

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

**Teză de doctorat – Rezumat**

pentru obținerea titlului științific de doctor la  
Universitatea Politehnică Timișoara  
în domeniul de doctorat **Inginerie Civilă**

**autor ing. Eleonora Eva PARTENE**

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Valeriu STOIAN

Noiembrie 2018

## Sumar

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 armată, raportat la comportarea acestora sub încărcări orizontale ciclice, simulând astfel acțiunea seismică. O a doua comparație se face între pereții în starea 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.

## 1. INTRODUCERE

### 1.1. Generalități

Zidăria reprezintă unul dintre cele mai vechi materiale de construcție, 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.

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. Deasemenea se recomandă, ca în zonele seismice să se realizeze efectul de șaibă rigidă la nivelul planșeelor, fiind obligatorie realizarea acestora din beton armat.

## 1.2. Motivație

Obiectivul principal al lucrării îl constituie studiul comportării pereților din zidărie alcătuiți cu blocuri ceramice cu goluri verticale, cu sau fără stâlpișori la acțiuni seismice și ulterior consolidare acestora cu materiale compozite polimerice.

## 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 Politehnică Timișoara.

# 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.

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. [1]

**Zidăria confinată (ZC)** este zidăria cu elemente de confinare verticale (stâlpișori) și elemente de confinare orizontale (centuri), pe toate laturile panoului de zidărie. [1]

**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 taietoare și a ductilității panoului de zidărie. Fig. 2.1.a [1]

**Zidărie cu inimă armată (ZIA)** este zidăria care are prevăzut 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 [1]

**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. [1]

Pereții din zidărie pot fi: structurali, structurali de rigidizare, nestructurali sau înrămați. În continuare, prezenta lucrare face referire doar la pereții structurali din zidărie, care sunt destinați să reziste la forțe verticale și orizontale, în planul lor. [1]

Pereții structurali din zidărie sunt folosiți pentru: clădiri cu regim de înălțime maxim până la 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. [1]

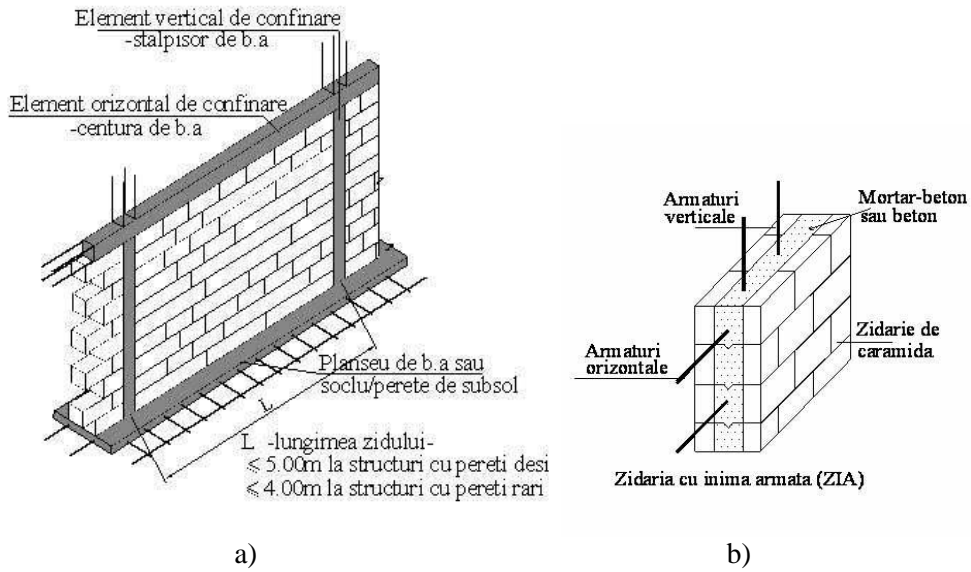


Fig. 2.1. Alcătuirea pereților din zidărie armată:  
a – zidărie confinată; b – zidărie cu inimă armată [1]

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

Teritoriul României este împărțit în mai multe zone de hazard seismic (Fig. 2.2.), 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). [2]

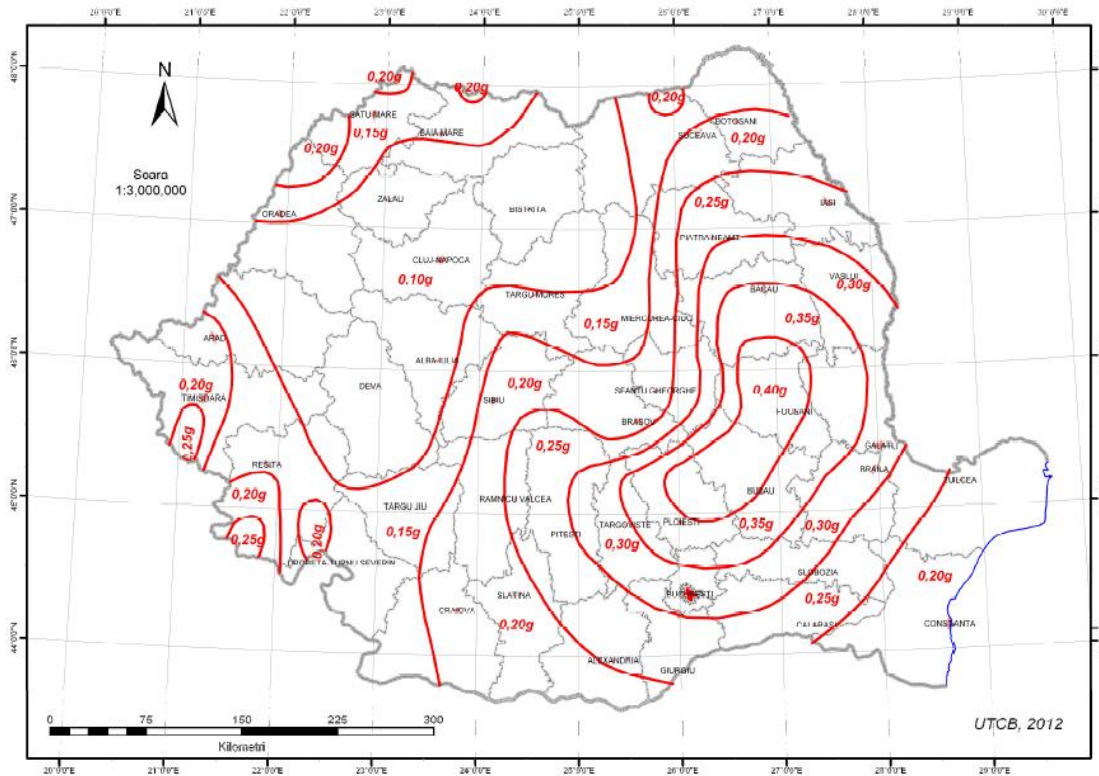


Fig.2.2. Zonarea valorilor  $a_g$  în România, pentru IMR=225 ani și 20% probabilitate de depășire în 50 de ani

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 deasemenea are o contribuție semnificativă la asigurarea stabilității peretelui structural. [3]

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 2.1) [3]

Tabelul 2.1. Proprietăți geometrice ale elementelor din zidărie [3]

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

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

Avem în normativ, în tabelul 8.8 (tabelul 2.2.) numărul de niveluri admis, în funcție de zona seismică și de densitatea pereților (p%). [3]

Tabelul 2.2. Numărul de niveluri peste secțiunea de încastrare pentru ZNA [3]

$n_{niv}$	$a_g$					
	0,10g și 0,15g		0,20g și 0,25g		0,30g și 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)	$\geq 4,0\%$	$\geq 4,5\%$	$\geq 5,0\%$	$\geq 5,5\%$	NA	NA
2 (P+1)	$\geq 4,5\%$	$\geq 5,0\%$	$\geq 5,5\%$	$\geq 6,0\%$		
3 (P+2)	$\geq 5,0\%$	$\geq 5,5\%$	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 2.3.), 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. [3]

Tabelul 2.3. Numărul de niveluri peste secțiunea de încastrare pentru zidăria armată [3]

n <sub>niv</sub>	a <sub>g</sub>					
	0,10g și 0,15g		0,20g și 0,25g		0,30g și 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

### 2.3. Evoluția normativelor de proiectare în zone 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. [4]

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

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. [5]

## 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. [6].

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

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

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

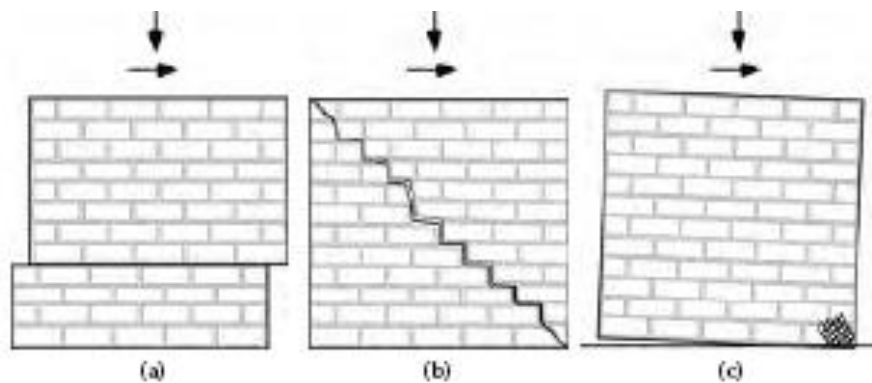


Fig. 3.1. Moduri de cedare a zidăriei, în planul ei:  
a – alunecare în rost orizontal; b – forfecare; c – încovoiere. [7]

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. [8]

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. [8]

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. [8]

### 3.3. Consolidarea cu materiale compozite

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. [9]

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. [9], [10]

### **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. [11], [12]

Teza prezintă sintetizat concluziile și rezultatele importante din 32 de publicații sub forma unor articole sau sub forma unor teze de doctorat, din domeniul de interes al tezei prezente.

Principalele concluzii ale lucrărilor studiate au fost: s-a dovedit eficiența confinării zidăriei, fie ea din cărămidă plină, fie din blocuri ceramice cu goluri verticale. În cazul consolidării cu materiale polimerice, rigiditatea elementelor a scăzut în cele mai multe cazuri, dar se reușește redarea capacității inițiale a elementelor. Cedarea elementelor consolidate cu materiale polimerice este în general casantă, producându-se cu desprinderea împreună cu bucăți din zidărie.

## **4. ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE**

### **4.1. Introducere**

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.

## 4.2. Strategie de încercare. Stand experimental

Încărcările aplicate elementului din zidărie sunt o forță verticală constantă ( $V$ ) și o forță orizontală ciclică ( $H$ ) – conform modelului teoretic din Fig. 4.1. [9]

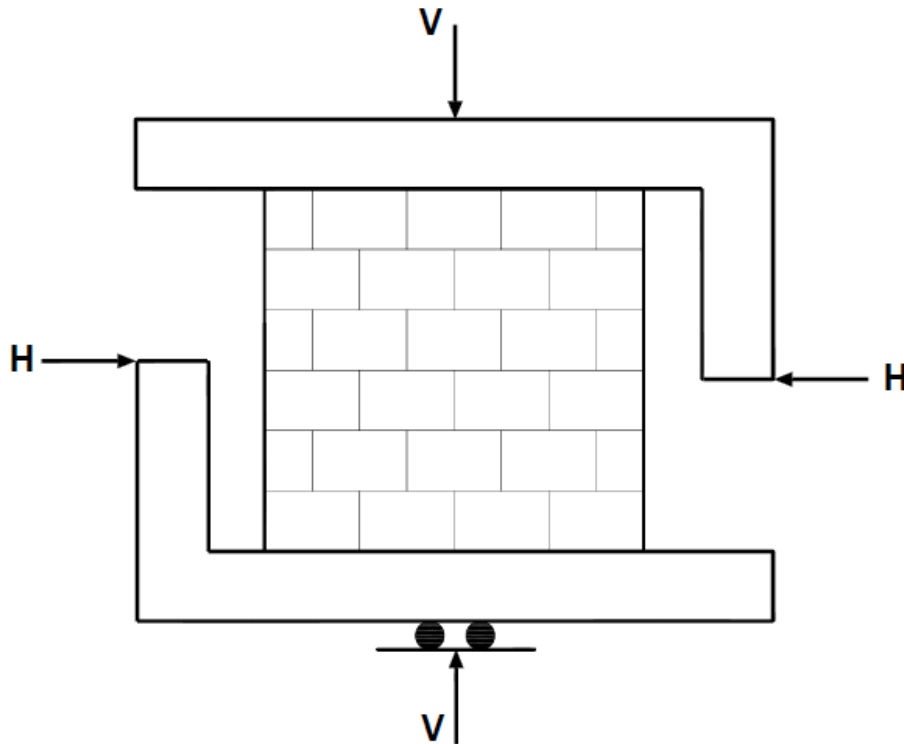


Fig. 4.1. Model simplificat al încercărilor [9]

Pentru obținerea acestui model teoretic, a fost necesară construirea unui stand experimental, conform Fig. 4.2.

Standul a fost alcătuit din trei componente principale: cadru de reacțiune pentru încărcările orizontale, cadru de reacțiune pentru încărcările verticale și cadre speciale de prindere și aplicare a încărcărilor. A treia componentă a fost și cea mai importantă în aplicarea corectă a încărcărilor, pentru obținerea modului de cedare prin tăiere pură. Fig. 4.3.

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 perețele 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. 4.2. Stand experimental final

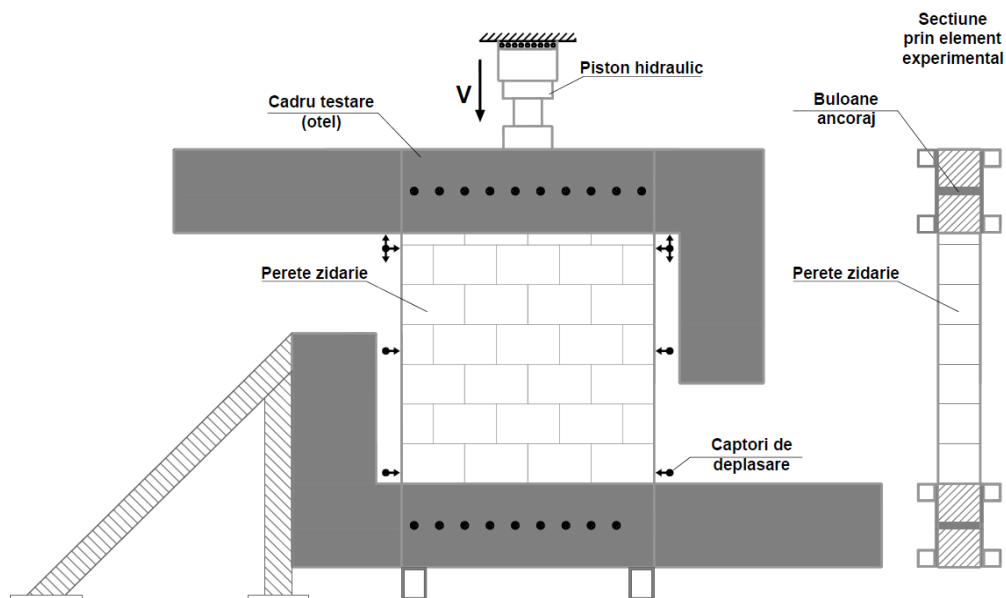


Fig. 4.3. Cadru special prindere elemente zidărie

### 4.3. Elemente experimentale

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.

Tabelul 4.1. Denumire elemente experimentale

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

Elementele din zidărie s-au realizat din blocuri ceramice cu goluri verticale, cu dimensiunile 375x250x238 mm, având următoarele tipologii: trei elemente din zidărie nearmată (URM), trei elemente din zidărie confinată cu stâlpișori laterali (RM1) și trei elemente din zidărie confinată cu stâlpișor central (RM2). Fig. 4.4.

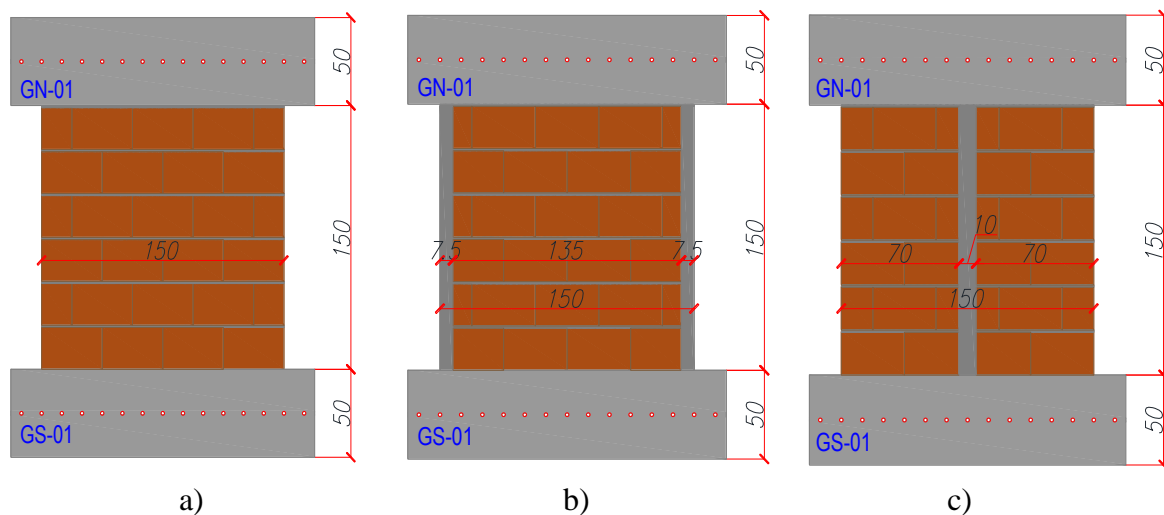


Fig. 4.4. Elemente experimentale: a) URM; b) RM1; c) RM2

### Proprietăți materiale

Caracteristicile blocurilor ceramice se regăsesc în tabelul 4.2.

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

Pentru mortarul folosit la realizarea elementelor experimentale s-au realizat încercări la încovoire și la compresiune, obținând rezultate conform tabelului 4.3 – pentru clasă de mortar M5, conform cu prevederile normativului pentru mortar folosit la pereții structurali din zidărie.

Tabelul 4.3. Rezultate încercări prisme mortar

Prisma	Incovoiere		Compresiune	
	Forta maxima de rupere [N]	$f_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Forta maxima 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

Betonul folosit la realizarea stâlpișorilor a fost clasă C16/20, conform și cu testele pe cuburi realizate în laborator. Tabelul 4.4.

Tabelul 4.4. 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	C16/20
	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	C16/20
	Cub 2	$628.9 \times 10^3$	35.59			
	Cub 3	$636.3 \times 10^3$	36.01			

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 materiale sunt redată în Tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Proprietăți materiale consolidate

Material	Grosime [mm]	Densitate [g/cm <sup>3</sup> ]	Rezistență la întindere [N/mm <sup>2</sup> ]	Viscozitate [MPas]	Rezistența la forfecare [N/mm <sup>2</sup> ]	Rezistența 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	1.4	0.00161	3100	-	77	-

E170/100/1. 4						
Țesătură Carbon C UNI-AX 300/40	0.166	1.8	4830	-	-	-

#### 4.4. Consolidare elemente experimentale

A doua parte a programului experimental a constat în consolidarea pereților din zidărie avariați, folosind materiale compozite polimerice. Consolidarea s-a realizat prin aplicarea materialului compozit pe diagonalele principale ale elementelor, pe ambele fețe ale pereților, în zonele unde au apărut fisurile cele mai mari. Primul element din zidărie nearmată a fost consolidat folosind lamele de carbon, iar celelalte opt elemente s-au consolidat cu 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 siguranța 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.

#### 4.5. Protocol încărcări

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. 4.5.

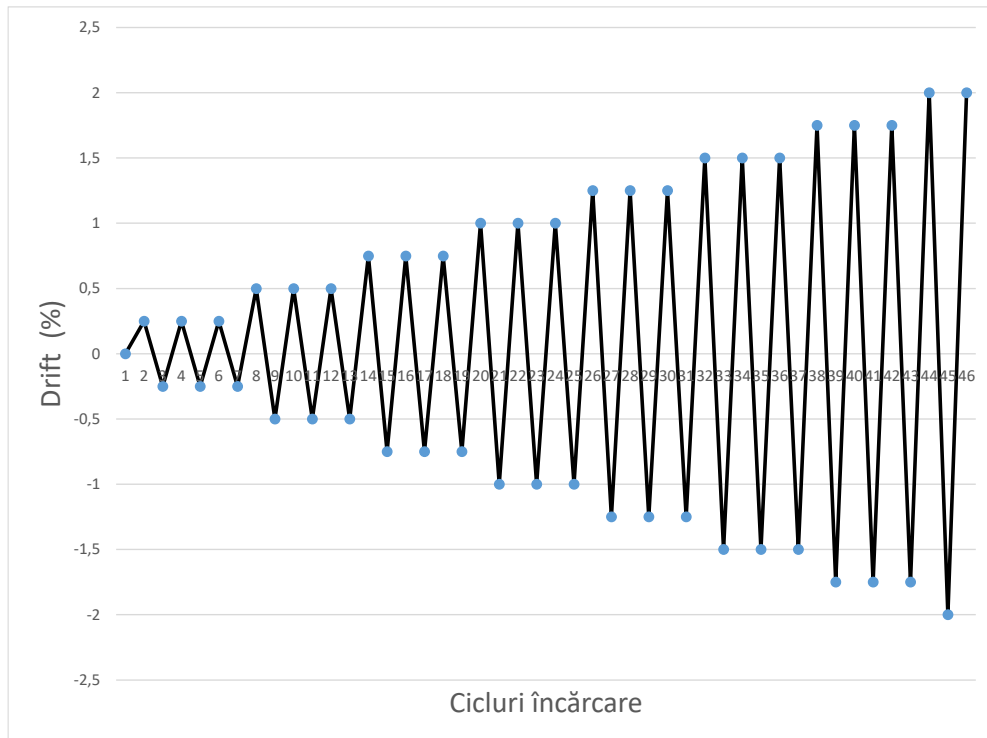


Fig. 4.5. Protocol încărcări ciclice orizontale

#### 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.

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. 4.6.

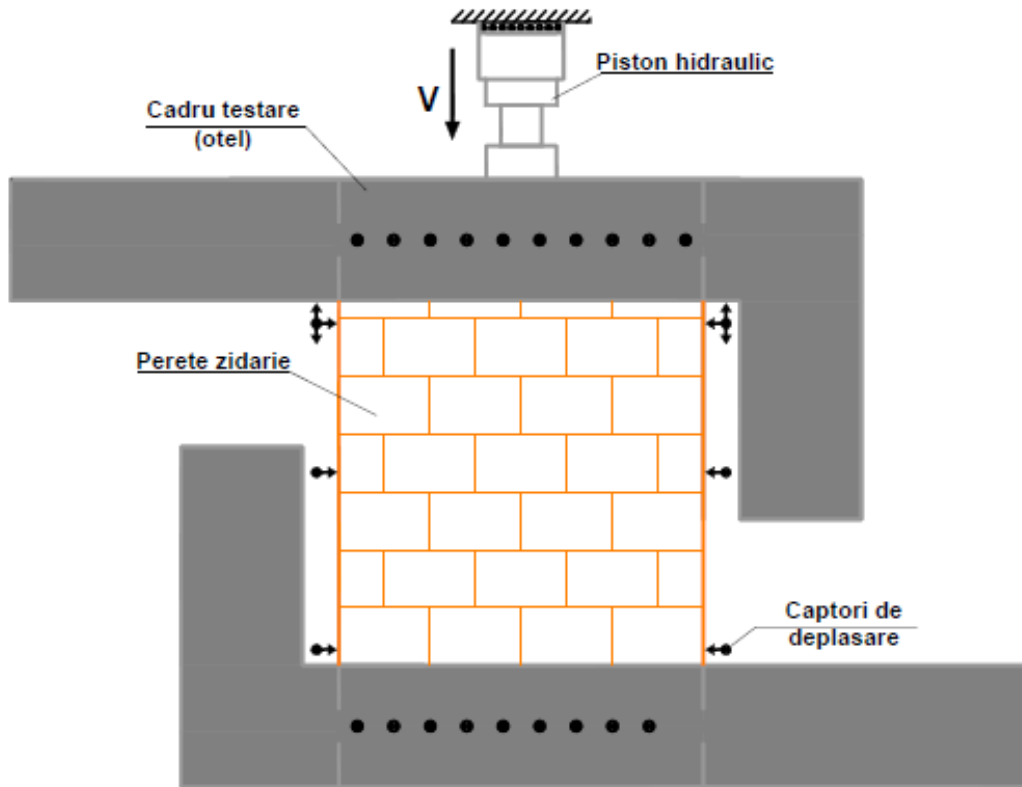


Fig. 4.6. Instrumentare încercări

## 5. REZULTATE

### 5.1. Date generale

Capitolul prezintă rezultatele obținute la cele 18 încercări experimentale, pentru pereții în stare inițială și pentru pereții consolidați cu materiale polimerice.

Rezultatele obținute au fost prelucrate sub formă de ciclograme, dar și sub forma unor înfășurătoare ale graficelor forță-deplasare, conform Fig. 5.1. S-au realizat comparații între pereți, dar și comparații cu valorile din modelări numerice, precum și calcule conform normativelor.

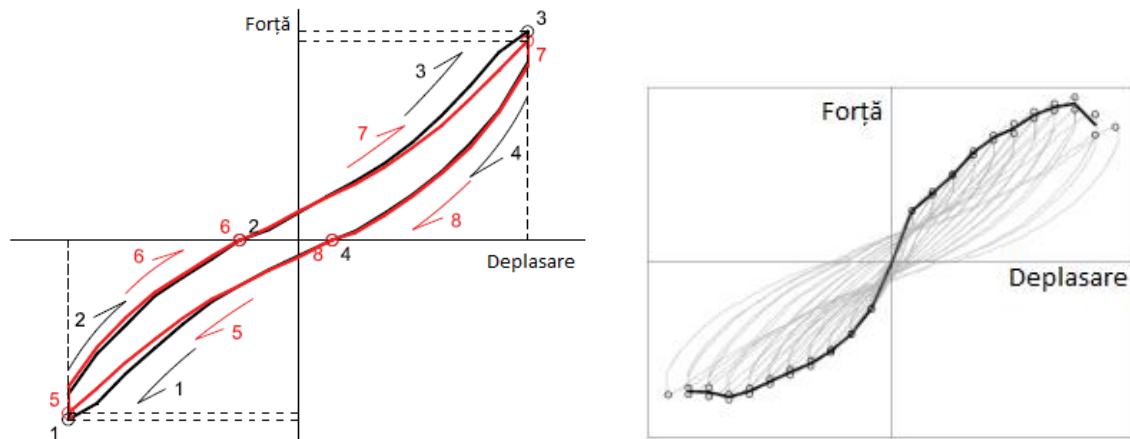


Fig. 5.1. Curbe teoretice forță-deplasare

## 5.2. Încercări experimentale elemente în stare inițială

Capitolul prezintă rezultatele obținute pentru cele 9 elemente testate în stare inițială: modul de cedare, rezultatele prelucrate sub formă de curbe ciclice forță-deplasare, dar și înfășurătoarele acestora, pentru a putea compara mai ușor rezultatele.

Dacă suprapunem rezultatele de la cele 9 elemente inițiale, din zidărie nearmată și zidărie confinată, observăm că zidăria confinată cu stâlpișor central a avut cea mai bună comportarea la acțiunea seismică. Fig. 5.2.

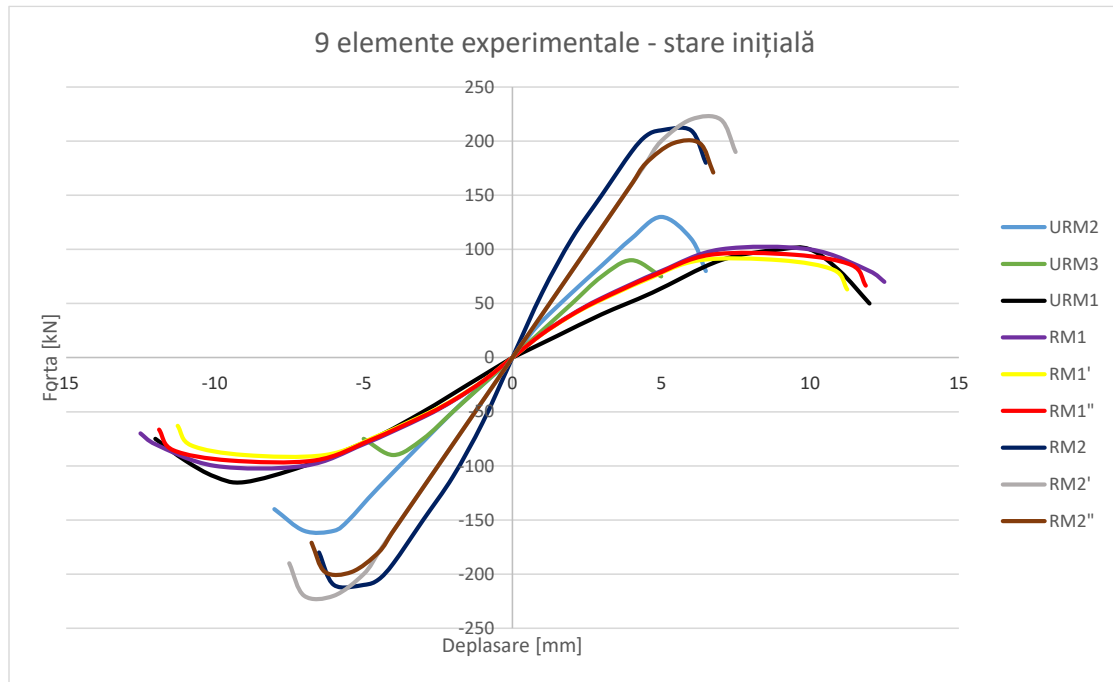


Fig. 5.2. Forță-deplasare pentru elementele în stare inițială

Modul de cedare a fost în cazul tuturor pereților tăierea pură, cu apariția fisurilor pe diagonalele principale ale elementelor. La pereții din zidărie nearmată și la cei cu stâlpișori laterali, fisurile au apărut în principal prin rosturile de mortar, urmărind direcția diagonalelor, iar pentru elementele cu stâlpișori central, fisurile au apărut în principal prin blocurile ceramice, urmărind deasemenea direcția diagonalelor principale.

## 5.3. Încercări experimentale elemente consolidate

După testarea elementelor în stare inițială, acestea au fost consolidate utilizând materiale compozite polimerice. Primul element din zidărie nearmată a fost consolidat cu lamele din carbon, iar celelalte 8 elemente s-au consolidat folosind țesătură din fibră de carbon. S-a renunțat la folosirea lamelelor datorită cedării foarte casante a acestora, cu zmulgerea în unele locuri cu jumătate din blocul ceramic.

Rezultatele obținute pentru cele nouă elemente, suprapuse sub forma înfășurătoarelor forță-deplasare se observă în Fig. 5.3.

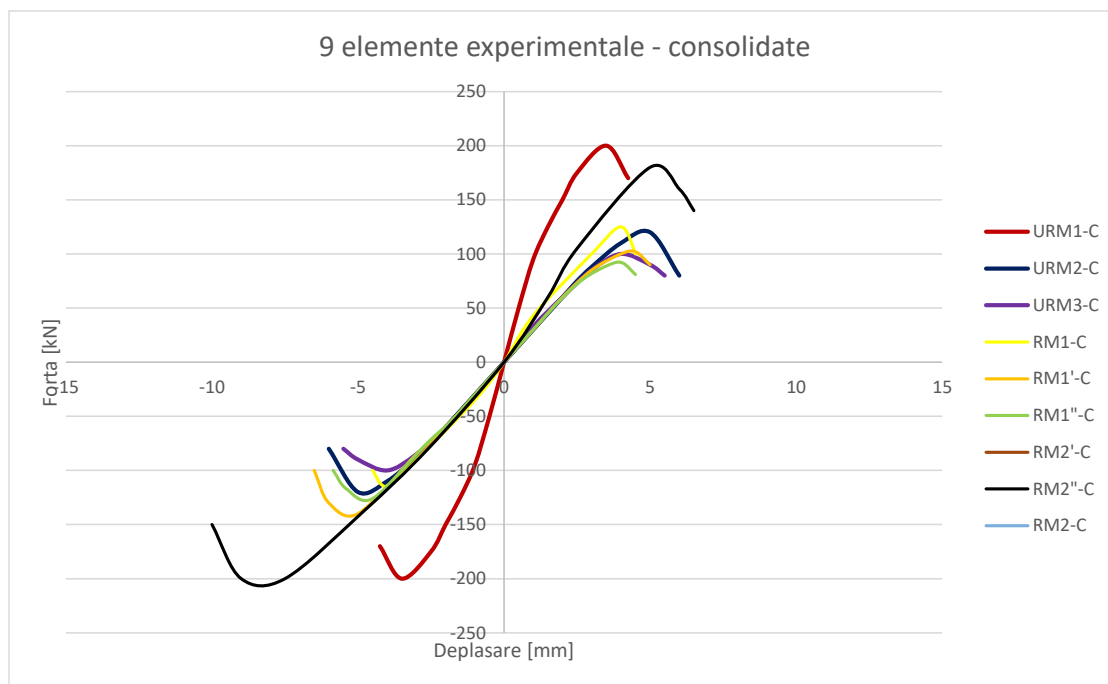


Fig. 5.3. Forță-deplasare pentru elementele consolidate

Cedarea elementelor s-a produs deasemenea la tăiere pură, prin deschiderea fisurilor produse la primele încercări. Prin deschiderea pronunțată a fisurilor se ajunge la un moment dat la desprinderea țesăturii din fibră de carbon, realizându-se o cedare casantă, aceasta se desprinde și cu bucăți semnificative din blocurile ceramice.

#### 5.4. Concluzii program experimental

În urma programului experimental pe cele 9 elemente experimentale testat în stare inițială, consolidate și retestate, se pot centraliza rezultatele conform Tabelului 5.1.

Tabelul 5.1. Rezultate centralizate program experimental

Specimen	URM1	URM2	URM3	URM1-C	URM2-C	URM3-C
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
Specimen	RM1	RM1'	RM1''	RM1-C	RM1'-C	RM1''-C
Forță verticală constantă	150	150	150	150	150	150



[kN]						
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

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.

### Energia disipată

S-a realizat un calcul pentru toate cele 18 încercări a energiei disipate cumulative și se prezintă rezultatele comparative în Fig. 5.4.

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 anumită regulă de creștere sau scădere.

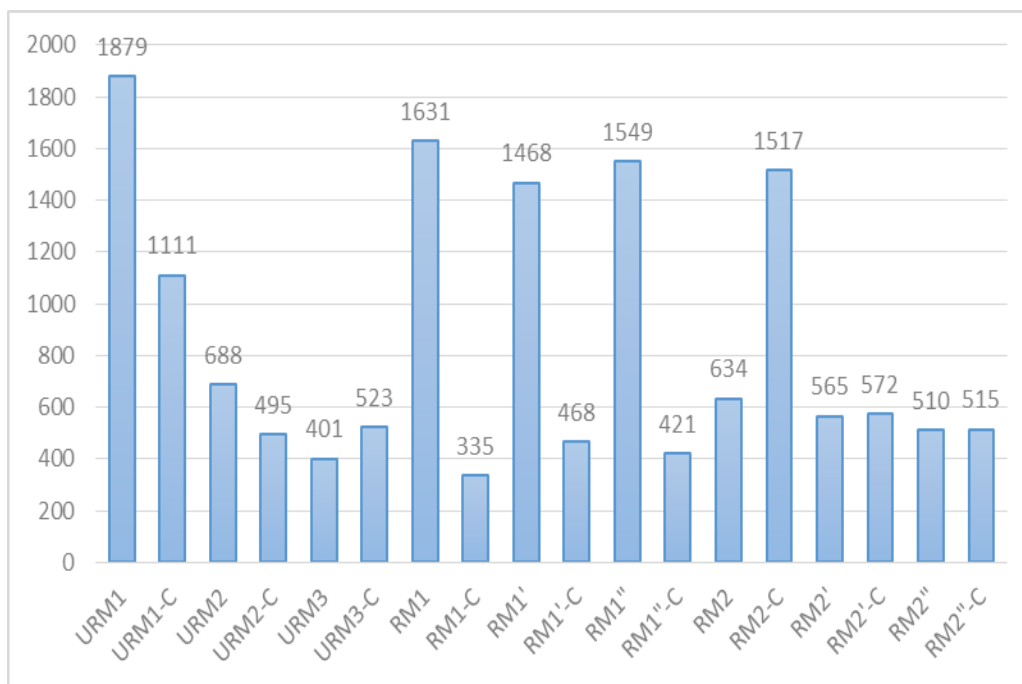


Fig. 5.4. Energie totală disipată [kNm]

### Rigiditate elemente

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 composite, conform Fig. 5.5.

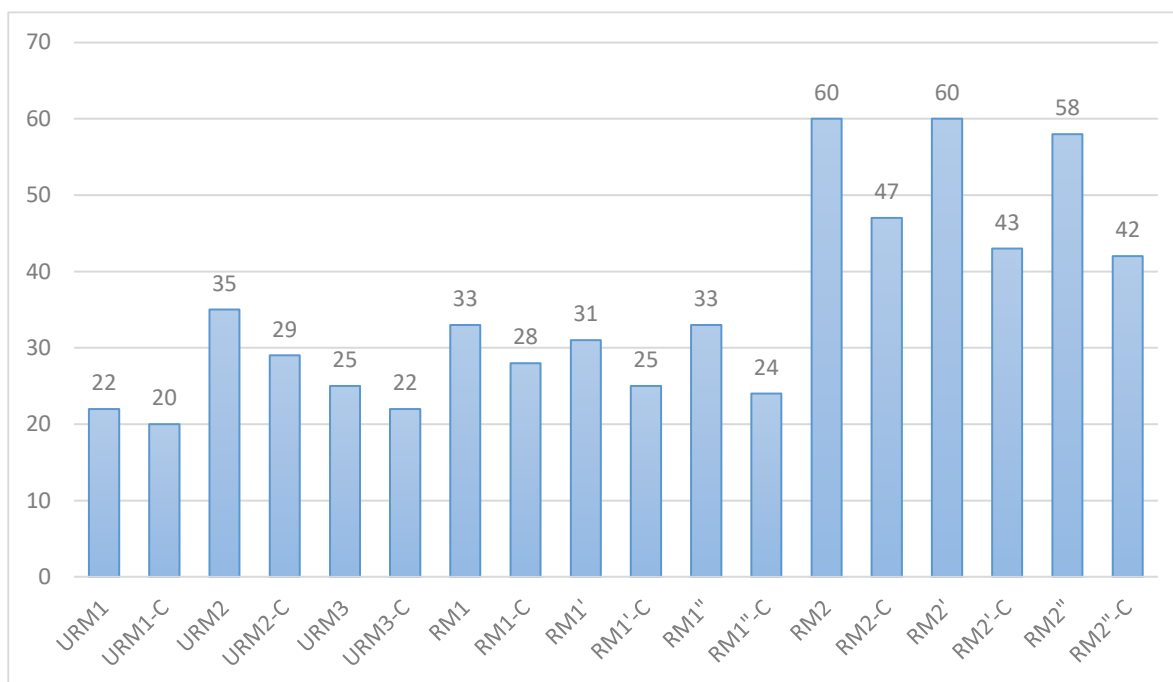


Fig. 5.5. Rigiditate inițială [kN/mm]

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

### Calcul conform CR6-2013

Realizând un calcul conform normativului CR6-2013, al rezistenței de proiectare pe secțiune înclinată se obțin valorile:

- perete din zidărie nearmată:  $V_{Rd,i}=41,24$  kN
- perete din zidărie confinată:  $V_{Rd,i}=62,84$  kN

Comparând rezultatele obținute în programul experimental (valore minimă dintre cele trei elemente testate), se observă diferențele, conform Fig. 5.6.

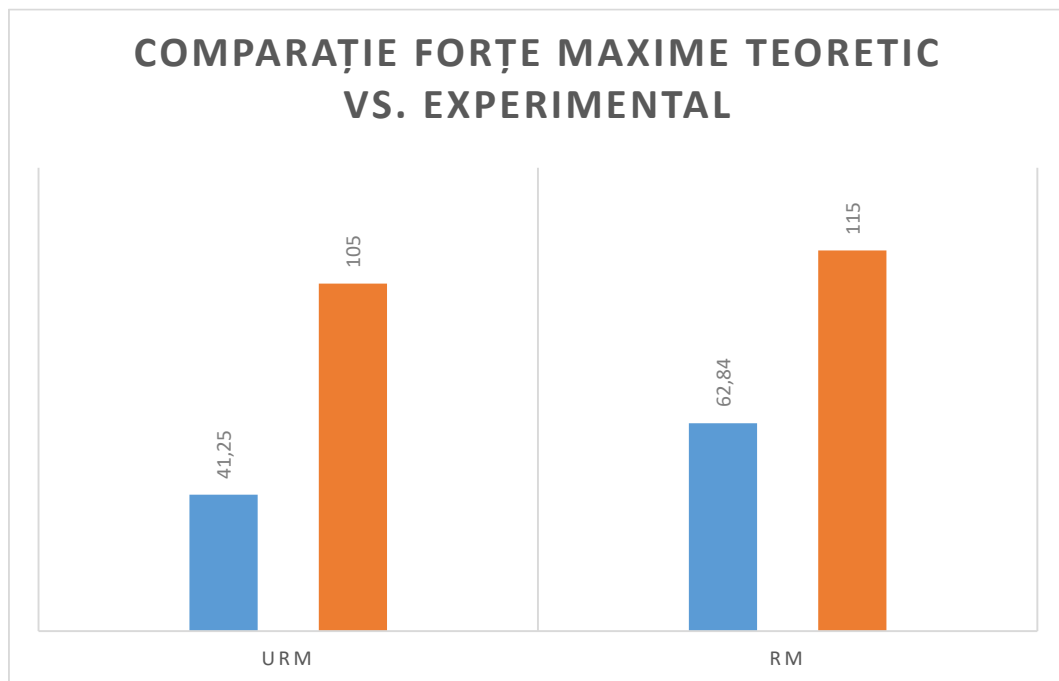


Fig. 5.6. Comparație teoretic vs. Experimental - forțe laterale maxime [kN]

Se poate concluziona că normativele actuale sunt foarte conservative în stabilirea capacității portante a zidăriei la tăiere, fiind diferențe mai mari de 50% între cele valorile obținute conform normative vs. valori obținute experimental.

### Modelări numerice cu ATENA 3D

S-au realizat modelări numerice pentru pereții din zidărie în stare inițială, în două variante: zidărie nearmată și zidărie confinată cu doi stâlpișori laterali.

Modelare materialului s-a făcut prin asimilarea zidăriei cu un material omogen, de tipul unui beton slab, folosind cracteristicile zidăriei calculate conform normativului CR6-2013.

Modul de cedare obținut a fost același cu modul de cedare obținut pe cale experimentală și anume tăiere pură cu apariția fisurilor pe diagonalele elementelor.

În modelul experimental forța s-a introdus dintr-o singură direcție, astfel fisurile se pot observa pe o singură diagonal, conform Fig. 5.7.

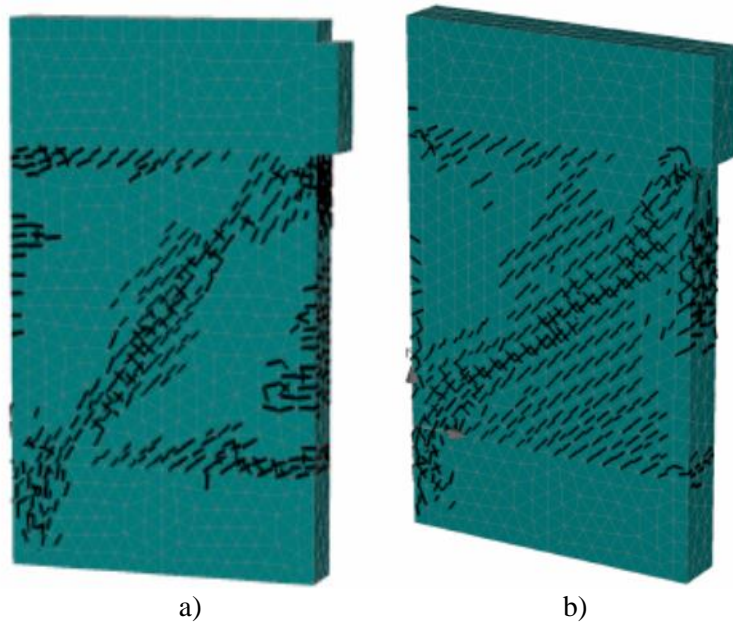


Fig. 5.7. Rezultate modelare numerică: a) zidărie nearmată; b) zidărie confinată

Dacă realizăm o comparație cu rezultatele obținute pe cale experimentală, observăm că rezultatele obținute sunt foarte apropiate ca valori ale forțelor maxime, precum și a rigidității inițiale ale elementelor. Fig. 5.8. și Fig. 5.9.

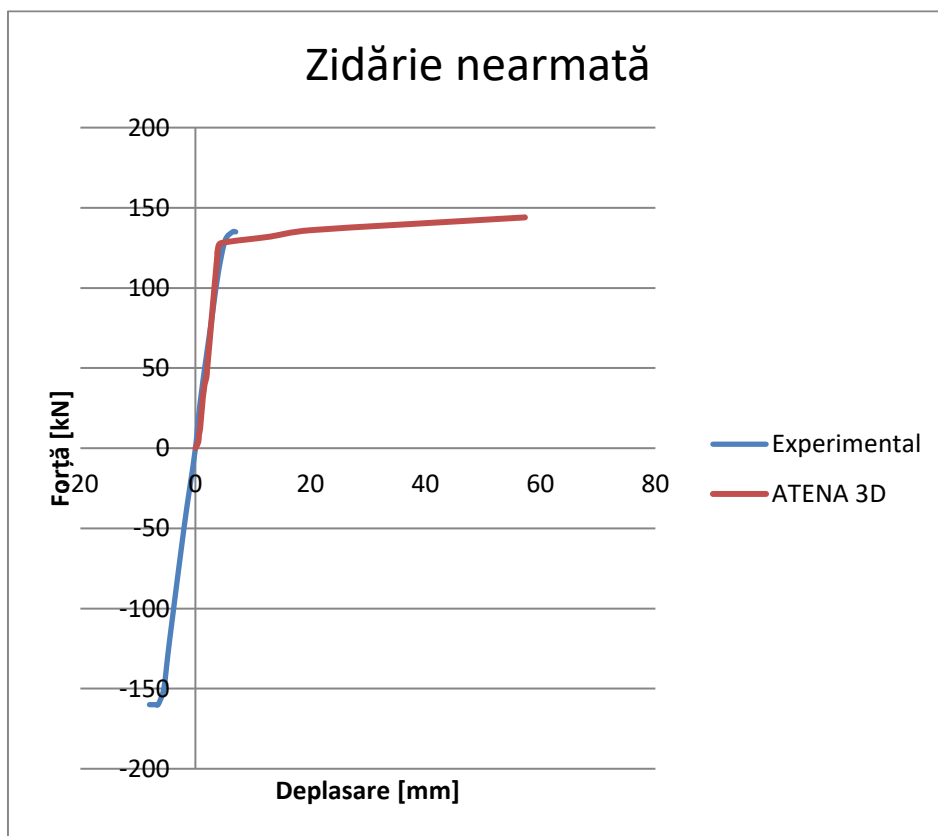


Fig. 5.7. Comparație Zidărie Nearmată: Atena 3D vs. Experimental - forțe laterale maxime [kN]

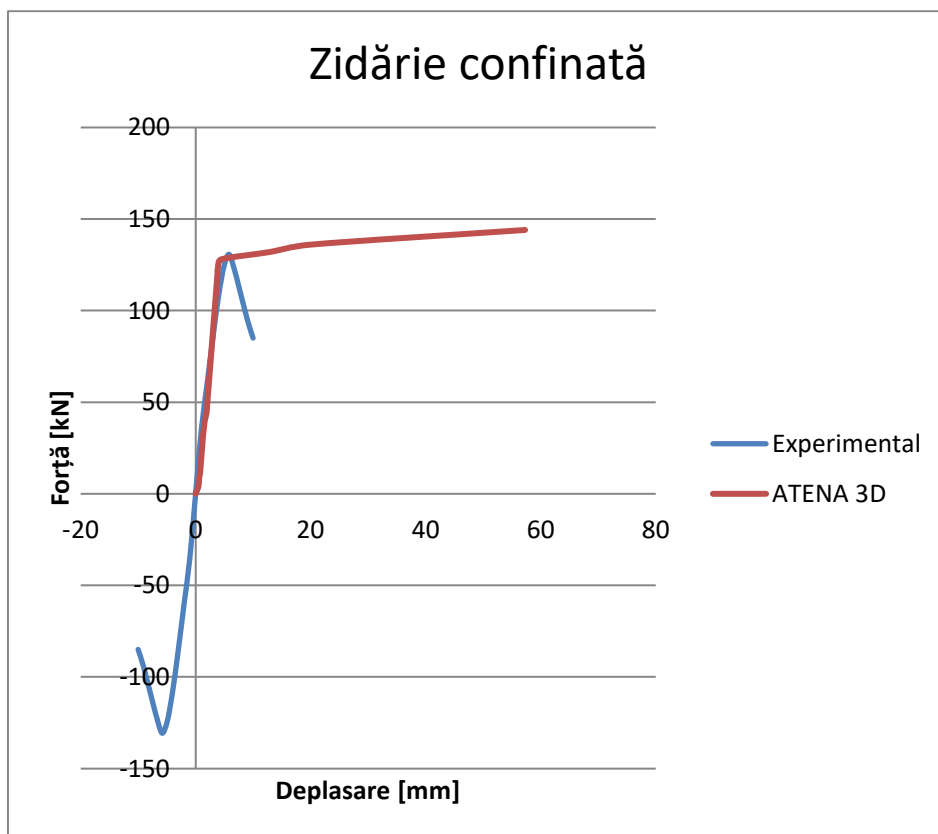


Fig. 5.8. Comparație Zidărie confinată: Atena 3D vs. Experimental - forțe laterale maxime [kN]

## 6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

### 6.1. Concluzii

Lucrarea abordează o temă de interes mare în momentul actual, având o 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:

- Pereții din zidărie simplă (nearmată sau confinată) au cedat la forță tăietoare, prin formarea unor fisuri după direcția diagonalelor principale.
- 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.
- 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%.

- Pereții consolidați cu materiale polimerice au avut o ductilitate mai redusă decât pereții în stare inițială.
- Aplicarea corespunzătoare a materialului compozit are un rol foarte important în obținerea unor rezultate bune.  
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.

## 6.2. Contribuții personale

Contribuțiile personale din prezenta lucrare se pot rezuma astfel:

- Efectuarea unui studiu bibliografic de specialitate privind comportarea pereților din zidărie la acțiuni seismice și consolidarea acestora cu diverse tehnologii, inclusiv materiale compozite polimerice.
- Conceperea și participarea la construirea unui stand experimental în Laboratorul Departamentul CCI.
- Conceperea unui program experimental de încercări care prezintă o serie de particularități inovatoare.
- Realizarea unor încercări experimentale pe 9 pereți din zidărie din blocuri ceramice cu goluri verticale.
- Propunerea unor metode de consolidare pentru elemente experimentale și realizarea testelor pe elementele consolidate.
- 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.

## 7. STUDIU DE CAZ. APLICAȚIE PRACTICĂ

### 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. 7.1.

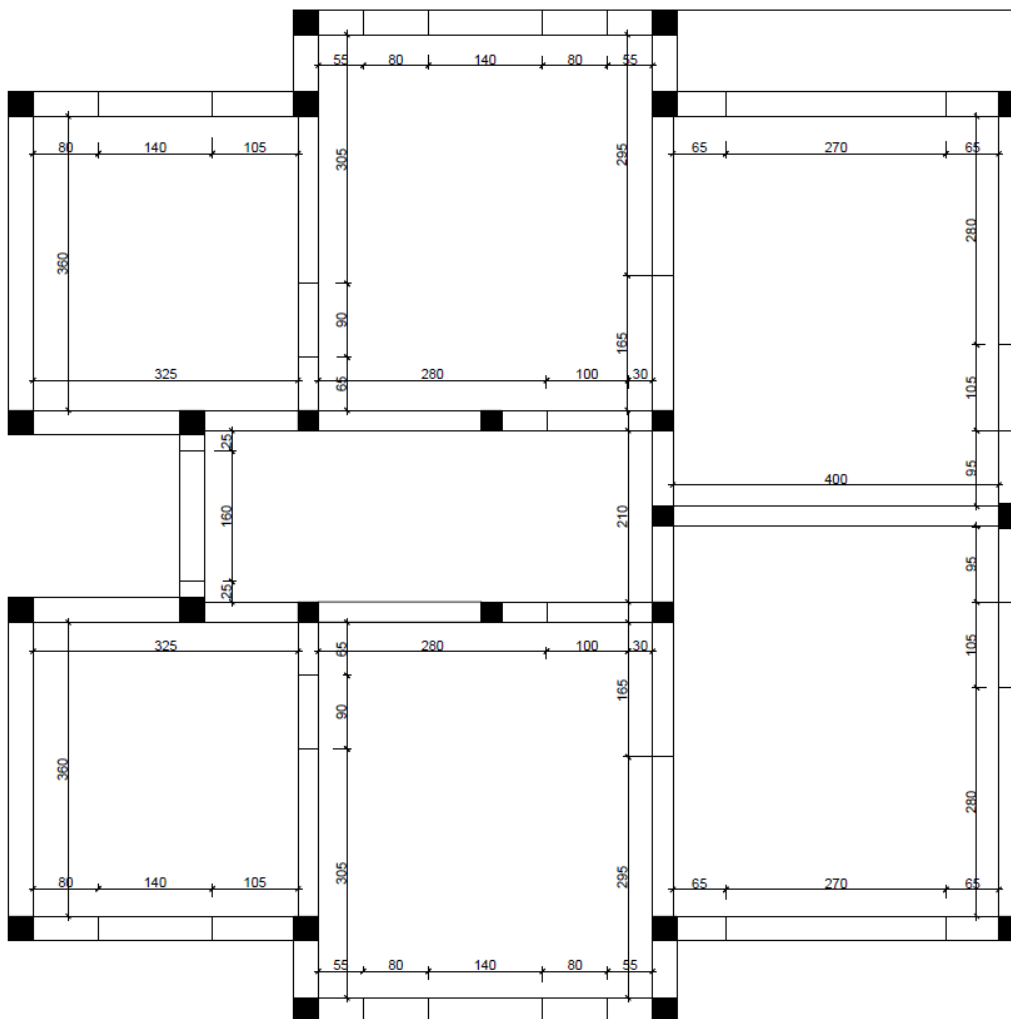


Fig. 7.1. Plan nivel current, clădire P+2E

### Siguranța la forță tăietoare

Condiția de siguranță la forță tăietoare, conform CR6-2013, este:

$$V_{Rd} \geq 1,25 V_{Edu}$$

Comparația valorilor se regăsește în tabelele 7.1-7.6.

Tabelul 7.1. 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 7.2. Siguranță forță tăietoare - Direcție transversală – Etaj 1

Elem	$V_{Rd}(ZC+AR)$	$V_{Edu}$	$1,25x V_{Edu}$
	[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 7.3. Siguranță forță tăietoare - Direcție transversală – Etaj 2

Elem	$V_{Rd}(ZC+AR)$	$V_{Edu}$	$1,25x V_{Edu}$
	[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 7.4. Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală – Parter

Elem	$V_{Rd}(ZC+AR)$	$V_{Edu}$	$1,25x V_{Edu}$
	[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 7.5. Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală – Etaj 1

Elem	$V_{Rd}(ZC+AR)$	$V_{Edu}$	$1,25x V_{Edu}$
	[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 7.6. Siguranță forță tăietoare - Direcție Longitudinală – Etaj 2

Elem	$V_{Rd}(ZC+AR)$	$V_{Edu}$	$1,25x V_{Edu}$
	[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.

### 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 Eurocode 6 și Eurocode 8. Programul oferă și posibilitate efectuării unei analize static liniare, sub încărcări gravitaționale, conform Eurocod 6. [

Programul oferă posibilitatea verificării structurii conform codurilor naționale din România: P100-1/2013 și CR6-2013.

Rezultate:

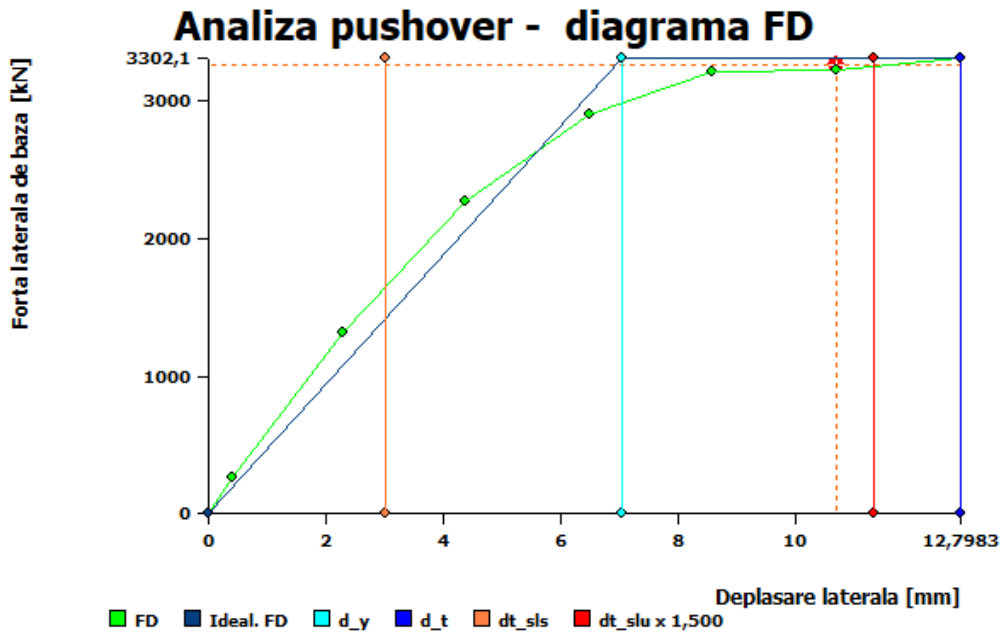


Fig. 7.1. Analiză Pushover X+

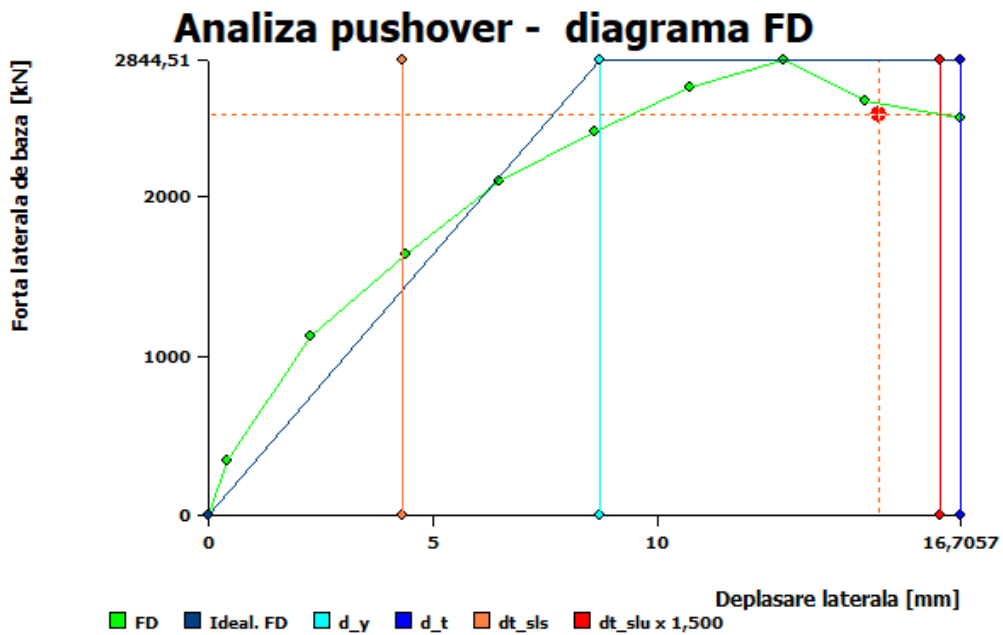


Fig. 7.2. Analiză Pushover Y+

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. Deasemenea, 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 aceeași montanți, de pe direcția longitudinală, care au necesitat armătură în rost orizontal.

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.

## **BIBLIOGRAFIE**

- [1] CR6-2013 – Cod de proiectare pentru structuri din zidărie.
- [2] P100-1/2013 – Cod de proiectare seismică, Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri. Capitolul 3 – Acțiunea seismică.
- [3] P100-1/2013 – Cod de proiectare seismică, Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri. Capitolul 8 – Prevederi specifice construcțiilor din zidărie.
- [4] Cretu D., Demetriu S. – Metode pentru calculul răspunsului seismic în codurile românești de proiectare. Comparații și comentarii. Revista AICPS, pg. 1-9, 2006.
- [5] Anastasescu D. – Aspecte ale evoluției reglementărilor tehnice privind protecția antiseismică a construcțiilor din Municipiul Timișoara. Buletinul AGIR nr. 3/2012.
- [6] 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.
- [7] Petersen R. – In-plane shear behavior of unreinforced masonry panels strengthened with fibre reinforced polymer strips, The University of Newcastle, Australia, 2009.
- [8] Dogariu A. – Seismic retrofitting techniques based on metallic materials of RC and/or masonry buildings. PhD Thesis. Editura Universitatea “Politehnica” Timișoara, 2009.
- [9] Nagy-Gyorgy T. – Materiale compozite polimerice pentru consolidarea elementelor din zidărie și beton. Editura Politehnica. Timișoara 2007.
- [10] Babatunde S.A. – Review of strengthening techniques for masonry using fibre reinforced polymers. Composite Structures 161, pg. 246-255, 2017.
- [11] Dăescu C. – Reabilitarea elementelor de construcție utilizând materiale compozite polimerice. Teză doctorat. Editura Universitatea “Politehnica” Timișoara, 2011.
- [12] 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.
- [13] Fabian A.A. – Study on the performances of composite steel concrete

structural shear walls under lateral loads. Teză doctorat. Universitatea Politehnica Timișoara 2012.

- [14] Fofiu M. – Retrofitting the precast RC walls panels using externally bonded CFRP laminates. Teză doctorat. Universitatea Politehnica Timisoara 2017.
- [15] Demeter I. – Seismic retrofit of precast RC walls by externally bonded CFRP composites. Teză doctorat. Universitatea Politehnica Timisoara 2011.
- [16] Matei C.L. – Contribuții asupra definirii caracteristicilor de rezistență și deformabilitate ale zidăriei utilizate în zone seismice. Teză doctorat. UTCB. 2013.
- [17] 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.
- [18] Petersen R. – In-plane shear behavior of unreinforced masonry panels strengthened with fibre reinforced polymer strips, The University of Newcastle, Australia, 2009.
- [19] Moșoarcă M. – Contribuții la calculul și alcătuirea pereților structurali din beton armat. Teză doctorat. Universitatea Politehnica Timișoara 2003.
- [20] 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.