- polimeri armați cu fibră de sticlă GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)
- polimeri armați cu fibră de aramidă AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer) [20], [22]

Fibra, care este componenta de bază a compozitelor, se obține prin procese tehnologice complexe, de aici rezultând și prețul ridicat al acestui tip de material. Fibrele sunt legate într-o matrice, care formează materialul final utilizat în construcții. Aceste matrice repartizează fibrele, le leagă, le protejează în timpul manipulării, le menține într-o anumită poziție, transferă eforturile în timpul solicitărilor, etc. [23]

Tehnologia de consolidare cu fibre de carbon la exteriorul elementelor structurale a fost dezvoltată inițial în Japonia, apoi în Europa. Este o tehnologie complexă, necesitând o evaluare atentă a poziționării și a direcției de consolidare, pentru a obține cele mai eficiente rezultate. Procedul nu este printre cele mai ieftine ca și costuri ale materialelor, de aceea e foarte importantă alegerea metodei potrivite, în funcție de elementul care se consolidează și de tipul avariilor prezente. [20], [24]

Sistemele de consolidare cu materiale compozite se împart în mai multe categorii:

- **sistem aplicare umedă**, la care aplicarea fibrelor sau țesăturilor se face prin impregnare cu rășini la fața locului. Se pot aplica în acest fel fibrele unidirecționale, multidirecționale, dar și împâsliturile de fibre uscate.
- **sistem preimpregnat**, care constă într-o preimpregnare a materialului compozit, înainte de aplicarea sistemului la fața locului.
- **sistem cu elemente prefabricate**, care constă în aplicarea unui sistem de forme preîntărite, cu ajutorul unui adeziv. [20]

Sistemele de consolidare cu fibre de carbon, se folosesc de regulă în următoarele situații:

- avarii structurale sporite de factori de mediu;
- suprasolicitări datorate modificărilor funcționale ale clădirilor sau utilizării neadecvate;
- nevoia de a reduce semnificativ perioada de reparații a clădirilor;
- creșterea duratei de viață a clădirii cu costuri reduse;
- creșterea capacităților de deformație a elementelor structurale;
- creșterea cerințelor de siguranță structurală. [25]

O altă clasificare a sistemelor de consolidare cu materiale compozite este în funcție de locul aplicării compozitelor, la consolidare, astfel:

- **consolidarea la exterior-external bonded (EB-FRP)**: cea mai uzuală metodă pentru consolidarea elementelor de construcții. Constă în aplicarea fibrelor pe zonele întinse ale elementelor.
- **consolidarea cu armături montate în șlițuri-near surface mounted reinforcement (NSMR-FRP)**: constă în înglobarea unor benzi din materiale compozite, în șlițuri realizate în elementele structurale. Aceste șlițuri sunt umplute anterior cu rășini epoxidice, pentru o bună aderență între materialul existent și materialul compozit. [25]

Pentru elementele din zidărie se utilizează cu preponderență sistemul de consolidare la exteriorul elementului structural. Cu atât mai mult la pereții din zidărie cu blocuri ceramice cu goluri verticale, în care realizarea unor goluri s-ar

dovedi ineficiență, datorită instabilității blocului ceramic după tăiere/zdrobire. [26], [27]

### 3.4. Studiu bibliografic

Prezenta lucrare conține un studiu bibliografic al literaturii de specialitate, pentru a putea cunoaște stadiul actual în domeniul studiat, dar și pentru a ajuta în stabilirea metodei de lucru și de calcul din cadrul programului experimental. Sunt menționate atât încercările experimentale pe pereți în stare inițială, cât și diverse metode de consolidare folosite pentru consolidarea pereților din zidărie. [28], [111]

În continuare se prezintă o sinteză a celor mai importante lucrări, care au domeniul de cercetare similar cu cel din lucrarea de față.

*"Seismic retrofitting techniques based on metallic materials of RC and/or Masonry Buildings" – Adrian-Ioan Dogariu, 2009 [10]*

Teza de doctorat prezintă o sinteză a tuturor soluțiilor de consolidare folosite la pereții din zidărie, fie ele clasice sau moderne, pentru zone seismice.

În partea de program experimental au fost testați pereți din zidărie, realizați din cărămidă plină, care ulterior au fost consolidați cu plăci metalice lipite pe fețele exterioare. Modelul și standul experimental au fost similare cu cele folosite în prezenta lucrare, având aceeași schemă de încărcare, iar elementele structurale au avut aceleași dimensiuni.

Concluziile programului experimental au validat eficiența sistemului de consolidare în creșterea deplasărilor laterale ale elementelor și a forțelor laterale, în schimb avariile blocurile ceramice au fost la fel de importante ca și în cazul elementelor din zidărie neconsolidate. [10]

*"Materiale compozite polimerice pentru consolidarea elementelor din zidărie și beton" – Tamas Nagy-Gyorgy, 2007 [20]*

Lucrarea prezintă o descriere foarte detaliată a materialelor compozite, a modului de realizare, aplicare, fabricare, a tipurilor de materiale compozite și evoluția acestora. Se face un studiu bibliografic foarte detaliat al tuturor programelor experimentale importante din întreaga lume și se prezintă rezultatele principale ale acestor studii.

Lucrarea prezintă și un program experimental, realizat în prima etapă pe pereți din zidărie, realizați din cărămidă plină, având aceleași dimensiuni și aceeași schemă de încărcare cu pereții din prezenta lucrare. O parte din standul experimental a fost utilizată și pentru încercările din prezenta lucrare. Consolidările s-au realizat cu țesătură din fibră de carbon, aplicate pe o singură față a elementului din zidărie și au fost aplicate fie în fâșii verticale, fie pe întreaga suprafață, cu fibrele orientate după direcția verticală.

Rezultatele obținute pe pereții din zidărie, prin compararea rezultatelor de la pereții în stare inițială cu cei consolidați au fost:

- creștere semnificativă a capacității portante la tăiere;
- conlucrarea zidăriei cu materialul compozit și contribuția acestuia la deformațiile elementului;
- cedare datorată deschiderilor fisurilor, urmată de desprinderea compozitului;
- creșterea ductilității pereților consolidați;

- compatibilitatea cea mai bună s-a observat la pereții consolidați cu fibră de sticlă. [20]

*"Contribuții privind concepția, calculul și execuția sistemelor structurale cu pereți realizați din blocuri ceramice cu goluri verticale, în zone seismice"* – Rodica Mărgărit, 2011 [9]

Teza de doctorat are la bază un program experimental pe diverse tipologii de pereți din zidărie, realizați din blocuri ceramice cu goluri verticale. Se face o comparație între zidăria nearmată și zidăria confinată din punct de vedere al comportării la acțiunea seismică. Se face o identificare a modurilor de cedare a acestor tipuri de pereți și corelarea/comparația acestora cu modele teoretice reprezentative din domeniu.

Se realizează de asemenea un studiu de caz pe o clădire, realizând calcule conform normativelor, observând astfel necesitatea realizării armării/confinării zidăriei în zone seismice. [9]

*"A performance-based approach to retrofitting unreinforced masonry structures for seismic loads"* Keith M. Bouchard, 2007 [18], [79]

Lucrarea face o analiză a pereților din zidărie nearmată existenți, conform normativului american FEMA 356 și analizează și o serie de măsuri de consolidare posibile pentru pereții studiați. Se determină eficiența sistemelor de consolidare, în reobținerea capacității inițiale a unor pereți avariați, dar și creșterea ductilității acestora. Se mai evidențiază și dificultatea modelării și prezicerii exacte a modului de cedare prin modelări numerice, datorită dificultăților de modelare a materialului care este neomogen, dar în majoritatea modelărilor se caută o variantă de transformare în material omogen. [18]

*"Contribuții asupra definirii caracteristicilor de rezistență și deformabilitate ale zidăriei utilizate în zone seismice"* Claudiu-Lucian Matei, 2013 [29], [30]

Teza de doctorat a avut ca subiect principal, realizarea unor încercări experimentale pe panouri din zidărie cu dimensiuni de 1,20x1,20 m, realizate din blocuri ceramice cu goluri verticale și din cărămidă plină. Aceste panouri au fost consolidate cu lamele Carbodur.

S-au concluzionat următoarele:

- creșterea considerabilă a deformațiilor panourilor din zidărie la rupere, dublate la aplicarea consolidării pe o față și până de 10 ori mai mare la aplicare pe ambele fețe ale panoului;
- aplicare eficientă a lamelelor Carbodur o reprezintă păstrarea unei simetrii;
- este necesară ancorarea lamelelor la capete, pentru o consolidare eficientă;
- aplicarea lamelelor pe cărămidă cu goluri verticale din grupa 2S ridică probleme speciale, legate de rezistența transversală a acestor blocuri ceramice, în zonele de consolidare. [29]

*"Cyclic behavior of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers"* A. Kalali, M.Z. Kabir, 2012 [31]

Articolul studiază comportarea pereților din zidărie solicitați în planul lor, la încărcări ciclice și consolidarea acestora cu diferite materiale compozite.

S-a observat o creștere a rezistenței la compresiune și la forfecare, dar și o creștere a deformabilității, la panourile din zidărie, prin aplicarea materialelor compozite. Metodele de consolidare s-au dovedit eficiente și în cazul panourilor din zidărie cu goluri de ferestre. [31]

*"Experimental and analytical investigation of the lateral load response of confined masonry walls"* Hussein Okail, Amr Abdelrahman, Amr Abdelkhalik, Mostafa Metwaly, 2016 [32], [80]

Articolul prezintă o analiză experimentală și analitică a comportării pereților din zidărie confinată, supusă la încercări laterale orizontale. Se observă următoarele:

- comportare mai bună a pereților realizați cu blocuri ceramice mai puternice, cum sunt cele din beton;
- elementele de confinare au un rol foarte important în preluarea încărcărilor și la menținerea rezistenței și ductilității pereților din zidărie;
- forța laterală este invers proporțională cu deschiderea golurilor din elementele de zidărie, fie ele de fereastră sau de ușă;
- creșterea forței verticale duce la o creștere semnificativă a eforturilor orizontale capabile ale panourilor din zidărie. [32]

*"Experimental and numerical study of confined masonry walls under in-plane loads"* Sulpicio Sanchez Tizapa, 2010 [33]

Teza de doctorat prezintă un program experimental în care s-a realizat o comparație între pereții din zidărie nearmată și pereții din zidărie armată în rosturile orizontale. S-a observat o creștere de 20% a rezistenței la forțe laterale, în cazul zidăriei armate în rost orizontal. Se arată astfel eficiența unei metode simple de întărire a structurilor din zidărie, realizabilă din timpul execuției clădirilor, cu costuri cât se poate de reduse și manoperă simplă și rapidă. [33]

*"Experimental response of double-wythe masonry panels strengthened with glass fiber reinforced polymers subjected to diagonal compression tests"* Arsalan Kalali, Mohammad Zaman Kabir, 2012 [34]

Articolul face un studiu al pereților din zidărie, testați la compresiune pe diagonala elementului și consolidarea acestora cu materiale compozite cu fibră de sticlă.

Se arată eficacitatea acestui procedeu de consolidare pentru pereții din zidărie nearmată. S-au observat creșteri între 2,45 și 4,32 ori la forța de tăiere, precum și creșteri substanțiale ale deplasărilor obținute. Amplasarea țesăturii din fibră de sticlă a fost mai eficientă pe diagonalele elementelor, decât pe toată suprafața elementului. [34]

*"Experimental study on lateral strength of confined masonry walls"* Behrang Sarrafi, Sassan Eshghi, 2012 [35], [78]

Articolul studiază comportarea pereților din zidărie confinată, realizați din cărămidă plină, solicitați la forțe laterale ciclice. O parte din elementele experimentale au fost realizate cu goluri de ferestre. S-a pus accent și pe partea de

execuție și manoperă și s-a constatat că neacordarea atenției asupra mortarului folosit și folosirea unor blocuri ceramice umezite 1 min în apă, a dus la scăderi semnificative a forțelor laterale obținute. De asemenea, un rol important îl are și forța verticală aplicată, cu cât aceasta este mai mare, cu atât forțele orizontale sunt mai mari.

S-a mai constatat și faptul că armarea zidăriei la extremități a făcut ca zidul cu goluri să aibă capacitate portantă similară cu zidul fără goluri, nearmat. [35]

*"In-plane numerical modelling of strengthened perforated masonry walls using FRP under cyclic loading"* Kabir M.Z. and Kalali A., 2012 [36], [37]

Articolul prezintă o serie de modelări numerice pentru analizarea comportării pereților din zidărie nearmată cu sau fără goluri, consolidați cu materiale compozite, la încărcări orizontale în planul pereților și încărcări verticale constante.

O primă observație a fost schimbarea modului de cedare a pereților cu goluri, față de cei fără goluri, de la încovoiere, la o cedare mixtă. S-au observat scăderi ale rigidității și ale forțelor laterale maxime la pereții cu goluri, în schimb peretele cu goluri a avut o capacitate de deformare mai mare cu 1,33-2,04.

Consolidările cu materiale compozite au adus o îmbunătățire a capacității de rezistență de 1,12-2,13 ori mai mare și a deplasărilor maxime de 1,26 – 2,43 ori mai mari. [36]

*"In-plane shear performance of masonry panels strengthened with FRP"* Giancarlo Marcarì, Gaetano Manfredi, Andrea Prota, Marisa Pecce, 2007 [38]

Articolul studiază comportarea pereților din zidărie consolidați cu materiale polimerice și se observă următoarele:

- capacitatea zidului a fost în mod evident crescută prin aplicarea materialelor polimerice;
- modul de cedare al pereților s-a schimbat de la tăiere pură la peretele neconsolidat, la tăiere cu încovoiere pentru panourile consolidate;
- rigiditatea panoului din zidărie nu a suferit modificări;
- s-au obținut forțe laterale mult mai mari la panourile consolidate cu materiale polimerice;
- s-a putut concluziona eficiența sistemului de consolidare și buna comportare în combinație cu pereții din zidărie. [38]

*"Inventory of FRP strengthening methods in masonry structures"* Rashadul Islam, 2008 [39], [73]

Lucrarea prezintă o sinteză detaliată a tuturor materialelor polimerice compozite și a domeniilor de aplicație ale acestora în reabilitarea construcțiilor. Se detaliază în domeniul pereților din zidărie, care sunt cele mai eficiente metode de consolidare, care duc la o rezistență mai bună a acestora, dar și la o ductilitate crescută. Totodată, reiese nevoia mare de a realiza programe experimentale în domeniu, pentru a putea înțelege modul de cedare al acestor pereți consolidați și pentru a putea realiza astfel și modelări numerice mai apropiate de realitate, calibrate pe baza unor rezultate reale. [39]

*"State of the art for strengthening masonry with fibre reinforced polymers"* Cristina E. Lanivski, 2012 [40], [41]

Articolul prezintă o sinteză a materialelor compozite folosite la consolidarea pereților din zidărie. Se prezintă diverse metode de aplicare a materialelor polimerice, folosind mortar sau rășină, dar și diversele moduri de aplicare: în diagonală, în fâșii verticale, fâșii orizontale sau pe întreaga suprafață laterală a peretelui. Sunt detaliate și diverse tipuri de materiale polimerice utilizate pentru pereții din zidărie și eficiența fiecărui sistem, corespunzătoare datelor disponibile în literatura de specialitate din domeniu. [40]

*"3D FE limit analysis model for multi-layer masonry structures reinforced with FRP strips"* Gabriele Milani, 2010 [42]

Articolul prezintă o analiză numerică complexă, modelând zidăria ca material heterogen și modelând de asemenea și materialele compozite cu care aceasta se consolidează. Scopul principal al lucrării a fost calibrarea unui model numeric cât mai apropiat de datele rezultate dintr-un experiment, putând ulterior folosi modelarea respectivă și pentru alte tipologii de pereți, având la bază aceleași principii. [42]

*"A new discrete element model for the evaluation of the seismic behavior of unreinforced masonry buildings"* Ivo Calio, Massimo Marletta, Bartolomeo Panto, 2012 [43], [74]

Articolul evidențiază dificultatea realizării unor modelări numerice detaliate la structurile din zidărie nearmată, din cauza redării nerealiste a materialului neomogen, care de cele mai multe ori duce la rezultate diferite de cele obținute în realitate. Astfel, se propune calibrarea unui element discret din zidărie, similar cu cel din elementul real, care apoi să fie utilizat pentru calibrarea unui model pe o structură întreagă sau pe un montant întreg dintr-o structură. Metoda s-a dovedit eficientă, dar pe scară redusă de elemente testate și experimental. Pentru implementarea acesteia sunt necesare teste suplimentare. [43]

*"A review of analytical methods in the current design processes and assessment of performance of masonry structures"* Dimitris Theodossopoulos, Braj Sinha, 2012 [44], [45]

Lucrarea face o sinteză a prevederilor din normativele actuale, privind proiectarea structurilor din zidărie în zone seismice și evidențiază importanța realizării modelărilor numerice și a încercărilor experimentale. Se observă o dezvoltare tot mai mare în zona de modelare numerică, unde se reușește o omogenizare foarte apropiată de realitate a materialului. Toate acestea sunt de mare folos, în special în evaluarea stării unor clădiri istorice de importanță majoră culturală și arhitecturală. [44]

*"A simplified mechanical model to assess the bearing capacity of masonry walls: theory and experimental validation"* Mebarki A., Bui Q.H., Ami Saada R., Delmotte P., Sanchez Tizapa S., 2009 [46], [70]

Articolul prezintă realizarea unui model simplificat de calcul pentru pereții din zidărie, având la bază rezultate experimentale de la 20 de pereți din zidărie. Pereții au fost supuși la încercări laterale. [46]

*"Analysis and modelling of the in-plane shear behavior of hollow brick masonry panels"* Gabor A., Ferrier E., Jacquelin E., Hamelin P., 2006 [47], [75]

Articolul prezintă o modelare numerică pe pereți din zidărie realizați din blocuri ceramice cu goluri verticale, supuși la încărcări laterale în planul lor. Modelul are la bază comportarea elastic - perfect plastică a straturilor de mortar. Rezultatele modelărilor numerice au fost validate și pe cale experimentală, obținând rezultate aproape identice. Însă se constată o dificultate aparte la blocurile ceramice cu goluri verticale, în reproducerea caracteristicilor de material în modelare, astfel se consideră necesară realizarea unei baze de date complexe, cu programe experimentale realizate pe mai multe categorii de astfel de elemente. [47]

*"Strengthening of masonry elements with FRP composites"* Antoni Morbin, 2004 [48], [49]

Lucrarea face referire la comportarea pereților din zidărie, consolidați cu materiale compozite, solicitați atât în planul lor, cât și în afara planului. Se arată ca materialele compozite sunt eficiente în ambele cazuri, ducând la creșteri semnificative ale rezistenței și ale ductilității pereților. [48]

*"Comportarea elementelor structurale de anvelopă din zidărie la acțiuni extreme"* Claudiu Sorin Dragomir, Claudiu Matei, Daniela Dobre, Emil Sever Georgescu, 2009 [50]

Lucrarea prezintă comportarea pereților din zidărie la acțiuni extreme: seism, explozii, etc. Astfel sunt realizați pereți din blocuri ceramice de dimensiuni diferite și sunt testați în stare inițială și consolidați cu țesătură din fibre de carbon.

Rezultatele obținute confirmă eficiența aplicării țesăturilor din fibre de carbon pe diferitele tipologii de zidărie. [50]

*"In-plane behavior and strength of fully-grouted reinforced masonry shear walls"* Ehsan Minaie, Michael C. Mota, Franklin L. Moon and Ahmed A. Hamid, 2011 [51], [72]

Lucrarea are ca subiect testarea unor pereți din zidărie confinată la încărcări orizontale ciclice, pentru a determina comportarea acestora la astfel de încărcări și pentru a determina influența rețetei mortarului folosit pentru realizarea elementelor.

Concluziile programului experimental au fost:

- capacitatea la tăiere s-a putut observa doar la elementele de dimensiuni mai mari testate, iar forțele laterale au fost mai mari la creșterea încărcării verticale;
- există o nevoie de completare a literaturii de specialitate cu mai multe încercări pe pereți cu dimensiuni mai mici de 6 m, care reprezintă mult mai bine realitatea din structurile reale;
- pereții cu rost continuu de mortar se comportă mult mai bine din punct de vedere al deplasărilor capabile și al disipării de energie;

- rețeta mortarului folosit la realizarea pereților s-a dovedit să nu aibă foarte mare influența la comportarea pereților supuși la încărcări în planul lor. [51]

*"Cyclic behavior and modelling of reinforced masonry panels"* Alberto Bernardini, Caludio Modena, Giovanni Lazzaro, Maria Rosa Valluzzi, 1997 [52], [53]

Lucrarea are ca scop realizarea unor încercări experimentale pe pereți din zidărie confinată, care ulterior să fie folosite la calibrarea unor modelări numerice, pentru o mai bună înțelegere a comportării zidăriei la acțiuni seismice și pentru luarea unor măsuri eficiente la reabilitarea construcțiilor existente, proiectate fără a ține cont de acest tip de încărcare.

S-a dovedit prin programul experimental, că pereții din zidărie armați cu procentul minim de armare au avut o comportare bună la încărcările ciclice. Prin armare nu se crește în mod deosebit rezistența la tăiere a peretelui, dar se îmbunătățește considerabil stabilitatea acestuia. [52]

*"Displacement capacity of contemporary unreinforced masonry walls: An experimental study"* Amir Hosein Salmanpour, Nebojsa Mojsilovic, Joseph Schwartz, 2015 [54], [76]

În cadrul programului experimental s-au testat 10 specimene/pereți din zidărie nearmată, testați la tăiere pură. S-a observat o capacitate redusă la deplasări laterale. S-a mai observat și faptul că deplasările capabile scad odată cu creșterea încărcărilor verticale, astfel s-a putut concluziona că la zidăria nearmată capacitatea portantă la deplasări laterale scade odată cu înălțimea clădirii.

S-a stabilit o relație între capacitatea de deplasare și capacitatea la forfecare, în funcție de condițiile de rezemare. [54]

*"Enhancement in in-plane shear capacity of unreinforced masonry (URM) walls strengthened with fiber reinforced polymer composites"* Ayman Mosallam, Swagata Banerjee, 2011 [55], [71], [77]

Prin încercările experimentale prezentate în articol se arată eficacitatea sistemului de consolidare cu materiale compozite:

- creștere importantă a capacității la tăiere în planul peretelui, atât la sistemele cu aplicarea țesăturii pe o față a peretelui, cât și pe ambele fețe;
- la aplicarea materialelor compozite pe peretele deja avariat, s-a observat o creștere de 20% a capacității la tăiere;
- se schimbă modul de cedare al pereților, de la tăiere pură, la o cedare mai ductilă din compresiune;
- se observă deplasările semnificativ crescute pentru pereții consolidați. [55]

*"In-plane cyclic behavior of a new reinforced masonry system: Experimental results"* Francesca da Porto, Flavio Mosele, Claudio Modena, 2011 [56], [57], [62]

Se prezintă un sistem nou de pereți din zidărie, din blocuri ceramice cu goluri orizontale, armate în rosturile orizontale, cu elemente de confinare laterale din beton armat. Rezultatele au fost, la fel ca în cazul pereților cu blocuri ceramice cu goluri verticale, și anume, încărcările verticale mai mari, au dus la reduceri



considerabile în domeniul deplasărilor laterale. Încărcarea verticală nu a afectat însă disiparea energiei.

Armăturile verticale au avut un efect pozitiv asupra comportării pereților, însă cele orizontale nu au influențat în foarte mare măsură. [56], [57]

*"In-plane behavior of a confined masonry wall"* Khashaiar Pourazin, Sassan Eshghi, 2009 [58]

Partea experimentală a lucrării a avut ca scop determinarea comportării pereților din zidărie confinați, la încărcări laterale monotone, rezultând:

- s-a realizat un model analitic, având la bază partea experimentală, prin care s-au obținut aceleași rezultate;
- confinarea zidăriei duce la o creștere importantă a ductilității elementelor structurale, fiind capabile de o disipare mult mai bună a energiei seismice. [58]

*"In-plane behavior of seismically damaged masonry walls repaired with external BFRP"* Deyau Zhou, Zhen Lei, Jibing Wang, 2013 [59], [63], [64]

Lucrarea prezintă un program de încercări experimentale pe pereți din zidărie nearmată. S-a testat un perete din zidărie simplă, pereți consolidați după testare prealabilă sau pereți testați cu materiale compozite aplicate de la început.

S-au putut observa următoarele:

- se schimbă modul de cedare odată cu aplicarea materialelor compozite, ceea ce înseamnă o mai bună comportare la încărcări laterale;
- se ajunge la creșteri de 44-61% sau chiar 203-265% ale driftului maxim, la elementele cu material compozit aplicat de la început. Creșterile sunt proporționale cu cantitatea de material compozit aplicată;
- forțele orizontale capabile cresc cu 5% la pereții consolidați după avariere și cu 11% la pereții consolidați de la început;
- se dovedește mai eficace aplicarea materialelor compozite după cele două diagonale, în cazul acestor tipuri de solicitări. [59]

*"Modern solutions for strengthening of masonry structures"* Sorin Dan, Corneliu Bob, Liana Bob, Aurelian Gruin, Catalin Badea, 2009 [60]

Lucrarea prezintă diverse metode de consolidare pentru structurile din zidărie, precum și o parte de program experimental și un studiu de caz pe o clădire existentă, veche de 150 de ani.

Se evidențiază:

- eficiența folosirii materialelor compozite în consolidarea pereților din zidărie;
- eficiența folosirii acestor materiale la clădiri vechi, cu costuri reduse, fără să se modifice aspectul arhitectural al clădirilor. [60]

*"Seismic test program of special designed clay blocks due to earthquake resistance by Wienerberger consisting real scale shaking table, cyclic shear, diagonal tension and compression tests"* Suikai Lu and Martin Kasa, 2008 [61]

Lucrarea se referă la un program experimental realizat pe pereți din cărămidă cu blocuri ceramice cu goluri verticale de la producătorul Wienerberger. S-

au realizat o serie de încercări, prin mai multe metode, prin care s-a demonstrat că blocurile ceramice produse, se pot folosi la pereți structurali portanți. [61]

*"Performance of masonry walls under in-plane seismic loading"* Mohamed A. ElGawady, Pierino Lastuzzi, Marc Badoux, 2005 [65], [66], [67]

Articolul prezintă o serie de teste pe pereți din zidărie la o serie de simulări ale unor mișcări seismice, rezultând:

- zidurile mai subțiri au rezistat la deplasări relativ mari, la o succesiune de cicluri de testare la compresiune excentrică;
- schimbând relația între dimensiunile zidurilor, s-a dovedit că zidurile mai zvelte vor ceda prin zdrobire și nu prin tăiere;
- pereții care au cedat la încovoiere au avut forțe orizontale și deplasări mai mici decât cele care au cedat la forfecare/tăiere;
- consolidările cu materiale compozite s-au dovedit eficiente în toate modurile de cedare ale zidăriei. [65]

*"Repair of in-plane shear damaged masonry walls with external FRP"* Hernan Santa-Maria, Pablo Alcaino, 2011 [68], [69]

Articolul prezintă consolidarea unor ziduri avariate, cu două variante de materiale compozite. Nu s-au efectuat reparații prealabile ale fisurilor din pereți. Zidurile au fost realizate cu blocuri ceramice cu goluri verticale, cu sau fără armătură orizontală în rosturi.

Observațiile au fost:

- zidurile consolidate au păstrat integritate la deformații similare cu zidul inițial;
- apariția fisurilor a fost similară la zidul inițial și la cel consolidat. [68]

## 4. ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE

### 4.1. Introducere

Obiectivul programului experimental este să determine comportarea pereților din zidărie cu goluri verticale, la acțiuni seismice. Necesitatea studierii acestor tipuri de pereți este actuală, datorită folosirii lor în foarte multe clădiri construite în ultimii ani, în special pentru clădiri rezidențiale.

Programul experimental a implicat testarea unor elemente la scară, tipul acestora fiind ales acoperind majoritatea situațiilor întâlnite în practică. Au fost testați un număr de trei tipuri de elemente din care s-au realizat trei bucăți la fiecare, necesari pentru validarea rezultatelor obținute. Încercările experimentale s-au realizat în cadrul Departamentului de Construcții Civile și Instalații, al Facultății de Construcții, Universitatea Politehnica Timișoara. Cele nouă elemente au fost testate în două etape: prima etapă a fost testarea elementului în stare inițială și a doua etapă a fost testarea aceluiași element, după consolidarea acestuia, folosind materiale compozite polimerice.

Pentru a se asigura cedarea pereților la eforturi principale de întindere, fără influența semnificativă a momentului încovoietor, s-a stabilit un model teoretic de încercare. Acest model a fost folosit în cadrul Departamentului CCI și pentru alte încercări experimentale pe pereți din zidărie, folosind alte tipuri de blocuri ceramice.

Funcționarea acestui model teoretic a fost testată ca fiind funcțională și ducând la rezultatele așteptate. [20]

Încercările au fost realizate, respectând următoarele etape:

- executarea pereților din zidărie – 9 elemente experimentale;
  - încercarea pereților până la scăderea capacității portante;
  - consolidarea pereților încercați – fără reparații locale la nivelul fisurilor;
  - încercarea pereților consolidați până la cedare;
  - prelucrarea datelor, comparația rezultatelor obținute între pereții din zidărie nearmată și pereții din zidărie armată, precum și între pereții în stare inițială și pereții consolidați cu materiale polimerice.
- În timpul încercărilor experimentale s-au înregistrat următoarele date:
- încărcarea orizontală;
  - încărcarea verticală;
  - modul de cedare al pereților. [20]

### 4.2. Strategie de încercare. Stand experimental

Prima etapă a programului experimental a fost stabilirea modelului simplificat al încercărilor, similar cu cele folosite anterior, care vor asigura cedarea prin tăiere pură în elementele de zidărie Fig. 4.1. Sistemul creat în departamentul nostru este autoechilibrant, fisura formându-se teoretic pe diagonalele pereților.

Încărcările aplicate elementului din zidărie sunt o forță verticală constantă (V) și o forță orizontală ciclică (H) – conform modelului teoretic din Fig. 4.1. [20]

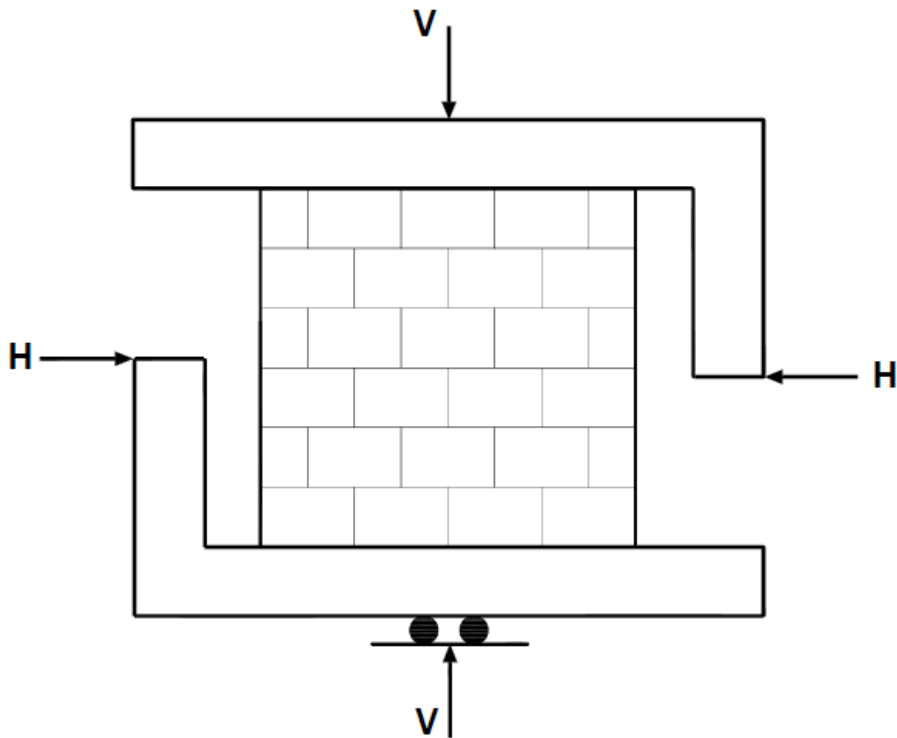


Fig. 4.1. Model simplificat al încercărilor [20]

Pentru obținerea acestui model teoretic a fost necesară construirea unui cadru experimental, conform Fig. 4.2. Acesta a fost proiectat și realizat pentru eventualitatea folosirii pistonului orizontal la capacitatea maximă de 1000 kN, dar și la folosirea a două pistoane orizontale în același timp, la înălțimi diferite.

A doua componentă importantă a standului experimental a fost alcătuirea și realizarea cadrului special de prindere a elementelor din zidărie, prin care să poată fi introduse eforturile de compresie și tăiere, conform Fig. 4.3. Acest cadru a fost realizat din profile metalice pereche laterale, umplute cu o grindă din beton armat.

Acest tip de sistem a fost realizat în ideea creării unei situații cât mai similare cu practica curentă, unde pereții din zidărie sunt rezemați pe elevația din beton armat, iar legătura dintre blocurile ceramice și elevație o reprezintă stratul de mortar. Și în realizarea încercărilor noastre, s-a folosit un strat de mortar, de legătură între grinda de beton și elementele din zidărie. Pentru stabilitatea grinzii de beton între cele două profile metalice, s-au folosit buloane prinse de profilele metalice prin sudură și înglobate ulterior în beton. În Fig. 4.4 se observă alcătuirea grinzilor din beton armat, atât la partea inferioară cât și la cea superioară.

Grinzile din beton armat, au practic rolul centurii și rolul fundației pentru elementele din zidărie testate. Buloanele metalice introduse în grinda din beton armat, au și rolul de a rigidiza grinda, aceasta fiind capabilă să transmită eforturile de compresie și de tăiere provenite de la pistonul vertical și de la cel orizontal, fără a altera rezultatele.

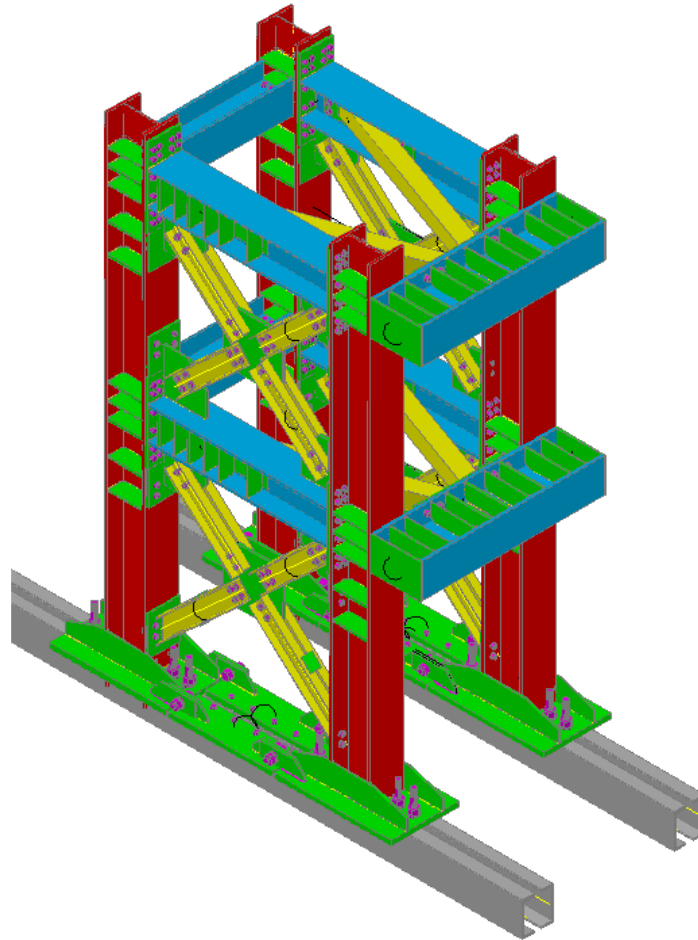


Fig. 4.2. Cadru experimental preluare încărcări horizontale

Partea inferioară a cadrului a fost fixată în așa fel încât să nu se poată deplasa în timpul încercărilor. Încărcările horizontale au fost preluate în totalitate de elementul din zidărie.

Pentru încărcările verticale, prinderea pistonului hidraulic a fost realizată prin montarea unui cadru suplimentar cu o grindă la partea superioară.

Standul experimental final montat cu primul element experimental poate fi observat în Fig. 4.5. cu partea de model teoretic și partea finală pusă în execuție.

Grinzile suport, realizate din beton armat au următoarea alcătuire: beton clasa C16/20, armare superioară și inferioară cu  $3\varnothing 12$  și la mijlocul înălțimii cu  $2\varnothing 12$ , toate fiind realizate din oțel PC52. Etrierii s-au realizat din  $\varnothing 6$  la pas de 8 cm, din oțel OB37. Alcătuirea detaliată se observă în Fig. 4.4.

Grinzile suport de la partea inferioară și de la partea superioară, au rolul de a conlucra cu elementele experimentale și de a transmite încărcările din standul experimental la peretele din zidărie. Astfel se simulează și conlucrarea pereților din zidărie cu elevațiile și cu centurile din beton armat, care sunt prezente la realizarea pereților structurali în practica curentă.

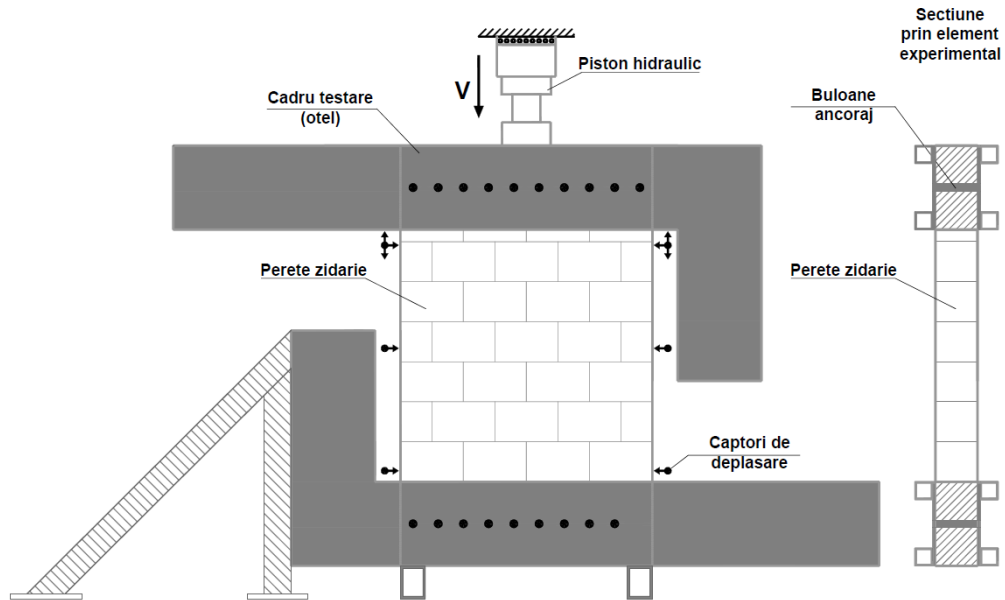


Fig. 4.3. Cadru special prindere elemente zidărie

Armare grinda GS-01  
Sc. 1:20

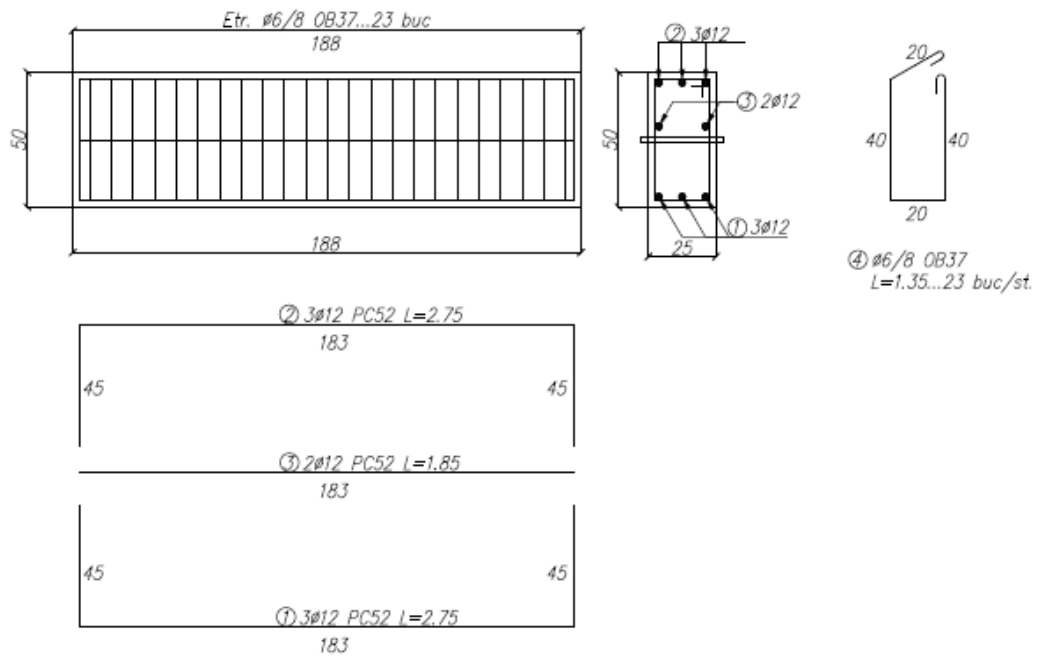




Fig. 4.4. Armare și amplasare grinzi suport

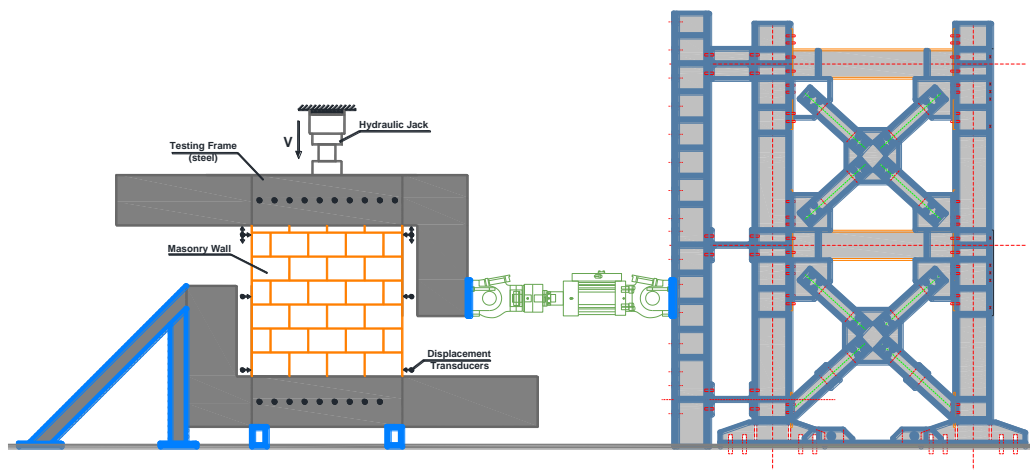




Fig. 4.5. Stand experimental final

Pentru sistemul de aplicare a încărcărilor orizontale s-a utilizat un actuator special, cu următoarele caracteristici:

- Tip: AGD 1000/250 – Walter+Bai AG Testing Machines Switzerland, Fig. 4.6.
- Forța maximă: 1000 kN
- Deplasare maximă piston: 250 mm
- Acuratețe măsurare compresiune: 10 – 1000 kN
- Acuratețe măsurare întindere: 10 – 1000 kN
- Dimensiuni lxdxL: Ø360x2003 mm
- Greutate: 1020 kg.





Fig. 4.6. Piston hidraulic, controler și softul de acțiune

### 4.3. Elemente experimentale

#### 4.3.1. Caracteristici geometrice, alcătuire

Elementele experimentale prevăzute în prezenta lucrare sunt pereți din zidărie, realizați din blocuri ceramice cu goluri verticale având dimensiunile de 150x150x25 cm. Denumirea acestora se regăsește în tabelul 4.1. Aceștia sunt realizați în trei tipuri de configurații: zidărie nearmată, alcătuită conform Fig. 4.8., zidărie confinată cu stâlpișori laterali, alcătuită conform Fig. 4.9. și zidărie confinată cu stâlpișor central, alcătuită conform Fig. 4.10.

Tabelul 4.1. Denumire elemente experimentale

Tip element experimental	Denumire
Zidărie nearmată	<b>URM1</b>
	<b>URM2</b>
	<b>URM3</b>
Zidărie confinată cu stâlpișori laterali	<b>RM1</b>
	<b>RM1'</b>
	<b>RM1''</b>
Zidărie confinată cu stâlpișor central	<b>RM2</b>
	<b>RM2'</b>
	<b>RM2''</b>

Blocurile ceramice utilizate sunt de tip Porotherm 25, conform Fig. 4.7. Acestea au dimensiunile de Lxbxh: 375x250x238 mm. Acest tip de bloc ceramic face parte din categoria blocurilor ceramice cu goluri verticale și cu pereți subțiri, având volumul golurilor <50% din volumul blocului ceramic. Are densitate redusă de cca. 850 kg/m<sup>3</sup>, putând fi folosit pentru pereții structurali din structurile de zidărie portantă, respectând prevederile speciale din P100-1/2013 și CR6-2013.

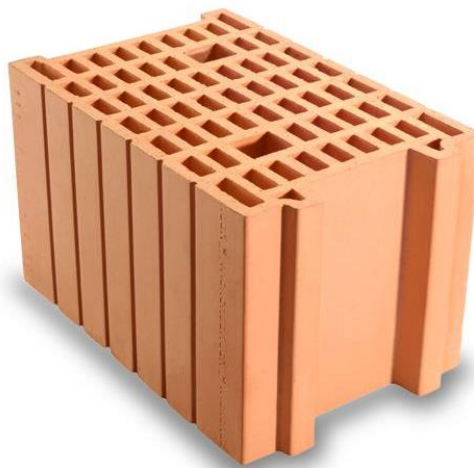


Fig. 4.7. Bloc ceramic cu goluri verticale – Porotherm 25

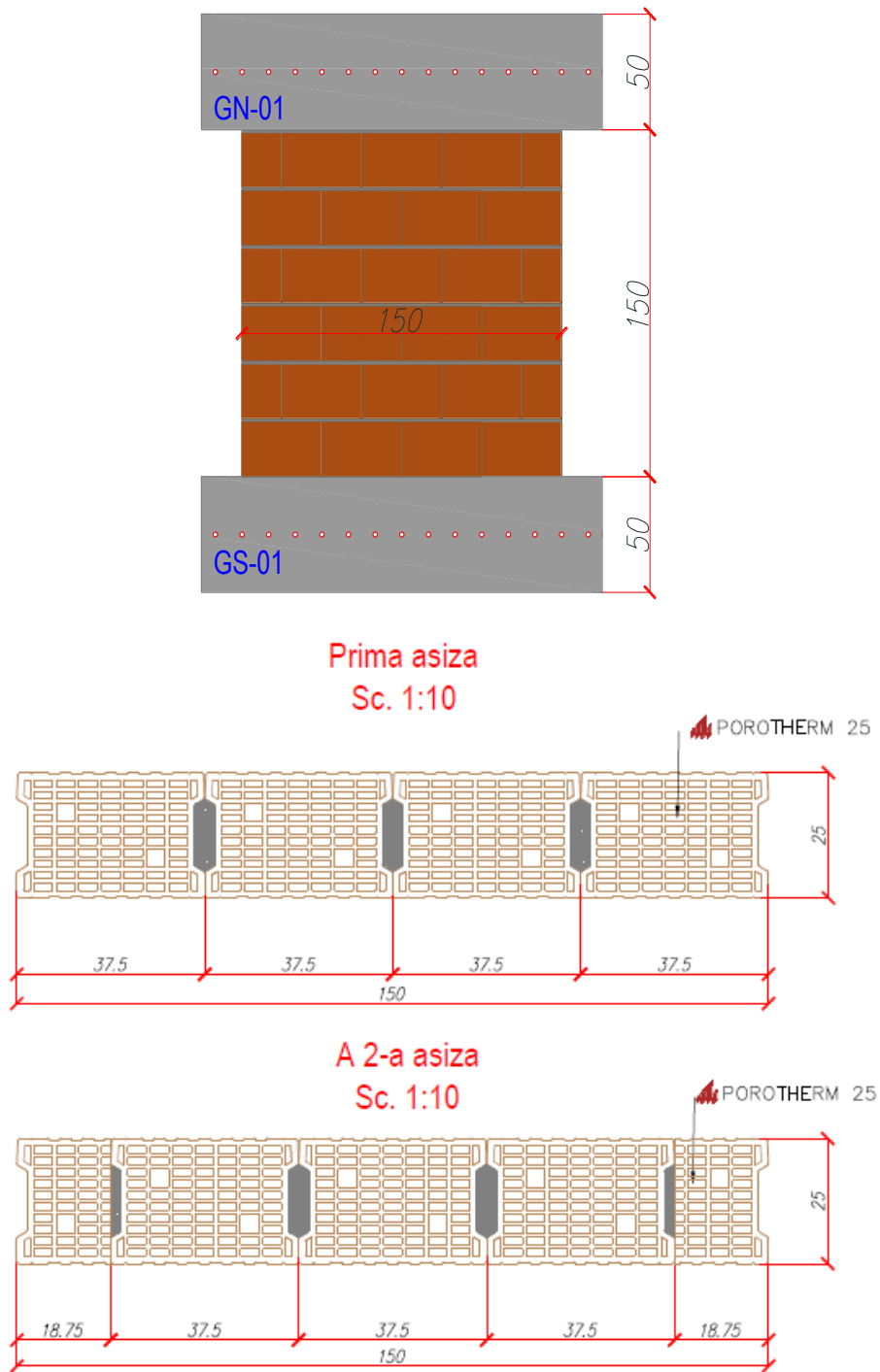
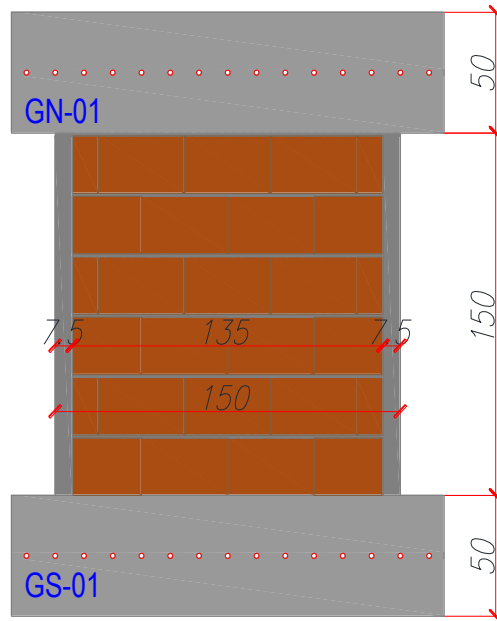
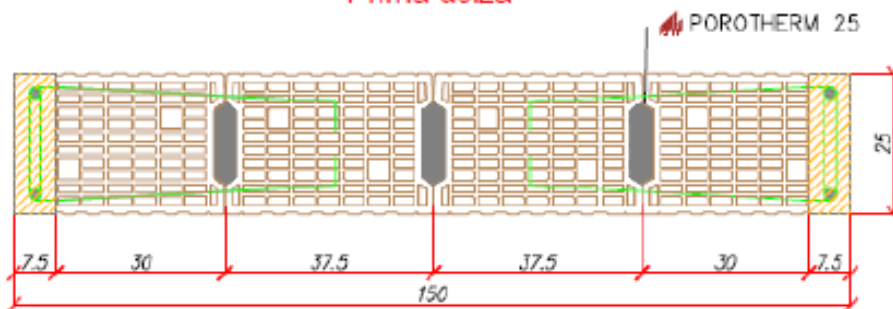


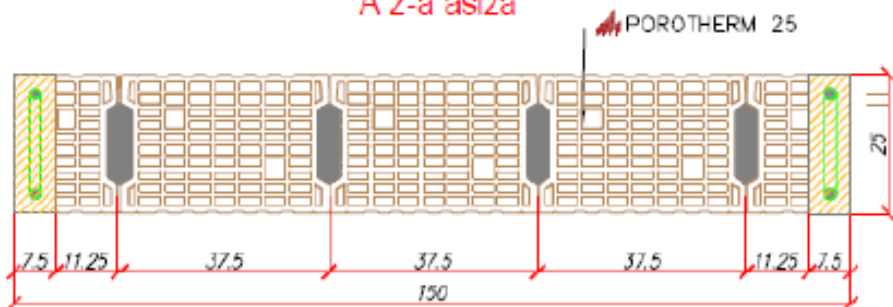
Fig. 4.8. Specimen zidărie nearmată – URM1/ URM2 / URM3 – 3 buc.



Prima asiza



A 2-a asiza



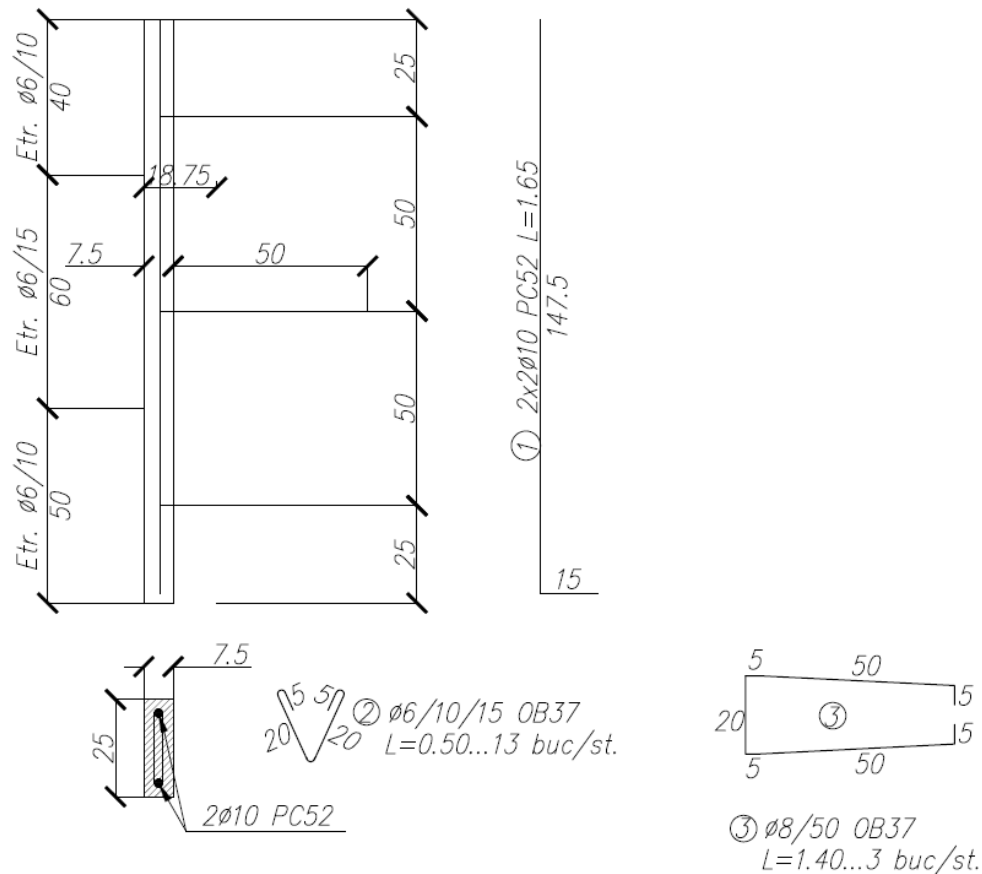


Fig. 4.9. Specimen zidărie confinată cu stâlpișori laterali RM1 / RM1' / RM1'' – 3 buc.

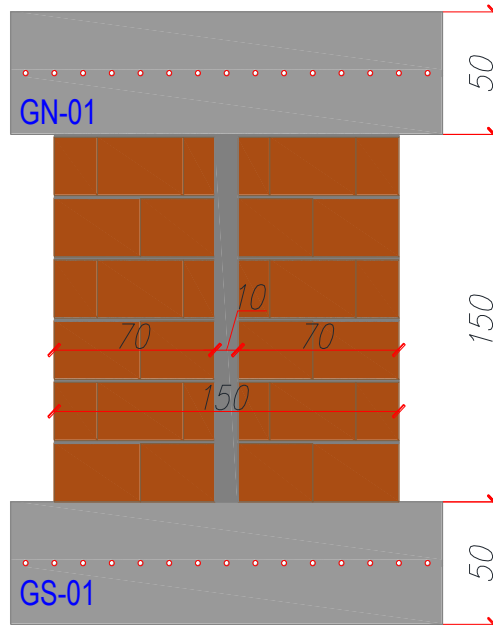
Armarea stâlpișorilor s-a realizat astfel:

- Pentru stâlpișorii laterali s-a folosit armare verticală 2Ø10, cu etrieri Ø6 la pas de 10 cm la extremități și la pas de 15 cm la mijlocul deschiderii. La fel, s-a realizat și o armare în rost orizontal, legând stâlpișorul cu zidăria adiacentă, folosind bare Ø8 la pas de 50 cm, în asizele 1, 3 și 5.

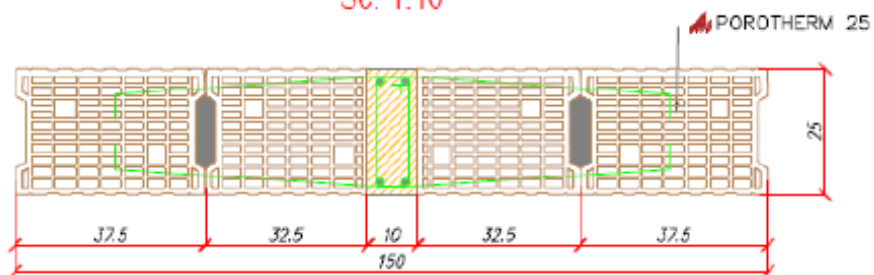
Barele verticale de armătură s-au realizat din oțel PC52, iar etrierii și barele de armare în rostul orizontal s-au realizat din oțel OB37.

Armarea propusă respectă prevederile din P100-1/2013, cu privire la procentul de armare, în funcție de aria secțiunii de beton și anume pentru armătura longitudinală procentul de armare  $\geq 0,8\%$  pentru  $a_g=0,20g$ .

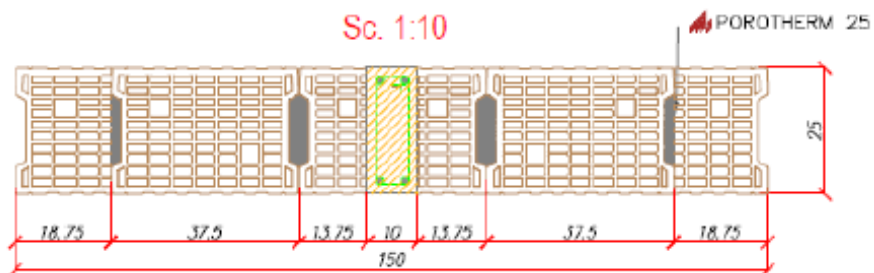
Pentru dimensiunile stâlpișorului de 7,5x25 cm, avem procent aria minimă de 1,875 cm<sup>2</sup>, prin cele 2 bare de Ø10, ajungând la 1,50 cm<sup>2</sup>.



Prima asiza  
Sc. 1:10



A 2-a asiza  
Sc. 1:10



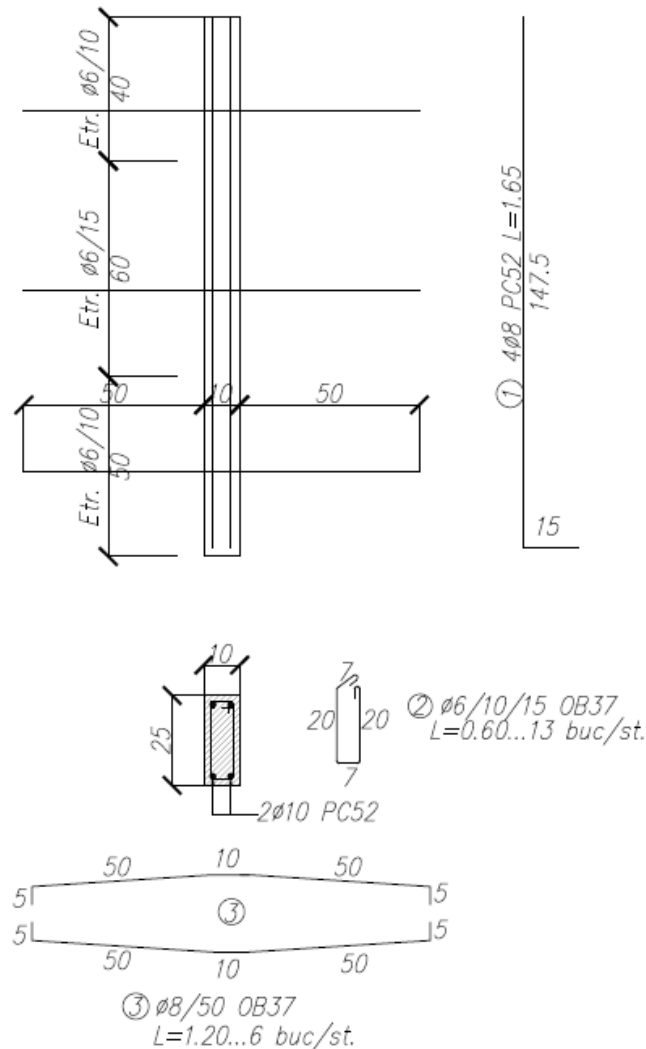


Fig. 4.10. Specimen zidărie confinată cu stâlpișor central RM2 / RM2' / RM2''

Armarea stâlpișorilor s-a realizat astfel:

- Pentru stâlpișorul central s-au folosit bare verticale 4Ø10, cu etrieri Ø6 la pas de 10 cm la extremități și la pas de 15 cm la mijlocul deschiderii. S-au armat în rost orizontal asizele 1, 3 și 5, cu 2Ø8, la pas de 50 cm, conform prevederilor din normativ.

Barele verticale de armătură s-au realizat din oțel PC52, iar etrierii și barele de armare în rostul orizontal s-au realizat din oțel OB37.

Armarea propusă respectă prevederile din P100-1/2013, cu privire la procentul de armare, în funcție de aria secțiunii de beton și anume pentru armătura longitudinală procentul de armare  $\geq 0,8\%$  pentru  $a_g=0,20g$ .

Pentru dimensiunile stâlpișorului de 10x25 cm, avem procent aria minimă de 2,0 cm<sup>2</sup>, prin cele 4 bare de Ø10, ajungând la 3,14 cm<sup>2</sup>.

Elementele experimentale s-au realizat la scara 1/3, păstrând însă scara naturală a grosimii peretelui, dorindu-se ca elementele experimentale să reprezinte părți din structuri reale realizate din acest tip de blocuri ceramice.

Selectarea tipurilor de elemente experimentale s-a realizat prin selectarea tuturor situațiilor întâlnite în practica curentă, conform modelului din Fig. 4.11., dar și folosirea unui element din zidărie nearmată – element de referință, pentru a putea observa rolul confinării zidăriei în zone seismice, realizând comparație între elemente.

Pereții din zidărie confinată cu un stâlpișor au aria și procentul de armare reduse cu 1/3, iar celălalt tip cu stâlpișori laterali are cantitatea de armătură însumată egală cu cea dispusă în peretele cu un singur stâlpișor.

Planul clădirii de referință din care s-au extras elementele testate este redat în Fig. 4.11. Acest plan se regăsește și în studiul de caz realizat pe o structură reală, la finalul prezentei lucrări.

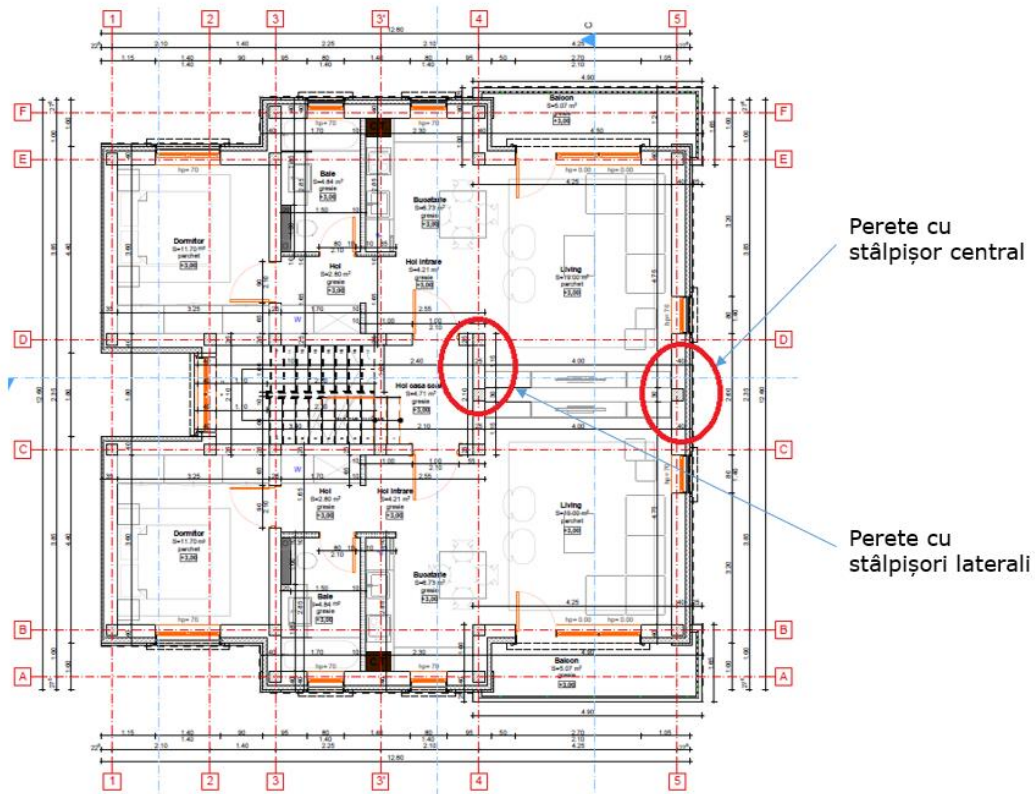


Fig. 4.11. Clădire de referință cu pereți structurali din zidărie confinată



Elementele experimentale puse în operă și montate în standul experimental, se pot vedea în Fig. 4.12.





Fig. 4.12. Specimene pereți zidărie montați în standul experimental

#### 4.3.2. Proprietăți materiale

Pentru stabilirea caracteristicilor reale ale materialelor folosite la realizarea pereților din zidărie, s-au realizat o serie de teste pe materialele componente și anume:

- rezistența la compresiune a blocului ceramic, conform SR EN 771-1 [81];
- determinarea distribuției granulometrice, conform SR EN 1015-1:2001/A1:2007 [82];
- rezistența la încovoiere determinată pe prisme de mortar, conform SR EN 1015-11:2002/A1:2007 [83];
- rezistența la compresiune determinată pe prisme de mortar, conform SR EN 1015-11:2002/A1:2007 [83];
- rezistența la compresiune și determinarea modulului de elasticitate a zidăriei determinată pe prisme de zidărie, conform SR EN 1052-1:2001 [84];
- rezistența inițială la forfecare a blocurilor ceramice de zidărie, conform SR EN 1052-3:2003 [85];
- rezistența la compresiune a betonului determinată pe cuburi, conform SR EN 12390, 2002 [86], [87].

##### 4.3.2.1. Rezistența la compresiune a blocului ceramic

Rezistența la compresiune a blocului ceramic de zidărie a fost determinată în laboratorul specializat al producătorului, cu echipamente specializate, conform Fig. 4.13.



Fig. 4.13. Echipament determinare rezistență la compresiune

În urma acestor determinări au rezultat următoarele caracteristici ale blocurilor ceramice, conform tab. 4.2. Valoarea lui  $f_{b,med}$  s-a determinat experimental, iar restul valorilor au fost calculate conform CR6-2013, de unde se alege un coeficient  $\delta$ , în funcție de tipul de bloc ceramic utilizat.

Tabelul 4.2. Caracteristici blocuri ceramice

Bloc ceramic	$\delta$	$f_{b,med}$	$f_b$	$f_{b,min}$	$f_{b,max}$
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Porotherm 25	1.138	10	11.38	14.79	21.62

#### 4.3.2.2. Curba granulometrică a agregatelor

Pentru determinarea curbei granulometrice, nisipul a fost spălat și uscat în prealabil. Aparatura folosită la sitarea nisipului, constă într-o succesiune de site și un vibrator. Materialul se trece prin coloana de site, fiind agitat de vibrator. La finalul operațiunii de sitare, se cântărește materialul rămas pe fiecare sită și se raportează la cantitatea de nisip inițială. Comparând valorile obținute cu o scară granulometrică din normativ, de valori minime și maxime, se obține curba granulometrică a agregatelor folosite la realizarea mortarului pentru executarea elementelor din zidărie.

În graficul din Fig. 4.14. se observă că nisipul utilizat la prepararea mortarului se încadrează în limitele admise.

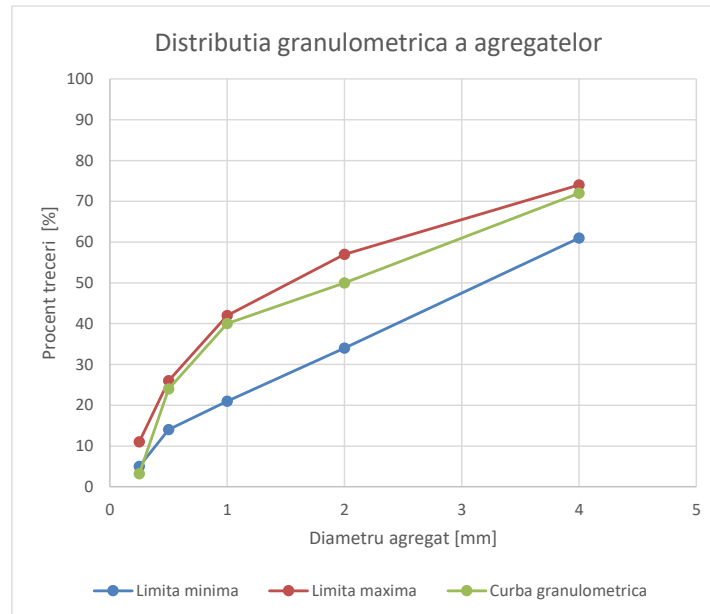


Fig. 4.14. Curbă granulometrică agregate

#### 4.3.2.3. Rezistența la încovoiere și compresiune a prismelor de mortar

La executarea elementelor din zidărie s-a preluat mortar în 3 epruvete prismatice de 40x40x160 mm, cum se observă în Fig. 4.15. Conform normativului CR6-2013, la realizarea elementelor din zidărie este necesară folosirea unui mortar cu rezistența minimă la compresiune de 5 N/mm<sup>2</sup>, care corespunde unui mortar M5. S-a ales folosirea acestui tip de mortar la realizarea elementelor experimentale, a cărui rețetă se observă în Tabelul 4.3.



Fig. 4.15. Prelevare epruvete prismatice mortar

Tabelul 4.3. Compoziție mortar M5

Ciment [kg/m <sup>3</sup> ]	Nisip [kg]	Var [kg]	Raport A/C
265	1600	54	1.207

La realizarea mortarului a fost folosit ciment CEM IV/B-M 42,5N, materialele fiind amestecate într-un malaxor de 60 L.

Încercarea la încovoiere, conform SR EN 1015-11, se realizează prin ruperea prisme de mortar, aplicând o forță la mijlocul deschiderii, cum se observă în Fig. 4.16. Jumătățile rămase, după ruperea prisme la încovoiere se vor încerca la compresiune. Fig. 4.16.



Fig. 4.16. Încercare probe mortar la încovoiere și compresiune

Rezultatele obținute sub formă de forțe, se vor prelucra pentru obținerea rezistențelor caracteristice. Astfel pentru rezistența la încovoiere,  $f_i$  utilizând formula:

$$f_i = 1.5 \frac{Fl}{bd^2} \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Iar pentru rezistența la compresiune  $f_c$ , utilizând formula:

$$f_c = \frac{Fl}{bd} \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

În urma testelor la încovoiere și compresiune, au rezultat următoarele date, conform Tabel 4.4.

Tabelul 4.4. Rezultate încercări prisme mortar

Prismă	Încovoiere		Compresiune	
	Forța maximă de rupere [N]	$f_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Forța maximă de rupere [N]	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
PIa	480	$18 \times 10^{-3}$	9200	5.75
PIb			9160	5.725
PIIa	600	$22.5 \times 10^{-3}$	8300	5.187
PIIb			8470	5.293
PIIIa	590	$22.1 \times 10^{-3}$	9650	6.03
PIIIb			9620	6.01

Făcând o medie a valorilor obținute pe cele trei prisme, rezultă rezistența la încovoiere  $f_i=20.5 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$  și rezistența la compresiune  $f_c=5.65 \text{ N/mm}^2$ .

Mortarul se încadrează în clasa de mortar M5, conform cerințelor minime din normativul CR6-2013.

#### 4.3.2.4. Rezistența la compresiune a betonului

La executarea elementelor din zidărie cu stâlpișori laterali și centrali, au fost prelevate epruvete din betonul utilizat. Epruvetele au fost sub forma de cuburi cu latura de 150 mm și s-au prelevat un număr de 6 cuburi.

Testarea cuburilor la compresiune s-a realizat în cadrul Laboratorului CCI, din cadrul Facultății de Construcții, utilizând aparatul de testare cu capacitate de 2000 kN, cum se observă în Fig. 4.17.



Fig. 4.17. Încercare cuburi beton – aparat și rezultate

Cuburile au fost testate după 45 zile de la realizarea elementelor experimentale, iar rezultatele se pot observa în Tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Rezultate încercări cuburi beton

Elemente	Epruvetă	Forță maximă [N]	Rezistență cubică la compresiune [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm,cub}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Clasă beton
Zidărie cu stâlpișori laterali	Cub 1	$654.6 \times 10^3$	37.04	29.06	17.93	<b>C16/20</b>
	Cub 2	$662.8 \times 10^3$	37.50			
	Cub 3	$644.2 \times 10^3$	36.45			
Zidărie cu stâlpișor central	Cub 1	$626.6 \times 10^3$	35.46	28.03	17.29	<b>C16/20</b>
	Cub 2	$628.9 \times 10^3$	35.59			
	Cub 3	$636.3 \times 10^3$	36.01			

Rețeta folosită la realizarea betonului a fost pentru clasa C16/20. Pentru calculul rezistenței specifice la compresiune, rezistența obținută pe cuburi a fost redusă cu 18% conform [88], [89], pentru a obține rezistența pe cilindru și apoi a fost transformată în rezistența caracteristică cu formula:

$$f_{ck} = (1 - 1.64 \cdot 0.15) \cdot f_{cm}$$

unde:

$f_{cm}$  – rezistența la compresiune pe cilindru [N/mm<sup>2</sup>]

$f_{ck}$  – rezistența la compresiune caracteristică [N/mm<sup>2</sup>]

A rezultat clasa de beton dorită pentru acest tip de element, conform cerințelor din CR6-2013 și conform claselor de expunere ale betonului, utilizat la suprastructura clădirilor.

#### 4.3.3. Materiale compozite utilizate la consolidare

Pentru consolidarea pereților din zidărie s-au folosit materiale compozite și anume: lamelă carbon sau țesătură din fibră de carbon, aplicate cu ajutorul unor rășini epoxidice. Proprietățile materialelor sunt redată în Tabelul 4.6.

Tabelul 4.6. Proprietăți materiale consolidate

Material	Grosime [mm]	Densitate [g/cm <sup>3</sup> ]	Rezistență la întindere [N/mm <sup>2</sup> ]	Viscozitate [MPas]	Rezistență la forfecare [N/mm <sup>2</sup> ]	Rezistență la compresiune [N/mm <sup>2</sup> ]
Primer	-	1.1	-	300	-	-
Rășină thixotropică MapeWrap 12	-	1.70	-	800000	-	-
Rășină vâscozitate medie MapeWrap 31	-	1.06	40	7000	-	70
Lamelă Carbon E170/100/1.4	1.4	0.00161	3100	-	77	-
Țesătură Carbon C UNI- AX 300/40	0.166	1.8	4830	-	-	-

Materialele utilizate la consolidare au fost puse la dispoziție de compania MAPEI România și parțial de SIKA România.

În prima etapă de încercări s-a consolidat un perete folosind lamele de carbon C170/100/1,4, însă ulterior s-a renunțat la acestea, datorită cedării foarte casante și restul elementelor s-au consolidat în totalitate cu țesătură din fibră de carbon MapeWrap C UNI-AX 300/40, care în cazul pereților din zidărie a fost tăiată la o lățime de 150 mm și a fost aplicată pe diagonale, pe ambele fețe ale peretelui. Fig. 4.18. și Fig. 4.19.

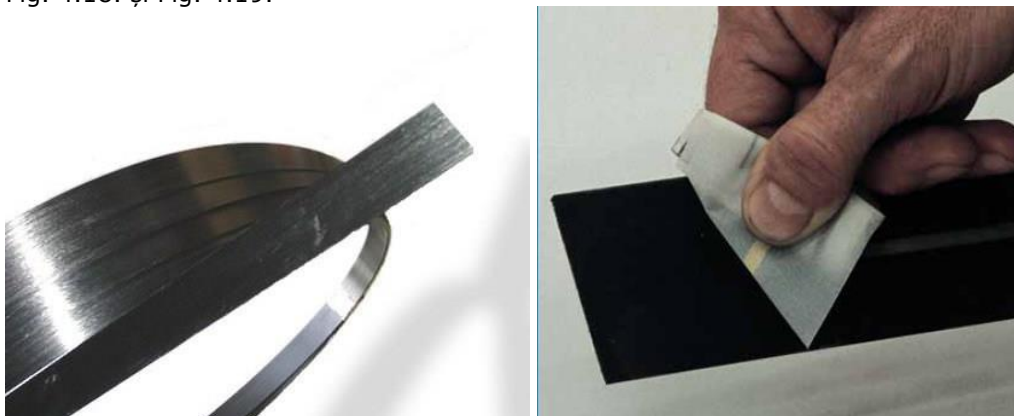


Fig. 4.18. Lamelă Carbon [90]

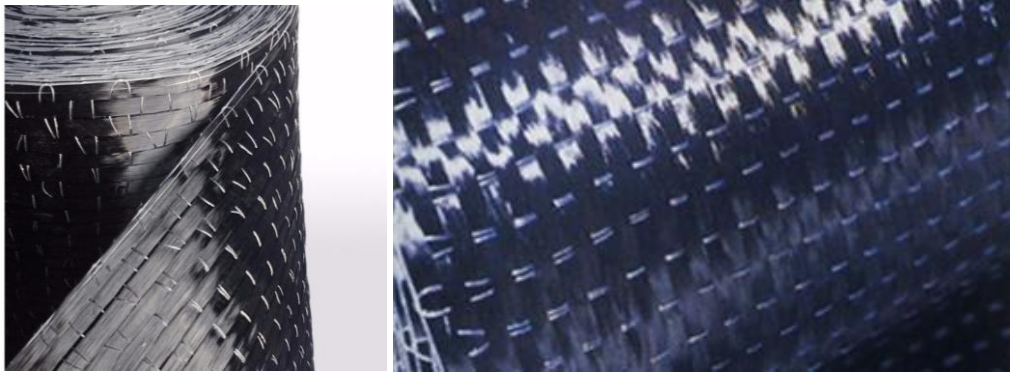


Fig. 4.19. Țesătură din fibră de carbon [91]

Rășina de tip Mapewrap 12 a fost folosită pentru omogenizarea suprafeței peretelui, ca strat de bază pentru aplicarea lamelei sau țesăturii, iar rășina de tip MapeWrap 31 a fost folosită pentru lipirea efectivă a lamelei/țesăturii. [92], [93].

#### 4.4. Consolidare elemente experimentale

Partea a doua a programului experimental a constat în consolidarea pereților din zidărie avariți, folosind materiale compozite. Primul element testat, din zidărie nearmată a fost consolidat folosind lamele din carbon, aplicate pe diagonalele principale, în zonele în care au apărut și fisurile cele mai mari, pe ambele fețe ale elementului. Fig. 4.20.

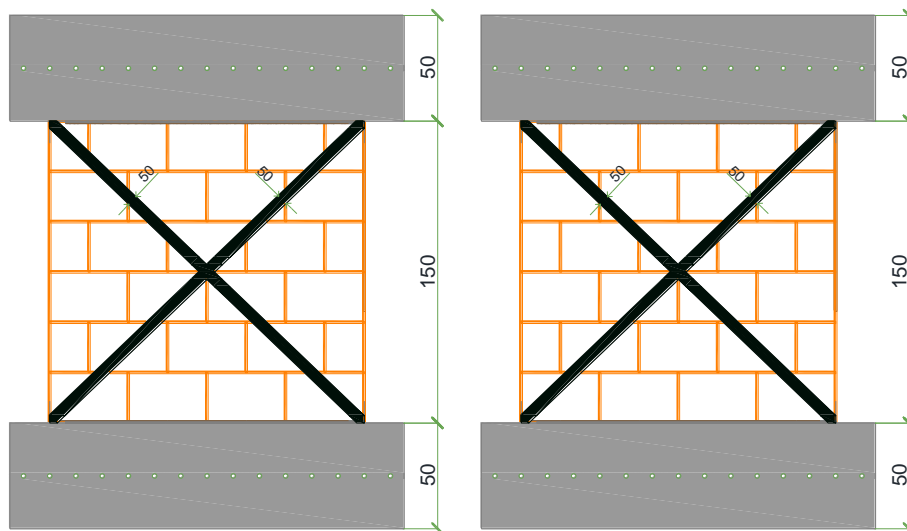


Fig. 4.20. Element zidărie consolidat cu lamelă de carbon URM1 – vedere față-spate

La elementele următoare, s-a trecut la consolidarea cu țesătură cu fibră de carbon, care s-a considerat a fi mai eficientă în cazul zidăriei cu goluri verticale. Astfel s-au consolidat 8 elemente folosind țesătură din fibră de carbon.



Țesătura din fibră de carbon MapeWrap C UNI-AX este o țesătură uni-direcțională, cu un modul de elasticitate ridicat și rezistență la întindere foarte mare.

Aplicarea acesteia s-a făcut în sistem umed urmând următoarele etape:

- curățarea suprafeței peretelui din zidărie, îndepărtare urme de mortar, bucăți de zidărie apărute de la avarierea pereților la realizarea primelor încercări;
- aplicarea MapeWrap Primer, pentru o aderență mai bună a stratului de rășină – aplicare cu pensula pe zona unde urmează să se aplice materialele de consolidare;
- aplicarea rășinii epoxidice MapeWrap 12, cu rol de nivelare a neuniformităților și etanșarea suprafețelor poroase – se aplică cu mistrie în strat de 2 mm în cazul de față, pentru nivelare cât mai bună a pereților;
- aplicarea unui strat de MapeWrap 31 cu pensula cu o grosime de 0,5 mm, urmat de aplicarea imediată a țesăturii din fibră de carbon și nivelarea acesteia cu o rolă de cauciuc. La final pentru impregnarea acesteia se mai aplică cu pensula un strat de rășina MapeWrap 31.

Între aplicarea diferitelor straturi s-a așteptat minim 24 ore, pentru întărirea straturilor aplicate anterior. După aplicarea manuală a stratului de rășină MapeWrap 12, a fost necesară șlefuirea mecanică, pentru obținerea unui strat neted, pe care să se poată aplica în siguranță țesătura de carbon.

Această procedură s-a utilizat la toate elementele experimentale, pe ambele fețe ale pereților, după ce aceștia au suferit avarii din încercările inițiale. [94], [95]

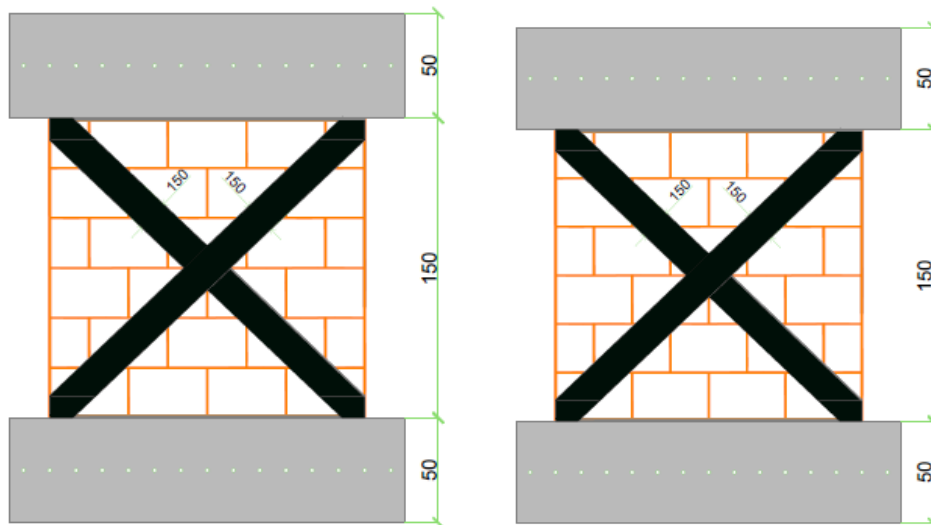


Fig. 4.21. Elemente zidărie consolidate cu țesătură din fibră de carbon – URM2, URM3 – vedere față – spate

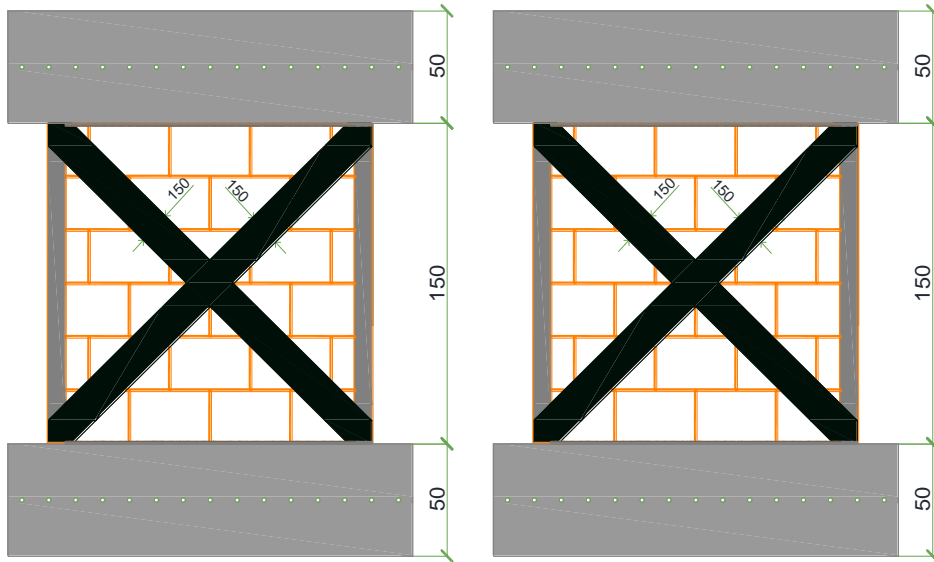


Fig. 4.22. Elemente zidărie consolidate cu țesătură din fibră de carbon – RM1, RM1', RM1'' – vedere față – spate

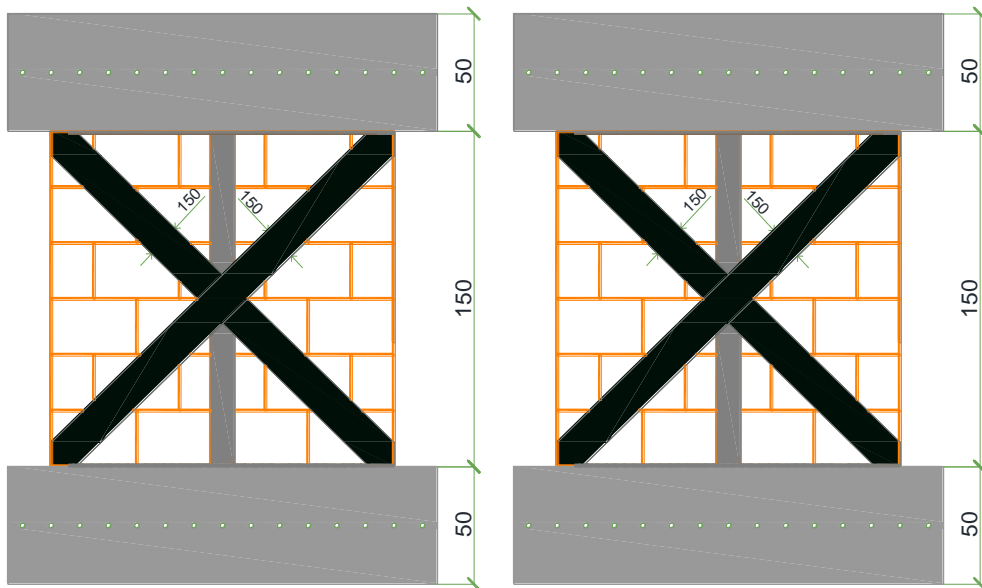


Fig. 4.23. Elemente zidărie consolidate cu țesătură din fibră de carbon – RM2, RM2', RM2'' – vedere față – spate

Încercările elementelor s-au realizat după o altă perioadă de 24-48 ore, timp în care s-a asigurat temperatură de peste  $+5^{\circ}\text{C}$  în interiorul Laboratorului de Construcții Civile, unde s-au realizat încercările experimentale.

Elementele puse în operă se pot vedea în Fig. 4.24.





Fig. 4.24. Elemente zidărie consolidate cu țesătură din fibră de carbon – montate în standul experimental

#### 4.5. Protocol încărcări

Testarea celor 9 pereți din zidărie s-a realizat prin supunerea acestora la o încărcare constantă verticală și la încărcări ciclice orizontale. Încărcările aplicate au fost în planul pereților, cu scopul de a determina capacitatea pereților la tăiere.

Pentru aplicarea încărcării ciclice s-a folosit un piston care are capacitatea de a realiza mișcări ciclice, iar ciclurile s-au realizat conform protocolului din Fig. 4.25.

Acest protocol s-a stabilit după realizarea unor modelări numerice pe acest tip de element, de unde s-a stabilit o deplasare maximă așteptată, apoi determinându-se pasul de încărcare, ținând cont de înălțimea elementului experimental.

Astfel încercările s-au realizat controlând deplasarea peretelui pe orizontală și înregistrând forțele maxime la fiecare ciclu. S-a pornit de la o deplasare de 0,25 mm, s-au realizat un număr de trei cicluri pentru fiecare deplasare și s-a trecut la următorul ciclu, crescând deplasarea cu 0,25 mm.

Încărcarea verticală a fost stabilită printr-un calcul simplificat, luând în calcul că peretele nostru ar face parte dintr-o structură cu 4 niveluri, fiind situat la parterul acesteia. Altfel calculând toate încărcările aduse se planșee și de greutatea proprie a peretelui s-a ajuns la o forță de 150 kN. Numărul de niveluri al clădirii s-a stabilit conform normativului actual P100-2013, unde zidăria cu goluri verticale de acest tip, poate fi folosită la clădiri cu P+2 și în anumite condiții cu mansardă.

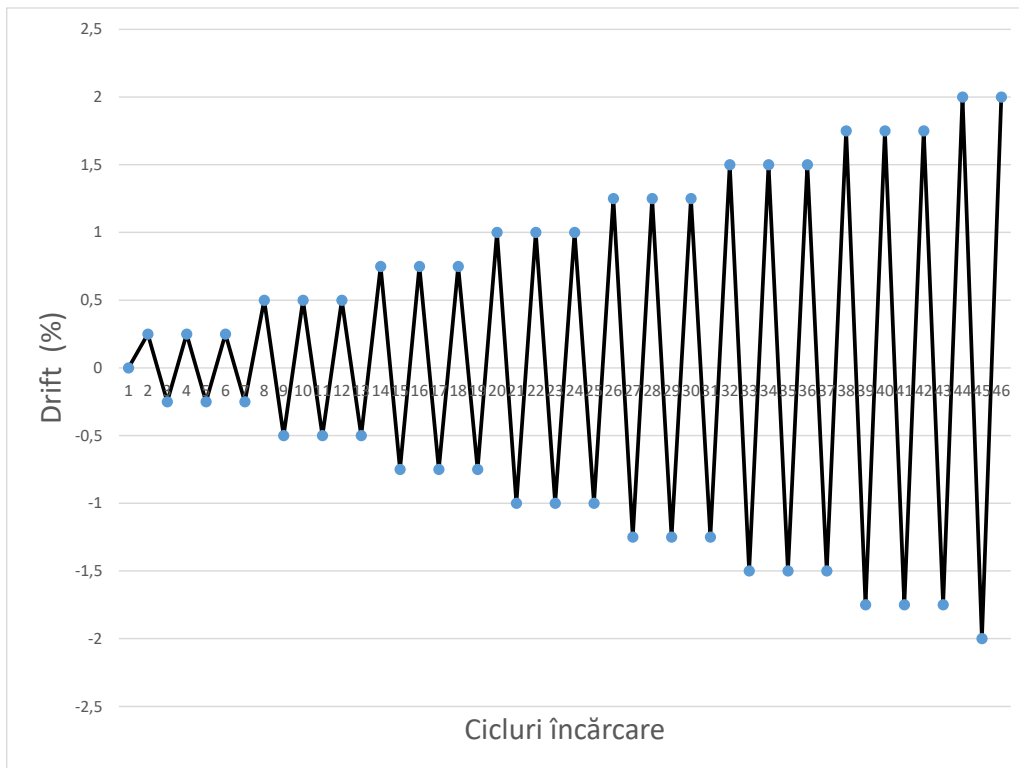


Fig. 4.25. Protocol încărcări ciclice orizontale

#### 4.6. Măsurători efectuate

În timpul încercărilor au fost realizate o serie de măsurători. Măsurătorile au fost realizate cu ajutorul unor captori de deplasare și de presiune.

Captorii de presiune au înregistrat pe de o parte forța verticală, care a trebuit menținută constantă pe toată durata încercărilor și de pe altă parte au înregistrat forțele orizontale obținute la fiecare ciclu de încărcare. Acestea se vor putea observa la capitolul de rezultate, în graficele prelucrate.

Captorii de deplasare, au fost montați în mai multe puncte:

- în lateralul pereților stânga/dreapta, la partea superioară, la mijloc și la partea inferioară;
- pe cadrul metalic, la partea superioară, pentru a înregistra eventuale deplasări verticale;
- pe cadrul metalic în afara planului, pentru a înregistra și a asigura că pe timpul încercărilor, peretele nu iese din planul lui, fapt care ar duce la invalidarea rezultatelor obținute.

Instrumentarea folosită și poziția montării captorilor se observă în Fig. 4.26.

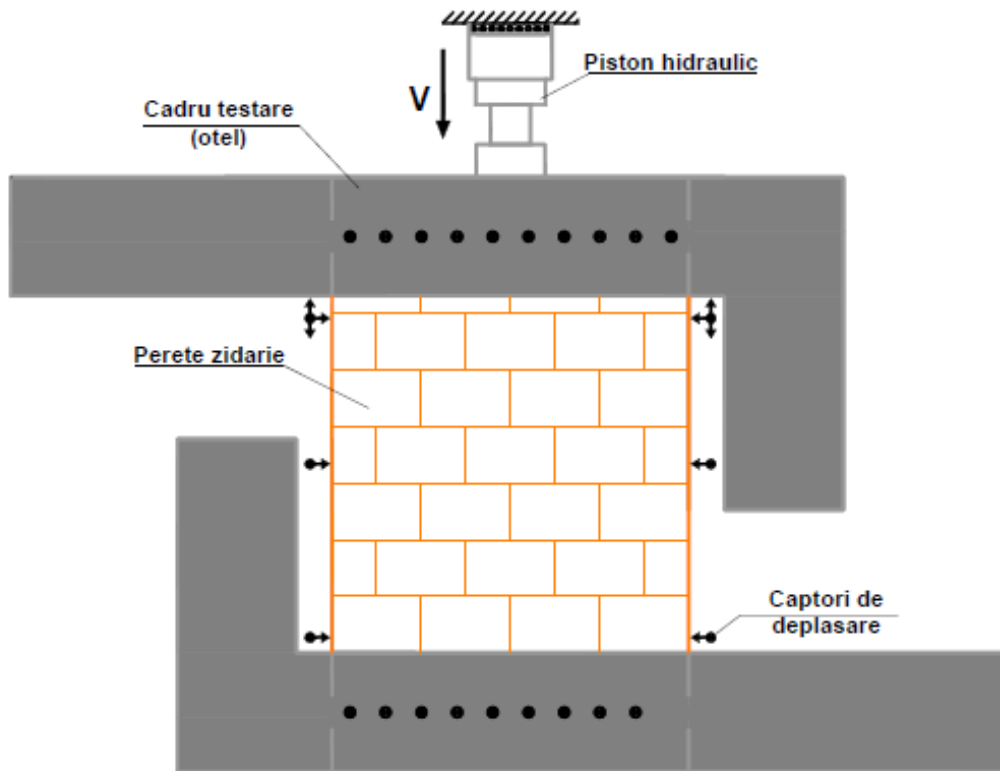


Fig. 4.26. Instrumentare încercări

Controlul, aplicarea încărcărilor și înregistrarea datelor s-a înregistrat cu ajutorul a două sisteme de date: Walter-Bai PCS 8000 și Almemo 5990-0, cum se pot observa în Fig. 4.27. și Fig. 4.28. [112], [96]

Montarea captorilor s-a făcut pe cadre metalice independente de structura cadrului de încercare, pentru obținerea unor măsurători cât mai corecte și pentru evitarea erorilor apărute printr-o eventuală deplasare a standului împreună cu captorii de deplasare.



Fig. 4.27. Sistem de achiziții date PCS 8000-Walter Bai [112]



Fig. 4.28. Sistem achiziții date Almemo 5990-0-Ahlborn [96]

Sistemele au folosit captorii de deplasare compatibili, de mare precizie, prezentați în Fig. 4.29. și Fig. 4.30. Aceștia au fost montați pe standul experimental cum se prezintă în Fig. 4.24.



Fig. 4.29. Captori de deplasare HBM [97]

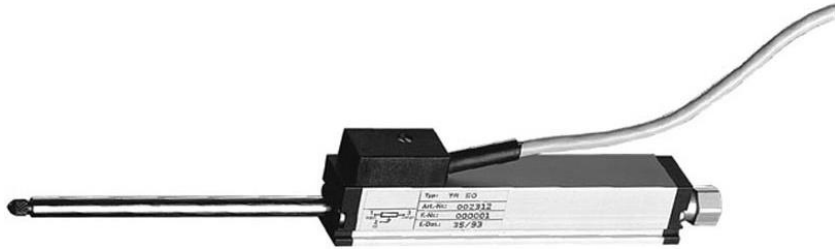


Fig. 4.30. Captori de deplasare Ahlborn [96]

Rezultatele s-au înregistrat în două sisteme diferite, pe două calculatoare diferite, datorită dotării laboratorului cu doar doi captori de deplasare compatibili cu sistemul Walter-Bai, în care s-au înregistrat și forțele în timpul încercării.



## 5. REZULTATE

### 5.1. Date generale

În cadrul programului experimental au fost testate 9 elemente în stare inițială, apoi s-a realizat consolidarea acestora și s-au realizat noi teste, în total fiind realizate 18 teste, pe pereții din zidărie.

Conform celor prezentate în capitolul anterior, pereții au fost realizați astfel: zidărie nearmată – 3 elemente identice, zidărie confinată cu stâlpișori laterali – 3 elemente identice și zidărie confinată cu stâlpișor central – 3 elemente identice.

Încercările pereților din zidărie, realizați utilizând blocuri ceramice cu goluri verticale, au ca scop determinarea comportării acestui tip de element, la încărcări orizontale. Necesitatea cunoașterii cât mai bune a acestui tip de bloc ceramic este datorată folosirii foarte frecvente în ultima perioadă, în special la realizarea clădirilor rezidențiale, de până la 4-5 niveluri, în funcție de zona seismică.

După testare, pereții au fost consolidați utilizând materiale compozite polimerice și au fost retestați. Scopul a fost evaluarea capacității materialelor polimerice de a reda capacitatea inițială a peretelui inițial sau în cazul în care acest lucru nu este posibil, determinarea procentului din capacitatea inițială, obținut prin consolidare.

La finalul încercărilor s-au evaluat și aspectele legate de montaj și costuri, față de sistemele clasice de consolidare. Se prezintă o analiză economică comparativă în acest sens.

În continuare se vor prezenta separat cele 18 încercări experimentale, urmând ca la finalul capitolului să fie realizată o comparație între elemente și o sinteză a concluziilor. Pentru fiecare element testat, se vor prezenta, pe lângă imagini reprezentative cu avariile elementelor, graficele forță-deplasare, ciclice și înfășurătoare.

#### 5.1.1. Procesarea datelor

Pentru a putea determina performanța elementelor experimentale au fost realizate: grafice forță-deplasare ciclice, grafice forță-deplasare înfășurătoare, analiza disipării energiei totale și analiza rigidității inițiale.

Procesarea datelor din încercările experimentale a început cu realizarea curbelor ciclice, conform curbei teoretice din Fig. 5.1.

Fiecare ciclu este alcătuit din ramuri de încărcare și descărcare, atât în direcția pozitivă, cât și în cea negativă. În continuare curbele ciclice pentru fiecare element se prezintă în subcapitolul corespunzător fiecărui element testat.

A doua etapă în procesarea datelor o constituie realizarea curbelor înfășurătoare forță-deplasare. Acestea redau punctele principale de pe curbele ciclice, de forță și deplasare maxime de la mai multe cicluri consecutive. Fig. 5.2.

Aceste grafice se prezintă de asemenea pentru fiecare element la subcapitolele care prezintă rezultatele programului experimental.

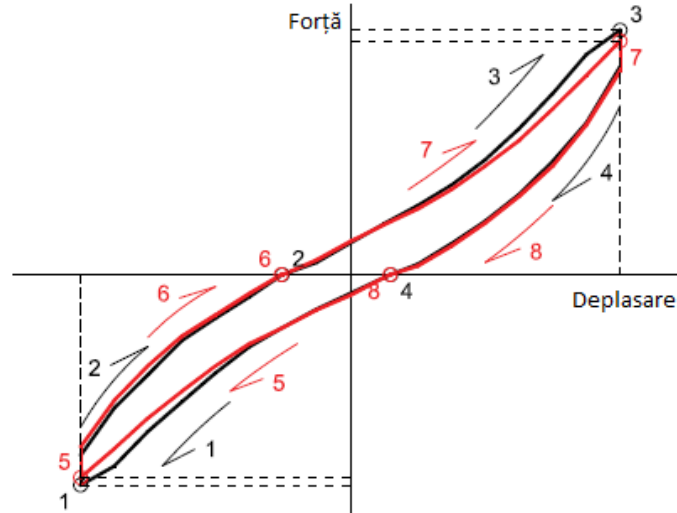


Fig. 5.1. Curbă forță-deplasare – puncte încărcare-descărcare [109]



Fig. 5.2. Mod realizare curbă forță-deplasare înfășurătoare [109]

## 5.2. Încercări experimentale elemente în stare inițială

### 5.2.1. Încercări elemente zidărie nearmată URM1, URM2 și URM3

Pereții de tip URM (unreinforced masonry – zidărie nearmată) au fost primii testați. Încercările au fost realizate cu o încărcare verticală constantă de 150 kN. Încărcările orizontale s-au aplicat în control de deplasare, cu pași de 0,25 mm, măsurând forțele obținute. S-au realizat 3 cicluri pentru fiecare pas de 0,25 mm, apoi s-a trecut la pasul următor crescând deplasarea. Încercarea s-a oprit în momentul în care la mai multe cicluri încărcarea orizontală s-a oprit din creștere sau chiar a scăzut. În imaginile de mai jos se observă avariile pereților din zidărie nearmată: elementul URM1 în Fig. 5.3., elementul URM2 în Fig. 5.4. și elementul URM3 în Fig. 5.5. [98], [99], [100]



Fig. 5.3. Avarii ale elementului URM1 – zidărie nearmată

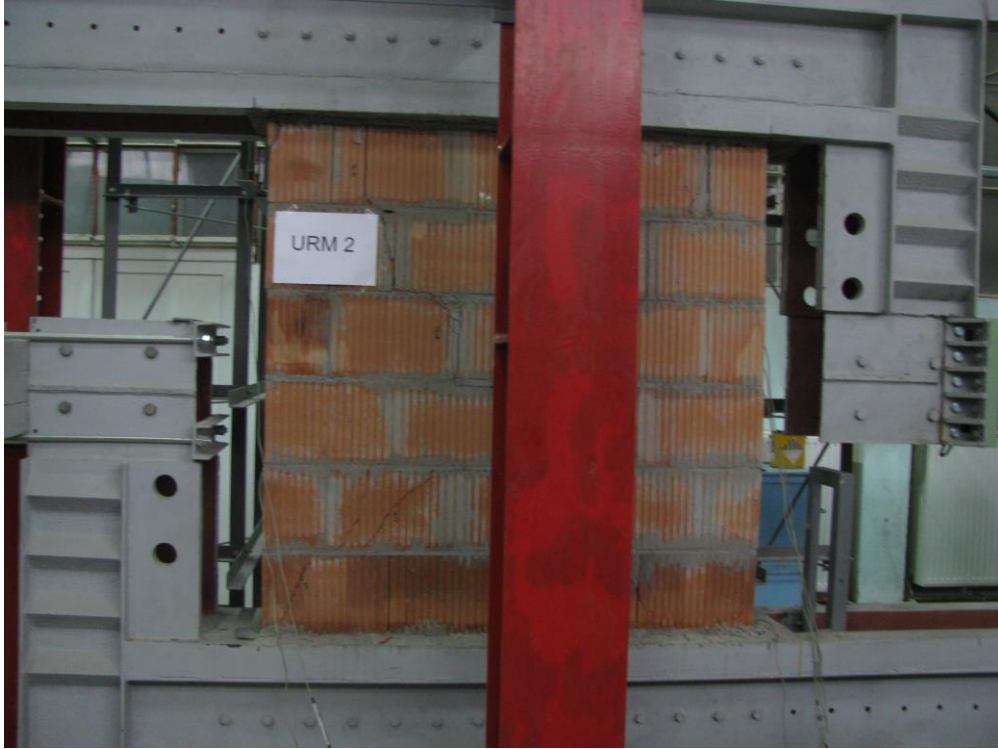




Fig. 5.4. Avarii ale elementului URM2 – zidărie nearmată





Fig. 5.5. Avarii ale elementului URM3 – zidărie nearmată

În urma încercărilor, s-au prelucrat datele înregistrate și s-au obținut graficele Forță [kN] – Deplasare [mm], unde forța se referă la forța orizontală ciclică din timpul încercărilor, iar deplasarea este diferența între deplasarea de la partea superioară a peretelui și cea de la partea inferioară (care teoretic este fixă, practic au apărut mici deplasări). Fig. 5.6., Fig. 5.7. și Fig. 5.8.

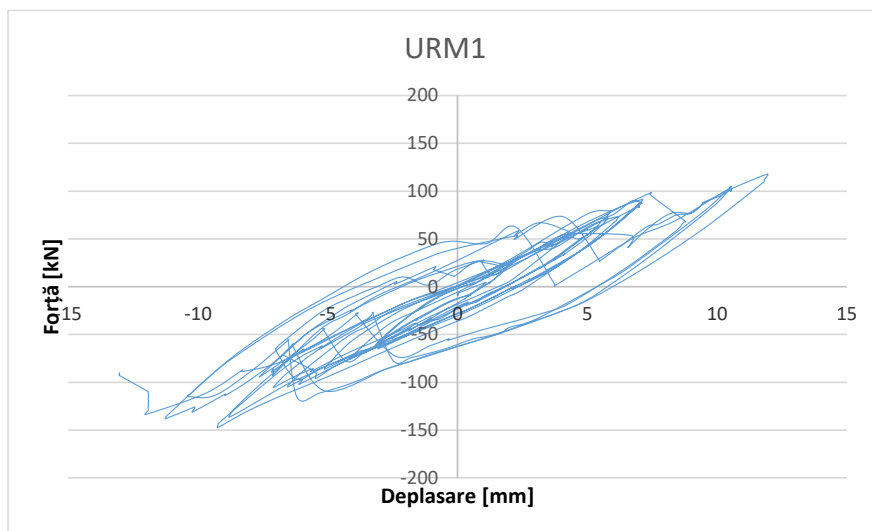


Fig. 5.6. Grafic forță-deplasare – URM1

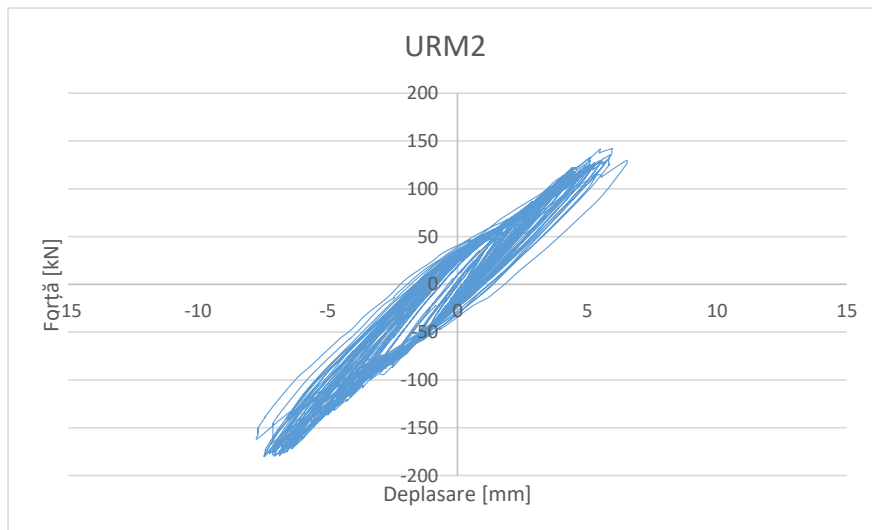


Fig. 5.7. Grafic forță-deplasare – URM2

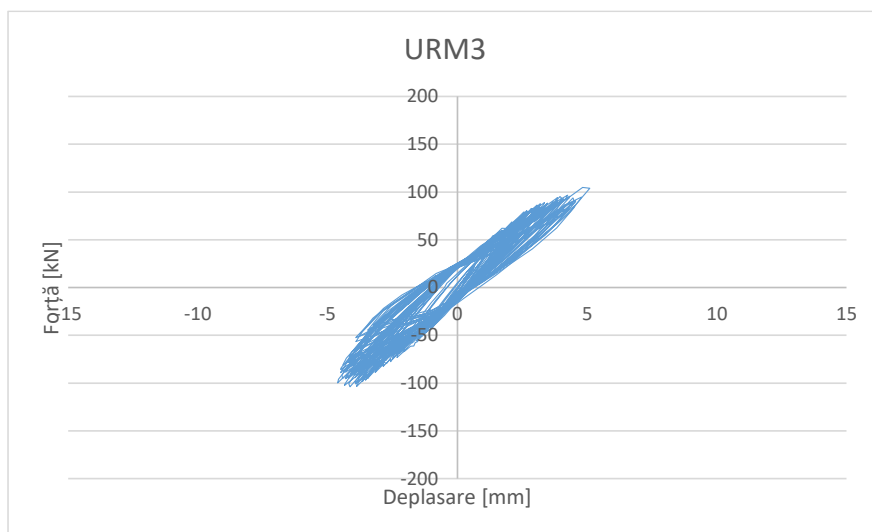


Fig. 5.8. Grafic forță-deplasare – URM3

Pentru compararea datelor de la pereții din zidărie nearmată cu elementele din zidărie confinată sau cu pereții consolidați, s-au realizat graficele înfășurătoare ale celor trei elemente, a căror medie se va lua în comparațiile realizate și la concluziile finale. Fig. 5.9., Fig. 5.10. și Fig. 5.11.

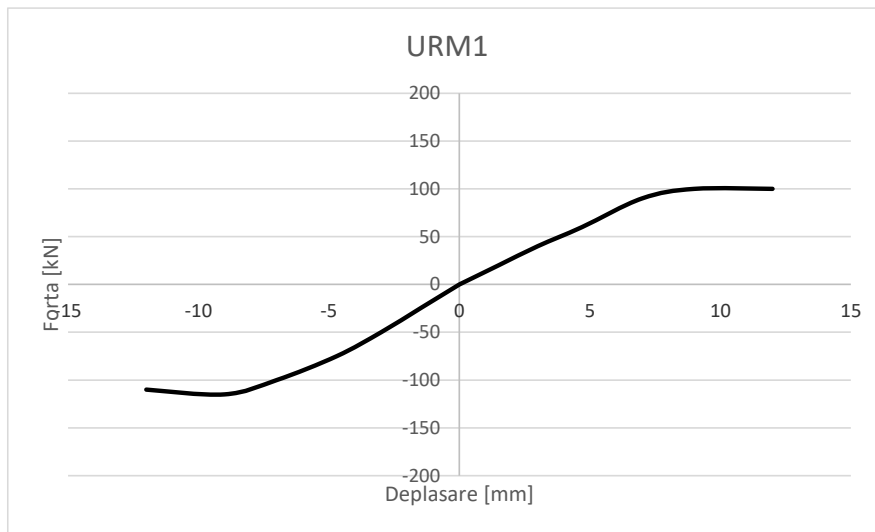


Fig. 5.9. Înfășurătoare forță-deplasare – URM1

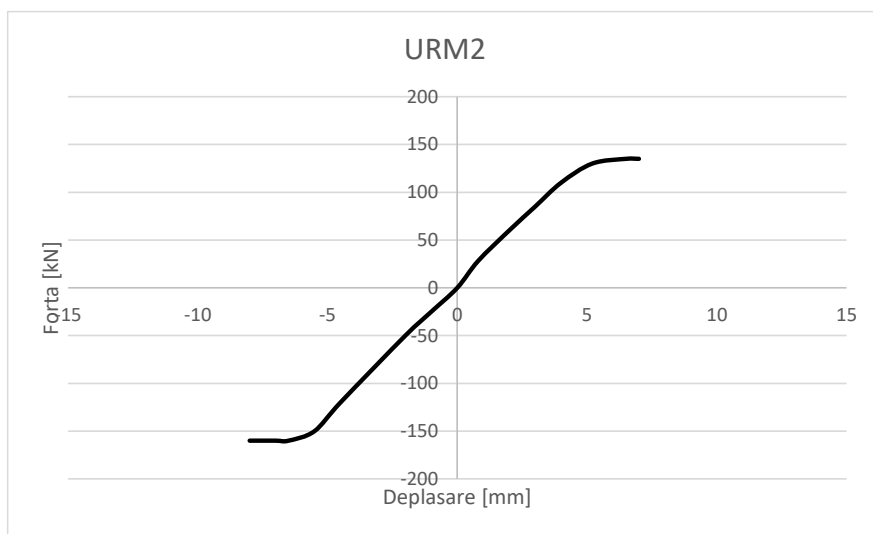


Fig. 5.10. Înfășurătoare forță-deplasare – URM2



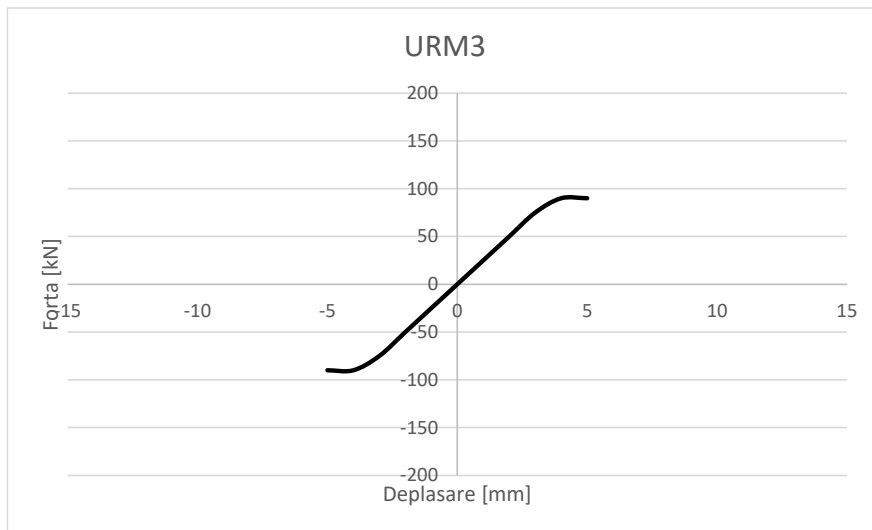


Fig. 5.11. Înfășurătoare forță-deplasare – URM3

### 5.2.2. Încercări elemente zidărie confinată cu stâlpișori laterali RM1, RM1' și RM1''

Pereții de tip RM1 (reinforced masonry – zidărie armată/confinată) au fost testați în etapa a doua a programului experimental. Încercările au fost realizate cu o încărcare verticală constantă de 150 kN. Încercările orizontale s-au aplicat în control de deplasare, cu pași de 0,25 mm, măsurând forțele obținute. S-au realizat 3 cicluri pentru fiecare pas de 0,25 mm, apoi s-a trecut la pasul următor crescând deplasarea. Încercarea s-a oprit în momentul în care, la mai multe cicluri încărcarea orizontală s-a oprit din creștere sau chiar a scăzut. În imaginile de mai jos se observă avariile pereților din zidărie confinată cu stâlpișori laterali: elementul RM1 în Fig. 5.12., elementul RM1' în Fig. 5.13. și elementul RM1'' în Fig. 5.14. [98], [99], [100]





Fig. 5.12. Avarii ale elementului RM1 – zidărie confinată cu stâlpișori laterali



Fig. 5.13. Avarii ale elementului RM1' – zidărie confinată cu stâlpișori laterali



Fig. 5.14. Avarii ale elementului RM1" – zidărie confinată cu stâlpișori laterali

În urma încercărilor, s-au prelucrat datele înregistrate și s-au obținut graficele Forță [kN] – Deplasare [mm], unde forța se referă la forța orizontală ciclică din timpul încercărilor, iar deplasarea este diferența între deplasarea de la partea superioară a peretelui și cea de la partea inferioară. Fig. 5.15., Fig. 5.16. și Fig. 5.17.

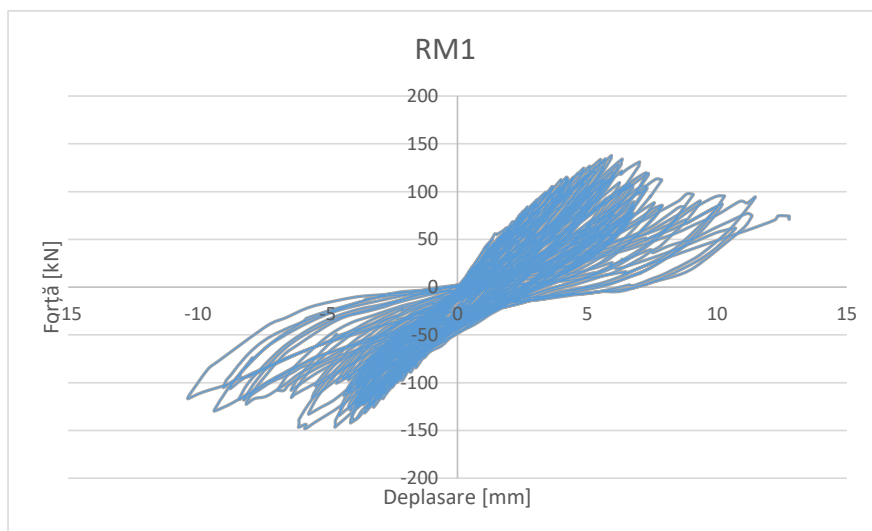


Fig. 5.15. Grafic forță-deplasare – RM1

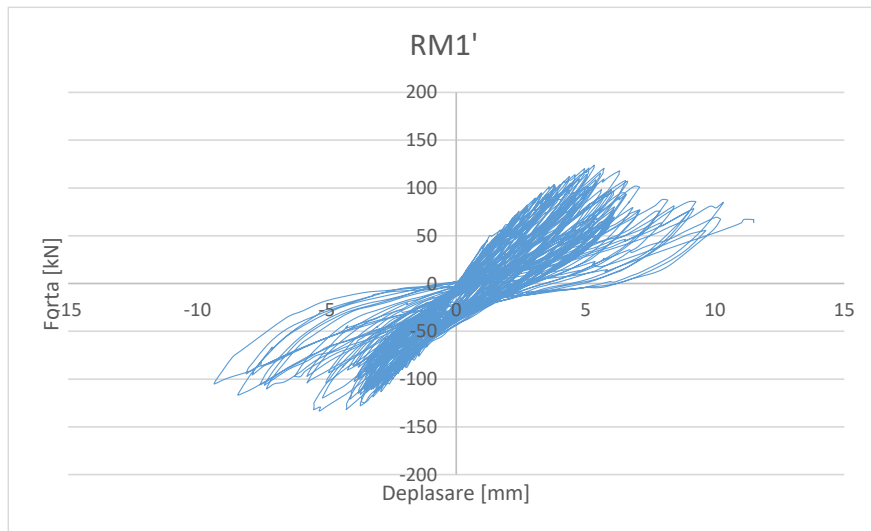


Fig. 5.16. Grafic forță-deplasare – RM1'

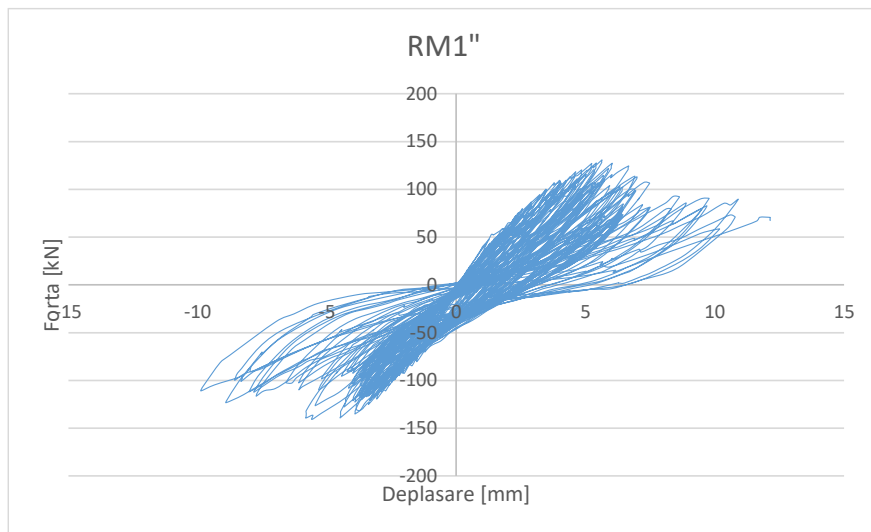


Fig. 5.17. Grafic forță-deplasare – RM1''

Pentru compararea datelor de la pereții din zidărie confinată cu alte elementele din zidărie nearmată sau confinată sau cu pereții consolidați, s-au realizat graficele înfășurătoare ale celor trei elemente, a căror medie se va lua în comparațiile realizate și la concluziile finale. Fig. 5.18., Fig. 5.19. și Fig. 5.20.

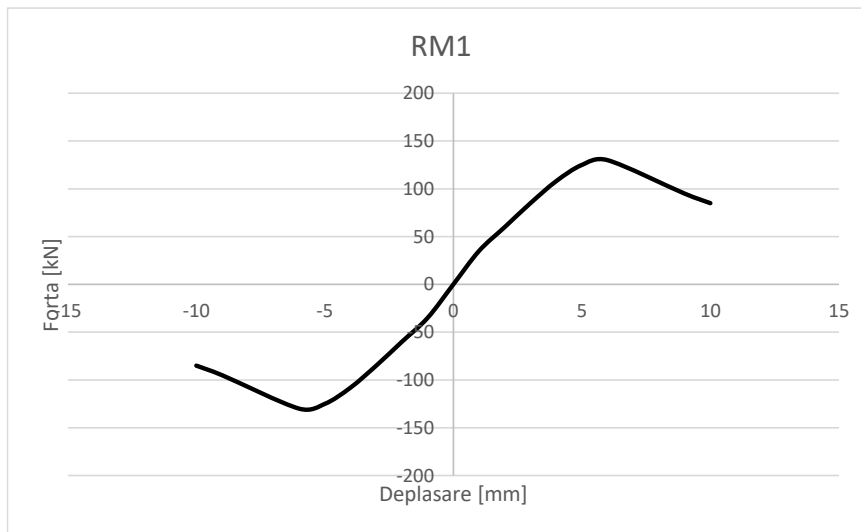


Fig. 5.18. Înfășurătoare forță-deplasare – RM1

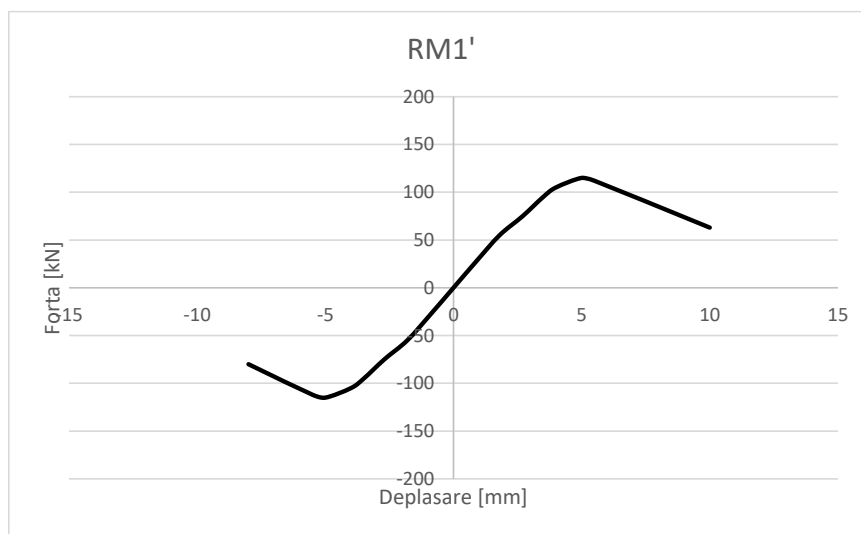


Fig. 5.19. Înfășurătoare forță-deplasare – RM1'

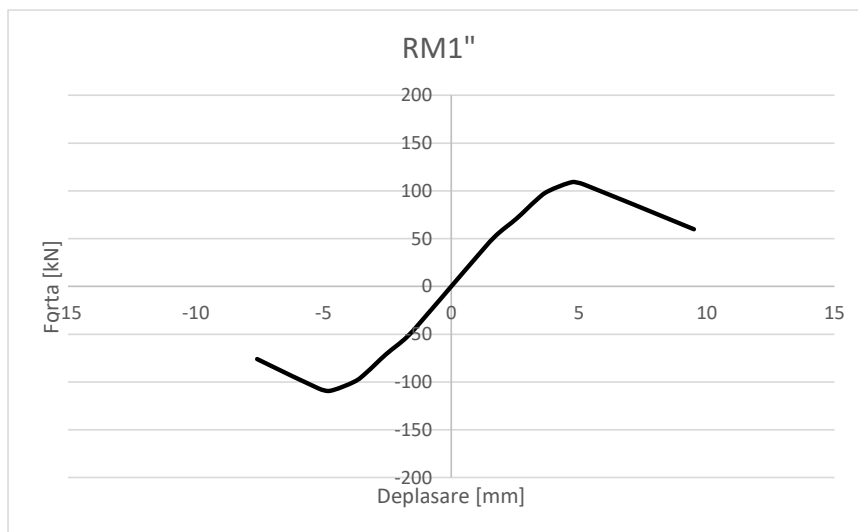


Fig. 5.20. Înfașurătoare forță-deplasare – RM1''

### 5.2.3. Încercări elemente zidărie confinată cu stâlpișor central RM2, RM2' și RM2''

Pereții de tip RM2 (reinforced masonry – zidărie armată/confinată) au fost testați în etapa a treia a programului experimental. Încercările au fost realizate cu o încărcare verticală constantă de 150 kN. Încărcările orizontale s-au aplicat în control de deplasare, cu pași de 0,25 mm, măsurând forțele obținute. S-au realizat 3 cicluri pentru fiecare pas de 0,25 mm, apoi s-a trecut la pasul următor crescând deplasarea. Încercarea s-a oprit în momentul în care, la mai multe cicluri încărcarea orizontală s-a oprit din creștere sau chiar a scăzut. În imaginile de mai jos se observă avariile pereților din zidărie confinată cu stâlpișori laterali: elementul RM2 în Fig. 5.21., elementul RM2' în Fig. 5.22. și elementul RM2'' în Fig. 5.23. [98], [99], [100]





Fig. 5.21. Avarii ale elementului RM2 – zidărie confinată cu stâlpișor central





Fig. 5.22. Avarii ale elementului RM2' – zidărie confinată cu stâlpișor central



Fig. 5.23. Avarii ale elementului RM2'' – zidărie confinată cu stâlpișor central

În urma încercărilor, s-au prelucrat datele înregistrate și s-au obținut graficele Forță [kN] – Deplasare [mm], unde forța se referă la forța orizontală ciclică din timpul încercărilor, iar deplasarea este diferența între deplasarea de la partea superioară a peretelui și cea de la partea inferioară Fig. 5.24., Fig. 5.25. și Fig. 5.26.

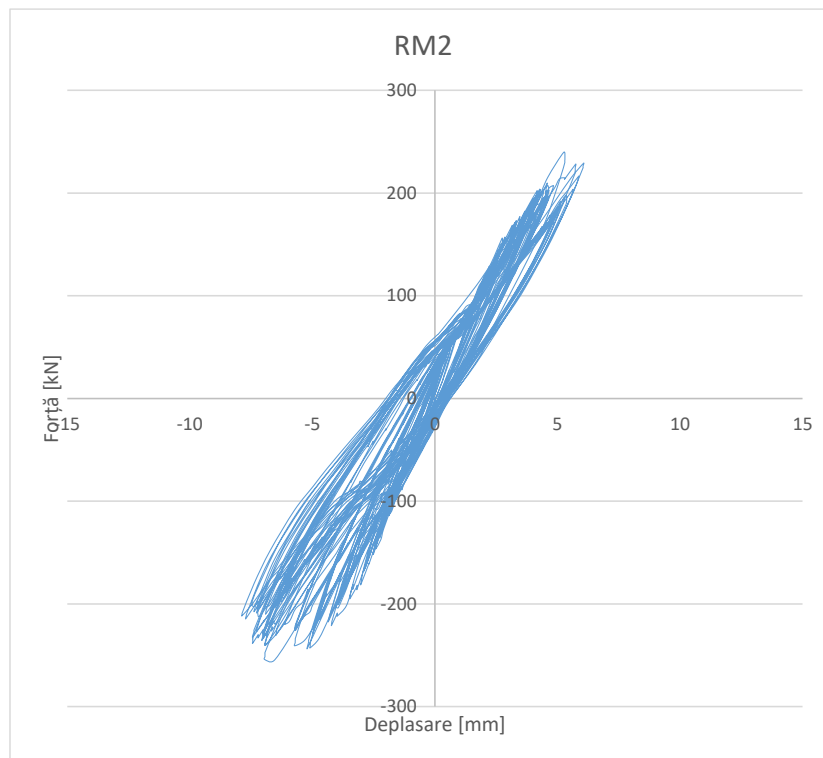


Fig. 5.24. Grafic forță-deplasare – RM2

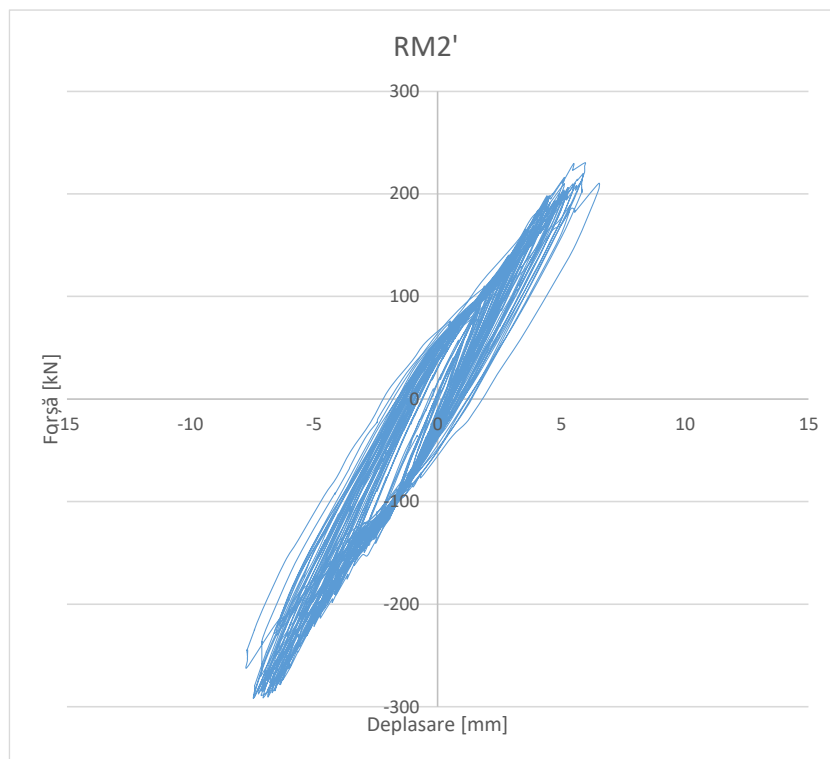


Fig. 5.25. Grafic forță-deplasare – RM2'

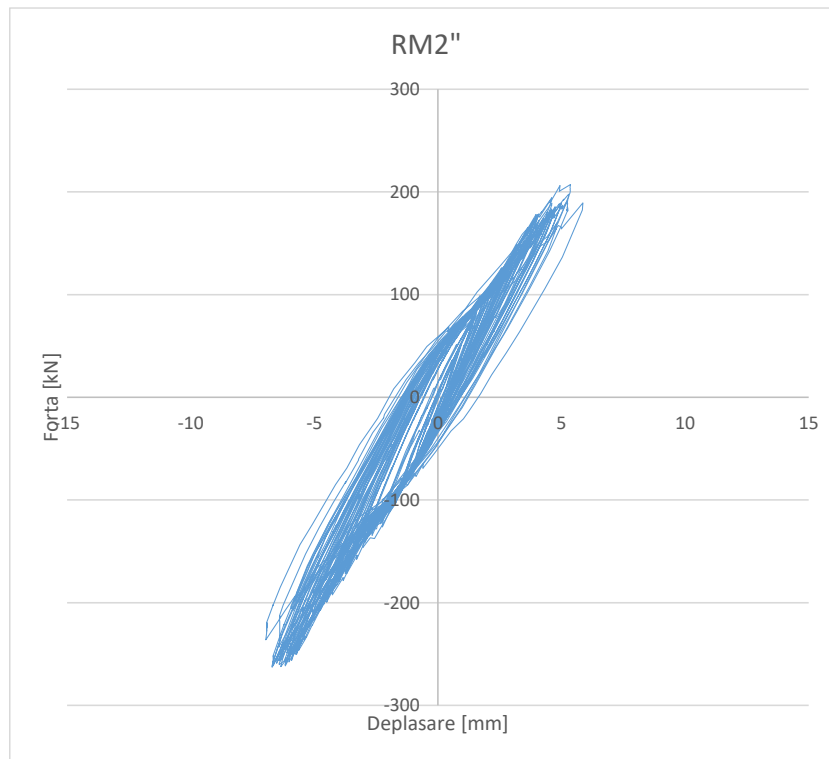


Fig. 5.26. Grafic forță-deplasare - RM2''

Pentru compararea datelor de la pereții din zidărie confinată cu stâlpișor central cu elementele din zidărie confinată sau nearmată sau cu pereții consolidați, s-au realizat graficele înfășurătoare ale celor trei elemente, a căror medie se va lua în comparațiile realizate și la concluziile finale. Fig. 5.27., Fig. 5.28. și Fig. 5.29.

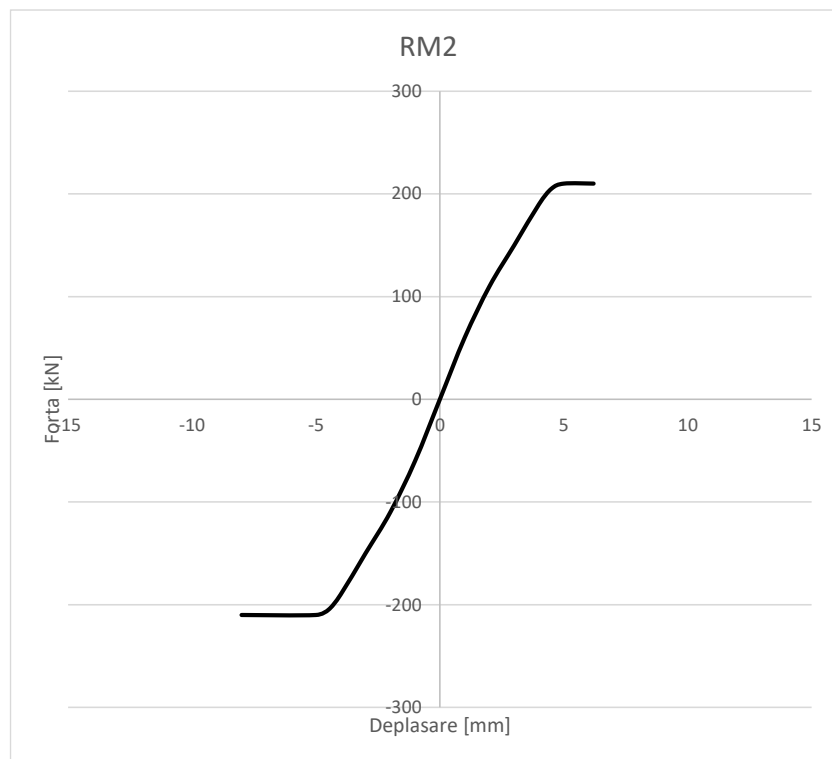


Fig. 5.27. Înfășurătoare forță-deplasare – RM2

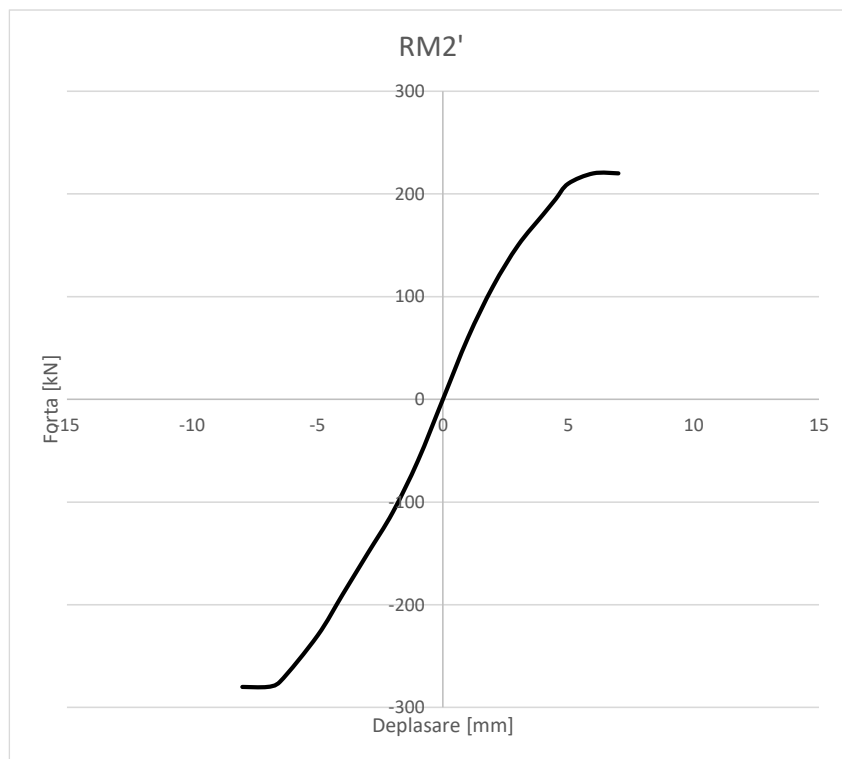


Fig. 5.28. Înfașurătoare forță-deplasare – RM2'

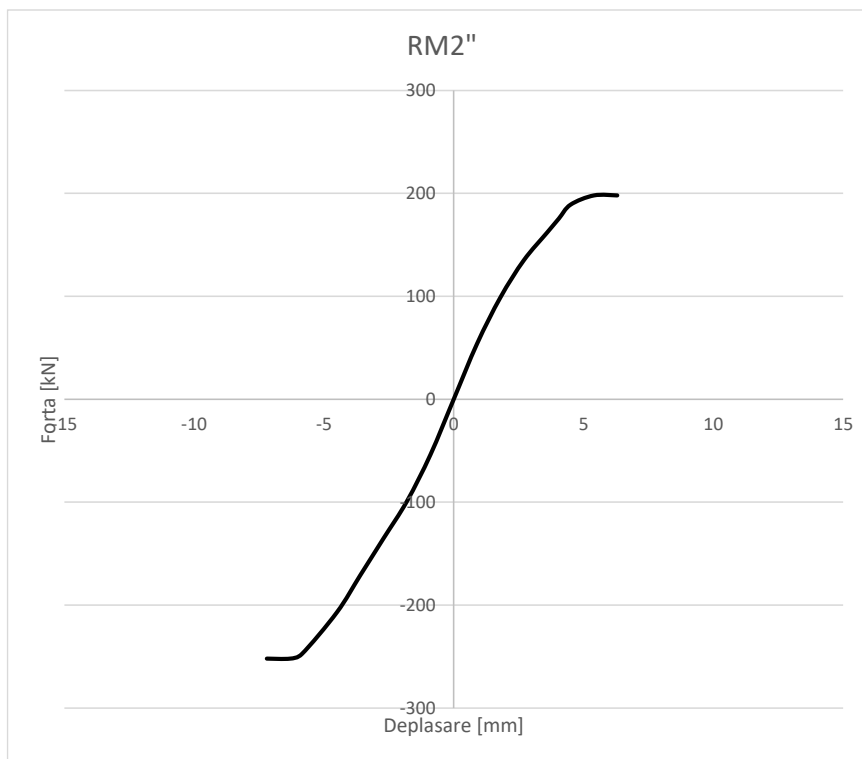


Fig. 5.29. Înfășurătoare forță-deplasare – RM2"

### 5.3. Încercări experimentale elemente consolidate

#### 5.3.1. Încercări elemente zidărie nearmată consolidate URM1-C, URM2-C și URM3-C

Pereții de tip URM (unreinforced masonry – zidărie nearmată) au fost primii consolidați. Consolidarea s-a efectuat la fiecare element, imediat după testarea elementului în stare inițială, lăsând pereții montați în standul experimental. S-a demontat doar partea de captori de deplasare, pentru a nu fi avariați în timpul consolidărilor.

Încercările au fost realizate cu o încărcare verticală constantă de 150 kN. Încărcările orizontale s-au aplicat în control de deplasare, cu pași de 0,25 mm, măsurând forțele obținute.

S-au realizat 3 cicluri pentru fiecare pas de 0,25 mm, apoi s-a trecut la pasul următor crescând deplasarea. Încercarea s-a oprit în momentul în care, la mai multe cicluri încărcarea orizontală s-a oprit din creștere sau chiar a scăzut.

În imaginile de mai jos se observă avariile pereților din zidărie nearmată consolidați: elementul URM1-C în Fig. 5.30., elementul URM2-C în Fig. 5.31. și elementul URM3-C în Fig. 5.32. [101], [102], [103]







Fig. 5.30. Avarii ale elementului URM1-C – zidărie nearmată consolidată





Fig. 5.31. Avarii ale elementului URM2-C – zidărie nearmată consolidată





Fig. 5.32. Avarii ale elementului URM3-C – zidărie nearmată consolidată

În urma încercărilor, s-au prelucrat datele înregistrate și s-au obținut graficele Forță [kN] – Deplasare [mm], unde forța se referă la forța orizontală ciclică din timpul încercărilor, iar deplasarea este diferența între deplasarea de la partea superioară a peretelui și cea de la partea inferioară. Fig. 5.33., Fig. 5.34. și Fig. 5.35.

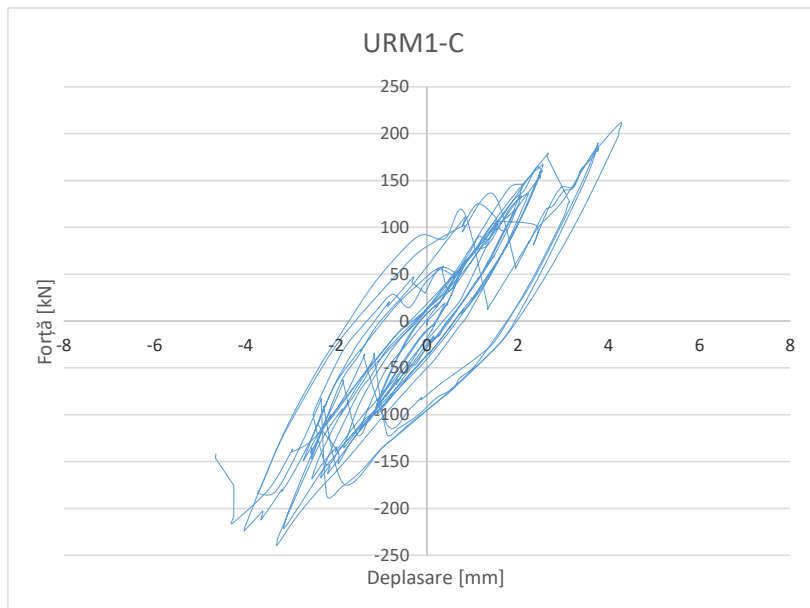


Fig. 5.33. Grafic forță-deplasare – URM1-C

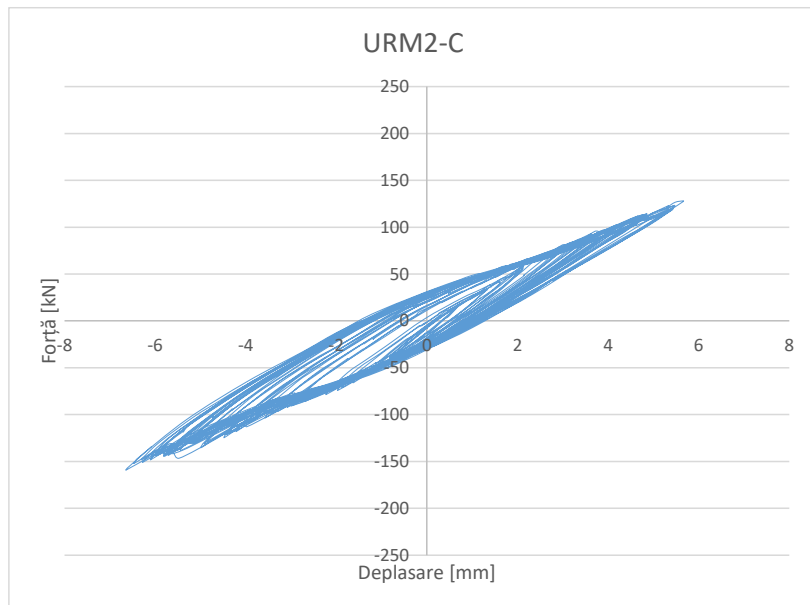


Fig. 5.34. Grafic forță-deplasare – URM2-C

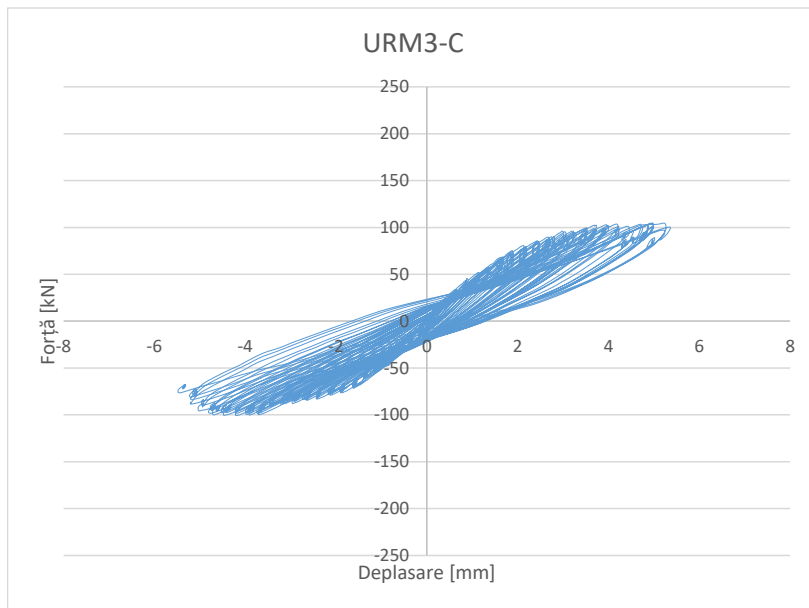


Fig. 5.35. Grafic forță-deplasare – URM3-C

Pentru compararea datelor de la pereții din zidărie nearmată consolidată cu elementele din zidărie confinată sau cu pereții consolidați, s-au realizat graficele înfășurătoare ale celor trei elemente, a căror medie se va lua în comparațiile realizate și la concluziile finale. Fig. 5.36., Fig. 5.37. și Fig. 5.38.

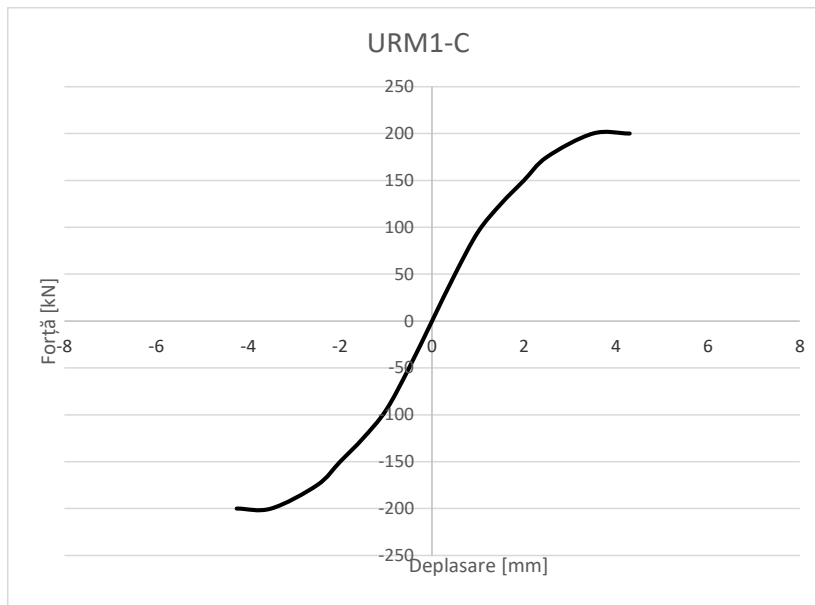


Fig. 5.36. Înfășurătoare forță-deplasare – URM1-C

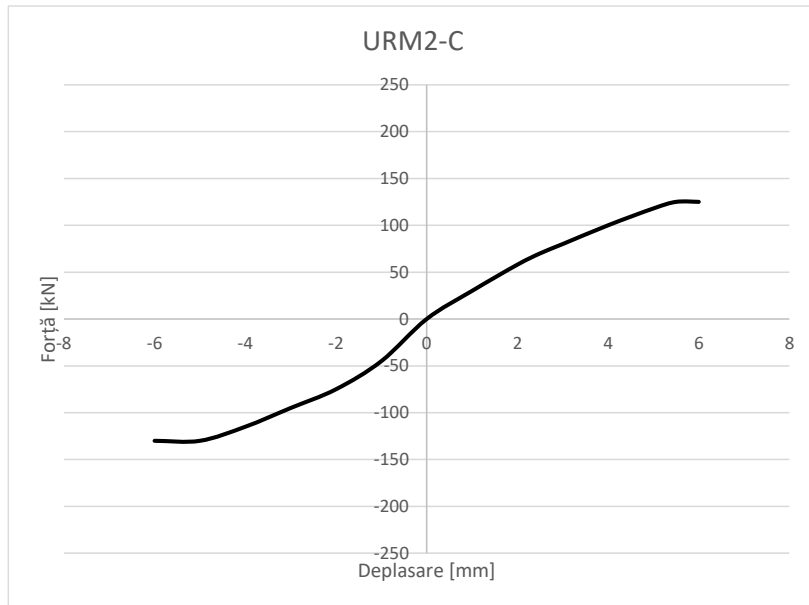


Fig. 5.37. Înfașurătoare forță-deplasare – URM2-C

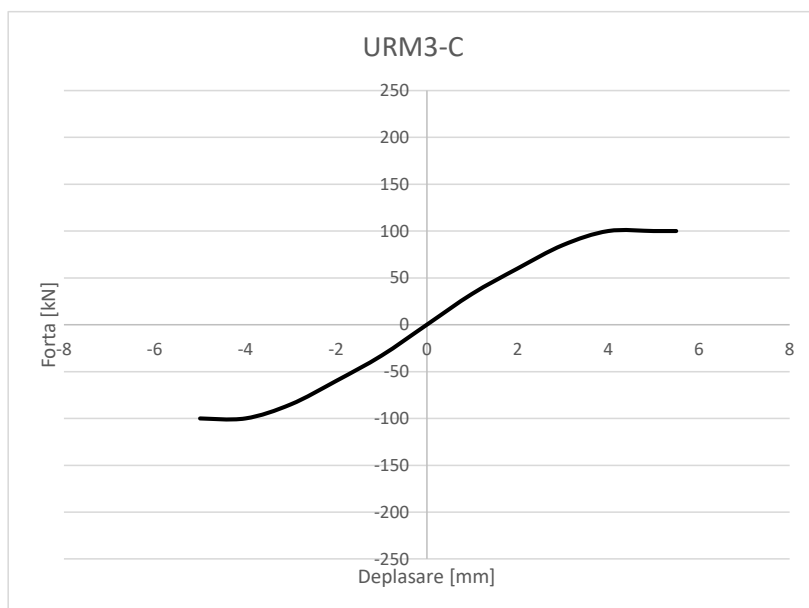


Fig. 5.38. Înfașurătoare forță-deplasare – URM3-C

### 5.3.2. Încercări elemente zidărie confinată cu stâlpișori laterali consolidați RM1-C, RM1'-C și RM1''-C

Pereții de tip RM (reinforced masonry – zidărie armată/confinată) au fost consolidați în etapa a doua. Consolidarea s-a efectuat la fiecare element, imediat după testarea elementului în stare inițială, lăsând pereții montați în standul experimental. S-a demontat doar partea de captori de deplasare, pentru a nu fi avariați în timpul consolidărilor.

Încercările au fost realizate cu o încărcare verticală constantă de 150 kN. Încărcările orizontale s-au aplicat în control de deplasare, cu pași de 0,25 mm, măsurând forțele obținute. S-au realizat 3 cicluri pentru fiecare pas de 0,25 mm, apoi s-a trecut la pasul următor crescând deplasarea. Încercarea s-a oprit în momentul în care, la mai multe cicluri încărcarea orizontală s-a oprit din creștere sau chiar a scăzut. În imaginile de mai jos se observă avariile pereților din zidărie nearmată consolidați: elementul RM1-C în Fig. 5.39., elementul RM1'-C în Fig. 5.40. și elementul RM1''-C în Fig. 5.41. [101], [102], [103]







Fig. 5.39. Avarii ale elementului RM1-C – zidărie confinată cu stâlpișori laterali consolidată





Fig. 5.40. Avarii ale elementului RM1'-C – zidărie confinată cu stâlpișori laterali consolidată



Fig. 5.41. Avarii ale elementului RM1''-C – zidărie confinată cu stâlpișori laterali consolidată

În urma încercărilor, s-au prelucrat datele înregistrate și s-au obținut graficele Forță [kN] – Deplasare [mm], unde forța se referă la forța orizontală ciclică din timpul încercărilor, iar deplasarea este diferența între deplasarea de la partea superioară a peretelui și cea de la partea inferioară. Fig. 5.42., Fig. 5.43. și Fig. 5.44.

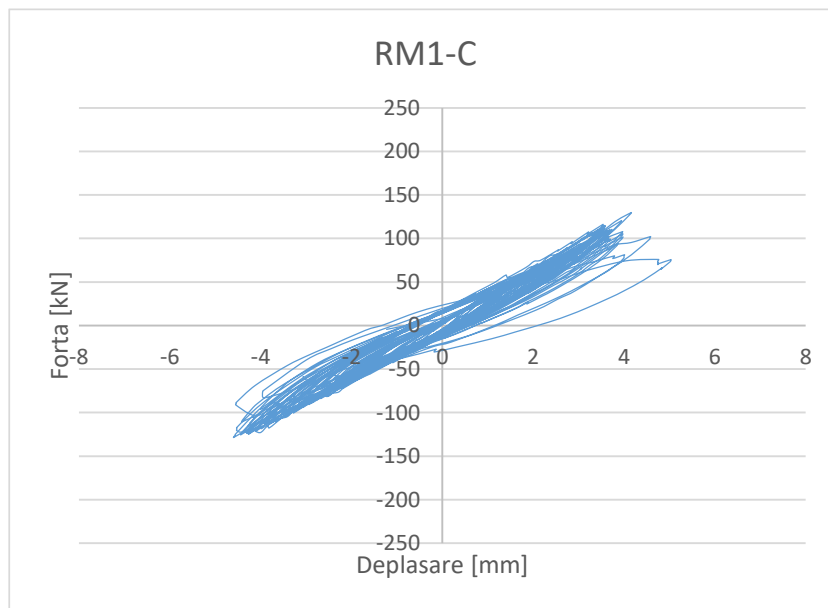


Fig. 5.42. Grafic forță-deplasare – RM1-C

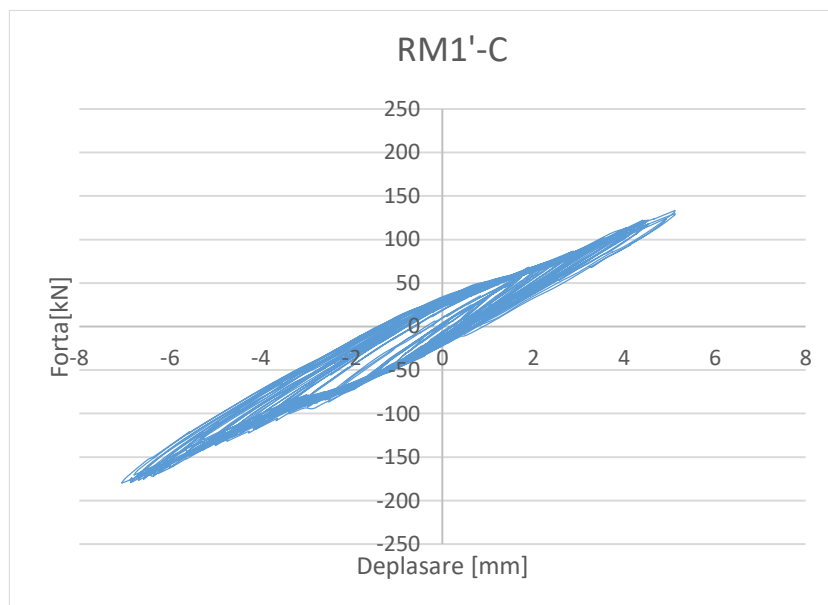


Fig. 5.43. Grafic forță-deplasare – RM1'-C

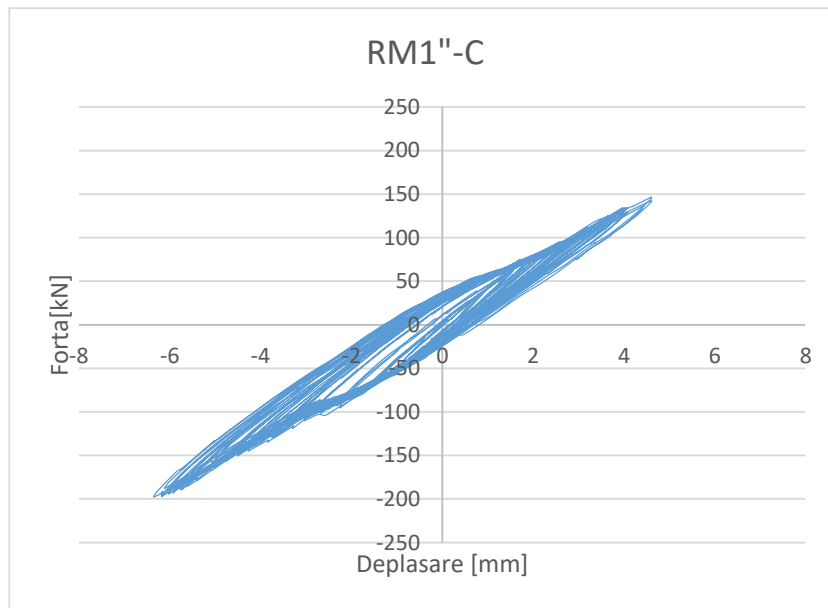


Fig. 5.44. Grafic forță-deplasare – RM1''-C

Pentru compararea datelor de la pereții din zidărie confinată consolidată cu elementele din zidărie nearmată/confinată sau cu pereții consolidați, s-au realizat graficele înfășurătoare ale celor trei elemente, a căror medie se va lua în comparațiile realizate și la concluziile finale. Fig. 5.45., Fig. 5.46. și Fig. 5.47.

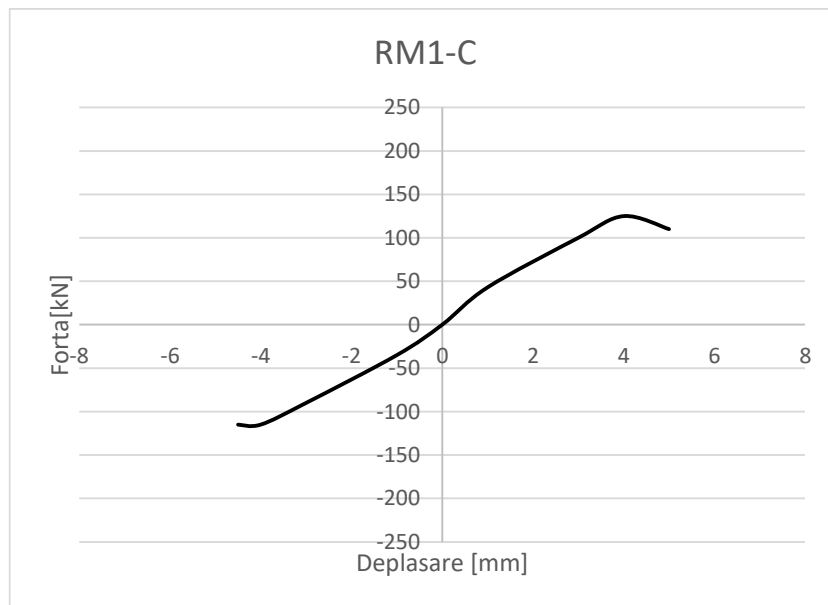


Fig. 5.45. Înfășurătoare forță-deplasare – RM1-C

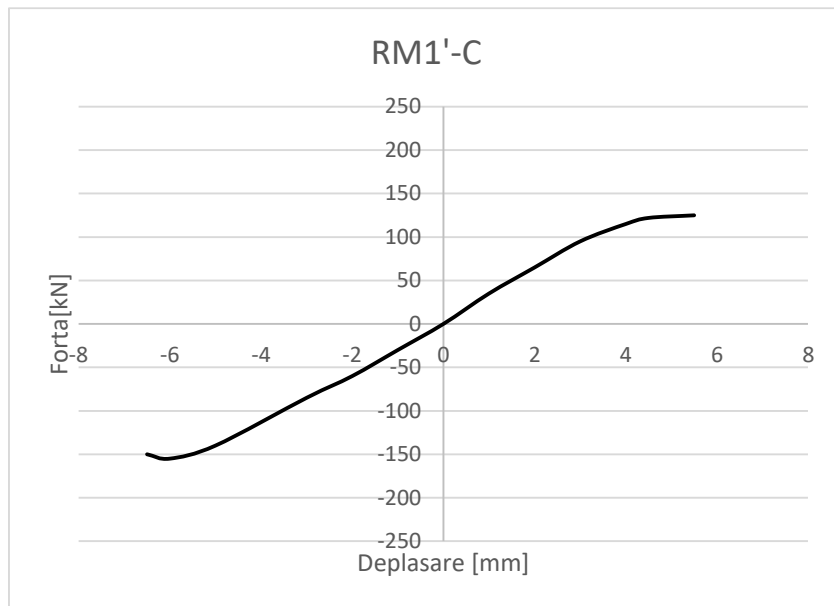


Fig. 5.46. Înfășurătoare forță-deplasare – RM1'-C

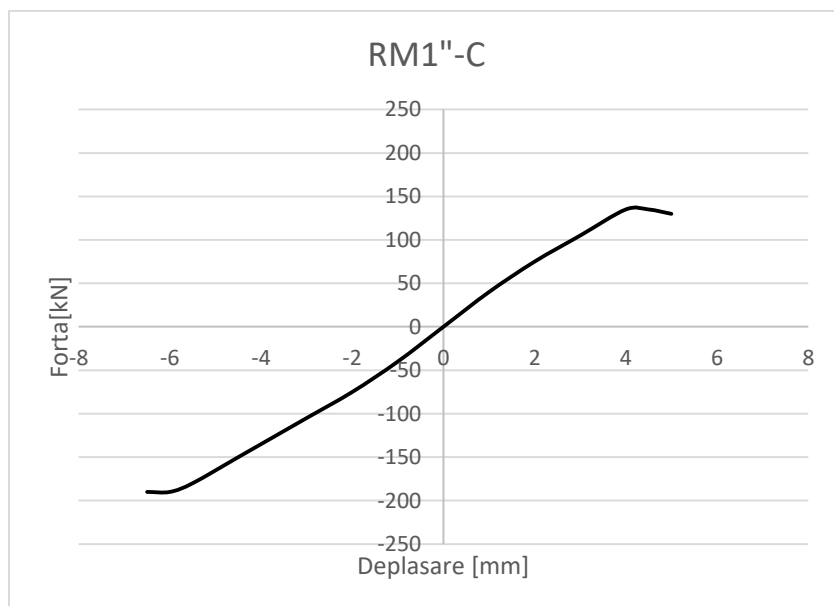


Fig. 5.47. Înfășurătoare forță-deplasare – RM1''-C

### 5.3.3. Încercări elemente zidărie confinată cu stâlpișor central consolidate RM2-C, RM2'-C și RM2''-C

Pereții de tip RM (reinforced masonry – zidărie armată/confinată) au fost consolidați în etapa a treia. Consolidarea s-a efectuat la fiecare element, imediat după testarea elementului în stare inițială, lăsând pereții montați în standul experimental. S-a demontat doar partea de captori de deplasare, pentru a nu fi avariați în timpul consolidărilor.

Încercările au fost realizate cu o încărcare verticală constantă de 150 kN. Încărcările orizontale s-au aplicat în control de deplasare, cu pași de 0,25 mm, măsurând forțele obținute. S-au realizat 3 cicluri pentru fiecare pas de 0,25 mm, apoi s-a trecut la pasul următor crescând deplasarea. Încercarea s-a oprit în momentul în care, la mai multe cicluri încărcarea orizontală s-a oprit din creștere sau chiar a scăzut. În imaginile de mai jos se observă avariile pereților din zidărie nearmată consolidați: elementul RM2-C în Fig. 5.48., elementul RM2'-C în Fig. 5.49. și elementul RM2''-C în Fig. 5.50. [101], [102], [103]





Fig. 5.48. Avarii ale elementului RM2-C – zidărie confinată cu stâlpișor central consolidată





Fig. 5.49. Avarii ale elementului RM2'-C – zidărie confinată cu stâlpișor central consolidată



Fig. 5.50. Avarii ale elementului RM2''-C – zidărie confinată cu stâlpișor central consolidată



În urma încercărilor, s-au prelucrat datele înregistrate și s-au obținut graficele Forță [kN] – Deplasare [mm], unde forța se referă la forța orizontală ciclică din timpul încercărilor, iar deplasarea este diferența între deplasarea de la partea superioară a peretelui și cea de la partea inferioară. Fig. 5.51., Fig. 5.52. și Fig. 5.53.

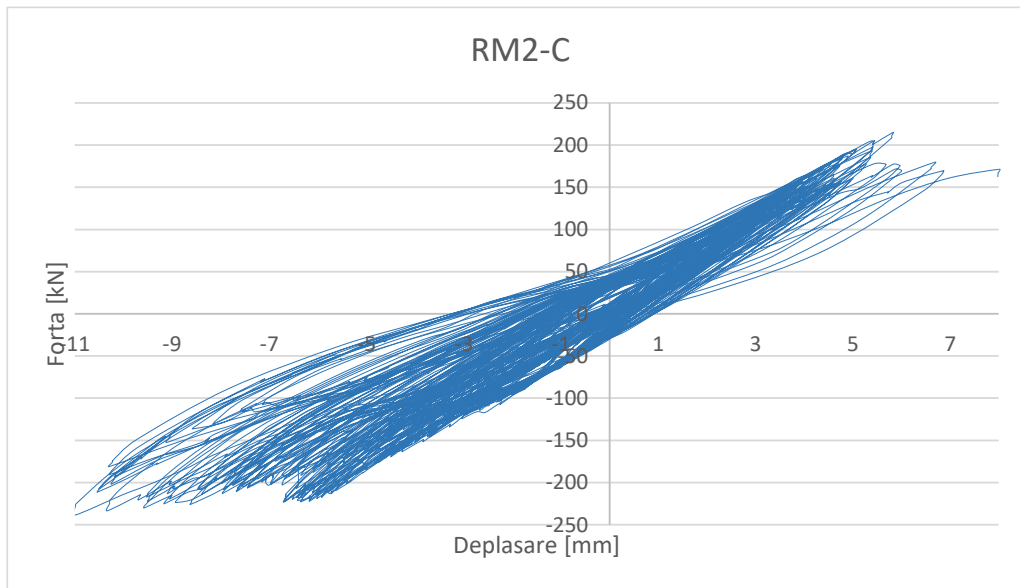


Fig. 5.51. Grafic forță-deplasare – RM2-C

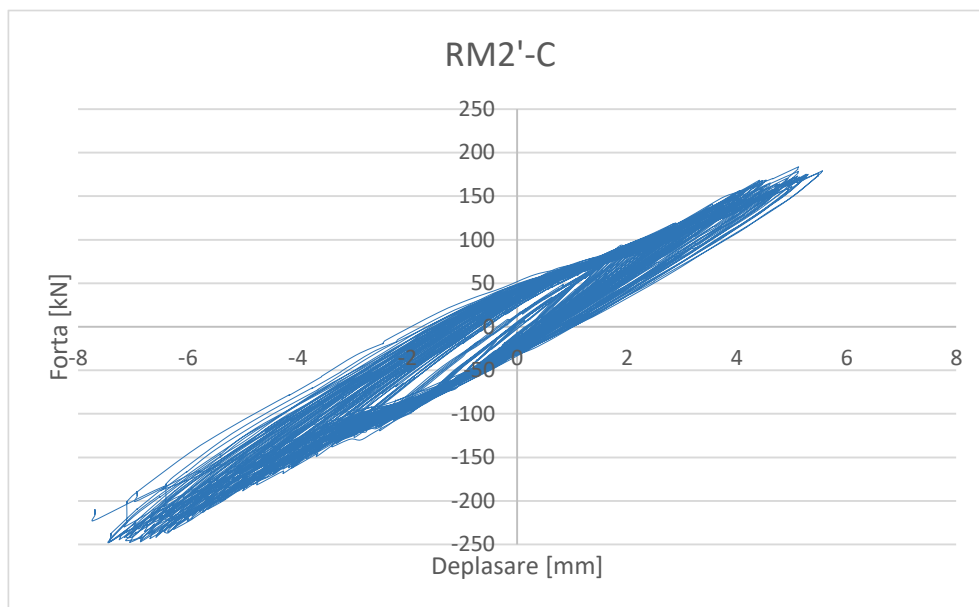


Fig. 5.52. Grafic forță-deplasare – RM2'-C

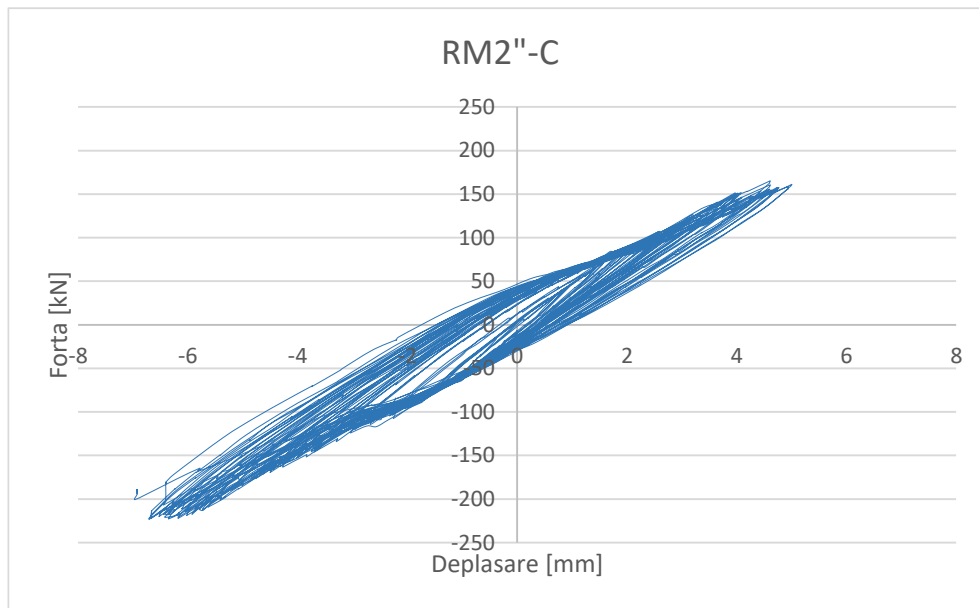


Fig. 5.53. Grafic forță-deplasare – RM2''-C

Pentru compararea datelor de la pereții din zidărie confinată consolidată cu elementele din zidărie nearmată/confinată sau cu pereții consolidați, s-au realizat graficele înfășurătoare ale celor trei elemente, a căror medie se va lua în comparațiile realizate și la concluziile finale. Fig. 5.54., Fig. 5.55. și Fig. 5.56.

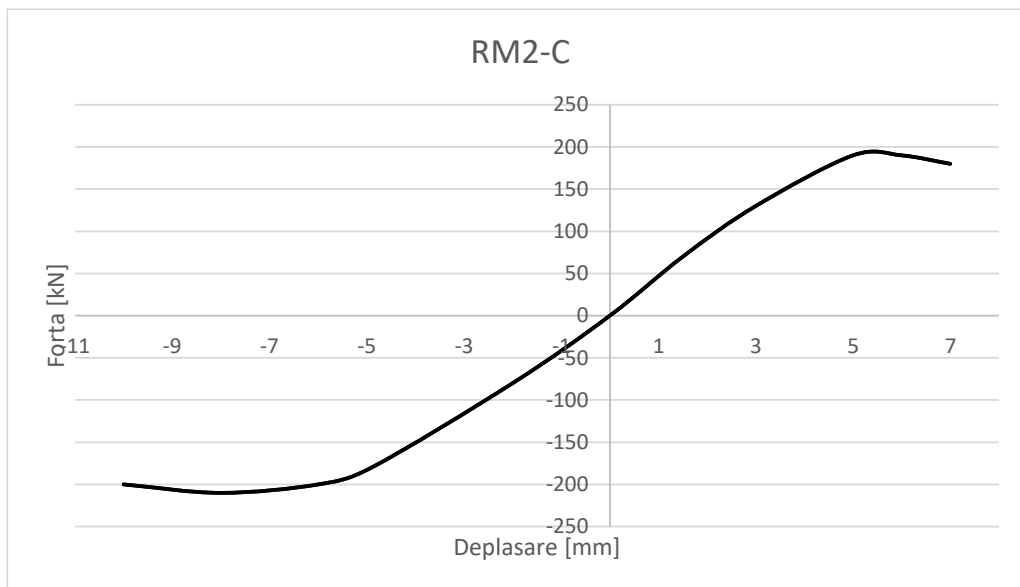


Fig. 5.54. Înfășurătoare forță-deplasare – RM2-C

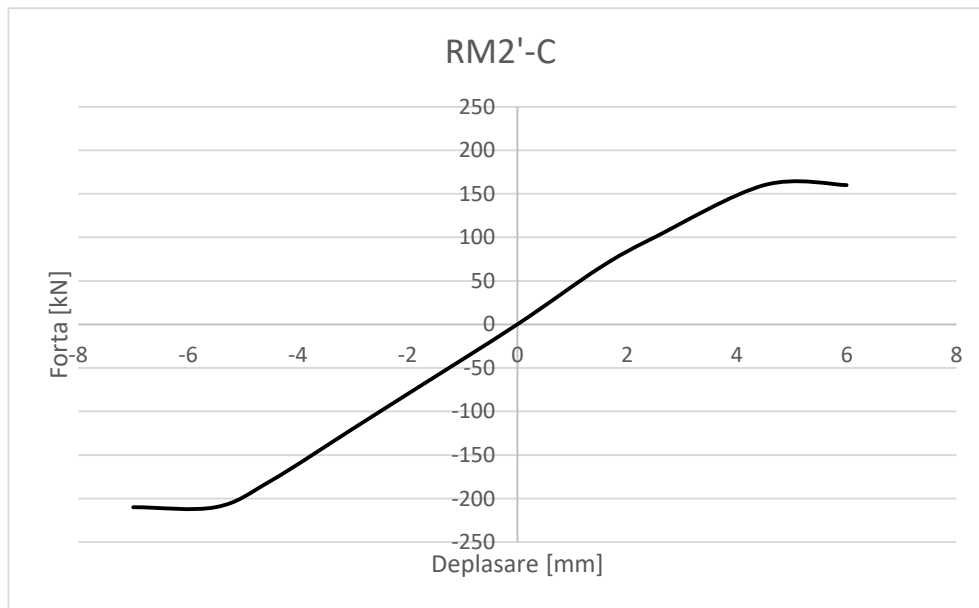


Fig. 5.55. Înfășurătoare forță-deplasare – RM2'-C

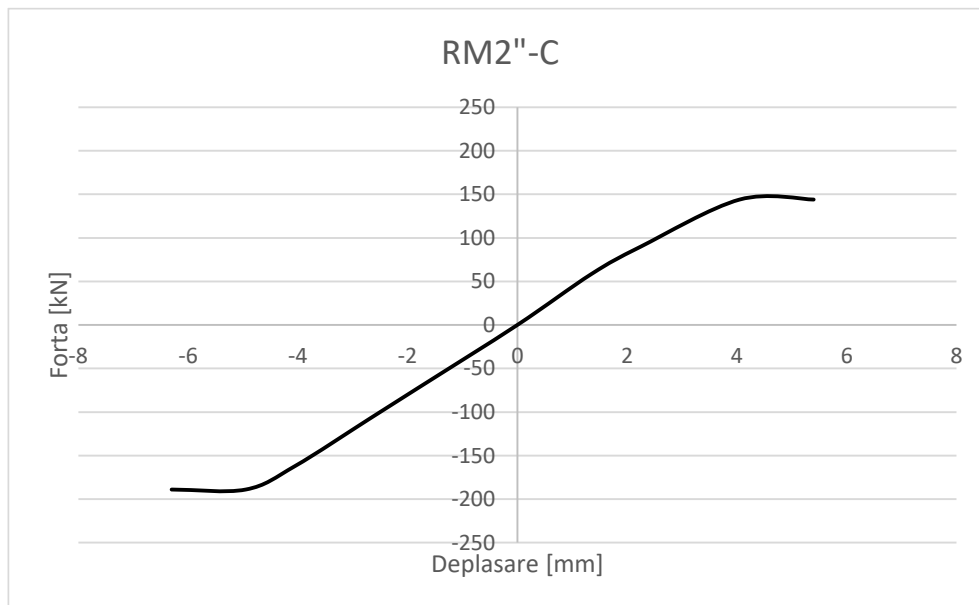


Fig. 5.56. Înfășurătoare forță-deplasare – RM2''-C

## 5.4. Concluzii program experimental

### 5.4.1. Studiu comparativ forțe laterale maxime și deplasări maxime

În urma programului experimental realizat pe cei 9 pereți din zidărie, care au fost ulterior consolidați se pot remarca următoarele rezultate centralizate, conform Tabel 5.1.

Tabelul 5.1. Rezultate centralizate program experimental

<b>Specimen</b>	<b>URM1</b>	<b>URM2</b>	<b>URM3</b>	<b>URM1-C</b>	<b>URM2-C</b>	<b>URM3-C</b>
Forță verticală constantă [kN]	150	150	150	150	150	150
Forță laterală maximă [kN]	115	140	105	210	130	100
$\sigma_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,3	0,4	0,3	0,6	0,3	0,3
Deplasare orizontală maximă [mm]	11,0	6,0	5,4	4,0	6,0	5,8
Mod de cedare perete	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere
<b>Specimen</b>	<b>RM1</b>	<b>RM1'</b>	<b>RM1''</b>	<b>RM1-C</b>	<b>RM1'-C</b>	<b>RM1''-C</b>
Forță verticală constantă [kN]	150	150	150	150	150	150
Forță laterală maximă [kN]	135	115	120	125	130	135
$\sigma_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
Deplasare orizontală maximă [mm]	10,0	10,0	10,0	4,8	5,0	5,0
Mod de cedare perete	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere
<b>Specimen</b>	<b>RM2</b>	<b>RM2'</b>	<b>RM2''</b>	<b>RM2-C</b>	<b>RM2'-C</b>	<b>RM2''-C</b>
Forță verticală constantă [kN]	150	150	150	150	150	150
Forță laterală maximă [kN]	230	220	200	210	175	160
$\sigma_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4
Deplasare orizontală maximă [mm]	6,0	6,0	6,0	6,0	5,8	5,8
Mod de cedare perete	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere

Pereții din zidărie nearmată au avut forțele orizontale maxime, conform Fig. 5.57, cu deplasări laterale de 11,0 mm, 6,0 mm, respectiv 5,4 mm.

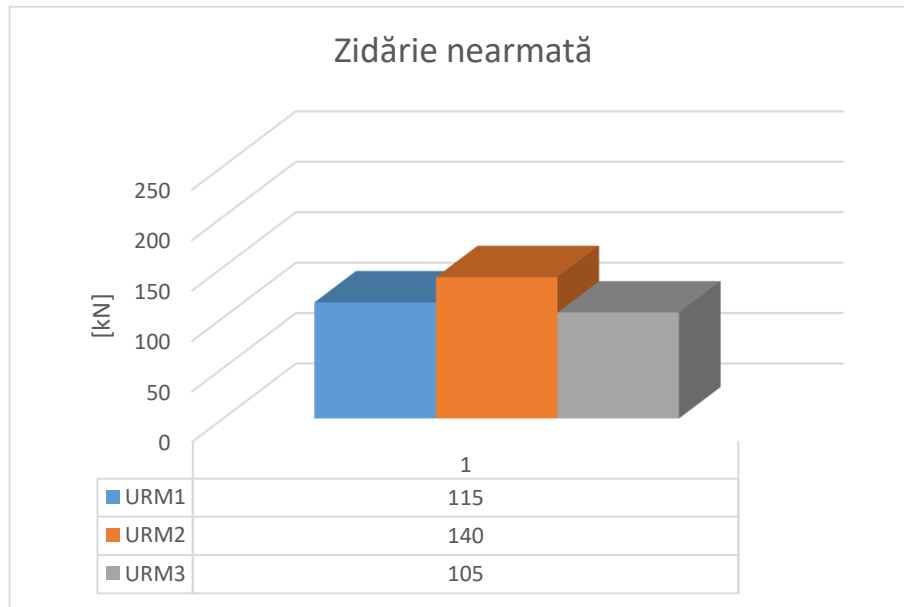


Fig. 5.57. Rezultate comparative zidărie nearmată

Pereții din zidărie confinată cu stâlpișori laterali au avut forțele orizontale maxime, conform Fig. 5.58, cu deplasări laterale de aproximativ 10 mm pentru toate cele trei încercări.

Pentru pereții din zidărie confinată cu stâlpișor central, forțele orizontale maxime se pot observa în Fig. 5.59, având deplasări orizontale maxime de aproximativ 6 mm, pentru toate cele 3 încercări.

Pentru elementele consolidate, în cazul primului element testat, zidăria nearmată consolidată cu lamele din fibră de carbon, capacitatea la forțe laterale este aproape dublată față de elementul în stare inițială, însă datorită cedării mult prea casante, s-a ales ca următoarele elemente să fie consolidate cu țesătură din fibră de carbon. Rezultatele comparative, prezentând element stare inițială – element consolidat, partea de forțe maxime orizontale se poate observa în Fig. 5.60, Fig. 5.61 și Fig. 5.62.

Partea de deplasări laterale a scăzut pentru elementele consolidate.

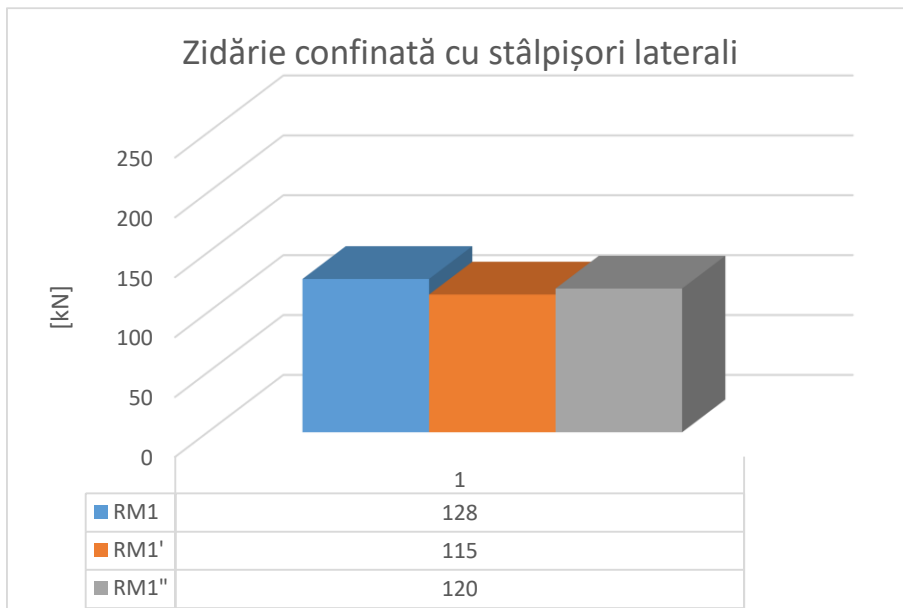


Fig. 5.58. Rezultate comparative zidărie confinată cu stâlpișori laterali

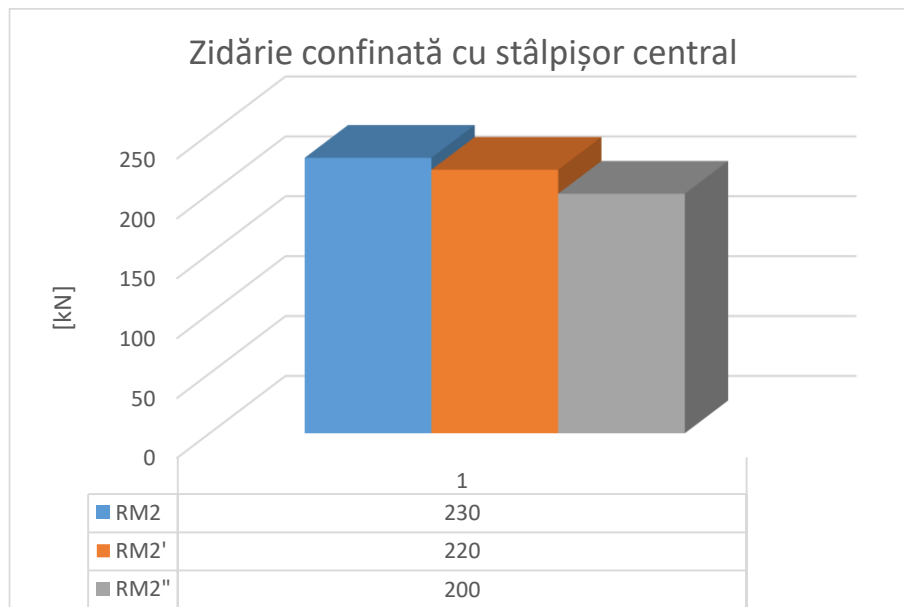


Fig. 5.59. Rezultate comparative zidărie confinată cu stâlpișor central

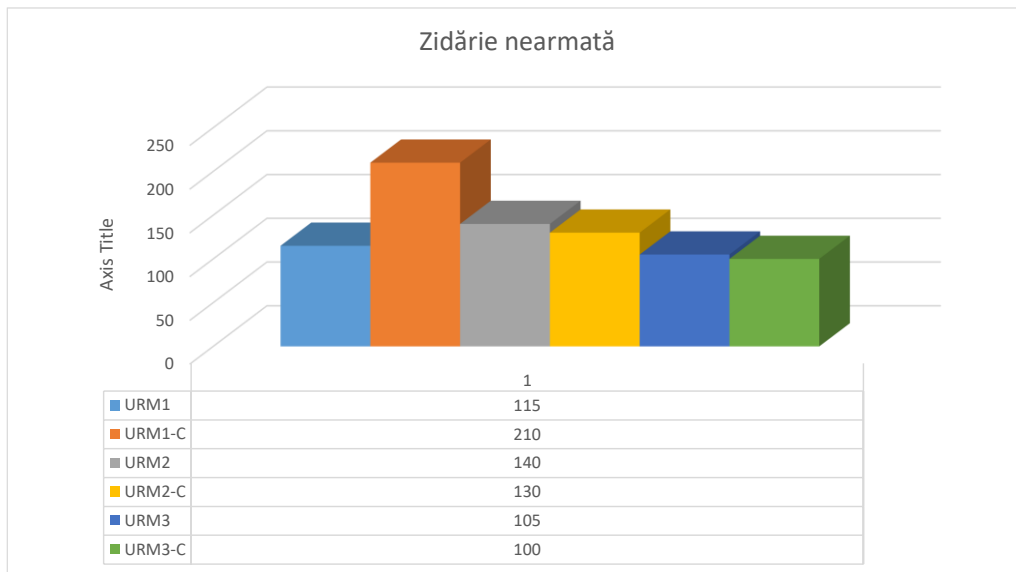


Fig. 5.60. Rezultate comparative zidărie nearmată: inițial și consolidare

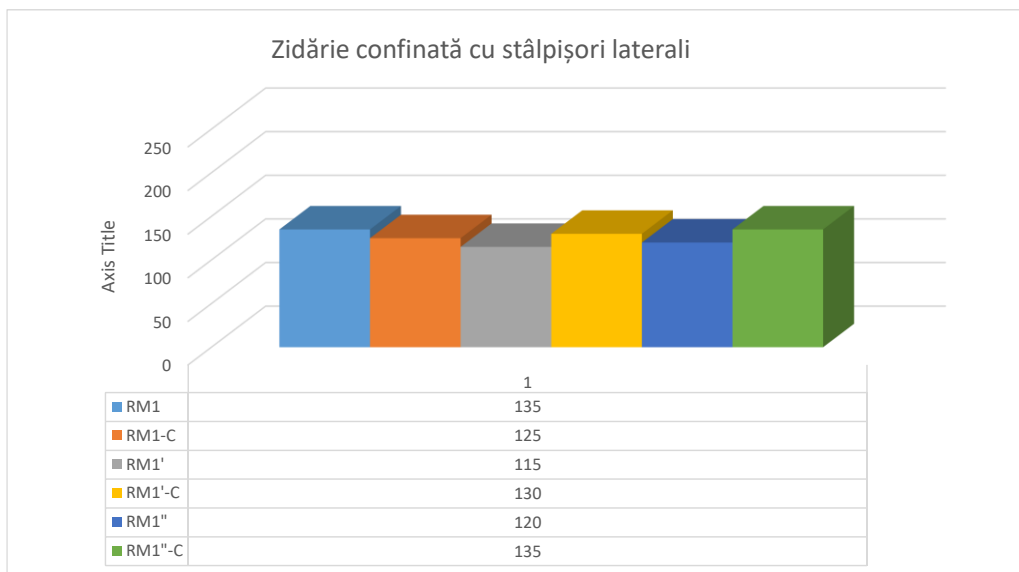


Fig. 5.61. Rezultate comparative zidărie confinată cu stâlpișori laterali: inițial și consolidare

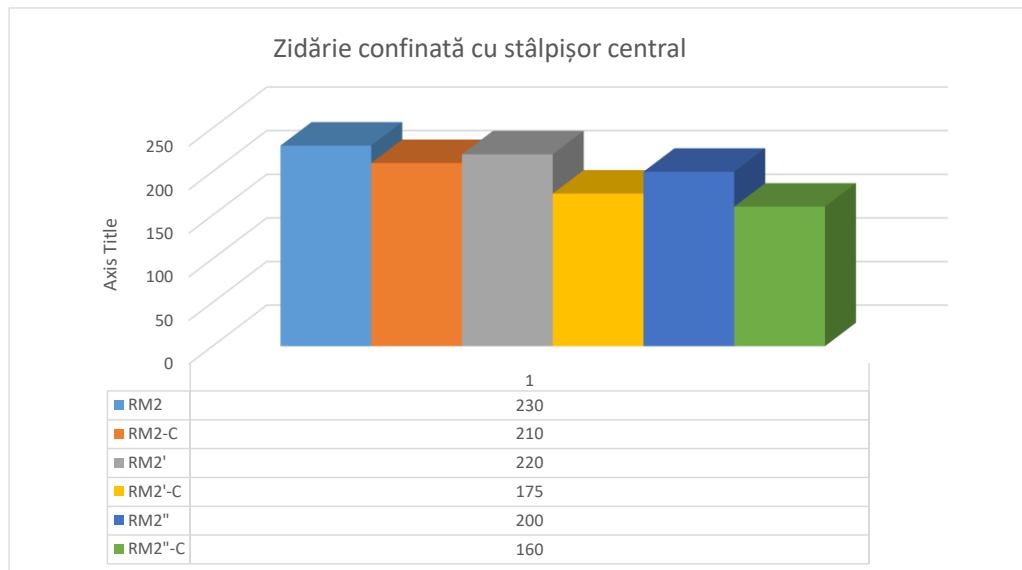


Fig. 5.62. Rezultate comparative zidărie confinată cu stâlpișor central: inițial și consolidare

Analizând aceste rezultate se observă:

- în cazul zidăriei nearmate, elementele consolidate reușesc să atingă aproximativ 95% din capacitatea inițială la forță maximă orizontală, însă la deplasările maxime laterale, se atinge doar 83% din capacitatea elementelor inițiale;
- pentru zidăria confinată cu stâlpișori laterali, elementele consolidate sunt capabile să atingă între 95%-115% din forțele laterale inițiale, însă în cazul deplasărilor laterale, se atinge doar 50% din deplasarea inițială;
- pentru zidăria confinată cu stâlpișor central, elementele consolidate ating între 80% și 92% din forțele laterale orizontale, iar la partea de deplasări laterale se atinge aproximativ 80% din capacitatea elementelor inițiale.

Cedarea elementelor în stare inițială s-a produs prin fisurarea pereților pe diagonalele principale, fisurile mergând în principal prin rosturile de mortar, dar parțial și prin blocurile ceramice. Astfel s-a obținut tăierea pură a pereților, cum era și de așteptat și cum se dorea în cadrul acestui program experimental.

Acest mod de cedare este cel mai comun în cazul pereților structurali din zidărie, în cazul unei bune conformări și conlucrări structurale spațiale.

Pentru elementele consolidate cu țesătură din fibră de carbon, cedarea se produce prin deschiderea accentuată a fisurilor existente în zidărie, urmată de desprinderea materialului compozit. Cedare nu se produce datorită întinderii sau tăierii compozitului. [20], [104], [105] Această cedare este de asemenea datorată deschiderii fisurilor pe diagonale, fiind datorată tăierii elementului din zidărie.

Se poate astfel concluziona, că materialele compozite de tipul țesăturii din fibră de carbon, sunt eficiente pentru consolidarea pereților din zidărie și reușesc să se atingă capacitățile inițiale ale pereților avariați aproape în totalitate sau în unele cazuri chiar să se depășească acestea, din punct de vedere al forțelor orizontale maxime.



În cazul deplasărilor laterale, pereții consolidați ajung între la valori între 50% și 80% din capacitatea pereților inițiali.

### 5.4.2. Energia disipată

Energia disipată (ED) este un factor important în definirea comportării unui element la încărcări seismice. Conform Fig. 5.63. energia disipată o reprezintă aria dintre limitele definite de curba ciclică a fiecărui element testat. În curba de definire aceasta se regăsește în zona hașurată închisă la culoare. Energia disipată maximă, reprezentată de zona hașurată deschisă la culoare, este energia maximă care s-ar putea disipa într-o comportare perfect plastică a elementului. [113]

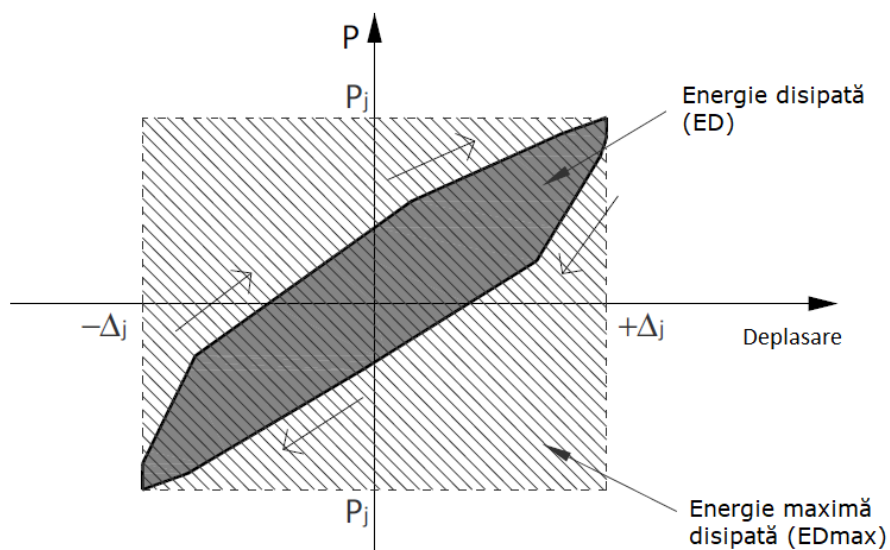


Fig. 5.63. Definiție energie disipată [113]

S-a realizat un calcul pentru toate cele 18 încercări a energiei disipate cumulative și se prezintă rezultatele comparative în Fig. 5.64.

Analizând rezultatele obținute prin calculul disipării energiei cumulative pe toate ciclurile de încercare, nu s-a putut forma o idee despre o creștere sau o scădere a ductilității elementelor, aceasta variind atât între elementele inițiale din zidărie, cât și între elementele inițiale și cele consolidate, fără să respecte o anumite regulă de creștere sau scădere.

În cazul pereților din zidărie, din blocuri ceramice cu goluri verticale, dar și pentru același tip de element consolidat cu materiale polimerice compozite, disiparea energiei nu se poate considera un factor concludent în studiul comportării acestora la încărcări seismice.

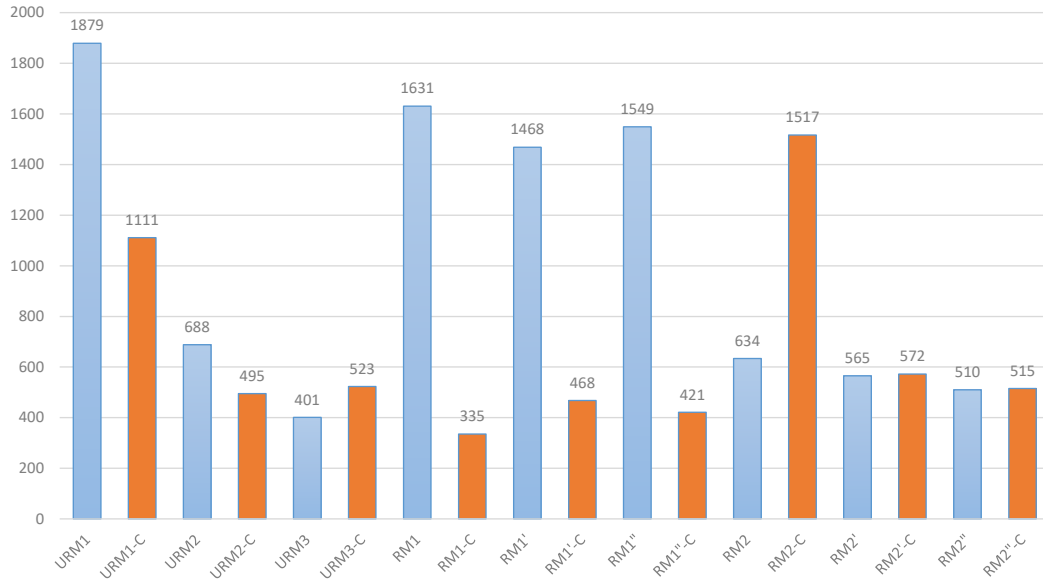


Fig. 5.64. Energie totală disipată [kNmm]

### 5.4.3. Rigiditate elemente

Rigiditatea ( $K$ ) unui element structural este definită ca raportul dintre forța aplicată și deplasarea corespunzătoare. Aceasta se poate defini în orice punct sau zonă, însă relevante sunt în principal rigiditatea inițială și cea elastică, conform Fig. 5.65.

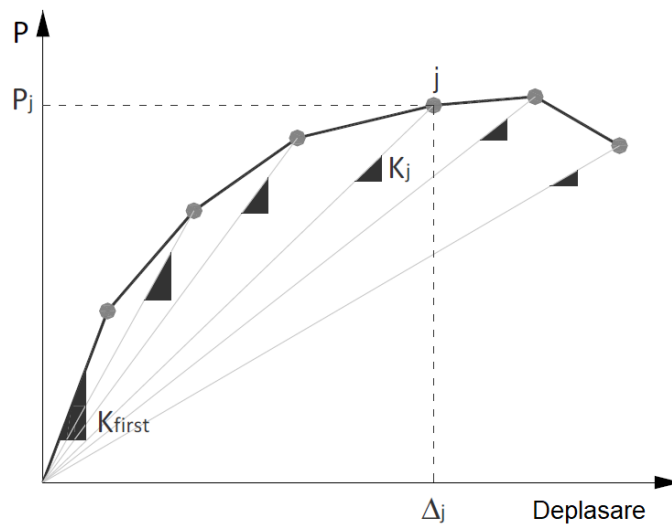


Fig. 5.65. Definiere rigiditate

În prezentul paragraf, se vor defini rigiditățile inițiale ale elementelor din zidărie atât pentru elementele în stare inițială, cât și pentru elementele consolidate cu materiale polimerice compozite, conform Fig. 5.66.

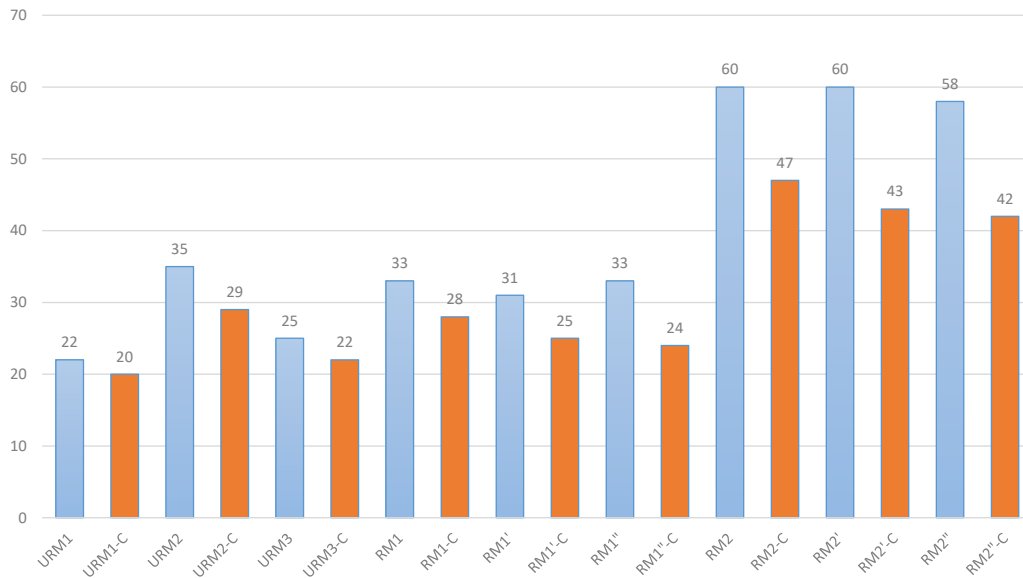


Fig. 5.66. Rigiditate inițială [kN/mm]

Analizând rigiditatea inițială a elementelor se observă că în cazul elementelor consolidate cu materiale polimerice, rigiditatea scade.

Se poate afirma că aplicarea sistemelor de consolidare, având scopul de a reda capacitatea inițială de rezistență a elementelor din zidărie, nu conduce la o refacere a rigidității inițiale, corespunzătoare momentului de testare în stare inițială.

Se poate totuși observa o creștere a rigidității între elementele din zidărie nearmată și cele din zidărie confinată, cu până la 50% în cazul elementelor cu doi stâlpișori din beton laterali și cu până la 175% în cazul elementelor cu stâlpișor central. [114]

#### 5.4.4. Studiul fisurilor și al modului de cedare

Cum s-a precizat și în subcapitolele anterioare, toți pereții din zidărie testați în cadrul prezentei lucrări, au cedat la tăiere.

Fisurile se pot observa cel mai bine la elementele din zidărie în stare inițială, de unde am extras câteva exemple, marcând apariția fisurilor, conform Fig. 5.67., Fig. 5.68. și Fig. 5.69.

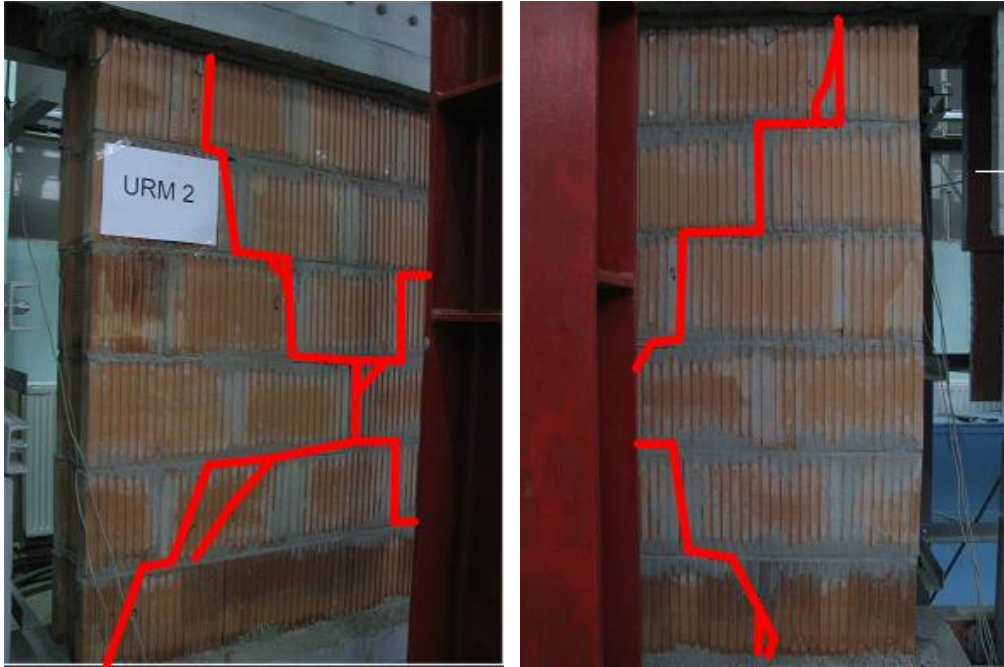


Fig. 5.67. Fisuri element din zidărie narmată

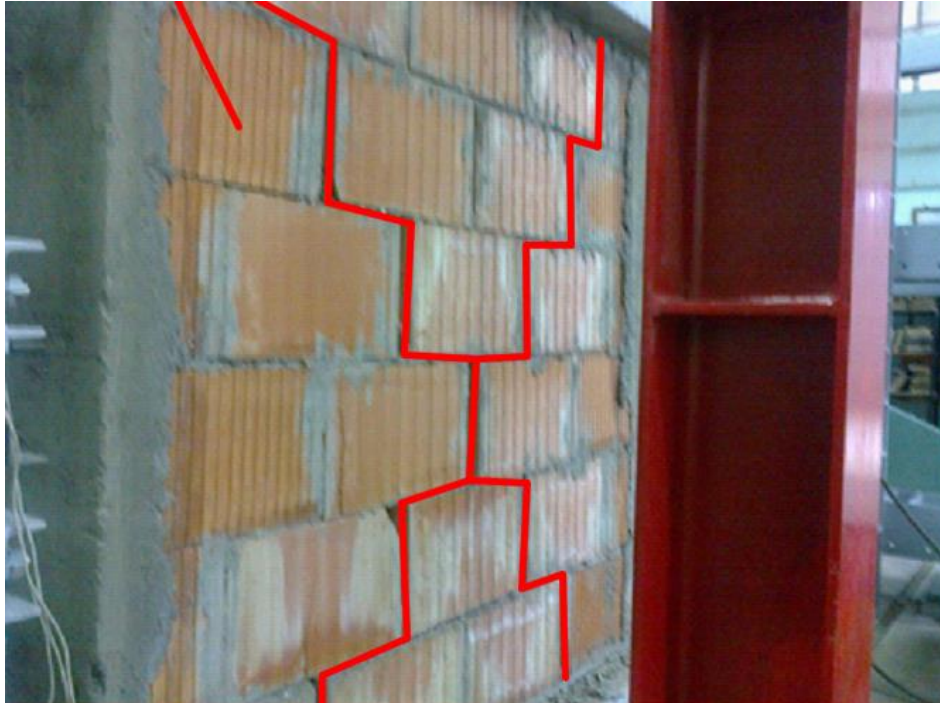


Fig. 5.68. Fisuri element din zidărie confinată cu stâlpișori laterali



Fig. 5.69. Fisuri element din zidărie confinată cu stâlpișor central

Cedarea pereților s-a produs prin fisurarea pereților pe diagonalele principale. Acest mod de cedare a fost cel așteptat și dorit în prezenta lucrare.

La elementele din zidărie nearmată, dar și la cele cu stâlpișori laterali, fisurile au urmărit în principal, zona de rost de mortar – urmând diagonalele.

În cazul elementelor cu stâlpișor central, fisurile au apărut în mare parte prin blocurile ceramice, urmând de asemenea direcția diagonalelor principale.

Primele fisuri au apărut astfel:

- la zidăria nearmată în colțul superior dreapta, la ciclul de încărcare de 1,50 mm;
- la zidăria confinată cu stâlpișori laterali de asemenea în colțul dreapta superior, la ciclul de încărcare de 1,75 mm.
- la zidăria confinată cu stâlpișor central, primele fisuri au apărut în colțul stânga inferior, la ciclul de încărcare de 2,25 mm.

S-a obținut astfel modul de cedare prin tăiere pură.

În cazul elementelor consolidate cu țesătură din fibră de carbon, cedarea s-a produs de asemenea prin tăiere, la care prin deschiderea fisurilor existente a dus la desfacerea materialului compozit.

Cedarea s-a produs casant, în timpul desprinderii compozitului fiind angrenată și o parte din blocul ceramic de care acesta a fost lipit.

## 5.5. Modelări numerice și calcul conform normative. Comparație rezultate cu programul experimental

### 5.5.1. Calcul capacitate portantă pereți conform CR6-2013

Rezistența de proiectare la cedare pe secțiuni înclinată a pereților structurali din zidărie nearmată se calculează cu relația:

$$V_{Rd,i} = (A_w/b) \times f_{vd,i}$$

Unde:

$f_{vd,i}$  – valoarea de proiectare a rezistenței unitare de cedare pe secțiuni înclinate și se calculează astfel:

$$f_{vd,i} = f_{vk,i} / \gamma_M$$

$$f_{vk,i} = 0.22 f_{bt} \sqrt{1 + 5 \frac{\sigma_d}{f_{bt}}}$$

$$f_{bt} = 0.035 f_b$$

$f_b$  calculat anterior, în capitolul 4 este 11,38 N/mm<sup>2</sup>.

$\sigma_d$  este raportul dintre  $\sigma_d = N_{Ed}/A_w = 0,40$  N/mm<sup>2</sup>

$b$  este un coeficient care depinde de dimensiunile montantului, iar în cazul de față este egal cu valoarea 1,0 [106]

$\gamma_M$  este coeficientul parțial de siguranță pentru calculul pereților structurali din zidărie la starea limită ultimă (ULS) pentru gruparea seismică de încărcări.

În cazul de față, pentru elemente categoria I – cu mortar de rețetă (G) preparat pe șantier, cu tip de control normal  $\gamma_M = 2,2$ .

Rezultă:

$$f_{vk,i} = 0,215 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vd,i} = 0,098 \text{ N/mm}^2$$

$$\mathbf{V_{Rd,i} = 36,75 \text{ kN}}$$

Pentru pereții cu stâlpișori se adaugă rezistența la forță tăietoare, din stâlpișori:

$$V_{Rd} = 0,20 A_{sc} f_{yd} = 0,20 \times 314 \times 300 = 18,84 \text{ kN}$$

Rezistența la forfecarea din stâlpișorul comprimat este:

$$V_{Rd} = A_{bsc} f_{c,vd} = 100 \times 250 \times 0,22 = 5,50 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,i} = 34,30 \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{Rd} = 58,64 \text{ kN}}$$

Folosind un program de calcul simplificat (CAZINDS1), pentru același montant din zidărie, rezultă:

CAPACITATEA SECTIUNII – SHEAR CAPACITY

=====

TRV [kgf/cmp] =

0.82

QRV	[tf]	=	3.09
=====			
STADIUL FISURAE			
=====			
- F	[kgf/cmp]	=	2.18
QCFV	- F [tf]	=	8.18
TAFV	- F [kgf/cmp]	=	0.42
QAFV	- F [tf]	=	1.58
=====			

Analizând rezultatele, se observă că cedarea se produce de asemenea pe secțiunea înclinată, rezultând o valoare a forței **V<sub>Rd</sub>=30,9 kN**.

Se poate concluziona că programul calculează capacitatea portantă conform normativului, valorile capacității pe secțiunea înclinată fiind foarte apropiate.

Mergând mai departe cu evaluarea conform normativelor, se calculează forța tăietoare din seism, aferentă montantului de zidărie, cu relația:

$$V_{Ed} = \gamma_{I,e} \times [(\beta_0 \times a_g) / q] \times m \times \lambda \times \eta$$

Unde:

$\beta_0 = 2,50$	ordonata maximă a spectrului elastic.
$\eta = 0,88$	factorul de reducere care ține seama de amortizarea zidăriei $\xi = 8\%$ .
$q = 1,60$	factorul de comportare conform tabelul 8.10 din P100
$\gamma_{I,e} = 1,0$	factorul de importanță
$\lambda = 0,85$	pentru clădirile $\geq P+2E$
$m = 150 \text{ kN}$	masa totală [106]

Rezultă:

$$\mathbf{V_{Ed} = 41,25 \text{ kN}}$$

Analizând rezultatele obținute pe cale teoretică, comparativ cu rezultatele obținute pe cale experimentală se observă următoarele:

- realizând o comparație între normativul actual și valorile obținute experimental se observă că valorile devin mai apropiate la aplicarea coeficientului parțial de siguranță pentru rezultatele din încercări, însă apar diferențe de 26,5% în cazul zidăriei nearmate și de până la 38,6% în cazul zidăriei confinate, normativul făcând o subevaluare, conform Fig. 5.70.

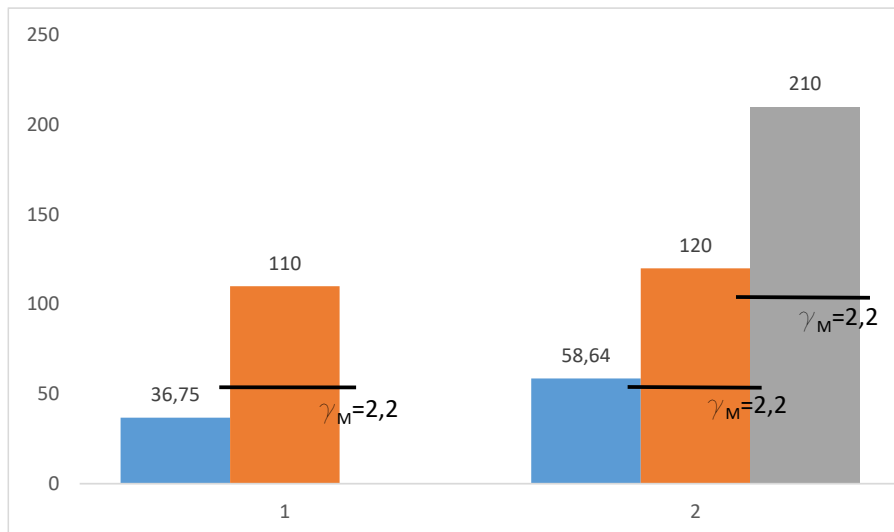


Fig. 5.70. Comparație teoretic vs. experimental: 1 – zidărie nearmată, 2 – zidărie confinată

### 5.5.2. Modelări numerice cu ATENA 3D

Modelările numerice au fost realizate cu ajutorul programului ATENA 3D [108].

S-au realizat modelări numerice pentru două cazuri: perete din zidărie nearmată și perete din zidărie confinată cu doi stâlpișori laterali.

Modelările au fost realizate înainte de începerea programului experimental, pentru a putea stabili anumite detalii care urmau să fie puse în operă în standul experimental și anume: forțe verticale maxime suportate, mod de cedare, modul de încărcare pentru obținerea cedării prin tăiere pură, dar și deplasările maxime ale pereților, cu ajutorul cărora s-a stabilit protocolul de încercare folosit în timpul încercărilor experimentale.

Zidăria a fost modelată ca un material omogen, introducând în program caracteristicile zidăriei obținute prin calcul conform normativului CR6-2013. Caracteristicile de material au fost asimilate cu cele ale unui beton slab. Fig. 5.71.



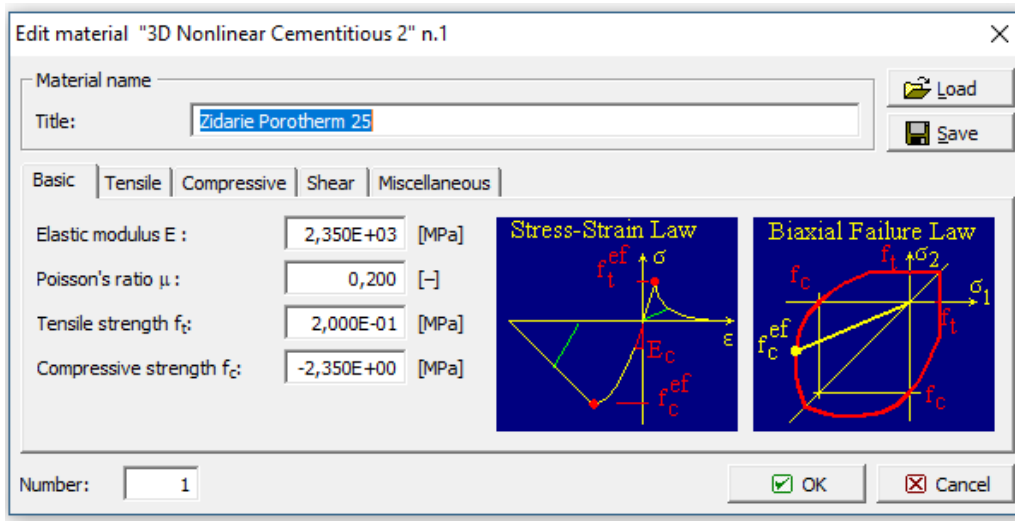


Fig. 5.71. Caracteristici zidărie modelare numerică

Partea de stâlpișori a fost modelată ca atare, cu armătura și betonul care au fost puse și în operă ulterior. Fig. 5.72.

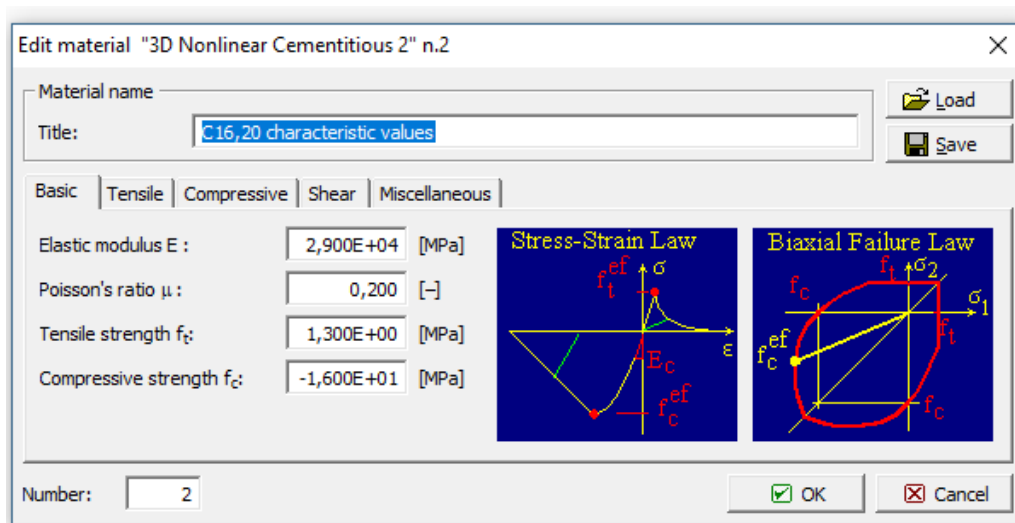


Fig. 5.72. Caracteristici beton C16/20 modelare numerică

Pentru oțelul din armătură, s-a folosit un model de comportare bilinear, conform Fig. 5.73.

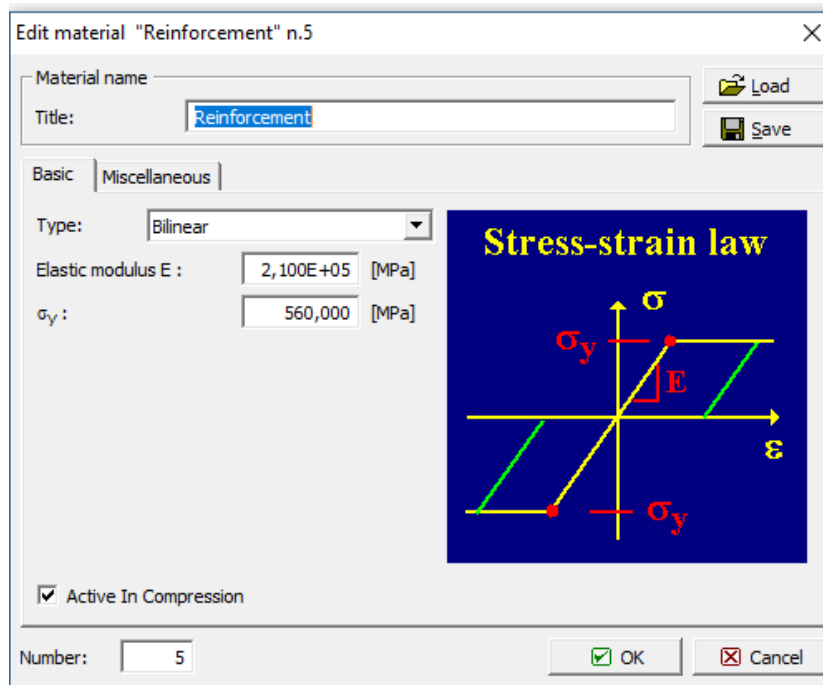


Fig. 5.73. Caracteristici de bază ale oțelului

Analiza a fost realizată similar cu programul experimental, în control de deplasare, crescând pașii deplasărilor laterale din 0,25 în 0,25 mm. În cazul modelărilor de față, deplasarea a fost introdusă dintr-o singură direcție.

S-au obținut modurile de cedare pentru cele două tipuri de pereți, conform Fig. 5.74. și Fig. 5.75.

Ambii pereți au cedat prin apariția fisurilor după direcția diagonalei acestora. Se observă avarii după o singură diagonală datorită faptului că forțele au fost introduse dintr-o singură direcție.

Realizând o comparație a celor două elemente, se observă o creștere cu 15% a capacității portante în cazul zidăriei confinate, conform Fig. 5.76. [107]

Dacă realizăm o comparație a rezultatelor obținute pe cale experimentală cu cele din modelarea numerică, observăm că rezultatele obținute sunt foarte apropiate la forțele laterale maxime obținute, dar și la rigiditatea inițială a elementelor. Fig. 5.77. și Fig. 5.78.

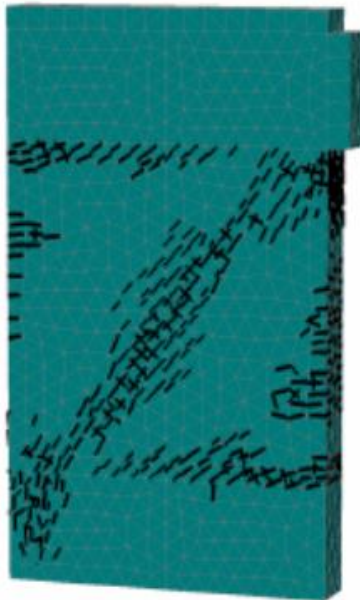


Fig. 5.74. Mod de cedare perete din zidărie nearmată



Fig. 5.75. Mod de cedare perete din zidărie confinată cu stâlpișori laterali

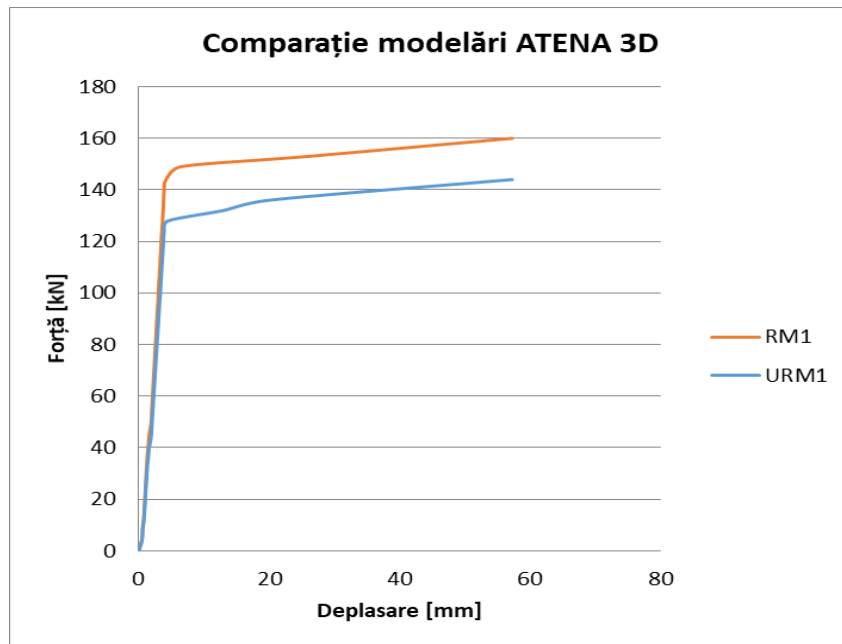


Fig. 5.76. Comparație rezultate între zidărie nearmată și zidărie confinată

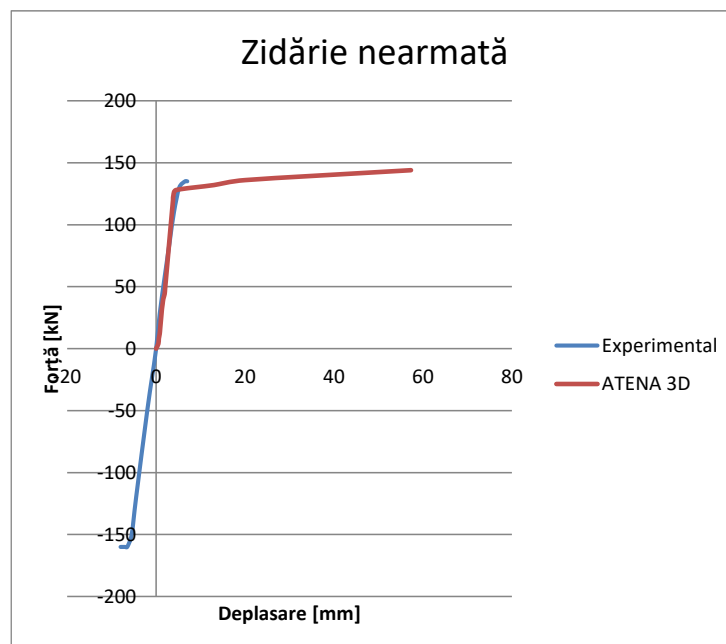


Fig. 5.77. Comparație zidărie nearmată: Experimental vs. ATENA 3D

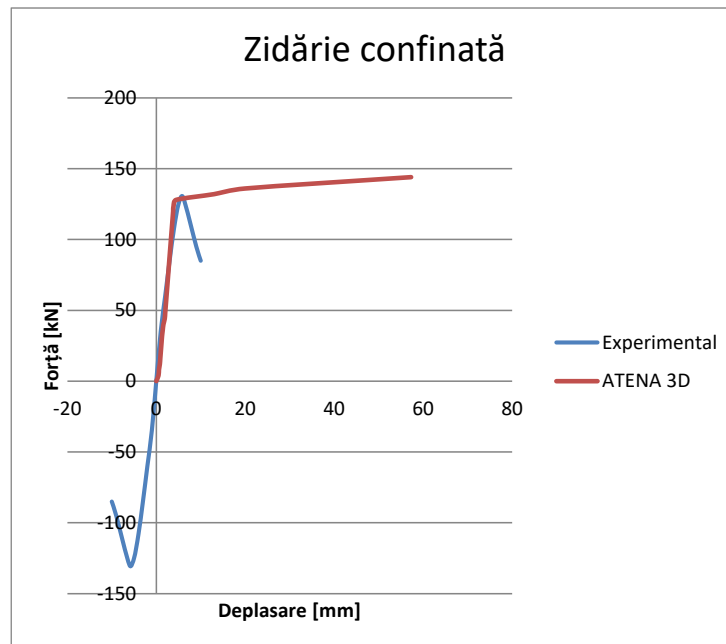


Fig. 5.78. Comparație zidărie confinată: Experimental vs. ATENA 3D

Modelările numerice au fost apropiate de valorile obținute experimental, obținând și același mod de cedare, însă necesită o cercetare mai amănunțită și laborioasă. În viitor se dorește realizarea unor calibrări a modelărilor numerice având la bază rezultatele obținute experimental și redarea cât mai reală a comportării acestor pereți pe cale numerică. Modelările astfel calibrate se vor putea folosi și pentru alte configurații de pereți din zidărie.

### 5.5.3. Calcul capacitate portantă pereți consolidați conform CNR-DT200-2004

Realizând un calcul conform normativului italian CNR-DT200 din 2004, pentru elementele din zidărie consolidate cu materiale compozite polimerice, solicitate la forfecare, avem formula generală:

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,m} + V_{Rd,f}, V_{Rd,max}\}$$

În formulă sunt luate în calcul contribuția zidăriei, prin cedarea la compresiune a acesteia după o diagonală și contribuția materialului compozit la întindere, conform schemei din Fig. 5.79.

Datorită stării avansate de avariere a pereților din zidărie în momentul consolidării, am luat în considerare doar contribuția materialului compozit, rezultând următoarele rezultate, conform Fig 5.80. Acestea au fost destul de apropiate de valorile obținute experimental. La zidăria confinată, diferența se poate explica prin contribuția stâlpișorului, care nu a fost luat în considerare la calculul teoretic.

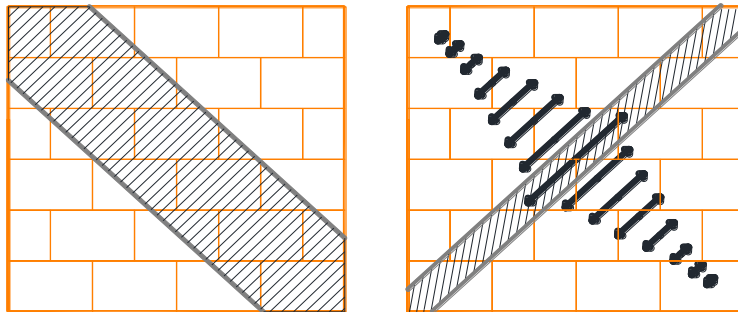


Fig. 5.79. Moduri de cedare perete consolidat

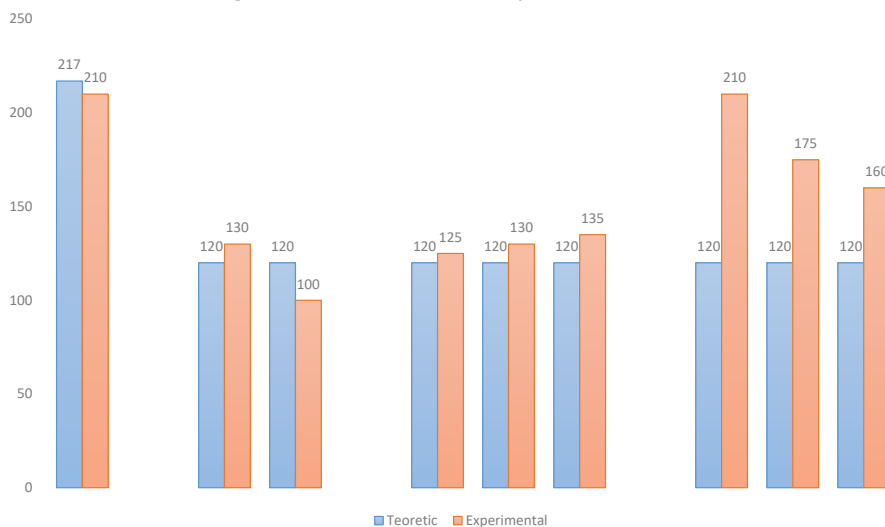


Fig. 5.80. Rezultate comparative pereți consolidați: teoretic vs. experimental

#### 5.5.4. Analiză economică

În continuare, se prezintă analiza economică și comparativă a două soluții de consolidare și anume: soluție clasică cu cămășuri ale pereților din zidărie pe ambele fețe și soluție cu materiale compozite, cum este cea prezentată în programul experimental din prezenta lucrare, cu țesătură din fibră de carbon, aplicată pe ambele fețe, pe direcția diagonală. Consolidările se aplică pentru un element de 1,50x1,50 m, conform pereților studiați în prezenta teză de doctorat. Pentru soluția clasică de consolidare avem următoarele costuri:

- mortar reparație locală fisuri: 50 lei
  - armătură tip plasă sudată, aplicată pe ambele fețe + conectori/ancoraje în zidărie: 350 lei
  - beton C16/20 aplicat pe ambele fețe: 100 lei
- Total: 500 lei

Pentru soluția cu materiale compozite, avem:

- MapeWrap Primer: 60 lei
- MapeWrap 12 rășină epoxidică: 360 lei

- MapeWrap 31 rășină epoxidică: 175 lei
  - Țesătură MapeWrap C UNI-AX: 800 lei
- Total: 1395 lei

În cazul soluțiilor de consolidare cu materiale compozite, costul consolidării unui astfel de perete este de 2,8 ori mai mare decât consolidarea cu soluții clasice.

Însă în cazul consolidărilor clasice, aspectul final este mult modificat, fiind necesare grosimi între 5 și 10 cm ale straturilor noi aplicate, iar ca manoperă este mult mai dificilă cea cu soluții clasice.





## 6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

### 6.1. Concluzii

Lucrarea abordează o temă de interes mare în momentul actual, având în vedere folosirea la scară tot mai largă a blocurilor ceramice cu goluri verticale, pentru fondul construit, în special pentru construcțiile rezidențiale, în sisteme cu pereți din zidărie portantă. Se aduc o serie de lămuriri legate de comportarea acestor pereți la încărcări seismice, dar și la comportarea pereților consolidați cu materiale compozite polimerice.

A fost realizat un program experimental complex cu mai multe tipologii de realizare a pereților din zidărie, care au fost testați și apoi consolidați folosind materiale compozite polimerice.

Originalitatea lucrării constă în cercetările experimentale, interpretarea rezultatelor și formularea unor concluzii ale programului experimental [20], [109]

În urma studiilor teoretice și experimentale realizate pe elementele din zidărie au rezultat următoarele:

1. Pereții din zidărie simplă (nearthată sau confinată) au cedat la forță tăietoare, prin formarea unor fisuri după direcția diagonalelor principale.
2. S-au constatat diferențe semnificative între pereții din zidărie nearmată și cei de zidărie confinată, și anume creșteri de la 20% la stâlpișorii laterali și de până la 100% la stâlpișorul central, referindu-se la forțele orizontale maxime – diferențe observate în Fig. 6.1.
3. În cazul zidăriei cu stâlpișorii laterali s-a ajuns la concluzia ca standul experimental nu a funcționat corespunzător la transmiterea încărcărilor orizontale la extremitățile pereților, astfel secțiunea din beton armat nu a ajuns să preia o parte din solicitări. De aici rezultă și rezultatele foarte apropiate între zidăria nearmată și zidăria cu stâlpișorii laterali. Pe când la cea cu stâlpișor central, stâlpișorul a contribuit semnificativ. Astfel se explică diferențele foarte mari între forțele orizontale maxime la cele trei tipuri de pereți.
4. La consolidarea pereților cu materiale compozite, s-a observat o refacere a forței orizontale maxime cu valori între 80% și 115%, iar pentru deplasările laterale maxime, refacerea acestora între 50% și 80%, conform Fig. 6.2.
5. Aplicarea corespunzătoare a materialului compozit are un rol foarte important în obținerea unor rezultate bune.
6. Modul de cedare pentru elementele experimentale în stare inițială a fost tăiere pură, apariția fisurilor urmărind cele două diagonale principale, prin rosturile de mortar în principal, dar și prin blocurile ceramice. Primele fisuri au apărut la ciclurile de 1,50 mm, 1,75 mm, respectiv 2,25 mm, în funcție de tipul elementului din zidărie.

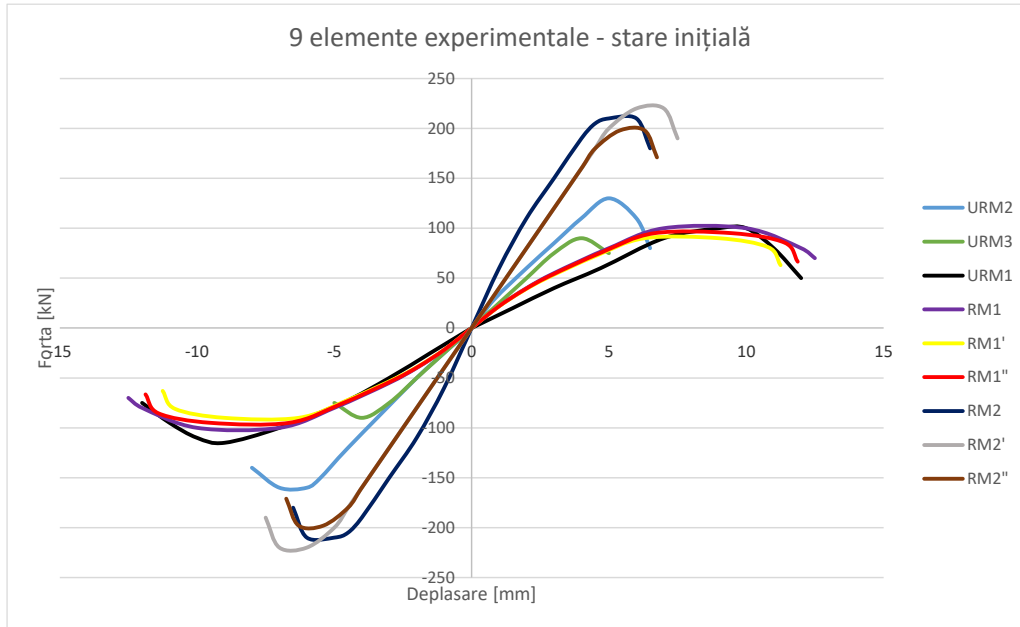


Fig. 6.1. Forță-deplasare pentru elementele în stare inițială

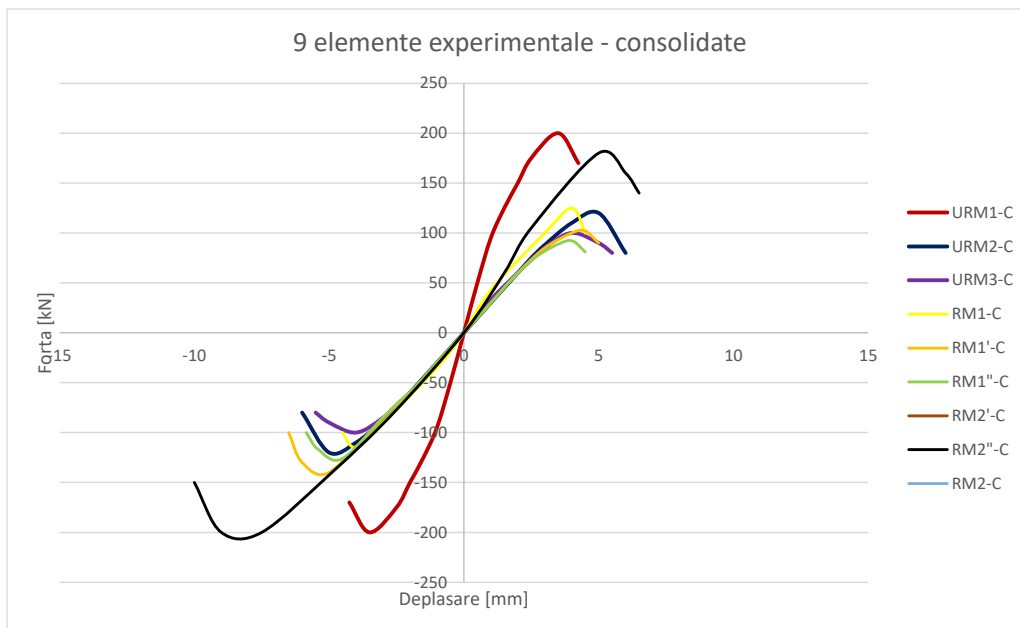


Fig. 6.2. Forță-deplasare pentru elementele consolidate

7. Pentru pereții consolidați modul de cedare a fost de asemenea la tăiere, în acest caz continuând deschiderea fisurilor inițiale până la producerea desprinderii lamelor sau țesăturii din fibră de carbon. Acestea au avut un mod de cedare casant.

8. Realizând o comparație între pereții în stare inițială și pereții consolidați cu țesătură din fibră de carbon putem observa următoarele (Fig. 6.3., Fig. 6.4. și Fig. 6.5.):

- Rigiditatea inițială a pereților consolidați sunt în scădere
- Forțele laterale maxime sunt în scădere la elementele consolidate
- Deplasările maxime sunt în scădere la elementele consolidate

9. Realizând o analiză a energiei totale disipate pentru cele 18 încercări, nu s-a putut forma o concluzie în privința creșterii sau scăderii acesteia după o anumită regulă. Astfel, nu se consideră un indicator concludent în cazul zidăriei realizată cu blocuri ceramice cu goluri verticale.

10. Materialele compozite prezintă o serie de avantaje:

- Aplicare ușoară și rapidă, comparativ cu soluțiile clasice de consolidare. Eficiența mare la consolidările în zone seismice, unde materialele compozite reușesc chiar și în cazul elementelor deteriorate să refacă capacitatea inițială, fără să fie necesară demolarea/refacerea unor elemente structurale.

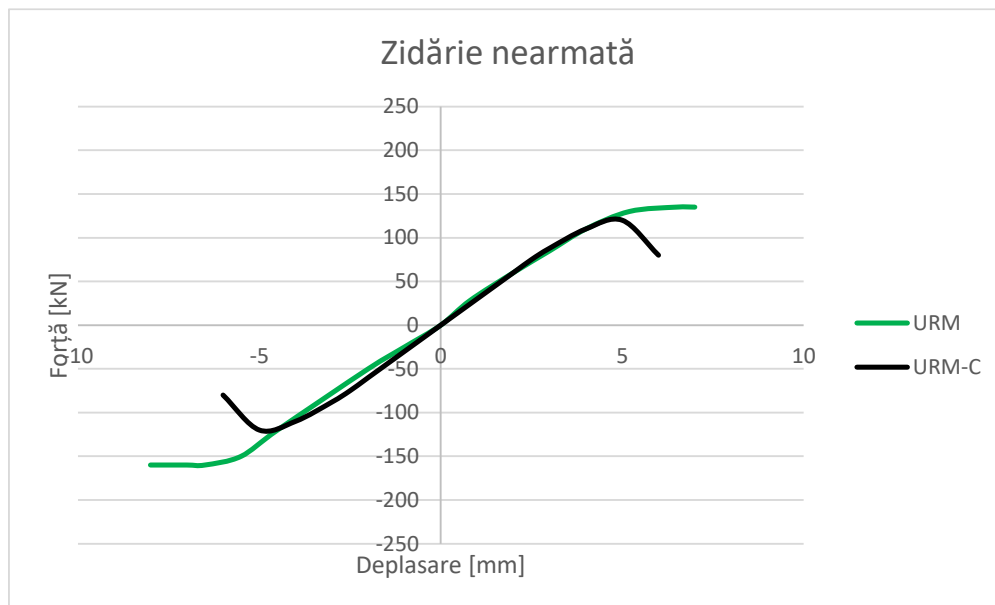


Fig. 6.3. Zidărie nearmată – Inițial vs. Consolidare

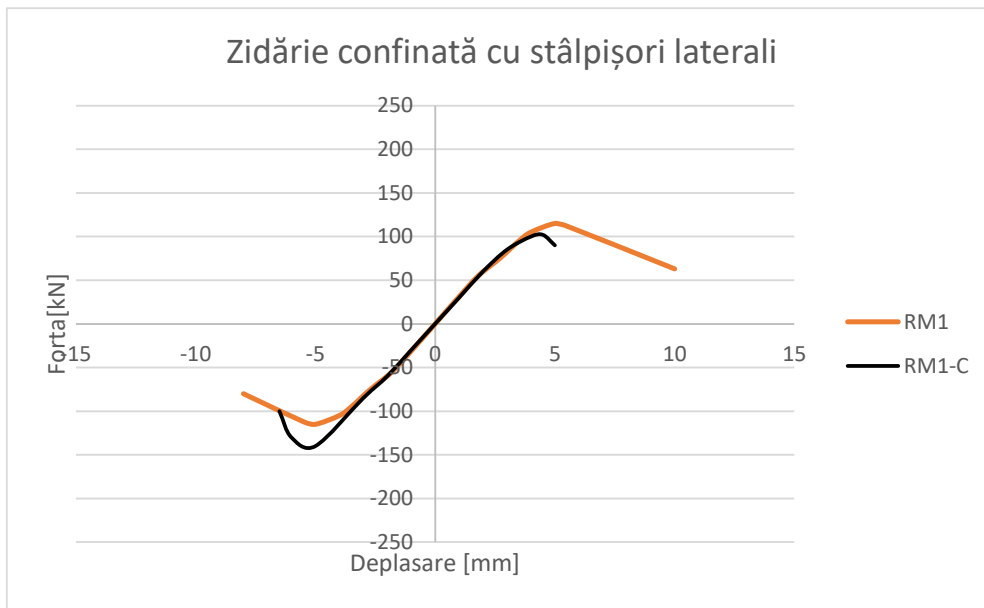


Fig. 6.4. Zidărie confinată cu stâlpișori laterali – Inițial vs. Consolidare

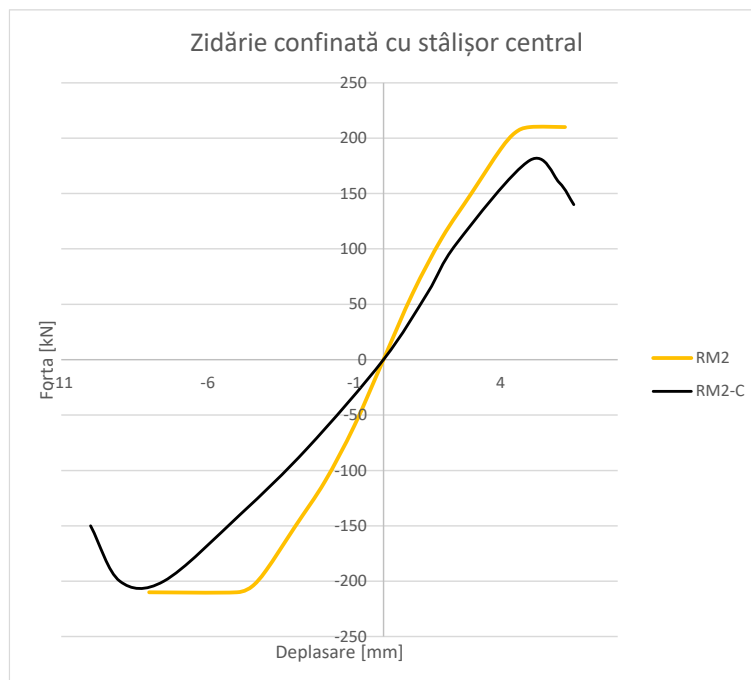


Fig. 6.5. Zidărie confinată cu stâlpișor central – Inițial vs. Consolidare

11. Realizând un calcul conform normativelor în vigoare (P100-1/2013 și CR6-2013) se obțin valori ale capacității portante ale elementelor din zidărie de 2-4 ori mai mici decât cele obținute pe cale experimentală. Fig. 6.6. Astfel se consideră că normativele sunt foarte conservative în calculul pereților din zidărie la acțiuni seismice.

12. Modelările numerice realizate pentru pereții din zidărie nearmată și zidărie confinată, au fost apropiate de valorile obținute experimental, atât din punct de vedere al forțelor maxime orizontale, cât și din punct de vedere al rigidității inițiale a elementelor. Aceste modelări o sa necesite calibrări ulterioare, pentru a putea fi folosite și pentru alte tipologii de pereți din același material.

13. Realizând un calcul conform normativului italian CNR-DT200-2004, la pereții consolidați cu țesătură din fibră de carbon sau lamelă, se obțin rezultate foarte apropiate ale forțelor laterale maxime. Diferențele apărute la pereții din zidărie confinată se pot explica prin contribuția compozitului, care nu a fost luat în calcul la partea teoretică.

14. Analiza economică comparativă între soluțiile clasice de consolidare și soluțiile cu materiale compozite, arată că acestea din urmă sunt de 2,8 ori mai scumpe, pentru un element din programul experimental prezentat. Însă la alegerea soluției de consolidare potrivite sunt luate în considerare și alte elemente importante, care pot favoriza alegerea materialelor compozite, chiar dacă sunt mai scumpe.

## 6.2. Contribuții personale

Contribuțiile personale din prezenta lucrare se pot rezuma astfel:

1. Efectuarea unui studiu bibliografic de specialitate privind comportarea pereților din zidărie la acțiuni seismice și consolidarea acestora cu diverse tehnologii, inclusiv materiale compozite polimerice.
2. Conceperea și participarea la construirea unui stand experimental în Laboratorul Departamentul CCI.
3. Conceperea unui program experimental de încercări care prezintă o serie de particularități inovatoare.
4. Conceperea unui program experimental care prezintă tipologii de pereți, luând în considerare toate posibilitățile din practica curentă.
5. Propunerea unor metode de consolidare pentru elemente experimentale după analizarea bibliografiei de specialitate din domeniu.
6. Realizarea unui număr de 18 încercări experimentale pe 9 pereți din zidărie din blocuri ceramice cu goluri verticale în stare inițială și apoi retestare după consolidarea acestora cu materiale compozite, însumând peste 180 ore de pregătire stand, încercări efective sau consolidări de elemente și retestări.

7. Procesarea a peste 150 000 de valori ale forțelor și deplasărilor aferente, datorită înregistrării acestora în două softuri diferite, fiind necesară eliminarea valorilor înregistrate eronat sau decalat.
8. Realizarea a 18 curbe ciclice forță deplasare, 18 curbe înfășurătoare ale curbelor ciclice și alte zeci de grafice comparative pentru sintetizarea rezultatelor programului experimental.
9. Realizarea unor calcule ale energiei totale disipate și a rigidității inițiale pentru cele 18 încercări și prezentarea acestora sub formă de diagrame.
10. Analizarea încercărilor din punct de vedere al apariției fisurilor și a modului de cedare pentru cele 18 încercări.
11. Realizarea unor modelări numerice pentru elemente din zidărie identice cu cele din programul experimental.
12. Realizarea unor curbe comparative între programul experimental și modelările numerice realizate.
13. Realizarea unui calcul teoretic conform normativelor și compararea rezultatelor cu programul experimental.
14. Sinteza rezultatelor programului experimental și a comparațiilor realizate. Realizarea unui studiu comparativ cu privire la comportarea pereților din zidărie la acțiuni seismice, comportarea pereților avariați și consolidați la acțiuni seismice și interpretarea rezultatelor.
15. Analizarea și enumerarea contribuțiilor personale aduse prezentei lucrări.
16. Stabilirea și enunțarea unor viitoare proiecte de cercetare avute în vedere de autoare pentru perioada post-doctorală.

### 6.3. Publicații

1. **Eva Partene**, Simon Pescari, Valeriu Stoian, Dan Tudor, Luminița Fekete-Nagy, „Theoretical studies on the evaluation of shear capacity of masonry walls built with ceramic blocks with hollows”, Zilele Academice Timișene Ediția a XIII-a, Timișoara, România 2013.
2. **Eva Partene**, Valeriu Stoian, Stefan Nicolae Iosip-Mot, „Experimental program for masonry walls built with ceramic blocks with hollows”, Zilele Academice Timișene Ediția a XIII-a, Timișoara, România 2013.
3. Cornel Furdui, Ioan Furdui, Luminița Fekete-Nagy, **Eva Partene**, „Sustainability of wood and wood products in construction engineering”, Zilele Academice Timișene Ediția a XIII-a, Timișoara, România 2013.

4. **Eva Partene**, Valeriu Stoian, Luminița Fekete-Nagy, „Nonlinear analysis for evaluation of shear capacity of brick masonry walls”, Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vienna, Austria 2013.
5. Ioan Andrei Bîndean, **Eva Partene**, Mihai Fofiu, Valeriu Stoian, „Determination of remaining bearing capacity for damaged masonry arch ceilings of historical buildings using 3D scanning and FEM analysis software”, 2nd International Conference on Protection of Historical Constructions, Antalya, Turcia 2013.
6. **Eva Partene**, Valeriu Stoian, Moșoarca Marius, Fekete-Nagy Luminita, „Cyclic in-plane experimental tests for evaluation of shear capacity of brick masonry walls”, 9th International Masonry Conference, Guimaraes, Portugalia 2014.
7. **Eva Partene**, Andrei Bîndean, Mihai Fofiu, Valeriu Stoian, Luminița Fekete-Nagy, „Cyclic in-plane testing for evaluation of shear capacity for ceramic block walls”, The 2014 International Conference on Civil Engineering (CIVILENG 2014), Santorini, Grecia 2014.
8. Mihai Fofiu, Andrei Bîndean, **Eva Partene**, Valeriu Stoian, „Retrofitting of precast reinforced concrete wall panel using carbon fiber strips”, The 2014 International Conference on Civil Engineering (CIVILENG 2014), Santorini, Grecia 2014.
9. **Eva Partene**, Luminița Fekete-Nagy, Valeriu Stoian, “Evaluation of shear capacity for brick masonry walls”, Journal of Applied Engineering Sciences, Oradea, România, vol. 5 (18), issue 1/2015.
10. **Eva Partene**, Ioan Bîndean, Valeriu Stoian, Luminița Fekete-Nagy, “Evaluation of shear capacity for masonry walls strengthened using Fibre Reinforced Polymers” The 12th International Symposium on Fiber Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-12) & The 5th Asia-Pacific Conference on Fiber Reinforced Polymers in Structures (APFIS-2015), China, 14-16 Decembrie, 2015.
11. **Eva Partene**, Valeriu Stoian, Andrei Bîndean, Luminița Fekete-Nagy, „Strengthening of masonry walls using Fiber Reinforced Polymer (FRP) materials”, Innovative Materials and Engineering Research Periodical Key Engineering Materials vl. 660, pp.198-201, May 2015.
12. A. Bîndean, M. Fofiu, **E. Partene**, V Stoian “STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM, DEVELOPMENT AND TESTING” Innovative Materials and Engineering Research Periodical Key Engineering Materials vl. 660, pp.340-345, May 2015.
13. **Eva Partene**, Andrei Bîndean, Valeriu Stoian, Luminița Fekete-Nagy, „Evaluation of shear capacity for reinforced masonry-walls – experimental program” Zilele Academice Timișene Ediția a XIV-a, Timișoara, România 2015.
14. **Partene Eva**, Petruș Cristian, Bîndean Andrei, Fekete-Nagy Luminița, Stoian Valeriu, „Shear capacity for masonry walls strengthened with FRP materials”, The National Technical Scientific Conference – the 16th edition – Modern Technologies for the 3rd Millenium, Oradea, România 2017.

15. Petruș Cristian, **Partene Eva**, Moșoarca Marius, Stoian Valeriu, „Effect of consolidating materials on the out of plane behaviour of masonry infills. A design approach”, The National Technical Scientific Conference – the 16th edition – Modern Technologies for the 3rd Millenium, Oradea, România 2017.

16. Fekete-Nagy Luminița, Moșoarca Marius, **Partene Eva**, Diaconu Dan, „Reinforced concrete elements designed by alternative procedure”, The National Technical Scientific Conference – the 16th edition – Modern Technologies for the 3rd Millenium, Oradea, România 2017.

17. **Eva Partene**, Marius Moșoarcă, Valeriu Stoian, “Structural analysis and damage assessment of a historical masonry palace – A case study”, 11<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Peru, 2018.

#### 6.4. Perspective de cercetare

Autoarea își propune pe viitor realizarea unor încercări experimentale suplimentare, cu aducerea unor îmbunătățiri ale standului experimental curent.

Pe lângă tipologiile de pereți încercați și consolidați, se propun și alte metode de consolidare, cu alte materiale, dar și soluții clasice pentru realizarea unor comparații mai exacte a diferențelor dintre aceste metode.

Se mai propune și calibrarea mai în detaliu a modelărilor numerice realizate în prezenta lucrare și folosirea acestora și pentru alte tipologii de pereți din zidărie cu blocuri ceramice cu goluri verticale.

Se vor realiza modelări numerice și pentru partea de pereți consolidați, care necesită o atenție sporită din punct de vedere al modelării contactului la interfața perete-material compozit.

Datorită faptului că în literatura de specialitate studiată de autoare – normativul italian CNR-DT 200/2004 [115], au fost identificate formule de calcul pentru pereții din zidărie consolidați cu materiale polimerice având țesătura aplicată paralel cu rosturile de mortar, se propune studierea și eventuala adaptare a formulei de calcul, pentru a putea fi aplicată și pentru țesătură aplicată pe diagonalele elementelor din zidărie sau pe alte direcții de aplicare.

Pentru studiul de caz din Anexa tezei, se dorește realizarea unui calcul în care să poată fi aplicate țesăturile din fibră carbon în programul de calcul spațial pe între ansamblul unei clădiri. Pentru realizarea acestui calcul este necesară identificarea unui program de calcul care să facă astfel de calcul și achiziționarea unui astfel de software în cadrul Departamentului CCI.



# ANEXĂ - STUDIU DE CAZ

## A.1. Introducere

Pentru o mai bună înțelegere a comportării structurilor din zidărie confinată, realizată din blocuri ceramice cu goluri verticale, s-a realizat un calcul pe o structură dată, realizată cu acest tip de bloc ceramic. În prima etapă s-a realizat un calcul manual, conform normativului P100/1-2013, apoi un calcul cu programul AmQuake și s-au comparat rezultatele obținute. Se va determina astfel diferența între un calcul teoretic simplificat și un calcul structural 3D cu programe de calcul, atât din punct de vedere al duratei de realizare a fiecăruia, dar și privind rezultate obținute prin cele două metode alese.

Clădirea aleasă, respectă prevederile din normativ, legate de regimul maxim de înălțime admis, în funcție de zona seismică. Această e realizată cu structură din zidărie portantă, cu densitate mare de pereți, având regim de înălțime P+2E.

Acest studiu de caz este relevant pentru prima parte a tezei, care s-a concentrat pe comportarea pereților din zidărie nearmată sau confinată la încărcări orizontale, similare cu acțiunile seismice.

Nu a existat posibilitatea aplicării metodelor de consolidare cu țesătură din fibră de carbon, nici în varianta de calcul manual, datorită direcției de aplicare a fibrelor, dar nici în programul de calcul, acesta nefiind capabil să realizeze astfel de calcul.

## A.2. Calcul realizat conform normativ P100/1-2013

### A.2.1. Date generale

- Clădire de locuit P+2E
- Înălțime etaj:  $h_{et}=3,00$  m
- Dimensiuni maxime clădire: 12,40 x 12,45 m
- Suprafața construită: 134,70 mp
- Structură din zidărie confinată și armată în rost orizontal ZC+AR
- Pereți interiori și exteriori realizați din blocuri ceramice tip Porotherm 30 la exterior și Porotherm 25 la interior
- Amplasament: Timișoara,  $a_g=0,20g$ ,  $T_c=0,7s$ .
- Geometria clădirii se poate observa în Fig. A.1.

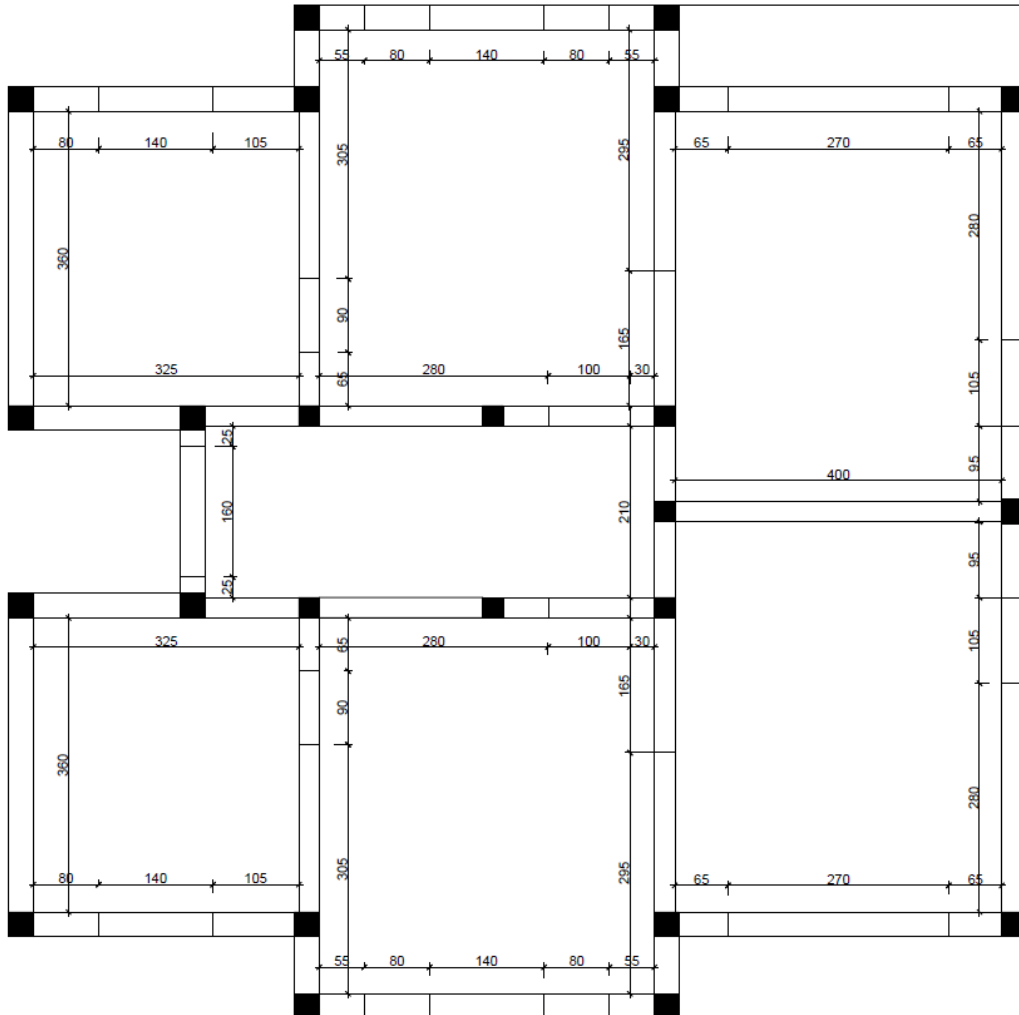


Fig. A.1. Plan nivel curent, clădire P+2E

### A.2.2. Calcul greutate proprie clădire

Greutate proprie planșeu:	
Pentru gruparea seismică:	
- Placa beton armat 13 cm:	3,25 kN/m <sup>2</sup>
- Straturi pardoseală:	1,20 kN/m <sup>2</sup>
- Tencuială:	0,20 kN/m <sup>2</sup>
- Pereți despărțitori:	0,50 kN/m <sup>2</sup>
- Încărcare utilă (locuințe): 0,3x200	0,60 kN/m <sup>2</sup>
	<u>5,75 kN/m<sup>2</sup></u>
Greutatea planșeului: 134,70x5.75=774,53 kN	

Greutatea zidăriei:

Greutatea bloc ceramic: 8,50 kN/m<sup>2</sup>  
 Consum mortar M50: 110 l/m<sup>3</sup>, respectiv 95 l/m<sup>3</sup>: 2,00 kN/m<sup>2</sup> respectiv 1,75 kN/m<sup>2</sup>  
 Greutate tencuială: 0,40 kN/m<sup>2</sup>  
 Pereți 30 cm – 32,91 m<sup>3</sup>; Pereți 25 cm – 19,96 m<sup>3</sup>  
 ⇒ 32,91x11,70+19,96x10,65=597,62kN

⇒ Greutate totală nivel: 1372,15 kN

Calcul mase de etaj supuse la acțiuni seismice:

Masă etaj:  $M_i = G_{\text{etaj}}/g$   
 Masă clădire:  $M = n_{\text{niv}} G_{\text{etaj}}/g$

Pentru clădirea analizată:  $n_{\text{niv}} = 3$

⇒  $G_{\text{total}} = 3 \times 1372,15 = 4116,45$  kN

### A.2.3. Calcul forțe seismice statice echivalente

- Ordonata maximă a spectrului elastic  $\beta_0 = 2,50$ .
- Factorul de reducere pentru  $n_{\text{niv}} > 2$ ,  $\lambda = 0,85$ .
- Factorul de reducere  $\eta = 0,88$ , pentru fracțiunea de amortizare critică de 8%.
- Factorul de importanță  $\gamma_{Ie} = 1,0$  – pentru clădiri de tip curent, clasa de importanță III, tabel 4.2. P100-1/2013.
- Factorul de suprarezistență  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,25$ .
- Factorul de comportare  $q = 2,5 \times 1,25 = 3,125$ , conform tabelul 8.10 din P100/1-2013.
- Coeficientul seismic global:

$$c = \gamma_{Ie} \frac{\beta_0 \cdot \lambda \cdot \eta}{q} \cdot \frac{\alpha_g}{g} = 1,0 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,85 \cdot 0,88}{3,125} \cdot 0,20 = 0,120$$

- Forța tăietoare de bază:

$$F_b = c \times G_{\text{tot}} = 0,120 \times 4116,45 = 493,97 \text{ kN}$$

Calculul forțelor seismice de nivel se face cu relația:

$$F_i = F_b \cdot \frac{m_i \cdot z_i}{\sum_{j=1}^n m_j \cdot z_j}$$

$$F_1 = 493,97 \cdot \frac{4116,45 \cdot 2,83}{4116,45 \cdot 2,83 + 4116,45 \cdot 5,66 + 4116,45 \cdot 8,49} = 82,33 \text{ kN}$$

$$F_2 = 493,97 \cdot \frac{4116,45 \cdot 5,66}{4116,45 \cdot 2,83 + 4116,45 \cdot 5,66 + 4116,45 \cdot 8,49} = 164,66 \text{ kN}$$

$$F_3 = 493,97 \cdot \frac{4116,45 \cdot 8,49}{4116,45 \cdot 2,83 + 4116,45 \cdot 5,66 + 4116,45 \cdot 8,49} = 246,99 \text{ kN}$$

#### A.2.4. Stabilirea modelelor plane pentru calculul seismic

Clădirea este simetrică fața de o axă principală și îndeplinește condițiile de regularitate în elevație. Se va aplica calculul cu forțe seismice statice echivalente folosind două modele plane. Primul model va conține montanții de pe direcția transversală și al doilea, montanții de pe direcția longitudinală.

##### Verificarea densității pereților:

Transversal: 10,38 m<sup>2</sup>, rezultând p=7,71 %.

Longitudinal: 7,45 m<sup>2</sup>, rezultând p=5,53 %.

Condițiile din tabelul 8.9 sunt îndeplinite și anume pentru zona seismică și regimul de înălțime ales, procentul de zidărie trebuie să fie mai mare de 5,50%.

##### Verificarea raportului dintre aria golurilor și aria plinurilor de zidărie:

Transversal:  $l_{gol}=1,40 \text{ m}$ ,  $l_{plin}=3,80 \text{ m}$  ->  $\rho=0,36 < 1,00$

$l_{gol}=1,60 \text{ m}$ ,  $l_{plin}=4,70 \text{ m}$  ->  $\rho=0,35 < 1,00$

$l_{gol}=2,70 \text{ m}$ ,  $l_{plin}=4,55 \text{ m}$  ->  $\rho=0,59 < 1,00$

Longitudinal:  $l_{gol}=1,00 \text{ m}$ ,  $l_{plin}=6,05 \text{ m}$  ->  $\rho=0,17 < 0,35$

$l_{gol}=3,30 \text{ m}$ ,  $l_{plin}=10,40 \text{ m}$  ->  $\rho=0,32 < 0,35$

$l_{gol}=0,90 \text{ m}$ ,  $l_{plin}=4,15 \text{ m}$  ->  $\rho=0,22 < 0,35$

Condițiile din tabelul 8.11 sunt îndeplinite.

#### A.2.5. Distribuția forței tăietoare de bază la pereții structurali prin Metoda consolelor legate la ultimul nivel

Această metodă se referă la distribuția forței tăietoare de bază între pereții structurii folosind criteriul egalității deplasărilor laterale totale, la partea superioară a construcției.

Prima etapă constă în stabilirea rigidității relative a pereților structurali, și anume, aceștia fiind realizați din același material, se vor omite valorile modulelor de elasticitate  $E_z$  și  $G_z$ .

$$R_i = \frac{t}{\lambda \cdot (3 + 4\lambda^2)}$$

Factorii de distribuție s-au calculat cu relația:

$$\rho_{v,i} = \frac{R_i}{\sum R_i}$$

Considerăm fiecare element ca o consolă cu înălțimea  $H_{tot}=3 \times 2,83=8,49 \text{ m}$ .

Datele centralizate pentru pereții transversali se pot observa în Tabelul A.1., iar pentru pereții longitudinali, în Tabelul A.2.

Distribuția acestora în plan, se observă în Fig. A.2. și Fig. A.3.

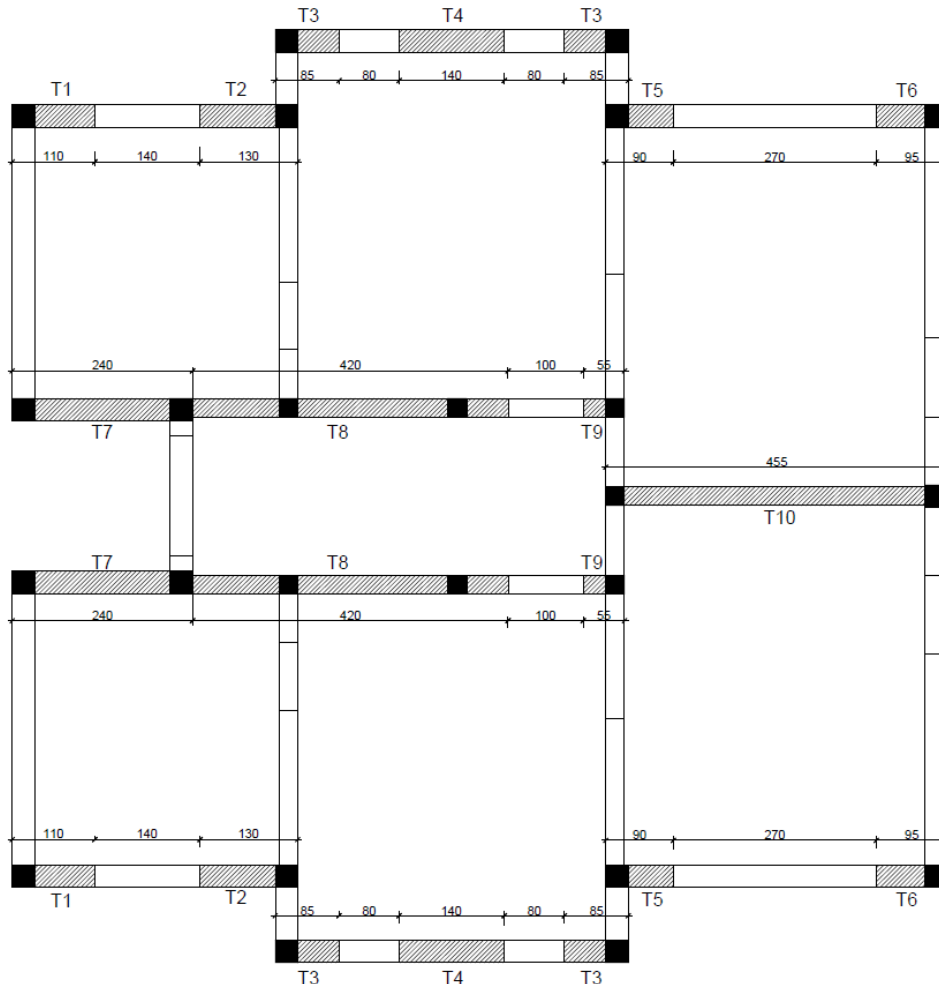


Fig. A.2. Distribuție pereți transversali

Tabelul A.1. Pereți transversali

Elem.	$l_w$ [m]	$t$ [m]	$\lambda=H/l_w$	Aria [m <sup>2</sup> ]	$R_{iT}$ [m]	$n_{elem}$	$n_e R_{iT}$ [m]	$\rho_{v,i}$
T1	1,10	0,30	7,718	0,33	0,00016	2	0,00032	0,0061
T2	1,30	0,30	6,531	0,39	0,00026	2	0,00053	0,0100
T3	0,85	0,30	9,988	0,255	0,00007	4	0,00030	0,0028
T4	1,40	0,30	6,064	0,42	0,00033	2	0,00066	0,0124
T5	0,90	0,30	9,433	0,27	0,00009	2	0,00018	0,0033
T6	0,95	0,30	8,937	0,285	0,00010	6	0,00062	0,0039
T7	2,40	0,30	3,538	0,72	0,00160	2	0,00320	0,0602
T8	4,20	0,25	2,021	1,05	0,00639	2	0,01279	0,2409
T9	0,55	0,25	15,436	0,138	0,00002	2	0,00003	0,0006
T10	4,55	0,25	1,866	1,138	0,00792	1	0,00792	0,2982
$R_L = \sum n_e R_{iT} = 0,02654$								

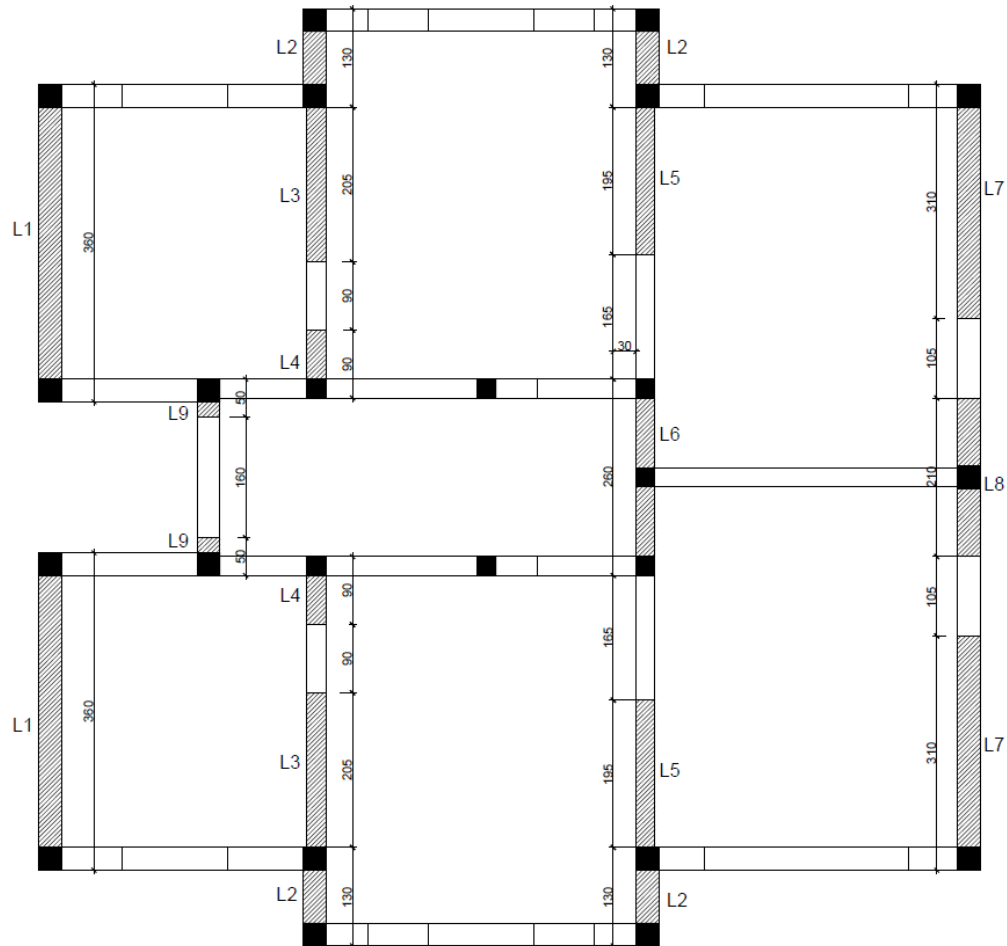


Fig. A.3. Distribuție pereți longitudinali

Tabelul A.2. Pereți longitudinali

Elem.	$l_w$ [m]	$t$ [m]	$\lambda=H/l_w$	Aria [m <sup>2</sup> ]	$R_{iL}$ [m]	$n_{elem}$	$n_e R_{iL}$ [m]	$\rho_{v,i}$
L1	3,60	0,30	2,358	1,080	0,00504	2	0,01008	0,2112
L2	1,30	0,30	6,531	0,390	0,00026	4	0,00106	0,0111
L3	2,05	0,25	4,141	0,513	0,00084	2	0,00169	0,0353
L4	0,90	0,25	9,433	0,225	0,00007	2	0,00015	0,0031
L5	1,95	0,25	4,354	0,488	0,00073	2	0,00146	0,0305
L6	2,60	0,25	3,265	0,650	0,00168	1	0,00168	0,0703
L7	3,10	0,30	2,739	0,930	0,00332	2	0,00664	0,1391
L8	2,10	0,30	4,043	0,630	0,00109	1	0,00109	0,0455
L9	0,50	0,30	16,980	0,150	0,00002	2	0,00003	0,0006
$R_L = \sum n_e R_{iT} = 0,02386$								

Poziția centrului de rigiditate este:

$$x_{CR}=6,085 \text{ m}$$

$$y_{CR}=6,20 \text{ m}$$

Momentul de inerție la torsiune se calculează cu relația:

$$J = \sum [R_{iT}(x_{CR} - x_i)^2 + R_{iL}(y_{CR} - y_i)^2]$$

Calculul este centralizat în tabelul A.3. pentru pereții de pe ambele direcții.

Tabelul A.3. Calcul moment de inerție la torsiune

	$ x_{CR}-x_i $	$ x_{CR}-x_i ^2$	$n_e$	$R_{iT}$	$ x_{CR}-x_i ^2 \times n_e \times R_{iT}$
<b>T1</b>	1,15	1,323	2	0,00016	0,0004
<b>T2</b>	1,15	1,323	2	0,00026	0,0007
<b>T3</b>	0,15	0,023	4	0,00007	0,0000
<b>T4</b>	0,15	0,023	2	0,00033	0,0000
<b>T5</b>	1,15	1,323	2	0,00009	0,0002
<b>T6</b>	1,15	1,323	6	0,00010	0,0008
<b>T7</b>	5,025	25,251	2	0,00160	0,0807
<b>T8</b>	5,025	25,251	2	0,00639	0,3229
<b>T9</b>	5,025	25,251	2	0,00002	0,0009
<b>T10</b>	6,2	38,440	1	0,00792	0,3043
				<b><math>\Sigma</math></b>	<b>0,7109</b>
	$ y_{CR}-y_i $	$ y_{CR}-y_i ^2$	$n_e$	$R_{iL}$	$ y_{CR}-y_i ^2 \times n_e \times R_{iL}$
<b>L1</b>	0,13	0,017	2	0,00504	0,0002
<b>L2</b>	3,37	11,357	2	0,00026	0,0060
<b>L2</b>	4,4	19,360	2	0,00026	0,0102
<b>L3</b>	3,395	11,526	2	0,00084	0,0194
<b>L4</b>	3,395	11,526	2	0,00007	0,0017
<b>L5</b>	4,425	19,581	2	0,00073	0,0285
<b>L6</b>	4,425	19,581	1	0,00168	0,0328
<b>L7</b>	0,15	0,023	2	0,00332	0,0001
<b>L8</b>	0,15	0,023	1	0,00109	0,0000
<b>L9</b>	1,97	3,881	2	0,00002	0,0001
				<b><math>\Sigma</math></b>	<b>0,0992</b>
<b><math>J=0,7109+0,0992=0,8101 \text{ m}^3</math></b>					

Excentricitatea structurală a clădirii:

$$e_{0x}=0 \text{ m}$$

$$e_{0y}=0,14 \text{ m}$$

Excentricitatea accidentală:

$$e_{0x}=\pm 0,05 \times 12,40 = \pm 0,62 \text{ m}$$

$$e_{0y}=\pm 0,05 \times 12,45 = \pm 0,6225 \text{ m}$$

Excentricitatea totală:

$$e_{0x}=\pm 0,62 \text{ m}$$

$$e_{0y}=\pm 0,7625 \text{ m}$$

Momentele de torsiune de ansamblu sunt:

$$M_{tx} = \pm 0,62 F_b$$

$$M_{ty} = \pm 0,7625 F_b, \text{ cu valori conform tabel A.4.}$$

Tabelul A.4. Momente de torsiune

F <sub>b</sub> [kN]	e [m]	M <sub>t</sub> [kNm]
493,97	0,62	306,26
	0,7625	376,65

### Repartizarea forței tăietoare

Componentele din mișcarea de translație  $F_{iT}$ ,  $F_{iL}$  sunt proporționale cu factorii  $p$ .

Componentele torsiunii de ansamblu se calculează cu relațiile:

$$\Delta F_{iT} = (x_{CR} - x_i) \cdot R_i(T) \cdot \xi$$

$$\Delta F_{iL} = (y_{CR} - y_i) \cdot R_i(L) \cdot \xi$$

Unde:

$$\xi = \frac{M_t}{K_{JR}}$$

**Transversal:**

$$\xi = \frac{306,26}{0,8101} = 378,05$$

Tabelul A.5. Repartizarea forței tăietoare la peretii transversali

Elem	n <sub>e</sub>	ρ	F <sub>iT</sub>	R <sub>iT</sub>	x <sub>CR</sub> - x <sub>i</sub>	R <sub>iT</sub>  x <sub>CR</sub> - x <sub>i</sub>	ΔF <sub>iT</sub>	F <sub>iT(tot)</sub>	Spor torsiune
<b>T1</b>	2	0,0061	2,998	0,00016	1,15	0,00019	0,07	3,07	+3%
<b>T2</b>	2	0,0100	4,925	0,00026	1,15	0,00030	0,12	5,04	+3%
<b>T3</b>	4	0,0028	1,390	0,00007	0,15	0,00001	0,00	1,39	+1%
<b>T4</b>	2	0,0124	6,134	0,00033	0,15	0,00005	0,02	6,15	+1%
<b>T5</b>	2	0,0033	1,649	0,00009	1,15	0,00010	0,04	1,69	+3%
<b>T6</b>	6	0,0039	1,938	0,00010	1,15	0,00012	0,05	1,98	+3%
<b>T7</b>	2	0,0602	29,750	0,00160	5,025	0,00803	3,04	32,79	+10%
<b>T8</b>	2	0,2409	118,992	0,00639	5,025	0,03213	12,15	131,14	+10%
<b>T9</b>	2	0,0006	0,315	0,00002	5,025	0,00009	0,03	0,35	+10%
<b>T10</b>	1	0,2982	147,322	0,00792	6,2	0,04907	18,55	165,87	+15%



**Longitudinal:**

$$\xi = \frac{376,65}{0,8101} = 464,95$$

Tabelul A.6. Repartizarea forței tăietoare la pereții longitudinali

Elem	n <sub>e</sub>	ρ	F <sub>IL</sub>	R <sub>IL</sub>	y <sub>CR</sub> -y <sub>i</sub>	R <sub>IL</sub>  y <sub>CR</sub> -y <sub>i</sub>	ΔF <sub>IL</sub>	F <sub>IL(tot)</sub>	Spor torsiune
<b>L1</b>	2	0,2112	104,31	0,00504	0,13	0,00066	0,30	104,01	+1%
<b>L2</b>	2	0,0111	5,48	0,00026	3,37	0,00089	0,41	5,89	+10%
<b>L2</b>	2	0,0111	5,48	0,00026	4,40	0,00116	0,54	6,02	+10%
<b>L3</b>	2	0,0353	17,45	0,00084	3,395	0,00286	1,33	18,78	+10%
<b>L4</b>	2	0,0031	1,53	0,00007	3,395	0,00025	0,12	1,65	+10%
<b>L5</b>	2	0,0305	15,08	0,00073	4,425	0,00322	1,50	16,58	+10%
<b>L6</b>	1	0,0703	34,72	0,00168	4,425	0,00742	3,45	38,17	+10%
<b>L7</b>	2	0,1391	68,72	0,00332	0,15	0,00050	0,23	68,95	+1%
<b>L8</b>	1	0,0455	22,47	0,00109	0,15	0,00016	0,08	22,54	+1%
<b>L9</b>	2	0,0006	0,32	0,00002	1,97	0,00003	0,01	0,33	+5%

Momentul de răsturnare la bază ( $M_{E,b}$ ) se calculează cu relația:

$$M_{E,b} = \sum F_i \cdot z_i$$

Dacă admitem deformata liniară pe înălțimea clădirii, rezultă formula:

$$M_{E,b} = \frac{3}{4} F_b \cdot H_{tot}$$

Rezultă valoarea:  $M_b = 3145,35$  kNm.

### A.2.6. Determinare încărcări verticale pe pereții structurali

Încărcările din planșeu, greutate proprie și exploatare se calculează ca forțe uniform distribuite, corespunzător ariilor aferente din planșeu, determinând reacțiunile planșeelor pe fiecare linie de pereți ( $p_1$  și  $p_2$ ), cu relațiile:

$$p_1 = \frac{q_{tot} \cdot l_1}{4}$$

$$p_2 = p_1 \cdot \left(2 - \frac{l_1}{l_2}\right)$$

Unde cu  $l_1$  și  $l_2$  s-au notat latura scurtă și latura lungă a plăcii.

Amplasarea ochiurilor de placă și a grupărilor de pereți se observă în Fig. A.4.

Pentru ochiul de placă de **tip 1**:

$$l_1 = 3,25 \text{ m}$$

$$l_2 = 3,60 \text{ m}$$

$$p_1 = 4,672 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = 5,126 \text{ kN/m}^2$$

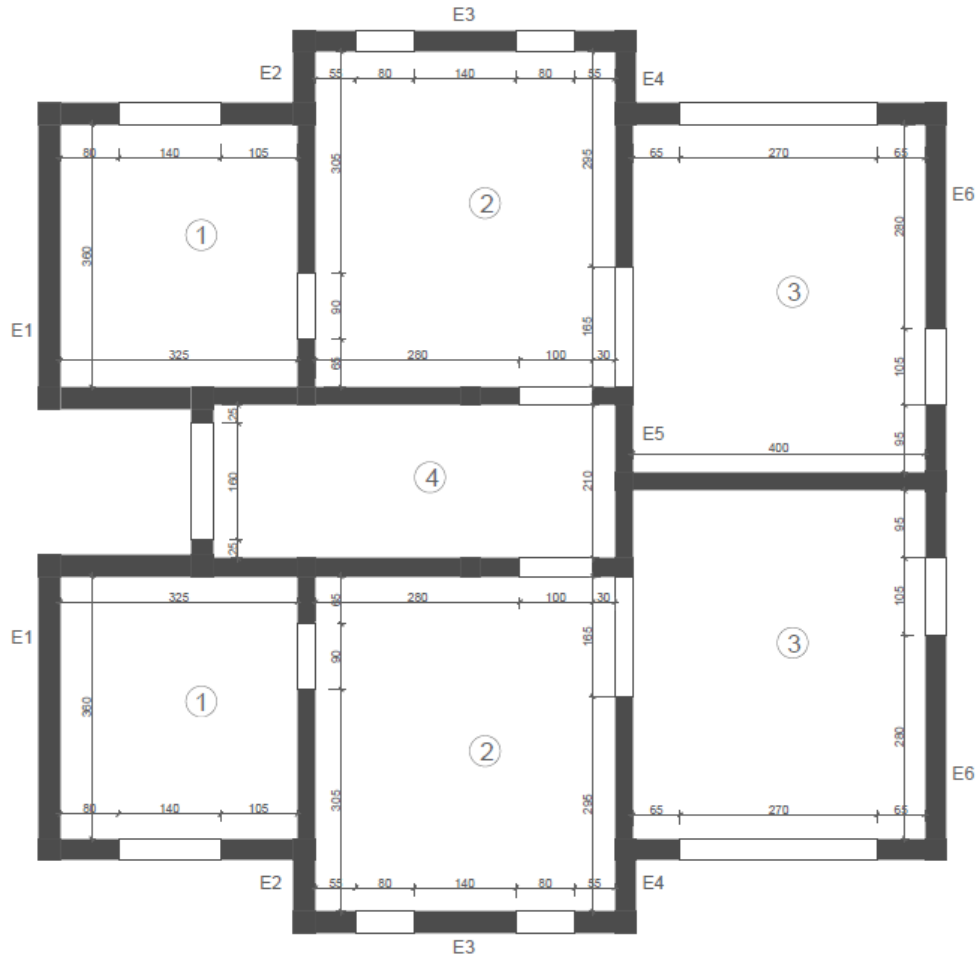


Fig. A.4. Ochiuri placă și grupare pereți

Pentru ochiul de placă de **tip 2**:

$$l_1=4,10 \text{ m}$$

$$l_2=4,60 \text{ m}$$

$$p_1=5,894 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2=6,535 \text{ kN/m}^2$$

Pentru ochiul de placă de **tip 3**:

$$l_1=4,00 \text{ m}$$

$$l_2=4,78 \text{ m}$$

$$p_1=5,750 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2=6,688 \text{ kN/m}^2$$

Pentru ochiul de placă de **tip 4**:

$$l_1=2,10 \text{ m}$$

$$l_2=5,50 \text{ m}$$

$$p_1=3,019 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2=4,885 \text{ kN/m}^2$$

Centralizarea eforturilor la compresiune pe grupuri de pereți se regăsește în tabelul A.7.

Tabelul A.7. Centralizare eforturi la compresiune

	n	Arie [m <sup>2</sup> ]	G <sub>planșeu</sub> [kN]	G <sub>zidărie</sub> [kN]	G <sub>nivel</sub> [kN]	G <sub>parter</sub> [kN]	G <sub>etaj1</sub> [kN]	G <sub>etaj2</sub> [kN]	σ <sub>par</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>oet1</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>oet2</sub> [N/m <sup>2</sup> ]
E 1	2	3,403	99,05	103,8	202,8 2	608,4 6	405,6 4	202,8 2	0,179	0,119	0,060
E 2	2	1,368	49,46	41,71	91,17	273,5 2	182,3 5	91,17	0,200	0,133	0,067
E 3	2	0,420	12,97	12,81	25,78	77,33	51,55	25,78	0,184	0,123	0,061
E 4	2	1,223	65,75	37,29	103,0 4	309,1 3	206,0 9	103,0 4	0,253	0,169	0,084
E 5	1	2,430	104,7	74,10	178,8 0	536,4 0	357,6 0	178,8 0	0,221	0,147	0,074
E 6	2	1,125	33,74	34,30	68,04	204,1 3	136,0 9	68,04	0,181	0,121	0,060

$$G_{\text{planșeu}, E1} = 1,50 \times 4,672 + 3,60 \times 5,126 + 3,25 \times 4,672 + 3,30 \times 5,894 + 1,05 \times 3,019 + 4,70 \times 4,885 + 1,10 \times (6,535 + 5,126) = 99,05 \text{ kN}$$

$$G_{\text{planșeu}, E2} = 0,95 \times 5,894 + 3,50 \times 6,535 + 2,50 \times 5,126 + 1,75 \times 4,672 = 49,46 \text{ kN}$$

$$G_{\text{planșeu}, E3} = 2,20 \times 5,894 = 12,97 \text{ kN}$$

$$G_{\text{planșeu}, E4} = 0,95 \times 5,894 + 4,60 \times 6,535 + 2,78 \times 6,688 + 2,00 \times 5,75 = 65,75 \text{ kN}$$

$$G_{\text{planșeu}, E5} = 0,80 \times (5,894 + 4,885) \times 2 + 2,10 \times (3,019 + 6,688) + 4,00 \times 5,75 \times 2 + 3,15 \times 6,688 = 104,70 \text{ kN}$$

$$G_{\text{planșeu}, E6} = 2,00 \times 5,75 + 3,325 \times 6,688 = 33,74 \text{ kN}$$

### A.2.7. Calcul momente încovoietoare capabile pereți

Momentele capabile pentru pereții din zidărie nearmată (ZNA) s-au calculat cu relațiile:

$$x_{Rd} = \frac{N_{Ed}}{0,75 \cdot f_d \cdot t} = 1,333 \cdot \frac{\sigma_d}{f_d} \cdot l_w = 1,333 \cdot s_d \cdot l_w$$

$$M_{Rd} = \frac{N_{Ed}}{2} \cdot (l_w - x_{Rd}) = \frac{N_{Ed} \cdot l_w}{2} \cdot (1 - 1,333 \cdot s_d)$$

Materialele au fost alese pentru a satisface cerințele minime din tabelul 8.2. din P100-1/2013:

- Rezistența la compresiune să fie cel puțin  $f_k = 3,25 \text{ N/mm}^2$

Pentru blocurile ceramice folosite în prezentul studiu de caz, s-au folosit Porotherm 30 cu  $f_k = 5,03 \text{ N/mm}^2$  și Porotherm 25 cu  $f_k = 3,33 \text{ N/mm}^2$ .

Rezistența la compresiune de proiectare, cu factorul de material  $\gamma_M = 1,90$  este:  $f_d = 2,65 \text{ N/mm}^2$  pentru Porotherm 30, respectiv  $f_d = 1,75 \text{ N/mm}^2$  pentru Porotherm 25.

Calculul forței axiale  $N_{Ed}$  pe secțiunea activă a peretelui:

$$N_{Ed} = \sigma_{oE} \cdot A$$

Forța tăietoare asociată cedării prin compresiune excentrică  $V_{Edu}$ , se calculează folosind relația:

$$V_{Edu} = \frac{M_{Rd}}{M_E} \cdot V_E$$

Valorile acestora s-au centralizat în tabelele A.8., A.9., A.10., A.11, A.12 și A.13.

Tabelul A.8. Momente încovoietoare capabile - Direcție transversală - Parter

Pereți	Grup pereți	$f_d$	$t$	$l_w$	$A$	$\sigma_{0parter}$	$S_d = \sigma_0/f_d$	$N_{Ed} = \sigma_0 \times A$	$X_{Rd}$	$M_{Rd}$
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[m]	[kNm]
T1	E1	2,65	0,30	1,10	0,33	0,179	0,474	59,07	0,696	11,95
T2	E2	2,65	0,30	1,30	0,39	0,200	0,530	78,00	0,918	14,88
T3	E2	2,65	0,30	0,85	0,255	0,200	0,530	51,00	0,601	6,36
T4	E3	2,65	0,30	1,40	0,42	0,184	0,488	77,28	0,910	18,94
T5	E4	2,65	0,30	0,90	0,27	0,253	0,670	68,31	0,804	3,27
T6	E6	2,65	0,30	0,95	0,285	0,181	0,480	51,59	0,607	8,84
T7	E1	2,65	0,30	2,40	0,72	0,179	0,474	128,88	1,518	56,87
T8	E1	1,75	0,25	4,20	1,05	0,179	0,313	187,95	1,754	229,89
T9	E5	1,75	0,25	0,55	0,138	0,221	0,387	30,50	0,284	4,06
T10	E5	1,75	0,25	4,55	1,138	0,221	0,387	251,50	2,346	277,19

Tabelul A.9. Momente încovoietoare capabile - Direcție transversală – Etaj 1

Pereți	Grup pereți	$f_d$	$t$	$l_w$	$A$	$\sigma_{0etaj1}$	$S_d = \sigma_0/f_d$	$N_{Ed} = \sigma_0 \times A$	$X_{Rd}$	$M_{Rd}$
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[m]	[kNm]
T1	E1	2,65	0,30	1,10	0,33	0,119	0,315	39,27	0,462	12,52
T2	E2	2,65	0,30	1,30	0,39	0,133	0,352	51,87	0,611	17,88
T3	E2	2,65	0,30	0,85	0,255	0,133	0,352	33,92	0,399	7,64
T4	E3	2,65	0,30	1,40	0,42	0,123	0,326	51,66	0,608	20,45
T5	E4	2,65	0,30	0,90	0,27	0,169	0,448	45,63	0,537	8,28
T6	E6	2,65	0,30	0,95	0,285	0,121	0,321	34,49	0,406	9,38
T7	E1	2,65	0,30	2,40	0,72	0,119	0,315	85,68	1,009	59,60
T8	E1	1,75	0,25	4,20	1,05	0,119	0,208	124,95	1,166	189,55
T9	E5	1,75	0,25	0,55	0,138	0,147	0,257	20,29	0,189	3,67
T10	E5	1,75	0,25	4,55	1,138	0,147	0,257	167,29	1,560	250,07

Tabelul A.10. Momente încovoietoare capabile - Direcție transversală – Etaj 2

Pereți	Grup pereți	$f_d$	$t$	$l_w$	$A$	$\sigma_{0etaj2}$	$S_d = \sigma_0/f_d$	$N_{Ed} = \sigma_0 \times A$	$X_{Rd}$	$M_{Rd}$
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[m]	[kNm]
T1	E1	2,65	0,30	1,10	0,33	0,06	0,159	19,80	0,233	8,58
T2	E2	2,65	0,30	1,30	0,39	0,067	0,178	26,13	0,308	12,96
T3	E2	2,65	0,30	0,85	0,255	0,067	0,178	17,09	0,201	5,54
T4	E3	2,65	0,30	1,40	0,42	0,061	0,162	25,62	0,302	14,07
T5	E4	2,65	0,30	0,90	0,27	0,084	0,223	22,68	0,267	7,18
T6	E6	2,65	0,30	0,95	0,285	0,06	0,159	17,10	0,201	6,40
T7	E1	2,65	0,30	2,40	0,72	0,06	0,159	43,20	0,509	40,85
T8	E1	1,75	0,25	4,20	1,05	0,06	0,105	63,00	0,588	113,78

T9	E5	1,75	0,25	0,55	0,138	0,074	0,130	10,21	0,095	2,32
T10	E5	1,75	0,25	4,55	1,138	0,074	0,130	84,21	0,785	158,51

Tabelul A.11. Momente încovoietoare capabile - Direcție longitudinală - Parter

Pere te	Grup pere ți	$f_d$	$t$	$l_w$	$A$	$\sigma_{0parter}$	$S_d =$ $\sigma_0/f_d$	$N_{Ed} =$ $\sigma_0 \times A$	$X_{Rd}$	$M_{Rd}$
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[m]	[kNm]
L1	E1	2,65	0,30	3,60	1,080	0,179	0,068	193,32	0,324	316,64
L2	E2	2,65	0,30	1,30	0,390	0,200	0,075	78,00	0,131	45,60
L3	E2	1,75	0,25	2,05	0,513	0,200	0,114	102,60	0,312	89,14
L4	E1	1,75	0,25	0,90	0,225	0,179	0,102	40,28	0,123	15,65
L5	E4	1,75	0,25	1,95	0,488	0,253	0,145	123,46	0,376	97,18
L6	E5	1,75	0,25	2,60	0,650	0,221	0,126	143,65	0,438	155,31
L7	E6	2,65	0,30	3,10	0,930	0,181	0,068	168,33	0,282	237,16
L8	E5	2,65	0,30	2,10	0,630	0,221	0,083	139,23	0,233	129,94
L9	E1	2,65	0,30	0,50	0,150	0,179	0,068	26,85	0,045	6,11

Tabelul A.12. Momente încovoietoare capabile - Direcție longitudinală - Etaj 1

Per ete	Gr p per eți	$f_d$	$t$	$l_w$	$A$	$\sigma_{0etaj1}$	$S_d =$ $\sigma_0/f_d$	$N_{Ed} =$ $\sigma_0 \times A$	$X_{Rd}$	$M_{Rd}$
		[N/m m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[N/m m <sup>2</sup> ]		[kN]	[m]	[kNm]
L1	E1	2,65	0,30	3,60	1,080	0,119	0,045	128,52	0,215	217,49
L2	E2	2,65	0,30	1,30	0,390	0,133	0,050	51,87	0,087	31,46
L3	E2	1,75	0,25	2,05	0,513	0,133	0,076	68,23	0,208	62,85
L4	E1	1,75	0,25	0,90	0,225	0,119	0,068	26,78	0,082	10,96
L5	E4	1,75	0,25	1,95	0,488	0,169	0,097	82,47	0,251	70,06
L6	E5	1,75	0,25	2,60	0,650	0,147	0,084	95,55	0,291	110,31
L7	E6	2,65	0,30	3,10	0,930	0,121	0,046	112,53	0,189	163,81
L8	E5	2,65	0,30	2,10	0,630	0,147	0,055	92,61	0,155	90,05
L9	E1	2,65	0,30	0,50	0,150	0,119	0,045	17,85	0,030	4,20

Tabelul A.13. Momente încovoietoare capabile - Direcție longitudinală - Etaj 2

Pere te	Grup pere ți	$f_d$	$t$	$l_w$	$A$	$\sigma_{0etaj2}$	$S_d =$ $\sigma_0/f_d$	$N_{Ed} =$ $\sigma_0 \times A$	$X_{Rd}$	$M_{Rd}$
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[m]	[kNm]
L1	E1	2,65	0,30	3,60	1,080	0,060	0,023	64,80	0,109	113,12
L2	E2	2,65	0,30	1,30	0,390	0,067	0,025	26,13	0,044	16,41
L3	E2	1,75	0,25	2,05	0,513	0,067	0,038	34,37	0,105	33,43
L4	E1	1,75	0,25	0,90	0,225	0,060	0,034	13,50	0,041	5,80
L5	E4	1,75	0,25	1,95	0,488	0,084	0,048	40,99	0,125	37,41
L6	E5	1,75	0,25	2,60	0,650	0,074	0,042	48,10	0,147	59,01
L7	E6	2,65	0,30	3,10	0,930	0,060	0,023	55,80	0,094	83,88
L8	E5	2,65	0,30	2,10	0,630	0,074	0,028	46,62	0,078	47,13
L9	E1	2,65	0,30	0,50	0,150	0,060	0,023	9,00	0,015	2,18

Momentele capabile corespunzătoare armăturii stâlpșorilor, se calculează conform CR6-2013, astfel:

Stâlp 1: 4Ø16 –  $f_{yd} = 300 \text{ N/mm}^2$  (PC52) –  $A_s = 8,04 \text{ mm}^2$

Stâlp 2: 4Ø14 –  $f_{yd}=300 \text{ N/mm}^2$  (PC52) –  $A_s=6,16 \text{ mm}^2$

Valorile acestora s-au centralizat în tabelele A.14., A.15., A.16., A.17, A.18 și A.19.

Tabelul A.14. Momente capabile stâlpișori - Direcție transversală - Parter

Perete	$A_{st}$	$l_s$	$M_{Rd}(A_s)$ $=l_s A_s f_{yd}$	$M_{Rd}(ZNA)$	$M_{Rd}(ZC)$	$V_E/M_E$	$V_{Edu}=M_{Rd}(ZC) \times V_E/M_E$
	[ $\text{cm}^2$ ]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[ $\text{m}^{-1}$ ]	[kN]
T1	8,04	0,95	229,14	11,95	241,09	0,156	37,61
T2	8,04	1,15	277,38	14,88	292,26	0,156	45,59
T3	8,04	0,70	168,84	6,36	175,20	0,156	27,33
T4	0,00	0,00	0,00	18,94	18,94	0,156	2,95
T5	8,04	0,75	180,90	3,27	184,17	0,156	28,73
T6	8,04	0,80	192,96	8,84	201,80	0,156	31,48
T7	8,04	2,10	506,52	56,87	563,39	0,156	87,89
T8	8,04	4,35	1049,22	229,89	1279,11	0,156	199,54
T9	6,16	0,43	79,46	4,06	83,52	0,156	13,03
T10	8,04	4,28	1032,34	277,19	1309,53	0,156	204,29

Tabelul A.15. Momente capabile stâlpișori - Direcție transversală - Etaj 1

Perete	$A_{st}$	$l_s$	$M_{Rd}(A_s)$ $=l_s A_s f_{yd}$	$M_{Rd}(ZNA)$	$M_{Rd}(ZC)$	$V_E/M_E$	$V_{Edu}=M_{Rd}(ZC) \times V_E/M_E$
	[ $\text{cm}^2$ ]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[ $\text{m}^{-1}$ ]	[kN]
T1	8,04	0,95	229,14	12,52	241,66	0,156	37,70
T2	8,04	1,15	277,38	17,88	295,26	0,156	46,06
T3	8,04	0,70	168,84	7,64	176,48	0,156	27,53
T4	0,00	0,00	0,00	20,45	20,45	0,156	3,19
T5	8,04	0,75	180,90	8,28	189,18	0,156	29,51
T6	8,04	0,80	192,96	9,38	202,34	0,156	31,57
T7	8,04	2,10	506,52	59,6	566,12	0,156	88,31
T8	8,04	4,35	1049,22	189,55	1238,77	0,156	193,25
T9	6,16	0,43	79,46	3,67	83,13	0,156	12,97
T10	8,04	4,28	1032,34	250,07	1282,41	0,156	200,06

Tabelul A.16. Momente capabile stâlpișori - Direcție transversală - Etaj 2

Perete	$A_{st}$	$l_s$	$M_{Rd}(A_s)$ $=l_s A_s f_{yd}$	$M_{Rd}(ZNA)$	$M_{Rd}(ZC)$	$V_E/M_E$	$V_{Edu}=M_{Rd}(ZC) \times V_E/M_E$
	[ $\text{cm}^2$ ]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[ $\text{m}^{-1}$ ]	[kN]
T1	8,04	0,95	229,14	8,58	237,72	0,156	37,08
T2	8,04	1,15	277,38	12,96	290,34	0,156	45,29
T3	8,04	0,70	168,84	5,54	174,38	0,156	27,20
T4	0,00	0,00	0,00	14,07	14,07	0,156	2,19
T5	8,04	0,75	180,90	7,18	188,08	0,156	29,34
T6	8,04	0,80	192,96	6,4	199,36	0,156	31,10
T7	8,04	2,10	506,52	40,85	547,37	0,156	85,39
T8	8,04	4,35	1049,22	113,78	1163,00	0,156	181,43
T9	6,16	0,43	79,46	2,32	81,78	0,156	12,76
T10	8,04	4,28	1032,34	158,51	1190,85	0,156	185,77

Tabelul A.17. Momente capabile stâlpișori - Direcție longitudinală - Parter

Perete	A <sub>st</sub>	l <sub>s</sub>	M <sub>Rd</sub> (A <sub>s</sub> ) =l <sub>s</sub> A <sub>s</sub> f <sub>yd</sub>	M <sub>Rd</sub> (ZNA)	M <sub>Rd</sub> (ZC)	V <sub>E</sub> /M <sub>E</sub>	V <sub>Edu</sub> =M <sub>Rd</sub> (ZC)xV <sub>E</sub> /M <sub>E</sub>
	[cm <sup>2</sup> ]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[m <sup>-1</sup> ]	[kN]
L1	8,04	3,90	940,68	316,64	1257,32	0,156	196,14
L2	8,04	1,00	241,20	45,6	286,80	0,156	44,74
L3	8,04	2,20	530,64	89,14	619,78	0,156	96,69
L4	6,16	0,78	144,14	15,65	159,79	0,156	24,93
L5	8,04	2,10	506,52	97,18	603,70	0,156	94,18
L6	6,16	2,35	434,28	155,31	589,59	0,156	91,98
L7	8,04	2,95	711,54	237,16	948,70	0,156	148,00
L8	8,04	2,10	506,52	129,94	636,46	0,156	99,29
L9	8,04	0,38	91,66	6,11	97,77	0,156	15,25

Tabelul A.18. Momente capabile stâlpișori - Direcție longitudinală - Etaj 1

Perete	A <sub>st</sub>	l <sub>s</sub>	M <sub>Rd</sub> (A <sub>s</sub> ) =l <sub>s</sub> A <sub>s</sub> f <sub>yd</sub>	M <sub>Rd</sub> (ZNA)	M <sub>Rd</sub> (ZC)	V <sub>E</sub> /M <sub>E</sub>	V <sub>Edu</sub> =M <sub>Rd</sub> (ZC)xV <sub>E</sub> /M <sub>E</sub>
	[cm <sup>2</sup> ]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[m <sup>-1</sup> ]	[kN]
L1	8,04	3,90	940,68	217,49	1158,17	0,156	180,67
L2	8,04	1,00	241,20	31,46	272,66	0,156	42,53
L3	8,04	2,20	530,64	62,85	593,49	0,156	92,58
L4	6,16	0,78	144,14	10,96	155,10	0,156	24,20
L5	8,04	2,10	506,52	70,06	576,58	0,156	89,95
L6	6,16	2,35	434,28	110,31	544,59	0,156	84,96
L7	8,04	2,95	711,54	163,81	875,35	0,156	136,55
L8	8,04	2,10	506,52	90,05	596,57	0,156	93,06
L9	8,04	0,38	91,66	4,2	95,86	0,156	14,95

Tabelul A.19. Momente capabile stâlpișori - Direcție longitudinală - Etaj 2

Perete	A <sub>st</sub>	l <sub>s</sub>	M <sub>Rd</sub> (A <sub>s</sub> ) =l <sub>s</sub> A <sub>s</sub> f <sub>yd</sub>	M <sub>Rd</sub> (ZNA)	M <sub>Rd</sub> (ZC)	V <sub>E</sub> /M <sub>E</sub>	V <sub>Edu</sub> =M <sub>Rd</sub> (ZC)xV <sub>E</sub> /M <sub>E</sub>
	[cm <sup>2</sup> ]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[m <sup>-1</sup> ]	[kN]
L1	8,04	3,90	940,68	113,12	1053,80	0,156	164,39
L2	8,04	1,00	241,20	16,41	257,61	0,156	40,19
L3	8,04	2,20	530,64	33,43	564,07	0,156	87,99
L4	6,16	0,78	144,14	5,8	149,94	0,156	23,39
L5	8,04	2,10	506,52	37,41	543,93	0,156	84,85
L6	6,16	2,35	434,28	59,01	493,29	0,156	76,95
L7	8,04	2,95	711,54	83,88	795,42	0,156	124,09
L8	8,04	2,10	506,52	47,13	553,65	0,156	86,37
L9	8,04	0,38	91,66	2,18	93,84	0,156	14,64

### A.2.8. Verificarea siguranței la compresiune+încovoiere

Condiția de siguranță la compresiune și încovoiere, conform CR6 este:

$$M_{Rd} \geq M_{Eb}$$

Comparația celor două este redată în tabelul A.20. și tabelul A.21.

Tabelul A.20. Verificare siguranță compresiune+încovoiere - Direcție transversală

Elem.	n <sub>e</sub>	Parter	
		M <sub>Rd</sub>	M <sub>Eb</sub>
		[kNm]	[kNm]
T1	2	241,09	19,67
T2	2	292,26	32,31
T3	4	175,20	8,94
T5	2	184,17	10,82
T6	6	201,80	12,71
T7	2	563,39	210,16
T8	2	1279,11	840,59
T9	2	83,52	2,23
T10	1	1309,53	1063,26

Tabelul A.21. Verificare siguranță compresiune+încovoiere - Direcție longitudinală

Elem.	n <sub>e</sub>	Parter	
		M <sub>Rd</sub>	M <sub>Eb</sub>
		[kNm]	[kNm]
L1	2	1053,80	666,69
L2	4	257,61	76,35
L3	2	564,07	120,40
L4	2	149,94	10,54
L5	2	543,93	106,28
L6	1	493,29	244,68
L7	2	795,42	441,96
L8	1	553,65	144,50
L9	2	93,84	2,12

### Concluzii:

Rezistența structurii la compresiune+încovoiere este satisfăcută pentru ansamblul clădirii pe ambele direcții.

## A.2.9. Calculul rezistențelor de proiectare la forță tăietoare ale pereților structurali

### A.2.9.1. Mecanismul de cedare prin lunecare în rost orizontal

Rezistența la lunecare în rost orizontal, de proiectare, a pereților din zidărie confinată  $V_{Rd}$ , este însumarea dintre:

$$V_{Rd} = V^*_{Rd1} + V_{Rd2} + V_{Rsc}$$

Unde:

- Rezistența la lunecare în rost orizontal a panoului din zidărie nearmată, corectată pentru a luat în calcul efectul elementelor de confinare  $V^*_{Rd1}$ ;
- Rezistența la forfecare, de proiectare, corespunzătoare armăturii din stâlpișorul de la extremitatea comprimată a panoului de zidărie  $V_{Rd2}$ ;
- Rezistența la forfecare, de proiectare, a stâlpișorului comprimat  $V_{Rsc}$ ;



Rezistența  $V^*_{Rd1}$  s-a calculat cu relația:

$$V^*_{Rd,i} = \frac{1}{\gamma_M} f_{vk0} \cdot t \cdot l_{ad} + 0,4 \cdot N^*_{Ed}$$

În care  $N^*_{Ed}$ , este:

$$N^*_{Ed} = N_{Ed} + 0,8 \cdot V_{Ed} \frac{h_p}{l_p}$$

Rezistența armăturii la forță tăietoare, din stâlpișorul comprimat, se calculează conform CR6-2013, rezultând:

Stâlpișor 1: 4Ø16,  $f_{yd}=300$  N/mm<sup>2</sup> și etrieri Ø8,  $f_{yd}=210$  N/mm<sup>2</sup>,  $\lambda_c=0,200$

$$V_{Rd2}(\text{St.1})=0,20A_{sc}f_{yd}=0,20 \times 804 \times 300=48,24 \text{ kN}$$

Stâlpișor 2: 4Ø14,  $f_{yd}=300$  N/mm<sup>2</sup> și etrieri Ø8,  $f_{yd}=210$  N/mm<sup>2</sup>,  $\lambda_c=0,250$

$$V_{Rd2}(\text{St.2})=0,25A_{sc}f_{yd}=0,25 \times 616 \times 300=46,20 \text{ kN}$$

Rezistența la forfecare a betonului din stâlpișorului comprimat este:

Stâlpișor 1:

$$V_{Rsc}=A_{bsc}Xf_{c,vd}=300 \times 300 \times 0,22=19,80 \text{ kN}$$

Stâlpișor 2:

$$V_{Rsc}=A_{bsc}Xf_{c,vd}=250 \times 250 \times 0,22=13,75 \text{ kN}$$

unde:

$A_{bsc}$  este aria betonului din stâlpișorul comprimat

$f_{c,vd}$  este rezistența unitară de proiectare a betonului din stâlpișorul comprimat (EC6-tabelul 3.2.)

$$f_{c,vd}=f_{cvk}/\gamma_M=0,33/1,5=0,22 \text{ N/mm}^2$$

Rezultă rezistența totală la forfecare a stâlpișorului:

$$V_{Rstc}(\text{St.1})=V_{Rd2}+V_{Rsc}=48,24+19,80=68,04 \text{ kN}$$

$$V_{Rstc}(\text{St.2})=V_{Rd2}+V_{Rsc}=46,20+13,75=59,95 \text{ kN}$$

Se dezvoltă calculele pentru toți montanții de pe cele două direcții, la fiecare nivel, în Tabelul A.22, Tabelul A.23, Tabelul A.24, Tabelul A.25, Tabelul A.26 și Tabelul A.27.

Tabelul A.22.  $V_{Rd}(ZC)$  – Direcție transversală – Parter

Elem	$V_{Ed}$	$N_{Ed}$	$N^*_{Ed}$	$l_w$	$l_{ad}$	$V(\mu)$	$V_{ad}$	$V^*_{Rd1}$	$V_{Rstc}$	$V_{Rd}(ZC)$
	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
T1	37,61	59,07	136,48	1,1	0	54,59	0	54,59	68,04	122,63
T2	45,59	78	157,40	1,3	0	62,96	0	62,96	68,04	131,00
T3	27,33	51	123,79	0,85	0	49,52	0	49,52	68,04	117,56
T4	2,95	77,28	82,05	1,4	0	32,82	0	32,82	0	32,82
T5	28,73	68,31	140,58	0,9	0	56,23	0	56,23	68,04	124,27
T6	31,48	51,59	126,61	0,95	0	50,64	0	50,64	68,04	118,68

T7	87,89	128,88	211,79	2,4	0	84,72	0	84,72	68,04	152,76
T8	199,54	187,95	295,51	4,2	0	118,2	0	118,2	68,04	186,24
T9	13,03	30,5	84,14	0,55	0	33,65	0	33,65	59,95	93,60
T10	204,29	251,5	353,15	4,55	0	141,3	0	141,3	68,04	209,30

Total: 3078,3 kN

Tabelul A.23.  $V_{Rd}(ZC)$  – Direcție transversală – Etaj 1

Elem	$V_{Ed}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]	$N^*_{Ed}$ [kN]	$l_w$ [m]	$l_{ad}$ [m]	$V(\mu)$ [kN]	$V_{ad}$ [kN]	$V^*_{Rd1}$ [kN]	$V_{Rstc}$ [kN]	$V_{Rd}(ZC)$ [kN]
T1	37,7	39,27	116,86	1,1	0	46,75	0	46,75	68,04	114,79
T2	46,06	51,87	132,09	1,3	0	52,83	0	52,83	68,04	120,87
T3	27,53	33,92	107,25	0,85	0	42,90	0	42,90	68,04	110,94
T4	3,19	51,66	56,82	1,4	0	22,73	0	22,73	0	22,73
T5	29,51	45,63	119,86	0,9	0	47,95	0	47,95	68,04	115,99
T6	31,57	34,49	109,73	0,95	0	43,89	0	43,89	68,04	111,93
T7	88,31	85,68	168,99	2,4	0	67,59	0	67,59	68,04	135,63
T8	193,25	124,95	229,12	4,2	0	91,65	0	91,65	68,04	159,69
T9	12,97	20,29	73,68	0,55	0	29,47	0	29,47	59,95	89,42
T10	200,06	167,29	266,84	4,55	0	106,7	0	106,7	68,04	174,77

Total: 2808,3 kN

Tabelul A.24.  $V_{Rd}(ZC)$  – Direcție transversală – Etaj 2

Elem	$V_{Ed}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]	$N^*_{Ed}$ [kN]	$l_w$ [m]	$l_{ad}$ [m]	$V(\mu)$ [kN]	$V_{ad}$ [kN]	$V^*_{Rd1}$ [kN]	$V_{Rstc}$ [kN]	$V_{Rd}(ZC)$ [kN]
T1	37,08	19,8	96,12	1,1	0	38,45	0	38,45	68,04	106,49
T2	45,29	26,13	105,00	1,3	0	42,00	0	42,00	68,04	110,04
T3	27,2	17,09	89,54	0,85	0	35,82	0	35,82	68,04	103,86
T4	2,19	25,62	29,16	1,4	0	11,66	0	11,66	0	11,66
T5	29,34	22,68	96,49	0,9	0	38,59	0	38,59	68,04	106,63
T6	31,1	17,1	91,22	0,95	0	36,49	0	36,49	68,04	104,53
T7	85,39	43,2	123,75	2,4	0	49,50	0	49,50	68,04	117,54
T8	181,43	63	160,80	4,2	0	64,32	0	64,32	68,04	132,36
T9	12,76	10,21	62,73	0,55	0	25,09	0	25,09	59,95	85,04
T10	185,77	84,21	176,65	4,55	0	70,66	0	70,66	68,04	138,70

Total: 2520,8 kN

Tabelul A.25.  $V_{Rd}(ZC)$  – Direcție longitudinală – Parter

Elem	$V_{Ed}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]	$N^*_{Ed}$ [kN]	$l_w$ [m]	$l_{ad}$ [m]	$V(\mu)$ [kN]	$V_{ad}$ [kN]	$V^*_{Rd1}$ [kN]	$V_{Rstc}$ [kN]	$V_{Rd}(ZC)$ [kN]
L1	196,14	193,32	316,67	3,6	0	126,7	0	126,7	68,04	194,71
L2	44,74	78	155,92	1,3	0	62,37	0	62,37	68,04	130,41
L3	96,69	102,6	209,38	2,05	0	83,75	0	83,75	68,04	151,79
L4	24,93	40,28	102,99	0,9	0	41,20	0	41,20	59,95	101,15
L5	94,18	123,46	232,81	1,95	0	93,12	0	93,12	68,04	161,16
L6	91,98	143,65	223,74	2,6	0	89,50	0	89,50	59,95	149,45
L7	148	168,33	276,42	3,1	0	110,6	0	110,6	68,04	178,61
L8	99,29	139,23	246,27	2,1	0	98,51	0	98,51	68,04	166,55
L9	15,25	26,85	95,90	0,5	0	38,36	0	38,36	68,04	106,40

Total: 2625,3 kN

Tabelul A.26.  $V_{Rd}(ZC)$  – Direcție longitudinală – Etaj 1

Elem	$V_{Ed}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]	$N^*_{Ed}$ [kN]	$l_w$ [m]	$l_{ad}$ [m]	$V(\mu)$ [kN]	$V_{ad}$ [kN]	$V^*_{Rd1}$ [kN]	$V_{Rstc}$ [kN]	$V_{Rd}(ZC)$ [kN]
L1	180,67	128,52	242,14	3,6	0	96,86	0	96,86	68,04	164,90
L2	42,53	51,87	125,94	1,3	0	50,38	0	50,38	68,04	118,42
L3	92,58	68,23	170,47	2,05	0	68,19	0	68,19	68,04	136,23

L4	24,2	26,78	87,66	0,9	0	35,06	0	35,06	59,95	95,01
L5	89,95	82,47	186,90	1,95	0	74,76	0	74,76	68,04	142,80
L6	84,96	95,55	169,53	2,6	0	67,81	0	67,81	59,95	127,76
L7	136,55	112,53	212,26	3,1	0	84,90	0	84,90	68,04	152,94
L8	93,06	92,61	192,94	2,1	0	77,18	0	77,18	68,04	145,22
L9	14,95	17,85	85,54	0,5	0	34,22	0	34,22	68,04	102,26

Total: 2334,9 kN

Tabelul A.27.  $V_{Rd}(ZC)$  – Direcție longitudinală– Etaj 2

Elem	$V_{Ed}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]	$N^*_{Ed}$ [kN]	$l_w$ [m]	$l_{ad}$ [m]	$V(\mu)$ [kN]	$V_{ad}$ [kN]	$V^*_{Rd1}$ [kN]	$V_{Rstc}$ [kN]	$V_{Rd}(ZC)$ [kN]
L1	164,39	64,8	168,18	3,6	0	67,27	0	67,27	68,04	135,31
L2	40,19	26,13	96,12	1,3	0	38,45	0	38,45	68,04	106,49
L3	87,99	34,37	131,55	2,05	0	52,62	0	52,62	68,04	120,66
L4	23,39	13,5	72,34	0,9	0	28,94	0	28,94	59,95	88,89
L5	84,85	40,99	139,50	1,95	0	55,80	0	55,80	68,04	123,84
L6	76,95	48,1	115,11	2,6	0	46,04	0	46,04	59,95	105,99
L7	124,09	55,8	146,43	3,1	0	58,57	0	58,57	68,04	126,61
L8	86,37	46,62	139,74	2,1	0	55,89	0	55,89	68,04	123,93
L9	14,64	9	75,29	0,5	0	30,12	0	30,12	68,04	98,16

Total: 2042,8 kN

### A.2.9.2. Mecanismul de cedare pe secțiune înclinată

Rezistența de proiectare la cedare pe secțiune înclinată a pereților din zidărie confinată,  $V_{Rd}$ , se calculează cu relația:

$$V_{Rd} = V^*_{Rd1} + V_{Rd2} + V_{Rsc}$$

unde:

$V^*_{Rd1}$  este rezistența de proiectare, la cedare pe secțiune înclinată a zidăriei simple, corectată, pentru a ține cont de efectul interacțiunii cu elementele de confinare;

$V_{Rd2}$  este rezistența la forfecare corespunzătoare armăturii din stâlpișorul din zona comprimată a montantului;

$V_{Rsc}$  este rezistența de proiectare la forfecare a stâlpișorului din zona comprimată.

Valorile  $V_{Rd2}$  și  $V_{Rsc}$  s-au determinat anterior, fiind identice pentru cele două mecanisme de cedare.

Rezistența caracteristică la întindere a zidăriei, s-a calculat astfel:

$$f_{bt} = 0,035f_b, \text{ conform CR6-2013.}$$

Rezistența medie la compresiune, pentru blocurile ceramice Porotherm 25 și

Porotherm 30 este:

$$f_{b,med} = 10 \text{ N/mm}^2$$

Rezistența standardizată la compresiune pentru blocurile ceramice

Porotherm 25 și Porotherm 30 este:

$$f_b = 11,38 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bt} = 0,035 \times 11,38 = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

Rezistența unitară caracteristică de cedare pe secțiuni înclinate s-a calculat cu relația:

$$f_{vk,i} = 0,22 \cdot f_{bt} \cdot \sqrt{1 + 5 \frac{\sigma_d^*}{f_{bt}}} = 0,088 \cdot \sqrt{1 + 12,5 \sigma_d^*}$$

Rezistența de proiectare la cedare pe secțiune înclinată se calculează cu relația:

$$V_{Rd,i} = \frac{A_w}{b} \cdot \frac{f_{vk,i}}{\gamma_M} = \frac{A_w}{b} \cdot f_{vd,i}$$

unde:

b – coeficient de corecție care ține seama de raportul dimensiunilor montantului din zidărie;

b=1,5 pentru  $h/l_w \geq 1,5$

b=1,0 pentru  $h/l_s < 1,0$

b=h/l<sub>w</sub> pentru  $1,0 < h/l_w < 1,5$ .

h=H<sub>tot</sub>, pentru șpaletii care lucrează în consolă.

Valorile V<sub>Rd,I</sub> și valorile rezistențelor pereților din zidărie sunt calculate în Tabelul A.28, Tabelul A.29, Tabelul A.30, Tabelul A.31, Tabelul A.32 și Tabelul A.33.

Tabelul A.28. V<sub>Rd,i</sub>(ZC) – Direcție transversală – Parter

Elem	n <sub>e</sub>	Arie	N* <sub>Ed</sub>	σ <sub>d</sub> <sup>*</sup>	f <sub>vd,i</sub>	b	V* <sub>Rd,i</sub>	V <sub>Rstc</sub>	V <sub>Rd,i</sub> (ZC)
		[m <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[kN]	[kN]
T1	2	0,33	136,48	0,414	0,1150	1,5	25,31	68,04	93,35
T2	2	0,39	157,40	0,404	0,1139	1,5	29,61	68,04	97,65
T3	4	0,255	123,79	0,485	0,1231	1,5	20,93	68,04	88,97
T4	2	0,42	82,05	0,195	0,0859	1,5	24,06	0	24,06
T5	2	0,27	140,58	0,521	0,1269	1,5	22,84	68,04	90,88
T6	6	0,285	126,61	0,444	0,1186	1,5	22,53	68,04	90,57
T7	2	0,72	211,79	0,294	0,1002	1,5	48,08	68,04	116,12
T8	2	1,05	295,51	0,281	0,0984	1,5	68,91	68,04	136,95
T9	2	0,138	84,14	0,610	0,1360	1,5	12,51	59,95	72,46
T10	1	1,138	353,15	0,310	0,1023	1,5	77,62	68,04	145,66

Total: 2307,9 kN

Tabelul A.29. V<sub>Rd,i</sub>(ZC) – Direcție transversală – Etaj 1

Elem	n <sub>e</sub>	Arie	N* <sub>Ed</sub>	σ <sub>d</sub> <sup>*</sup>	f <sub>vd,i</sub>	b	V* <sub>Rd,i</sub>	V <sub>Rstc</sub>	V <sub>Rd,i</sub> (ZC)
		[m <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[kN]	[kN]
T1	2	0,33	116,86	0,354	0,1079	1,5	23,74	68,04	91,78
T2	2	0,39	132,09	0,339	0,1060	1,5	27,55	68,04	95,59
T3	4	0,255	107,25	0,421	0,1159	1,5	19,70	68,04	87,74
T4	2	0,42	56,82	0,135	0,0760	1,5	21,27	0	21,27
T5	2	0,27	119,86	0,444	0,1185	1,5	21,33	68,04	89,37
T6	6	0,285	109,73	0,385	0,1117	1,5	21,22	68,04	89,26
T7	2	0,72	168,99	0,235	0,0919	1,5	44,09	68,04	112,13
T8	2	1,05	229,12	0,218	0,0894	1,5	62,60	68,04	130,64
T9	2	0,138	73,68	0,534	0,1283	1,5	11,80	59,95	71,75
T10	1	1,138	266,84	0,234	0,0918	1,5	69,67	68,04	137,71

Total: 2249,3 kN

Tabelul A.30.  $V_{Rd,i}(ZC)$  – Direcție transversală – Etaj 2

Elem	$n_e$	Arie	$N^*_{Ed}$	$\sigma^*_a$	$f_{vdi}$	b	$V^*_{Rd,i}$	$V_{Rstc}$	$V_{Rd,i}(ZC)$
		[m <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[kN]	[kN]
T1	2	0,33	96,12	0,291	0,0998	1,5	21,95	68,04	89,99
T2	2	0,39	105,00	0,269	0,0968	1,5	25,16	68,04	93,20
T3	4	0,255	89,54	0,351	0,1075	1,5	18,28	68,04	86,32
T4	2	0,42	29,16	0,069	0,0633	1,5	17,72	0	17,72
T5	2	0,27	96,49	0,357	0,1083	1,5	19,49	68,04	87,53
T6	6	0,285	91,22	0,320	0,1036	1,5	19,68	68,04	87,72
T7	2	0,72	123,75	0,172	0,0822	1,5	39,45	68,04	107,49
T8	2	1,05	160,80	0,153	0,0791	1,5	55,35	68,04	123,39
T9	2	0,138	62,73	0,455	0,1197	1,5	11,01	59,95	70,96
T10	1	1,138	176,65	0,155	0,0794	1,5	60,25	68,04	128,29

Total: 2180,5 kN

Tabelul A.31.  $V_{Rd,i}(ZC)$  – Direcție longitudinală – Parter

Elem	$n_e$	Arie	$N^*_{Ed}$	$\sigma^*_a$	$f_{vdi}$	b	$V^*_{Rd,i}$	$V_{Rstc}$	$V_{Rd,i}(ZC)$
		[m <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[kN]	[kN]
L1	2	1,08	316,67	0,960	0,1670	1,5	36,73	68,04	104,77
L2	4	0,39	155,92	0,400	0,1134	1,5	29,49	68,04	97,53
L3	2	0,513	209,38	0,821	0,1554	1,5	26,43	68,04	94,47
L4	2	0,225	102,99	0,245	0,0934	1,5	26,15	59,95	86,10
L5	2	0,488	232,81	0,862	0,1590	1,5	28,61	68,04	96,65
L6	1	0,65	223,74	0,785	0,1523	1,5	28,94	59,95	88,89
L7	2	0,93	276,42	0,384	0,1115	1,5	53,54	68,04	121,58
L8	1	0,63	246,27	0,235	0,0918	1,5	64,29	68,04	132,33
L9	2	0,15	95,90	0,695	0,1441	1,5	13,26	68,04	81,30

Total: 2351,7 kN

Tabelul A.32.  $V_{Rd,i}(ZC)$  – Direcție longitudinală – Etaj 1

Elem	$n_e$	Arie	$N^*_{Ed}$	$\sigma^*_a$	$f_{vdi}$	b	$V^*_{Rd,i}$	$V_{Rstc}$	$V_{Rd,i}(ZC)$
		[m <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[kN]	[kN]
L1	2	1,08	242,14	0,734	0,1477	1,5	32,50	68,04	100,54
L2	4	0,39	125,94	0,323	0,1039	1,5	27,03	68,04	95,07
L3	2	0,513	170,47	0,669	0,1417	1,5	24,08	68,04	92,12
L4	2	0,225	87,66	0,209	0,0880	1,5	24,64	59,95	84,59
L5	2	0,488	186,90	0,692	0,1439	1,5	25,90	68,04	93,94
L6	1	0,65	169,53	0,595	0,1345	1,5	25,56	59,95	85,51
L7	2	0,93	212,26	0,295	0,1003	1,5	48,12	68,04	116,16
L8	1	0,63	192,94	0,184	0,0841	1,5	58,87	68,04	126,91
L9	2	0,15	85,54	0,620	0,1370	1,5	12,60	68,04	80,64

Total: 2277,2 kN

Tabelul A.33.  $V_{Rd,i}(ZC)$  – Direcție longitudinală – Etaj 2

Elem	$n_e$	Arie	$N^*_{Ed}$	$\sigma^*_a$	$f_{rd,i}$	b	$V^*_{Rd,i}$	$V_{Rstc}$	$V_{Rd,i}(ZC)$
		[m <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kN]	[kN]	[kN]
L1	2	1,08	168,18	0,510	0,1257	1,5	27,66	68,04	95,70
L2	4	0,39	96,12	0,246	0,0936	1,5	24,33	68,04	92,37
L3	2	0,513	131,55	0,516	0,1264	1,5	21,49	68,04	89,53
L4	2	0,225	72,34	0,172	0,0822	1,5	23,03	59,95	82,98
L5	2	0,488	139,50	0,517	0,1265	1,5	22,77	68,04	90,81
L6	1	0,65	115,11	0,404	0,1139	1,5	21,64	59,95	81,59
L7	2	0,93	146,43	0,203	0,0872	1,5	41,84	68,04	109,88
L8	1	0,63	139,74	0,133	0,0756	1,5	52,91	68,04	120,95
L9	2	0,15	75,29	0,546	0,1295	1,5	11,92	68,04	79,96

Total: 2193,0 kN

**A.2.9.3. Forța tăietoare asociată armării în rosturile horizontale**

Forța tăietoare asociată armării în rosturile horizontale se determină cu relația:

$$V_{Rd3} = 0,8 \cdot l_w \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd}$$

Pentru zidăriile cu blocuri ceramice cu goluri verticale, tip Porotherm, armarea se realizează din Ø8 OB37, cu  $f_{yd}=210$  N/mm<sup>2</sup> ( $A_{sw}=100,48$  mm<sup>2</sup>) la două asize,  $s=2 \times 250=500$  mm.

$$V_{Rd}(ZC) = \min(V_{Rd,1}; V_{Rd,i})$$

$$V_{Rd}(ZC+AR) = V_{Rd}(ZC) + V_{Rd,3}$$

Rezultatele sunt centralizate în Tabelele A.34-A.39. pentru direcția transversală, respectiv cea longitudinală.

Tabelul A.34.  $V_{Rd}(ZC+AR)$  – Direcție transversală – Parter

Elem	$V_{Rd,1}$	$V_{Rd,i}$	$l_w$	$V_{Rd3}$	$V_{Rd}(ZC+AR)$
	[kN]	[kN]	[m]	[kN]	[kN]
T1	122,63	93,35	1,1	37,14	130,49
T2	131,00	97,65	1,3	43,89	141,54
T3	117,56	88,97	0,85	28,70	117,67
T4	32,82	24,06	1,4	47,26	71,32
T5	124,27	90,88	0,9	30,38	121,26
T6	118,68	90,57	0,95	32,07	122,64
T7	152,76	116,12	2,4	81,02	197,14
T8	186,24	136,95	4,2	141,79	278,74
T9	93,60	72,46	0,55	18,57	91,03
T10	209,30	145,66	4,55	153,61	299,27
<b>TOTAL</b>					<b>1571,10</b>

Tabelul A.35.  $V_{Rd}(ZC+AR)$  – Direcție transversală – Etaj 1

Elem	$V_{Rd,I}$	$V_{Rd,i}$	$l_w$	$V_{Rd3}$	$V_{Rd}(ZC+AR)$
	[kN]	[kN]	[m]	[kN]	[kN]
T1	114,79	91,78	1,1	37,14	128,92
T2	120,87	95,59	1,3	43,89	139,48
T3	110,94	87,74	0,85	28,70	116,44
T4	22,73	21,27	1,4	47,26	68,53
T5	115,99	89,37	0,9	30,38	119,75
T6	111,93	89,26	0,95	32,07	121,33
T7	135,63	112,13	2,4	81,02	193,15
T8	159,69	130,64	4,2	141,79	272,43
T9	89,42	71,75	0,55	18,57	90,32
T10	174,77	137,71	4,55	153,61	291,32
<b>TOTAL</b>					<b>1541,67</b>

Tabelul A.36.  $V_{Rd}(ZC+AR)$  – Direcție transversală – Etaj 2

Elem	$V_{Rd,I}$	$V_{Rd,i}$	$l_w$	$V_{Rd3}$	$V_{Rd}(ZC+AR)$
	[kN]	[kN]	[m]	[kN]	[kN]
T1	106,49	89,99	1,1	37,14	127,13
T2	110,04	93,20	1,3	43,89	137,09
T3	103,86	86,32	0,85	28,70	115,02
T4	11,66	17,72	1,4	47,26	64,98
T5	106,63	87,53	0,9	30,38	117,91
T6	104,53	87,72	0,95	32,07	119,79
T7	117,54	107,49	2,4	81,02	188,51
T8	132,36	123,39	4,2	141,79	265,18
T9	85,04	70,96	0,55	18,57	89,53
T10	138,70	128,29	4,55	153,61	281,90
<b>TOTAL</b>					<b>1507,04</b>

Tabelul A.37.  $V_{Rd}(ZC+AR)$  – Direcție longitudinală – Parter

Elem	$V_{Rd,I}$	$V_{Rd,i}$	$l_w$	$V_{Rd3}$	$V_{Rd}(ZC+AR)$
	[kN]	[kN]	[m]	[kN]	[kN]
L1	194,71	104,77	3,6	121,54	226,31
L2	130,41	97,53	1,3	43,89	141,42
L3	151,79	94,47	2,05	69,21	163,68
L4	101,15	86,10	0,9	30,38	116,48
L5	161,16	96,65	1,95	65,83	162,48
L6	149,45	88,89	2,6	87,78	176,67
L7	178,61	121,58	3,1	104,66	226,24
L8	166,55	132,33	2,1	70,90	203,23
L9	106,40	81,30	0,5	16,88	98,18
<b>TOTAL</b>					<b>1514,68</b>

Tabelul A.38.  $V_{Rd}(ZC+AR)$  – Direcție longitudinală – Etaj 1

Elem	$V_{Rd,I}$	$V_{Rd,i}$	$l_w$	$V_{Rd3}$	$V_{Rd}(ZC+AR)$
	[kN]	[kN]	[m]	[kN]	[kN]
L1	164,90	100,54	3,6	121,54	222,08
L2	118,42	95,07	1,3	43,89	138,96
L3	136,23	92,12	2,05	69,21	161,33
L4	95,01	84,59	0,9	30,38	114,97
L5	142,80	93,94	1,95	65,83	159,77
L6	127,76	85,51	2,6	87,78	173,29
L7	152,94	116,16	3,1	104,66	220,82
L8	145,22	126,91	2,1	70,90	197,81
L9	102,26	80,64	0,5	16,88	97,52
<b>TOTAL</b>					<b>1486,54</b>

Tabelul A.39.  $V_{Rd}(ZC+AR)$  – Direcție longitudinală – Etaj 2

Elem	$V_{Rd,I}$	$V_{Rd,i}$	$l_w$	$V_{Rd3}$	$V_{Rd}(ZC+AR)$
	[kN]	[kN]	[m]	[kN]	[kN]
L1	135,31	95,70	3,6	121,54	95,7
L2	106,49	92,37	1,3	43,89	92,37
L3	120,66	89,53	2,05	69,21	89,53
L4	88,89	82,98	0,9	30,38	82,98
L5	123,84	90,81	1,95	65,83	90,81
L6	105,99	81,59	2,6	87,78	81,59
L7	126,61	109,88	3,1	104,66	109,88
L8	123,93	120,95	2,1	70,90	120,95
L9	98,16	79,96	0,5	16,88	79,96
<b>TOTAL</b>					<b>1454,83</b>

### A.2.10. Siguranța la forță tăietoare

Condiția de siguranță la forță tăietoare, conform CR6-2013, este:

$$V_{Rd} \geq 1,25V_{Edu}$$

Comparația valorile se regăsește în tabelele A.40-A.45.

Tabelul A.40. Siguranță forță tăietoare - Direcție transversală – Parter

Elem	$V_{Rd}(ZC+AR)$	$V_{Edu}$	$1,25x V_{Edu}$
	[kN]	[kN]	[kN]
T1	<b>130,49</b>	37,61	<b>47,01</b>
T2	<b>141,54</b>	45,59	<b>56,99</b>
T3	<b>117,67</b>	27,33	<b>34,16</b>
T4	<b>71,32</b>	2,95	<b>3,69</b>
T5	<b>121,26</b>	28,73	<b>35,91</b>
T6	<b>122,64</b>	31,48	<b>39,35</b>
T7	<b>197,14</b>	87,89	<b>109,86</b>
T8	<b>278,74</b>	199,54	<b>249,43</b>
T9	<b>91,03</b>	13,03	<b>16,29</b>
T10	<b>299,27</b>	204,29	<b>255,36</b>



Tabelul A.41. Siguranță forță tăietoare - Direcție transversală - Etaj 1

Elem	<b>V<sub>Rd</sub>(ZC+AR)</b>	V <sub>Edu</sub>	<b>1,25x V<sub>Edu</sub></b>
	[kN]	[kN]	[kN]
T1	<b>128,92</b>	37,70	<b>47,13</b>
T2	<b>139,48</b>	46,06	<b>57,58</b>
T3	<b>116,44</b>	27,53	<b>34,41</b>
T4	<b>68,53</b>	3,19	<b>3,99</b>
T5	<b>119,75</b>	29,51	<b>36,89</b>
T6	<b>121,33</b>	31,57	<b>39,46</b>
T7	<b>193,15</b>	88,31	<b>110,39</b>
T8	<b>272,43</b>	193,25	<b>241,56</b>
T9	<b>90,32</b>	12,97	<b>16,21</b>
T10	<b>291,32</b>	200,06	<b>250,08</b>

Tabelul A.42. Siguranță forță tăietoare - Direcție transversală - Etaj 2

Elem	<b>V<sub>Rd</sub>(ZC+AR)</b>	V <sub>Edu</sub>	<b>1,25x V<sub>Edu</sub></b>
	[kN]	[kN]	[kN]
T1	<b>127,13</b>	37,08	<b>46,35</b>
T2	<b>137,09</b>	45,29	<b>56,61</b>
T3	<b>115,02</b>	27,20	<b>34,00</b>
T4	<b>64,98</b>	2,19	<b>2,74</b>
T5	<b>117,91</b>	29,34	<b>36,68</b>
T6	<b>119,79</b>	31,10	<b>38,88</b>
T7	<b>188,51</b>	85,39	<b>106,74</b>
T8	<b>265,18</b>	181,43	<b>226,79</b>
T9	<b>89,53</b>	12,76	<b>15,95</b>
T10	<b>281,90</b>	185,77	<b>232,21</b>

Tabelul A.43. Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală - Parter

Elem	<b>V<sub>Rd</sub>(ZC+AR)</b>	V <sub>Edu</sub>	<b>1,25x V<sub>Edu</sub></b>
	[kN]	[kN]	[kN]
L1	<b>226,31</b>	196,14	<b>245,18</b>
L2	<b>141,42</b>	44,74	<b>55,93</b>
L3	<b>163,68</b>	96,69	<b>120,86</b>
L4	<b>116,48</b>	24,93	<b>31,16</b>
L5	<b>162,48</b>	94,18	<b>117,73</b>
L6	<b>176,67</b>	91,98	<b>114,98</b>
L7	<b>226,24</b>	148,00	<b>185,00</b>
L8	<b>203,23</b>	99,29	<b>124,11</b>
L9	<b>98,18</b>	15,25	<b>19,06</b>

Tabelul A.44. Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală - Etaj 1

Elem	<b>V<sub>Rd</sub>(ZC+AR)</b>	V <sub>Edu</sub>	<b>1,25x V<sub>Edu</sub></b>
	[kN]	[kN]	[kN]
L1	<b>222,08</b>	180,67	<b>225,84</b>
L2	<b>138,96</b>	42,53	<b>53,16</b>
L3	<b>161,33</b>	92,58	<b>115,73</b>
L4	<b>114,97</b>	24,20	<b>30,25</b>
L5	<b>159,77</b>	89,95	<b>112,44</b>

L6	<b>173,29</b>	84,96	<b>106,20</b>
L7	<b>220,82</b>	136,55	<b>170,69</b>
L8	<b>197,81</b>	93,06	<b>116,33</b>
L9	<b>97,52</b>	14,95	<b>18,69</b>

Tabelul A.45. Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală - Etaj 2

Elem	<b>V<sub>Rd</sub>(ZC+AR)</b>	V <sub>Edu</sub>	<b>1,25x V<sub>Edu</sub></b>
	[kN]	[kN]	[kN]
L1	<b>217,24</b>	164,39	<b>205,49</b>
L2	<b>136,26</b>	40,19	<b>50,24</b>
L3	<b>158,74</b>	87,99	<b>109,99</b>
L4	<b>113,36</b>	23,39	<b>29,24</b>
L5	<b>156,64</b>	84,85	<b>106,06</b>
L6	<b>169,37</b>	76,95	<b>96,19</b>
L7	<b>214,54</b>	124,09	<b>155,11</b>
L8	<b>191,85</b>	86,37	<b>107,96</b>
L9	<b>96,84</b>	14,64	<b>18,30</b>

**Concluzii:**

Siguranța la forță tăietoare este satisfăcută pe direcție transversală, iar pe direcție longitudinală, la montantul L1 parter și etajul 1, siguranța nu este satisfăcută.

Pentru corectarea acesteia, se recomandă creșterea armării, la 2Ø10 în rost orizontal, pentru montantul L1. Astfel condiția de siguranță este îndeplinită pe tot ansamblul clădirii.

Acest model de calcul simplificat, nu ține cont de conlucrarea spațială a clădirii.

Astfel, se consideră foarte utilă realizarea unui calcul, cu un program de calcul spațial.

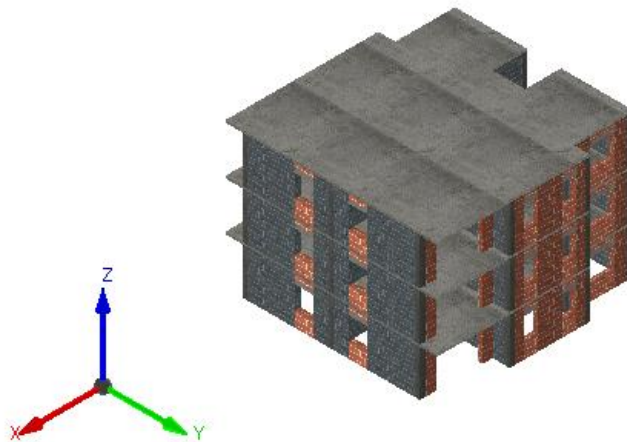
În continuare, acest calcul s-a realizat cu ajutorul programului AmQuake.

La final se vor compara rezultatele obținute.

### A.3. Calculul spațial realizat cu programul AmQuake

AmQuake este un program de calcul pentru evaluarea performanțelor seismice ale clădirilor din zidărie. Evaluarea seismică este realizată utilizând analiza static-neliniară, de tip Pushover și metoda cadrelor echivalente, conform Eurocod 6 și Eurocod 8. Programul oferă și posibilitate efectuării unei analize static liniare, sub încărcări gravitaționale, conform Eurocod 6. [110]

Programul oferă posibilitatea verificării structurii conform codurilor naționale din România: P100-1/2013 și CR6-2013.



Compania/Firma: UPT - CCI

Modelare începe prin setarea parametrilor de calcul și a detaliilor despre proiect, după cum urmează:

Detalii proiect:

Descrierea: Clădire P+2E - Studiu de caz

Proiectant: Partene Eva

Compania/Firma: UPT - CCI

Versiune : AmQuake Version 3.7 Build 14772

Parametri seismici:

Zona seismică: 0

Categorie teren: Z1-Tc 0,7

Tip de spectru: 1

Coeficientul de amortizare vâscoasă: 8,000

Accelerație ultima (SLU): 1,962

Accelerație la degradare (SLS): 0,785

Factorul de teren (S): 1,000

Perioada B: 0,140

Perioada C: 0,700

Perioada D: 3,000

Factor de amplificare dinamică maximă a accelerației orizontale a terenului (Beta 0): 2,50

O a doua etapă a modelării structurii de rezistență, o reprezintă furnizarea informațiilor despre materialele utilizate.

Programul are predefinite pentru zidărie, blocurile ceramice produse de Wienerberger, acestea fiind utilizate și în cazul clădirii studiate.

Mai este necesară definirea clasei betonului din centuri, buiandrugii și stâlpișori, precum și armarea acestora.

Geometria structurii se importă cu ajutorul unui fișier .dxf realizat în prealabil. Acesta se realizează relativ simplu și rapid, dacă avem la îndemână planurile de arhitectură ale fiecărui nivel al clădirii.

După importarea și ajustarea geometriei structurii, se pot introduce încărcările aduse de planșeele clădirii, conform Tabel A.46.

Tabelul A.46. Încărcări gravitaționale introduse în AmQuake

Denumire	Greutate proprie planșeu [kN/m <sup>2</sup> ]	Încărcare permanentă [kN/m <sup>2</sup> ]	Pushover Gamma_Gp	Gamma_GsStatic
Planșeu 0,000 – 2,830	3,25	1,90	1,000	1,350
Planșeu 2,830 – 5,660	3,25	1,90	1,000	1,350
Planșeu 5,660 – 8,490	3,25	1,90		
Denumire	Încărcare de exploatare [kN/m <sup>2</sup> ]	PushoverPhi_L	PushoverPsi_2L	Gamma_QLStatic
Planșeu 0,000 – 2,830	2,00	0,800	0,300	1,500
Planșeu 2,830 – 5,660	2,00	0,800	0,300	1,500
Planșeu 5,660 – 8,490	0,75	0,800	0,300	1,500
Denumire	Încărcare din zăpadă [kN/m <sup>2</sup> ]	PushoverPhi_S	PushoverPsi_2S	Gamma_QsStatic
Planșeu 0,000 – 2,830	0,000	1,000	0,400	1,500
Planșeu 2,830 – 5,660	0,00	1,000	0,400	1,500
Planșeu 5,660 – 8,490	1,50	1,000	0,400	1,500

#### Generare rețea:

Modelul structurii este simplificat prin generarea unei rețele de cadre echivalente. Elementele de confinare se iau astfel în calcul: la analiza Pushover pe direcția X, întreaga arie de armătură este atribuită peretelui paralel cu direcția

acțiunii seismice X și va fi neglijată contribuția armăturii elementului de confinare pentru perețele perpendicular. Fig. A.5.

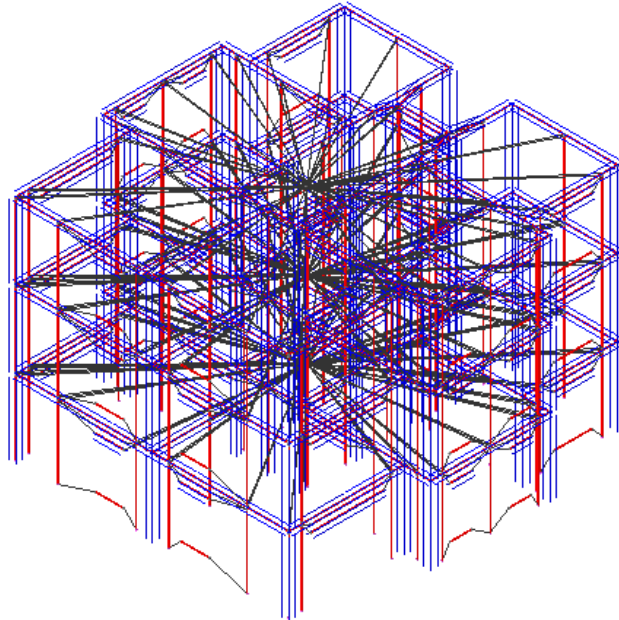


Fig. A.5. Generare rețea structură zidărie

### Rezultate:

Programul afișează rezultatele calculului static-neliniar sub forma unui tabel sinteză, în care se observă dacă structura ajunge la capacitatea țintă sau nu, pe ambele direcții ale acțiunii seismice. Pentru clădirea studiată rezultatele se observă în Tabelul A.47.

Tabelul A.47. Sinteză rezultate calcul static-neliniar AmQuake

Analiza	Stări Limita	Țintă SLS [mm]	Capacitate SLS [mm]	Țintă SLU x 1.5 x 1,50 [mm]	Capacitate SLU [mm]	Limita de siguranță SLS [%]	Limita de siguranță SLU [%]	Factor de suprazistența
X+	Verificare cu succes	2,714	10,698	10,177	10,698	74,634	4,876	2,120
Y+	Verificare cu succes	3,552	14,898	13,318	14,898	76,161	10,604	2,061

Rezultatele detaliate sunt reprezentate sub forma a patru analize, pe direcție transversală și longitudinală (X și Y). Sunt determinate 4 grafice Pushover în care se observă deplasările țintă la SLS și SLU, precum și capacitatea clădirii la SLS și SLU.

În cazul clădirii studiate, s-a realizat în primă fază o analiză a clădirii realizată din zidărie confinată (ZC). Observând că pe direcția Y, clădirea nu este

capabilă să preia eforturile din seism, s-a realizat și armarea în rost orizontal a pereților din zidărie de pe direcția Y, astfel structura a atins deplasările țintă la SLS și SLU:

Rezumatul acestei analize este redat mai jos:

#### Analiza X+

Tabelul A.48. Sumar analiza X+

Țintă SLS [mm]: = dt_dls	3,020
Capacitate SLS [mm]	12,798
Țintă SLU x 1.5 x 1,50 [mm] = dt_uls x 1,50:	11,327
Capacitate SLU [mm] = d_t	12,798

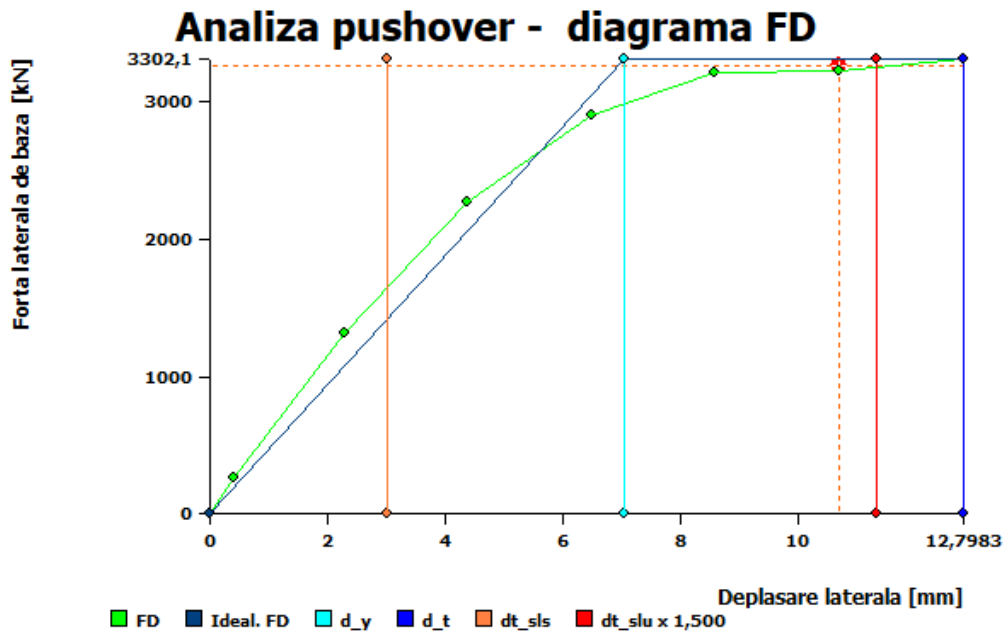


Fig. A.6. Analiză Pushover X+

#### Analiza Y+

Tabelul A.49. Sumar analiza Y+

Țintă SLS [mm]: = dt_dls	4,334
Capacitate SLS [mm]	16,706
Țintă SLU x 1.5 x 1,50 [mm] = dt_uls x 1,50:	16,254
Capacitate SLU [mm] = d_t	16,706

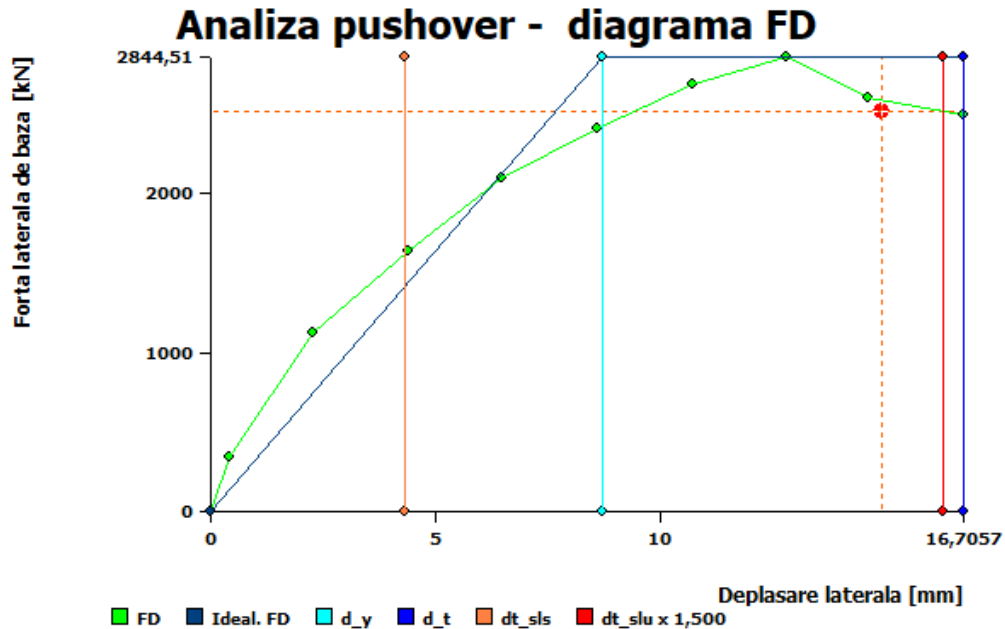


Fig. A.7. Analiză Pushover Y+

Programul AmQuake prezintă sub forma unor grafice de forță-deplasare, capacitate structurii de a prelua încărcările seismice de proiectare. Acestea se referă la forța tăietoare la bază a structurii, în raport cu deplasarea laterală a structurii la vârf.

Eficiența programului constă în realizarea unui calcul pe o structură complexă, multietajată, într-un timp redus. Modelarea ține cont de conlucrarea spațială a elementelor, ceea ce un calcul manual nu poate evalua. De asemenea, programul identifică elementele care nu verifică și care necesită reconfigurare pentru preluarea încărcărilor gravitaționale, simultan cu acțiunea seismică.

Practic, se poate identifica zona în care este necesară și armătură în rost orizontal sau suplimentarea cu un stâlpișor a montanților din zidărie.

Comparativ cu calculul manual, realizat conform cu P100-1/2013, s-au identificat aceași montanți, de pe direcția longitudinală, care au necesitat armătură în rost orizontal.

În practica curentă există tendința de a proiecta structurile din zidărie fără a acorda importanță realizării unui calcul al zidăriei, astfel în unele cazuri se recomandă realizarea zidăriei armare în rost orizontal la toată structura, tocmai pentru evitarea unui astfel de calcul complicat și laborios cum este prezentat în prima parte a acestui capitol.

Este esențială realizarea unui astfel de calcul pentru structurile din zidărie proiectate, fie el manual sau cu program de calcul, pentru identificarea zonelor vulnerabile și pentru reducerea unor costuri inutile, realizând zidărie armată la toată structura, când de fapt aceasta este necesară doar în anumite zone. Calculul cu programul AmQuake este foarte rapid și eficient și identifică cu succes zonele cu probleme.

Dacă analizăm cei mai solicitați montați din structura analizată și facem o comparație cu programul experimental din prezenta lucrare, se observă din nou o diferență a capacității maxime a elementelor, conform tabelului A.50.

Tabelul A.50. Comparație rezultate studiu de caz vs. experimental

Element	Studiu caz	Experimental
RM1	88,89 kN	125 kN
RM2	132,33 kN	210 kN

Normativul este conservativ în privința acestui tip de bloc ceramic, datorită faptului că nu se cunoaște foarte în detaliu comportamentul acestora la acțiuni seismice și modul de conlucrare spațială.

De aici rezultă și necesitatea realizării în continuare a programelor experimentale similare cu cele din prezenta lucrare, pe elemente realizate cu blocuri ceramice cu goluri verticale.



## **BIBLIOGRAFIE**

### **PUBLICAȚII, NORMATIVE, GHIDURI, PROSPECTE, PREZENTARI, INDRUMATOARE**

- [1] Secula S. – Contribuții la alcătuirea și calculul structurilor cu diafragme din zidărie, Teza de doctorat, Editura Universitatea "Politehnica" Timișoara, 2003.
- [2] CR6-2013 – Cod de proiectare pentru structuri din zidărie.
- [3] P100-1/2013 – Cod de proiectare seismică, Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri. Capitolul 3 – Acțiunea seismică.
- [4] P100-1/2013 – Cod de proiectare seismică, Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri. Capitolul 1 – Generalități.
- [5] P100-1/2013 – Cod de proiectare seismică, Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri. Capitolul 8 – Prevederi specifice construcțiilor din zidărie.
- [6] Turcanu A.C., Nestor A. – Structuri din zidărie simplă în zone seismice. Editura Grafoanaytis Ploiești, 2013.
- [7] Crețu D., Demetriu S. – Metode pentru calculul răspunsului seismic în codurile românești de proiectare. Comparații și comentarii. Revista AICPS, pg. 1-9, 2006.
- [8] Anastasecu D. – Aspecte ale evoluției reglementărilor tehnice privind protecția antiseismică a construcțiilor din Municipiul Timișoara. Buletinul AGIR nr. 3/2012.
- [9] Mărgărit R. – Contribuții privind concepția, calculul și execuția sistemelor structurale cu pereți realizați din blocuri ceramice cu goluri verticale, în zone seismice. Teză de doctorat. UTCB, București, 2011.
- [10] Dogariu A. – Seismic retrofitting techniques based on metallic materials of RC and/or masonry buildings. PhD Thesis. Editura Universitatea "Politehnica" Timișoara, 2009.
- [11] Laurencu P.B. - Experimental and numerical issues in the modelling of the mechanical behaviour of masonry. Structural Analysis of Historical Constructions II, University of Minho, Barcelona 1998.
- [12] Petersen R. – In-plane shear behavior of unreinforced masonry panels strengthened with fibre reinforced polymer strips, The University of Newcastle, Australia, 2009.

- [13] Berar T. – Contribuții la perfecționarea soluțiilor de consolidare aplicate clădirilor civile. Teză doctorat. Editura Universitatea "Politehnica" Timișoara, 2004.
- [14] Durham A.S., Kowalsky M. – Influence of confinement on the cyclic behavior of reinforced clay brick masonry walls. *The Masonry Society Journal*, pg. 51-70, 2004.
- [15] Gouveia J.P., Lourenco P.B. – Masonry shear walls subjected to cyclic loading: influence of confinement and horizontal reinforcement. 10<sup>th</sup> North American Masonry Conference, Missouri USA, 2007.
- [16] Dizhur D., Ingham J.M. – Diagonal tension strength of vintage unreinforced clay brick masonry wall panels. *Construction and Building Materials* 43, pg. 418-427, 2013.
- [17] Marques R., Lourenco P.B. – Possibilities and comparison of structural component models for the seismic assessment of modern unreinforced masonry buildings. *Computers and Structures*, pg. 2079-2091, 2011.
- [18] Bouchard K. M. – A performance-based approach to retrofitting unreinforced masonry structures for seismic loads. Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- [19] ElGawady M.A., Lestuzzi P., Badoux M. – Analytical model for in-plane shear behavior of URM walls retrofitted with FRP. *Composites Science and Technology* 66, pg. 459-474, 2006.
- [20] Nagy-Gyorgy T. – Materiale compozite polimerice pentru consolidarea elementelor din zidărie și beton. Editura Politehnica. Timișoara 2007.
- [21] Babatunde S.A. – Review of strengthening techniques for masonry using fibre reinforced polymers. *Composite Structures* 161, pg. 246-255, 2017.
- [22] Pleșu R., Țăranu G., Covorariu D., Grădinariu I.D. – Strengthening and rehabilitation conventional methods for masonry structures. *Buletinul Institutului Politehnic Iași*, 2011.
- [23] Shrive N.G. – The use of fibre reinforced polymers to improve seismic resistance of masonry. *Construction and Building Materials* 20, pg. 269-277, 2006.
- [24] Țăranu N., Opreșan G., Oltean R., Munteanu V., Entuc I. – Modern strengthening techniques in civil engineering structures, 6<sup>th</sup> International Conference of Management of Technological Changes, vol. 1, pp. 737-740, 2009.
- [25] Floruț S.-C.- Studiul performanțelor elementelor solicitate la încovoiere consolidate cu material compozite polimerice. Teză doctorat. Editura Universitatea "Politehnica" Timișoara, 2011.

- [26] Li T., Galati N., Tumialan G., Nanni A. – FRP strengthening of URM walls with openings – experimental results. *The Masonry Society Journal*, pg. 47-58, 2005.
- [27] Li T., Galati N., Tumialan G., Nanni A. – FRP strengthening of URM walls with openings - numerical analysis and design. *The Masonry Society Journal*, pg. 59-72, 2005.
- [28] Dăescu C. – Reabilitarea elementelor de construcție utilizând materiale compozite polimerice. Teză doctorat. Editura Universitatea "Politehnica" Timișoara, 2011.
- [29] Matei C.L. – Contribuții asupra definirii caracteristicilor de rezistență și deformabilitate ale zidăriei utilizate în zone seismice. Teză doctorat. UTCB. 2013.
- [30] Matei C. – Aspecte generale privind încercările pe zidării din blocuri ceramice cu goluri. *Constructii* – nr. 2, pg. 57-59, 2007.
- [31] Kalali A., Kabir M.Z. – Cyclic behavior of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers. *Scientia Iranica A* 19(2), pg. 151-165, 2012.
- [32] Okail H., Abdelrahman A., Abdelkhalik A., Metwaly M. – Experimental and analytical investigation of the lateral load response of confined masonry walls. *HBRC Journal* 12, pg. 33-46, 2016.
- [33] Tizapa S.S. – Experimental and numerical study of confined masonry walls under in-plane loads. PhD Thesis Universite Paris-Est, 2010.
- [34] Kalali A., Kabir M.Z. – Experimental response of double-wythe masonry panels strengthened with glass fiber reinforced polymers subjected to diagonal compression tests. *Engineering Structures* 39, pg. 24-37, 2012.
- [35] Sarrafi B., Eshghi S. – Experimental study on lateral strength of confined masonry walls. 15 WCEE Lisboa, 2012.
- [36] Kabir M.Z., Kalali A. – In-plane numerical modelling of strengthened perforated masonry walls using FRP under cyclic loading. *Asian Journal of Civil Engineering* 14, pg. 161-179, 2013.
- [37] Psilla N., Tassios T.P. – Design models of reinforced masonry walls under monotonic and cyclic loading. *Engineering Structures* 31, pg. 935-945, 2011.
- [38] Marcari G., Manfredi G., Prota A., Pecce M. – In-plane shear performance of masonry panels strengthened with FRP. *Science Direct, Composites Part B* 38, pg. 887-901, 2007.
- [39] Islam R. – Inventory of FRP strengthening methods in masonry structures. Master's Thesis, Technical University of Catalonia, Barcelona, 2008.

- [40] Lanivski C.E. – State of the art for strengthening masonry with fibre reinforced polymers. Buletinul Institutului Politehnic din Iași, 2012.
- [41] Sucală D. – Principii și metode de reabilitare a suprastructurii clădirilor din zidărie. A XIII-a Conferința Națională Multidisciplinară-cu participare internațională – Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești. România, 2013.
- [42] Milani G. – 3D FE limit analysis model for multi-layer masonry structures reinforced with FRP strips. International Journal of Mechanical Sciences 52, pg. 784-803, 2010.
- [43] Calio I., Marletta M., Panto B. – A new discrete element model for the evaluation of the seismic behavior of unreinforced masonry buildings. Engineering Structures 40, pg. 327-338, 2012.
- [44] Theodossopoulos D., Sinha B. – A review of analytical methods in the current design processes and assessment of performance of masonry structures. Construction and Building Materials, 2012.
- [45] Sofronie R.A. – Performances in seismic strengthening of masonry. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 2004.
- [46] Mebarki A., Bui Q.H., Ami Saada R., Delmotte P., Sanchez Tizapa S. - A simplified mechanical model to assess the bearing capacity of masonry walls: theory and experimental validation. Construction and Building Materials 23, pg. 1109-1117, 2009.
- [47] Gabor A., Ferrier E., Jacquelin E., Hamelin P. - Analysis and modelling of the in-plane shear behavior of hollow brick masonry panels. Construction and Building Materials 20, pg. 308-321, 2006.
- [48] Morbin A. – Strengthening of masonry elements with FRP composites. Center for Infrastructure Engineering Studies 02-23, 2004.
- [49] Silva F.P., Belarbi A., Li T. – In-plane performance assessment of URM walls retrofitted with FRP. The Masonry Society Journal, pg. 57-70, 2006.
- [50] Dragomir C.S., Matei C., Dobre D., Georgescu E.S. – Comportarea elementelor structurale de anvelopă din zidărie la acțiuni extreme. Construcții nr. 2, 2009.
- [51] Minaie E., Mota M.C., Moon F.L., Hamid A.A. – In-plane behavior and strength of fully-grouted reinforced masonry shear walls. The Masonry Society Journal 29-1, pg. 33-47, 2011.
- [52] Bernardini A., Modena C., Lazzaro G., Valluzzi M.R. –Cyclic behavior and modelling of reinforced masonry panels. 11<sup>th</sup> International Brick/Block Masonry Conference, Shanghai China, 1997.

- [53] Tena-Colunga A., Juarez-Angeles A., Salinas-Vallejo V.H. – Cyclic behavior of combined and confined masonry walls. *Engineering Structures* 31, pg. 240-259, 2009.
- [54] Salmanpour A.H., Mojsilovic N., Schwartz J. – Displacement capacity of contemporary unreinforced masonry walls: An experimental study. *Engineering Structures* 89, pg. 1-16, 2015.
- [55] Mosallam A., Banerjee S. – Enhancement in in-plane shear capacity of unreinforced masonry (URM) walls strengthened with fiber reinforced polymer composites. *Science Direct, Composites Part B* 42, pg. 1657-1670, 2011.
- [56] da Porto F., Mosele F., Modena C. – In-plane cyclic behaviour of a new reinforced masonry system: Experimental results. *Engineering Structures* 33, pg. 2584-2596, 2011.
- [57] da Porto F., Grendene M., Mosele F., Modena C. – In-plane cyclic testing and dynamic modelling of reinforced masonry walls. *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, China, 2008.*
- [58] Pourazin K., Eshghi S. – In-plane behavior of a confined masonry wall. *The Masonry Society Journal* 27-1, pg. 21-34, 2009.
- [59] Zhou D., Lei Z., Wang J. – In-plane behavior of seismically damaged masonry walls repaired with external BFRP. *Composite Structures* 102, pg. 9-19, 2013.
- [60] Dan S., Bob C., Bob L., Gruin A., Badea C. – Modern solutions for strengthening of masonry structures. *11<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Sustainability in Science Engineering, Romania, 2009.*
- [61] Lu S., Kasa M. - Seismic test program of special designed clay blocks due to earthquake resistance by Wienerberger consisting real scale shaking table, cyclic shear, diagonal tension and compression tests. *14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, China, 2008.*
- [62] Silva A., Dalla Benetta M., Da Porto F., Modena C. – Experimental assessment of in-plane behaviour of three-leaf stone masonry walls. *Construction and Building Materials* 53, pg. 149-161, 2014.
- [63] Corradi M., Tedeschi C., Binda L., Borri A. – Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: deep repointing. *Construction and Building Materials* 22, pg. 463-472, 2008.
- [64] Gattesco N., Amadio C., Bedon C. – Experimental and numerical study on the shear behavior of stone masonry walls strengthened with GFRP reinforced mortar coating and steel-cord reinforced repointing. *Engineering Structures* 90, pg. 143-157, 2015.

- [65] ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. – Performance of masonry walls under in-plane seismic loading. *The Masonry Society Journal*, 2005.
- [66] Cavaleri L., Failla A., La Mendola L., Papia M. – Experimental and analytical response of masonry elements under eccentric vertical loads. *Engineering Structures* 27, pg. 1175-1184, 2005.
- [67] Fayala I., Limam O., Stefanou I. – Experimental and numerical analysis of reinforced stone block masonry beam using GFRP reinforcement. *Composite Structures* 152, pg. 994-1006, 2016.
- [68] Santa-Maria H., Alcaino P. – Repair of in-plane shear damaged masonry walls with external FRP. *Construction and Building Materials* 25, pg. 1172-1180, 2011.
- [69] Witzany J., Cejka T., Zigler R. – Problems of masonry strengthening with carbon and glass fibre fabric. *Procedia Engineering* 14, pg. 2086-2093, 2011.
- [70] Ruiz-Garcia J., Negrete M. – Drift-based fragility assessment of confined masonry walls in seismic zones. *Engineering Structures*, pg. 170-181, 2009.
- [71] Tumialan G., Nanni A. – Strengthening of masonry walls with FRP bars. *Composites Fabricator Magazine*, Arlington VA, 2002.
- [72] Faella C., Camorani G., Martinelli E., Paciello S.O., Perri F. – Bond behaviour of FRP strips glued on masonry: Experimental investigation and empirical formulation. *Construction and Building Materials* 31, pg. 353-363, 2012.
- [73] Papanicolaou C., Triantafillou, Lekka M. Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels. *Construction and Building Materials* 25, pg. 504-514, 2011.
- [74] Magenes G., Calvi G.M. – Cyclic behaviour of brick masonry walls. *Earthquake Engineering Tenth World Conference*, Rotterdam, 1992.
- [75] Mojsilovic N. – Strength of masonry subjected to in-plane loading: A contribution. *International Journal of Solids and Structures* 48, pg. 865-873, 2011.
- [76] Turco V., Secondin S., Morbin A., Valluzzi M.R., Modena C. – Flexural and shear strengthening of un-reinforced masonry with FRP bars. *Composites Science and Technology* 66, pg. 289-296, 2006.
- [77] Luccioni B., Rougier V.C. – In-plane retrofitting of masonry panels with fibre reinforced composites materials. *Construction and Building Materials* 25, pg. 1772-1788, 2011.

- [78] Lourenco P.B., Vasconcelos G., Medeiros P., Gouveia J. – Vertically perforated clay brick masonry for loadbearing and non-loadbearing masonry walls. *Construction and Building Materials* 24, pg. 2317-2330, 2010.
- [79] Calderini C., Cattari S., Lagomarsino S. – The use of the diagonal compression test to identify the shear mechanical parameters of masonry. *Construction and Building Materials* 24, pg. 677-685, 2010.
- [80] Park J., Towashiraporn P., Craig J.I., Goodno B.J. – Seismic fragility analysis of low-rise unreinforced masonry structures. *Engineering Structures* 31, pg. 125-137, 2009.
- [81] SR EN 771-1 Specificații ale elementelor pentru zidărie. Partea 1 – Elemente pentru zidărie de argilă arsă.
- [82] SR EN 1015-1:2001/A1:2007 Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie – Partea 1: Determinarea distribuției granulometrice (analiza prin cernere).
- [83] SR EN 1015-11:2002/A1:2007 Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie – Partea 11: Determinarea rezistenței la încovoiere a mortarului întărit.
- [84] SR EN 1052-1:2001 Metode de încercare a zidăriei – Partea 1: Determinarea rezistenței la compresiune.
- [85] SR EN 1052-3:2003 Metode de încercare a zidăriei – Partea 1: Determinarea rezistenței inițiale la forfecare.
- [86] SR EN 12390-2002 Normativ pentru încercări pe beton întărit.
- [87] Popescu C. – Reabilitarea pereților structurali din zidărie utilizând materiale compozite. *Lucrare de disertație*. 2012.
- [88] Zabihi N., E.O. – Compressive strength conversion factors for concrete as affected specimen shape and size. *Research Journal of applied sciences, engineering and technology*. Vol 7. Nr. 20, pag. 4251-4257, 2014.
- [89] Fofiu M. – Retrofitting the precast RC walls panels using externally bonded CFRP laminates. *Teză doctorat*. Universitatea Politehnica Timisoara 2017.
- [90] Mapei – Carbonplate. *Plastured carbon fibre plate pre-impregnated in epoxy based resin, protected with a double plastic film*.
- [91] Mapei – MapeWrap C UNI-AX. *High strength uni-directional carbon fibre fabric with high modulus of elasticity*.
- [92] Mapei – MapeWrap 11, MapeWrap 12. *Thixotropic epoxy putties for levelling concrete surfaces and for structural bonding*.

- [93] Mapei – MapeWrap 31. Medium viscosity epoxy resin for impregnation of MapeWrap with “dry sistem”.
- [94] Partene E., Stoian V., Iosip-Moț S.N. – Experimental program for masonry walls built with ceramic blocks with hollows. Zilele Academice Timișene, Ediția a XIII-a, Timișoara, România, 2013.
- [95] Partene E., Bîndean A., Stoian V., Fekete-Nagy L. – Evaluation of shear capacity for reinforced masonry-walls – experimental program. Zilele Academice Timișene, Ediția a XIV-a, Timișoara, România, 2015.
- [96] [https://www.ahlborn.com/de\\_DE/produkte](https://www.ahlborn.com/de_DE/produkte)
- [97] <https://www.hbm.com/en/0236/displacement-sensors-and-displacement-transducers/>
- [98] Partene E., Fekete-Nagy L., Stoian V. – Evaluation of shear capacity of brick masonry walls. Journal of Applied Sciences, Oradea, România, vol. 5 (18), 1/2015.
- [99] Partene E., Stoian V., Moșoarcă M., Fekete-Nagy L. – Cyclic in-plane experimental tests for evaluation of shear capacity of brick masonry walls. 9<sup>th</sup> International Masonry Conference. Guimaraes, Portugal, 2014.
- [100] Partene. E., Bîndean A., Fofiu M., Stoian V., Fekete-Nagy L. – Cyclic in-plane testing for evaluation of shear capacity for ceramic block walls. The 2014 International Conference on Civil Engineering (CIVILENG 2014), Santorini, Grecia, 2014.
- [101] Partene E., Petruș C., Bîndean A., Fekete-Nagy L., Stoian V. – Shear capacity for masonry walls strengthened with FRP materials. The National Technical Scientific Conference – the 16th edition – Modern Technologies for the 3rd Millenium, Oradea, România, 2017.
- [102] Partene E., Bîndean A., Stoian V., Fekete-Nagy L. – Evaluation of shear capacity for masonry walls strengthened usig Fibre Reinforced Polymers. The 12th International Symposium on Fiber Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS 12) & The 5th Asia-Pacific Conference on Fiber Reinforced Polymers in Structures (AFIS-2015), China, 2015.
- [103] Partene E., Stoian V., Bîndean A., Fekete-Nagy L. – Strengthening of masonry walls using Fiber Reinforced Polymer (FRP) materials. Innovative Materials and Engineering Research Periodical-Key Engineering Materials, vol, 660, pg. 340-345, 2015.
- [104] Țăranu N., Oprișan G., Oltean R., Munteanu V., Cozmanciuc C. – Evaluation of bonding at the interface between CFRP composites strips and concrete for hybrid structures, 3<sup>rd</sup> WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology/International Conference on Geography and Geology, pp. 279-284, Greece.



- [105] Tăranu N., Opreșan G., Oltean R., Munteanu V., Entuc I., Cozmanciuc C. – The efficiency of fiber reinforced polymer composites strengthening solutions in the construction industry, 6<sup>th</sup> International Conference on the Management of Technological Changes, vol. 1, pp. 733-736, 2009.
- [106] Partene E., Pescari S., Stoian V., Tudor D., Fekete-Nagy L. – Theoretical studies on the evaluation of shear capacity of masonry walls built with ceramic blocks with hollows. Zilele Academice Timișene, Ediția a XIII-a, Timișoara, România, 2013.
- [107] Partene E., Stoian V., Fekete-Nagy L. – Nonlinear analysis for evaluation of shear capacity of brick masonry walls. Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vienna, Austria, 2013.
- [108] Cervenka J., Prochazkova Z., Sajdllova T. ATENA Program Documentation. <https://www.cervenka.cz>
- [109] Demeter I. – Seismic retrofit of precast RC walls by externally bonded CFRP composites. Teză doctorat. Universitatea Politehnica Timișoara 2011.
- [110] Cervenka J., Jendele L., Janda Z., AmQuake Program Documentation. Cervenka Consulting Ltd. [http://www.amquake.eu/download3/AmQuake\\_Documentation.pdf](http://www.amquake.eu/download3/AmQuake_Documentation.pdf)
- [111] Niste M.S. – Contribuții privind tehnologia de realizare, reparare și consolidare a construcțiilor civile cu structura din zidărie amplasate în zone seismice. Teză doctorat. 2015.
- [112] <https://www.walterbai.com/content/view/89/664/lang,en/>
- [113] Fabian A.A. – Study on the performances of composite steel concrete structural shear walls under lateral loads. Teză doctorat. Universitatea Politehnica Timișoara 2012.
- [114] Moșoarcă M. – Contribuții la calculul și alcătuirea pereților structurali din beton armat. Teză doctorat. Universitatea Politehnica Timișoara 2003.
- [115] CNR-DT 200/2004 – Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures (English version).

Pentru aprecieri, observații, nelămuriri sau orice alte detalii suplimentare, autoarea vă încurajează să o contactați prin intermediul următoarelor date:

**Ing. Eleonora Eva PARTENE**

Universitatea Politehnica Timișoara  
Facultatea de Construcții  
Departamentul de Construcții Civile și Instalații  
Timișoara, str. Traian Lalescu, nr. 2, 300223

Tel: +40 256 403951; +40 721510876

E-mail: [eva.partene@student.upt.ro](mailto:eva.partene@student.upt.ro) sau [partene\\_eva@yahoo.com](mailto:partene_eva@yahoo.com)