

# **REABILITAREA ELEMENTELOR DE CONSTRUCȚIE UTILIZÂND MATERIALE COMPOZITE POLIMERICE**

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

**Ing. DĂESCU Alexandru Cosmin**

Conducător științific: prof. univ. dr. ing. STOIAN Valeriu  
Referenți științifici: prof. univ. dr. ing. CÂMPIAN Cristina  
prof. univ. dr. ing. POPĂESCU Augustin  
conf. univ. dr. ing. DAN Daniel

Ziua susținerii tezei: 30 Septembrie 2011

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea „Politehnica” din 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, 2006

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” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de față a fost elaborată în perioada 2003 – 2011, timp în care am fost membru al colectivului Departamentului de Construcții Civile, Industriale și Agricole al Facultății de Construcții din Timișoara.

În primul rând îmi exprim recunoștința față de îndrumătorul meu, domnul profesor STOIAN Valeriu, a cărui experiență și îndrumare le-am folosit pe tot parcursul acestei perioade, pentru finalizarea acestei cercetări și pentru formarea mea profesională ca și inginer.

De asemenea, un rol important în stabilirea detaliilor activității mele l-a avut colegul meu de birou, domnul NAGY-GYÖRGY Tamás, căruia îi mulțumesc pentru răbdarea și discuțiile prelungite pe care le-am avut pe parcursul acestor ani.

Aș vrea să amintesc aici mulțumiri și colegilor care, într-un fel sau altul, m-au influențat în bine în alegerea drumului corect: Domnul Conferențiar DAN Daniel și colegii doctoranzi FLORUȚ Codruț, DIACONU Dan și DEMETER István.

Aș dori să mulțumesc din suflet celor care m-au asistat în realizarea încercărilor experimentale: "bătrânul și experimentatul" domn MARITY și Mircea MARITY.

În final, dar nu în ultimul rând, această teză o dedic familiei mele, pentru sprijinul necondiționat ce mi l-au oferit în toți acești ani.

Timișoara, Septembrie 2011

ing. DĂESCU Alexandru Cosmin

DĂESCU, Alexandru Cosmin

**REABILITAREA ELEMENTELOR DE CONSTRUCȚIE  
UTILIZÂND MATERIALE COMPOZITE POLIMERICE**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 78, Editura Politehnica,  
2011, 212 pagini, 194 figuri, 44 tabele.

ISSN: 1842-581X

ISBN: 978-606-554-330-0

Cuvinte cheie:

elemente de construcție, beton armat, consolidări, materiale  
compozite polimerice

Rezumat,

Teza de doctorat are ca subiect reabilitarea elementelor din beton armat, folosind diferite tipuri de materiale și sisteme. Teza face un studiu comparativ între diferite materiale folosite la consolidări (bare metalice / fibre de carbon) și realizează un studiu asupra aportului adus de fiecare dintre elementele componente ale fiecărui sistem. Astfel, au fost studiate și testate elemente consolidate doar cu câte o parte componentă a unui sistem, testele individuale fiind ulterior comparate cu soluția completă.

Obiectivul acestui studiu îl constituie stabilirea unei metode optime de consolidare a elementelor de beton armat, destinat reabilitării construcțiilor existente.

## CUPRINS

Cuprins.....	5
Notații, abrevieri și acronime.....	8
Lista tabelor.....	12
Lista figurilor.....	14
Rezumat.....	21
1. INTRODUCERE.....	23
1.1. Subiectul tezei.....	23
1.2. Obiective.....	23
1.3. Cadrul general de realizare a lucrării.....	24
2. CONSOLIDAREA ELEMENTELOR DE BETON ARMAT FOLOSIND MATERIALE COMPOZITE POLIMERICE.....	25
2.1. Scurt istoric al materialelor compozite polimerice.....	25
2.2. Principiul consolidărilor cu material compozite.....	26
2.2.1. Înfășurarea cu țesătură.....	26
2.2.2. Înfășurarea continuă cu filamente (fire de fibră).....	27
2.2.3. Înfășurarea cu manșoane prefabricate.....	27
2.3. Caracteristici ale materialelor compozite polimerice.....	27
2.4. Motivația subiectului abordat în cadrul tezei.....	29
3. METODOLOGII DE CALCUL PENTRU ANALIZA BETONULUI CONFINAT.....	30
3.1 Principiul și metodologia de bază.....	30
3.2 Studiu bibliografic .....	31
3.2.1. Consolidarea prin confinare.....	31
3.2.2. Consolidarea la încovoiere.....	38
3.3 Metodologiile de calcul .....	53
3.3.1. Metodologia fib 14 (Spoelstra și Monti – 2001).....	53
3.3.2. Metodologia Mander (1998).....	54
3.3.3. Metodologia ACI 440.2r-08 (2008).....	55
3.3.4. Metodologia Lam și Teng (2009).....	57
3.3.5. Compararea metodologiilor de calcul.....	58
3.3.6. Calculul confinării, pe baza metodologiilor studiate.....	59
4. ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE .....	68
4.1. Pregătirea testelor.....	68
4.1.1. Introducere.....	68
4.1.2. Fazele de pregătire.....	68
4.1.3. Programul de încercări experimentale.....	71
4.2. Pregătirea încercărilor experimentale în laborator.....	72
4.2.1. Alcătuirea elementelor. Standul experimental.....	72
4.2.2. Procedura de încercări experimentale.....	75
4.3. Efectuarea încercărilor experimentale în laborator.....	76
4.3.1. Elemente de referință.....	76
4.3.1.1. Elementul C1M.....	76
4.3.1.2. Elementul C1C.....	80
4.3.1.3. Elementul C5C.....	85
4.3.2. Elemente consolidate prin înfășurarea bazei.....	89
4.3.2.1. Elementul C1C-CW-BC.....	89

---

4.3.2.2. Elementul C2M-GW-BC.....	95
4.3.2.3. Elementul C6C1-GW-BC.....	100
4.3.2.4. Elementul C6C2-GW-BC.....	104
4.3.3. Elemente consolidate lateral, fără înfășurare.....	108
4.3.3.1. Elementul C3M-BM-AF.....	108
4.3.3.2. Elementul C3C-BM-AF.....	113
4.3.3.3. Elementul C8C1- CSS-AF.....	118
4.3.3.4. Elementul C8C2- CSS-AF.....	124
4.3.4. Elemente consolidate lateral și prin înfășurare.....	129
4.3.4.1. Elementul C3M-BM+GW.....	129
4.3.4.2. Elementul C4M-BM+CW.....	133
4.3.4.3. Elementul C4C-BM+CW.....	138
4.3.4.4. Elementul C7C1-BM+GW.....	144
4.3.4.5. Elementul C7C2-BM+GW.....	149
4.3.4.6. Elementul C9C1-CSS+GW.....	155
4.3.4.7. Elementul C9C2-CSS+GW.....	160
4.4. Studiul comparativ privind forțele laterale ultime.....	165
4.4.1. Caracteristicile teoretice ale betonului confinat.....	165
4.4.2. Calculul secțiunilor.....	166
4.5. Comparații experimentale.....	178
4.5.1. Ductilitatea.....	178
4.5.2. Creșterea capacității portante a elementelor.....	180
4.6. Concluzii.....	182
4.6.1. Încercările de laborator și comparații experimentale.....	182
4.6.2. Studii teoretice.....	182
4.6.3. Propunere factor de reducere .....	183
5. MODELĂRI CU ELEMENTE FINITE.....	185
5.1. Ipoteze inițiale.....	185
5.1.1. Introducere.....	185
5.1.2. Programul de modelări.....	185
5.2. Procedeele de modelare. Modele de material.....	185
5.3. Studiu comparativ teoretic / experimental.....	192
5.3.1. Modelul pentru C1M.....	192
5.3.2. Modelul pentru C2M-GW-BC.....	192
5.3.3. Modelul pentru C3M-BM-AF.....	194
5.3.4. Modelul pentru C3M-BM+GW.....	194
5.3.5. Modelul pentru C1C.....	195
5.4. Considerații asupra modelărilor cu elemente finite.....	194
6. PROPUNEREA UNEI METODOLOGII DE CALCUL ȘI APLICARE PENTRU CONSOLIDAREA ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT FOLOSIND MATERIALE COMPOZITE POLIMERICE.....	197
6.1. Caracteristicile teoretice ale betonului confinat.....	197
6.2. Calculul consolidărilor cu materiale compozite polimerice (FRP).....	197
6.3. Metodologia propusă.....	197
6.3.1. Considerații referitoare la aplicarea practică.....	199
7. CONCLUZII SI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	200
7.1. Rezumarea capitolelor.....	200
7.2. Contribuții personale.....	201
7.2.1. Proiecte de cercetare.....	201
7.3. Publicații .....	202
7.3.1. Cărți publicate.....	202

7.3.2. Articole publicate.....	202
Bibliografie.....	206

## NOTAȚII, ABREVIERI ȘI ACRONIME

### Capitolul 2

FRP	( <i>Fibre Reinforced Polymers</i> ) polimeri armați cu fibre sau materiale compozite polimerice
CFRP	( <i>Carbon Fibre Reinforced Polymers</i> ) polimeri armați cu fibră de carbon
GFRP	( <i>Glass Fibre Reinforced Polymers</i> ) polimeri armați cu fibră de sticlă
AFRP	( <i>Aramid Fibre Reinforced Polymers</i> ) polimeri armați cu fibră de aramidă

### Capitolul 3

fib14	Fédération Internationale du Béton Federația Internațională a Betonului
ACI	American Concrete Institute – Institutul American pentru Beton
<i>Subcapitol 3.3.1</i>	
$f_{cu}$	rezistența ultimă la compresiune a betonului confinat
$\epsilon_{cu}$	deformația specifică ultimă în compresiune a betonului confinat
$f_{co}$	rezistența ultimă la compresiune a betonului neconfinat pe cilindrul standard
$\epsilon_{co}$	deformația specifică ultimă în compresiune a betonului neconfinat
$f_l$	presiunea de confinare
$\bar{f}_l$	valoarea normalizată a efortului maxim de confinare
$E_c$	modulul de elasticitate longitudinal al betonului neconfinat
$\underline{E}_c$	valoarea normalizată a modulului de elasticitate longitudinal al betonului
$\rho_j$	procentului volumetric de armare prin confinare
$E_j$	modulul de elasticitate al materialului de confinare
$\epsilon_{ju}$	deformația specifică ultimă a materialului de confinare
$A_u$	aria totală a betonului confinat (în secțiune)
$\rho_{jx}$	procentului volumetric de armare pe direcția x
$\rho_{jy}$	procentului volumetric de armare pe direcția y
$b_f$	lățimea fâșiei de fibră (pe înălțimea elementului)
$t_j$	grosimea fibrei de confinare
s	distanța dintre fâșiile de fibră (pe înălțimea elementului)
$r_c$	raza de prelucrare a colțurilor



$b, d$	dimensiunile geometrice ale secțiunii de beton
<i>Subcapitol 3.3.2</i>	
$f'_{co}$	rezistența ultimă a betonului neconfinat pe cilindrul standard
$f'_{cc}$	rezistența ultimă a betonului confinat
$\alpha_1; \alpha_2$	coeficienți de multiplicare aferenți celor două direcții principale
$f'_{lx}; f'_{ly}$	presiunile efective de confinare pe cele două direcții principale
$k_e$	coeficientul de confinare efectivă
$\rho_{jx}; \rho_{jy}$	procentele volumetrice de confinare pe cele două direcții principale
$f_j$	efortul din FRP
$E_j$	modulul de elasticitate al materialului de confinare
$\varepsilon_{ju}$	deformația specifică ultimă a materialului de confinare
$A_q$	aria betonului confinat efectiv
$\rho_{sc}$	procentul de armare longitudinală
$b; d$	dimensiunile secțiunii de beton
$b'; d'$	dimensiunile secțiunii de beton confinate
$r_c$	raza de rotunjire a colțului secțiunii de beton confinate
$t_j$	grosimea fibrei FRP
<i>Subcapitol 3.3.3</i>	
$b; h$	dimensiunile secțiunii de beton
$f'_c$	rezistența caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard
$k_a$	coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii $h$ (latura lungă)
$k_b$	coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii $b$ (latura scurtă)
$A_e$	aria efectivă a betonului confinat
$A_c$	aria betonului din secțiune
$\rho_g$	procentul de armare longitudinală
$A_s$	aria totală a barelor din secțiune
$A_q$	aria întregii secțiuni de beton
$r_c$	raza de prelucrare a colțurilor secțiunii
$k_\varepsilon$	factorul de eficiență a FRP
$\psi_f$	coeficient suplimentar de reducere a presiunii de confinare
$f_l$	presiunea de confinare a FRP
$n$	numărul straturilor de FRP
$t_f$	grosimea stratului de FRP
$E_f$	modulul de elasticitate al FRP

$\varepsilon_{fe}$	deformația specifică efectivă la rupere a FRP
$k_{\varepsilon}$	factorul de eficiență a FRP
$\varepsilon_{fu}$	deformația specifică la rupere, de calcul, a FRP
$\varepsilon'_c$	deformația specifică axială a betonului neconfinat, aferentă rezistenței ultime
$\varepsilon'_{ccu}$	deformația specifică axială ultimă a betonului confinat
<b>Subcapitol 3.3.4</b>	
$\varepsilon'_{cc,u}$	deformația specifică axială ultimă a betonului confinat
$\varepsilon'_c$	deformația specifică axială a betonului neconfinat, aferentă rezistenței ultime
$k_a$	coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii h (latura lungă)
$k_b$	coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii b (latura scurtă)
$A_g$	aria întregii secțiunii de beton
$\rho_g$	procentul de armare longitudinală
$r$	raza de prelucrare a colțurilor secțiunii
$f_l$	presiunea de confinare a FRP
$n$	numărul straturilor de FRP
$t_f$	grosimea stratului de FRP
$E_f$	modulul de elasticitate al FRP
$\varepsilon_{fe}$	deformația specifică efectivă la rupere a FRP
$D$	diametrul secțiunii circulare de beton
$f'_c$	rezistența caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard
$\varepsilon_{fe}$	deformația specifică efectivă la rupere a FRP
$f'_{cc}$	rezistența caracteristică la compresiune a betonului confinat

**Capitolul 4**

$f_{ck,cube}$	rezistența la compresiune a betonului, pe cilindrul standard (150mm)
C1M	C – <i>concrete column</i> – element din beton 1 – numărul specimenului M – tipul de testare – Monotonă, în acest caz
C1C	C – <i>concrete column</i> – element din beton 1 – numărul specimenului C – tipul de testare – Ciclică, în acest caz
BM	<i>Bars of metal</i> – Bare metalice
AF	<i>Anchored into Foundation</i> – ancorate în fundații

CW	<i>Carbon Wrap</i> – țesătură carbon
GW	<i>Glass Wrap</i> – țesătură sticlă
BC	<i>Base Confinement</i> – baza confinată
CSS	<i>Carbon Sheet Strands</i> – mănunchiuri de țesătură de carbon
$f_{yk}$	rezistența caracteristică la curgere a oțelului pentru armături
$\mu_{\Delta}$	factor de ductilitate
$\Delta_u$	deplasarea laterală ultimă a elementului testat
$\Delta_y$	deplasarea laterală la curgere a elementului testat
$t_f$	grosimea unui strat de material compozit (a țesăturii)
n	numărul de straturi de material compozit
$E_f$	modulul de elasticitate longitudinal al materialului de confinare
$\varepsilon_{fu}$	deformația specifică ultimă a FRP, precizată în fișa tehnică
$k_{\varepsilon}$	factorul de eficiență a FRP (vezi 3.3.3 și 3.3.4)
$\varepsilon_{fe}$	deformația specifică efectivă la rupere a FRP (vezi 3.3.3 și 3.3.4)
$H_{\max, \text{teoretic}}$	forța maximă aplicată lateral, determinată teoretic
$H_{\max, \text{test}}$	forța maximă aplicată lateral, determinată experimental
$\gamma_{\text{red}}$	factor propus pentru reducerea rezistenței ultime a materialului compozit

## LISTA TABELELOR

Tabelul 2.1	Caracteristici materiale folosite pentru compozite
Tabelul 2.2	Caracteristici tipice ale compozitelor cu fibre de carbon
Tabelul 3.1	Centralizare ecuații referitoare la rezistența ultimă a betonului confinat
Tabelul 3.2	Centralizare ecuații referitoare la deformația specifică ultimă a betonului confinat
Tabelul 3.3	Calculul betonului confinat cu fibră de sticlă – Metodologia <i>fib14</i> (Spoelstra și Monti)
Tabelul 3.4	Calculul betonului confinat cu fibră de sticlă – Metodologia Mander
Tabelul 3.5	Calculul betonului confinat cu fibră de sticlă – Metodologia AICI 440.2R-08
Tabelul 3.6	Calculul betonului confinat cu fibră de sticlă – Metodologia Lam și Teng
Tabelul 3.7	Calculul betonului confinat cu fibră de carbon – Metodologia <i>fib14</i> (Spoelstra și Monti)
Tabelul 3.8	Calculul betonului confinat cu fibră de carbon – Metodologia Mander
Tabelul 3.9	Calculul betonului confinat cu fibră de carbon – Metodologia AICI 440.2R-08
Tabelul 3.10	Calculul betonului confinat cu fibră de carbon – Metodologia Lam și Teng
Tabelul 3.11	Centralizator caracteristici beton confinat cu fibră de sticlă
Tabelul 3.12	Centralizator caracteristici beton confinat cu fibră de carbon
Tabelul 4.1	Programul de teste experimentale
Tabelul 4.2	Calități oțeluri folosite pentru carcusele de armătură
Tabelul 4.3	Fișa testului C1M
Tabelul 4.4	Fișa testului C1C
Tabelul 4.5	Fișa testului C5C
Tabelul 4.6	Fișa testului C1C-CW-BC
Tabelul 4.7	Fișa testului C2M-GW-BC
Tabelul 4.8	Fișa testului C6C1-GW-BC
Tabelul 4.9	Fișa testului C6C2-GW-BC
Tabelul 4.10	Fișa testului C3M-BM-AF
Tabelul 4.11	Fișa testului C3C-BM-AF
Tabelul 4.12	Fișa testului C8C1-CSS-AF
Tabelul 4.13	Fișa testului C8C2-CSS-AF
Tabelul 4.14	Fișa testului C3M-BM+CW

---

Tabelul 4.15	Fișa testului C4M-BM+CW
Tabelul 4.16	Fișa testului C4C-BM+CW
Tabelul 4.17	Fișa testului C7C1-BM+GW
Tabelul 4.18	Fișa testului C7C2-BM+GW
Tabelul 4.19	Fișa testului C9C1-CSS+GW
Tabelul 4.20	Fișa testului C9C2-CSS+GW
Tabelul 4.21	Proprietățile țesăturilor de confinare
Tabelul 4.22	Caracteristicile betonului confinat
Tabelul 4.23	Rezistențe oțel folosite în calcul
Tabelul 4.24	Evaluare capacități portante – beton neconfinat
Tabelul 4.25	Evaluare capacități portante – beton confinat – metodologie <i>fib14</i>
Tabelul 4.26	Evaluare capacități portante – beton confinat – metodologie Mander
Tabelul 4.27	Evaluare capacități portante – beton confinat – metodologie ACI 440
Tabelul 4.28	Evaluare capacități portante – beton confinat – metodologie Lam și Teng
Tabelul 4.29	Rapoarte comparative – teoretic / experimental
Tabelul 4.30	Factor de reducere propus

## LISTA FIGURILOR

- Figura 2.1 Diferite tipuri de confinare prin înfășurare:  
a) totală; b) parțială în spirală continuă; c) parțial în fâșii circulare
- Figura 2.2 Înfășurarea continuă cu filamente de fibră
- Figura 2.3 Diagrame specifice de comportare pentru materiale compozite polimerice
- Figura 3.1 Betonul confinat în secțiunea dreptunghiulară, respectiv circulară.
- Figura 3.2 Influența confinării discontinue pe verticală asupra betonului din element
- Figura 4.1 Curățirea și corectarea suprafețelor
- Figura 4.2 Aplicarea și uniformizarea rășinii epoxidice
- Figura 4.3 Aplicarea țesăturilor de înfășurare
- Figura 4.4 Aplicarea barelor laterale din oțel
- Figura 4.5 Aplicarea mănunchiurilor laterale din fibră de carbon
- Figura 4.6 Planul de armare al elementelor
- Figura 4.7 Standul de încercare al elementelor
- Figura 4.8 Principiul de echipare a elementelor încercate
- Figura 4.9 Diagrama ciclurilor de încărcare – etapa de control de forță
- Figura 4.10 Diagrama ciclurilor de încărcare – etapa de control de deplasare
- Figura 4.11 Echiparea elementului C1M
- Figura 4.12 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C1M
- Figura 4.13 Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C1M
- Figura 4.14 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C1M
- Figura 4.15 Detaliu dispunere timbre tensometrice G1 și G2 pentru elementul C1M
- Figura 4.16 Detaliu deschidere fisură în zona întinsă pentru elementul C1M (35kN)
- Figura 4.17 Detaliu zdrobire beton în zona comprimată pentru elementul C1M (35kN)
- Figura 4.18 Echiparea elementului C1C
- Figura 4.19 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C1C
- Figura 4.20 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C1C
- Figura 4.21 Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C1C
- Figura 4.22 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C1C
- Figura 4.23 Detaliu dispunere timbre tensometrice G1 , G2, G3 și G4

---

	pentru elementul C1C
Figura 4.24	Distribuția fisurilor la baza elementului pentru elementul C1C
Figura 4.25	Zona comprimată de beton – zdrobire inițială a betonului comprimat pentru elementul C1C
Figura 4.26	Zone comprimate de beton – formare articulație plastică pentru elementul C1C ( $D_1 = 36\text{mm}$ )
Figura 4.27	Echiparea elementului C5C
Figura 4.28	Diagrama forță – deplasare pentru elementul C5C
Figura 4.29	Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C5C
Figura 4.30	Vedere generală a standului experimental pentru elementul C5C
Figura 4.31	Distribuția fisurilor la bază pentru elementul C5C
Figura 4.32	Dezvoltarea articulației plastice pentru elementul C5C
Figura 4.33	Starea de deformație după formarea articulației plastice pentru elementul C5C
Figura 4.34	Echiparea și consolidarea elementului C1C-CW-BC
Figura 4.35	Diagrama forță – deplasare pentru elementul C1C-CW-BC
Figura 4.36	Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C1C-CW-BC
Figura 4.37	Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C1C-CW-BC
Figura 4.38	Vedere generală a standului experimental pentru elementul C1C -CW-BC
Figura 4.39	Detaliu dispunere timbre tensometrice G1 și G2 pentru elementul C1C-CW-BC
Figura 4.40	Formarea secțiunii de lunecare la bază pentru elementul C1C-CW-BC
Figura 4.41	Cedarea prin lunecarea la bază pentru elementul C1C-CW-BC
Figura 4.42	Secțiunea de lunecare la baza înfășurării în finalul cedării pentru elementul C1C-CW-BC
Figura 4.43	Echiparea și consolidarea elementului C2M-GW-BC
Figura 4.44	Diagrama forță – deplasare pentru elementul C2M-GW-BC
Figura 4.45	Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C2M-GW-BC
Figura 4.46	Vedere generală a standului experimental pentru elementul C2M-GW-BC
Figura 4.47	Timbrul tensometric G1 pentru elementul C2M-GW-BC
Figura 4.48	Inițierea cedării elementului C2M-GW-BC
Figura 4.49	Cedarea elementului C2M-GW-BC
Figura 4.50	Armătura întinsă ruptă la cedarea elementului C2M-GW-BC
Figura 4.51	Echiparea și consolidarea elementului C6C1-GW-BC
Figura 4.52	Diagrama forță – deplasare pentru elementul C6C1-GW-BC
Figura 4.53	Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C6C1-GW-BC

- Figura 4.54 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C6C1-GW-BC
- Figura 4.55 Inițierea formării articulației de lunecare la bază pentru elementul C6C1-GW-BC
- Figura 4.56 Formarea articulației de lunecare la bază pentru elementul C6C1-GW-BC
- Figura 4.57 Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C6C1-GW-BC (D1 = 72mm)
- Figura 4.58 Echiparea și consolidarea elementului C6C2-GW-BC
- Figura 4.59 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C6C2-GW-BC
- Figura 4.60 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C6C2-GW-BC
- Figura 4.61 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C6C2-GW-BC
- Figura 4.62 Inițierea formării articulației de lunecare la baza elementului pentru elementul C6C2-GW-BC
- Figura 4.63 Formarea articulației de lunecare la bază și cedare armătură interioară pentru elementul C6C2-GW-BC (D1 = 60mm)
- Figura 4.64 Echiparea și consolidarea elementului C3M-BM-AF
- Figura 4.65 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C3M-BM-AF
- Figura 4.66 Diagrama forță – deformație specifică pentru elementul C3M-BM-AF
- Figura 4.67 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C3M-BM-AF
- Figura 4.68 Detaliu lipire timbrul G2 pentru elementul C3M-BM-AF
- Figura 4.69 Inițierea cedării secțiunii la partea superioară a consolidării laterale pentru elementul C3M-BM-AF
- Figura 4.70 Cedarea elementului C3M-BM-AF (38kN)
- Figura 4.71 Echiparea și consolidarea elementului C3C-BM-AF
- Figura 4.72 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C3C-BM-AF
- Figura 4.73 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C3C-BM-AF
- Figura 4.74 Detaliu amplasare bare laterale pentru elementul C3C-BM-AF
- Figura 4.75 Detaliu umplere șlițuri laterale pentru elementul C3C-BM-AF
- Figura 4.76 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C3C-BM-AF
- Figura 4.77 Inițierea cedării secțiunii la partea superioară a consolidării laterale pentru elementul C3C-BM-AF (D1 = 18mm)
- Figura 4.78 Cedarea elementului C3M-BM-AF
- Figura 4.79 Detaliu cedare pentru elementul C3M-BM-AF (D1 = 24mm)
- Figura 4.80 Echiparea și consolidarea elementului C8C1-CSS-AF
- Figura 4.81 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C8C1-CSS-AF
- Figura 4.82 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C8C1-CSS-AF



- Figura 4.83 Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C8C1-CSS-AF
- Figura 4.84 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C8C1-CSS-AF
- Figura 4.85 Fază inițială desprindere consolidare laterală (în compresiune) pentru elementul C8C1-CSS-AF
- Figura 4.86 Fază inițială cedare consolidare laterală (în întindere) pentru elementul C8C1-CSS-AF (D1 = 36mm)
- Figura 4.87 Ruperea fibrei de carbon comprimate pentru elementul C8C1-CSS-AF(D1 = 36mm)
- Figura 4.88 Ruperea fibrei de carbon în întindere pentru elementul C8C1-CSS-AF(D1 = 36mm)
- Figura 4.89 Zdrobirea betonului comprimat pentru elementul C8C1-CSS-AF(D1 = 36mm)
- Figura 4.90 Echiparea și consolidarea elementului C8C2-CSS-AF
- Figura 4.91 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C8C2-CSS-AF
- Figura 4.92 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C8C2-CSS-AF
- Figura 4.93 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C8C2-CSS-AF
- Figura 4.94 Fază inițială desprindere consolidare laterală pentru elementul C8C2-CSS-AF (30kN)
- Figura 4.95 Fază inițială cedare consolidare laterală (în întindere) pentru elementul C8C2-CSS-AF
- Figura 4.96 Ruperea fibrei de carbon întinse pentru elementul C8C2-CSS-AF
- Figura 4.97 Ruperea fibrei de carbon în întindere pentru elementul C8C2-CSS-AF
- Figura 4.98 Zdrobirea betonului comprimat pentru elementul C8C2-CSS-AF (D1 = 60mm)
- Figura 4.99 Echiparea și consolidarea elementului C3M-BM+GW
- Figura 4.100 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C3M-BM+GW
- Figura 4.101 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C3M-BM+GW
- Figura 4.102 Inițierea cedării secțiunii la partea superioară a consolidării laterale pentru elementul C3M-BM+GW
- Figura 4.103 Starea la cedare a elementului C3M-BM+GW
- Figura 4.104 Cedarea prin smulgerea ancorajului chimic al barelor laterale pentru elementul C3M-BM+GW (55kN)
- Figura 4.105 Echiparea și consolidarea elementului C4M-BM+CW
- Figura 4.106 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C4M-BM+CW
- Figura 4.107 Diagrama eforturi unitare în armătură pentru elementul C4M-BM+CW
- Figura 4.108 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C4M-BM+CW

- Figura 4.109 Inițierea cedării secțiunii la baza consolidării elementului C4M-BM+CW
- Figura 4.110 Inițierea cedării secțiunii la partea superioară a consolidării laterale pentru elementul C4M-BM+CW
- Figura 4.111 Cedarea elementului C4M-BM+CW (50kN)
- Figura 4.112 Detaliu cedare pentru elementul C4M-BM+CW (50kN)
- Figura 4.113 Echiparea și consolidarea elementului C4C-BM+CW
- Figura 4.114 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C4C-BM+CW
- Figura 4.115 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C4C-BM+CW
- Figura 4.116 Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C4C-BM+CW
- Figura 4.117 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C4C-BM+CW
- Figura 4.118 Apariția fisurilor la partea superioară a înfășurării pentru elementul C4C-BM+CW
- Figura 4.119 Fisurarea bazei elementului C4C-BM+CW
- Figura 4.120 Formarea articulației la baza elementului C4C-BM+CW
- Figura 4.121 Detaliu după decopertare pentru elementul C4C-BM+CW
- Figura 4.122 Echiparea și consolidarea elementului C7C1-BM+GW
- Figura 4.123 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C7C1-BM+GW
- Figura 4.124 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C7C1-BM+GW
- Figura 4.125 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C7C1-BM+GW
- Figura 4.126 Inițiere cedare secțiune la partea superioară a consolidării pentru elementul C7C1-BM+GW ( $D_1 = 18\text{mm}$ )
- Figura 4.127 Inițierea degradării fibrei de înfășurare pentru elementul C7C1-BM+GW
- Figura 4.128 Cedarea prin deformarea secțiunii elementului C7C1-BM+GW ( $D_1 = 96\text{mm}$ )
- Figura 4.129 Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C7C1-BM+GW
- Figura 4.130 Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C7C1-BM+GW
- Figura 4.131 Echiparea și consolidarea elementului C7C2-BM+GW
- Figura 4.132 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C7C2-BM+GW
- Figura 4.133 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C7C2-BM+GW
- Figura 4.134 Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C7C2-BM+GW
- Figura 4.135 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C7C2-BM+GW
- Figura 4.136 Rupere țesătură pe direcția perpendiculară pe direcția fibrelor pentru elementul C7C2-BM+GW
- Figura 4.137 Alunecare sistem de consolidare laterală pentru elementul

- C7C2-BM+GW (D1 = 72mm)
- Figura 4.138 Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C7C2-BM+GW (D1 = 84mm)
- Figura 4.139 Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C7C2-BM+GW (D1 = 84mm)
- Figura 4.140 Echiparea și consolidarea elementului C9C1-CSS+GW
- Figura 4.141 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C9C1-CSS-AF
- Figura 4.142 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C9C1-CSS-AF
- Figura 4.143 Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C9C1-CSS-AF
- Figura 4.144 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C9C1-CSS-AF
- Figura 4.145 Formarea secțiunii de fisurare la baza consolidării pentru elementul C9C1-CSS-AF (30kN)
- Figura 4.146 Inițiere cedare consolidare laterală întinsă pentru elementul C9C1-CSS-AF
- Figura 4.147 Ruperea fibrei de carbon întinse pentru elementul C9C1-CSS-AF (D1 = 72mm)
- Figura 4.148 Echiparea și consolidarea elementului C9C2-CSS+GW
- Figura 4.149 Diagrama forță – deplasare pentru elementul C9C2-CSS-AF
- Figura 4.150 Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C9C2-CSS-AF
- Figura 4.151 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C9C2-CSS-AF
- Figura 4.152 Formarea secțiunii de fisurare la baza consolidării pentru elementul C9C2-CSS-AF
- Figura 4.153 Inițiere cedare consolidare înfășurare pentru elementul C9C2-CSS-AF
- Figura 4.154 Cedare înfășurare pentru elementul C9C2-CSS-AF (D1 = 72mm)
- Figura 4.155 Cedare consolidare laterală întinsă pentru elementul C9C2-CSS-AF (D1 = 72mm)
- Figura 4.156 Starea la cedare a elementului C9C2-CSS-AF
- Figura 4.157 Studiu comparativ element C1C-CW-BC privind forța laterală maximă
- Figura 4.158 Studiu comparativ element C2M-GW-BC privind forța laterală maximă
- Figura 4.159 Studiu comparativ element C3M-BM+GW privind forța laterală maximă
- Figura 4.160 Studiu comparativ element C4M-BM+CW privind forța laterală maximă
- Figura 4.161 Studiu comparativ element C4C-BM+CW privind forța laterală maximă
- Figura 4.162 Studiu comparativ element C6C1-GW-BC privind forța laterală

- maximă
- Figura 4.163 Studiu comparativ element C6C2-GW-BC privind forța laterală maximă
- Figura 4.164 Studiu comparativ element C7C1-BM+GW privind forța laterală maximă
- Figura 4.165 Studiu comparativ element C7C2-BM+GW privind forța laterală maximă
- Figura 4.166 Studiu comparativ element C9C1-CSS+GW privind forța laterală maximă
- Figura 4.167 Studiu comparativ element C9C2-CSS+GW privind forța laterală maximă
- Figura 4.168 Comparație a ductilității de deplasare în cazul testelor monotone
- Figura 4.169 Comparație a ductilității de deplasare în cazul testelor ciclice – seria 1
- Figura 4.170 Comparație a ductilității de deplasare în cazul testelor ciclice – seria 2
- Figura 4.171 Comparație a forței maxime orizontale în cazul testelor monotone
- Figura 4.172 Comparație a forței maxime în cazul testelor ciclice – seria 1
- Figura 4.173 Comparație a forței maxime în cazul testelor ciclice – seria 2
- Figura 5.1 Geometria modelului de referință (neconsolidat)
- Figura 5.2 Caracteristici de bază ale modelului de beton.
- Figura 5.3 Caracteristici de comportare la întindere ale modelului de beton.
- Figura 5.4 Caracteristici de comportare la compresiune ale modelului de beton.
- Figura 5.5 Caracteristici de comportare la forfecare ale modelului de beton.
- Figura 5.6 Alte caracteristici ale modelului de beton.
- Figura 5.7 Caracteristici de bază ale modelului de oțel – Varianta 1.
- Figura 5.8 Caracteristici de bază ale modelului de oțel – Varianta 2.
- Figura 5.9 Alte caracteristici ale modelului de oțel – Ambele variante.
- Figura 5.10 Caracteristici de bază ale modelului de țesătură de fibră de sticlă
- Figura 5.11 Alte caracteristici de bază ale modelului de țesătură de fibră de sticlă
- Figura 5.12 Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C1M.
- Figura 5.13 Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C2M-GW-BC
- Figura 5.14 Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C3M-BM-AF
- Figura 5.15 Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C3M-BM+GW
- Figura 5.16 Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C1C

## Rezumat

Teza de doctorat are ca subiect reabilitarea elementelor din beton armat, folosind diferite tipuri de materiale și sisteme. Teza face un studiu comparativ între diferite materiale folosite la consolidări (bare metalice / fibre de carbon) și realizează un studiu asupra aportului adus de fiecare dintre elementele componente ale fiecărui sistem. Astfel, au fost studiate și testate elemente consolidate doar cu câte o parte componentă a unui sistem, testele individuale fiind ulterior comparate cu soluția completă.

Obiectivul acestui studiu îl constituie stabilirea unei metode optime de consolidare a elementelor de beton armat, destinat reabilitării construcțiilor existente.

Teza este împărțită în 7 capitole și stabilește performanțele individuale ale fiecărui sistem de consolidare folosit, atât din punct de vedere teoretic, cât și din punct de vedere experimental.

### **Capitolul I: Introducere**

Se prezintă subiectul tezei, obiectivele și scopurile, justificarea în contextul actual și cadrul tezei în contextul programelor de cercetare naționale în care autorul tezei a fost implicat.

### **Capitolul II: Consolidarea stâlpilor de beton armat folosind materiale compozite polimerice**

Al doilea capitol prezintă un scurt istoric al materialelor compozite, principiile care stau la baza acestor tipuri de consolidări și un studiu al metodologiilor de consolidare pentru stâlpi.

### **Capitolul III: Modele de calcul pentru analiza stâlpilor confinați**

Este prezentat un studiu al modelelor teoretice din literatura internațională de specialitate, precum și o comparație pentru stabilirea celui mai eficient model, din punctul de vedere al autorului tezei.

### **Capitolul IV: Programul experimental de teste**

Este realizată o descriere amănunțită a programului experimental realizat în cadrul tezei. Sunt prezentate etapele pregătitoare, testele efective, precum și rezultatele obținute.

### **Capitolul V: Modelări cu elemente finite**

Sunt arătate rezultatele modelărilor cu elemente finite efectuate de autor, pentru confirmarea valorilor obținute experimental și pentru calibrarea unui model

numeric de calcul. Sunt prezentate și curbele de comparație dintre modelările cu elemente finite și testele experimentale.

**Capitolul VI: Propunerea unei metode de calcul pentru consolidarea elementelor din beton armat folosind materiale compozite polimerice.**

Este propusă o metodă simplificată pentru calculul elementelor consolidate cu materiale compozite polimerice. Se intenționează aprofundarea aplicabilității practice în activitățile curente de proiectare și expertizare a clădirilor existente.

**Capitolul VII: Concluzii și contribuții personale.**

Capitolul sintetizează concluziile tezei și prezintă principalele contribuții ale autorului cu privire la tematica subiectului prezentat.

# 1. INTRODUCERE

## 1.1. Subiectul tezei

România este o țară cu risc seismic. Conform codurilor de proiectare antiseismice actuale, la evaluarea clădirilor existente, cât și la proiectarea clădirilor noi trebuie luate în calcul încărcările seismice aferente fiecărei zone seismice. În cazul clădirilor vechi, aceste tipuri de încărcări nu au fost luate în considerare la dimensionare, sau prevederile codurilor vechi nu acopereau complet aceste tipuri de solicitări. Astfel, pentru structurile în cadre, armările elementelor principale (grinzi și stâlpi) nu respectă principiile de conformare și detaliere a codurilor actuale și, în consecință, nici gradul de siguranță seismică actual. În cazul unei evaluări rare seismice a acestor tipuri de clădiri sau structuri, este nevoie de consolidarea elementelor structurale. În prezenta teză, accentul este pus pe studiul consolidării stâlpilor de beton armat, deoarece la structurile în cadre proiectate fără reguli antiseismice, au fost constatate deficiențe majore de comportare a acestora.

Astfel, la cutremure minore sau majore, cedarea elementelor verticale a condus la colapsul total sau parțial al clădirilor. În majoritatea cazurilor, cedarea stâlpilor a avut loc ca urmare a unei fretări sau confinări insuficiente a betonului, apărând forme de flambaj ale barelor verticale sau deformații laterale excesive ale betonului, cauzate de zdrobirea sa.

Consolidarea elementelor de beton armat a fost studiată și aprofundată de-a lungul timpului; există numeroase sisteme clasice de consolidare ce au fost aplicate cu succes. Teza investighează noi metode de consolidare a acestor tipuri de elemente (cu aplicabilitate și asupra stâlpilor), folosind materiale compozite (fibre de carbon și fibre de sticlă), în diverse sisteme de aplicare. Principalul avantaj al acestor sisteme este că ele nu măresc rigiditatea elementelor consolidate, menținând astfel distribuția inițială a forțelor seismice și a eforturilor din structură.

Scopul și obiectul principal al tezei îl constituie analiza unor soluții care să confere un spor semnificativ de rezistență și ductilitate, pentru preluarea forțelor seismice.

## 1.2. Obiective

Obiectivul principal îl reprezintă investigarea unor procedee noi de consolidare și reabilitare a elementelor din beton armat, folosind materiale compozite polimerice.

A fost propus un program de teste experimentale, în diferite variante de consolidare, însoțit de analize cu elemente finite și de recomandarea unei soluții optime însoțită de o metodologie de calcul aferentă acestor tipuri de intervenții.

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

Lucrarea de față a fost realizată în cadrul departamentului de Construcții Civile, Industriale și Agricole din cadrul Facultății de Construcții din Timișoara. Rezultatele au fost prezentate de către autor în cadrul mai multor manifestări științifice naționale și internaționale.

Finanțarea lucrărilor experimentale prezentate în teză a fost realizată parțial printr-un Grant CNCSIS TD (Contract Nr. 27688) desfășurat pe o durată de 2 ani (2005 și 2006), grant la care autorul tezei a fost Director de contract. De asemenea, parțial, lucrările au fost finanțate și prin programul CEEX Et, condus de ș.l. dr. ing. Tamás NAGY-GYÖRGY. Restul cheltuielilor au fost suportate de autor, prin intermediul unor contracte de cercetare.



## 2. CONSOLIDAREA ELEMENTELOR DE BETON ARMAT FOLOSIND MATERIALE COMPOZITE POLIMERICE

### 2.1. Scurt istoric al materialelor compozite polimerice

La începutul anilor '90, principalele metode de consolidare a stâlpilor din beton armat au folosit confinări metalice [1]. Datorită cercetărilor intensive în acest domeniu, a fost perfecționată tehnica de consolidare a stâlpilor din beton armat folosind materiale compozite polimerice – FRP (Fibre Reinforced Polymers), aceasta înlocuind parțial vechile soluții utilizate.

Consolidările structurale efectuate cu ajutorul FRP au mai multe avantaje:

- ușurință în manipulare (datorită greutății reduse a fibrelor);
- un proces tehnologic relativ simplu;
- adaptabilitate la diverse forme de secțiuni transversale.

Materialul compozit este un material cu două elemente constitutive (componente), în care unul din elemente în întărește pe celălalt. Sistemul de consolidare are două componente de bază:

- rășina: epoxidică, cu diferite calități, adaptate materialelor folosite
- fibra: țesături sau lamele din fibră de carbon, sticlă sau kevlar.

Beneficiile materialelor compozite au fost observate și folosite încă din antichitate, de către egipteni, acum 4000 de ani (fibra naturală de lemn, *papyrus*, folosită la fabricarea bărcilor și funiilor). Astăzi sunt folosite încă paie pentru fabricarea de cărămizi, în același fel cum erau folosite acum 2000 de ani.

Fibrele sintetice au apărut în a doua jumătate a secolului 19, când a fost produsă *bakelita*, folosită pentru echipamente electrice. În 1936, DuPont a patentat prima rășină cu întărire la temperatura camerei, scoasă pe piață în 1936. Prima rășină epoxidică a fost produsă în 1938, iar în 1941 Owens-Corning a produs prima țesătură de fibră de sticlă [2].

Betonul este un material sensibil la presiunea hidrostatică. În anul 1906 a fost observată îmbunătățirea caracteristicilor de compresiune și deformabilitate ale betonului confinat [4]. De atunci a fost studiat intens acest aspect, el fiind defalcat în două direcții: confinarea activă și confinarea pasivă.

Stâlpii de beton pot avea diferite forme: cilindrici, rectangulari, eliptici, etc. Pentru toate aceste cazuri, principiul confinării rămâne identic, dar prescripțiile sunt specifice fiecărui caz în parte.

Aceste principii de confinare sunt foarte utile astăzi, prin prisma necesității consolidării stâlpilor pentru preluarea eforturilor din acțiuni seismice.

Lucrarea de față tratează cazul stâlpilor rectangulari, solicitați la încovoiere dreaptă, fără forță axială.

## 2.2. Principiul consolidărilor cu materiale compozite

Confinarea cu materiale compozite poate fi realizată în principiu în două feluri:

- tuburi din materiale compozite, umplute cu beton
- înfășurarea cu țesături a unor elemente existente.

Tuburile umplute cu beton sunt elemente foarte eficiente la încărcări axiale. Acest fapt se datorează protecției oferite de tub la temperatură, umiditate, având și rol de armătură transversală, în același timp. Pe de altă parte, capacitatea portantă a betonului din interior crește semnificativ datorită confinării oferite de prezența tubului. Aceste tipuri de elemente sunt însă sensibile la probleme de stabilitate laterală.

Confinarea laterală este metoda studiată pentru lucrarea de față. În principiu, există trei metode de confinare prin înfășurare:

- cu țesătură;
- cu filamente (fire) de fibră, impregnate cu rășină;
- aplicarea unor manșoane prefabricate, realizate din materiale compozite.

### 2.2.1. Înfășurarea cu țesătură

Este metoda cu cea mai mare răspândire, deoarece are o mare adaptabilitate la diferite forme de secțiuni și permite o aplicare simplă, fără necesitatea unor utilaje specializate. În principiu, este un proces cu aplicare umedă, în care unul sau mai multe straturi pot fi aplicate folosind ca și agent de lipire o rășină. Înfășurarea stâlpilor poate fi realizată parțial sau total, așa cum este prezentată în figura 2.1.

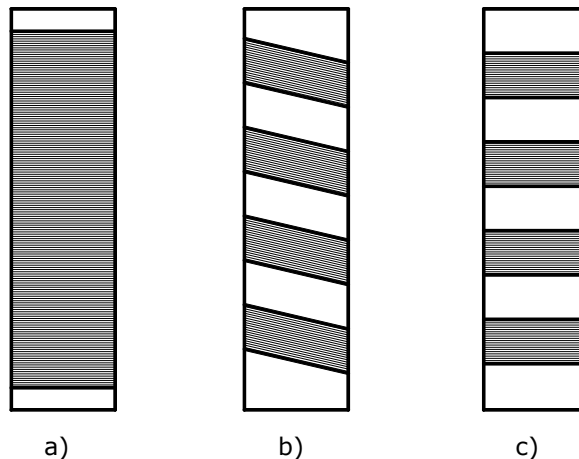


Figura 2.1. Diferite tipuri de confinare prin înfășurare:  
a) totală; b) parțială în spirală continuă; c) parțială în fâșii circulare

De la implementarea acestui concept în Japonia în anii 1980, această tehnică a fost folosită pe scară largă. Marele său avantaj este flexibilitatea oferită în ceea ce privește adaptabilitatea la diferite forme de secțiuni și poziții de elemente.

Dezavantajul principal al acestei tehnici de consolidare este acela că nu oferă un bun control al calității aplicării confinării. Pentru a avea un control bun al grosimii stratului de țesătură, procedura trebuie executată cu ajutorul forței de muncă specializate.

### 2.2.2. Înfășurarea continuă cu filamente (fire) de fibră

Este un proces similar cu cel al înfășurării cu țesătură, dar în acest caz sunt folosite fibre continue de material compozit. De obicei, întregul proces este realizat automatizat, așa cum poate fi observat în figura 2.2.



Figura 2.2. Înfășurarea continuă cu filamente de fibră [5]

Acest tip de aplicare asigură un control al calității foarte bun în ceea ce privește uniformitatea aplicării, dar nu se poate adapta foarte bine la diferite forme de secțiuni transversale. Acest tip de aplicare este un proces umed.

### 2.2.3. Înfășurarea cu manșoane prefabricate

Metoda constă în aplicarea unor manșoane prefabricate pe exteriorul elementelor ce se doresc consolidate. Astfel, manșoanele pot fi semicirculare sau dreptunghiulare [6], pot fi circulare cu șliț sau în role continue [7]. Această ultimă variantă este destul de convenabilă din punctul de vedere al transportului și aplicării la fața locului.

Controlul calității aplicării este foarte bun, în ceea ce privește grosimea materialului compozit. La aplicare trebuie avută în vedere evitarea suprapunerii șlițurilor de separație.

## 2.3. Caracteristici ale materialelor compozite polimerice

Există trei grupe principale de materiale compozite:

CFRP – *Carbon Fibre Reinforced Polymers* – polimeri armați cu fibră de carbon;

GFRP – *Glass Fibre Reinforced Polymers* – polimeri armați cu fibră de sticlă;

AFRP – *Aramid Fibre Reinforced Polymers* – polimeri armați cu fibră de aramidă.

În tabelul 2.1 sunt prezentate câteva valori orientative ale caracteristicilor acestor materiale.

Tabelul 2.1. Caracteristici materiale folosite pentru compozite [1]

Material compozit unidirecțional	Conținut de fibre (% din greutate)	Densitate [kg/m <sup>3</sup> ]	Modul de elasticitate longitudinal [GPa]	Rezistență la tracțiune [MPa]
GFRP	50 – 80	1600 – 2000	20 – 55	400 – 1800
CFRP	65 – 75	1600 – 1900	120 – 250	1200 – 2250
AFRP	60 – 70	1050 – 1250	40 – 125	1000 – 1800

Materialele compozite au o rezistență mare la tracțiune, în lungul fibrelor, însă nu și la compresiune. Aceasta este diferența majoră față de materialele metalice. De asemenea, materialele compozite au o comportare elastică până la rupere. Acest aspect este unul foarte important, ce trebuie considerat în aplicațiile structurale.

Figura 2.3 prezintă diagramele tipice de comportare pentru diferite materiale compozite, comparativ cu un oțel ductil.

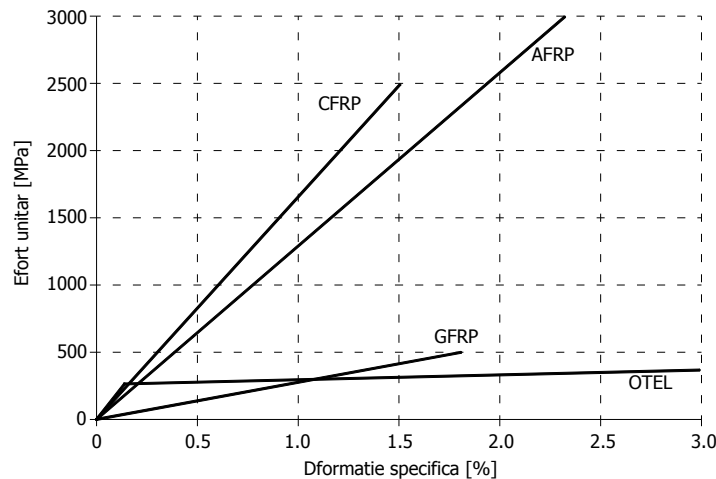


Figura 2.3. Diagrame specifice de comportare pentru materiale compozite polimerice

Datorită lipsei deformațiilor plastice în materialul compozit, în elementele consolidate cu materiale compozite polimerice nu vor avea loc redistribuiri de eforturi; astfel, modelele de calcul pentru confinările cu materiale metalice nu pot fi aplicate în aceeași formă și pentru consolidările cu compozite.

Fibrele de carbon sunt mai scumpe decât cele de aramidă, însă oferă o combinație mai atractivă între rezistența la tracțiune, greutatea redusă și modulul de elasticitate ridicat. Ca rezultat, comportarea lor este mai fragilă decât cea a fibrelor de aramidă, conducând la o deformație specifică ultimă redusă, ceea ce face critică folosirea acestui tip de fibre în zone de îmbinări ce pot genera concentrări de eforturi.

În tabelul 2.2 sunt prezentate câteva caracteristici tipice ale compozitelor cu fibre de carbon [8].

Tabel 2.2. Caracteristici tipice ale compozitelor cu fibre de carbon

Proprietăți tipice	Modul de elasticitate longitudinal [GPa]	Densitate [kg/m <sup>3</sup> ]	Deformație specifică ultimă [%]	Rezistență specifică maximă [GPa]
High Strength	230	1800	1.1	2.48
High Modulus	370	1900	0.5	1.79
Ultra-High Modulus	520 – 620	2000 – 2100	0.2	1.03 – 1.31

Materialele compozite polimerice pot fi livrate în diferite forme:

**Țesături** – sunt materiale flexibile, similare cu o țesătură textilă. Pot fi folosite în aplicări umede sau uscate

*Țesături unidirecționale* – toate fibrele sunt dispuse într-o singură direcție

*Țesături multidirecționale* – fibrele sunt așezate pe mai multe direcții principale.

**Laminate** – sunt materiale compozite realizate prin suprapunerea mai multor țesături, rezultând un produs prefabricat.

Când discutăm despre caracteristicile mecanice ale materialelor, trebuie să avem în vedere următoarele:

- caracteristicile prevăzute în fișele tehnice sunt mai conservative (mai mici decât în realitate);
- deformația specifică ultimă într-o confinare circulară este mai mică decât cea obținută din testele de laborator pe cupoane de țesături [9][10].

## 2.4. Motivația subiectului abordat în cadrul tezei

Teza dorește să clarifice anumite aspecte legate de consolidările cu bare laterale și cu confinare, precum și interacțiunea dintre aceste două tipuri de consolidări. Elementele experimentale vor fi încercate la solicitări de încovoiere, fără forță axială, datorită limitărilor existente în laboratorul de încercări.

Sistemele de consolidare folosite vor fi divizate în componente de bare, testate individual.

Astfel, vor fi încercate experimental:

- elemente de referință (martor);
- elemente consolidate doar cu bare amplasate lateral, în paralel cu barele longitudinale ale stâlpilor, pe fețele laterale aferente direcției de încărcare;
- elemente consolidate doar prin înfășurarea bazei;
- elemente consolidate prin dispunere de bare amplasate lateral combinate cu înfășurarea bazei cu materiale compozite polimerice.

Au fost propuse încercări experimentale, ciclice și monotone, pentru studierea comportării elementelor utilizând diferitele materiale și procedee de consolidare menționate anterior.

În final va fi realizat un studiu complet al influenței pe care o are individual fiecare sistem de consolidare și vor fi făcute recomandări cu privire la factorii de reducere ce ar trebui luați în considerare în ceea ce privește calitățile materialelor folosite.

### 3. METODOLOGII DE CALCUL PENTRU ANALIZA CARACTERISTICILOR BETONULUI CONFINAT

#### 3.1 Principiul și metodologia de bază

Betonul este un material a cărui rezistență la compresiune crește simultan cu împiedicarea deformațiilor sale laterale. Altfel spus, betonul confinat are caracteristici îmbunătățite de rezistență și deformabilitate, comparativ cu betonul neconfinat.

Secțiunile tipice de stâlpi pot fi circulare sau dreptunghiulare. Un sistem de confinare cu țesături din materiale compozite polimerice poate fi aplicat oricăreia din aceste secțiuni.

Așa cum se poate vedea și din figura 3.1, confinarea elementelor circulare folosește atinge un maxim de eficiență, pe când, în cazul elementelor dreptunghiulare, doar o parte a betonului din secțiune este confinată.

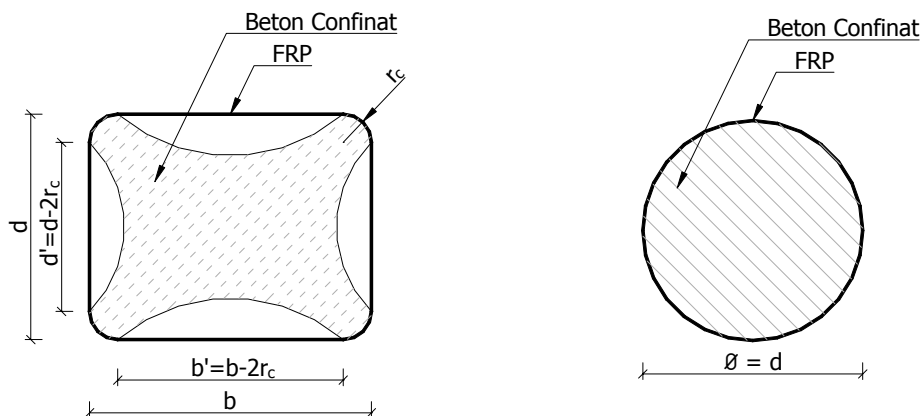


Figura 3.1. Betonul confinat în secțiunea dreptunghiulară, respectiv circulară

În funcție de tipul de confinare ales, pe verticala elementului, betonul confinat este luat în considerare cu un volum redus, conform figurii 3.2.

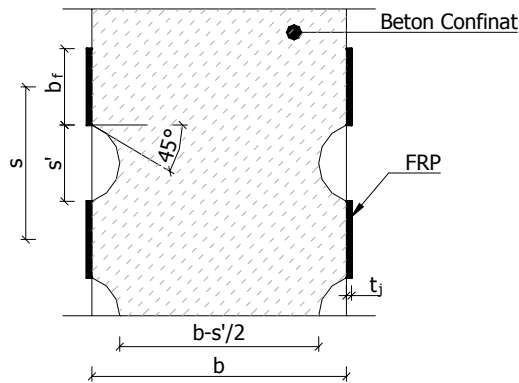


Figura 3.2. Influența confinării discontinue pe verticală asupra betonului din element

### 3.2 Studiu bibliografic

În cadrul pregătirii tezei a fost realizat un studiu bibliografic al literaturii de specialitate, pentru identificarea stadiului actual al cunoașterii în domeniul consolidării elementelor de beton armat folosind materiale compozite polimerice.

În cele ce urmează sunt prezentate aspecte relevante cuprinse în unele din cele mai importante articole, care tratează consolidarea elementelor de beton armat. Sunt menționate aspecte referitoare la consolidarea prin înfășurare, la consolidarea la încovoiere, cât și la mărirea ductilității secțiunilor analizate.

#### 3.2.1. Consolidarea prin confinare

Acest procedeu este folosit în principal pentru consolidarea unor structuri vechi, care nu mai satisfac noile cerințe de dimensionare și siguranță în exploatare. Probleme ce pot apare variază de la armarea insuficientă a zonelor puternic solicitate până la proasta calitate a betoanelor din stâlpi.

Dintre articolele publicate în ultima decadă, principalele concluzii sunt prezentate în continuare.

2000:

*„Assessment and proposed structural repair strategies for bridge piers in Taiwan damaged by the Ji-Ji earthquake” - Pei-Chang, Yao T. Hsu, Antonio Nanni. [11]*

- Procedeu de reabilitare folosind materiale compozite este o tehnică eficientă ce aduce un aport important în domeniul ductilității pilonilor de beton armat;

- Combinația dintre înfășurarea cu țesătură și armăturile din materiale compozite poate fi folosită pentru reabilitarea capacității portante la încovoiere a pilonilor care au suferit sau nu deteriorări.

*„FRP-Confined hollow concrete columns: a theoretical model” – Orazio Manni, Antonio La Tegola. [12]*

- Prezentarea unui model de calcul pentru tuburi circulare din beton armat, confinate cu FRP;

- Confirmarea creșterii rigidității, a rezistenței la compresiune axială și a deformației specifice axiale ultime, odată cu creșterea raportului volumetric al armăturii, obținută pe baza unor modelări numerice a tuburilor înfășurate cu CFRP.

*„Nuove tecnologie per il rinforzo di pilastri in muratura” - Nina Avramidou [13]*

În partea introductivă a articolului sunt prezentate rezultatele obținute în urma programului de cercetare descris: „Sunt prezentate noi tehnologii de consolidare pentru stâlpi de zidărie de cărămidă arsă, respectiv folosind țesături de aramidă, sticlă și carbon, impregnate in-situ cu o rășină bi-componentă. Rezultatele obținute până în acest moment sunt încurajatoare și pot contribui la diminuarea importanță a costurilor de recuperare a edificiilor și de protecție a structurilor împotriva cutremurelor și a agresivității mediului, prin aceasta putându-se demara proiecte de intervenții la scară largă, cu procese operative considerate realizabile până în prezent”.

2001:

*„Sprayed-up FRP strengthening for concrete structures” - Tomoki Furuta, Toshiyuki Kanakubo, Takeshi Nemoto, Keisuke Takahashi and Hiroshi Fukuyama. [14]*

- Metoda de consolidare prin pulverizarea amestecului de fibre de carbon sau sticlă și rășini vinil-esterice se poate aplica structurilor de beton;

- Acest studiu a verificat echivalența dintre comportarea betonului armat cu fășii sau armat cu FRP pulverizat. Metoda folosirii de FRP pulverizat este simplă și ieftină. Se preconizează că ea va facilita în viitor consolidarea structurilor de beton.

*“Composite retrofits to increase the blast resistance of reinforced concrete buildings” – John E. Crawford, Javier Malvar, Kenneth B. Morrill, John M. Ferritto [15]*

- A fost prezentată o metodologie de consolidare a stâlpilor de beton armat, pentru a le mări rezistența la explozii;

- Au fost realizate încercări cu explozibili în laborator, asupra anumitor părți din stâlpi, folosind diverse tipuri de fixări în suport, pentru a simula poziționarea lor reală. Aceste încercări au confirmat eficiența consolidării cu materiale compozite a structurilor ce sunt supuse exploziilor;

- A fost creat un software în care s-a implementat procedura K&C de calcul.

*“Confinement Characteristics of Rectangular FRP-Jacketed RC Columns” - Cole, C. și Belarbi, A. [16]*

- Țesătura din fibră de sticlă este mai eficientă decât cea de carbon sau aramidă pentru creșterea rezistenței axiale ultime și a deformației axiale specifice ultime a stâlpilor rectangulari din beton armat;

- Scăderea razei de curbură a colțurilor conduce la o scădere a rezistenței ultime pentru stâlpii consolidați cu țesătură de carbon;

- Creșterea raportului laturilor secțiunii stâlpului conduce la o reducere a rezistenței ultime a stâlpilor consolidați cu țesătură de carbon.



*"A Comparative Study of Models on Confinement of Concrete Cylinders with FRP Composites"* – Laura de Lorenzis, Conducător: dr. Ralejs Tepfers [17]

- Obiectivul tezei a fost sistematizarea modelelor de calcul existente pentru betonul înfășurat cu materiale compozite. A fost luat în considerare numai cazul stâlpilor circulari, datorită numărului mic de exemple și teste efectuate până la momentul redactării lucrării;

- Studiul s-a axat în principal pe calculul analitic cât mai exact al eforului axial și deformației specifice axiale ultime ale stâlpilor confinați, deoarece aceștia sunt cei mai importanți parametri din punct de vedere al proiectării acestor consolidări și din punct de vedere al obținerii unei curbe foarte exacte efort-deformație specifică;

- Rezultatele a peste 180 de teste din 17 seturi de încercări asupra stâlpilor confinați cu materiale compozite au fost studiate și clasificate pe diferite criterii. Apoi, modelele empirice și analitice de calcul au fost prezentate, evidențiindu-se diferențele dintre ele, pentru ca, în pasul următor, întregul set de elemente experimentale să fie comparat cu întregul set de modele analitice.

*„Evaluation and Performance Monitoring of Corrosion Protection by Fiber-Reinforced Composite Wrapping”* – S. M. Verhulst, L. A. Fuentes, J. O. Jirsa, D. W. Fowler, H. G. Wheat, and T. Moon. [18]

- Reparațiile efectuate pe speciamentele selectate, folosind mortare epoxidice și beton cu latex, sunt plăcute din punct de vedere estetic și integrate structural;

- Metoda Potențiometrului Semi-celulă pentru detectarea coroziunii s-a dovedit a fi cea mai bună în acest studiu, datorită ușurinței măsurării și consistenței măsurătorilor în proiecte similare.

2002:

*„Strength and Deformability of Low Strength Concrete Confined by Carbon Fiber Composite Sheets”* - Alper Ilki, Nahit Kumbasar and Volkan Koc. [19]

- Rezistența la compresiune și deformabilitatea sunt îmbunătățite simțitor în cazul înfășurării lor cu materiale compozite;

- Elementele de beton armat, cu beton de clasă inferioară sau cu armătură insuficientă pot fi înfășurate cu fâșii din materiale compozite, pentru îmbunătățirea comportării lor.

*„Strengthening Circular Concrete Columns using FRP sheets - applications”* – Andi Bogdanovici. [20]

- În acest studiu, prin prisma și a altor încercări experimentale, a fost demonstrat că înfășurarea stâlpilor de beton armat cu materiale compozite conferă acestor elemente o ductilitate superioară și o îmbunătățire a capacității portante, în raport cu stâlpii convenționali.

*„Constitutive Modelling of Concrete in Compression”* – Peter Grassl. [21]

- Un model al plasticizării betonului, propus de Grassl și alții (2001), a fost folosit pentru a studia influența caracteristicilor de dilatare a betonului comprimat asupra elementelor cu înfășurare activă sau pasivă;

- Comportarea generală a structurilor înfășurate activ cât și pasiv a fost aproximată foarte exact de modelul plastic folosit;

- Rezultatele prezentului studiu relevă importanța unei modelări precise a caracteristicii de dilatare a betonului comprimat, pentru structuri a căror capacitate portantă este determinată de activarea confinării pasive.

*„Performance and application of a design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete” – X.F. Yuan, L. Lam, J.G. Teng. [22]*

- Comparația dintre modelului de calcul pentru beton confinat propus de Lam & Teng și curbele efort-deplasare independente arată o corelare bună cu diagramele de test, iar din acest motiv se poate recomanda acest model de calcul pentru proiectare;

- Rezultate caracteristice din analiza secțională ce include acest model arată că această confinare cu materiale compozite este eficientă, conducând atât la creșterea rezistenței cât și a ductilității, și ilustrează influența cantității de material compozit folosit pentru confinare și influența calității betonului confinat.

*„Seismic Retrofit Study of RC Bridge Columns” – K.C. Chang, L.L. Chung, B.J. Lee, Y.F. Li, K.C. Tsai, J.S. Hwang, S.J. Hwang. [23]*

- Rezultatele testelor au confirmat că performanțele seismice ale pilonilor rectangulari pot crește sau pot fi îmbunătățite cu ajutorul cămășuirilor metalice, de formă eliptică sau octogonală;

- S-a determinat o diminuare a costurilor de realizare cu aproximativ 15% în cazul cămășuirii octogonale, comparativ cu cea eliptică (specimenele SR1 și SR2).

- Folosirea unei cămăși mai groase poate reduce aria secțională a unui pilon de beton armat, cămășuit într-o formă octogonală;

- Cămășuirea rectangulară cu oțel poate preveni eficient cedarea prin forfecare stâlpilor sensibili la acest fel de solicitare;

- Cămășuirea octogonală este eficientă din punct de vedere al costurilor și poate asigura confinarea laterală și poate îmbunătăți rezistența la forfecare, pentru a preveni cedarea pilonilor rectangulari din beton armat din cauza lipsei confinării laterale, lungimilor de suprapunere insuficiente sau rezistenței reduse la forfecare;

- O arie secțională mai mică și performanțe mai bune la comportarea antiseismică au fost obținute în cazul folosirii cămășuirii octogonale decât în cazul folosirii cămășuirii eliptice.

2003:

*„FRP Seismic Strengthening Of Frames” – Mihaela-Anca Ciupala, Kypros Pilakoutas. [24]*

- Se poate observa că diferitele modele de calcul aplicate conduc la diferite rezultate, variind de la mai puțin de un strat de carbon la mai mult de trei;

- Rezultatele din încercări experimentale ale elementelor consolidate cu FRP au o mare importanță, și cercetarea trebuie direcționată în această direcție. Experimentele cu masa oscilantă ce au fost propuse pot aduce informații importante ce pot conduce la recomandări de calcul realiste.

*„Experimental Evaluation Of Effectiveness Of Local Strengthening On Columns Of R/C Existing Structures” – Mauro Dolce, Angelo Masi, Tiziana Cappa, Domenico Nigro, Maurizio Ferrini. [25]*

- Toate tehnicile de consolidare au condus la creșteri considerabile ale rezistenței ultime, comparativ cu cea a stâlpilor neconsolidați;

- Stâlpii consolidați cu sistemele CAM și SJ prezintă o comportare ductilă mai bună decât cei consolidați cu FRP, aceștia din urmă suferind o reducere drastică a rezistenței după ruperea țesăturii;
- Stâlpii consolidați atât cu sistemul CAM cât și cu sistemul SJ au fost capabile să mențină capacitatea portantă și în cazul unor deformații mari;
- Predicțiile analitice, în principal extrase din expresiile cuprinse în EC8, sunt în bună corelare cu rezultatele experimentale, ele subestimând rezistențele stâlpilor consolidați cu sistemele CAM și SJ și supraestimând efectul de confinare pentru cămășuirea cu oțel;
- În concluzie, rezultatele au arătat superioritatea cămășuirii cu oțel și a sistemului CAM, comparativ cu cămășuirea cu FRP, în ceea ce privește atât creșterea rezistenței cât și a ductilității.

*„Behaviour Of Rectangular FRP Confined Concrete Elements Subjected To Monotonic And Cyclic Axial Compressive Load” – Athanasios I. Karabinis, Theodoros C. Rousakis. [26]*

- Confinarea exterioră cu FRP poate duce la creșteri considerabile ale rezistenței și ductilității betonului, chiar și în cazul unor rapoarte volumetrice de confinare mici. Eficacitatea confinării a fost redusă în cazul cimentului de clasă superioară și în cazul procentelor de armare mici. Confinarea cu carbon a fost mai eficientă decât cea cu sticlă, în ceea ce privește creșterea rezistenței. Creșterea ductilității este obținută mai eficient folosind sticlă, decât carbon;
- Capacitatea de deformare a FRP a fost utilizată mai eficient în cazul înfășurării mai rigide. Între sticla și carbonul ce au adus exercitat aceeași presiune laterală ultimă, a fost folosit mai eficient carbonul, care este mai rigid. Mai mult, deformația specifică laterală a variat pentru diferite rapoarte volumetrice ale FRP;
- Energia absorbită atât de betonul confinat cât și de înfășurarea de FRP este o reprezentare a eficienței confinării. Variația sa a fost similară pentru speciamentele înfășurate cu sticlă sau carbon;
- Ciclurile repetate de încărcare-descărcare axială (efectuate pentru simularea acțiunilor seismice axiale) nu au cauzat descreșteri ale rezistenței, ductilității sau capacității betonului de absorbție a energiei;
- Alegerea unei rigidități potrivite pentru materialul de confinare determină eficiența proiectului, și trebuie, de asemenea, să corespundă cerințelor impuse.

*„Theory Of Plasticity For The Modeling Of Rectangular FRP Confined Concrete Columns” – Panos D. KIOUSIS, Theodoros C. Rousakis, Athanasios I. Karabinis. [27]*

- Relațiile non-asociative din teoria plasticității aduc o bază teoretică solidă care poate încorpora caracteristicile unice ale comportării betonului confinat cu FRP. Betonul este modelat ca un material elasto-plastic, sensibil la presiune;
- Modelul propus reproduce cu o acuitate remarcabilă comportarea speciamentele testate.

*„Model For Fiber Reinforced Polymer Confined Concrete Columns” – Chris P. Pantelides, Domingo A. Moran. [28]*

- Este prezentat un model de calcul pentru descrierea comportării la compresiune a betonului confinat cu FRP, bazat pe principiile mecanicii, și se poate aplica la țesătura lipită sau ne-lipită pe beton;

- Comportarea betonului confinat cu țesături având rigidități de la moderat la mare este în principal biliniară, deoarece înfășurarea cu FRP are o rigiditate laterală suficientă pentru a compensa propagarea fisurilor libere ce apar la limita compresibilității betonului neconfinat. A fost obținută o expresie analitică bazată pe echilibru, pentru determinarea rezistenței ultime la compresiune și deformației specifice ultime din betonul confinat;

- Modelul de comportare propus (bazat pe moduri de cedare) guvernează comportarea betonului confinat cu FRP cu rigiditate de la mediu la mare, din stadiul elastic și până în stadiul plastic;

- Compararea modelului cu proceduri de calcul existente, bazate pe un raport de ductilitate constant, arată că procedurile existente sunt conservative și conduc la obținerea unui număr mai mare de straturi de FRP cu o mai mare eficiență de confinare pentru atingerea unei deformații axiale țintă pentru betonul confinat.

*„GFRP Seismic Strengthening And Structural Health Monitoring Of Portage Creek Bridge Concrete Columns” – Aftab Mufti, Kenneth Neale, Saidur Rahman, Sharlie Huffman. [29]*

- Acest proiect de cercetare studiază performanța FRP în cazul consolidărilor antiseismice. Senzori cu fibră optică, împreună cu timbre tensometrice și accelerometre sunt folosite pentru monitorizarea de la distanță a integrității structurale;

- Consolidarea antiseismică folosind FRP este o metodă eficientă pentru mărirea ductilității și a rezistenței la forfecarea la bază a structurilor existente.

2004:

*“Hybrid FRP–Concrete Columns” – Amir Mirmiran. [30]*

- Constrația miezului de beton este de 10-20% din cea a betonului liber. Pentru aplicațiile practice, betonul din acest miez poate fi considerat ca fiind sigilat, cu deformații din contracții foarte mici;

- Prescripțiile curente din codul de proiectare ACI supraestimează grosier curgerea lentă din betonul din *CFFT*. Coeficientul de echivalență pentru curgerea lentă a betonului din *CFFT* ar putea fi de ordinul a 22% din cel recomandat de normele ACI pentru betonul sigilat, având același amestec, condiții de expunere și durată de încărcare;

- Efectul confinării asupra curgerii lente a betonului nu este la fel de important ca și efectul sigilării betonului și cel al redistribuirii eforturilor ce are lor între beton și tubul de FRP;

- Efectul curgerii lente a betonului reduce rigiditatea la încovoiere a *CFFT*. Oricum, rezistența ultimă nu este afectată semnificativ;

- Rata mică de încărcare și curgerea lentă de scurtă durată la o încărcare de 70% din capacitatea statică pot cauza cedări premature ale tubului;

- Cedarea din curgerea lentă a *CFFT* cu raportul diametru/grosime mai mic sau egal cu 40 este de cel puțin 50 de ani în cazul încărcărilor transversale de aproximativ 60% din capacitatea statică. Stâlpii *CFFT* cu raportul diametru/grosime până la 80 au o perioadă de cedare din curgerea lentă de 75 de ani, la o încărcare de 70% din capacitatea statică la încărcări axiale;

- O investigație analitică și experimentală a fost făcută pentru a studia comportarea ciclică a *CFFT* (stâlpi și grinzi) supuse la încărcări axiale constante și încărcări laterale ciclice.

2005:

- "Efficiency of Three-Sides Wrapping for RC Columns Using CFRP Laminates"*  
– Abou-Zeid A., Abdelrahman A., El-Ghandour A. [31]  
- Confinarea asigură o cedare ductilă a elementelor și o creștere a capacității portante;  
- Ancorarea corespunzătoare conduce la o comportare bună a materialului compozit.

2006:

- "Assesment of RC Columns Under Combined Biaxial Bending and Axial Load"*  
– Monti G., Alessandri S. [32]  
- Sunt calibrate formule de clacul si sunt prezentate concluzii specifice.

2007:

- "FRP Strains In FRP Wrapped Columns: A Parametric Study"* – J.F. Chen, J. AI, T.J. Stratford. [33]  
- A fost realizat un studiu parametric al zonei de colț a secțiunilor rectangulare din beton;  
- Sunt prezentați principalii factori și contribuția lor.

- "FRP-Confined Rectangular Concrete Columns"* – A. Parvin, J. M. Schroeder. [34]  
- A fost realizat un studiu al unor modelări cu elemente finite pentru secțiuni de beton cu raportul laturilor 2.5. Confinarea cu CFRP este mult mai benefică;  
- Grosimea și rigiditatea înfășurării cu CFRP are un rol foarte important în calcul.

2008:

- "Effective Strain in FRP Jackets on Circular RC Columns"* – G.P. Lignola, A. Prota, G. Manfredi, E. Cosenza. [35]  
- Este propus un model de calcul pentru factorul eficienței deformației specifice a confinării cu FRP.

- "Square RC columns confined with non-laminated CFRP straps"* – K. Pfyl-Lang, O. Huth, M.F. Green, M. Motavalli. [36]  
- A fost dezvoltat un model de calcul efort – deformație specifică;  
- A fost realizat un studiu asupra comportării unui stâlp dintr-o clădire supusă unui cutremur.

- "Analytical modeling of square and rectangular concrete sections confined by FRP: ultimate strength prediction"* – G. Monti, N. Nisticò. [37]  
- A fost dezvoltat un model analitic de comportare a stâlpilor confinați cu materiale compozite, având diferite raze ale colțurilor.

2009:

*"Ductility Design Of FRP Reinforced Concrete Beams"* – Matthew Haskett, Deric J. Oehlers, Mohamed Ali M.S. [38]

- Au fost realizate un studiu parametric în vederea determinării relațiilor de calcul moment-rotație pentru elemente de beton armat, confinate cu materiale compozite polimerice.

2010:

*"Performance Of FRP Confinement On Non Circular Members"* – Gian Piero Lignola, Edoardo Cosenza. [39]

- Este propus un model de calcul pentru secțiunile dreptunghiulare confinate.

*"Effect Of Composite Material Confinement on Bond Strength Between Lap-Spliced Bars And Concrete"* – Dionysis A. Bournas, Thanasis T. Triantafillou. [40]

- Este realizat un studiu al influenței confinării bazei asupra zonei de suprapunere a barelor longitudinale;

- Sunt prezentate teste experimentale care confirmă soluția propusă.

*"Bar Buckling in RC Columns Confined with Composite Materials"* – Dionysis A. Bournas, Thanasis T. Triantafillou. [41]

- Este realizat un studiu al influenței confinării bazei asupra zonei de suprapunere a barelor longitudinale, focalizat pe flambajul barelor aflate în încovoiere;

- Este propusă și o metodă de calcul pentru stâlpii consolidați cu CFRP.

2011:

*"Enhancing Seismic Resistance Of Concrete Columns With FRP"* – Shamim A. Sheikh, Jingtao Liu. [42]

- Este prezentat un model bazat pe performanță pentru calculul secțiunilor din beton armat, consolidate cu CFRP;

- Este prezentat și un model simplificat de calcul pentru determinarea momentului capabil al secțiunilor consolidate.

### **3.2.2. Consolidarea la încovoiere**

Consolidarea elementelor de beton armat la încovoiere este făcută, de obicei, odată cu confinarea lor. De aceea, în continuare, referatele prezentate anterior sunt doar amintite, concluziile fiind deja prezentate.

2000:

*"Assessment and proposed structural repair strategies for bridge piers in Taiwan damaged by the Ji-Ji earthquake"* – Pei-Chang, Yao T. Hsu, Antonio Nanni. [43]

- Deși folosirea materialelor compozite pentru reabilitări structurale este un domeniu nou în Taiwan, potențialul acestor procedee este foarte mare;

- Procedul de reabilitare folosind materiale compozite este o tehnică eficientă ce aduce un aport important în domeniul ductilității pilonilor de beton armat;

- Combinația dintre înfășurarea cu țesătură și armăturile din materiale compozite poate fi folosită pentru reabilitarea capacității portante la încovoiere a pilonilor care au suferit sau nu deteriorări.

*„Repair and Retrofit of Wooden Members using Advanced Composites” – Ayman S. Mosallam. [10]*

- Pe baza încercărilor experimentale efectuate în cadrul acestui program, este evident că materialul compozit FiberBond s-a comportat excepțional atât în ceea ce privește refacerea capacității portante a elementului de lemn afectat, cât și în ceea ce privește creșterea acestei capacități portante. Rezultatele experimentale sunt prezentate sub formă tabelară și grafică.

*„Bond Of FRP Laminates To Concrete” – Laura De Lorenzis, Brian Miller, Antonio Nanni. [44]*

- Specimenele pentru testarea la încovoiere au fost pregătite pentru a clarifica anumiți factori ce ar putea afecta aderența. Cedarea s-a produs la interfața beton-adeziv, cu mici semne de cedare, dacă nu deloc, pe suprafața betonului;

- În final, performanța specimenului cu suprafața buceardată a fost mult mai bună decât cea a specimenului cu suprafața sablată;

- O abordare din punctul de vedere al tăierii, împreună cu un model de calcul simplu la tăiere, a fost folosit pentru modelarea distribuției deformațiilor specifice la un nivel mediu al încărcărilor. O corelare rezonabilă cu rezultatele experimentale a fost obținută, în special pentru specițiile cu un strat;

- În final, expresiile pentru încărcarea de dezlipire și lungimea efectivă de ancorare au fost prezentate. O ecuație de calcul a fost propusă pentru determinarea deformației specifice maxime din FRP;

- Rigiditatea laminatului influențează semnificativ încărcarea maximă la care se produce cedarea prin desprinderea laminatului.

*„Strengthening of Reinforced Concrete Structures with Near Surface Mounted FRP Rods” – Laura De Lorenzis, Antonio Nanni, Antonio La Tegola. [45]*

- Armăturile NSM FRP sunt o metodă promițătoare pentru creșterea capacității portante la încovoiere pentru grinzi de beton armat. În testele efectuate s-a obținut o creștere a capacității portante între 25.7 – 44.3%, raportat la elementul de control;

- Următorul pas în cercetare va fi analiza tuturor datelor obținute, referitoare la deplasări și deformații specifice. Pentru a putea prezice comportarea grinzilor consolidate, teste de ancorare vor fi analizate, pentru a putea înțelege mecanica adeziunii dintre armăturile NSM FRP și beton.

*„An Assessment Of In-Situ FRP Shear And Flexural Strengthening Of Reinforced Concrete Joists” – Annaiah Raghu, John J. Myers, Antonio Nanni. [46]*

- Reabilitarea sau consolidarea capacității portante la forfecare a grinzilor de beton armat, folosind înfășurări U compozite, poate rezulta în creșterea portanței la forfecare printr-o îmbunătățire a efectului de împănare a agregatelor, datorită contribuției materialului compozit;

- Elementele consolidate au prezentat creșteri ale capacității portante la forfecare între 11 – 34 %, raportat la specimenul de test (neconsolidat);

- Creșterea numărului de straturi nu a condus la o creștere a capacității portante la forfecare, pentru speci­me­nele cu sau fără sisteme suplimentare de ancoraj;
- Sistemul cu înfășurare simplă U, cu ancoraj, a depășit în performanțe cu aproximativ 17% sistemul cu înfășurare U dublă, fără ancoraj;
- Sistemul cu înfășurare simplă U, cu ancoraj, a depășit în performanțe cu aproximativ 4% sistemul cu înfășurare U dublă, cu ancoraj.

*„Behavior of full-scale reinforced concrete beams retrofitted for shear and flexural with FRP laminates” – D. Kachlakeva, D.D. McCurry. [47]*

- Reabilitarea structurală folosind compozite FRP poate conduce la o creștere cu până la 150% a capacității portante, în funcție de modul de cedare, geometrie și proprietățile de material;

- Adăugarea de GFRP pentru forfecare a fost suficientă pentru a compensa lipsa etrierilor și pentru a conduce la un mod de cedare convențional, prin intrarea în curgere a armăturii întinse. Aceasta a permis ca deformațiile ultime să fie cu 200% mai mari decât grinda etalon;

- Încărcarea la apariția primei fisuri a crescut cu 23%, datorită rigidității crescute din adăugarea de CFRP pentru încovoiere. Rigiditatea adițională a redus deplasările verticale, ceea ce, în schimb, a condus la o reducere a deformațiilor specifice din secțiune;

- Adăugarea de CFRP pentru încovoiere a condus la creșterea capacității la încovoiere cu 33%, la momentul intrării armăturii întinse în curgere.

2001:

*„Sprayed-up FRP strengthening for concrete structures” - Tomoki Furuta, Toshiyuki Kanakubo, Takeshi Nemoto, Keisuke Takahashi and Hiroshi Fukuyama. [48]*

- Această metodă de consolidare prin pulverizarea amestecului de fibre de carbon sau sticlă și rășini vinil-esterice se poate aplica structurilor de beton. O grosime de aproximativ 6.5 mm de amestec FRP pulverizat a fost folosit pentru a echivala cu aceeași rezistență ca a unei fâșii de carbon (300g/m<sup>2</sup>). Nu s-a observat o diferență mare între deformații, rezistența ultimă sau deformația specifică în compozit, atât în cazul FRP pulverizat, cât și pentru fâșiile din FRP. Aderența și rezistența ancorării au fost îmbunătățite prin crearea unui șliț drept sau înclinat la baza elementelor.

- Acest studiu a verificat echivalența dintre comportarea betonului armat cu fâșii sau armat cu FRP pulverizat. Metoda folosirii de FRP pulverizat este simplă și ieftină. Se preconizează că ea va facilita în viitor consolidarea structurilor de beton.

*“Composite retrofits to increase the blast resistance of reinforced concrete buildings” – John E. Crawford, Javier Malvar, Kenneth B. Morrill, John M. Ferritto [49]*

- A fost prezentată o metodologie de consolidare a stâlpilor de beton armat, pentru a le mări rezistența la explozii. Pentru prevenirea cedării din forfecare sau din deformații mari, pot fi îmbunătățite atât rezistența la încovoiere, cât și cea la forfecare. O consolidare cu fâșii verticale și înfășurare orizontală a fost proiectată, aplicată și validată prin intermediul unui test la scară reală.



- Au fost realizate teste cu explozibili în laborator, asupra anumitor părți din stâlpi, folosind diverse tipuri de fixări în suportți, pentru a simula poziționarea lor reală. Aceste teste au confirmat eficiența consolidării cu materiale compozite a structurilor ce sunt supuse exploziilor.

- A fost creat un software în care s-a implementat procedura K&C de calcul, ale cărui rezultate au fost comparate cu cele obținute din teste și alte rezultate analitice, aceasta fiind o parte a dezvoltării procedurii de înfășurare cu materiale compozite. Procedura de dimensionare și programul de calcul sunt încă sub evaluare. Mai multe variante de explozii și stâlpi sunt studiate, și teste și interpretări viitoare sunt necesare pentru completarea pachetului de calcul.

*„Overview Of The Japanese Guidelines For Seismic Retrofitting Of RC Columns Using FRP Materials” – Tumialan, G., H. Fukuyama, and A. Nanni. [50]*

- Sunt prezentate unele din prevederile Codurilor de Proiectare Japoneze pentru reabilitarea stâlpilor de beton armat folosind materiale compozite;

- Prescripțiile JBDPA au fost dezvoltate pe baza unor programe de cercetare axate pe consolidarea structurilor din beton armat folosind materiale compozite, demarate în Japonia în principal după cutremurul din Kobe;

- Sunt prezentate comparații cu prescripțiile propuse de ACI-440.

*„Concrete Beams Strengthened with Misaligned CFRP Laminates” – Xinbao Yang, Antonio Yang. [51]*

- Deprecierea rezistenței odată cu nealinierea lamelelor arată o comportare diferită;

- Ruperea CFRP poate fi un mod de cedare controlabil, dacă suprafața betonului este bine pregătită. De-laminarea poate apărea în laminatul de CFRP, dar nu este modul de control în acest program de cercetare.

*„LRFD Flexural Provisions For PSC Bridge Girders Strengthened With CFRP Laminates” – Sherif El-Tawil, Ayman M. Okeil. [52]*

- Este investigată performanța structurală a grinzilor pretensionate, din beton armat, consolidate la încovoiere cu lamele CFRP. A fost dezvoltat un model neliniar de analiză, ce ține cont de neliniaritatea materialului și de cronologia construcției;

- Acest studiu s-a axat doar pe studierea comportării la încovoiere a secțiunilor consolidate cu CFRP. Cercetări viitoare sunt necesare pentru a investiga probabilitatea apariției și a altor moduri de cedare, inclusiv rezistența la forfecare a grinzilor consolidate cu CFRP, precum și probleme legate de dezlipirea sau desprinderea laminatelor.

*„Interfacial stresses in reinforced concrete beams bonded with a soffit plate: a finite element study” – J.G. Teng, J.W. Zhang, S.T. Smith. [53]*

- Puncte de inflexiune există în grinzile consolidate cu lamele;

- Analiza cu elemente finite arată o variație mare a eforturilor în stratul adeziv, eforturile de la interfața adeziv-beton fiind mult diferite de cele de la interfața lamelă-adeziv. Distribuții uniforme în stratul de adeziv pot fi găsite la mică distanța de capătul lamelei;

- Rezultatele obținute cu soluția analitică propusă de Smith și Teng sunt comparabile cu eforturile secțiunii mediane din stratul adeziv.

- Un studiu parametric de comparație între predicțiile modelului Smith și Teng și soluția obținută din analiza cu elemente finite, pentru eforturile din stratul median al adezivului, arată o bună corespondență între ele;

- Efectul completării cu adeziv la capătul lamelei, folosind rășina în exces, poate reduce eforturile de contact locale;

- Deoarece soluția analitică propusă de Smith și Teng aduce niște expresii simple și intuitive pentru eforturile de contact, se poate considera că ea asigură un instrument important pentru înțelegerea fenomenelor de la suprafața de contact și constituie o bază utilă pentru crearea de prescripții de calcul împotriva desprinderii, în ciuda unor inexactități lângă capătul lamelei. Prescripții de proiectare pot folosi aceste expresii, cu ajustările aferente din încercări experimentale.

*„Finite Element Modeling Of Reinforced Concrete Structures Strengthened With FRP Laminates” – Damian Kachlakev, Thomas Miller, Solomon Yim, Kasidit Chansawat, Tanarat Potisuk. [54]*

- Comportarea generală a modelului de calcul cu elemente finite reprezentate prin diagramele efort-deplasare la mijlocul grinzii, arată o corelare bună cu datele experimentale din testele la scară reală. Oricum, modelele cu elemente finite prezintă o rigiditate puțin mai mare decât testele experimentale, atât în domeniul liniar cât și neliniar;

- Efectul pierderii aderenței armăturii din beton, precum și microfisurile ce pot apărea în grinzile reale sunt două aspecte ce nu au fost luate în considerare în modelarea cu elemente finite, contribuind la rigiditatea mai mare a modelelor cu elemente finite;

- Diagramele efort-deplasare pentru anumite puncte din analiza cu elemente finite arată o bună corespondență cu rezultatele experimentale.

*„Mechanics of Bonds in an FRP Bonded Concrete Beam” – K.T. Lau, P.K. Dutta, L.M. Zhou, D. Hui. [55]*

- În studiul de față s-a luat în considerare doar cazul unei grinzi de beton simplu, de formă rectangulară. Modelul teoretic propus este capabil să determine eforturile de tăiere și dezlipire din stratul de rășină, precum și forța axială din lamela FRP, pentru elementul consolidat. Calculele teoretice sunt comparabile cu cele făcute cu elemente finite, validate pe cale experimentală;

- Calculul elementului de beton, consolidat cu FRP ar trebui să ia în considerare rezultanta eforturilor de forfecare și dezlipire din adeziv, efortul axial din lamelă și factorul de intensitate al efortului din grindă, datorat încărcărilor aplicate, și de asemenea, ar trebui să optimizeze orientarea fibrei și dispunerea laminatului, pentru atingerea capacității maxime a elementului consolidat;

- Recent, s-a descoperit că desprinderea lamelilor la interfața dintre beton/rășină/lamelă este, într-adevăr, foarte rară, datorită legăturii adezive puternice a materialelor pe beton. Acest mod de cedare este atribuit aplicării defectuoase.

*„Anchorage of externally bonded reinforcements subjected to combined shear/bending action” – K. Brosens, D. Van Gemert. [56]*

- Proiectarea corectă a ancorajului de capăt este esențială pentru succesul unei armături lipite din exterior. Dacă avem o capacitate insuficientă a ancorajului, poate fi prevăzut un ancoraj mecanic adițional, cum ar fi bolțuri sau etrieri externi.

2002:

„*Seismic Retrofit Study of RC Bridge Columns*” – K.C. Chang, L.L. Chung, B.J. Lee, Y.F. Li, K.C. Tsai, J.S. Hwang, S.J. Hwang. [57]

- Rezultatele testelor au confirmat că performanțele seismice ale pilonilor rectangulari pot crește sau pot fi îmbunătățite cu ajutorul cămășuirilor metalice, de formă eliptică sau octogonală;

- S-a determinat o diminuare a costurilor de realizare cu aproximativ 15% în cazul cămășuirii octogonale, comparativ cu cea eliptică (specimenele SR1 și SR2);

- Folosirea unei cămăși mai groase poate reduce aria secțională a unui pilon de beton armat, cămășuit într-o formă octogonală. Grosimea cămășii de oțel poate fi determinată din echilibrul static, presupunând că aceeași presiune de confinare este exercitată pentru orice grosime a cămășii;

- Cămășuirea rectangulară cu oțel poate preveni eficient cedarea prin forfecare stalpilor sensibili la acest fel de solicitare; oricum, procedura nu este eficientă pentru îmbunătățirea ductilității la încovoiere;

- Cămășuirea octogonală este eficientă din punct de vedere al costurilor și poate asigura confinarea laterală și poate îmbunătăți rezistența la forfecare, pentru a preveni cedarea pilonilor rectangulari din beton armat din cauza lipsei confinării laterale, lungimilor de suprapunere insuficiente sau rezistenței reduse la forfecare;

- O arie secțională mai mică și performanțe mai bune la comportarea antiseismică au fost obținute în cazul folosirii cămășuirii octogonale decât în cazul folosirii cămășuirii eliptice.

„*Fibre Reinforced Concrete Rectangular Members Under Combined Bending, Shear And Torsion*” – F. Kamalodeen, A. K. Sharma. [58]

- Este necesar a se consolida cunoștințele asupra elementelor din beton armat cu fibre, pentru implementarea lor în prescripții de proiectare. Articolul propune ecuații de calcul. Aceste ecuații sunt validate folosind rezultate experimentale din literatura de specialitate.

„*Simplified Load-Deflection Calculations Of FRP Strengthened RC Beams Based On A Rigorous Approach*” – Hasan Charkas, Hayder A. Rasheed, Hani Melhem. [42]

- Metode de calcul simplificat sunt dezvoltate pentru trasarea cât mai exactă a curbelor efort-deplasare pentru grinzile de beton armat, consolidate cu lamele FRP;

- Un studiu parametric extensiv a fost efectuat pentru a afla relații liniare între momentul de inerție al secțiunii fisurate și momentul de inerție efectiv la începutul curgerii, luându-se în considerare toți parametrii geometrici și de material posibili.

„*Strength and Ductility of Concrete Beams Reinforced with Carbon FRP and Steel*” – Dat Duthinh, Monica Starnes. [59]

- Aplicarea laminatelor FRP este foarte eficientă pentru consolidarea la încovoiere a grinzilor de beton armat, dacă se asigură o ancorare corespunzătoare. Pe măsură ce crește procentul de armare cu oțel, descrește capacitatea portantă adițională adusă de lamelă;

- Ancorarea cu sisteme mecanice sau prin înfășurarea cu țesătură de FRP se poate dovedi o metodă eficientă de îmbunătățire a ancorajului, peste nivelul asigurat prin simpla lipire cu rășini epoxidice;

- O procedură de dimensionare clară pentru consolidarea cu FRP aplicat la exterior ar trebui să țină cont de creșterea capacității ancorajului prin ancorarea mecanică, înfășurarea cu țesătură sau alte metode. Cu aceste lucruri bine puse la punct și cu datele despre ancoraje existente, se poate realiza o proiectare eficientă.

*„Static and dynamic behaviour of RC beam model strengthened by CFRP-sheets” – R. Capozucca, M. Nilde Cerri. [60]*

- Consolidarea grinzilor deteriorate, din beton armat, folosind țesături de CFRP, conduce la creșterea capacității portante, prin reducerea săgeții. Pe de altă parte, luând în considerare și datele experimentale, rigiditatea la încovoierea grinzilor consolidate crește raportat la situația grinzilor neconsolidate;

- În final, pe baza testelor experimentale dinamice, autorii sugerează că măsurarea frecvențelor de oscilație s-ar putea dovedi o metodă nedistructivă convenabilă pentru controlul grinzilor de beton armat consolidate cu CFRP. De fapt, variațiile frecvențelor în timpul exploatării grinzii consolidate poate fi cauza schimbării stării grinzii.

*„Strengthening Prestressed Concrete Beams with Carbon Fiber Reinforced Polymer Plates” – Peter F. Takács, Terje Kanstad. [61]*

- Consolidarea grinzilor folosind lamele CFRP s-a dovedit eficientă;  
- Capacitățile portante la încovoiere și forfecare a elementului neconsolidat au fost cu 23%, respectiv 106% mai mari decât cele calculate folosind prescripțiile din codul norvegian NS 3473;

- Deformația specifică maximă, bazată pe modelul de cedare, s-a dovedit a fi potrivită pentru modelarea betonului prin metoda fisurării aleatorie. O concordanță bună a fost obținută între modelare și teste, în ceea ce privește capacitățile portante la încovoiere și la forfecare. Modelul găsit s-a dovedit a fi stabil la rulare.

*„FRP Strengthening of RC Flexural Members - Ductility Issues” – R. Delpak. [62]*

- Consolidarea cu FRP este mai potrivită pentru planșee solide de beton armat, grinzi T și grinzi rectangulare simplu armate;

- Ductilitatea grinzilor consolidate, dacă sunt calculate și detaliate corespunzător, este acceptabilă în raport cu comportarea normală a structurilor de beton armat;

- Rezistența mare a FRP (mai mare de 2000 MPa) este eficientă dacă modulul de elasticitate al materialului este și el ridicat (mai mare de 200 kN/mm<sup>2</sup>);

- Producătorii de FRP ar trebui să-și construiască un nivel de credibilitate și să se străduiască să asigure o valoare consistentă a factorului de siguranță. Acest factor ar trebui limitat la o valoare de ordinul 1.5. Valori mai mari ale acestui factor pot conduce la supraarmări și, în consecință, cedări casante;

- Deoarece modulul de elasticitate al materialului compozit descrește ușor cu îmbătrânirea materialului, un factor de siguranță pentru modulul de elasticitate ar trebui aplicat, independent de factorul de siguranță al materialului. Această valoare ar trebui să fie în jur de 1.1;

- Consolidarea cu FRP nu este potrivită pentru secțiunile dublu-armate, deoarece, dacă se consolidează, nu va schimba decât cedarea ductilă într-o cedare fragilă, fără o creștere substanțială în capacitatea portantă;

- Consolidarea cu FRP se poate aplica, în particular, mai ales structurilor ce au un beton de calitate înaltă, în aceste cazuri, calitatea betonului putând fi mai bine utilizată;

- Grinzile de beton armat consolidate cu FRP pot avea și o cedare ductilă, dacă sunt dimensionate ca și secțiuni subarmate.

*„Size of FRP laminates to strengthen reinforced concrete sections in flexure”*

- A. F. Ashour. [63]

- A fost introdusă o metodă analitică simplificată pentru calculul capacității portante la încovoiere a secțiunilor de beton armat consolidate cu laminate FRP aplicate lateral. Comparațiile dintre capacitatea la încovoiere și moduri de cedare obținute din analizele teoretice și experimentale sun într-o bună concordanță;

- Consolidarea secțiunilor de beton armat cu laminate FRP aplicate la exterior se dovedește eficientă mai ales în cazul elementelor cu un procent mic de armare cu oțel. Modul de cedare prin încovoiere este controlat de cantitatea de lamelă FRP folosită. Valori minime și maxime pentru procentul de armare cu compozit sunt propuse, pentru a asigura cedarea ductilă a elementelor consolidate. Sunt propuse ecuații de calcul pentru determinarea ariei de laminat folosite pentru creșterea capacității portante la încovoiere.

*„FRP Strengthened Behaviour of RC Flexural Elements Subjected to Degradation Influences”* – R. Delpak, D.B. Tann, E. Andreou, M. Abuwarda, D.K. Pugh. [64]

- Apariția bulelor de aer sub țesătura de material compozit are ca efect reducerea capacității portante, raportat cu elementul fără goluri de aer;

- Grinzile consolidate au prezentat o capacitate la încovoiere mai mare și o întârziere a apariției fisurilor, însă au avut și săgeți mai mici la cedare;

- Încărcarea ciclică s-ar părea că afectează avantajele consolidării exterioare cu FRP, îmbunătățirea ductilității fiind mai puțin semnificativă decât în cazul grinzilor încărcate static;

- Grinzile ce au stat în acid sulfuric 20 de zile nu au suferit nici un fel de degradare, deoarece acidul nu a reușit să pătrundă în beton;

- Grinzile consolidate cu aramidă au prezentat o ușoară creștere a rigidității;

- O perioadă de imersiune mai mare, pre-fisurarea grinzilor, sau încărcări în imersiune – ar putea fi cauze ale unei degradări mai rapide a grinzilor.

*„Debonding in RC cantilever slabs strengthened with FRP strips ”* – J. Yao, J.G. Teng, L. Lam. [65]

- Toate plăcile testate au cedat prin dezlipirea completă a fâșiilor de FRP de pe beton;

- Plăcile consolidate prin aplicare umedă au arătat o comportare mult mai ductilă și un proces de dezlipire gradual, față de plăcile consolidate cu lamele;

- Eforturile maxime în fâșiile de FRP, la finalul procesului de dezlipire pot fi calculate eficient folosind modelul Chen și Teng, cu un coeficient modificat.

*„Premature Failure of RC Continuous Beams Strengthened with CFRP Laminates”* – A.A. El-Refaie, A.F. Ashour, S.W. Garrity. [66]

- Toate grinzile consolidate au avut o capacitate portantă mai mare, dar o ductilitate mică, comparate cu cele ale grinzilor martor (neconsolidate);

- Cedarea fragilă, prin desprinderea stratului de acoperire cu beton, a fost criteriul de cedare în majoritatea cazurilor. Oricum, toate grinzile au fost aproape de atingerea capacității lor portante;

- Creșterea lungimii țesăturii CFRP peste zona de întindere din câmp sau de pe reazem nu a îmbunătățit cedarea prin dezlipirea materialului compozit;

- Creșterea lungimii laminatului s-a dovedit ineficientă atunci când modul de cedare a fost prin ruperea țesăturii CFRP;
- A existat un număr optim de straturi de țesătură, peste care capacitatea portantă a grinzii nu a fost îmbunătățită.

*„Interfacial Stresses in Plated RC Beams Under Arbitrary Symmetric Loads: a High-Order Closed-Form Solution” – J. Yang, J.F.Chen, J.G. Teng. [67]*

- O ecuație detaliată de ordin superior a fost dezvoltată. Ea consideră distribuția neuniformă a eforturilor în rășină, satisface condițiile de solicitare la capătul lamelelor și poate fi aplicată și altor modele de structuri compozite;
- Eforturile de forfecare sunt aproape identice atât la interfața beton-rășină cât și la interfața rășină-lamelă;
- Atât eforturile rupere a aderenței la suprafață cât și cele de smulgere de la capătul lamelei sunt funcție de forța tăietoare și momentul încovoietor la capătul lamelelor.

*„Strengthening Of Concrete Beams With Mechanically Fastened FRP Strips” – Anthony J. Lamanna, Lawrence C. Bank, David T. Borowicz, Dushyant Arora. [68]*

- Este posibil să consolidăm grinzi T prin alipirea de fâșii FRP, ancorate mecanic. Procedura de ancorare nu necesită pregătirea suprafeței. Modelul analitic a condus la obținerea unui moment de curgere de 1.09 ori mai mare decât momentul real de curgere, decât săgeata la intrarea în curgere a armăturii și decât momentul maxim corespunzător;
- Pentru viitoarele calibrări ale modelului analitic, alunecarea dintre țesătură și beton este luată în considerare, ceea ce va permite modelului să prevadă reducerea capacității portante odată cu atingerea capacității limită a ancorajului. Teste de oboseală vor fi conduse pentru a determina efectul încărcărilor ciclice asupra grinzilor consolidate cu materiale compozite.

*„Effect of Flexural Cracking on Plate End Shear Stresses in FRP-Strengthened Beams” – Herman C.Y. Luk, Christopher K.Y. Leung. [69]*

- În momentul formării fisurilor la capătul lamelei, are loc o redistribuire a eforturilor, iar concentrarea de eforturi de la capătul lamelei nu mai există, așa cum ar fi fost prevăzută de analiza elastică;
- Conceptul de efort mediu de forfecare la capătul lamelei poate fi luat în considerare ca un parametru ce guvernează cedarea prin delaminare;
- Cercetările trebuie continuate pentru determinarea aplicabilității pe care o poate avea această nouă abordare a cedării prin delaminare.

*„A New Prepreg Material Used In Conjunction With Concrete To Form A Structural Unit” – Jonathan Hulatt, Prof Len Hollaway, Anthony Thorne. [70]*

- Grinzile hibrid ce încorporează o combinație de APC și beton au fost construite cu succes;
- Realizarea lipirii dintre beton și compozit cu o rășină a prevenit cedarea prin forfecarea în adeziv;
- Flambajul a început la încărcări relativ mici, dar încărcarea critică de flambaj a fost mult mai mare;
- A trebuit crescut FoS în talpă pentru CFRP, pentru obținerea limitelor de deformabilitate.

„*Characterization And Modeling Of Debonding In RC Beams Strengthened With FRP Composites*” – Oral Buyukozturk, Oguz Gunes, Erdem Karaca. [71]

- Rezultatele experimentale prezentate indică faptul că în cazul unei creșteri a energiei totale de rupere la nivelul interfeței, în grinzile consolidate cu FRP, în termeni de ancoraj, reflectă performanțele grinzii. De asemenea, performanțele grinzii sunt îmbunătățite datorită prevenirii dezlipirii locale din fisurile din încovoiere-tăiere, prin creșterea capacității portante la forfecare. Abordarea din modelările preliminare este folosită acum de autori pentru crearea unui model ce poate prevedea exact modelul cedării prin dezlipire, pentru grinzile consolidate cu FRP.

„*A Fracture-Based Model For Debonding Of FRP Plate From Concrete Substrate*” – Christopher K.Y. Leung, Yong Yang. [72]

- În acest articol, dezlipirea FRP de stratul de beton este modelată printr-o abordare bazată spre energia de rupere. Au fost considerate cazuri cu și fără relaxări eforturilor de adeziune. Rezultatele analizei arată că capacitatea portantă efectivă la forfecare în cadrul zonei de ancoraj este o funcție de frecarea internă, frecarea la rupere, precum și modulul de forfecare și grosimea adezivului. În situații uzuale, rezistența efectivă poate să scadă sub rezistența la tăiere proprie a betonului. Eforturile de forfecare de contact foarte mari, deduse din măsurătorile experimentale pot astfel fi explicate. Oricum, în ciuda faptului că abordarea pe baza energiei este o abordare teoretic mai precisă în descrierea fizicii dezlipirii FRP, comportarea precisă a dezlipirii nu diferă semnificativ de rezultatele unei analize bazate pe rezistențe, având în vedere o rezistență la forfecare efectivă. Abordarea bazată pe rezistențe poate, deci, fi folosită pentru a crea modele simple pentru aplicații inginerești.

2003:

„*Design Approach for Carbon Fiber-Reinforced Polymer Prestressed Concrete Bridge Beams*” – Nabil F. Grace, S.B. Singh. [73]

- Ecuațiile de calcul derivate aici prezic deformațiile specifice din beton, eforturile de post-tensionare din toroanele nelipite, capacitatea portantă la încovoiere și săgeata grinzii, care sunt în legătură strânsă cu valorile experimentale;

- Ecuațiile de calcul vor ajuta proiectanții să estimeze ușor forțele din tendoanele lipite sau nelipite, și capacitatea la încovoiere a grinzilor de pod cu diferite secțiuni (DT, cheson, dublu T) armate cu tendoane pretensionate sau nu, cu tendoane lipite, pretensionate sau nu, cu orice combinație de caracteristici de material în tendoane sau beton;

- Procentul de armare are un efect important asupra săgeții, capacității la încovoiere și forțelor în tendoanele nelipite post-tensionate;

- Pentru o încărcare anume, săgeata este mai mare pentru procentul de armare mai mic și pentru forța de pretensionare mai mică. Curba efort-deplasare poate fi folosită pentru obținerea săgeții grinzii, corespunzătoare încărcării de exploatare, încărcării de fisurare și încărcării ultime, pentru asigurarea condițiilor de exploatare normală;

- Ductilitatea grinzii este îmbunătățită datorită creșterii nivelului de pretensionare. Combinația de niveluri de pretensionare lipite și nelipite (0.3 – 0.6) poate îmbunătăți capacitatea portantă la încovoiere și ductilitatea grinzii supraarmate.

*„Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding” – J.F. Chen, J.G. Teng. [74]*

- Ruperea FRP și dezlipirea lui sunt două moduri principale de cedare identificate pentru grinzile de beton armat consolidate cu FRP aplicat pe exterior. Abordarea separată a celor două moduri de cedare este esențială pentru crearea unor modele de calcul pentru consolidarea la forfecare. Acest articol s-a axat pe crearea unor noi ecuații de calcul pentru grinzile de beton armat consolidate cu FRP, care cedează la tăiere prin dezlipirea FRP. O recapitulare a cercetărilor existente a fost prezentată la început, ceea ce a permis identificarea deficiențelor tuturor abordărilor anterioare. Bazându-se pe un model rațional pentru adeziunea dintre FRP și beton, o nouă metodă de calcul la forfecare a fost dedusă pentru cedarea prin dezlipire a grinzilor de beton armat consolidate la forfecare. Acest nou model face o recunoaștere explicită a distribuției neuniforme în FRP, în dreptul unei fisuri înclinate, așa cum a fost determinat de rezistența adeziunii dintre fâșiile FRP și beton. Acest nou model este comparabil cu datele experimentale obținute din literatură, pe baza unei documentări extensive. În final a fost prezentată o propunere de model de calcul ce poate fi folosit direct în proiectare.

*„Deflection and crack-width prediction of concrete beams reinforced with glass FRP rods” – Houssam Toutanji, Yong Deng. [75]*

- Deformațiile din grinzile de beton armat cu armături GFRP pot fi descrise exact de ecuațiile din ACI440.1R-01. Rezultatele experimentale din acest studiu sunt comparabile cu cele calculate cu expresiile din ACI;

- Pentru un singur rând de bare FRP, ecuațiile din ACI 440.1R-01 calculează în mod satisfăcător deschiderea fisurilor. Pentru armăturile FRP așezate pe două rânduri, ecuațiile din ACI440.1R-01 subevaluează deschiderile de fisuri din grinzile de beton armate cu FRP. Prin schimbarea factorului  $k_b$  de la 1.2 la 1.4, această evaluare devine precisă;

- Mai multe studii sunt necesare pentru a verifica acuratețea modelului în calculul grinzilor de beton, armate cu mai multe rânduri de armături FRP.

*„Finite element modelling of concrete cover separation failure in FRP plated RC beams” – Z.J. Yang, J.F. Chen, D. Proverbosc. [76]*

- Acest model a prezentat un model de fisurare bazat pe analiza cu elemente finite a grinzilor armate cu lamele de FRP. A fost dezvoltat un program de calcul bazat pe mecanica cedării linear-elastice, care poate simula automat propagări multiple de microfisuri în timpul încărcării structurii, până la colaps;

- Un studiu preliminar a studiat cu succes cedarea grinzii consolidate cu FRP, prin desprinderea stratului de acoperire cu beton. Rezultatele numerice inițiale au arătat că fisurile sunt mai dese în cazul grinzilor consolidate cu lamele, decât în cazul celor neconsolidate. Pentru grinzile cu lamele aplicate, fisurile au avut un rol important în distribuția eforturilor în compozit;

- Lungimea lamelei are o influență importantă asupra modului de cedare. Modelul numeric a demonstrat că o grindă consolidată cu o lamelă mai scurtă are o probabilitate mai mare de cedare prin desprinderea acoperirii cu beton, cedare care va fi și fragilă.

*„Behavior Of Historic Reinforced Concrete Bridge Retrofited For Flexure And Shear Deficiencies With Externally Applied FRP Composites: Testing, Strengthening Design Method, And Finite Element Modeling” – Damian I. Kachlakev. [77]*



- Metoda cu elemente finite din programul ANSYS poate simula eficient comportarea generală a grinzilor de beton armat, atât înainte, cât și după consolidarea cu FRP, din stadiul comportării liniare, în stadiul nelinier și până la cedare;

- Încărcările ultime din modelarea cu elemente finite au fost mai mici decât cele experimentale cu 5%-24%, parțial și din cauza neincluzării în modelare a armăturii înclinate; efectul de întărire (*toughening*) al betonului este ignorat în modelare, iar proprietățile de material reale sunt imperfecte;

- Fisuri mai mici și mai scurte au fost observate în grinda consolidată, în comparație cu grinda de control. Propagarea fisurilor în grinzile consolidate cu FRP a fost mai lentă, în comparație cu grinda de control, datorită confinării aduse de FRP.

*„Design And Evaluation Of Full-Size Beams Strengthened For Shear And Flexure With FRP Composites: Testing, Parametric Studies And FEM Analysis” – Damian I. Kachlakev. [78]*

- La același nivel de încărcare, săgețile grinzilor consolidate cu FRP sunt mai mici decât cele ale grinzilor neconsolidate (de control). Consolidarea cu FRP contribuie în mod semnificativ la creșterea rigidității structurii, mai ales în domeniul nelinier, producând deformații mai mici;

- Fisuri mai mici și mai puține au fost observate în grinda consolidată cu FRP, față de grinda de control, la același nivel de încărcare. Propagarea fisurilor, odată cu creșterea încărcării grinzii, este relativ lentă, datorată confinării aduse de FRP;

- Datorită combinației de laminate pentru încovoiere și forfecare, capacitatea portantă statică a fost mărită cu 49% peste capacitatea inițială. Capacitatea portantă la încovoiere a crescut cu 98%;

- Adăugarea consolidării cu GFRP la forfecare a fost suficientă pentru schimbarea modului de cedare într-unul convențional, prin curgerea armăturii întinse, la mijlocul deschiderii. Acest lucru a permis deplasări mai mari cu 110% decât cele ale grinzii fără consolidare la forfecare, grindă care a cedat fragil prin deschiderea fisurilor înclinate;

- Consolidarea la încovoiere cu CFRP, adăugată la consolidarea la forfecare cu GFRP, a condus la creșterea încărcării la curgerea oțelului cu mai mult de 33%;

- Rigiditatea în stadiul fisurat a crescut cu 17%, și 21%, prin adăugarea GFRP la tăiere și respectiv CFRP la încovoiere. Adăugarea ambelor sisteme a condus la creșterea rigidității elementului fisurat cu 30%;

- Modelarea cu elemente finite poate simula eficient comportarea generală a grinzilor de beton armat atât înainte, cât și după aplicarea compozitelor FRP, din domeniul linear până în cel nelinier și până la cedare;

- Încărcările ultime din modelarea cu elemente finite au fost mai mici decât cele experimentale cu 5%-24%, parțial și din cauza neincluzării în modelare a armăturii înclinate; efectul de întărire (*toughening*) al betonului este ignorat în modelare, iar proprietățile de material reale sunt imperfecte;

- Direcțiile fisurilor la încărcarea maximă sunt similare în modelarea cu elemente finite și în încercările experimentale, iar calculele cu elemente finite ale fisurilor sunt în corelație cu calculele manuale, care arată cedarea din încovoiere a grinzii;

- Studiile parametrice au condus la concluzia că nu se justifică aplicarea consolidării cu FRP la grinzile ce au ca mod de cedare zdrobirea betonului;

- Creșterea modului de elasticitate al compozitului FRP conduce la creșterea capacității elementului consolidat, însă, în același timp, compozitul este predispus la cedări prin dezlipire;

- Din toate investigațiile efectuate, înălțimea grinzii și rezistența la compresiune a betonului contribuie cel mai mult la capacitatea portantă la încovoiere a grinzii și la poziția axei neutre.

*„Preservation Of Existing Bridges In Kentucky Using Advanced Composites” – Issam Harik, Tong Zhao, Ching Chiaw Choo. [79]*

- Se poate elimina sau minimiza efectul de întrerupere a traficului în timpul procesului de reabilitare;

- Elimină necesitatea folosirii de echipamente de mare tonaj. Doar unelte de mână și un număr mic de muncitori sunt necesare;

- Oferă o mare flexibilitate și precizie. Sun posibile reparațiile în zone unde nu se pot aplica alte metode de consolidare.

*„Progress on understanding debonding problems in reinforced concrete and steel members strengthened using FRP composites” – Oral Buyukozturk, Oguz Gunes, Erdem Karaca. [80]*

- Problemele legate de dezlipirea sau desprinderea materialelor compozite sunt principala limitare a folosirii materialelor compozite;

- O descriere atentă a problemelor de dezlipire sau desprindere, precum și includerea lor în codurile de proiectare sunt esențiale pentru folosirea pe scară largă a acestei proceduri;

- Este făcută și o recapitulare a progresului cercetărilor, la zi, asupra problemelor legate de dezlipirea sau desprinderea materialelor compozite, cu prezentarea rezultatelor recente și a discuțiilor, și sunt enunțate necesitățile cercetării viitoare asupra acestui aspect.

*„Fiber-Section FE Of FRP-Strengthened RC Beam For Seismic Analysis” – Michele Barbato, Giorgio Monti, Federico Santinelli. [81]*

- Analiza cu elemente finite prezentată în acest articol a demonstrat simplitate și precizie în descrierea comportării mecanice a structurilor de beton armat, consolidate la încovoiere, forfecare sau confinare. Modelul cu elemente finite dezvoltat a fost confirmat a fi o unealtă viabilă pentru compararea diferitelor variante de consolidare cu materiale compozite.

2005:

*“Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones Using CFRP” – Bob C., Dan S., Gruin A., Zeno D. [82]*

- Avantajele sistemelor compozite folosite sunt: ușurința în aplicare, rezistență la medii agresive, comportare bună la acțiuni seismice, cost redus al intervenției;

- Creșterea capacității portante și îmbunătățirea deplasărilor laterale.

*“Strength and Ductility of RC Beams Strengthened with FRP Sheets Under Monotonic and Cyclic Loads” – Ceroni Francesca, Pecce Marisa. [83]*

- Este posibilă creșterea capacității portante la încovoiere, dar cu asigurarea unei ancorări corespunzătoare a materialului compozit.

*"Flexural Strengthening Resistance of RC Beams with Carbon Sheet Laminates (CFRP) by the AICI 440"* – Castro Eliane K., Melo Guilherme S., Nagato Yoshiaki. [84]

- Estimarea capacității ultime conform ACI440 este în bună corelare cu realitatea. Sunt necesare rafinări în ceea ce privește grinzile realizate cu beton de înaltă rezistență;

- Este de preferat folosirea unui număr mai mic de straturi și folosirea unor ancoraje mecanice adecvate.

2006:

*"Effects of Design Parameters on Flexural Behaviour of RC Beams Reinforced with FRP Sheet"* – Zhang G.F., Kishi N., Mikami H. [85]

- Mărirea stratului de acoperire a barelor și numărul crescut de straturi de material compozit pot crește rigiditatea laterală a elementelor. Dezavantajul constă în faptul că este atinsă astfel o cedare prematură prin desprinderea materialului compozit.

2007:

*"Defect Criticality In FRP Strengthening"* – Jason Delaney, Vistasp M. Karbhari. [86]

- Sunt studiate în detaliu modurile de cedare ale consolidărilor la încovoiere.

*"Strengthening With Carbon Fibers – Experimental Study"* – Cornelia Magureanu, Bogdan Heghes, Adela Chiorean. [87]

- Testele au arătat un efect favorabil al acestor tipuri de consolidări;

- Sunt îmbunătățite atât capacitatea portantă al încovoiere cât și deformabilitatea elementelor.

2008:

*"Analytical and numerical analysis of the behaviour of RC beams flexural strengthened with CFRP"* – J.A.O. Barros, S.J.E. Dias, J.L.T. Lima. [88]

- Sunt comparate predicțiile obținute cu formulele *fib* și ACI;

- Este propusă o nouă valoare a deformației specifice maxime considerate în calcul pentru materialul compozit.

*"Flexural Strengthening of RC Beams with CFRP Sheets and U Jackets"* – Y.Takahashi. [89]

- Modul de cedare al grinzilor fără înfășurări U a fost prin desprinderea lamelelor CFRP;

- A fost îmbunătățită comportarea (încovoiere și rigiditate) pentru grinzile consolidate.

*"Use of CFRP to Strengthen Lap Splices of Reinforced Concrete Columns"* – InSung Kim, James O. Jirsa, Oguzhan Bayrak. [90]

- Este posibilă îmbunătățirea comportării zonei de suprapunere la baza stâlpilor folosind CFRP;

- Au fost observate îmbunătățiri semnificative ale capacității portante la eforturi laterale;

- Comportarea a fost mai bună în cazul stâlpilor cu secțiune pătrată, comparativ cu cei cu secțiune dreptunghiulară.

2009:

*"Lateral Displacement of Rectangular Reinforced Concrete Columns Retrofitted Using FRP"* – Mohamed A. ElGawady, Haitham M., Dawood Messay Endeshaw. [91]

- Au fost realizate două modele analitice simplificate pentru calculul rezistenței la încovoiere și deformației laterale a unor elemente dreptunghiulare din beton armat, consolidate cu materiale compozite polimerice.

*"Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Columns with Near-Surface-Mounted FRP or Stainless Steel"* – Dionysis A. Bournas, Thanasis T. Triantafillou. [92]

- Consolidarea laterală cu CFRP sau bare din oțel inoxidabil este o soluție viabilă;

- Deformațiile longitudinale sunt mai bune în cazul folosirii GFRP.

2010:

*"Seismic Behaviors And Ductility Of Reinforced Concrete Columns Wrapped With CFRP Sheets"* – Liu Hang, Liu Hang, Yang Xuezhong. [93]

- Este îmbunătățită ductilitatea stâlpilor din beton armat prin confinarea lor cu CFRP. Ductilitatea crește odată cu mărirea numărului de straturi aplicate;

- Este propusă și o ecuație de calcul, verificată cu teste experimentale.

2011:

*"Bond-Slip Effects In Rc Beams Strengthened With Near Surface Mounted CFRP Rods"* – Roberto Capozucca. [94]

- În analizele în domeniul elastic, poate fi neglijată alunecarea barelor CFRP;

- În starea limită ultimă, alunecarea barelor poate reduce deformația specifică în barele de CFRP.

### 3.3 Metodologii de calcul

Au fost studiate diverse metodologii de calcul prezentate în literatura de specialitate.

Astfel, pentru stâlpi rectangulari, între cele mai importante metodologii de calcul existente sunt:

- Metodologia *fib14* (Spoelstra și Monti – 2001) [95]
- Metodologia Mander (1998) [24]
- Metodologia ACI 440.2R-08 (2008) [96]
- Metodologia Lam și Teng (2009) [97] [98]

Pentru toate modelele studiate sunt prezentate în continuare expresiile analitice de calcul ale rezistențelor și deformațiilor specifice ale materialelor.

#### 3.3.1. Metodologia *fib 14* (Spoelstra și Monti – 2001)

Metodologia propusă în buletinul *fib 14* are la bază formulele de calcul propuse de Spoelstra și Monti în anul 1999.

Metodologia propusă ia în considerare creșterea confinării odată cu majorarea efortului unitar din fibre.

Astfel, pentru determinarea caracteristicilor ultime ale betonului confinat sunt propuse următoarele relații:

$$f_{cu} = f_{co} \cdot \left( 0.2 + 3 \cdot \sqrt{\bar{f}_l} \right)$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{co} \cdot \left( 2 + 1.25 \cdot \bar{E}_c \cdot \varepsilon_{ju} \cdot \sqrt{\bar{f}_l} \right)$$

unde valorile normalizate ale efortului maxim de confinare și a modulului longitudinal al betonului sunt:

$$\bar{f}_l = \frac{f_l}{f_{co}}, \quad \text{respectiv} \quad \bar{E}_c = \frac{E_c}{f_{co}}, \quad \text{cu} \quad f_l = \frac{1}{2} \cdot \rho_j \cdot E_j \cdot \varepsilon_{ju}$$

unde:

- $f_l$  – presiunea de confinare
- $f_{co}$  – rezistența betonului neconfinat =  $f_{ck,cil}$
- $E_c$  – modulul de elasticitate al betonului neconfinat
- $\rho_j$  – procentului volumetric de armare prin confinare
- $E_j$  – modulul de elasticitate al materialului de confinare
- $\varepsilon_{ju}$  – deformația specifică ultimă a materialului de confinare

Pentru stâlpii rectangulari, formulele suferă modificări, pentru a lua în considerare aria redusă a betonului confinat și presiunea efectivă de confinare a fibrei.

Aria totală a betonului confinat este obținută astfel (a se vedea notațiile din figurile 3.1 și 3.2):

$$A_U = \frac{b'^2 + d'^2}{3}$$

Valoarea procentului volumetric de armare prin confinare pe cele două direcții sunt date astfel:

$$\rho_{jx} = \frac{2 \cdot b_f \cdot t_j}{s \cdot d} \quad \rho_{jy} = \frac{2 \cdot b_f \cdot t_j}{s \cdot b}$$

unde:

- $b_f$  – lățimea fâșiei de fibră (pe înălțimea elementului)
- $t_j$  – grosimea fibrei
- $s$  – distanța dintre fâșiile de fibră (pe înălțimea elementului).
- $r_c$  – raza de prelucrare a colțurilor
- $b, d$  – dimensiunile secțiunii de beton

### 3.3.2. Metodologia Mander (1998)

Metodologia a fost propus inițial pentru stâlpii confinați cu metal. El a fost ulterior extins și pentru stâlpii rectangulari consolidați cu materiale compozite. Rezistența la compresiune a betonului confinat poate fi obținută cu relația:

$$f'_{cc} = a_1 \cdot a_2 \cdot f'_{co}$$

unde

- $f'_{co}$  – rezistența ultimă a betonului neconfinat =  $f_{ck, cil}$
- cei doi coeficienți aferenți celor două direcții principale sunt dați cu relațiile:

$$a_1 = 1.25 \cdot \left( 1.8 \cdot \sqrt{1 + 7.94 \frac{f'_{lx}}{f'_{co}}} - 1.6 \frac{f'_{lx}}{f'_{co}} - 1 \right)$$

$$a_2 = \left( 1.4 \frac{f'_{ly}}{f'_{lx}} - 0.6 \left( \frac{f'_{ly}}{f'_{lx}} \right)^2 - 0.8 \right) \cdot \sqrt{\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}} + 1$$

Presiunile efective de confinare pe cele două direcții  $f'_{lx}$  și  $f'_{ly}$  sunt calculate cu formulele ( $f'_{lx} > f'_{ly}$ ):

$$f'_{lx} = k_e \cdot \rho_{jx} \cdot f_j$$

$$f'_{ly} = k_e \cdot \rho_{jy} \cdot f_j$$

unde:

$k_e$  – coeficientul de confinare efectivă;

$\rho_{jx}$  și  $\rho_{jy}$  – procentele volumetriche de confinare ;

$f_j$  – efortul din FRP,  $f_j = E_j \cdot \varepsilon_{ju}$

$\varepsilon_{ju}$  – deformația specifică ultimă a materialului de confinare

Confienții de mai sus se calculează cu relațiile:

$$k_e = \frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - (b'^2 + d'^2) / (3 \cdot A_g) - \rho_{sc}}{1 - \rho_{sc}}$$

unde

$$A_g = b \cdot d - (4 - \pi) \cdot r^2$$

$\rho_{sc}$  - este procentul de armare longitudinală

$$b' = b - 2r_c$$

$$d' = d - 2r_c$$

$r_c$  - raza de rotunjire a colțului secțiunii de beton confinate

$$\rho_{jx} = 2 \cdot t_j / d$$

$$\rho_{jy} = 2 \cdot t_j / b$$

unde  $t_j$  - este grosimea fibrei FRP;

$b$  și  $d$  - dimensiunile secțiunii transversale.

### 3.3.3. Metodologia ACI 440.2R-08 (2008)

În normativul ACI este tratat și modul de calcul al stâlpilor dreptunghiulari, consolidați cu FRP, supuși la acțiunea combinată a forței axiale și a momentului încovoietor. La baza acestui calcul stau ecuațiile dezvoltate de Lam și Teng.

Limitări ale acestui model:

-  $0.50 < h/b < 2$

-  $(b, h) < 900$  mm

-  $f'_c < 70$  MPa

Pentru secțiuni care dreptunghiulare, factorii de formă a secțiunii transversale sunt dați sub forma:

-  $k_a$  - coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii  $h$  (latura lungă)

$$k_a = \frac{A_e}{A_c} \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2$$

-  $k_b$  - coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii  $b$  (latura scurtă)

$$k_b = \frac{A_e}{A_c} \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^{0.5}$$

unde:

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[ \frac{(b/h) \cdot (h - 2r_c)^2 + (h/b)(b - 2r_c)^2}{3A_g} \right] - \rho_g}{(1 - \rho_g)}$$

$A_e$  - aria efectivă a betonului confinat

$A_c$  - aria betonului din secțiune =  $A_g(1 - \rho_g)$

$\rho_g$  - procentul de armare longitudinală =  $A_s / A_g$

$A_s$  - aria totală a barelor din secțiune

$A_g$  - aria întregii secțiuni de beton

$r_c$  - raza de prelucrare a colțurilor secțiunii.

Rezistența la compresiune a betonului confinat poate fi obținută cu relația:

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f \cdot 3.3 \cdot k_a \cdot f_l$$

unde:

-  $f'_c$  - rezistența caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard

-  $\psi_f$  - coeficient suplimentar de reducere:  $\psi_f = 0.95$

-  $f_l$  - presiunea de confinare a FRP

$$f_l = \frac{2 \cdot n \cdot t_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fe}}{\sqrt{b^2 + h^2}} - \text{pentru secțiuni dreptunghiulare}$$

$n$  - numărul straturilor de FRP

$t_f$  - grosimea stratului de FRP

$E_f$  - modulul de elasticitate al FRP

$\varepsilon_{fe} = k_\varepsilon \cdot \varepsilon_{fU}$  - deformația specifică efectivă la rupere a FRP

$k_\varepsilon$  - factorul de eficiență a FRP -

valoare recomandată:  $k_\varepsilon = 0.57 \dots 0.61$

$\varepsilon_{fU}$  - deformația specifică la rupere, de calcul, a FRP

Deformația specifică a betonului confinat este definită cu relația:

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[ 1.50 + 12 \cdot k_b \cdot \frac{f_l}{f'_c} \cdot \left( \frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$$

unde

-  $\varepsilon'_c$  - deformația specifică axială a betonului neconfinat, corespunzătoare rezistenței ultime

-  $f_l$  - presiunea de confinare a FRP

-  $k_b$  - coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii  $b$  (latura scurtă)

-  $f'_c$  - rezistența caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard (pentru valori  $< 70$ MPa)

-  $\varepsilon_{fe}$  - deformația specifică efectivă la rupere a FRP



### 3.3.4. Metodologia Lam și Teng (2009)

Modelul a fost modificat și propus de Silvia Rocca, Nestore Galati și Antonio Nanni în articolul "Interaction diagram methodology for design of FRP-confined reinforced concrete columns", publicat în Construction and Building Materials Journal, 2009.

Autorii acestui model au propus o variantă alternativă privind calculul caracteristicilor betonului confinat.

Astfel, deformația specifică a betonului confinat este definită cu relația:

$$\varepsilon_{cc,u} = \varepsilon'_c \cdot \left[ 1.5 + 12 \cdot k_b \cdot \frac{f_l}{f'_c} \cdot \left( \frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$$

unde

- $\varepsilon'_c$  - deformația specifică axială a betonului neconfinat, corespunzătoare rezistenței ultime
- $k_b$  - coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii  $b$  (latura scurtă)

$$k_b = \frac{A_e}{A_c} \cdot \left( \frac{h}{b} \right)^{0.5}$$

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[ (b/h) \cdot (h - 2r)^2 + (h/b)(b - 2r)^2 \right] / (3A_g) - \rho_g}{(1 - \rho_g)}$$

$A_g$  - aria totală a secțiunii

$\rho_g$  - procentul de armare longitudinală =  $A_s / A_g$

$r$  - raza de prelucrare a colțurilor secțiunii

$f_l$  - presiunea de confinare a FRP.

$$f_l = \begin{cases} \frac{2 \cdot n \cdot t_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fe}}{D} & \text{- pentru secțiuni circulare} \\ \frac{2 \cdot n \cdot t_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fe}}{\sqrt{b^2 + h^2}} & \text{- pentru secțiuni dreptunghiulare} \end{cases}$$

$n$  - numărul straturilor de FRP

$t_f$  - grosimea stratului de FRP

$E_f$  - modulul de elasticitate al FRP

$\varepsilon_{fe}$  - deformația specifică efectivă la rupere a FRP

$D$  - diametrul secțiunii circulare de beton

$f'_c$  - rezistența caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard

$\varepsilon_{fe}$  - deformația specifică efectivă la rupere a FRP

Rezistența la compresiune a betonului confinat poate fi obținută cu relația:

$$f'_{cc} = f'_c + 3.3 \cdot k_a \cdot f_l$$

unde:

- $f'_c$  - rezistența caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard

- $f_l$  - presiunea de confinare a FRP
- $k_a$  - coeficient de eficiență geometrică corespunzător laturii  $h$  (latura lungă)

$$k_a = \frac{A_e}{A_c} \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2$$

### 3.3.5. Compararea metodelor de calcul

Pe baza metodelor studiate, este realizată o centralizare a formulelor de calcul folosite de fiecare metodă în parte. În tabelele 3 și 4 de mai jos sunt prezentate centralizat formulele de calcul și anul publicării lor.

Tabelul 3.1. Centralizare ecuații referitoare la rezistența ultimă a betonului confinat

	Metodologie	Ecuații privind rezistența betonului confinat	Anul publicării
1	fib 14 (Spoelstra și Monti)	$f_{cu} = f_{co} \cdot (0.2 + 3 \cdot \sqrt{f_l})$	[2001]
2	Mander	$f'_{cc} = a_1 \cdot a_2 \cdot f'_{co}$	[1998]
3	ACI440.2R-08	$f'_{cc} = f'_c + \psi_f \cdot 3.3 \cdot k_a \cdot f_l$	[2008]
4	Lam și Teng	$f'_{cc} = f'_c + 3.3 \cdot k_a \cdot f_l$	[2009]

Tabelul 3.2. Centralizare ecuații referitoare la deformația specifică ultimă a betonului confinat

	Metodologie	Ecuații privind deformația specifică ultimă a betonului confinat	Anul publicării
1	fib 14 (Spoelstra și Monti)	$\epsilon_{cu} = \epsilon_{co} \cdot (2 + 1.25 \cdot \bar{E}_c \cdot \epsilon_{ju} \cdot \sqrt{f_l})$	[2001]
2	Mander	- neprecizat în modelul studiat -	[1998]
3	ACI440.2R-08	$\epsilon_{ccu} = \epsilon'_c \cdot \left[ 1.50 + 12 \cdot k_b \cdot \frac{f_l}{f'_c} \cdot \left( \frac{\epsilon_{fe}}{\epsilon'_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$	[2008]
4	Lam și Teng	$\epsilon_{cc,\mu} = \epsilon'_c \cdot \left[ 1.5 + 12 \cdot k_b \cdot \frac{f_l}{f'_c} \cdot \left( \frac{\epsilon_{fe}}{\epsilon'_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$	[2009]

### 3.3.6. Calculul confinării, pe baza metodologiilor studiate

Pentru fiecare metodologie din cele patru prezentate a fost realizat un calcul al efectului confinării betonului. Astfel, pentru cele două materiale folosite la confinare, a fost realizată determinarea caracteristicilor ultime (rezistență și deformație specifică).

Geometrie stalp		Calculul Confinare	
b [mm]	= 250	$\rho_{lx}$ [-]	= 0.00136
d [mm]	= 250	$\rho_{ly}$ [-]	= 0.00136
$a_h$ [mm]	= 25		
$r_c$ [mm]	= 20	$b'$ [mm]	= 210
		$d'$ [mm]	= 210
		$A_h$ [mm <sup>2</sup> ]	= 29400
		$f_l$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.47560
		$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1903.13
		$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 0.09223
		$f_{cu}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= <b>17.78</b>
		$\epsilon_{cu}$ [-]	= <b>0.0464</b>
		<b>Metodologia fib14 [2001]</b>	

Geometrie stalp		Calculul Confinare	
b [mm]	= 250	$\rho_{lx}$ [-]	= 0.00136
d [mm]	= 250	$\rho_{ly}$ [-]	= 0.00136
$a_h$ [mm]	= 25		
$r_c$ [mm]	= 20	$b'$ [mm]	= 210
		$d'$ [mm]	= 210
		$A_h$ [mm <sup>2</sup> ]	= 29400
		$f_l$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.47560
		$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1903.13
		$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 0.09223
		$f_{cu}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= <b>17.78</b>
		$\epsilon_{cu}$ [-]	= <b>0.0464</b>
		<b>Metodologia fib14 [2001]</b>	

Material confinare	
$b_t$ [mm]	= 200
$t_t$ [mm]	= 0.17
s [mm]	= 200
$E_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 70000
$\epsilon_{yt}$ [-]	= 0.031

Beton neconfinat	
$f_{co}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= rezistența betonului neconfinat. Nu este precizat care rezistența (caracteristica sau de calcul). Aici luăm rezistența caracteristică pe cilindru - $f_{ck}$
$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= modulul de elasticitate inițial al betonului.
$\epsilon_{co}$ [-]	= deformația specifică a betonului neconfinat, înaintea confinării sau în timpul confinării (dacă betonul este solicitat sau nu, în timpul confinării)
	SAU - deformația specifică a betonului neconfinat, aferentă efortului maxim ( $\epsilon_{c1}$ în SREN 1992-1-1:2004)

Calculul caracteristicilor betonului confinat pe baza metodologiei fib 14 și Monti

Tabelul 3.3. Calculul betonului confinat cu fibră de sticlă – Metodologia fib14 (Spoelstra și Monti)

Geometrie stâlp		Calculare Confinare	
b [mm]	= 250	$\rho_{yx} [-]$	= 0.00136
d [mm]	= 250	$\rho_{yx} [-]$	= 0.00136
a <sub>b</sub> [mm]	= 25	A <sub>y</sub> [mm <sup>2</sup> ]	= 62156.6
r [mm]	= 20	k <sub>e</sub> [-]	= 0.52356
<b>Beton neconfinat</b>			
f <sub>co</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 27.5	b' [mm]	= 210
E <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	=	d' [mm]	= 210
ε <sub>co</sub> [-]	=	f <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 2170
<b>Material confinare</b>			
b <sub>f</sub> [mm]	= 200	f' <sub>ix</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.54512
t <sub>f</sub> [mm]	= 0.17	f' <sub>iy</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.54512
s [mm]	= 200	α <sub>1</sub> [-]	= 1.34336
E <sub>f</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 70000	α <sub>2</sub> [-]	= 1.00000
ε <sub>fu</sub> [-]	= 0.031	<b>f<sub>cc</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>= 36.94</b>
<b>Armare sectiune beton</b>			
A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	= 452	<b>Metodologia Mander [1988]</b>	
ρ <sub>sc</sub> [-]	= 0.007232		
<b>Beton neconfinat</b>			
f <sub>co</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	=	rezistența betonului neconfinat. Nu este precizat care rezistența (caracteristica sau de calcul).	
E <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	=	Aici luăm rezistența caracteristică pe cilindri f <sub>ck</sub>	
ε <sub>co</sub> [-]	=	modulul de elasticitate inițial al betonului.	
		deformația specifică a betonului neconfinat, aferentă efortului maxim (epsilon c1 in SREN 1992-1-1:2004)	

Calculul caracteristicilor betonului confinat pe baza metodologiei Mander

Tabelul 3.4. Calculul betonului confinat cu fibră de sticlă – Metodologia Mander

Geometrie stalp		Calcul	
b [mm]	= 250	<b>Confinare</b>	
h (>b) [mm]	= 250	$\psi_f$ [-]	= 0.95
$a_b$ [mm]	= 25	$A_e / A_c$ [-]	= 0.52617
$r_c$ [mm]	= 20	$k_a$ [-]	= 0.52617
$A_g$ [mm <sup>2</sup> ]	= 62500	$k_b$ [-]	= 0.52617
<b>Beton neconfinat</b>		$f_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.252
$f'_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 16		
$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 18800	$f'_{cc}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= <b>18.07</b>
$\epsilon'_c$ [-]	= 0.00145	$\epsilon_{ecu}$ (<0.01) [-]	= <b>0.00443</b>
<b>Material confinare</b>		<b>Metodologia ACI 440.2R-08 [2008]</b>	
<b>SikaWrap Hex 430G</b>			
$t_f$ [mm]	= 0.17		
$n$ [-]	= 1		
$E_f$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 70000		
$\epsilon_{fu}$ [-]	= 0.031		
$k_c$ [-]	= 0.6		
$\epsilon_{fe}$ [-]	= 0.0186		
<b>Armare sectiune beton</b>			
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	= 452		
$\rho_g$ [-]	= 0.007232		
<b>Beton neconfinat</b>		rezistență caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard (pentru valori < 70MPa)	
$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= peak concrete strength/unconfined		
$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 57000*(f <sub>c</sub> ) <sup>0.5</sup> (PST) sau = 4700(f <sub>c</sub> ) <sup>0.5</sup> (SI)		
$\epsilon'_c$ [-]	= 1.7*f <sub>c</sub> /E <sub>c</sub>	rezistența caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard (pentru valori < 70MPa)	

Calculul caracteristicilor betonului confinat pe baza metodologiei ACI 440.2R-08

Tabelul 3.5. Calculul betonului confinat cu fibră de sticlă – Metodologia ACI 440.2R-08

Geometrie stalp		Calcul	
b [mm]	= 250	<b>Confinare</b>	
h (>b) [mm]	= 250	$A_g / A_c$ [-]	= 0.52617
$a_b$ [mm]	= 25	$k_g$ [-]	= 0.52617
$r_c$ [mm]	= 20	$k_b$ [-]	= 0.52617
$A_g$ [mm <sup>2</sup> ]	= 62500		
<b>Beton neconfinat</b>		$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.252
$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 16		
$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 18800	$f'_{cc}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 18.17
$\epsilon_c$ [-]	= 0.00145	$\epsilon_{ccu}$ (<0.01) [-]	= 0.00443
<b>Material confinare</b>		<b>Metodologia Lam si Teng</b>	
<b>SikaWrap Hex 430G</b>		[2009]	
$t_f$ [mm]	= 0.17		
$n$ [-]	= 1		
$E_f$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 70000		
$\epsilon_{fu}$ [-]	= 0.031		
$k_\epsilon$ [-]	= 0.6		
$\epsilon_{fe}$ [-]	= 0.0186		
<b>Armare sectiune beton</b>			
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	= 452		
$\rho_g$ [-]	= 0.007232		
<b>Beton neconfinat</b>		rezistență caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard (pentru valori < 70MPa)	
$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= peak concrete strength/unconfined cylinder compressive strength of concrete		
$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= $57000 \cdot (f_c)^{0.5}$ (PSI) sau = $4700 \cdot (f_c)^{0.5}$ (SI)		
$\epsilon_c$ [-]	= $1.7 \cdot f_c / E_c$		

Calculul caracteristicilor betonului confinat pe baza metodologiei Lam si Teng

Tabelul 3.6. Calculul betonului confinat cu fibră de sticlă – Metodologia Lam și Teng

Geometrie stalp		Calculare Confinare	
$b$ [mm]	= 250	$\rho_{fx}$ [-]	= 0.00096
$d$ [mm]	= 250	$\rho_{fy}$ [-]	= 0.00096
$a_b$ [mm]	= 25		
$r_c$ [mm]	= 20		
<b>Beton neconfinat C16</b>		$b'$ [mm]	= 210
$f_{co}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 16	$d'$ [mm]	= 210
$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 30450	$A_u$ [mm <sup>2</sup> ]	= 29400
$\epsilon_{co}$ [-]	= 0.0019		
<b>Material confinare</b>		$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.88496
<b>SikaWrap Hex 230C</b>		$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1903.13
$b_f$ [mm]	= 200	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 0.11781
$t_f$ [mm]	= 0.12		
$s$ [mm]	= 200	$f_{cu}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 19.68
$E_j$ [N/mm <sup>2</sup> ]	= 231000	$\epsilon_{cu}$ [-]	= 0.0302
$\epsilon_{ju}$ [-]	= 0.017	<b>Metodologia fib14 [2001]</b>	
<b>Beton neconfinat</b>		rezistența betonului neconfinat. Nu este precizat care rezistență (caracteristica sau de calcul).	
$f_{co}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	=	Aici luăm rezistența caracteristică pe cilindri $f_{ck}$	
$E_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	=	modulul de elasticitate inițial al betonului.	
$\epsilon_{co}$ [-]	=	deformația specifică a betonului neconfinat, aferentă efortului maxim (epsilon c1 in SREN 1992-1-1:2004)	

Calculul caracteristicilor betonului  
confinat pe baza metodologiei  
*fib 14 (Spoelstra si Monti)*

Tabelul 3.7. Calculul betonului confinat cu fibră de carbon –  
Metodologia *fib14* (Spoelstra și Monti)

Geometrie stalp		Calculul caracteristicilor betonului confinat pe baza metodologiei Mander	
b [mm]	= 250	$\rho_x$ [-]	= 0.00096
d [mm]	= 250	$\rho_y$ [-]	= 0.00096
a <sub>b</sub> [mm]	= 25	A <sub>g</sub> [mm <sup>2</sup> ]	= 62156.6
r [mm]	= 20	k <sub>e</sub> [-]	= 0.52356
<b>Beton neconfinat</b>		b' [mm]	= 210
f <sub>co</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 27.5	d' [mm]	= 210
E <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	=	f <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 3927
ε <sub>co</sub> [-]	=	f <sub>lx</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.97376
<b>Material confinare</b>		f <sub>ly</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 1.97376
<b>SikaWrap Hex 230C</b>		α <sub>1</sub> [-]	= 1.42559
b <sub>f</sub> [mm]	= 200	α <sub>2</sub> [-]	= 1.00000
t <sub>f</sub> [mm]	= 0.12	<b>f<sub>cc</sub> [N/mm<sup>2</sup>] = 39.20</b>	
s [mm]	= 200	<b>Metodologia Mander [1988]</b>	
E <sub>f</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 231000		
ε <sub>fu</sub> [-]	= 0.017		
<b>Armare sectiune beton</b>			
A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	= 452		
ρ <sub>sc</sub> [-]	= 0.007232		
<b>Beton neconfinat</b>			
f <sub>co</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	=	rezistența betonului neconfinat. Nu este precizat care rezistența (caracteristica sau de calcul).	
E <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	=	Aici luăm rezistența caracteristică pe cilindri f <sub>ck</sub>	
ε <sub>co</sub> [-]	=	modulul de elasticitate inițial al betonului.	
		deformația specifică a betonului neconfinat, aferentă efortului maxim (epsilon c1 in SREN 1992-1-1:2004)	

Tabelul 3.8. Calculul betonului confinat cu fibră de carbon – Metodologia Mander



Geometrie stâlp		Calculare	
b [mm]	= 250	<b>Confinare</b>	
h (>b) [mm]	= 250	$\psi_f [-]$	= 0.95
a <sub>b</sub> [mm]	= 25	$A_e / A_c [-]$	= 0.52617
r <sub>c</sub> [mm]	= 20	$k_g [-]$	= 0.52617
A <sub>g</sub> [mm <sup>2</sup> ]	= 62500	$k_b [-]$	= 0.52617
<b>Beton neconfinat</b>		$f_t [N/mm^2]$	= 1.599
$f'_c [N/mm^2]$	= 16		
$E_c [N/mm^2]$	= 18800	$f'_{ec} [N/mm^2]$	= <b>18.64</b>
$\epsilon'_{c} [-]$	= 0.00145	$\epsilon_{cu} (<0.01) [-]$	= <b>0.00437</b>
<b>Material confinare</b>		<b>Metodologia ACI 440.2R-08 [2008]</b>	
<b>SikaWrap Hex 230C</b>			
t <sub>f</sub> [mm]	= 0.12		
n [-]	= 1		
E <sub>f</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 231000		
$\epsilon_{fu} [-]$	= 0.017		
k <sub>f</sub> [-]	= 0.6		
$\epsilon_{fe} [-]$	= 0.0102		
<b>Armare sectiune beton</b>			
A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	= 452		
P <sub>g</sub> [-]	= 0.007232		
<b>Beton neconfinat</b>		rezistență caracteristică la compresiune a betonului, pe cilindrul standard (pentru valori < 70MPa)	
$f'_c [N/mm^2]$	= peak concrete strength/unconfined cylinder compressive strength of concrete		
$E_c [N/mm^2]$	= 57000*(f <sub>c</sub> ) <sup>0.5</sup> (PSI) sau = 4700(f <sub>c</sub> ) <sup>0.5</sup> (SI)		
$\epsilon'_{c} [-]$	= 1.7*f <sub>c</sub> /E <sub>c</sub>		

Calculul caracteristicilor betonului confinat pe baza metodologiei ACI 440.2R-08

Tabelul 3.9. Calculul betonului confinat cu fibră de carbon – Metodologia AICI 440.2R-08

Geometrie stalp		Calculare Confinare	
b [mm]	= 250	$A_e / A_c [-]$	= 0.52617
h (>b) [mm]	= 250	$k_s [-]$	= 0.52617
a_b [mm]	= 25	$k_b [-]$	= 0.52617
r_c [mm]	= 20	$f_l [N/mm^2]$	= 1.599
A_g [mm <sup>2</sup> ]	= 62500		
Beton neconfinat			
f <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 16	f' <sub>cc</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 18.78
E <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 18800	ε <sub>ccu</sub> (<0.01) [-]	= 0.00437
ε <sub>c</sub> [-]	= 0.00145		
Material confinare			
SikaWrap Hex 230C			
t <sub>f</sub> [mm]	= 0.12		
n [-]	= 1		
E <sub>f</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 231000		
ε <sub>f0</sub> [-]	= 0.017		
k <sub>ε</sub> [-]	= 0.6		
ε <sub>fe</sub> [-]	= 0.0102		
Armare sectiune beton			
A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	= 452		
ρ <sub>g</sub> [-]	= 0.007232		
Beton neconfinat			
f <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= peak concrete strength/unconfined cylinder compressive strength of concrete - rezistența maximă a betonului		
E <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	= 57000*(f <sub>c</sub> ) <sup>0.5</sup> (PSI) sau = 4700*(f <sub>c</sub> ) <sup>0.5</sup> (SI)		
ε <sub>c</sub> [-]	= 1.7*f <sub>c</sub> /E <sub>c</sub>		

Calculul caracteristicilor betonului confinat pe baza metodologiei Lam si Teng

Tabelul 3.10. Calculul betonului confinat cu fibră de carbon – Metodologia Lam și Teng

Centralizarea datelor din tabelele de calcul de mai sus este prezentată în tabelele 3.11 și 3.12, cu scopul de a oferi o imagine comparativă a rezultatelor obținute aplicând metodele prezentate anterior.

Tabelul 3.11. Centralizator caracteristici beton confinat cu fibră de sticlă

SikaWrap Hex 430G	Rezistența ultima a betonului (ne)confinat [N/mm <sup>2</sup> ]	Deformația specifică ultima a betonului (ne)confinat
beton neconfinat	(16.00)	(0.0035)
fib 14 [2001]	17.78	0.0464
Mander [1998]	36.94	-
ACI440.2R-08 [2008]	18.07	0.0044
Lam si Teng [2009]	18.17	0.0044

Tabelul 3.12. Centralizator caracteristici beton confinat cu fibră de carbon

SikaWrap Hex 230C	Rezistența ultima a betonului (ne)confinat [N/mm <sup>2</sup> ]	Deformația specifică ultima a betonului (ne)confinat
beton neconfinat	(16.00)	(0.0035)
fib 14 [2001]	19.68	0.0302
Mander [1998]	39.20	-
ACI440.2R-08 [2008]	18.64	0.0044
Lam si Teng [2009]	18.78	0.0044

Din analiza datelor prezentate, se observă că metodele cele mai conservative sunt cele din fib14, ACI318 și Lam și Teng, cu valori sensibile apropiate pentru confinarea cu fibră de sticlă sau carbon. Metoda Mander conduce la valori mai mari cu aproximativ 200% pentru rezistența ultimă a betonului confinat cu același tip de material.

## **4. ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE**

### **4.1. Pregătirea programului de încercări experimentale**

#### **4.1.1. Introducere**

În cadrul acestui program de doctorat au fost programate un număr de 18 de încercări experimentale, desfășurate în laboratorul Departamentului CCIA al Facultății de Construcții.

Elementele încercate au fost împărțite în două grupe de câte nouă elemente, în funcție de perioada de confecționare.

#### **4.1.2. Fazele de pregătire**

În prima fază au fost comandate materialele necesare pentru elementele experimentale. Carcasele de armătură și betonul au fost furnizate de firme specializate. Cofrarea și turnarea efectivă au fost realizate în cadrul laboratorului din cadrul departamentului C.C.I.A. La turnare au fost prelevate trei probe de beton, ele fiind testate la compresiune după 28 de zile. Calitatea betonului astfel obținut a fost  $f_{ck,cube} = 27.5$  MPa. Variația rezistenței la compresiune a cuburilor testate a fost în intervalul  $-5.4...+4.9\%$ , raportat la rezistența medie calculată.

Au fost testate și specimene de oțel din barele longitudinale. Au fost realizate teste de întindere pe mai multe diametre de bare, însă cele relevante au fost barele de 12mm diametru. Rezistența la curgere a variat între  $500...525$  N/mm<sup>2</sup>, iar rezistența maximă a fost de  $600$  N/mm<sup>2</sup>; trebuie menționat că oțelul a avut un comportament ductil, existând un palier de curgere lung (3...4%).

După turnarea speciemenelor, acestea au fost pregătite de testare, conform programului prestabilit (curățări de suprafețe, ancorare consolidări laterale și confinări).

Etapele consolidărilor au urmat procedura standard. Pregătirea suprafețelor a fost realizată mecanic, prin șlefuire. Ulterior au fost aplicate sistemele de consolidare prevăzute pentru fiecare specimen. În figurile 4.1 – 4.5 sunt prezentate în detaliu aspecte relevante din timpul efectuării consolidărilor pentru elementele experimentale.



Figura 4.1. Curățirea și corectarea suprafețelor



Figura 4.2. Aplicarea și uniformizarea rășinii epoxidice



Figura 4.3. Aplicarea țesăturilor de înfășurare



Figura 4.4. Aplicarea barelor laterale din oțel



Figura 4.5. Aplicarea mănunchiurilor laterale din fibră de carbon

#### 4.1.3. Programul de încercări experimentale

Încercările experimentale au fost efectuate conform tabelului 4.1. Se face aici observația că elementele experimentale au fost turnate în două etape:

- Etapa 1: elementele C1 ... C4;
- Etapa 2: elementele C5 ... C9.

Pentru fiecare etapă a fost testat un element de referință. Pe parcursul programului au fost realizate 5 încercări monotone și 13 încercări ciclic alternante.

Tabelul 4.1. Programul de teste experimentale

Element	Sistem de consolidare	Tip încercare
C1M	Specimen de referință, NECONSOLIDAT	monotonă
C1C	Specimen de referință, NECONSOLIDAT	ciclică
C1C – CW – BC	Înfășurare bază cu țesătură din fibră de carbon	ciclică
C3M – GW – BC	Înfășurare bază cu țesătură din fibră de sticlă	monotonă
C3M – BM + GW	Consolidare la încovoiere folosind bare metalice ancorate în fundație (2 bare pe o singură parte) și înfășurare bază cu țesătură din fibră de sticlă	monotonă
C3M – BM – AF	Consolidare la încovoiere folosind bare metalice ancorate în fundație (2 bare pe o singură parte)	monotonă
C3C – BM – AF	Consolidare la încovoiere folosind bare metalice ancorate în fundație (câte 2 bare pe fiecare parte)	ciclică

Tabelul 4.1 - Continuare

C4M – BM + CW	Consolidare la încovoiere folosind bare metalice ancorate în fundație (2 bare pe o singură parte) și înfășurare bază cu țesătură din fibră de carbon	monotonă
C4C – BM + CW	Consolidare la încovoiere folosind bare metalice ancorate în fundație (câte 2 bare pe fiecare parte) și înfășurare bază cu țesătură din fibră de carbon	ciclică
C5C	Specimen de referință, NECONSOLIDAT	ciclică
C6C1 – GW – BC	Înfășurare bază cu țesătură din fibră de sticlă	ciclică
C6C2 – GW – BC	Înfășurare bază cu țesătură din fibră de sticlă	ciclică
C7C1 – BM + GW	Consolidare la încovoiere folosind bare metalice ancorate în fundație (câte 2 bare pe fiecare parte) și înfășurare bază cu țesătură din fibră de sticlă	ciclică
C7C2 – BM+GW	Consolidare la încovoiere folosind bare metalice ancorate în fundație (câte 2 bare pe fiecare parte) și înfășurare bază cu țesătură din fibră de sticlă	ciclică
C8C1 – CSS – AF	Consolidare la încovoiere folosind mănunchiuri de fibră de carbon ancorate în fundație (câte 2 mănunchiuri pe fiecare parte)	ciclică
C8C2 – CSS – AF	Consolidare la încovoiere folosind mănunchiuri de fibră de carbon ancorate în fundație (câte 2 mănunchiuri pe fiecare parte)	ciclică
C9C1– CSS + GW	Consolidare la încovoiere folosind mănunchiuri de fibră de carbon ancorate în fundație (câte 2 mănunchiuri pe fiecare parte) și înfășurare bază cu țesătură din fibră de sticlă	ciclică
C9C2– CSS + GW	Consolidare la încovoiere folosind mănunchiuri de fibră de carbon ancorate în fundație (câte 2 mănunchiuri pe fiecare parte) și înfășurare bază cu țesătură din fibră de sticlă	ciclică

Prescurtările au următoarele semnificații:

BM	– Bars of Metal	– bare metalice
AF	– Anchored into Foundation	– ancorate în fundații
CW	– Carbon Wrap	– țesătură carbon
GW	– Glass Wrap	– țesătură sticlă
BC	– Base Confinement	– baza confinată
CSS	– Carbon Sheet Strands	– mănunchiuri de țesătură de carbon

## 4.2. Pregătirea încercărilor experimentale în laborator

### 4.2.1. Alcătuirea elementelor. Standul experimental.

În cadrul acestui program de doctorat au fost programate un număr de 18 de teste experimentale, desfășurate în laboratorul Departamentului CCIA al



Facultății de Construcții. Toate cele 18 elemente încercate în laborator au fost identic alcătuite. Această alcătuire este prezentată în figura 4.6.

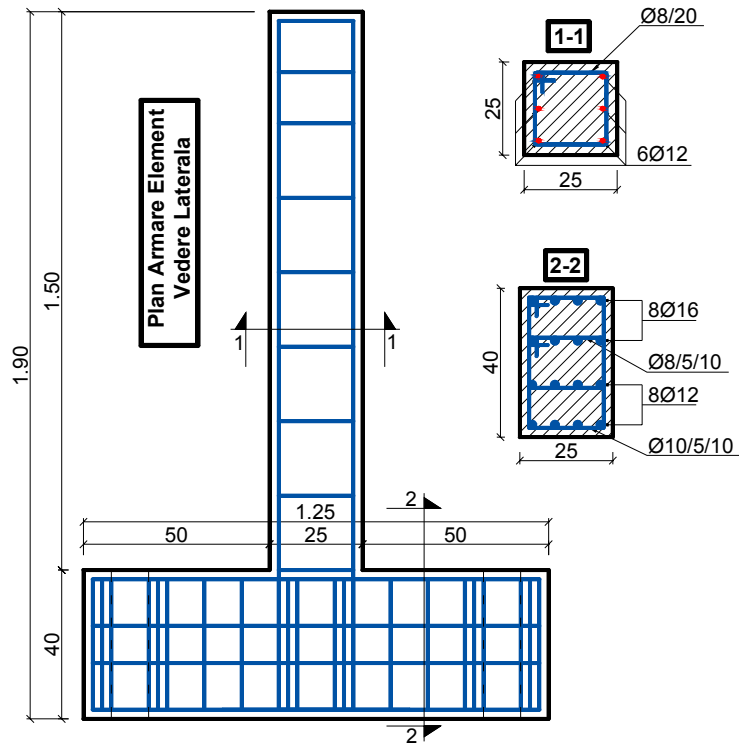


Figura 4.6. Planul de armare al elementelor

Materialele folosite la realizarea elementelor experimentale au fost testate în laborator. Rezultatele sunt prezentate în tabelul următor.

Tabelul 4.2. Calități oțeluri folosite pentru carcasa de armătură

Nr.	Material	Rezistența caracteristică teoretică	Rezistența efectivă determinată în laborator
1.	Beton C16/20	$f_{ck,cube} = 20 \text{ N/mm}^2$	$f_{ck,cube} = 27.5 \text{ N/mm}^2$
2.	Oțel Ø8	$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$	$f_{yk} = 650 \text{ N/mm}^2$
3.	Oțel Ø12	$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$	$f_{yk} = 520 \text{ N/mm}^2$

Standul de testare folosit este un cadru închis realizat din profile de oțel (Figura 4.7). El este indeformabil în planul său, lucru confirmat și de măsurătorile efectuate.

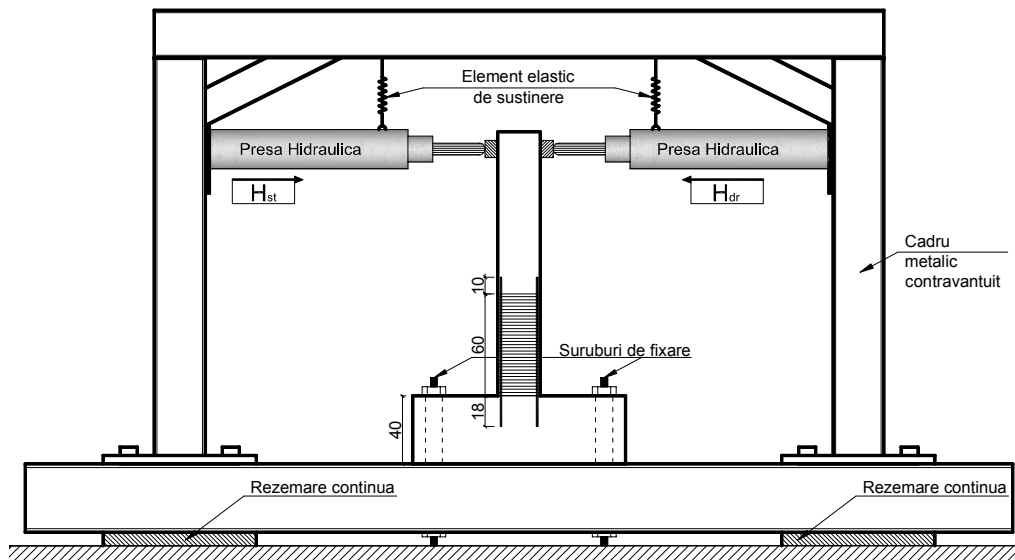


Figura 4.7. Standul de încercare al elementelor

Testele au fost realizate monoton sau ciclic (după caz) folosindu-se prese hidraulice pentru aplicarea forțelor. Pentru generarea forței laterale de împingere ( $H$ ) a fost folosită o pompa hidraulică, cu comandă manuală.

#### 4.2.2. Procedura de încercări experimentale

În cadrul acestui program de doctorat au fost programate un număr de 18 încercări experimentale, desfășurate în laboratorul Departamentului CCIA al Facultății de Construcții. Dintre acestea, 5 au fost încercări monotone, iar 13 au fost încercări ciclic alternante.

În figura 4.8 este prezentată echiparea elementelor, cu poziția captorilor de deplasare, a timbrelor tensometrice și a punctelor de aplicare a încărcărilor.

Pe baza încercărilor monotone, s-a stabilit ca *limită de comportare elastică* valoarea unei încărcări de 30 kN (echivalentă a 24mm deplasare laterală).

Diagrama de cicluri are forma prezentată în figurile 4.9 și 4.10 de mai jos. Încercările au fost efectuate în control de forță, până la atingerea rezistenței de curgere în armături (limita de comportare elastică). Deplasarea ( $\beta$ ) atinsă la limita de comportare elastică a fost folosită în continuare pentru generarea limitei de deplasare în control de forță, folosind incremente egale cu  $0.5 \times \beta$ . Trebuie specificat că limita de comportare elastică a fost determinată pe elementul de referință încercat monoton - C1M.

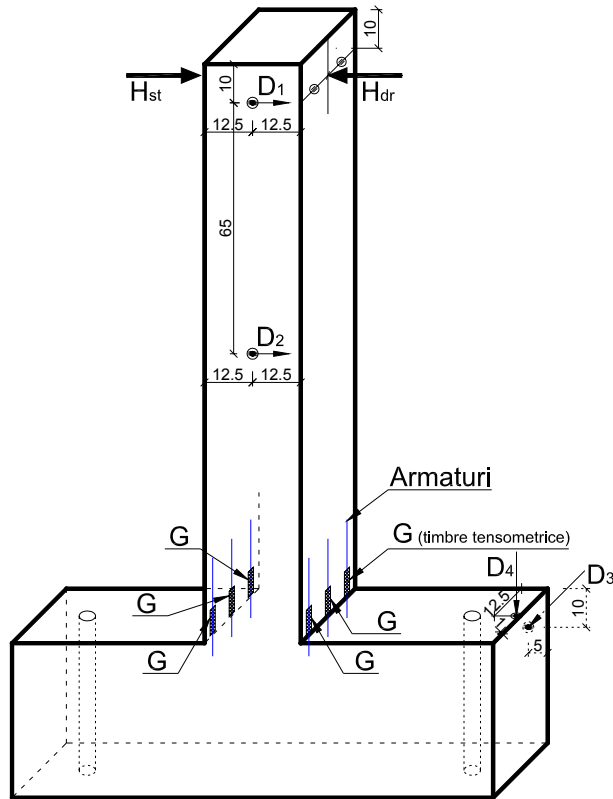


Figura 4.8. Principiul de echipare a elementelor încercate

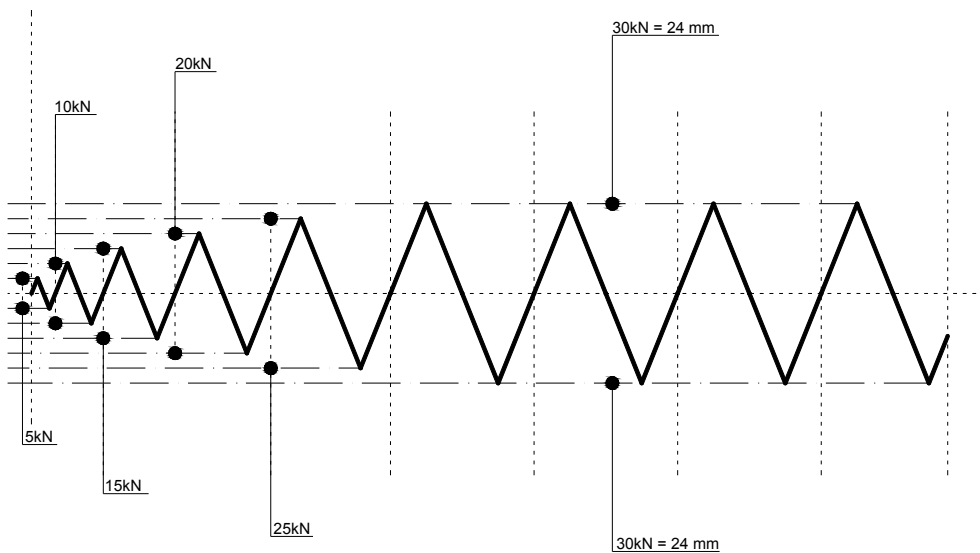


Figura 4.9. Diagrama ciclurilor de încărcare – etapa de control de forță

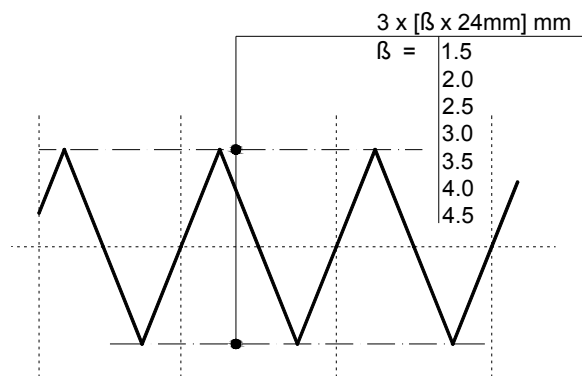


Figura 4.10. Diagrama ciclurilor de încărcare – etapa de control de deplasare

### 4.3. Efectuarea încercărilor experimentale în laborator

#### 4.3.1. Elementele de referință

##### 4.3.1.1. Elementul C1M

Încercarea a fost făcută pe un element martor, neconsolidat, cu scopul stabilirii caracteristicilor de comportare a elementului de referință. Cu ajutorul acestui element a fost determinată limita de comportare elastică ( $\beta$ ), folosită ca și referință pentru toate încercările ciclic alternante efectuate ulterior. Echiparea elementului este prezentată în figura 4.11.

Tabel 4.3. Fișa testului C1M

1.	Denumire element	C1M
2.	Tip test	Monoton
3.	Consolidare laterală	---
4.	Consolidare prin înfășurare	---
5.	Forța la curgere	30 kN
6.	Forța maximă	35 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	24 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	86 mm
9.	Factorul de ductilitate -	3.58 (86/24)
10.	Modul de cedare	rupere armătură longitudinală element
11.	Deformații specifice măsurate	Timbre armături interioare (G1, G2)

Comportarea elementului încercat este relevată în figurile următoare, cu ajutorul diagramelor forță-deplasare și forță – deformație specifică în armătură.

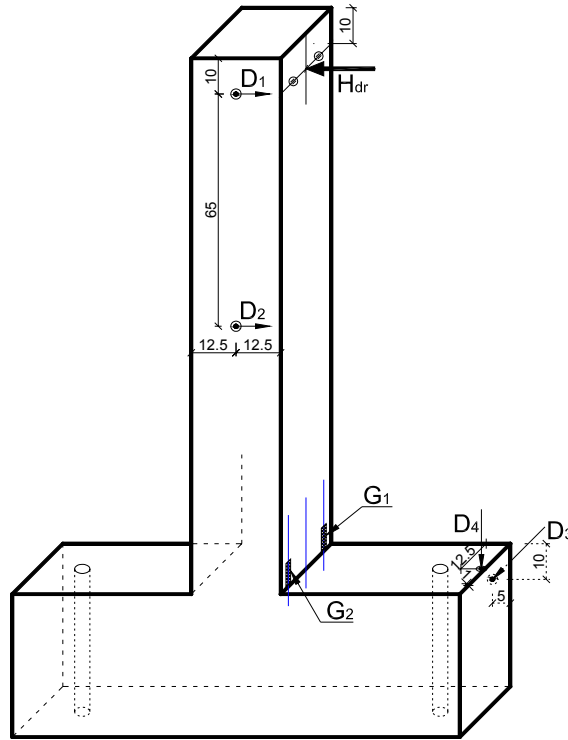


Figura 4.11. Echiparea elementului C1M

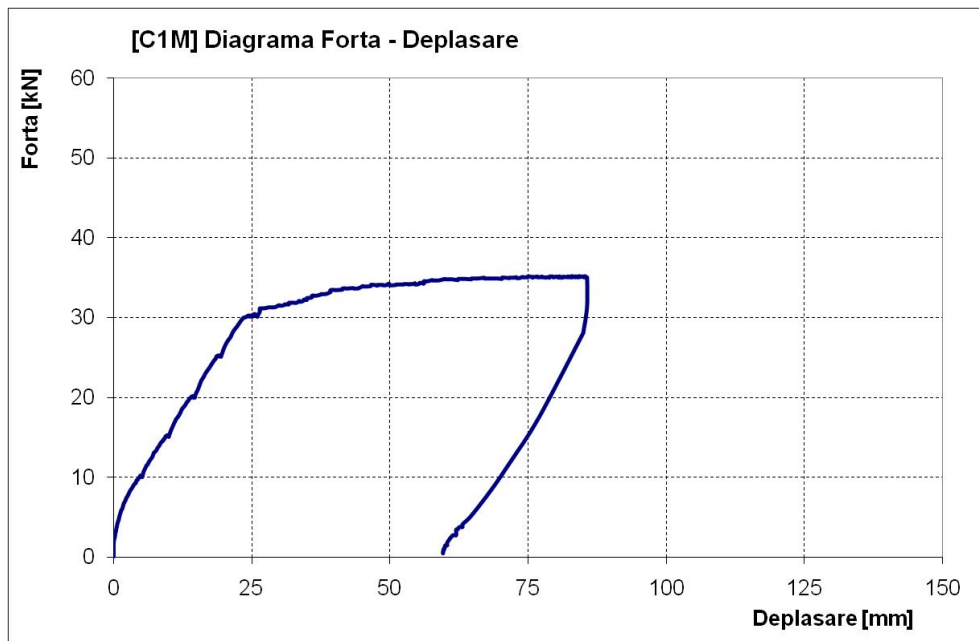


Figura 4.12. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C1M

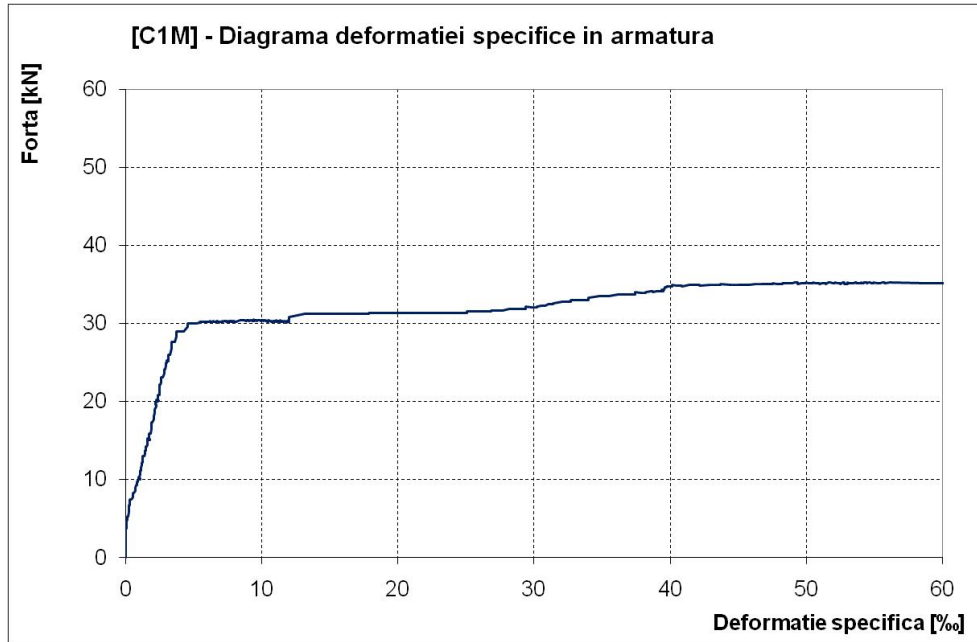


Figura 4.13. Diagrama forță – deformație specifică în armătură pentru elementul C1M

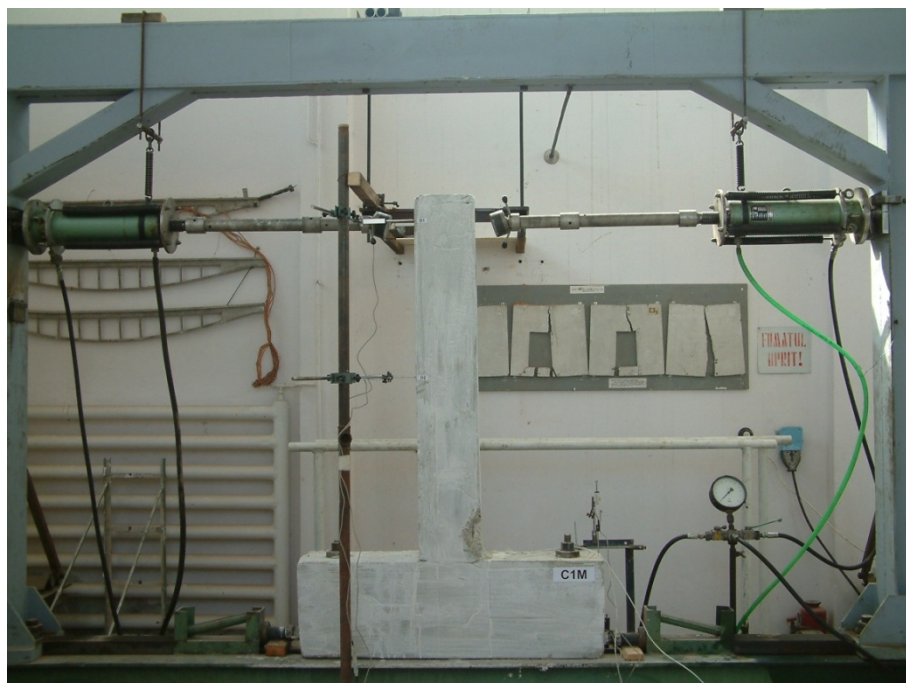


Figura 4.14. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C1M



Figura 4.15. Detaliu dispunere timbre tensometrice G1 și G2 pentru elementul C1M



Figura 4.16. Detaliu deschidere fisură în zona întinsă pentru elementul C1M (35kN)



Figura 4.17. Detaliu zdrobire beton în zona comprimată pentru elementul C1M (35kN)

#### 4.3.1.2. Elementul C1C

Încercarea a fost făcută fără nici un fel de sistem de consolidare aplicat, pentru a avea un element de referință încercat ciclic alternant. Acest element este elementul de referință aferent fazei 1 de turnare. Pe baza înregistrărilor efectuate, au fost trasate diagramele de comportare specifice, prezentate în figurile 4.18, 4.19 și 4.20. Echiparea elementului este prezentată în figura 4.18.

Tabel 4.4. Fișa testului C1C

1.	Denumire element	C1C
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	---
4.	Consolidare prin înfășurare	---
5.	Forța la curgere	30.15 kN
6.	Forța maximă	33.50 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	19.11 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	74 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.87 (74/19.11)
10.	Modul de cedare	formare articulație plastică la baza elementului
11.	Deformații specifice măsurate	Timbre armături interioare (G1, G2, G3, G4)



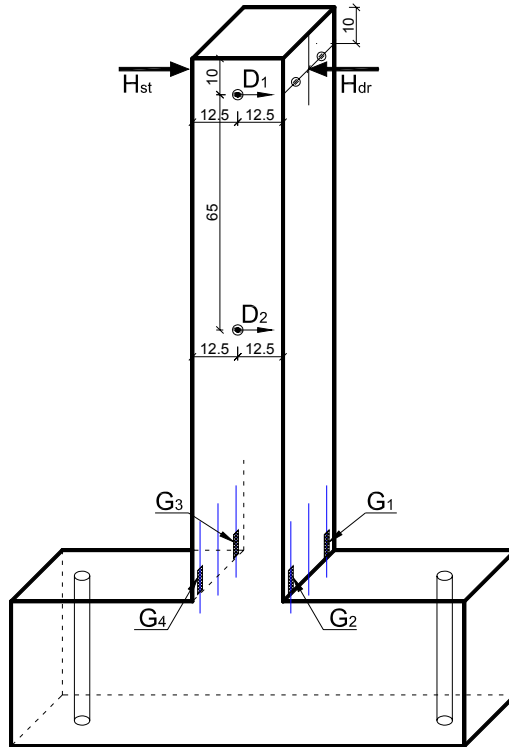


Figura 4.18. Echiparea elementului C1C

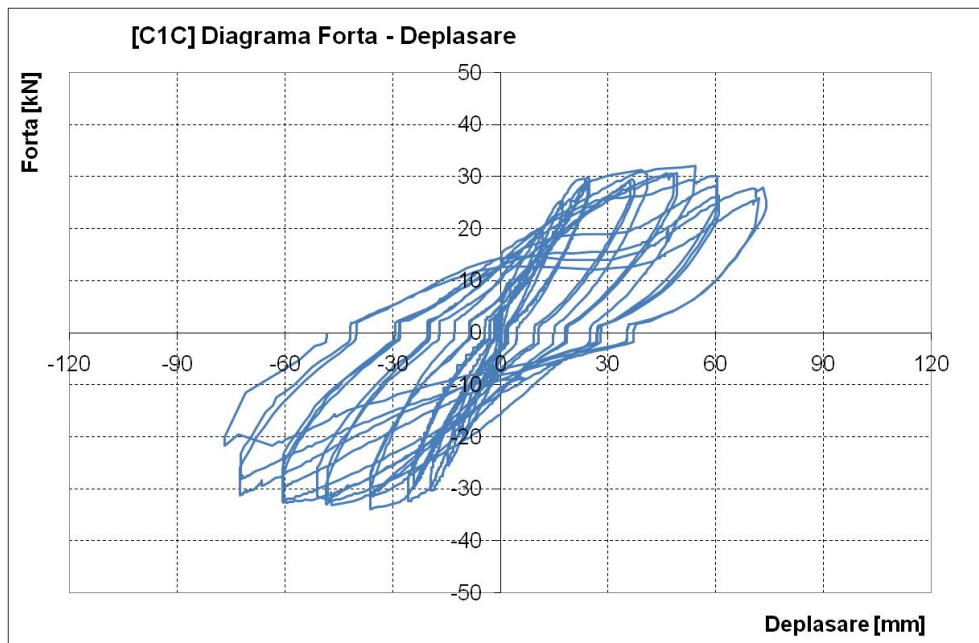


Figura 4.19. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C1C

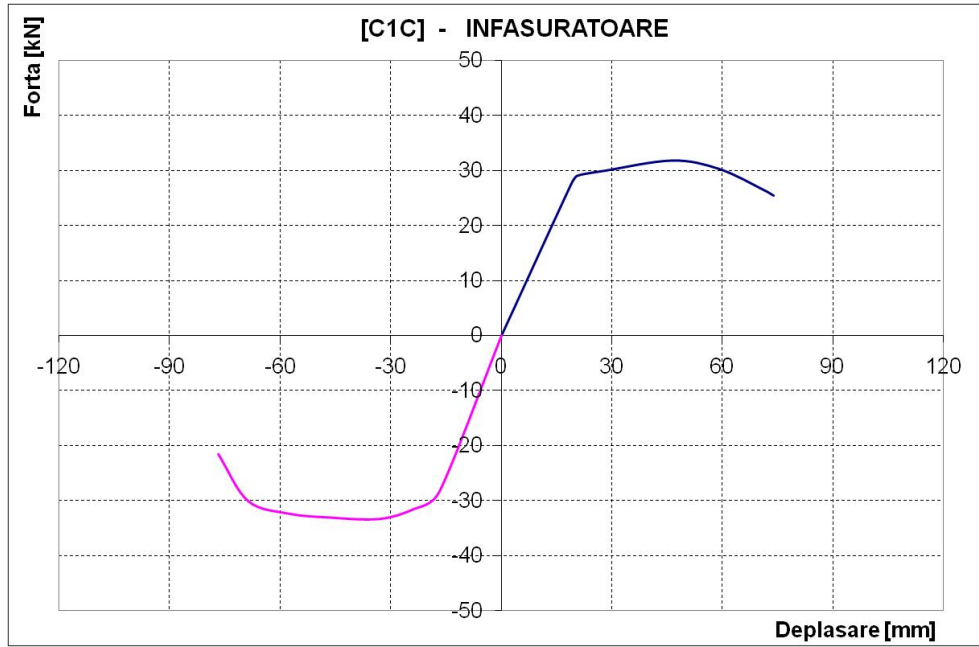


Figura 4.20. Diagrama înfășurătoare forță - deplasare pentru elementul C1C

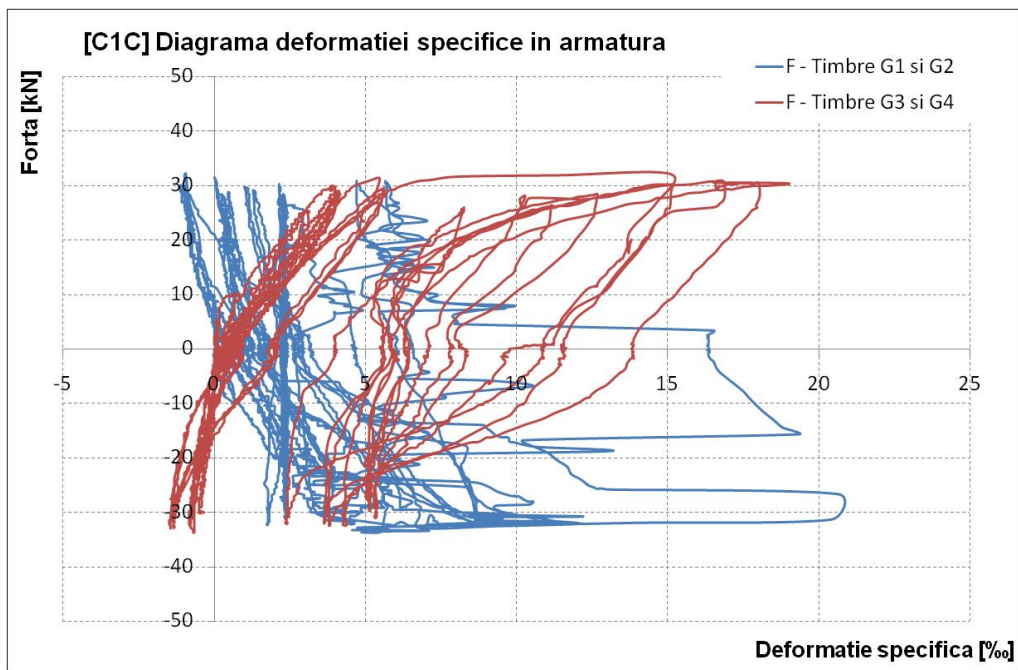


Figura 4.21. Diagrama forță - deformație specifică armătură pentru elementul C1C



Figura 4.22. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C1C



Figura 4.23. Detaliu dispunere timbre tensometrice G1 , G2, G3 și G4 pentru elementul C1C



Figura 4.24. Distribuția fisurilor la baza elementului pentru elementul C1C

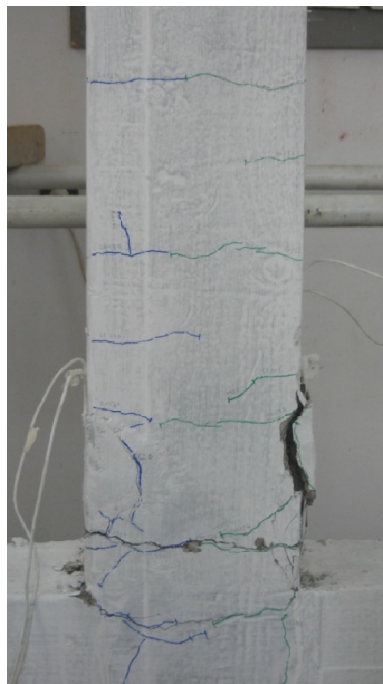


Figura 4.25. Zona comprimată de beton – zdrobire inițială a betonului comprimat pentru elementul C1C

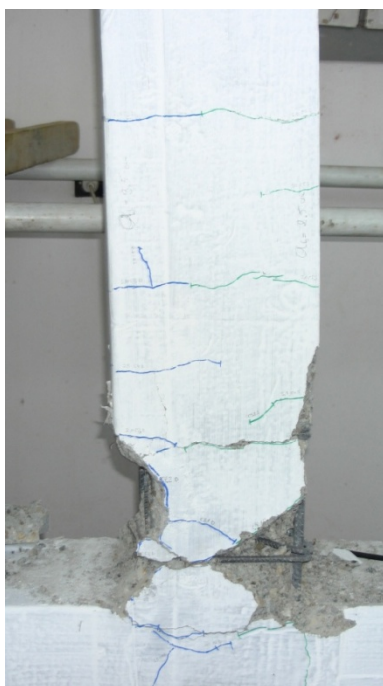


Figura 4.26. Zone comprimate de beton – formare articulație plastică pentru elementul C1C ( $D1 = 36\text{mm}$ )

#### 4.3.1.3. Elementul C5C

Încercarea a fost făcută fără nici un fel de sistem de consolidare aplicat, pentru a avea un element de referință încercat ciclic alternant. Acest element este elementul de referință aferent fazei 2 de turnare. Pe baza înregistrărilor efectuate, au fost trasate diagramele de comportare specifice, prezentate în figurile 4.28 și 4.29. Echiparea elementului este prezentată în figura 4.27.

Tabelul 4.5. Fișa testului C5C

1.	Denumire element	C5C
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	---
4.	Consolidare prin înfășurare	---
5.	Forța la curgere	27.05 kN
6.	Forța maximă	30.65 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	18.52 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	72.96 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.94 (72.96/18.52)
10.	Modul de cedare	formare articulație plastică la baza elementului
11.	Deformații specifice măsurate	--- (G1, G2)

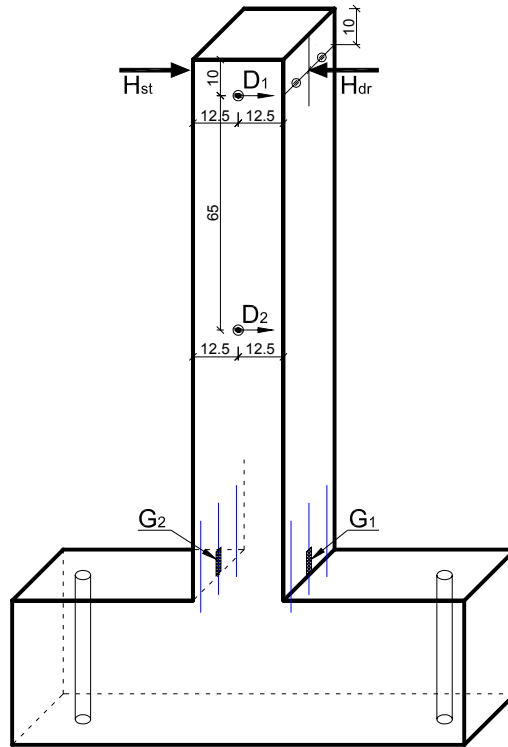


Figura 4.27. Echiparea elementului C5C

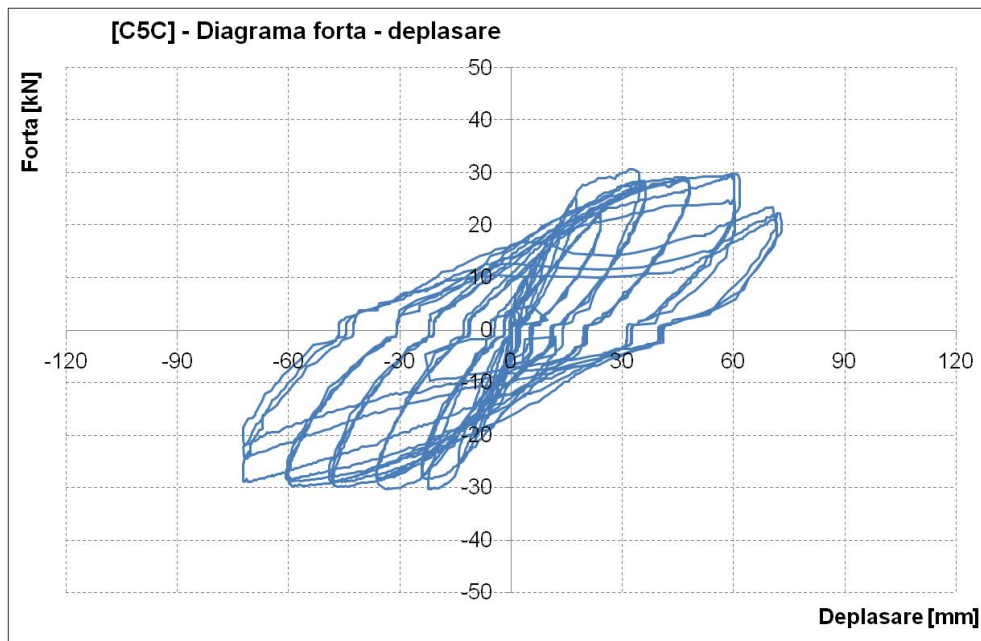


Figura 4.28. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C5C

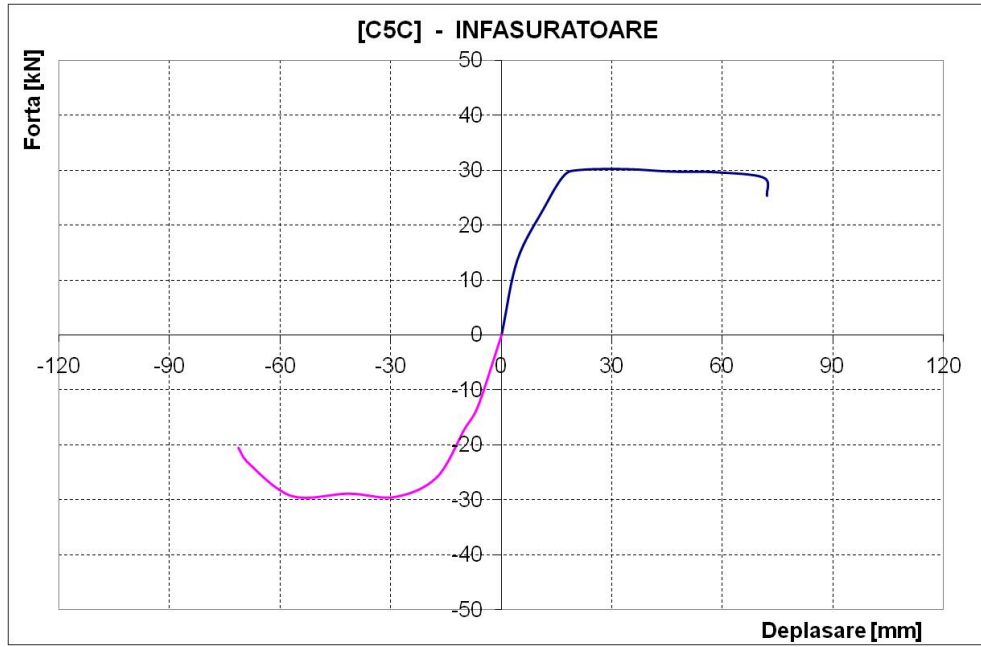


Figura 4.29. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C5C



Figura 4.30. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C5C

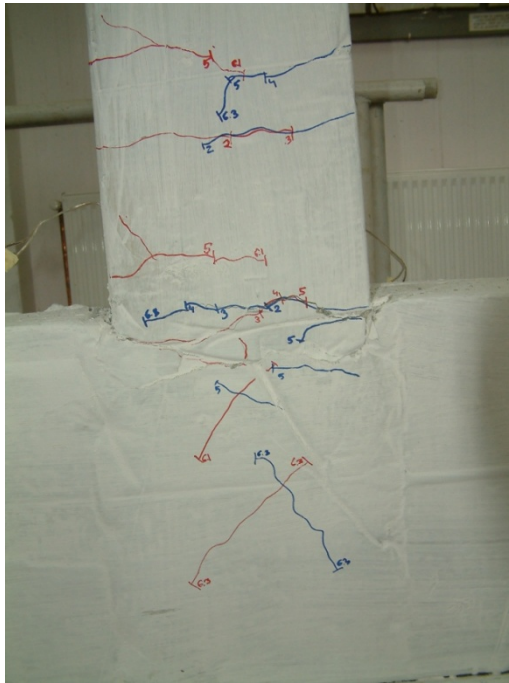


Figura 4.31. Distribuția fisurilor la bază pentru elementul C5C

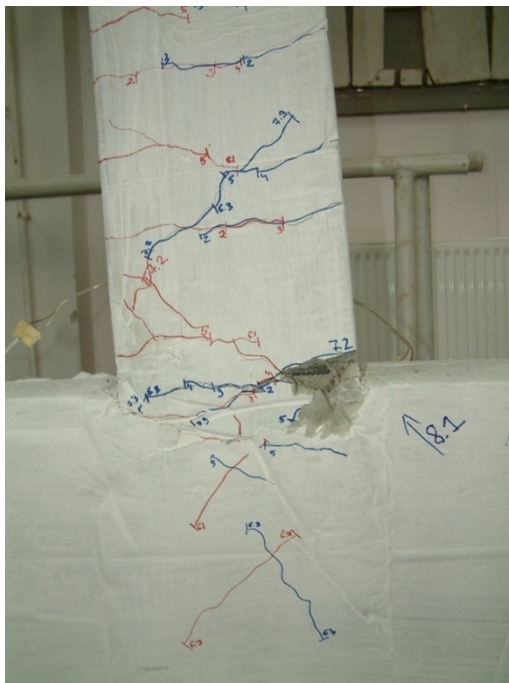


Figura 4.32. Dezvoltarea articulației plastice pentru elementul C5C





Figura 4.33. Starea de deformare după formarea articulației plastice pentru elementul C5C

#### 4.3.2. Elemente consolidate prin înfășurarea bazei

##### 4.3.2.1. Elementul C1C-CW-BC

Încercarea ciclică a fost realizată pe un specimen consolidat prin înfășurare la bază cu țesătură din fibră de carbon. Fibra de carbon folosită a fost tip SikaWrap230C, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de carbon. Suprapunerea țesăturii a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat continuu de țesătură. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.34.

Tabel 4.6. Fișa testului C1C-CW-BC

1.	Denumire element	C1C-CW-BC
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	---
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de carbon SikaWrap 230C.
5.	Forța la curgere	29.15 kN
6.	Forța maximă	32.50 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	17.59 mm

Tabel 4.6. - Continuare

8.	Deplasarea ultimă [D1]	97.84 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	5.56 (97.84/17.59)
10.	Modul de cedare	formare plan de rupere și lunecare la baza elementului, însoțită de curgerea unei armături la întindere
11.	Deformații specifice măsurate	Timbre armături interioare (G1, G2).

Pe baza înregistrărilor efectuate, au fost trasate diagramele de comportare specifice, prezentate în figurile 4.34, 4.35 și 4.36.

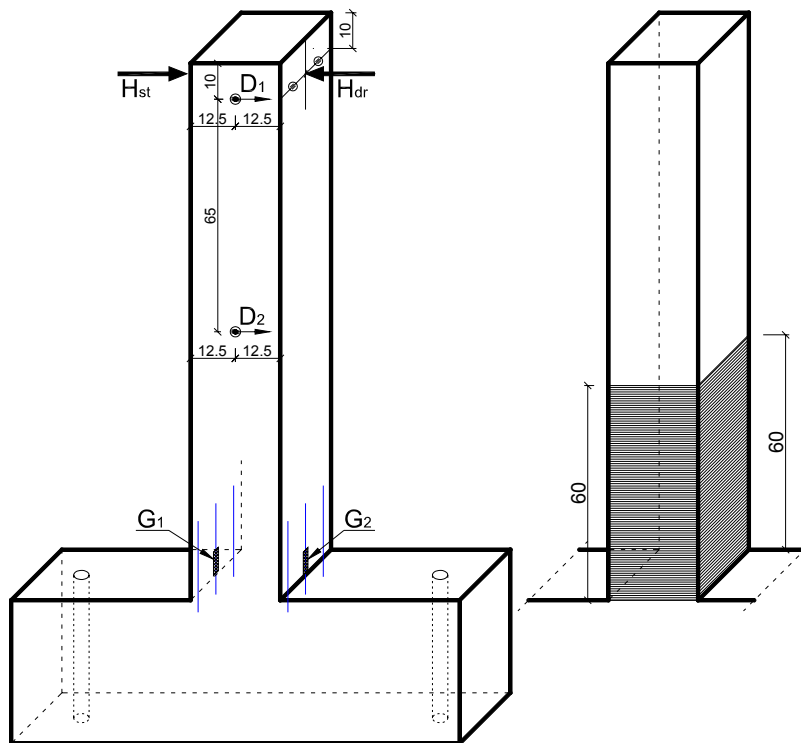


Figura 4.34. Echiparea și consolidarea elementului C1C-CW-BC

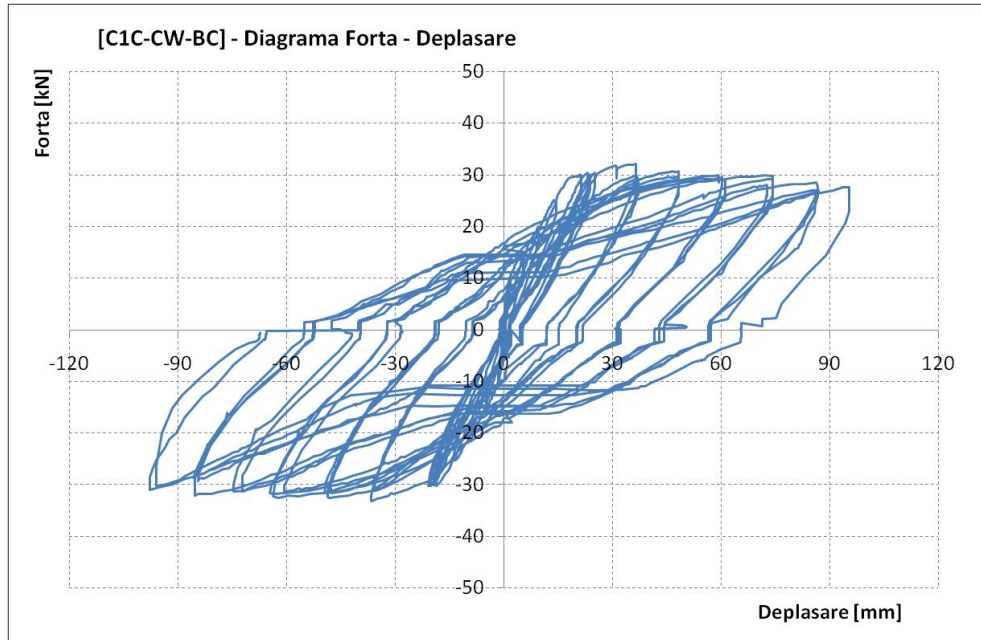


Figura 4.35. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C1C-CW-BC

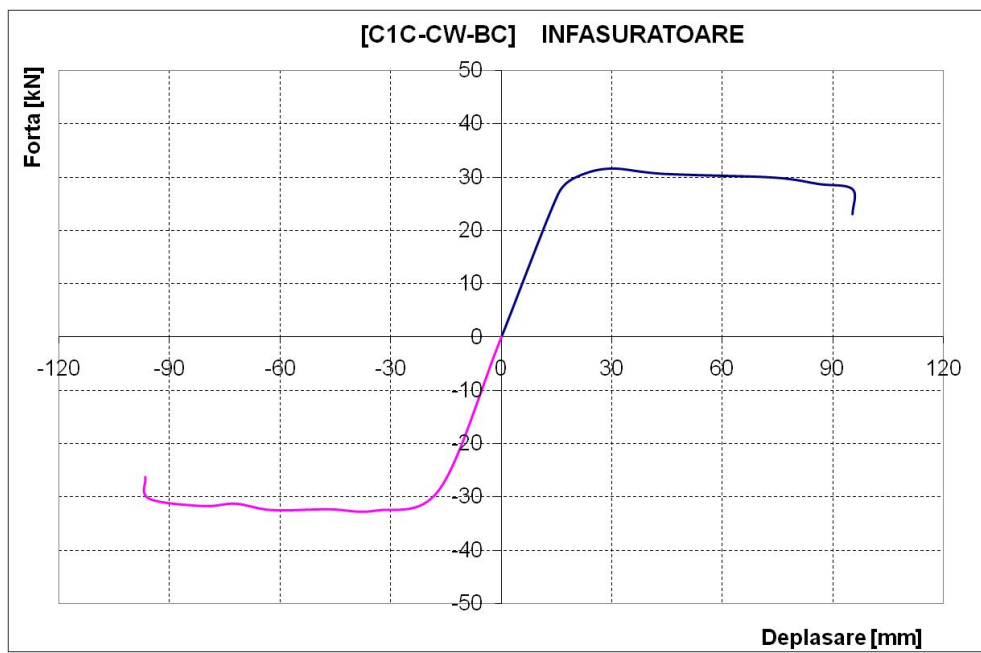


Figura 4.36. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C1C-CW-BC

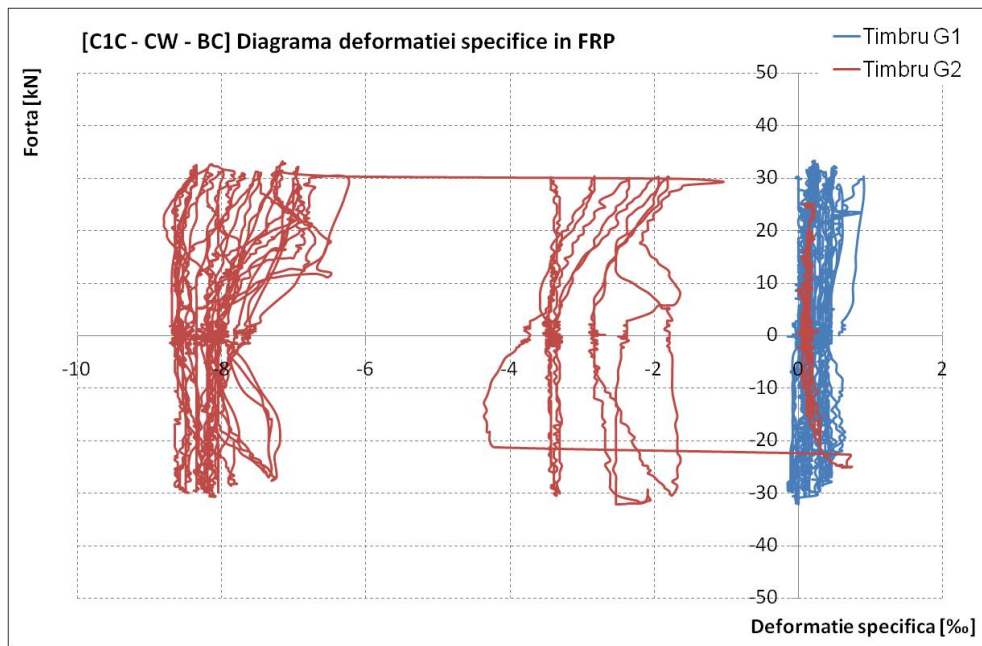


Figura 4.37. Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C1C-CW-BC

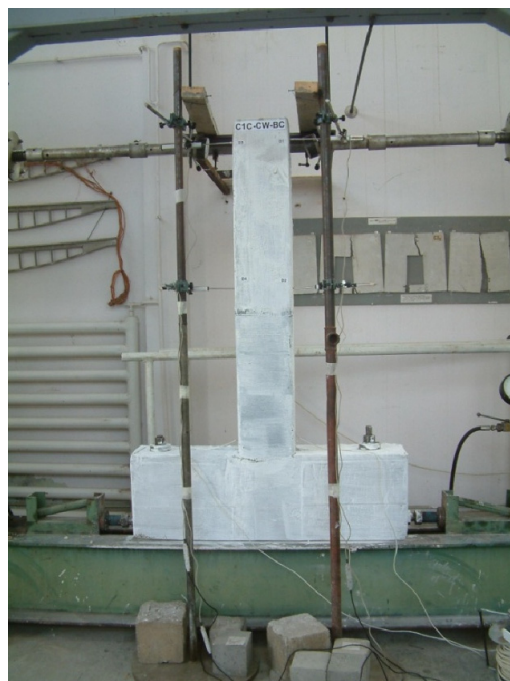


Figura 4.38. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C1C -CW-BC

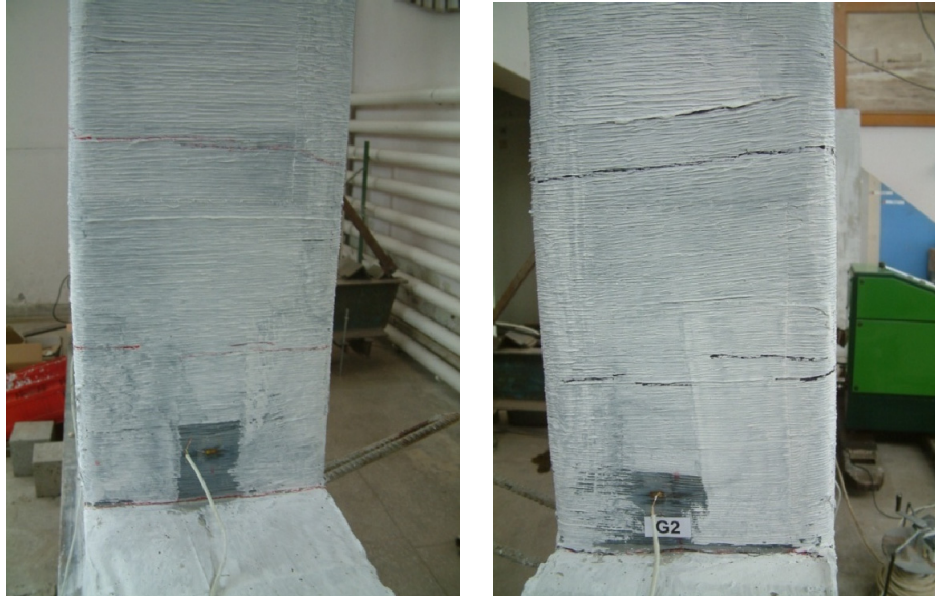


Figura 4.39. Detaliu dispunere timbre tensometrice G1 și G2 pentru elementul C1C-CW-BC

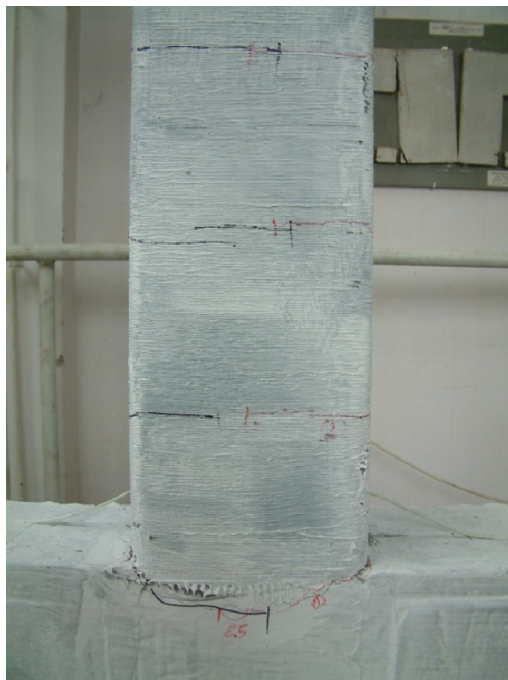


Figura 4.40. Formarea secțiunii de lunecare la bază pentru elementul C1C-CW-BC

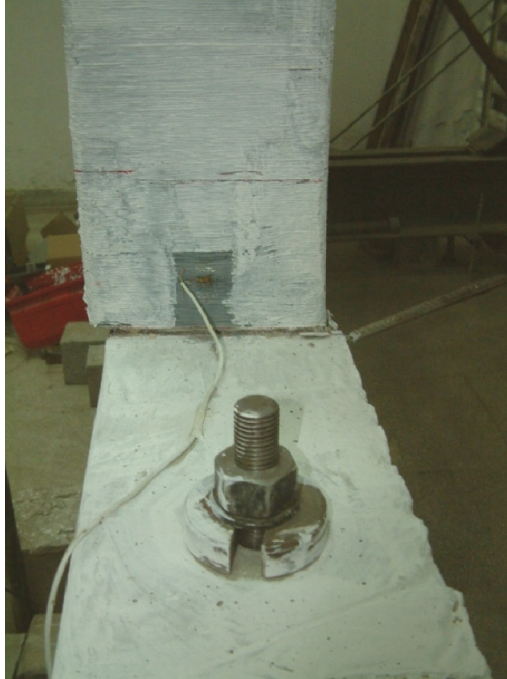


Figura 4.41. Cedarea prin lunecarea la bază pentru elementul C1C-CW-BC



Figura 4.42. Secțiunea de lunecare la baza înfășurării în finalul cedării pentru elementul C1C-CW-BC

**4.3.2.2. Elementul C2M-GW-BC**

Încercarea monotonă a fost făcută pe un specimen consolidat prin înfășurare la bază cu țesătură din fibră de sticlă. Fibra de sticlă folosită a fost tip SikaWrap430G, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de sticlă. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.43.

Tabel 4.7. Fișa testului C2M-GW-BC

1.	Denumire element	C2M-GW-BC
2.	Tip test	Monoton
3.	Consolidare laterală	---
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de sticlă SikaWrap 430G.
5.	Forța la curgere	28 kN
6.	Forța maximă	32.5 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	18.21 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	143.02 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	7.85 (143.02/18.21)
10.	Modul de cedare	cedarea unei armături în întindere
11.	Deformații specifice măsurate	Timbru armătură interioară întinsă (G1)

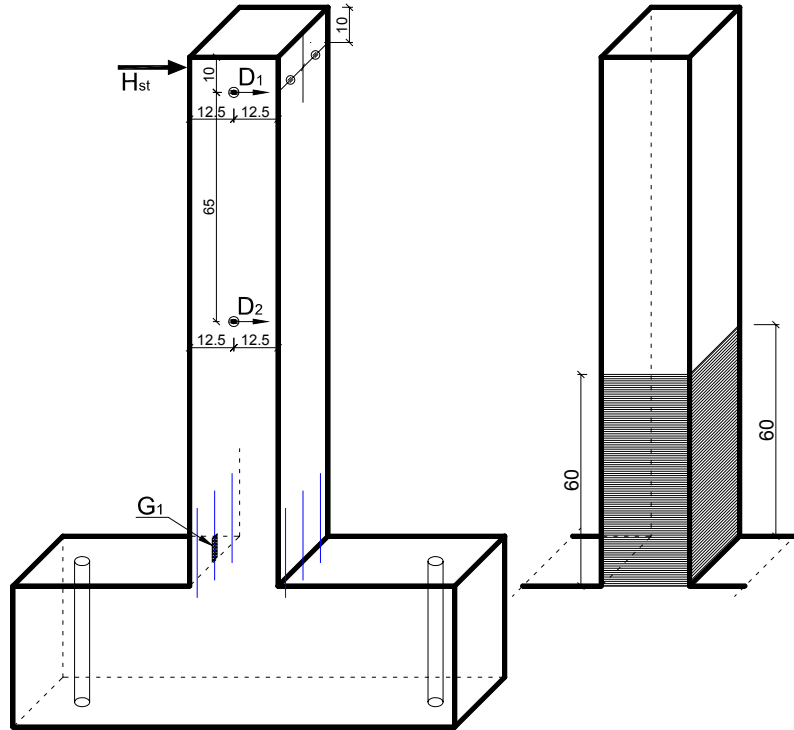


Figura 4.43. Echiparea și consolidarea elementului C2M-GW-BC

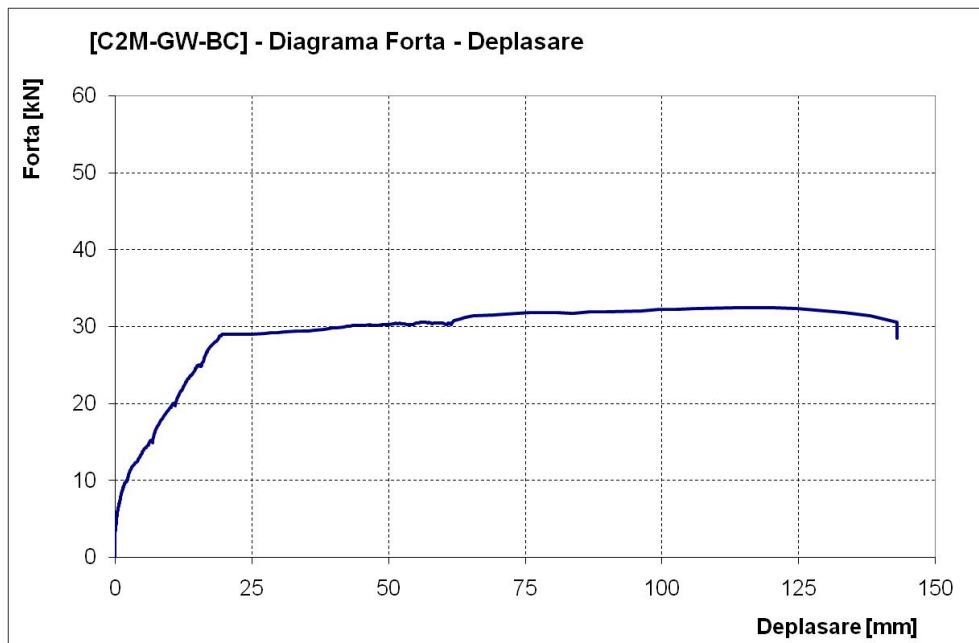


Figura 4.44. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C2M-GW-BC



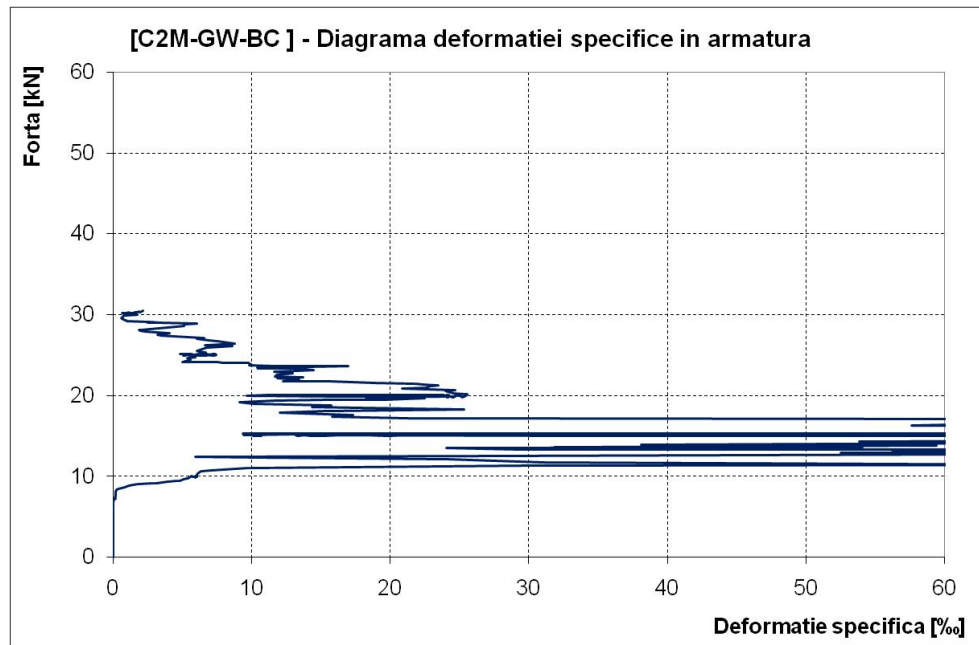


Figura 4.45. Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C2M-GW-BC



Figura 4.46. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C2M-GW-BC



Figura 4.47.- Timbrul tensometric G1 pentru elementul C2M-GW-BC



Figura 4.48. Inițierea cedării elementului C2M-GW-BC



Figura 4.49. Cedarea elementului C2M-GW-BC



Figura 4.50. Armătura întinsă ruptă la cedarea elementului C2M-GW-BC

### 4.3.2.3. Elementul C6C1-GW-BC

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat prin înfășurare la bază cu țesătură din fibră de sticlă. Fibra de sticlă folosită a fost tip SikaWrap430G, cu aplicare uscată, folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de sticlă. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.51.

Tabelul 4.8. Fișa testului C6C1-GW-BC

1.	Denumire element	C6C1-GW-BC
2.	Tip test	ciclic
3.	Consolidare laterală	---
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de sticlă SikaWrap 430G.
5.	Forța la curgere	30.3 kN
6.	Forța maximă	32.85 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	21.02 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	78.34 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.72 (78.34/21.02)
10.	Modul de cedare	formare articulației de lunecare la bază, însoțită de cedarea fibrei de înfășurare
11.	Deformații specifice măsurate	----

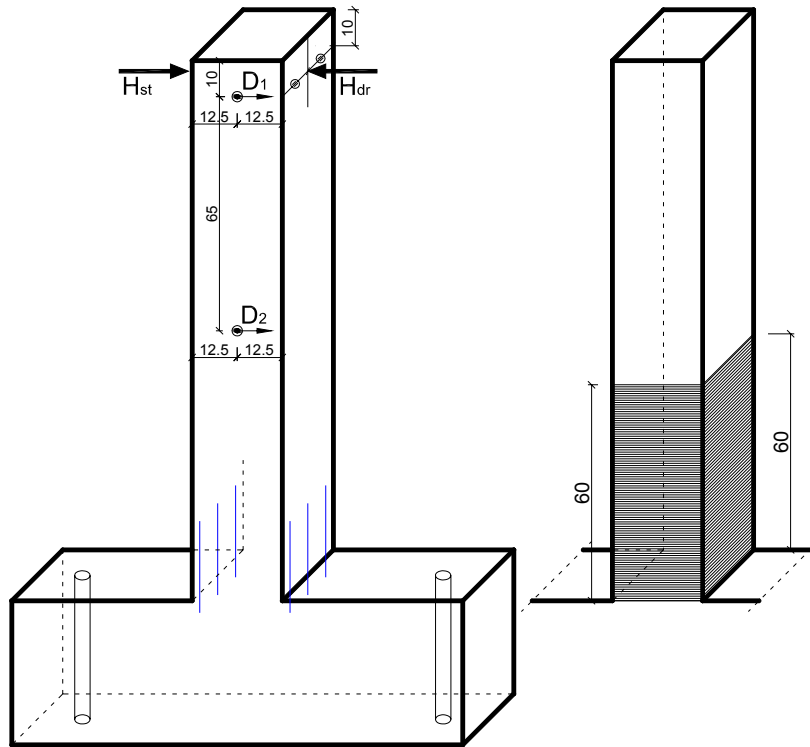


Figura 4.51. Echiparea și consolidarea elementului C6C1-GW-BC

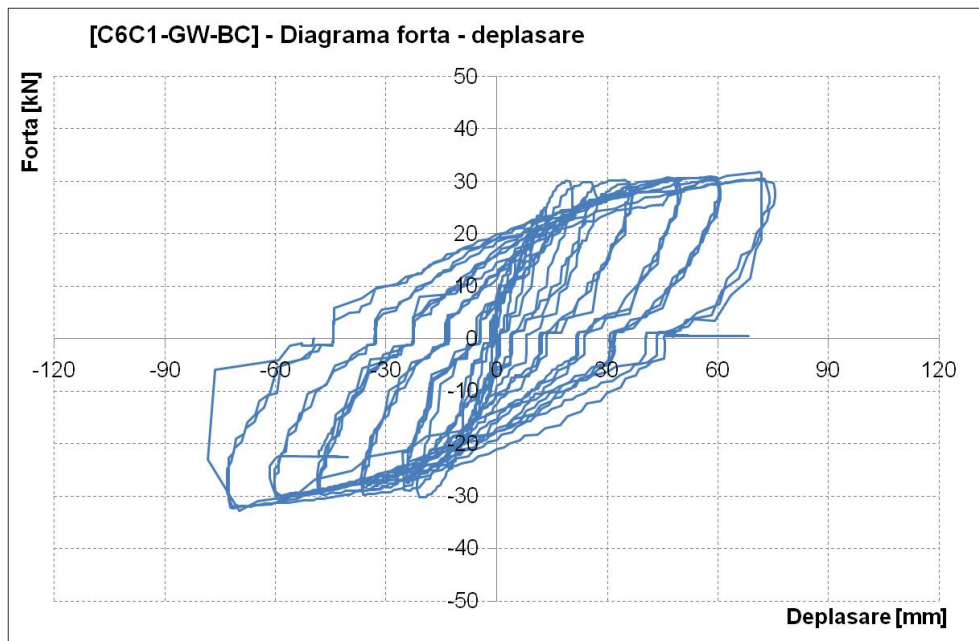


Figura 4.52. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C6C1-GW-BC

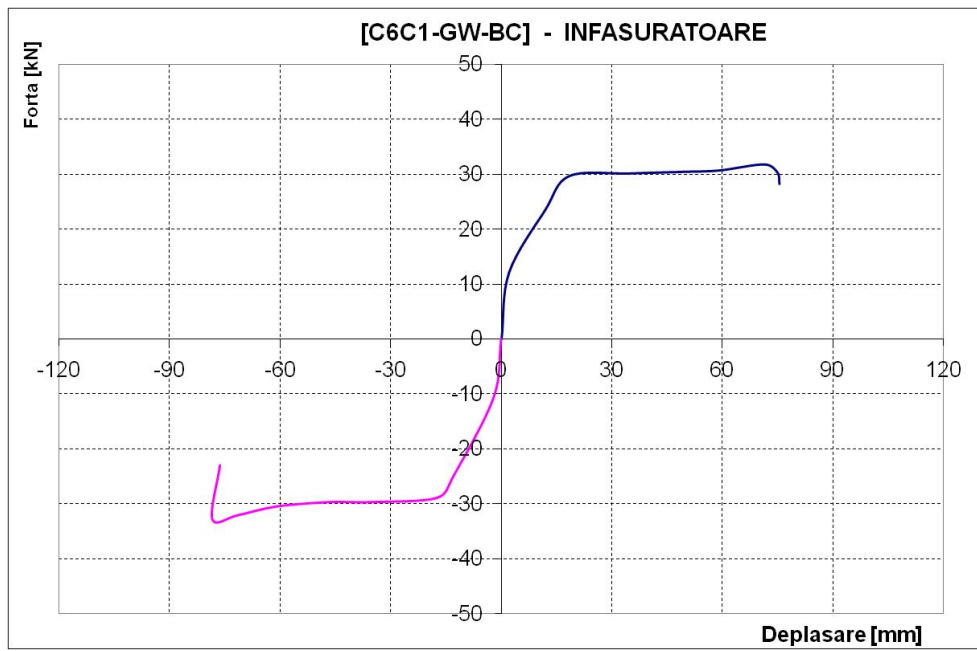


Figura 4.53. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C6C1-GW-BC



Figura 4.54. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C6C1-GW-BC

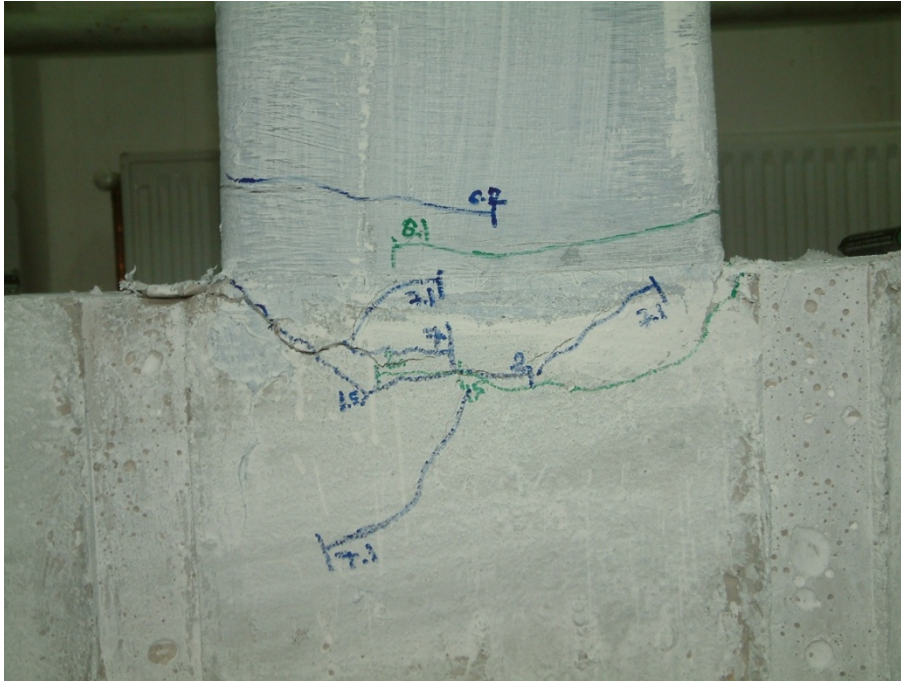


Figura 4.55. Inițierea formării articulației de alunecare la bază pentru elementul C6C1-GW-BC



Figura 4.56. Formarea articulației de alunecare la bază pentru elementul C6C1-GW-BC



Figura 4.57. Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C6C1-GW-BC ( $D1 = 72\text{mm}$ )

#### 4.3.2.4. Elementul C6C2-GW-BC

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat prin înfășurare la bază cu țesătură din fibră de sticlă. Fibra de sticlă folosită a fost tip SikaWrap430G, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de sticlă. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.58.

Tabelul 4.9. Fișa testului C6C2-GW-BC

1.	Denumire element	C6C2-GW-BC
2.	Tip test	ciclic
3.	Consolidare laterală	---
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de sticlă SikaWrap 430G.
5.	Forța la curgere	29.35 kN
6.	Forța maximă	30.8 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	17 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	61.8 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.63 (61.8/17)



Tabelul 4.9. - Continuare

10.	Modul de cedare	Formare articulație de alunecare la bază. Cedare armătură interioară.
11.	Deformații specifice măsurate	--- (G1, G2)

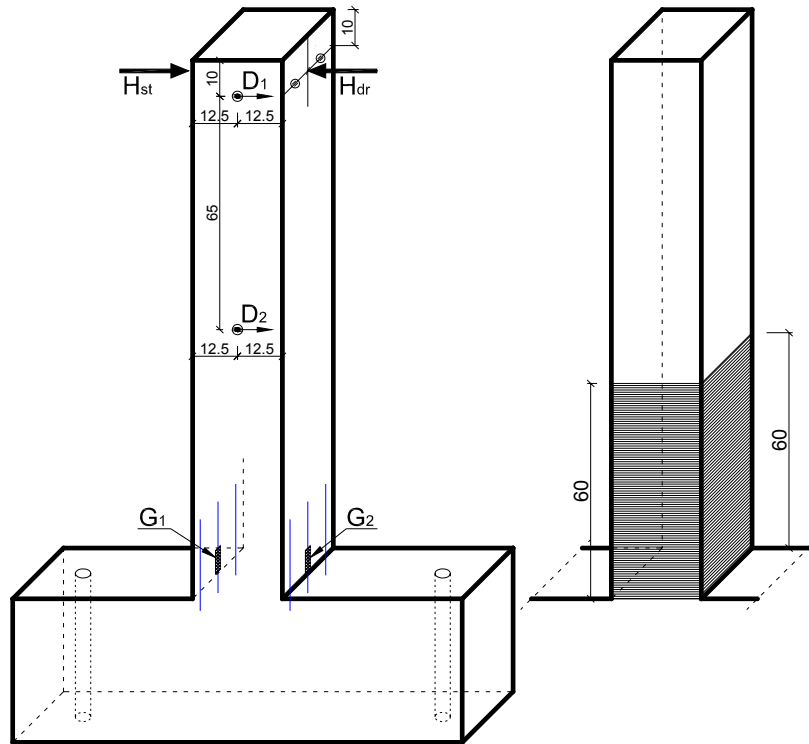


Figura 4.58. Echiparea și consolidarea elementului C6C2-GW-BC

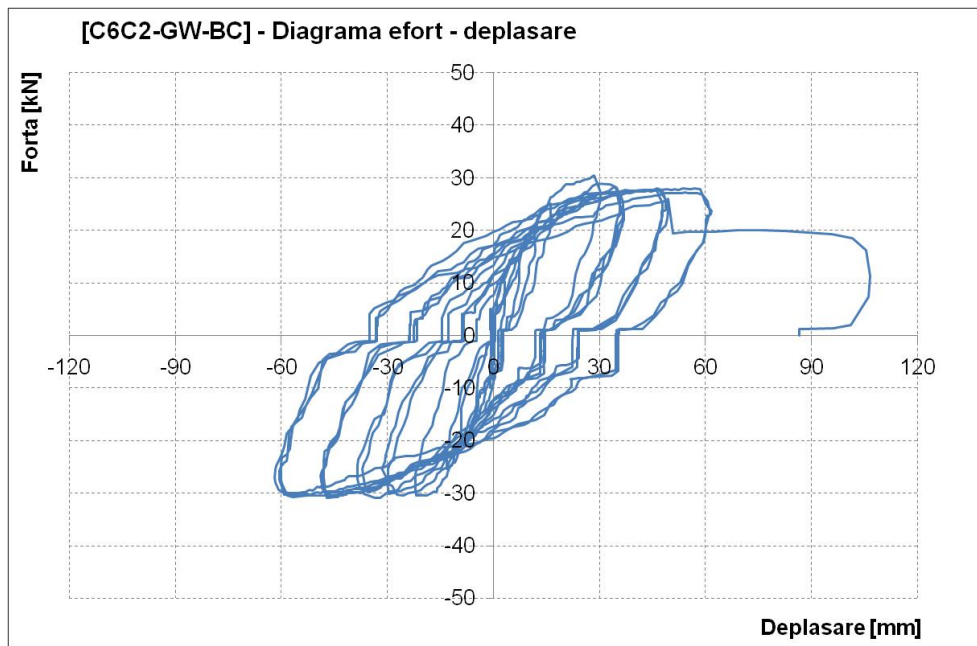


Figura 4.59. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C6C2-GW-BC

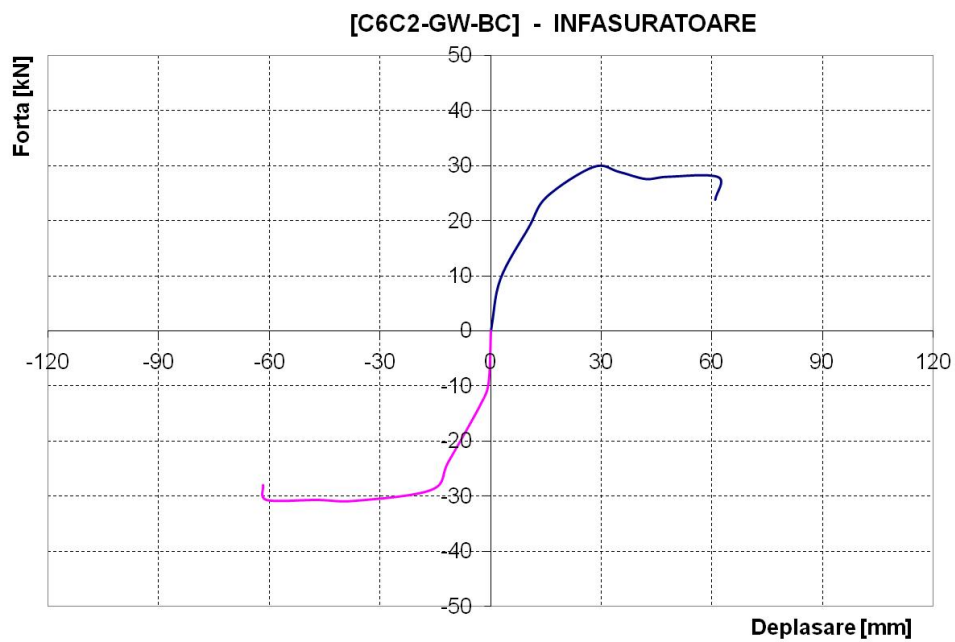


Figura 4.60. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C6C2-GW-BC



Figura 4.61. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C6C2-GW-BC



Figura 4.62. Inițierea formării articulației de alunecare la baza elementului pentru elementul C6C2-GW-BC



Figura 4.63. Formarea articulației de alunecare la bază și cedare armătură interioară pentru elementul C6C2-GW-BC ( $D1 = 60\text{mm}$ )

### 4.3.3. Elemente consolidate lateral, fără înfășurare

#### 4.3.3.1. Elementul C3M-BM-AF

Încercarea monotonă a fost făcută pe un specimen consolidat cu armături amplasate lateral în șlițuri.

Armăturile laterale folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip (raport volumetric 1:1). Barele au fost din oțel PC52 ( $f_{yk}=355\text{N/mm}^2$ ,  $f_{yu}=520\text{N/mm}^2$ ). La bază, ele au fost ancorate chimic, folosindu-se o rășină de ancoraj HILTI HIT-RE500. Conform fișei tehnice, ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Găurile de ancorare au fost executate înaintea testului (nu au fost prevăzute din turnare). Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.64.

Tabelul 4.10. Fișa testului C3M-BM-AF

1.	Denumire element	C3M-BM-AF
2.	Tip test	Monoton
3.	Consolidare laterală	2 bare PC52 pe latura întinsă
4.	Consolidare prin înfășurare	-
5.	Forța la curgere	30 kN

Tabelul 4.10. - Continuare

6.	Forța maximă	38.3 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	15.70 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	81 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	5.16 (81/15.70)
10.	Modul de cedare	desprinderea consolidării laterale
11.	Deformații specifice măsurate	2 timbre pe armaturile laterale suplimentare (G1, G2)

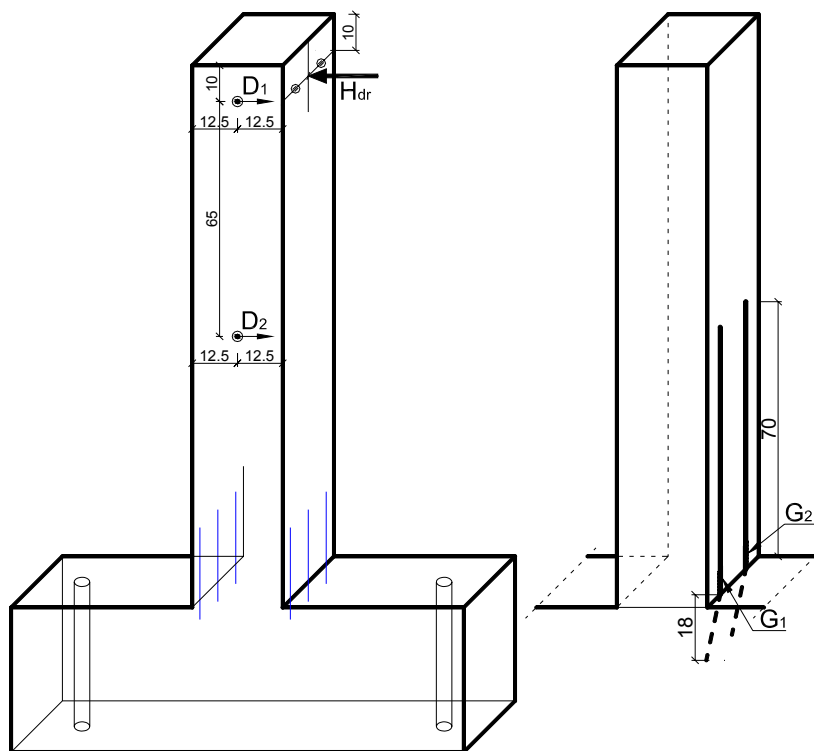


Figura 4.64. Echiparea și consolidarea elementului C3M-BM-AF

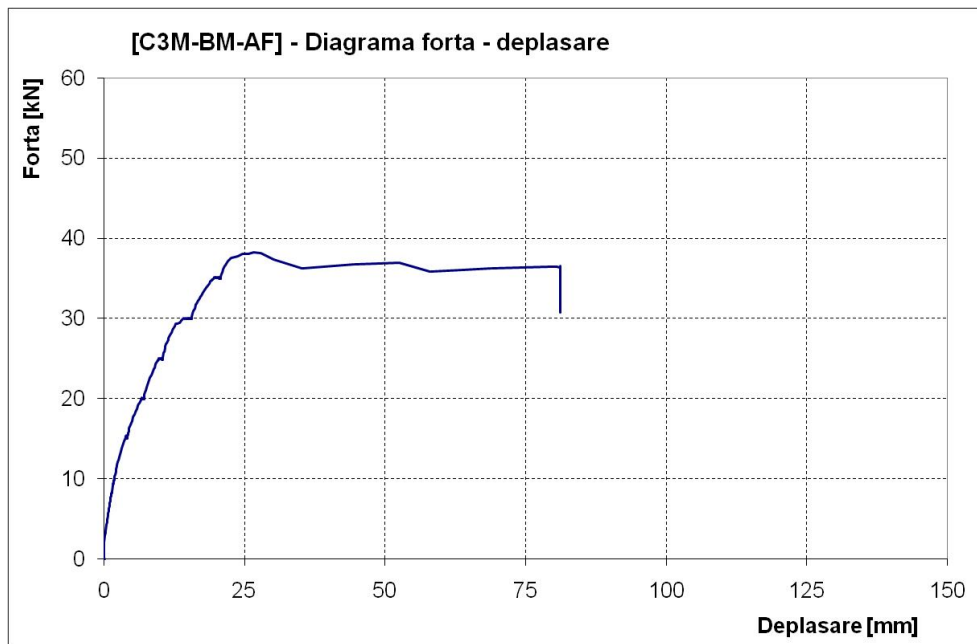


Figura 4.65. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C3M-BM-AF

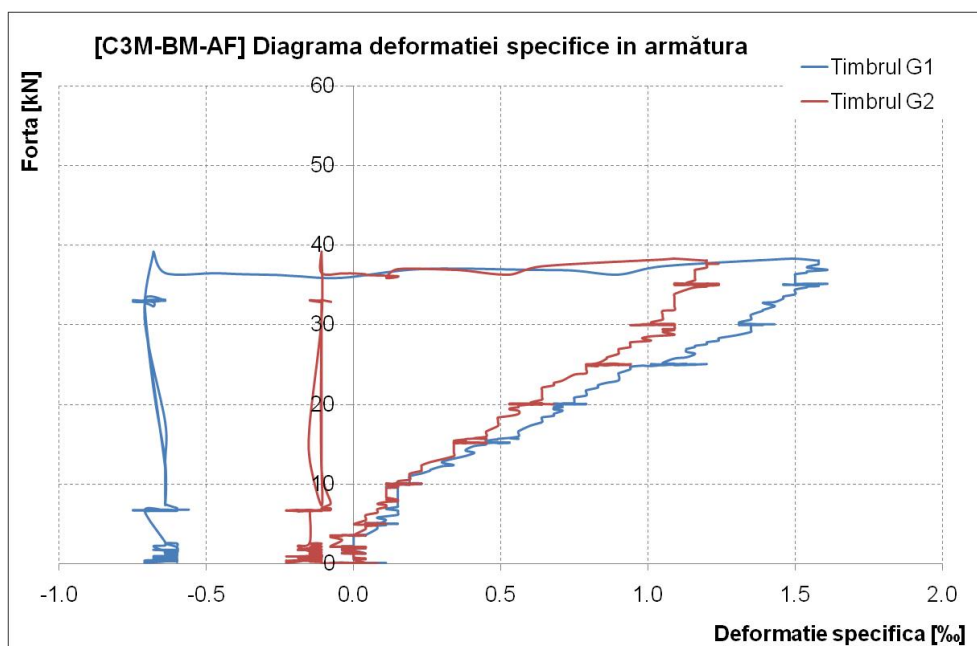


Figura 4.66. Diagrama forță – deformație specifică pentru elementul C3M-BM-AF



Figura 4.67. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C3M-BM-AF

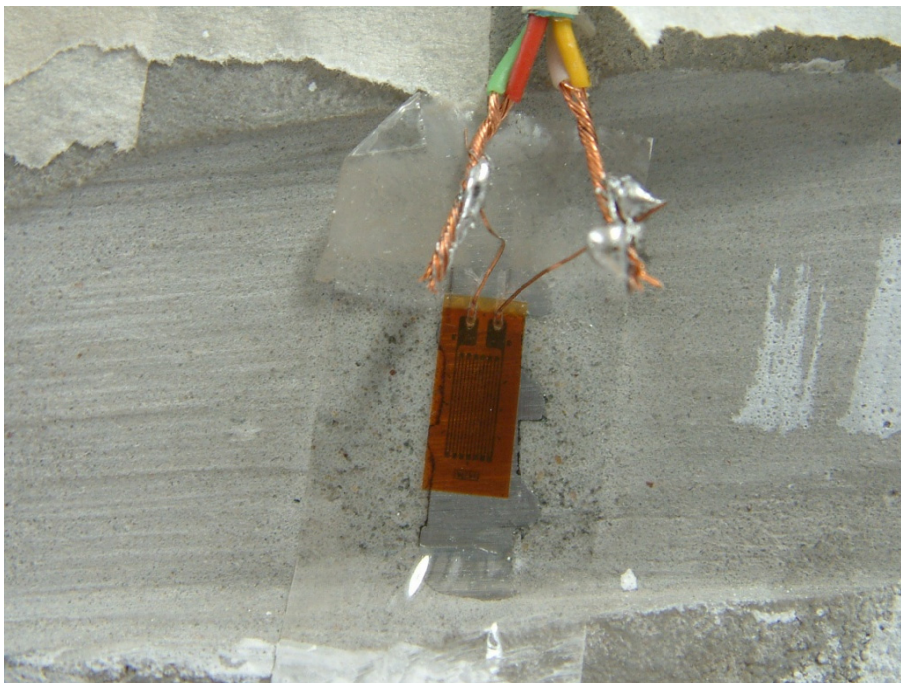


Figura 4.68. Detaliu lipire timbrul G2 pentru elementul C3M-BM-AF

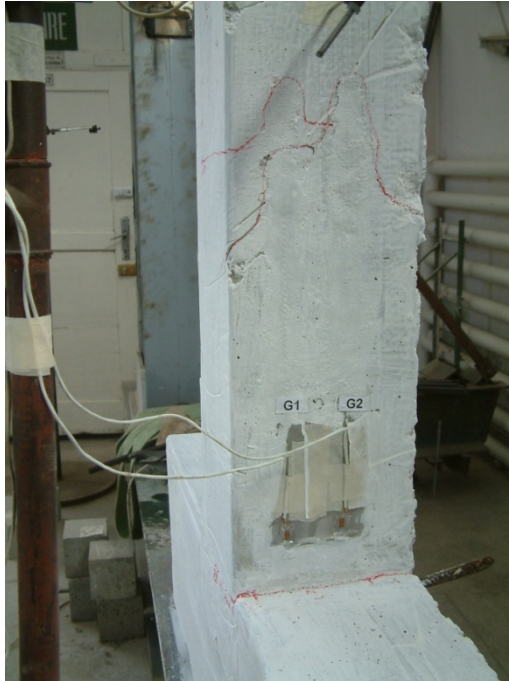


Figura 4.69. Inițierea cedării secțiunii la partea superioară a consolidării laterale pentru elementul C3M-BM-AF



Figura 4.70. Cedarea elementului C3M-BM-AF (38kN)



**4.3.3.2. Elementul C3C-BM-AF**

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat cu armături amplasate lateral în șlițuri (2 bare pe fiecare latură).

Armăturile laterale folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip (raport volumetric 1:1). Barele au fost din oțel PC52 ( $f_{yk}=355\text{N/mm}^2$ ,  $f_{yu}=520\text{N/mm}^2$ ). La bază, ele au fost ancorate chimic, folosindu-se o rășină de ancoraj HILTI HIT-RE500. Conform fișei tehnice, ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Găurile de ancorare au fost executate înaintea testului (nu au fost prevăzute din turnare). Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.71.

Tabelul 4.11. Fișa testului C3C-BM-AF

1.	Denumire element	C3C-BM-AF
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	2 bare PC52 pe fiecare latura
4.	Consolidare prin înfășurare	-
5.	Forța la curgere	30 kN
6.	Forța maximă	38.15 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	10.9 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	55 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	5.04 (55/10.9)
10.	Modul de cedare	desprinderea consolidării laterale
11.	Deformații specifice măsurate	---

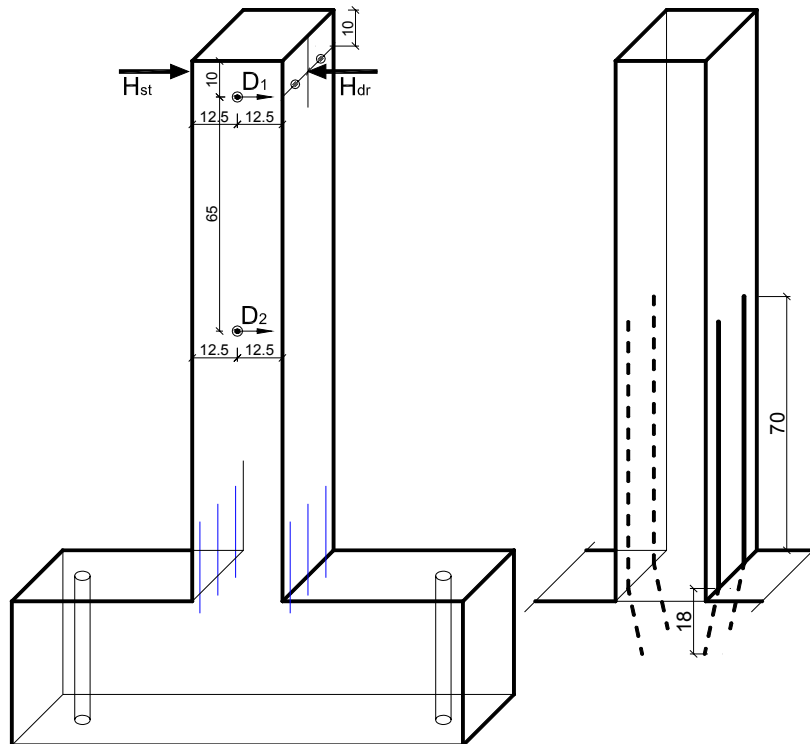


Figura 4.71. Echiparea și consolidarea elementului C3C-BM-AF

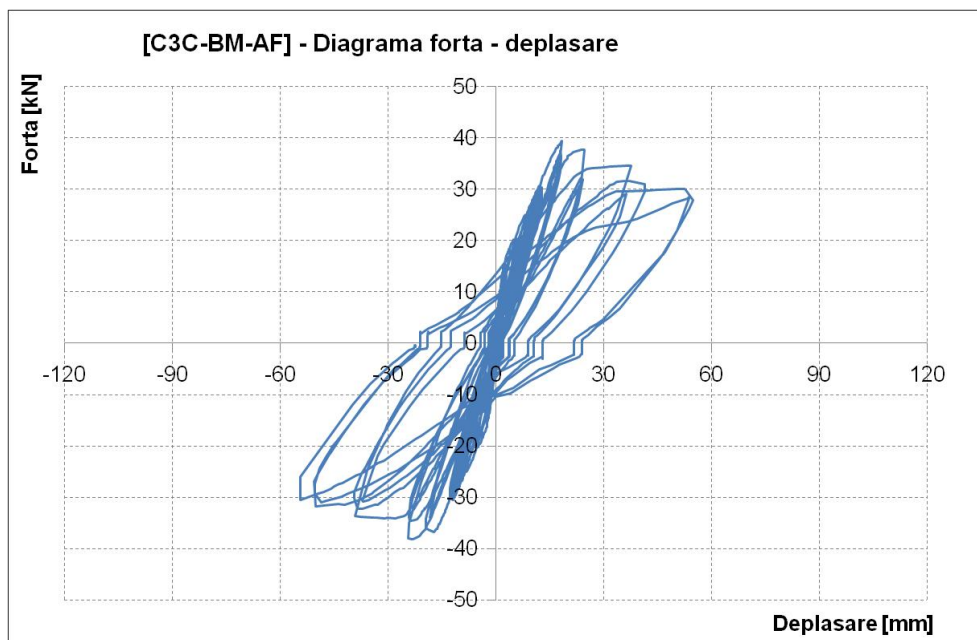


Figura 4.72. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C3C-BM-AF

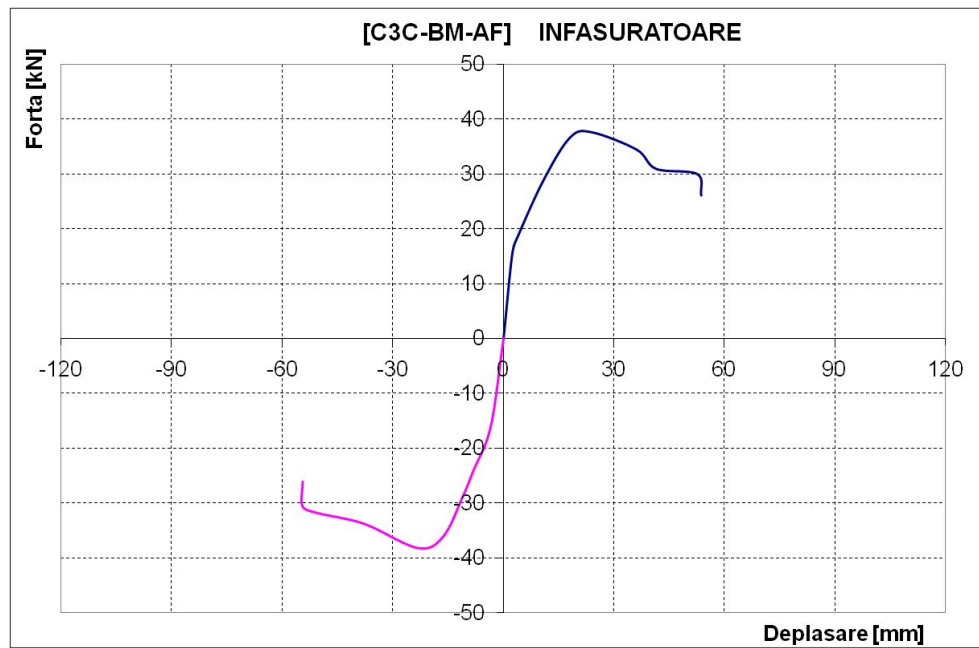


Figura 4.73. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C3C-BM-AF



Figura 4.74. Detaliu amplasare bare laterale pentru elementul C3C-BM-AF



Figura 4.75. Detaliu umplere șlițuri laterale pentru elementul C3C-BM-AF



Figura 4.76. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C3C-BM-AF

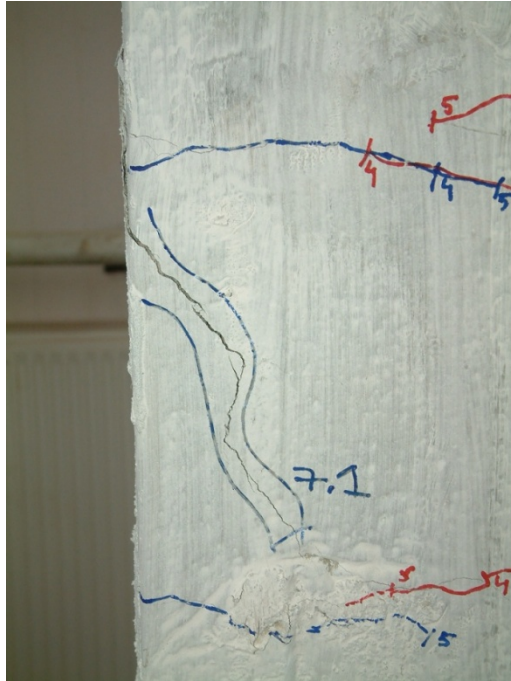


Figura 4.77. Inițierea cedării secțiunii la partea superioară a consolidării laterale pentru elementul C3C-BM-AF ( $D_1 = 18\text{mm}$ )



Figura 4.78. Cedarea elementului C3M-BM-AF



Figura 4.79. Detaliu cedare pentru elementul C3M-BM-AF ( $D1 = 24\text{mm}$ )

#### 4.3.3.3. Elementul C8C1-CSS-AF

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat cu 2 mănunchiuri de țesătură de fibră de carbon, amplasate lateral în șlițuri, pe ambele fețe ale elementului. Fibra de carbon folosită a fost tip SikaWrap230C, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Mănunchiurile folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip. Ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.80.

Tabelul 4.12. Fișa testului C8C1-CSS-AF

1.	Denumire element	C8C1-CSS-AF
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	2 mănunchiuri pe fiecare latură
4.	Consolidare prin înfășurare	Nu a fost aplicată
5.	Forța la curgere	34.6 kN
6.	Forța maximă	37.25 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	20.76 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	76.16 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.66 (76.16/20.76)
10.	Modul de cedare	Cedare consolidare laterală în compresiune și formarea articulației plastice

Tabelul 4.12 - Continuare

11.	Deformații specifice măsurate	Câte un timbru pe fiecare latură, pe armătura mediană interioară (G1, G2).
-----	-------------------------------	--

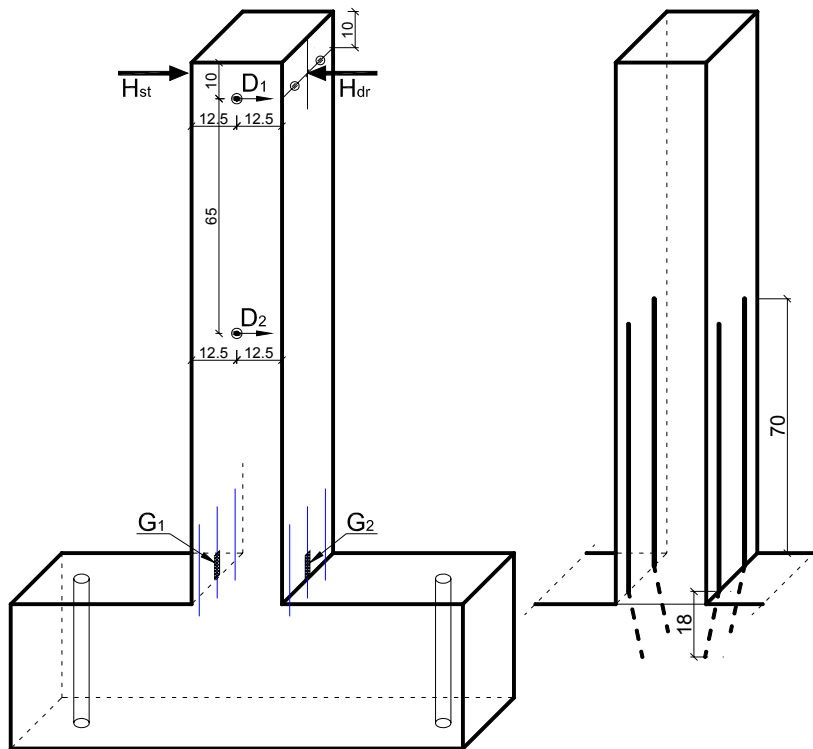


Figura 4.80. Echiparea și consolidarea elementului C8C1-CSS-AF

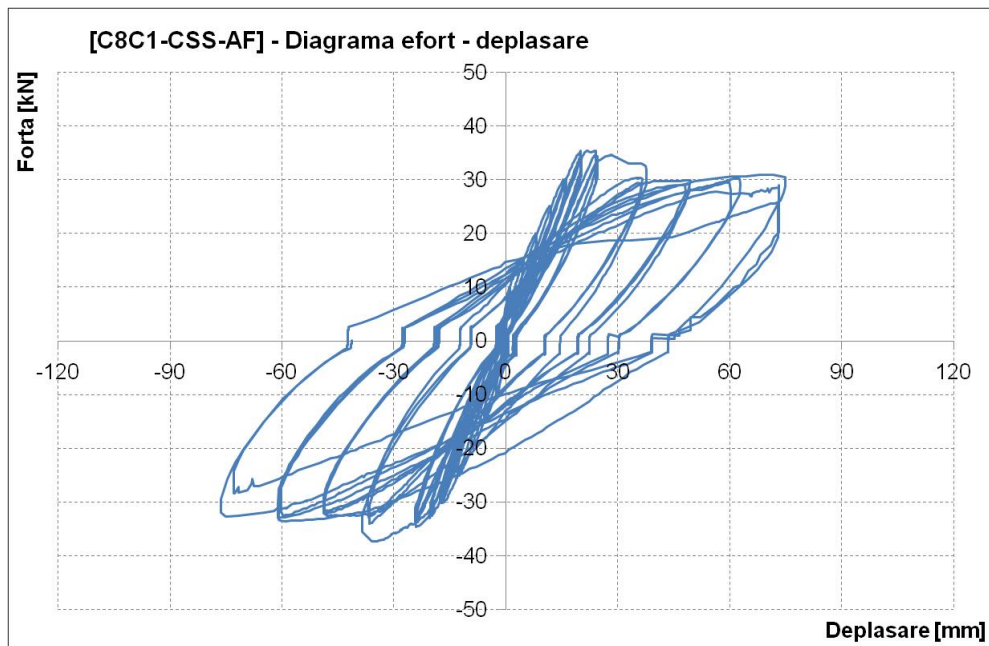


Figura 4.81. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C8C1-CSS-AF

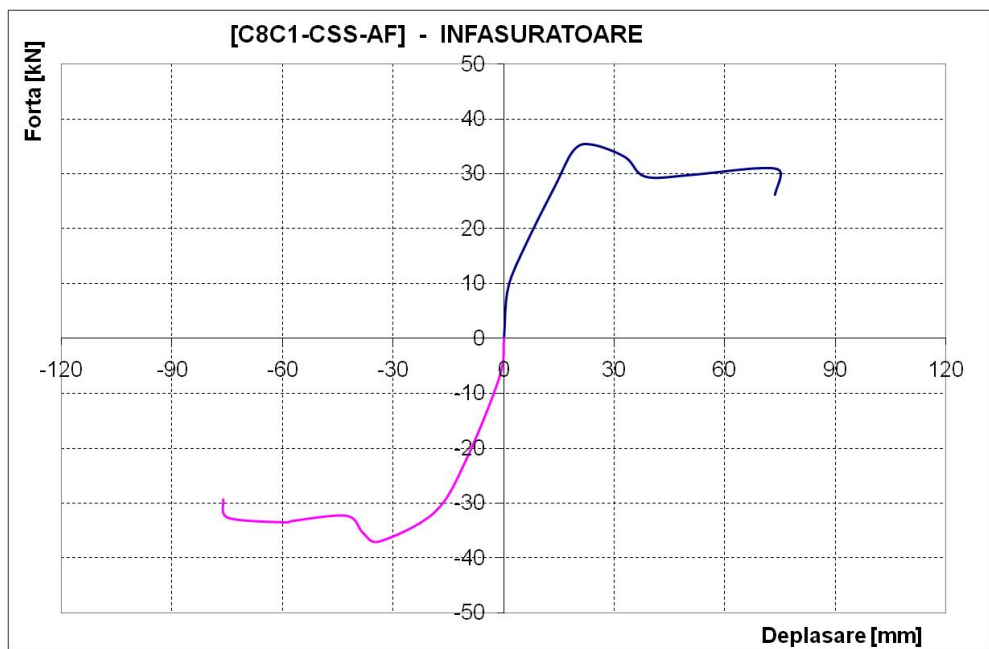


Figura 4.82. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C8C1-CSS-AF



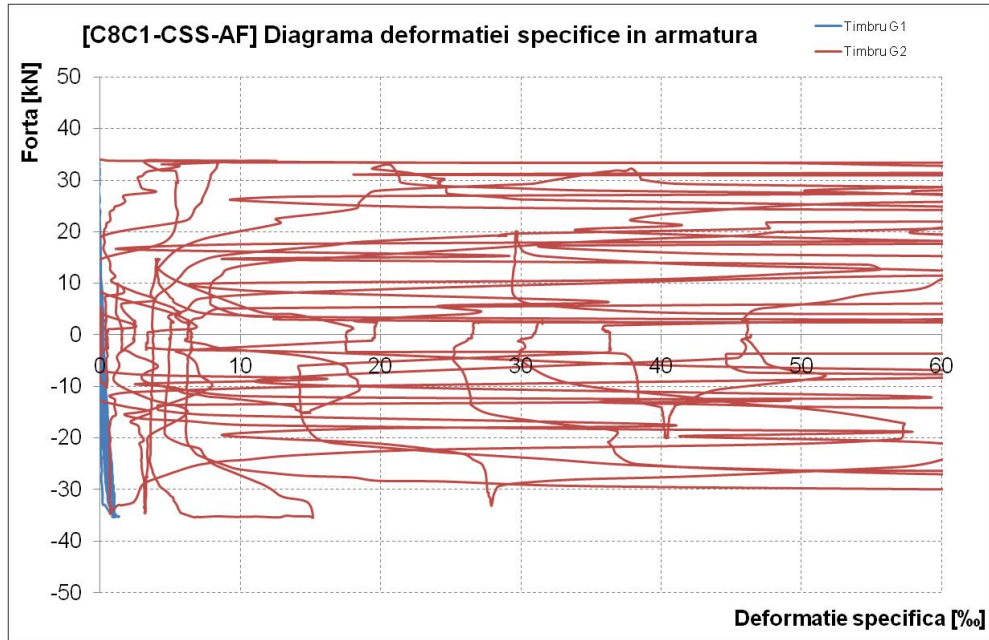


Figura 4.83. Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C8C1-CSS-AF



Figura 4.84. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C8C1-CSS-AF



Figura 4.85. Fază inițială desprindere consolidare laterală (în compresiune) pentru elementul C8C1-CSS-AF



Figura 4.86. Fază inițială cedare consolidare laterală (în întindere) pentru elementul C8C1-CSS-AF (D1 = 36mm)



Figura 4.87. Ruperea fibrei de carbon comprimate pentru elementul C8C1-CSS-AF(D1 = 36mm)



Figura 4.88. Ruperea fibrei de carbon în întindere pentru elementul C8C1-CSS-AF(D1 = 36mm)



Figura 4.89. Zdrobirea betonului comprimat pentru elementul C8C1-CSS-AF(D1 = 36mm)

#### 4.3.3.4. Elementul C8C2-CSS-AF

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat cu 2 mănunchiuri de țesătură de fibră de carbon, amplasate lateral în șlițuri, pe ambele fețe ale elementului. Fibra de carbon folosită a fost tip SikaWrap230C, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Mănunchiurile folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip. Ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.90.

Tabelul 4.13. Fișa testului C8C2-CSS-AF

1.	Denumire element	C8C2-CSS-AF
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	2 mănunchiuri pe fiecare latură
4.	Consolidare prin înfășurare	Nu a fost aplicată
5.	Forța la curgere	33.7 kN
6.	Forța maximă	34.65 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	20.54 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	72.26 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.52 (72.26/20.54)
10.	Modul de cedare	Cedare consolidare laterală și formarea articulației plastice

Tabelul 4.13. - Continuare

11.	Deformații specifice măsurate	--- (G1, G2).
-----	-------------------------------	---------------

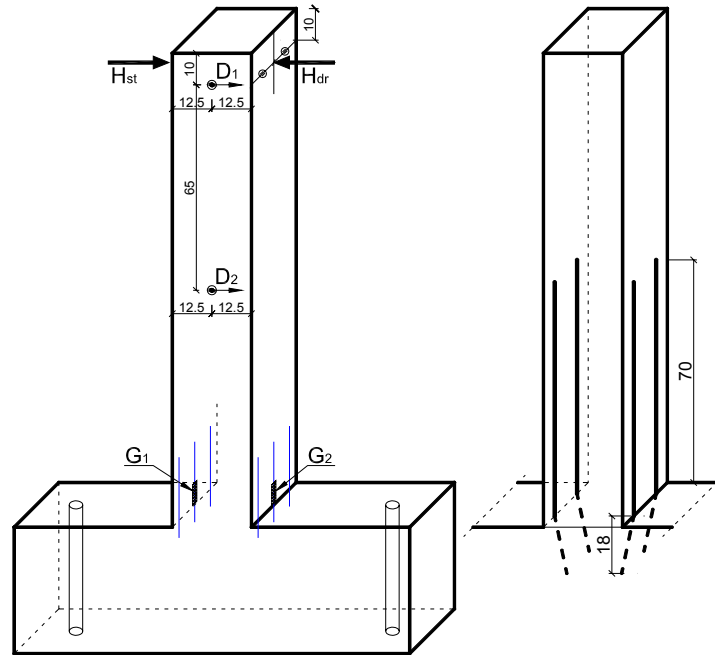


Figura 4.90. Echiparea și consolidarea elementului C8C2-CSS-AF

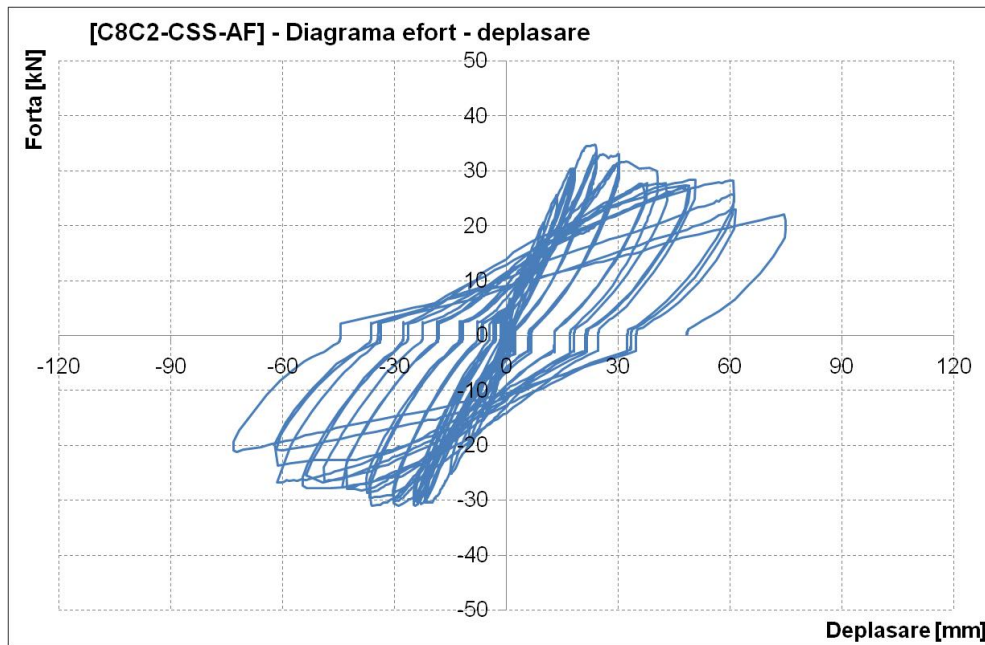


Figura 4.91. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C8C2-CSS-AF

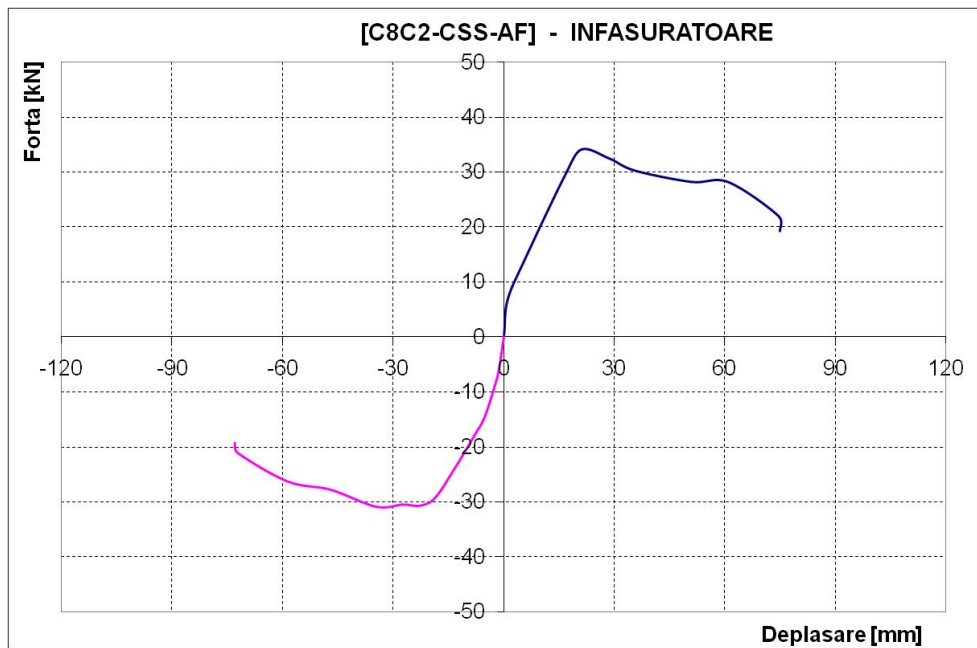


Figura 4.92. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C8C2-CSS-AF



Figura 4.93 Vedere generală a standului experimental pentru elementul C8C2-CSS-AF



Figura 4.94. Fază inițială desprindere consolidare laterală pentru elementul C8C2-CSS-AF (30kN)



Figura 4.95. Fază inițială cedare consolidare laterală (în întindere) pentru elementul C8C2-CSS-AF



Figura 4.96. Ruperea fibrei de carbon întinse pentru elementul C8C2-CSS-AF



Figura 4.97. Ruperea fibrei de carbon în întindere pentru elementul C8C2-CSS-AF





Figura 4.98. Zdrobirea betonului comprimat pentru elementul C8C2-CSS-AF ( $D1 = 60\text{mm}$ )

#### 4.3.4. Elemente consolidate lateral și prin înfășurare

##### 4.3.4.1. Elementul C3M-BM+GW

Încercarea monotonă a fost făcută pe un specimen consolidat prin înfășurare la bază și armături amplasate lateral în șlițuri.

Fibra de sticlă folosită pentru înfășurare a fost tip SikaWrap430G, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de sticlă. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură.

Armăturile laterale folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip (raport volumetric 1:1). Barele au fost din oțel PC52 ( $f_{yk}=355\text{N/mm}^2$ ,  $f_{yu}=520\text{N/mm}^2$ ). La bază, ele au fost ancorate chimic, folosindu-se o rășină de ancoraj HILTI HIT-RE500. Conform fișei tehnice, ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Găurile de ancorare au fost executate înaintea testului (nu au fost prevăzute din turnare). Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.99.

Tabel 4.14. Fișa testului C3M-BM+CW

1.	Denumire element	C3M-BM+GW
2.	Tip test	Monoton
3.	Consolidare laterală	2 bare PC52 pe latura întinsă
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de sticlă SikaWrap 430G.
5.	Forța la curgere	28.55 kN
6.	Forța maximă	51.05 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	18.92 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	91.56 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_A$	4.84 (91.56/18.92)
10.	Modul de cedare	degradare secțiune la capătul superior al consolidării laterale și cedare ancoraj chimic
11.	Deformații specifice măsurate	---

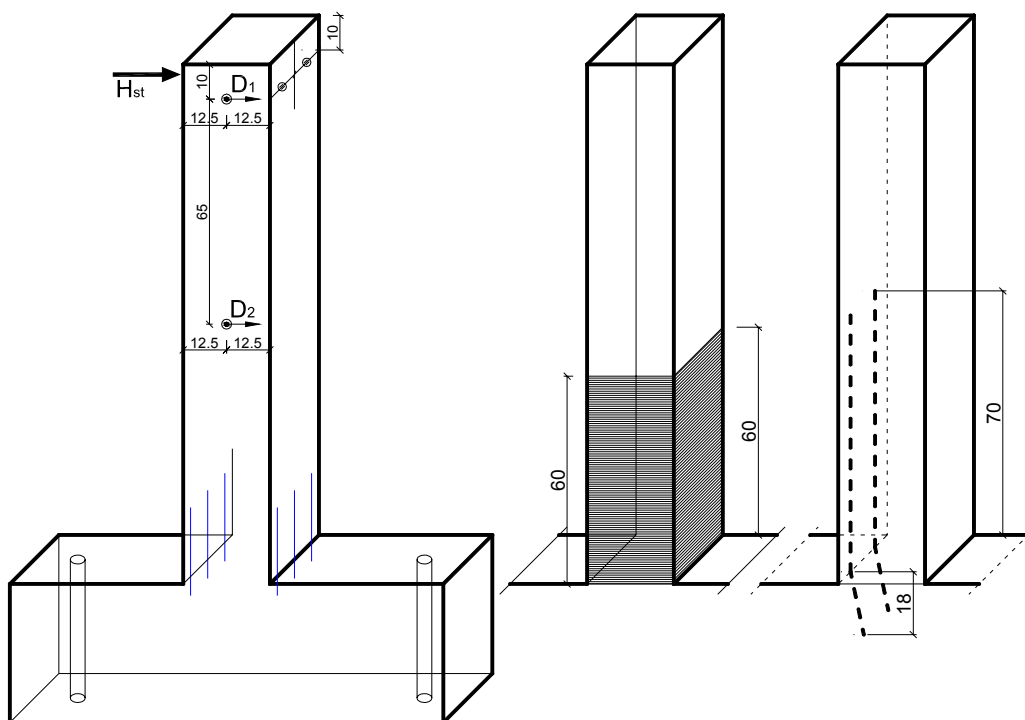


Figura 4.99. Echiparea și consolidarea elementului C3M-BM+GW

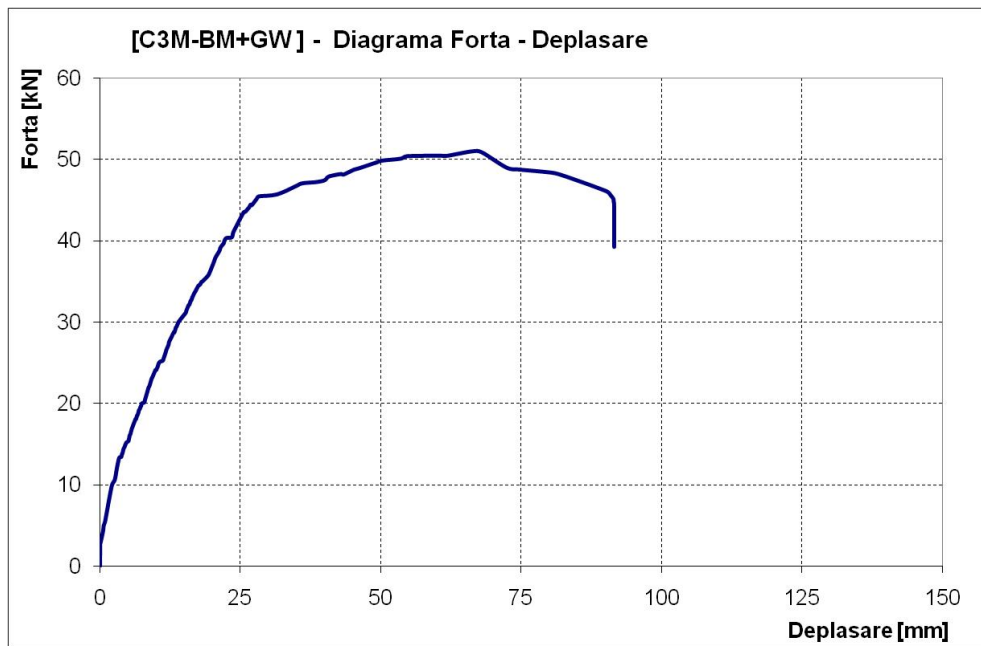


Figura 4.100. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C3M-BM+GW



Figura 4.101. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C3M-BM+GW

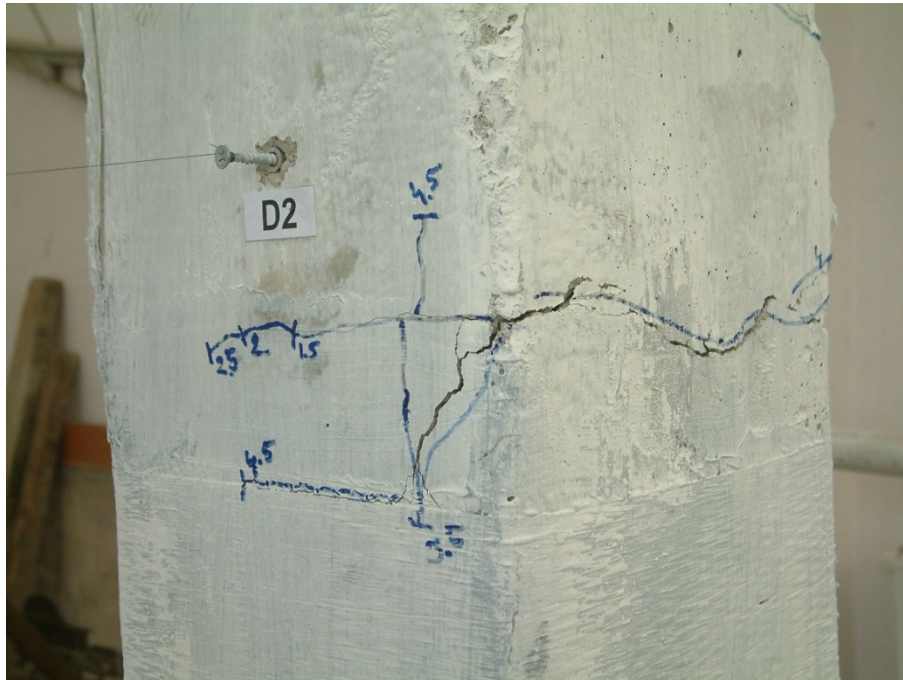


Figura 4.102. Inițierea cedării secțiunii la partea superioară a consolidării laterale pentru elementul C3M-BM+GW



Figura 4.103. Starea la cedare a elementului C3M-BM+GW



Figura 4.104. Cedarea prin smulgerea ancorajului chimic al barelor laterale pentru elementul C3M-BM+GW (55kN)

#### 4.3.4.2. Elementul C4M-BM+CW

Încercarea monotonă a fost făcută pe un specimen consolidat cu 2 armături amplasate lateral în șlițuri și cu o țesătură de carbon, pentru înfășurarea bazei. Fibră de carbon folosită a fost tip SikaWrap230C, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de carbon. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Armăturile laterale folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip (raport volumetric 1:1). Barele au fost din oțel PC52 ( $f_{yk}=355\text{N/mm}^2$ ,  $f_{yu}=520\text{N/mm}^2$ ). La bază, ele au fost ancorate cu o rășină de ancoraj HILTI HIT-RE500. Ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.105.

Tabelul 4.15. Fișa testului C4M-BM+CW

1.	Denumire element	C4M-BM+CW
2.	Tip test	Monoton
3.	Consolidare laterală	2 bare PC52 pe latura întinsă
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de carbon SikaWrap 230C.
5.	Forța la curgere	44.75 kN
6.	Forța maximă	38.15 kN

Tabelul 4.15. - Continuare

7.	Deplasarea la curgere [D1]	10.9 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	55 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	5.04 (55/10.9)
10.	Modul de cedare	cedarea ancorajului consolidării laterale verticale
11.	Deformații specifice măsurate	Două timbre pe armăturile laterale suplimentare (G1, G2)

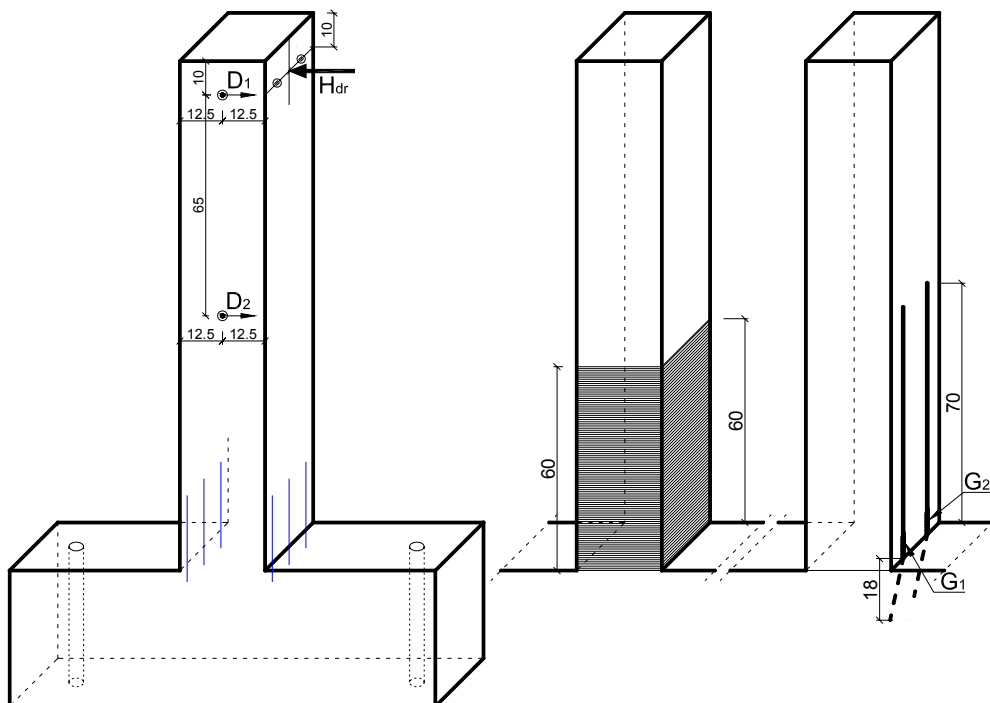


Figura 4.105. Echiparea și consolidarea elementului C4M-BM+CW

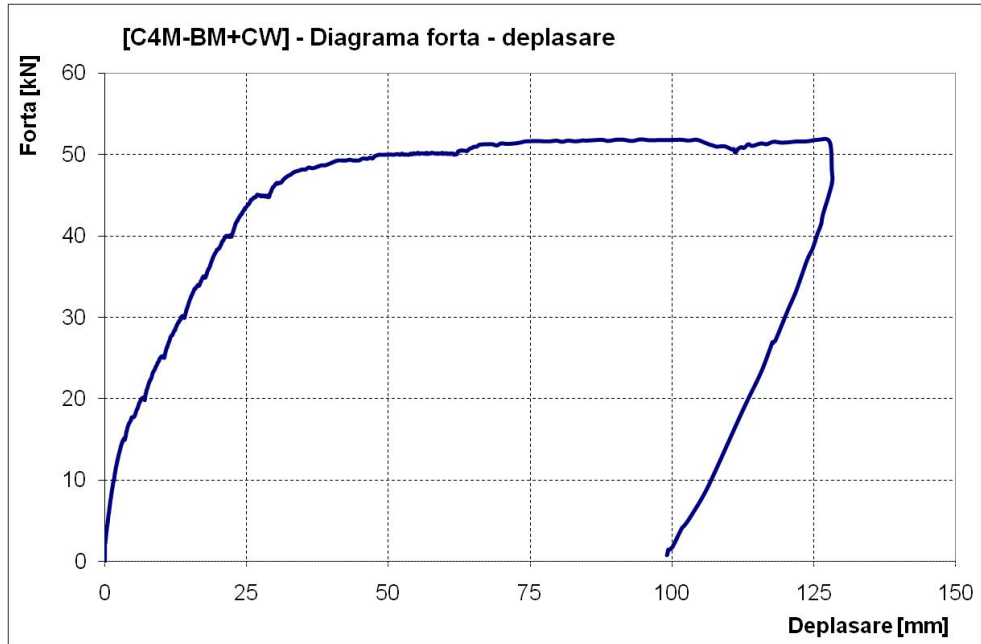


Figura 4.106. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C4M-BM+CW

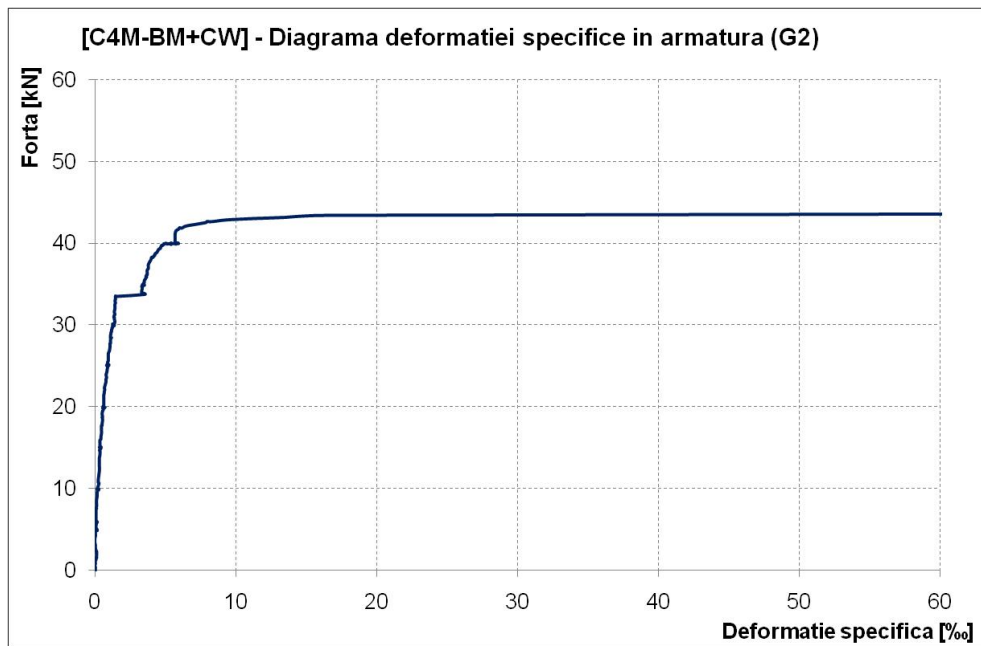


Figura 4.107. Diagrama eforturi unitare în armătură pentru elementul C4M-BM+CW



Figura 4.108. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C4M-BM+CW



Figura 4.109. Inițierea cedării secțiunii la baza consolidării elementului C4M-BM+CW





Figura 4.110. Inițierea cedării secțiunii la partea superioară a consolidării laterale pentru elementul C4M-BM+CW

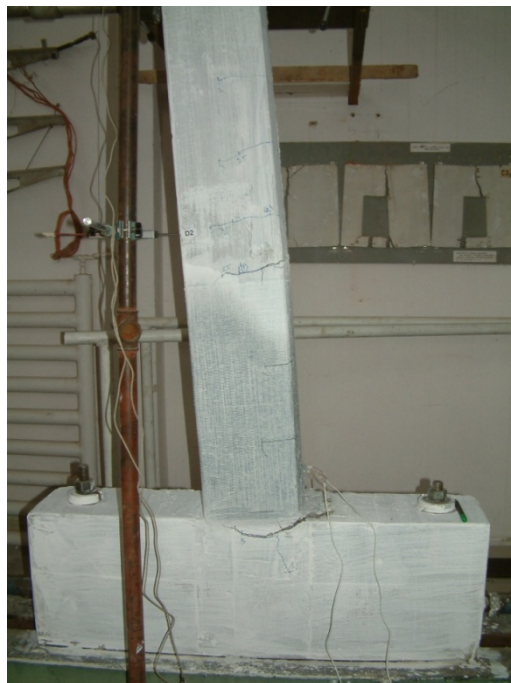


Figura 4.111. Cedarea elementului C4M-BM+CW (50kN)



Figura 4.112. Detaliu cedare pentru elementul C4M-BM+CW (50kN)

#### 4.3.4.3. Elementul C4C-BM+CW

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat cu 2 armături amplasate lateral în șlițuri și cu o țesătură de carbon, pentru înfășurarea bazei. Fibra de carbon folosită a fost tip SikaWrap230C, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de carbon. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Armăturile laterale folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip (raport volumetric 1:1). Barele au fost din oțel PC52 ( $f_{yk}=355\text{N/mm}^2$ ,  $f_{yu}=520\text{N/mm}^2$ ). La bază, ele au fost ancorate cu o rășină de ancoraj HILTI HIT-RE500. Ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.113.

Tabelul 4.16. Fișa testului C4C-BM+CW

1.	Denumire element	C4C-BM+CW
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	2 bare PC52 pe fiecare latură
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de carbon SikaWrap 230C.
5.	Forța la curgere	40 kN
6.	Forța maximă	48.65 kN

Tabelul 4.16. - Continuare

7.	Deplasarea la curgere [D1]	18.63 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	57.18 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.07 (57.18/18.63)
10.	Modul de cedare	formare articulație plastică la baza elementului
11.	Deformații specifice măsurate	Țimbre armături exterioare (3 țimbre).

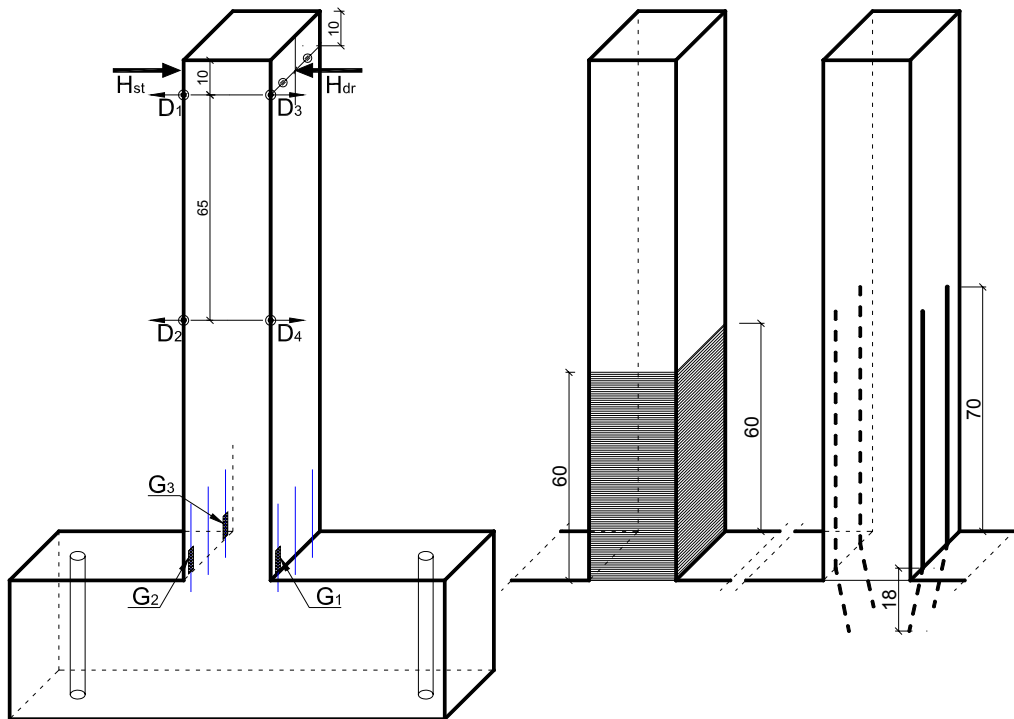


Figura 4.113. Echiparea și consolidarea elementului C4C-BM+CW

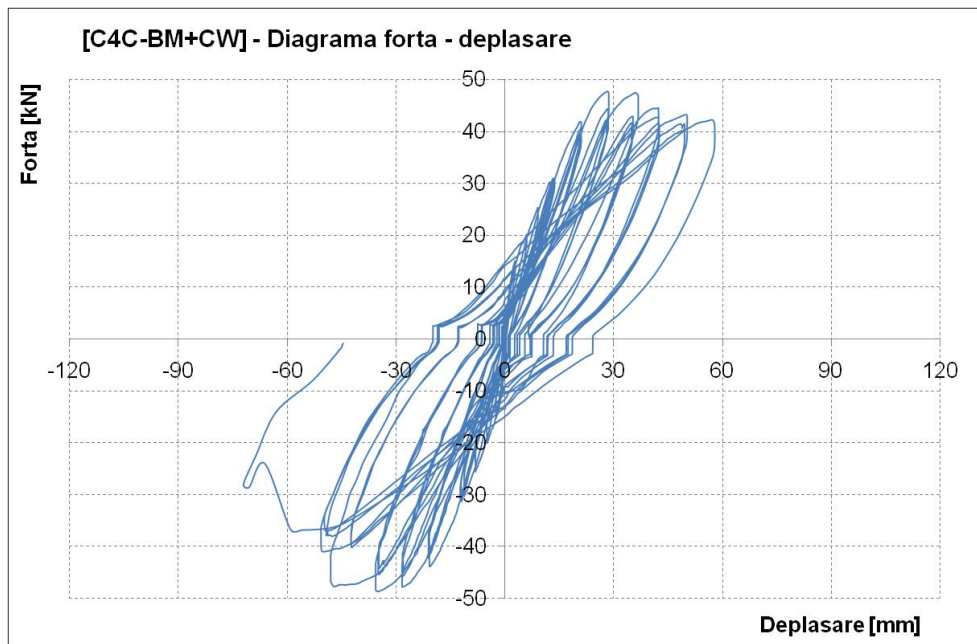


Figura 4.114. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C4C-BM+CW

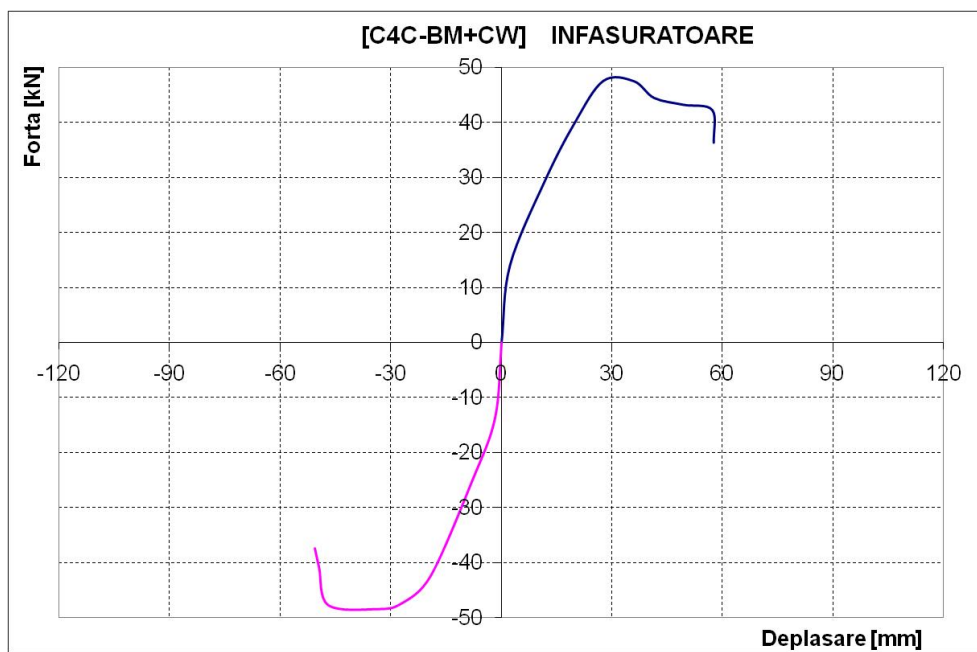


Figura 4.115. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C4C-BM+CW

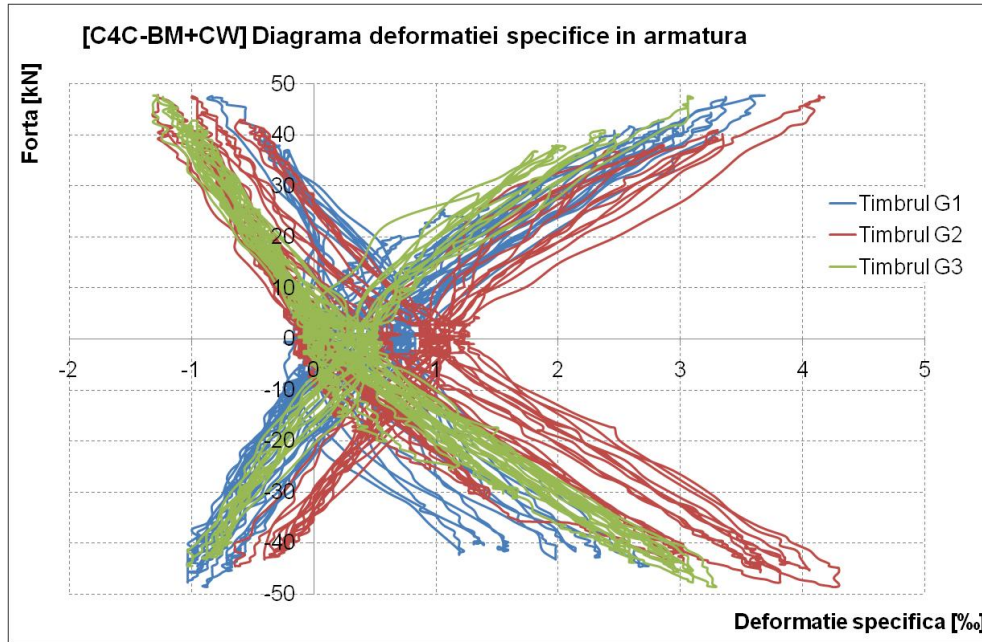


Figura 4.116. Diagrama forță - deformație specifică armătură pentru elementul C4C-BM+CW



Figura 4.117. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C4C-BM+CW



Figura 4.118. Apariția fisurilor la partea superioară a înfășurării pentru elementul C4C-BM+CW



Figura 4.119. Fisurarea bazei elementului C4C-BM+CW



Figura 4.120. Formarea articulației la baza elementului C4C-BM+CW



Figura 4.121. Detaliu după decopertare pentru elementul C4C-BM+CW

#### 4.3.4.4. Elementul C7C1-BM+GW

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat cu 2 armături amplasate lateral în șlițuri și cu o țesătură de carbon, pentru înfășurarea bazei. Fibra de sticlă folosită a fost tip SikaWrap430G, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de carbon. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Armăturile laterale folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip (raport volumetric 1:1). Barele au fost din oțel PC52 ( $f_{yk}=355\text{N/mm}^2$ ,  $f_{yu}=520\text{N/mm}^2$ ). La bază, ele au fost ancorate cu o rășină de ancoraj HILTI HIT-RE500. Ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.122.

Tabelul 4.17. Fișa testului C7C1-BM+GW

1.	Denumire element	C7C1-BM+GW
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	2 bare PC52 pe fiecare latură
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de sticlă SikaWrap 430G.
5.	Forța la curgere	46.9 kN
6.	Forța maximă	48.2 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	21.12 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	105.7 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	5.00 (105.7/21.12)
10.	Modul de cedare	formare articulație plastică la baza elementului, însoțită de ruperea fibrei de înfășurare
11.	Deformații specifice măsurate	Nu au fost înregistrări



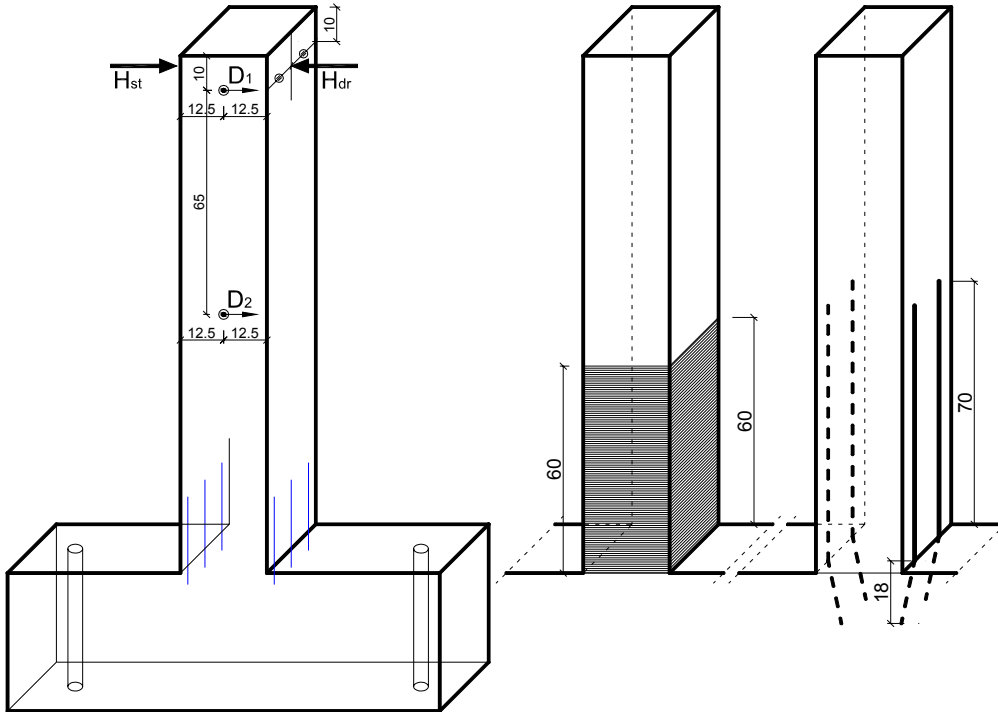


Figura 4.122. Echiparea și consolidarea elementului C7C1-BM+GW

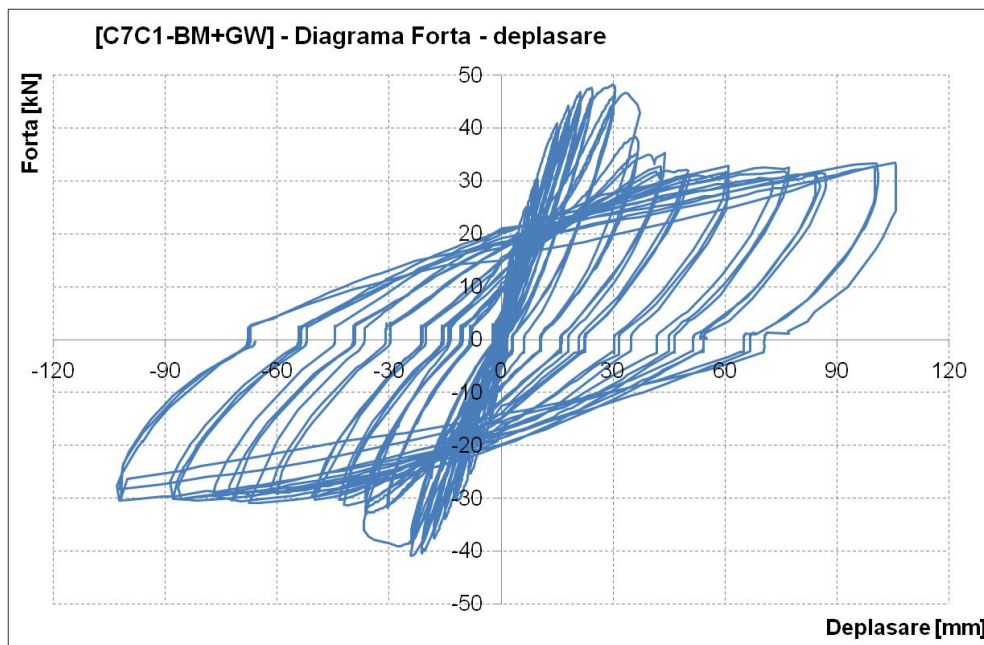


Figura 4.123. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C7C1-BM+GW

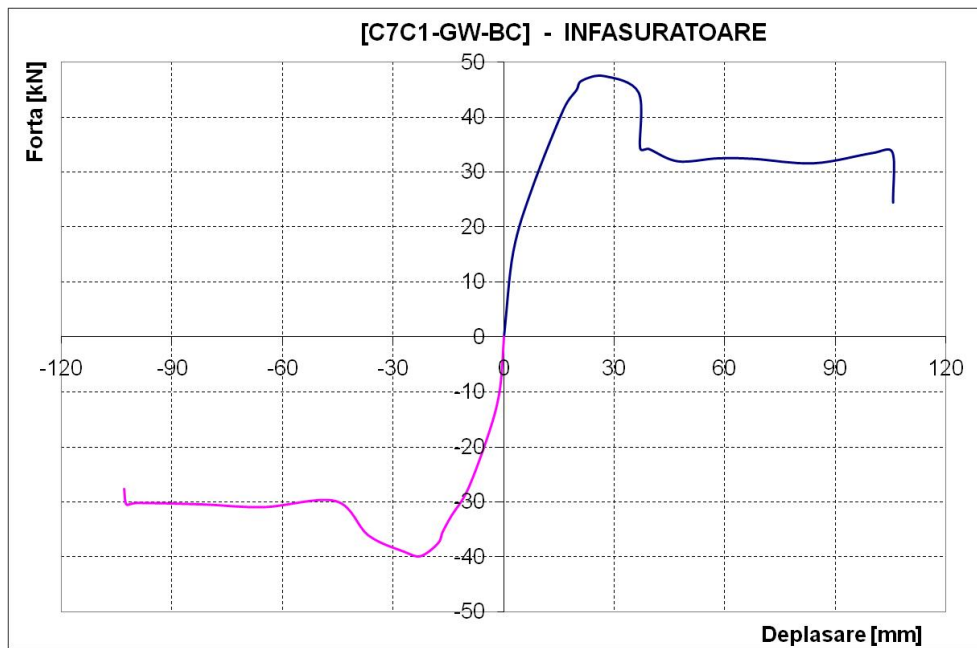


Figura 4.124. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C7C1-BM+GW



Figura 4.125. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C7C1-BM+GW



Figura 4.126. Inițiere cedare secțiune la partea superioară a consolidării pentru elementul C7C1-BM+GW ( $D1 = 18\text{mm}$ )



Figura 4.127. Inițierea degradării fibrei de înfășurare pentru elementul C7C1-BM+GW

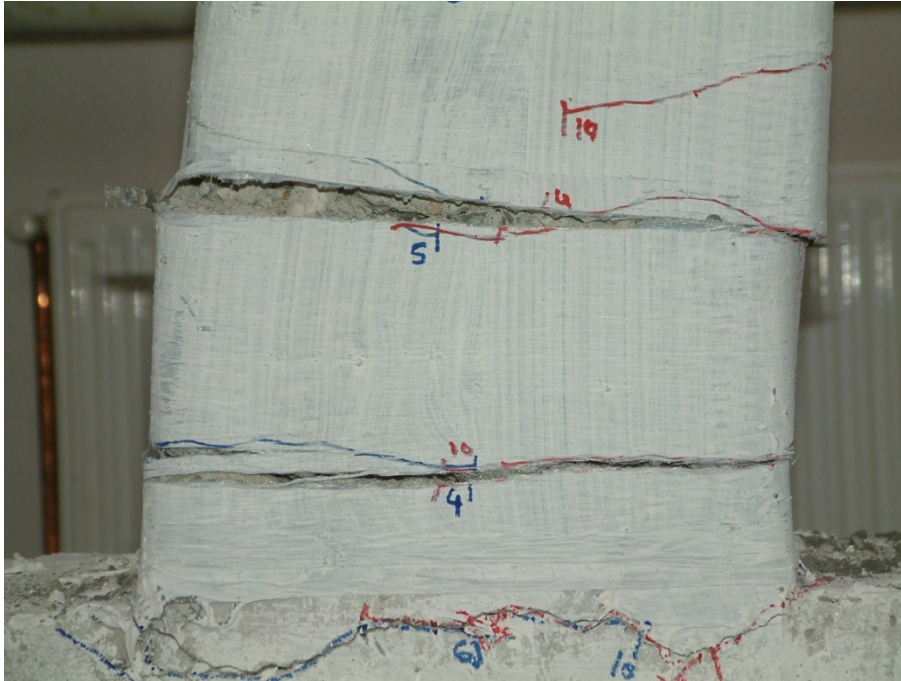


Figura 4.128. Cedarea prin deformarea secțiunii elementului C7C1-BM+GW ( $D_1 = 96\text{mm}$ )



Figura 4.129. Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C7C1-BM+GW



Figura 4.130. Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C7C1-BM+GW

#### 4.3.4.5. Elementul C7C2-BM+GW

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat cu 2 armături amplasate lateral în șlițuri și cu o țesătură de carbon, pentru înfășurarea bazei. Fibra de sticlă folosită a fost tip SikaWrap430G, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de carbon. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Armăturile laterale folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu un mortar de reparație SikaRepair. Barele au fost din oțel PC52 ( $f_{yk}=355\text{N/mm}^2$ ,  $f_{yu}=520\text{N/mm}^2$ ). La bază, ele au fost ancorate cu o rășină de ancoraj HILTI HIT-RE500. Ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.131.

Tabelul 4.18. Fișa testului C7C2-BM+GW

1.	Denumire element	C7C2-BM+GW
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	2 bare PC52 pe fiecare latură
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de sticlă SikaWrap 430G.
5.	Forța la curgere	35.85 kN
6.	Forța maximă	39.75 kN

Tabelul 4.18. - Continuare

7.	Deplasarea la curgere [D1]	19.5 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	86.78 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	4.45 (86.78/19.5)
10.	Modul de cedare	formare articulație plastică la baza elementului, însoțită de ruperea fibrei de înfășurare
11.	Deformații specifice măsurate	Câte un timbru pe fiecare latură, pe armătura interioară mediană (G1, G2)

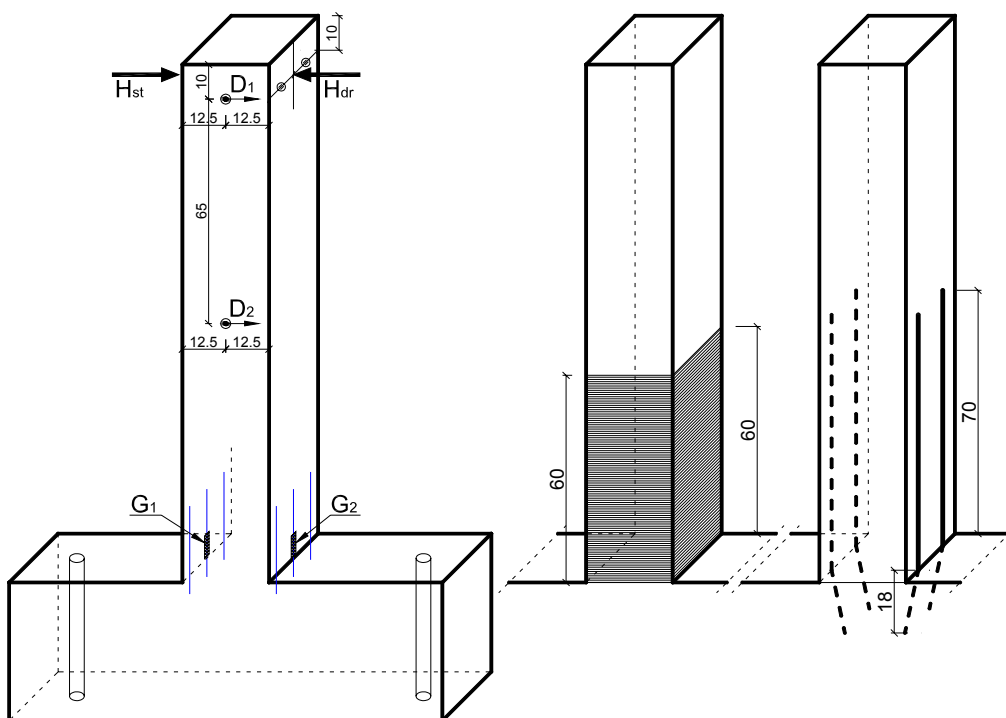


Figura 4.131. Echiparea și consolidarea elementului C7C2-BM+GW

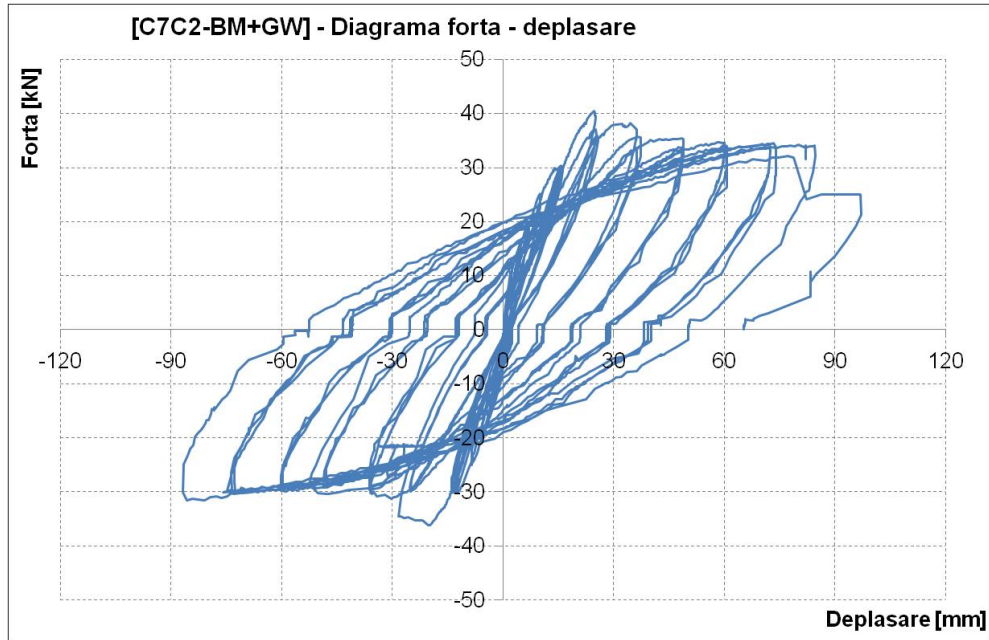


Figura 4.132. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C7C2-BM+GW

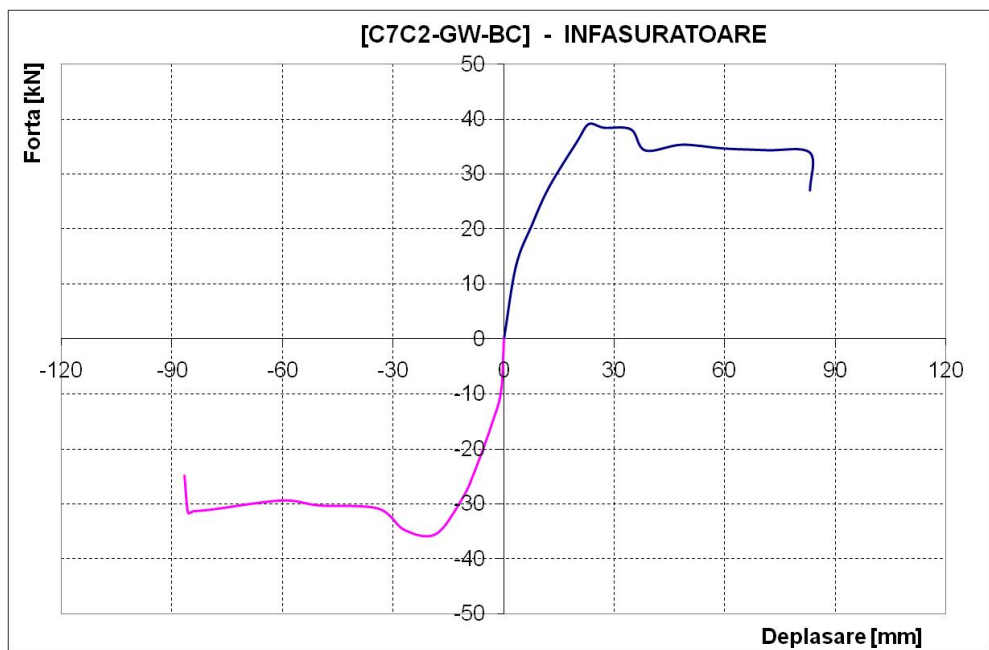


Figura 4.133. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C7C2-BM+GW

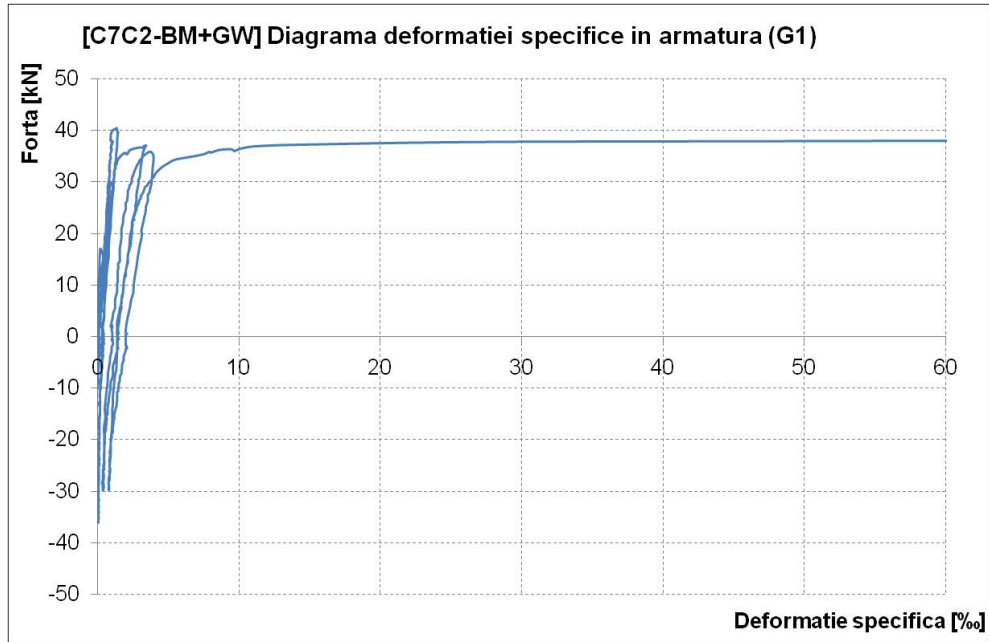


Figura 4.134. Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C7C2-BM+GW



Figura 4.135. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C7C2-BM+GW





Figura 4.136. Rupere țesătură pe direcția perpendiculară pe direcția fibrelor pentru elementul C7C2-BM+GW



Figura 4.137. Alunecare sistem de consolidare laterală pentru elementul C7C2-BM+GW ( $D_1 = 72\text{mm}$ )



Figura 4.138. Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C7C2-BM+GW (D1 = 84mm)



Figura 4.139. Ruperea fibrei de înfășurare pentru elementul C7C2-BM+GW (D1 = 84mm)

#### 4.3.4.6. Elementul C9C1-CSS+GW

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat cu 2 mănunchiuri de țesătură de fibră de carbon, amplasate lateral în șlițuri, pe ambele fețe ale elementului și prin înfășurarea bazei cu fibră de sticlă. Fibra de carbon folosită a fost tip SikaWrap230C, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Mănunchiurile folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip. Ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Fibra de sticlă folosită pentru înfășurare a fost tip SikaWrap430G, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de sticlă. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.140.

Tabelul 4.19. Fișa testului C9C1-CSS+GW

1.	Denumire element	C9C1-CSS+GW
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	2 mănunchiuri pe fiecare latură
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de sticlă SikaWrap 430G.
5.	Forța la curgere	41.7 kN
6.	Forța maximă	42.65 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	22.48 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	76.64 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.41 (76.64/22.48)
10.	Modul de cedare	Cedare consolidare laterală
11.	Deformații specifice măsurate	Câte un timbru pe fiecare latură, pe armătura interioară mediană (G1, G2)

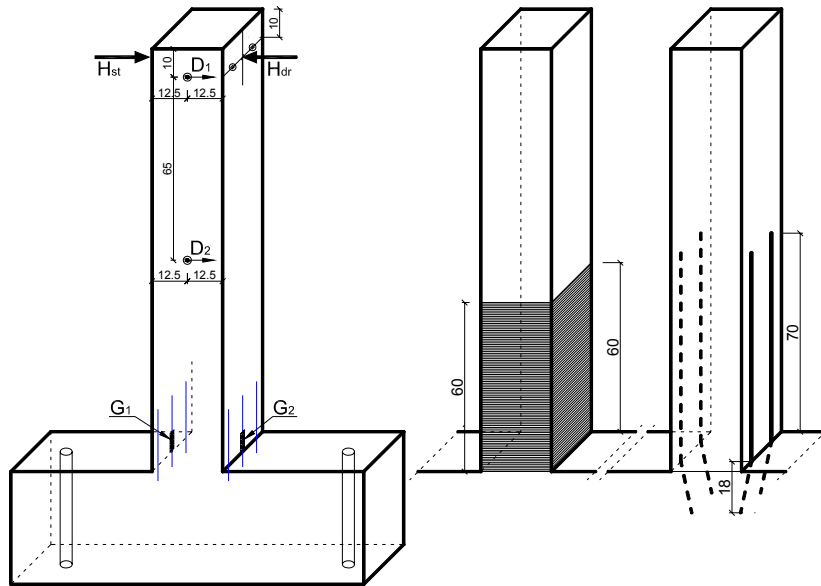


Figura 4.140. Echiparea și consolidarea elementului C9C1-CSS+GW

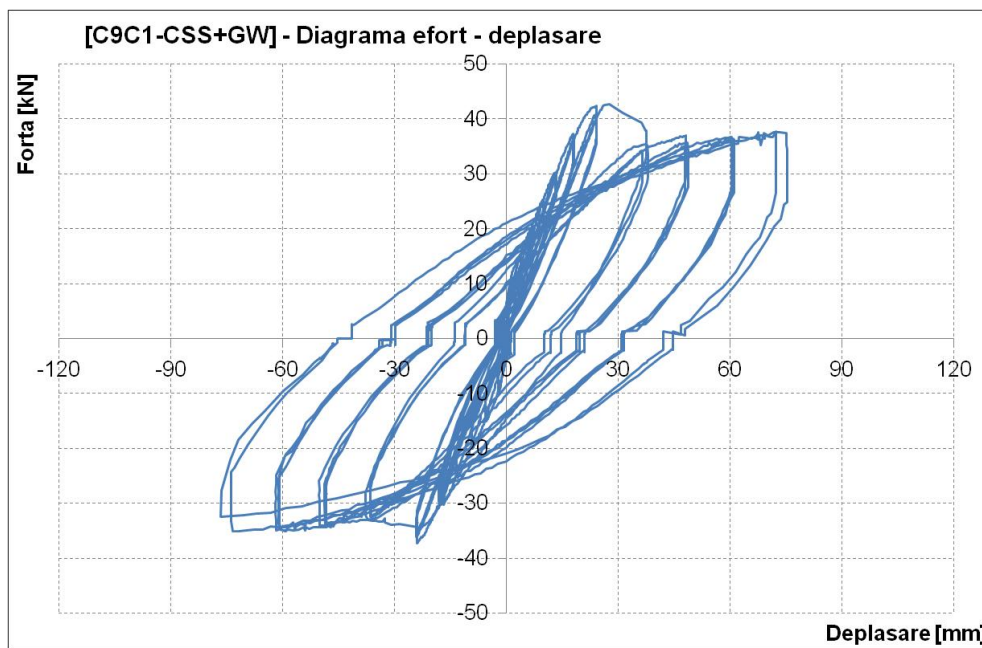


Figura 4.141. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C9C1-CSS-AF

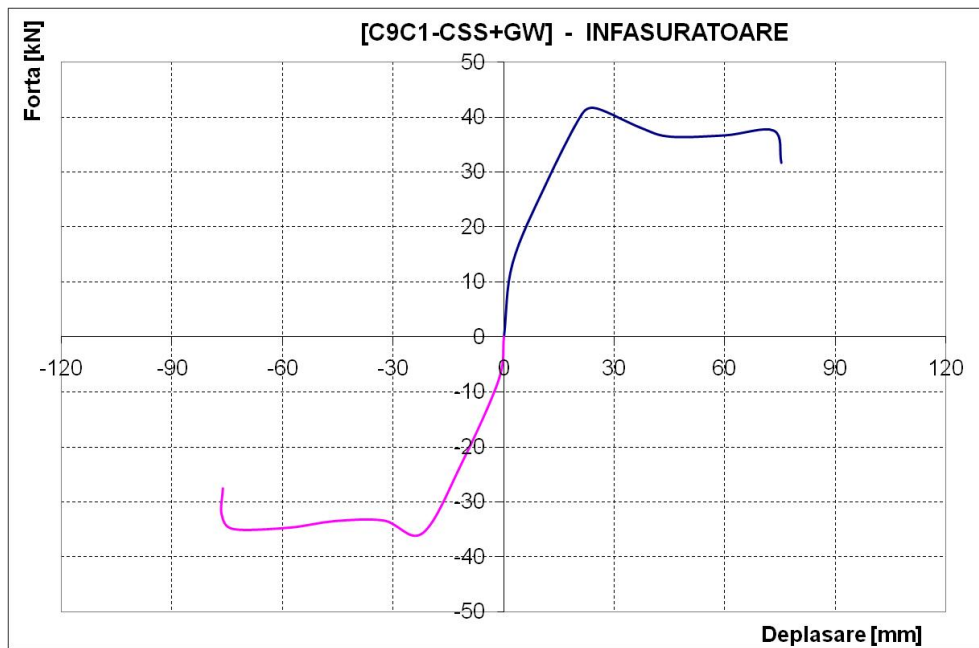


Figura 4.142. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C9C1-CSS-AF

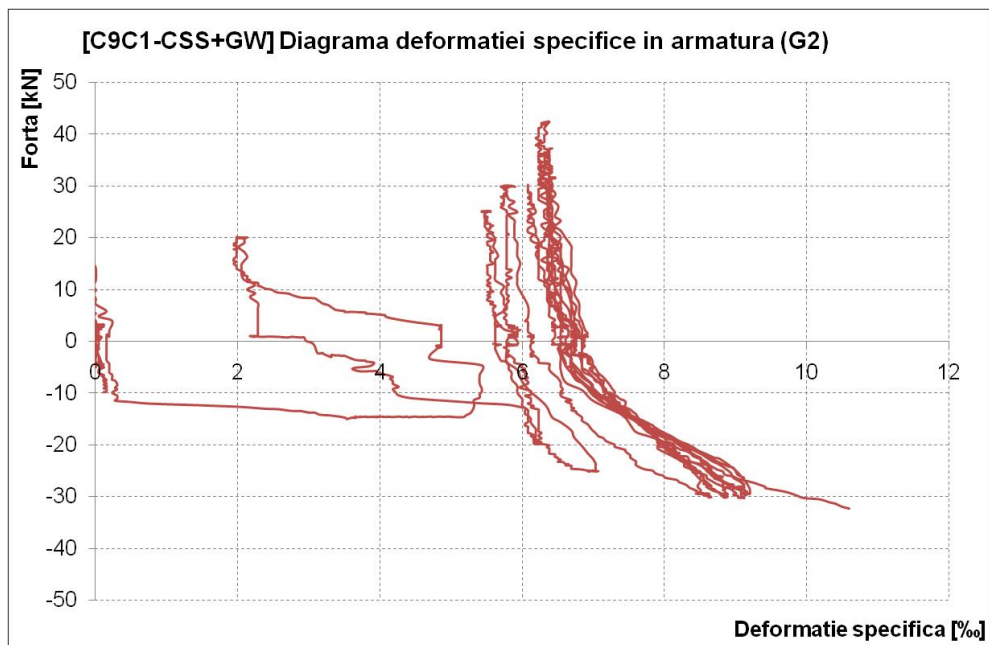


Figura 4.143. Diagrama forță – deformație specifică armătură pentru elementul C9C1-CSS-AF



Figura 4.144. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C9C1-CSS-AF

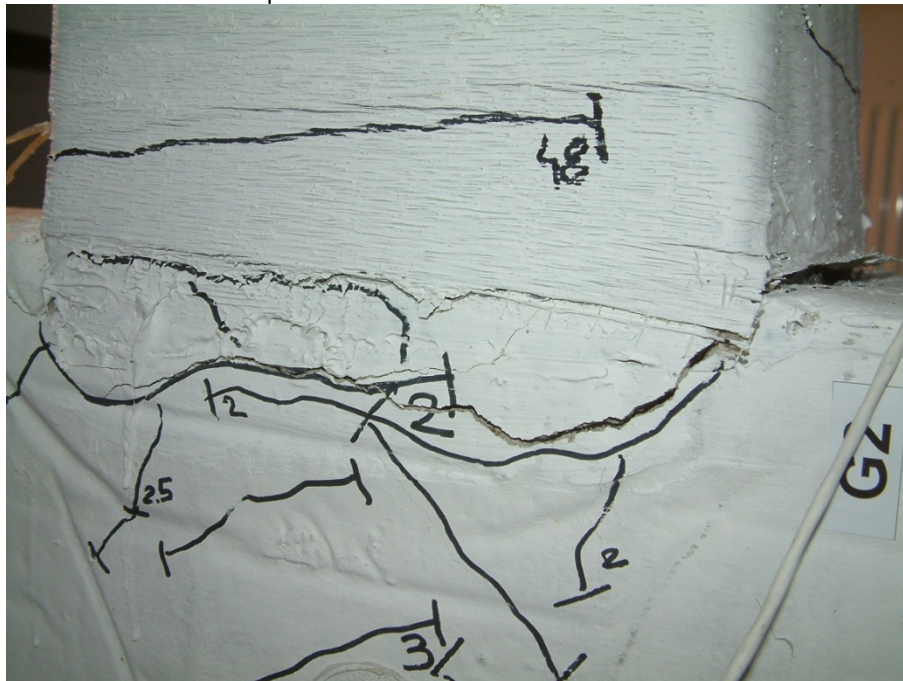


Figura 4.145. Formarea secțiunii de fisurare la baza consolidării pentru elementul C9C1-CSS-AF (30kN)



Figura 4.146. Inițiere cedare consolidare laterală întinsă pentru elementul C9C1-CSS-AF



Figura 4.147. Ruperea fibrei de carbon întinse pentru elementul C9C1-CSS-AF ( $D_1 = 72\text{mm}$ )

#### 4.3.4.7. Elementul C9C2-CSS+GW

Încercarea ciclică a fost făcută pe un specimen consolidat cu 2 mănunchiuri de țesătură de fibră de carbon, amplasate lateral în șlițuri, pe ambele fețe ale elementului și prin înfășurarea bazei cu fibră de sticlă. Fibră de carbon folosită a fost tip SikaWrap230C, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Mănunchiurile folosite au fost îngropate în șlițuri tăiate în stratul de acoperire cu beton. Umplerea șlițurilor a fost făcută cu o rășină SikaDur30, în amestec cu nisip. Ancorarea a fost făcută pe o adâncime de minim 18cm. Fibră de sticlă folosită pentru înfășurare a fost tip SikaWrap430G, cu aplicare uscată folosind rășină SikaDur330. Consolidarea a fost făcută prin aplicarea pe o înălțime de 60cm (măsurat de la partea superioară a fundației) a țesăturii de sticlă. Suprapunerea a fost de 25cm (o latură completă), folosindu-se un singur strat de țesătură. Echiparea și consolidarea elementului sunt prezentate în figura 4.148.

Tabelul 4.20. Fișa testului C9C2-CSS+GW

1.	Denumire element	C9C2-CSS+GW
2.	Tip test	Ciclic
3.	Consolidare laterală	2 mănunchiuri pe fiecare latură
4.	Consolidare prin înfășurare	Țesătură de fibră de sticlă SikaWrap 430G.
5.	Forța la curgere	34.7 kN
6.	Forța maximă	37.85 kN
7.	Deplasarea la curgere [D1]	25.92 mm
8.	Deplasarea ultimă [D1]	84.48 mm
9.	Factorul de ductilitate - $\mu_{\Delta}$	3.26 (84.48/25.92)
10.	Modul de cedare	Cedare consolidare laterală și înfășurare
11.	Deformații specifice măsurate	--- (G1, G2)



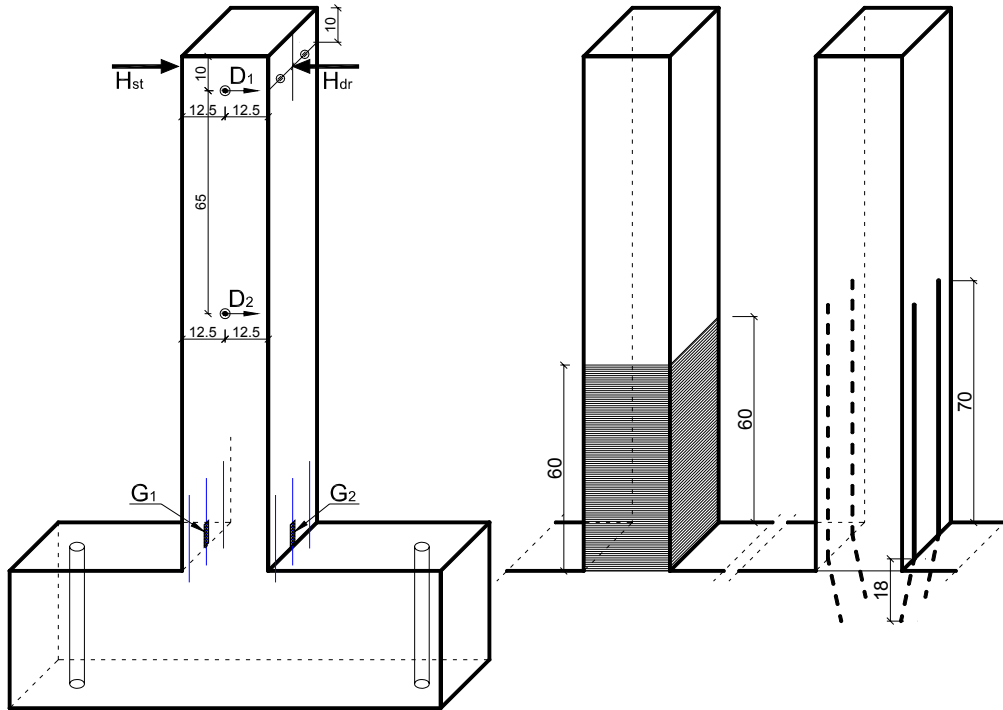


Figura 4.148. Echiparea și consolidarea elementului C9C2-CSS+GW

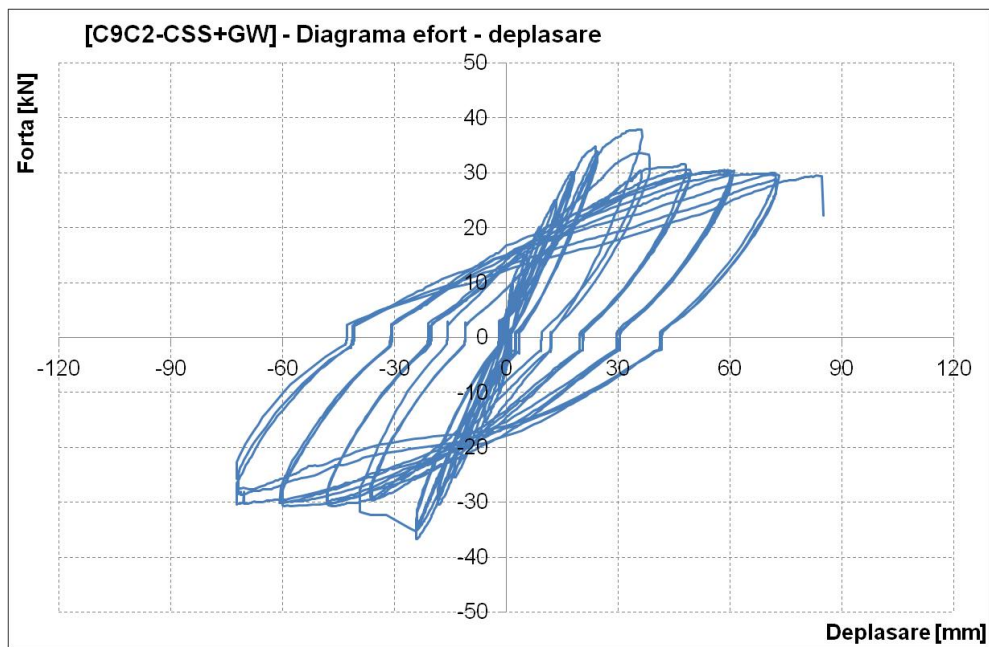


Figura 4.149. Diagrama forță – deplasare pentru elementul C9C2-CSS-AF

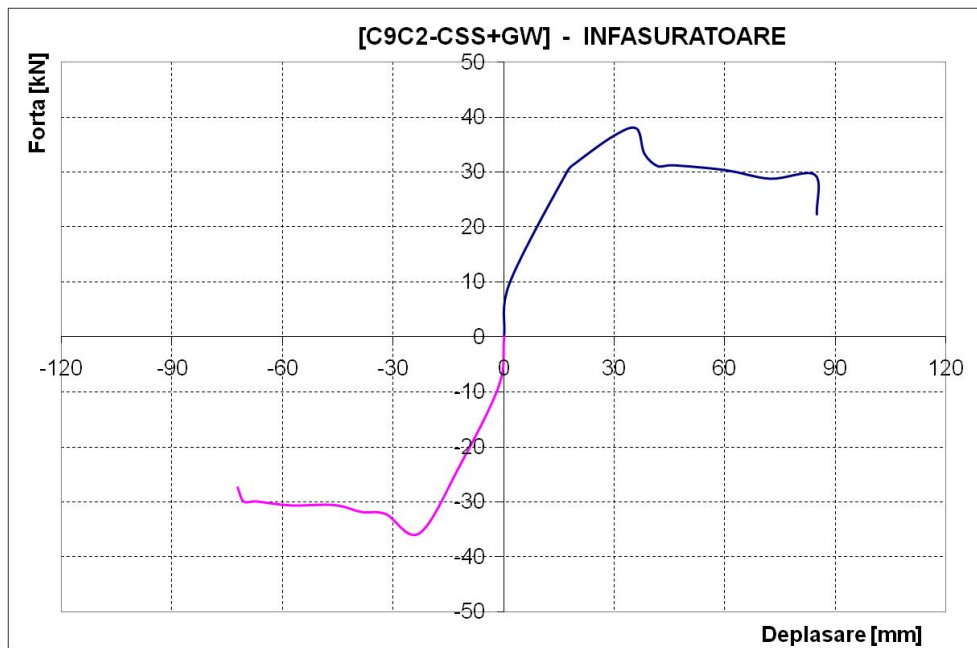


Figura 4.150. Diagrama înfășurătoare forță – deplasare pentru elementul C9C2-CSS-AF

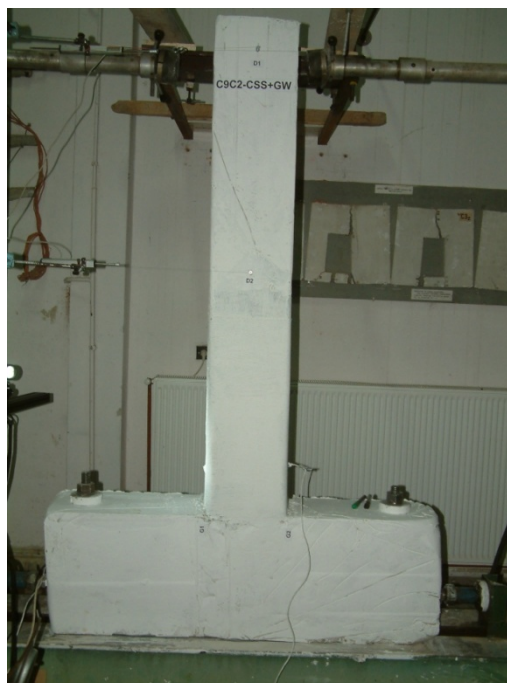


Figura 4.151. Vedere generală a standului experimental pentru elementul C9C2-CSS-AF



Figura 4.152. Formarea secțiunii de fisurare la baza consolidării pentru elementul C9C2-CSS-AF



Figura 4.153. Inițiere cedare consolidare înfășurare pentru elementul C9C2-CSS-AF



Figura 4.154. Cedare înfășurare pentru elementul C9C2-CSS-AF (D1 = 72mm)



Figura 4.155. Cedare consolidare laterală întinsă pentru elementul C9C2-CSS-AF (D1 = 72mm)



Figura 4.156. Starea la cedare a elementului C9C2-CSS-AF

#### 4.4. Studiul comparativ privind forțele laterale ultime

##### 4.4.1. Caracteristicile teoretice ale betonului confinat

Conform metodologiilor de calcul prezentate în capitolul anterior al acestei teze, pentru betonul confinat au fost calculate caracteristicile de rezistență și deformație specifică ultimă.

Astfel, materialele compozite folosite au avut următoarele caracteristici:

Tabelul 4.21. Proprietățile țesăturilor de înfășurare

Proprietate	SikaWrap Hex 103C - fibră de carbon -	SikaWrap Hex 430G - fibră de sticlă -	SikaWrap Hex 230C - fibră de carbon -
Folosire	mănunchiuri (CSS)	înfășurare (GW)	înfășurare (CW)
$t_f$ [mm] =	0.34	0.17	0.12
$n$ [straturi] =	-	1	1
$E_f$ [N/mm <sup>2</sup> ] =	231000	70000	231000
$\epsilon_{fu}$ [-] =	0.015	0.031	0.017
$k_\epsilon$ [-] =	0.6	0.6	0.6
$\epsilon_{fe}$ [-] =	0.009	0.0186	0.0102

Pe baza metodologiilor de calcul au rezultat următoarele caracteristici ale betonului confinat:

Tabelul 4.22. Caracteristicile betonului confinat

Țesătură din fibră de sticlă SikaWrap Hex 430G	Rezistența ultimă a betonului (ne)confinat [N/mm <sup>2</sup> ]	Deformația specifică ultimă a betonului (ne)confinat
beton neconfinat	(16.00)	(0.0035)
fib 14 [2001]	17.78	0.0464
Mander [1998]	36.94	-
ACI440.2R-08 [2008]	18.07	0.0044
Lam și Teng	18.17	0.0044
Țesătură din fibră de carbon SikaWrap Hex 230C	Rezistența ultimă a betonului (ne)confinat [N/mm <sup>2</sup> ]	Deformația specifică ultimă a betonului (ne)confinat
beton neconfinat	(16.00)	(0.0035)
fib 14 [2001]	19.68	0.0302
Mander [1998]	39.20	-
ACI440.2R-08 [2008]	18.64	0.0044
Lam și Teng	18.78	0.0044

#### 4.4.2. Calculul secțiunilor

Calculul secțiunilor a fost realizat conform normei EC2. În lipsa unei forțe axiale, elementele testate au fost dimensionate la încovoiere dreaptă, fără forță axială. În acest caz, pentru secțiunile dublu armate cu armătură simetrică pe ambele fețe, influența calității betonului a fost neglijabilă.

În calcul au fost considerate rezistențele armăturilor din teste, ale căror valori au fost corelate cu modurile de cedare aferente.

Tabelul 4.23. Rezistențe oțel folosite în calcul

Element	Mod cedare element experimental	Rezistență armătură luată în calcul f <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
C1C-CW-BC	rupere armătură	600
C2M-GW-BC	rupere armătură	600
C3M-BM+GW	cedare ancoraj	525
C4M-BM+GW	cedare ancoraj	525
C4C-BM+CW	cedare ancoraj	525
C6C1-GW-BC	formare articulație plastică	525
C6C2-GW-BC	rupere armătură	600
C7C1-BM+GW	rupere înfășurare	525

Tabelul 4.23. - Continuare

C7C2-BM+GW	rupere înfășurare și alunecare bare de consolidare laterală	525 (449)
C9C1-CSS+GW	rupere mănunchiuri țesătură	525 (408)
C9C2-CSS+GW	rupere mănunchiuri țesătură	525 (388)

În tabelul 4.23, valorile din paranteze sunt rezultatul unei determinări indirecte a efortului unitar din armătură, efort ce corespunde ruperii obținute în încercarea experimentală. Cu aceste valori reduse (specificate în paranteze) a fost condus calculul pentru toate variantele de beton confinat, în toate metodologiile de calcul.

Pentru elementul C7C2-BM+GW, alunecarea barelor laterale a condus la obținerea unei forțe orizontale reduse, iar valoarea efortului unitar din barele verticale a fost determinată ca fiind  $449 \text{ N/mm}^2$ .

Pentru elementele C9C1-CSS+GW și C9C2-CSS+GW, cedarea mănunchiurilor de țesătură s-a produs în momentul comprimării acestora. Astfel, efortul echivalent din armăturile verticale a atins valorile de  $408 \text{ N/mm}^2$  pentru C9C1-CSS+GW, respectiv  $388 \text{ N/mm}^2$  pentru C9C2-CSS+GW.

Pentru calculul secțiunilor, materialul compozit din mănunchiurile amplasate lateral a fost considerat prin echivalarea cu o secțiune de oțel, amplasată la adâncimea corespunzătoare în secțiune. A fost recalculată distanța  $d_s$ , funcție de poziția reală a armăturilor. Pe latura comprimată a secțiunii, cantitatea de material compozit aflat în compresiune (mănunchiurile laterale) a fost ignorată.

Pentru betonul de referință, considerat neconfinat, rezultatele evaluării capacității portante sunt prezentate în tabelul 4.24.

Pentru betonul confinat, calculat cu metodologia *fib14*, rezultatele evaluării capacității portante sunt prezentate în tabelul 4.25.

Pentru betonul confinat, calculat cu metodologia Mander, rezultatele evaluării capacității portante sunt prezentate în tabelul 4.26.

Pentru betonul confinat, calculat cu metodologia ACI 440, rezultatele evaluării capacității portante sunt prezentate în tabelul 4.27.

Pentru betonul confinat, calculat cu metodologia Lam și Teng, rezultatele evaluării capacității portante sunt prezentate în tabelul 4.28.

Nr. Crt.	Denumire element	Moment capabil determinat teoretic [kNm]	Forța de curgere determinată teoretic [kN]	Comparatie $F_{\text{teoretic}} / F_{\text{experimental}}$		Forța de curgere experimental [kN]	Moment curgere experimental [kNm]	OBSERVAȚII $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]
				=	% din			
1	C1C – CW – BC	38.30	26	=	88 % din	30.0	44	<b>600</b>
2	C2M – GW – BC	38.30	26	=	92 % din	28.6	41	<b>600</b>
3	C3M – BM + GW	60.08	41	=	92 % din	45.2	66	525
4	C4M – BM + CW	60.08	41	=	86 % din	48.2	70	525
5	C4C – BM + CW	60.52	42	=	88 % din	47.5	69	525
6	C6C1 – GW – BC	33.40	23	=	77 % din	29.9	43	525
7	C6C2 – GW – BC	38.30	26	=	90 % din	29.3	42	<b>600</b>
8	C7C1 – BM + GW	60.51	42	=	96 % din	43.6	63	525
9	C7C2 – BM+GW	51.77	36	=	96 % din	37.3	54	<b>449.2</b>
10	C9C1 – CSS + GW	50.47	35	=	90 % din	38.7	56	<b>408</b>
11	C9C2 – CSS + GW	48.05	33	=	90 % din	36.8	53	<b>387.7</b>

Tabelul 4.24. Evaluare capacități portante elemente – beton neconfinat [pentru elementele înfășurate, nu a fost luat în calcul efectul confinării]



Nr. Crt.	Denumire element	Moment capabil determinat teoretic [kNm]	Forța de curgere determinată teoretic [kN]	Comparatie $F_{\text{teoretic}} / F_{\text{experimental}}$		Forța de curgere experimental [kN]	Moment curgere experimental [kNm]	OBSERVAȚII $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]
				=	% din			
1	C1C – CW – BC	38.3	26	=	88 % din	30.0	44	600
2	C2M – GW – BC	38.3	26	=	92 % din	28.6	41	600
3	C3M – BM + GW	60.2	42	=	92 % din	45.2	66	525
4	C4M – BM + CW	60.74	42	=	87 % din	48.2	70	525
5	C4C – BM + CW	60.52	42	=	88 % din	47.5	69	525
6	C6C1 – GW – BC	33.4	23	=	77 % din	29.9	43	525
7	C6C2 – GW – BC	38.3	26	=	90 % din	29.3	42	600
8	C7C1 – BM + GW	60.51	42	=	96 % din	43.6	63	525
9	C7C2 – BM+GW	51.77	36	=	96 % din	37.3	54	449.2
10	C9C1 – CSS + GW	50.67	35	=	90 % din	38.7	56	408
11	C9C2 – CSS + GW	48.14	33	=	90 % din	36.8	53	387.7

Tabelul 4.25. Evaluare capacități portante elemente – beton confinat – metodologie fib14

Nr. Crt.	Denumire element	Moment capabil determinat teoretic [kNm]	Forța de curgere determinată teoretic [kN]	Comparatie $F_{\text{teoretic}} / F_{\text{experimental}}$		Forța de curgere experimental [kN]	Moment curgere experimental [kNm]	OBSERVAȚII $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]
				=	% din			
1	C1C – CW – BC	38.3	26	=	88	30.0	44	<b>600</b>
2	C2M – GW – BC	38.3	26	=	92	28.6	41	<b>600</b>
3	C3M – BM + GW	61.1	42	=	93	45.2	66	525
4	C4M – BM + CW	61.29	42	=	88	48.2	70	525
5	C4C – BM + CW	60.52	42	=	88	47.5	69	525
6	C6C1 – GW – BC	33.4	23	=	77	29.9	43	525
7	C6C2 – GW – BC	38.3	26	=	90	29.3	42	<b>600</b>
8	C7C1 – BM + GW	60.51	42	=	96	43.6	63	525
9	C7C2 – BM+GW	51.77	36	=	96	37.3	54	<b>449.2</b>
10	C9C1 – CSS + GW	51.57	36	=	92	38.7	56	<b>408</b>
11	C9C2 – CSS + GW	49.03	34	=	92	36.8	53	<b>387.7</b>

Tabelul 4.26. Evaluare capacități portante elemente – beton confinat – metodologie Mander

Nr. Crt.	Denumire element	Moment capabil determinat teoretic [kNm]	Forța de curgere determinată teoretic [kN]	Comparatie $F_{\text{teoretic}} / F_{\text{experimental}}$	Forța de curgere experimental [kN]	Moment curgere experimental [kNm]	OBSERVAȚII $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	C1C – CW – BC	38.3	26	= 88 % din	30.0	44	<b>600</b>
2	C2M – GW – BC	38.3	26	= 92 % din	28.6	41	<b>600</b>
3	C3M – BM + GW	60.79	42	= 93 % din	45.2	66	525
4	C4M – BM + CW	60.7	42	= 87 % din	48.2	70	525
5	C4C – BM + CW	60.52	42	= 88 % din	47.5	69	525
6	C6C1 – GW – BC	33.4	23	= 77 % din	29.9	43	525
7	C6C2 – GW – BC	38.3	26	= 90 % din	29.3	42	<b>600</b>
8	C7C1 – BM + GW	60.51	42	= 96 % din	43.6	63	525
9	C7C2 – BM+GW	51.77	36	= 96 % din	37.3	54	<b>449.2</b>
10	C9C1 – CSS + GW	50.69	35	= 90 % din	38.7	56	<b>408</b>
11	C9C2 – CSS + GW	48.15	33	= 90 % din	36.8	53	<b>387.7</b>

Tabelul 4.27. Evaluare capacități portante elemente – beton confinat – metodologie ACI 440

Nr. Crt.	Denumire element	Moment capabil determinat teoretic [kNm]	Forța de curgere determinată teoretic [kN]	Comparatie $F_{\text{teoretic}} / F_{\text{experimental}}$		Forța de curgere experimental [kN]	Moment curgere experimental [kNm]	OBSERVAȚII $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]
				=	% din			
1	C1C – CW – BC	38.3	26	=	88	30.0	44	<b>600</b>
2	C2M – GW – BC	38.3	26	=	92	28.6	41	<b>600</b>
3	C3M – BM + GW	60.78	42	=	93	45.2	66	525
4	C4M – BM + CW	60.71	42	=	87	48.2	70	525
5	C4C – BM + CW	60.52	42	=	88	47.5	69	525
6	C6C1 – GW – BC	33.4	23	=	77	29.9	43	525
7	C6C2 – GW – BC	38.3	26	=	90	29.3	42	<b>600</b>
8	C7C1 – BM + GW	60.51	42	=	96	43.6	63	525
9	C7C2 – BM+GW	51.77	36	=	96	37.3	54	<b>449.2</b>
10	C9C1 – CSS + GW	50.69	35	=	90	38.7	56	<b>408</b>
11	C9C2 – CSS + GW	48.24	33	=	90	36.8	53	<b>387.7</b>

Tabelul 4.28. Evaluare capacități portante elemente – beton confinat – metodologie Lam și Teng

În figurile 4.157 - 4.167 sunt prezentate comparații între capacitățile portante ale elementelor, obținute din teste sau calculate conform EC2 [99], utilizând diferite metodologii pentru determinarea caracteristicilor betonului confinat.

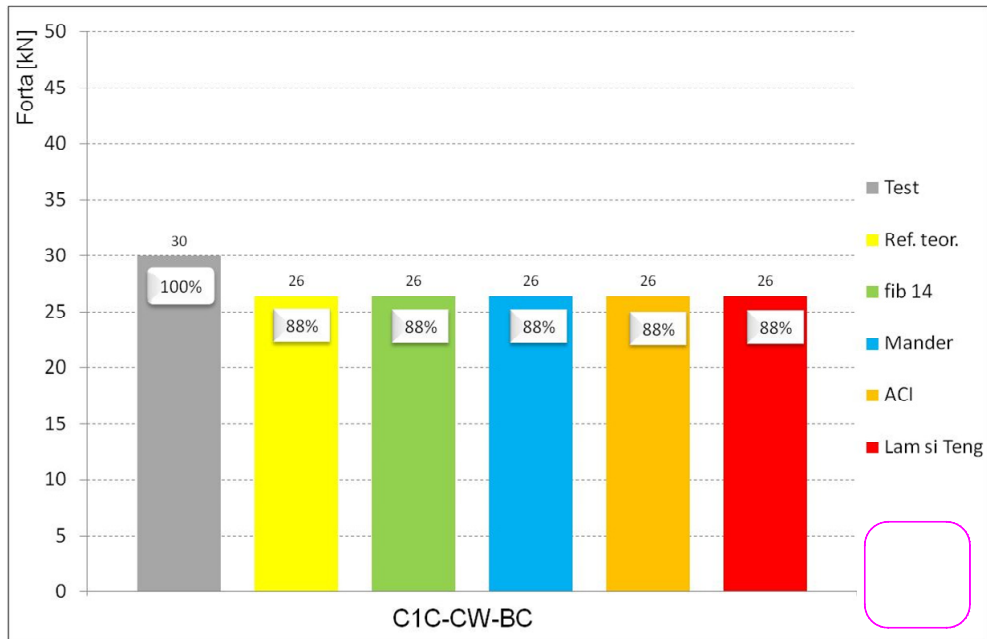


Figura 4.157. Studiu comparativ element C1C-CW-BC privind forța laterală maximă

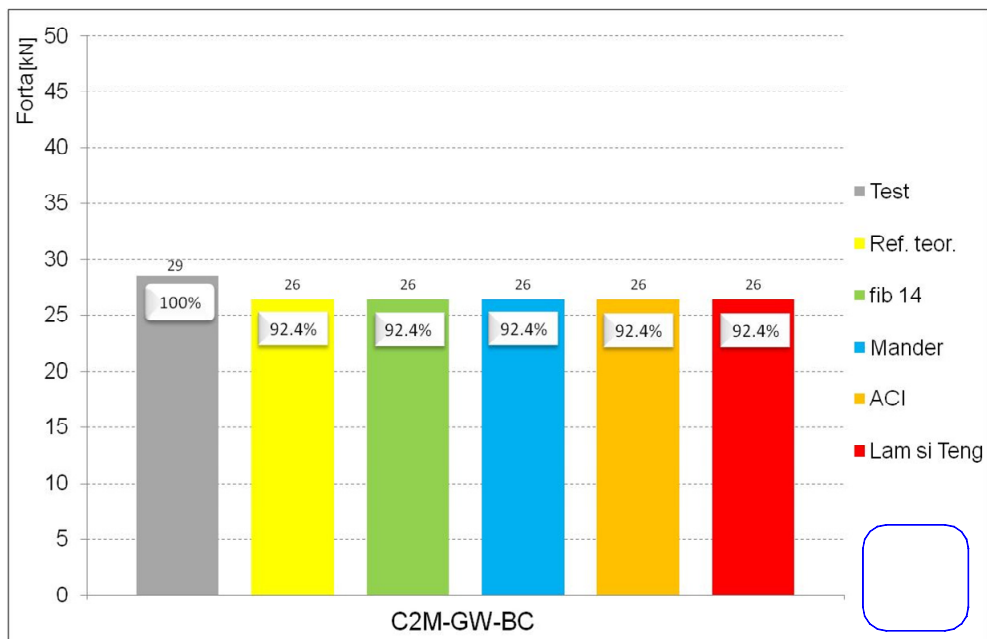


Figura 4.158. Studiu comparativ element C2M-GW-BC privind forța laterală maximă

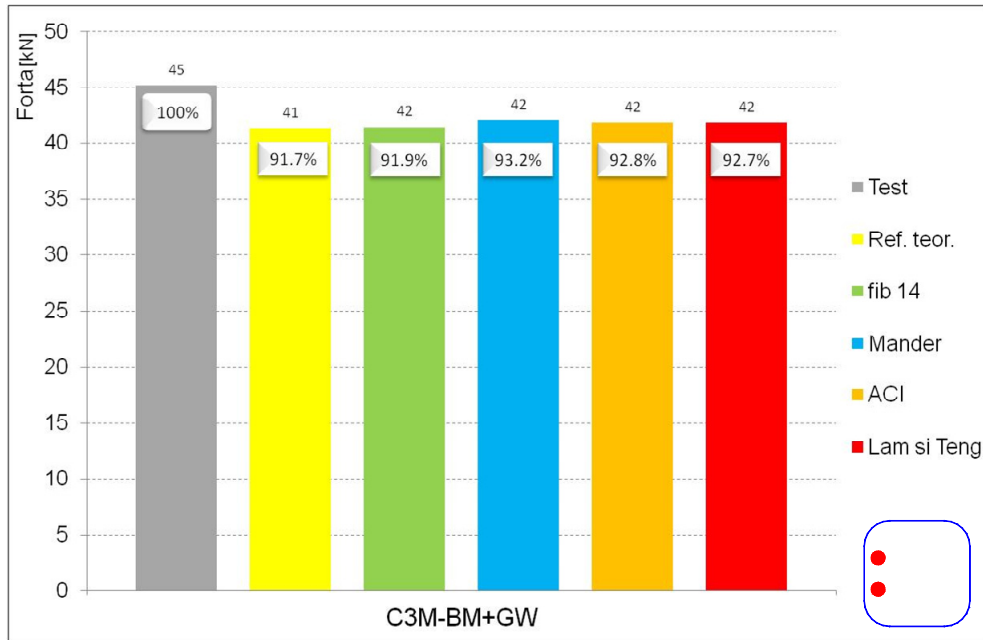


Figura 4.159. Studiu comparativ element C3M-BM+GW privind forța laterală maximă

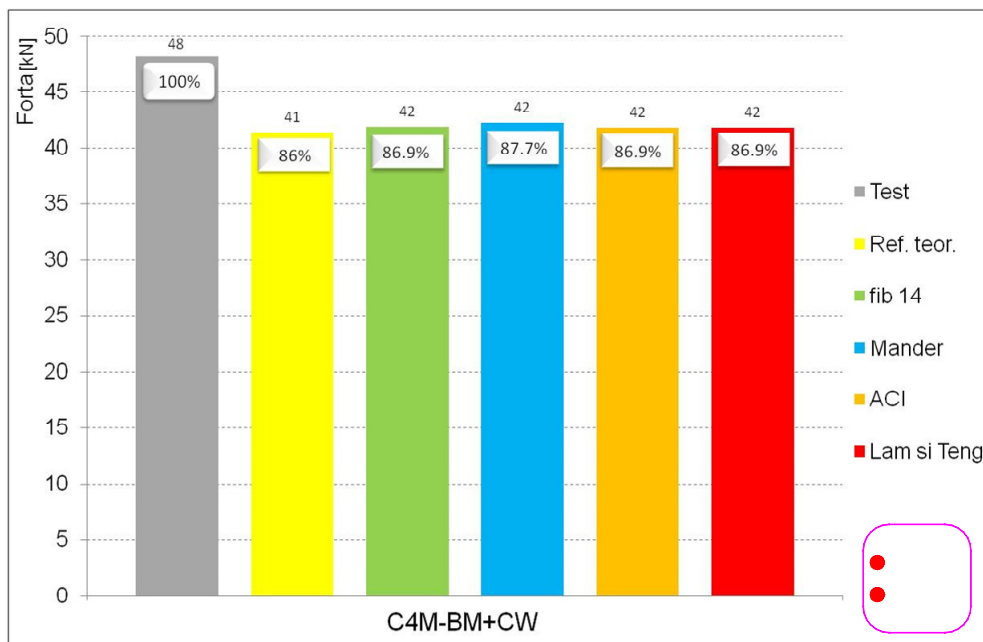


Figura 4.160. Studiu comparativ element C4M-BM+CW privind forța laterală maximă

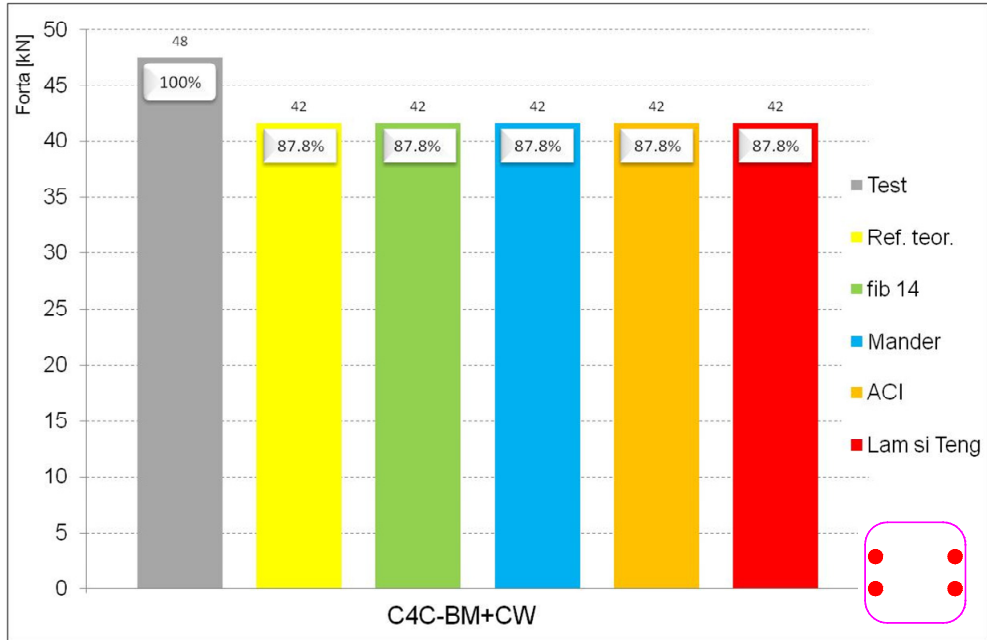


Figura 4.161. Studiu comparativ element C4C-BM+CW privind forța laterală maximă

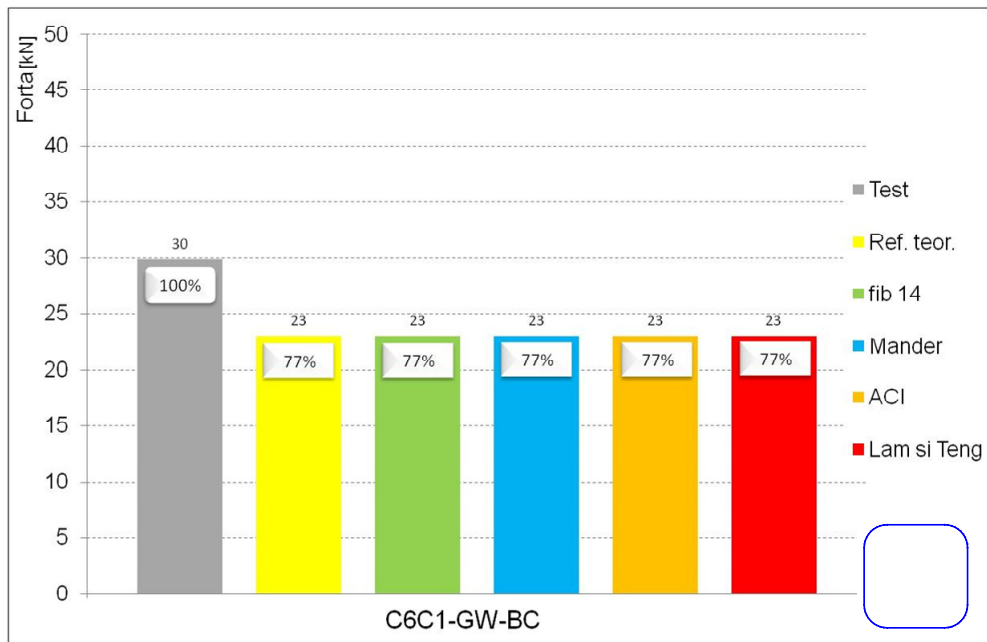


Figura 4.162. Studiu comparativ element C6C1-GW-BC privind forța laterală maximă

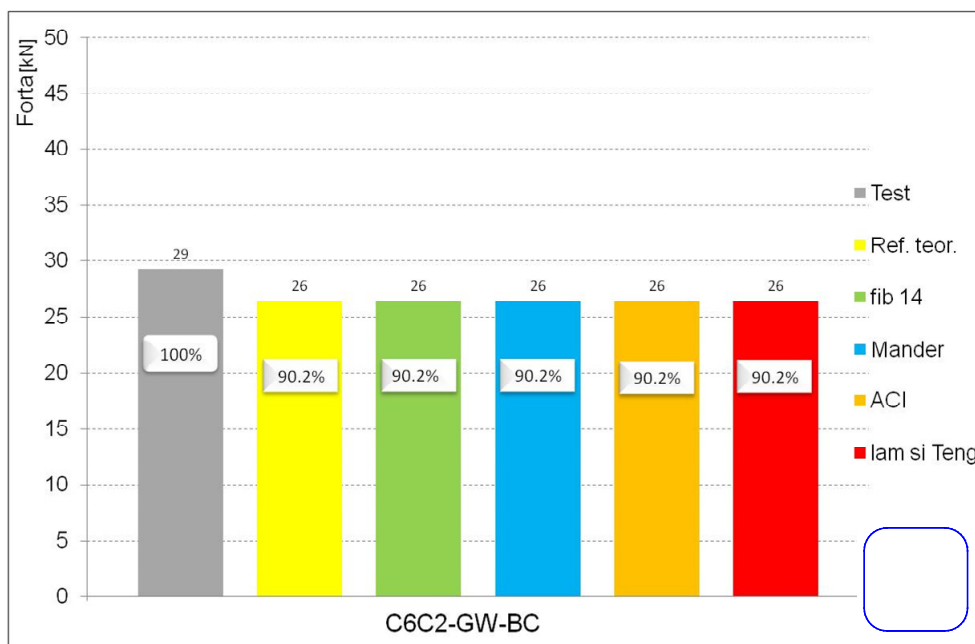


Figura 4.163. Studiu comparativ element C6C2-GW-BC privind forța laterală maximă

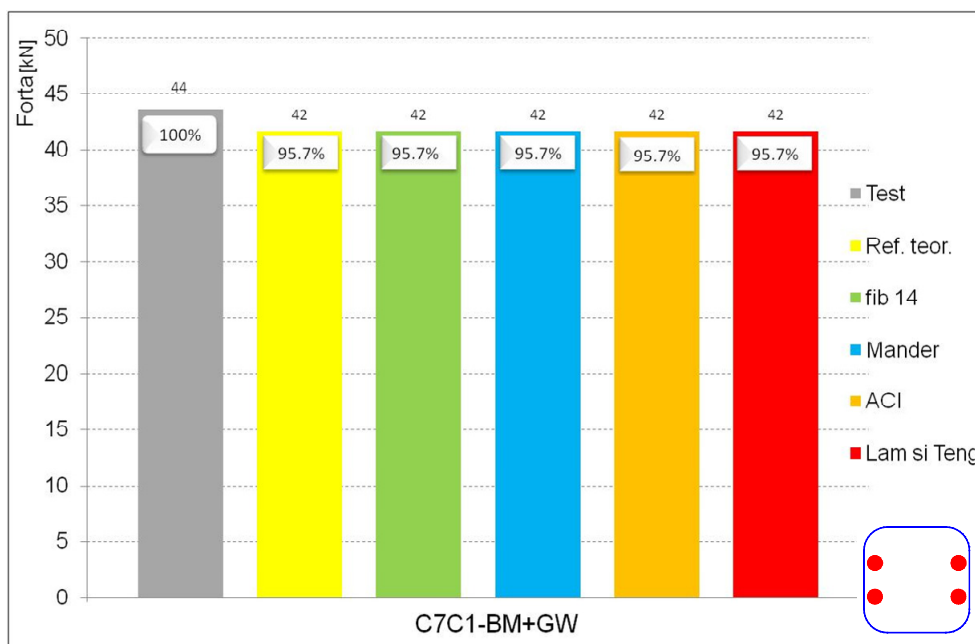


Figura 4.164. Studiu comparativ element C7C1-BM+GW privind forța laterală maximă



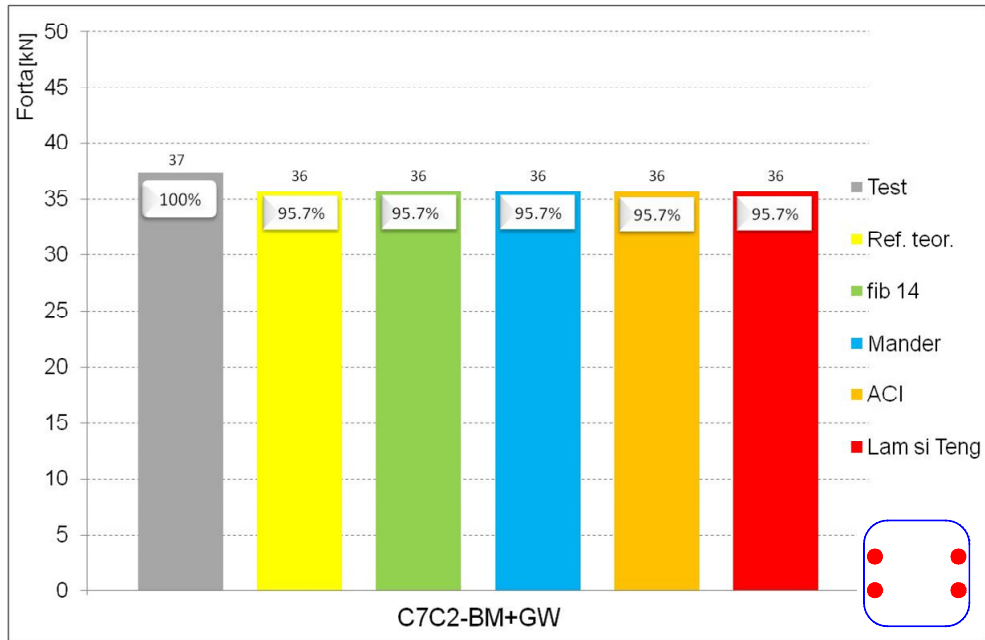


Figura 4.165. Studiu comparativ element C7C2-BM+GW privind forța laterală maximă

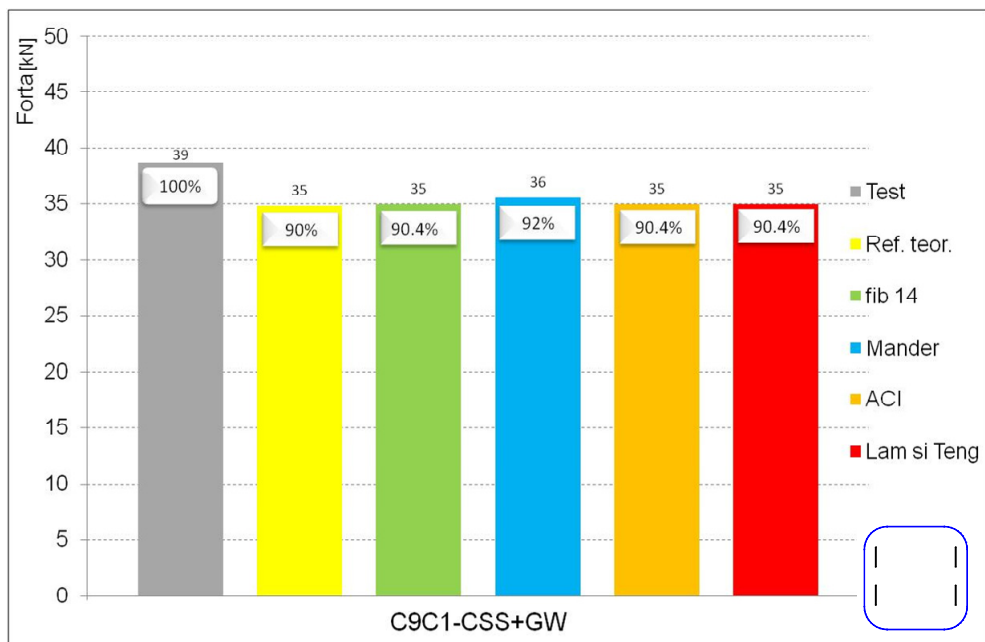


Figura 4.166. Studiu comparativ element C9C1-CSS+GW privind forța laterală maximă

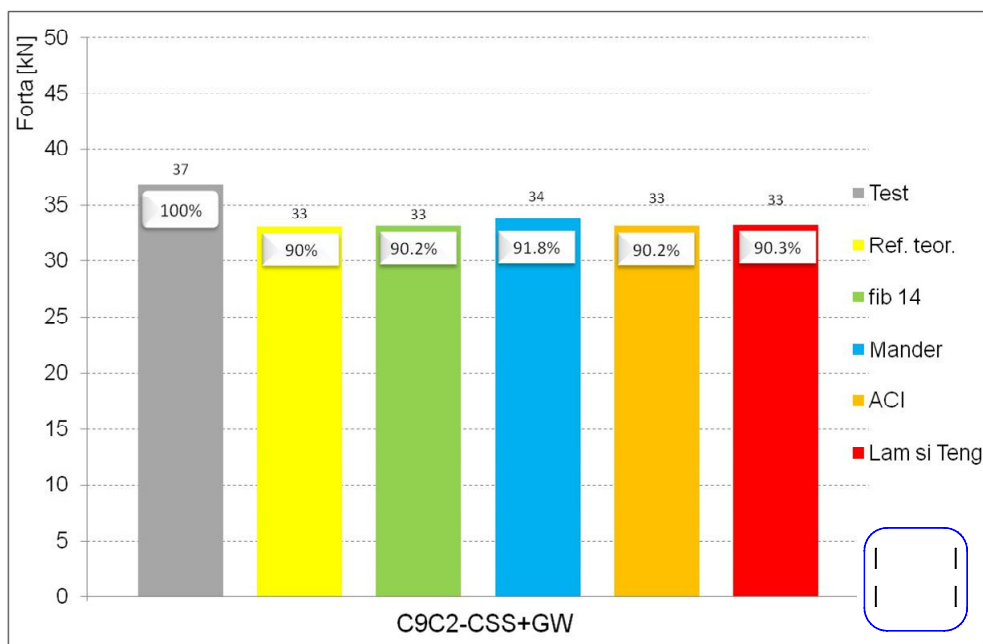


Figura 4.167. Studiu comparativ element C9C2-CSS+GW privind forța laterală maximă

## 4.5. Comparații experimentale

### 4.5.1. Ductilitatea elementelor

Ductilitatea a fost calculată funcție de deplasările la curgere și deplasările ultime, astfel:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = \frac{\text{deplasarea ultimă}}{\text{deplasarea la curgere}}$$

Deplasarea ultimă este deplasarea măsurată la forța laterală ultimă a elementului. Deplasarea la curgere reprezintă limita elastică a elementului, la care au fost înregistrate primele deformații de curgere în armături sau la care diagrama de efort-deplasare a suferit o schimbare de rigiditate.

A fost studiată influența diferitelor sisteme de consolidare asupra ductilității de deplasare a elementelor testate. De asemenea, a fost comparată și forța maximă capabilă a fiecărui element, cu elementele de referință. În diagramele comparative următoare sunt prezentate comparațiile dintre elemente, pe diferite grupe de teste (monotone sau ciclice, din seria 1 sau seria 2 de turnare).

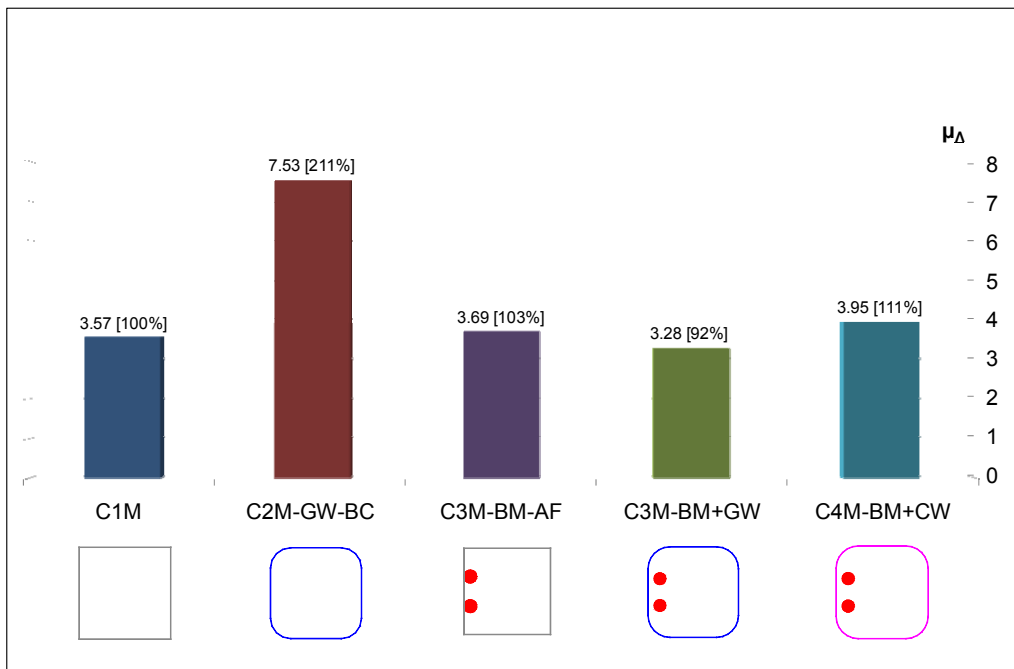


Figura 4.168. Comparație a ductilității de deplasare în cazul testelor monotone

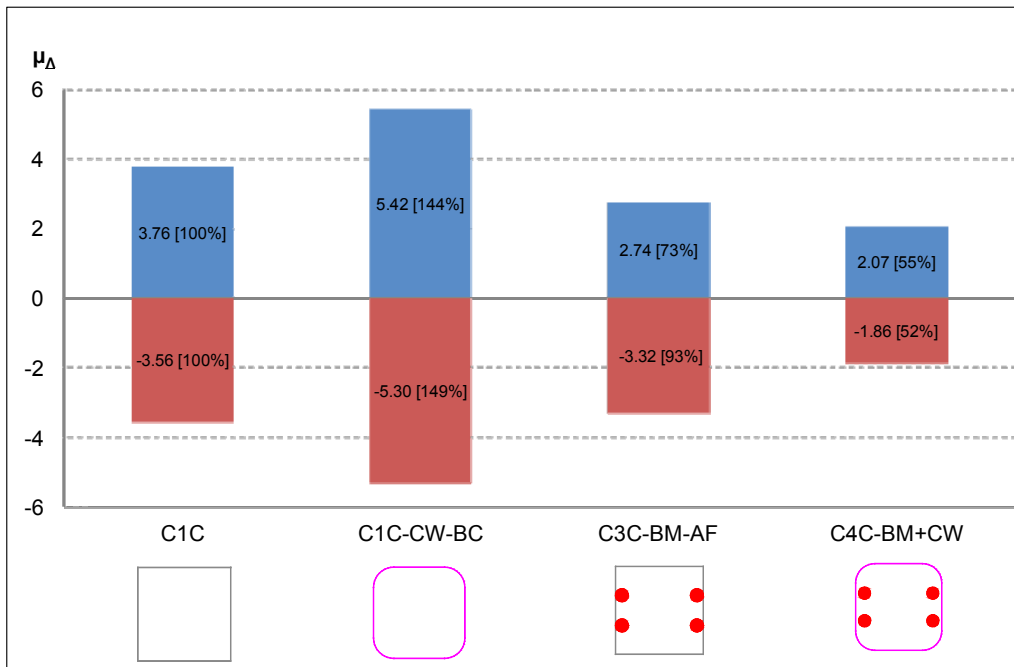


Figura 4.169. Comparație a ductilității de deplasare în cazul testelor ciclice – seria 1

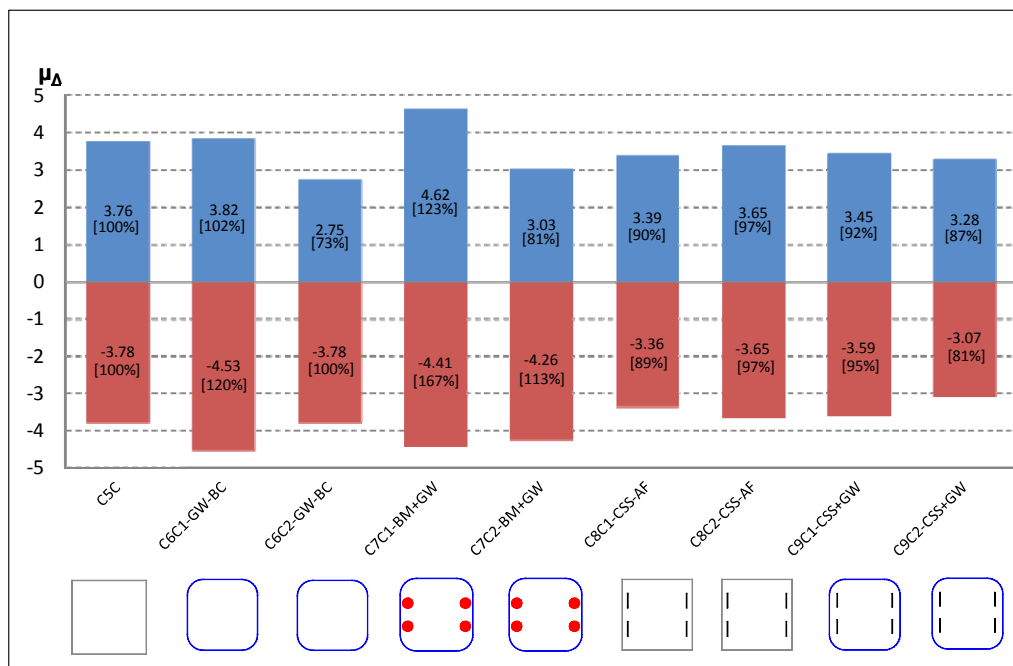


Figura 4.170. Comparație a ductilității de deplasare în cazul testelor ciclice – seria 2

#### 4.5.2. Creșterea capacității portante a elementelor

Creșterea de capacitate portantă a fost calculată funcție de forța orizontală maximă a elementului de referință aferent fiecărei faze de turnare, astfel:

$$\text{Creșterea [\%]} = \frac{\text{forța orizontală maximă a elementului}}{\text{forța orizontală maximă de referință}} \times 100$$

A fost studiată influența diferitelor sisteme de consolidare asupra creșterii capacității portante la încovoiere a elementelor încercate. În diagramele comparative următoare sunt prezentate comparațiile dintre elemente, pe diferite grupe de teste (monotone sau ciclice, din seria 1 sau seria 2 de turnare). În paranteză este precizată creșterea procentuală a forței orizontale maxime aferente elementului. În cazul încercărilor ciclice, aceste valori sunt prezentate pentru fiecare dintre direcțiile de solicitare.

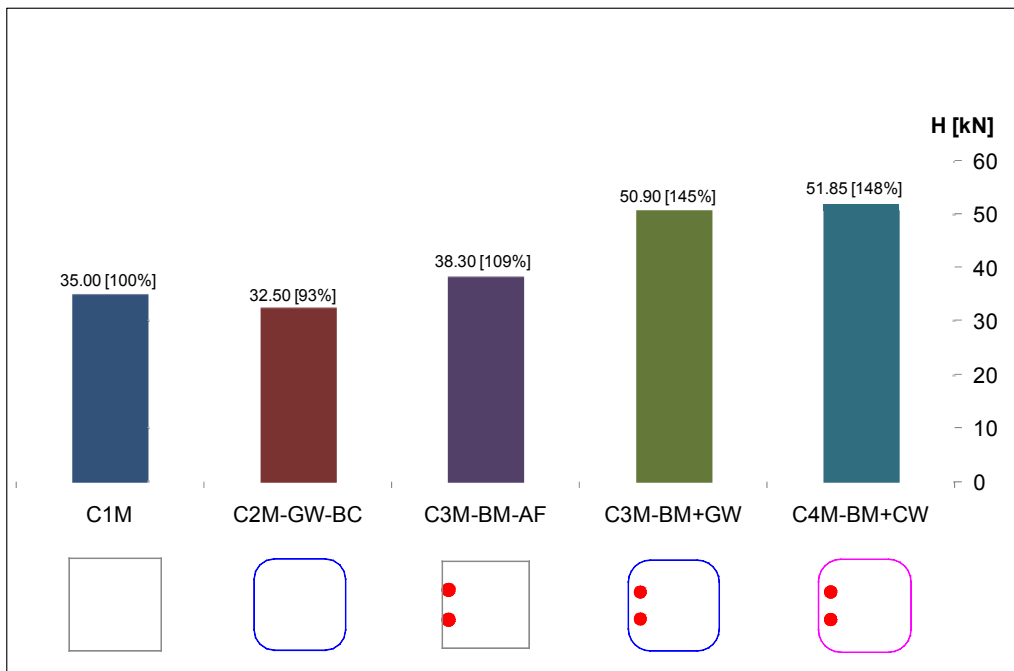


Figura 4.171. Comparație a forței maxime orizontale în cazul testelor monotone

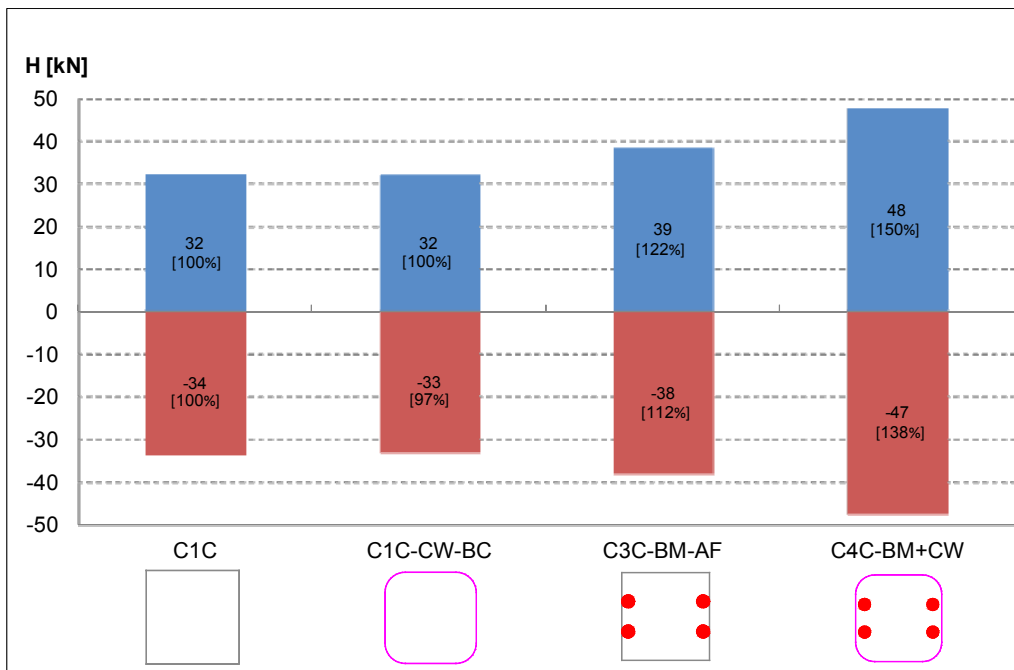


Figura 4.172. Comparație a forței maxime în cazul testelor ciclice – seria 1

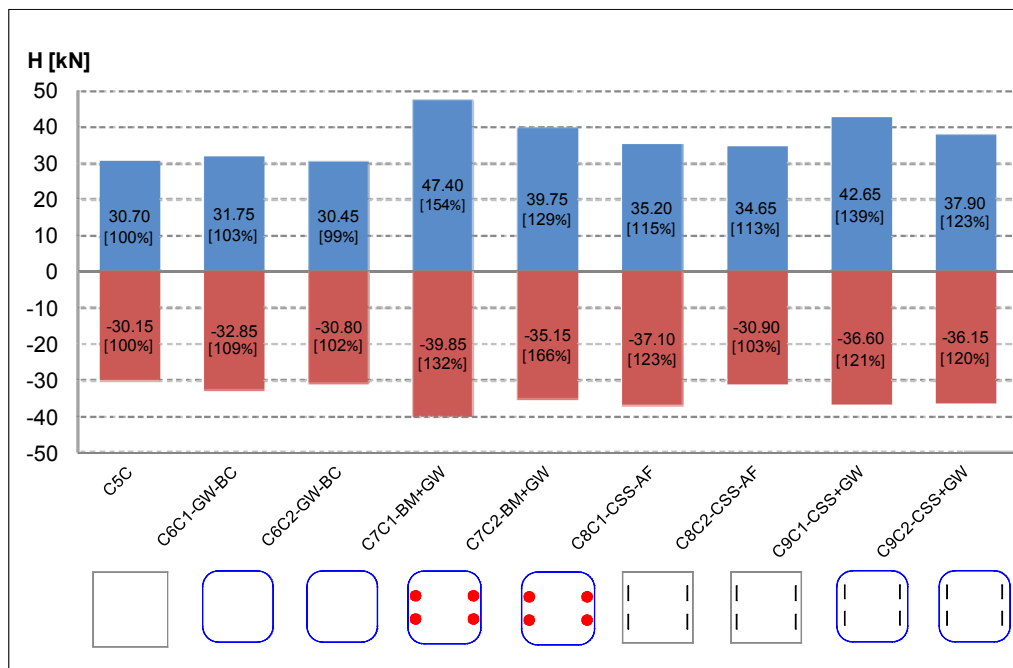


Figura 4.173 Comparație a forței maxime în cazul testelor ciclice – seria 2

## 4.6. Concluzii

### 4.6.1. Încercările de laborator și comparații experimentale

Încercările realizate au avut scopul de a studia, comparativ, diferite metode de consolidare a unor elemente din beton armat, în vederea sporirii capacității de preluare a forțelor orizontale și de disipare a energiei prin creșterea ductilității secțiunilor inițiale.

Sistemele de consolidare au fost aplicate parțial, în sensul că pe elemente similare au fost aplicate doar anumite părți ale unui întreg sistem de consolidare. Scopul urmărit a fost acela de a observa comportarea individuală a fiecăruia, precum și aportul fiecărei componente asupra sistemului final, complet, de consolidare.

Finalitatea programului de încercări o reprezintă diagramele comparative, din care se poate observa și evalua aportul fiecărui sistem la sporirea capacității portante a elementului inițial.

### 4.6.2. Studii teoretice

Calculul secțiunilor critice ale elementelor a fost condus după metodologia EC2 [99]. În lipsa unei forțe axiale semnificative, a fost realizat un calcul de încovoiere dreaptă, fără forță axială.

Din diagramele prezentate se desprinde o bună corelare a elementelor testate cu capacitatea teoretică a acestora (în ceea ce privește forța orizontală capabilă). Toate valorile raportului  $[H_{\max, \text{teoretic}} / H_{\max, \text{test}}]$  au fost în intervalul 0.77 ... 0.96, ceea ce reprezintă o corelare bună a calculelor cu situația reală.

#### 4.6.3. Propunere factor de reducere

În urma studiilor comparative anterior prezentate se desprinde concluzia că trebuie adoptat un factor de siguranță pentru reducerea rezistenței ultime a materialului compozit (și a deformației specifice ultime, implicit).

În tabelul 4.29 sunt evidențiate rapoartele între diferitele elemente testate, în ceea ce privește capacitatea portantă (teoretic și experimental).

Astfel, se pot recomanda valori ale unui factor de reducere suplimentar, funcție de tipul consolidării propuse.

Tabelul 4.29. Rapoarte comparative – teoretic / experimental

Denumire element	$f_{\text{unitar, armatura}}$		Rapoarte comparative		
	Teoretic	Test material	$f_{\text{unitar, armatura}}$	$H_{\max}$ (Teoretic / Experimental)	
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	Teoretic / Exp.	min	max
C1C – CW – BC	600	525	1.14	0.88	0.88
C2M – GW – BC	600	525	1.14	0.92	<b>0.92</b>
C6C1 – GW – BC	525	525	1.00	<b>0.77</b>	0.77
C6C2 – GW – BC	600	525	1.14	0.90	0.90
C3M – BM + GW	525	525	1.00	0.92	0.93
C4M – BM + CW	525	525	1.00	<b>0.86</b>	0.88
C4C – BM + CW	525	525	1.00	0.88	0.88
C7C1 – BM + GW	525	525	1.00	0.96	0.96
C7C2 – BM+GW	449.2	525	0.86	0.96	<b>0.96</b>
C9C1 – CSS + GW	408	525	<b>0.78</b>	0.90	0.92
C9C2 – CSS + GW	387.7	525	<b>0.74</b>	0.90	0.92

Tabel 4.30. Factor de reducere propus

Factor siguranță propus pentru reducere rezistență ultimă material compozit	$Y_{\text{red}}$	
	din teste	<b>Propunere</b>
Doar înfășurare bază	0.77 ... 0.92	<b>0.7</b>
Bare metalice și înfășurare	0.86 ... 0.96	<b>0.8</b>
Mănunchiuri de carbon și înfășurare	0.74 ... 0.78	<b>0.7</b>

După cum se poate observa din tabelul 4.30, se propune o reducere cu 20...30% a rezistenței ultime a materialului compozit.

Se apreciază că această valoare mai poate fi rafinată, pe baza unor încercări suplimentare, bazate pe un studiu parametric extins.

În ceea ce privește influența forței axiale asupra factorului de reducere propus, se poate aprecia că acesta nu are o influență semnificativă. Această supoziție va trebui validată pe baza unui studiu ulterior, similar celui prezentat aici.



## **5. MODELĂRI CU ELEMENTE FINITE**

### **5.1. Ipoteze inițiale**

Modelările cu elemente finite au fost realizate cu ajutorul programului Atena2D [100].

Au fost realizate mai multe modele cu elemente finite pentru obținerea unei corelări cu elementele încercate experimental. Cu ajutorul acestor modelări au fost calibrați diverși parametri (mărimea rețelei de elemente finite, tipurile de material pentru beton, oțel și material compozit, pașii de încărcare, etc.), reușindu-se stabilirea unor modele de calcul optime pentru materialele folosite (oțel, beton FRP).

#### **5.1.1. Introducere**

Programul Atena 2D permite modelarea cu elemente finite a elementelor din beton armat, efectuând un calcul biografic al elementului, în incrementele specificate de utilizator.

#### **5.1.2. Planul de modelări**

Am urmărit realizarea unui set complet de modelări cu elemente finite pentru o soluție de consolidare completă. Astfel, au fost realizate modelări monotone pentru următoarele specimene:

- specimenul de referință (C1M)
- specimenul consolidat prin confinarea bazei cu fibră de sticlă (C2M-GW-BC)
- specimenul consolidat prin amplasarea de bare laterale (C3M-BM-AF)
- specimenul consolidat prin confinare și cu bare laterale (C3M-BM+GW)

În final, a fost realizat și un model încărcat ciclic, pe un specimen neconsolidat (C1C).

### **5.2. Procedeu de modelare. Modele de material**

Conform procedurii clasice de modelare, a fost introdusă în program geometria specimenului (figura 5.1), împreună cu barele de armătură din interior. Au fost definite apoi modelele de material și dimensiunile elementelor finite, pas urmat de crearea finală a pașilor de încărcare.

Pașii de încărcare definiți au fost în corelare cu pașii folosiți în testele de laborator, în sensul că, pentru testele monotone, a fost folosit un increment de 5kN forță aplicată orizontal. Pentru modelarea ciclică, în mod similar cu testul de laborator, s-a folosit un control de forță până la valoarea de 30kN, urmat apoi de un control de deplasare, în pași de 3mm. Pasul de control de deplasare a fost calibrat astfel încât să poată fi obținută o diagramă ce poate surprinde cu fidelitate

redistribuțiile de eforturi în materialul de bază (beton) și transferul de eforturi între beton și oțel sau materialul compozit.

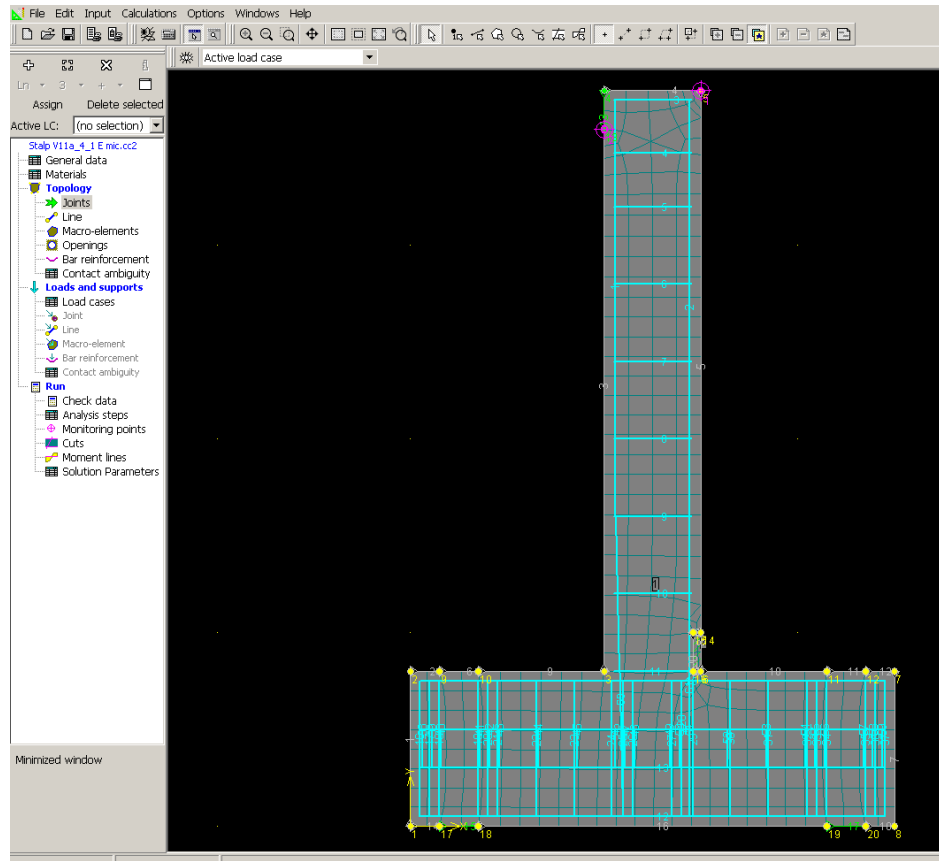


Figura 5.1. Geometria modelului de referință (neconsolidat)

Modelele de material folosite au fost preluate din cele definite implicit în programul Atena2D.

Pentru beton a fost folosit tipul de material Sbeta (figurile 5.2 ÷ 5.6), cu caracteristicile implicite calculate funcție de rezistența la compresiune specificată:  $27.5 \text{ N/mm}^2$  (obținută din testele pe cuburi).

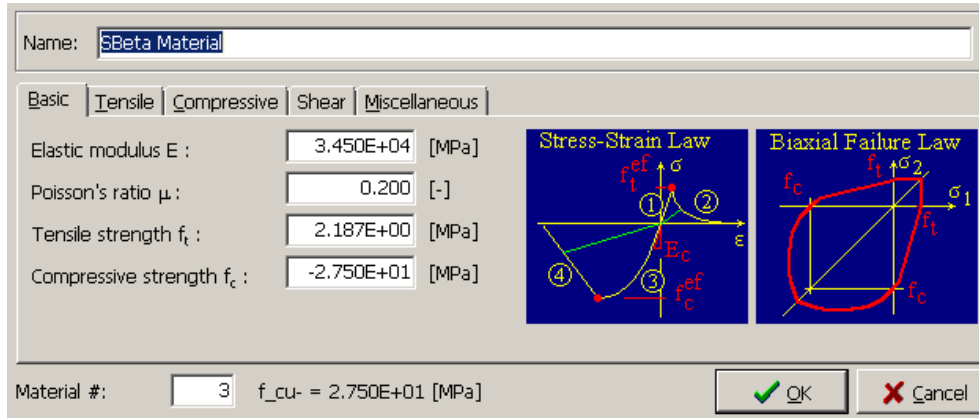


Figura 5.2. Caracteristici de bază ale modelului de beton.

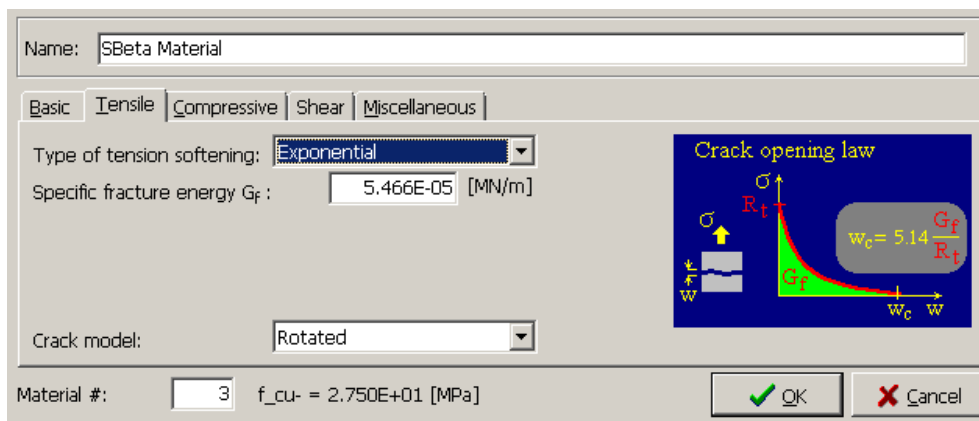


Figura 5.3. Caracteristici de comportare la întindere ale modelului de beton.

Name: SBeta Material

Basic | Tensile | **Compressive** | Shear | Miscellaneous

Compressive strain at compressive strength in the uniaxial compressive test  $\epsilon_c$  : -1.599E-03 [-]

Reduction of compressive strength due to cracks: 0.800 [-]

Type of compression softening: Softening Modulus

Compression softening parameter: 0.200 [-]

Material #: 3  $f_{cu} = 2.750E+01$  [MPa]

---

Name: SBeta Material

Basic | Tensile | **Compressive** | Shear | Miscellaneous

Compressive strain at compressive strength in the uniaxial compressive test  $\epsilon_c$  : -1.599E-03 [-]

Reduction of compressive strength due to cracks: 0.800 [-]

Type of compression softening: Softening Modulus

Compression softening parameter: 0.200 [-]

Material #: 3  $f_{cu} = 2.750E+01$  [MPa]

---

Name: SBeta Material

Basic | Tensile | **Compressive** | Shear | Miscellaneous

Compressive strain at compressive strength in the uniaxial compressive test  $\epsilon_c$  : -1.599E-03 [-]

Reduction of compressive strength due to cracks: 0.800 [-]

Type of compression softening: Softening Modulus

Compression softening parameter: 0.200 [-]

Material #: 3  $f_{cu} = 2.750E+01$  [MPa]

Figura 5.4. Caracteristici de comportare la compresiune ale modelului de beton.

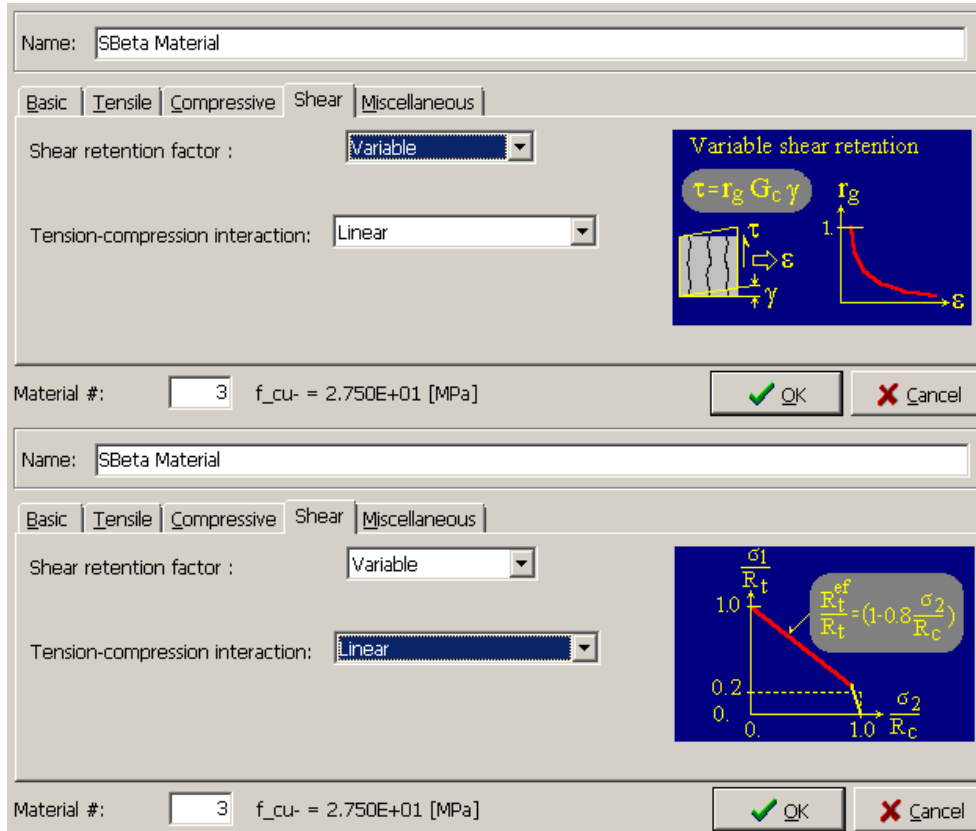


Figura 5.5. Caracteristici de comportare la forfecare ale modelului de beton.

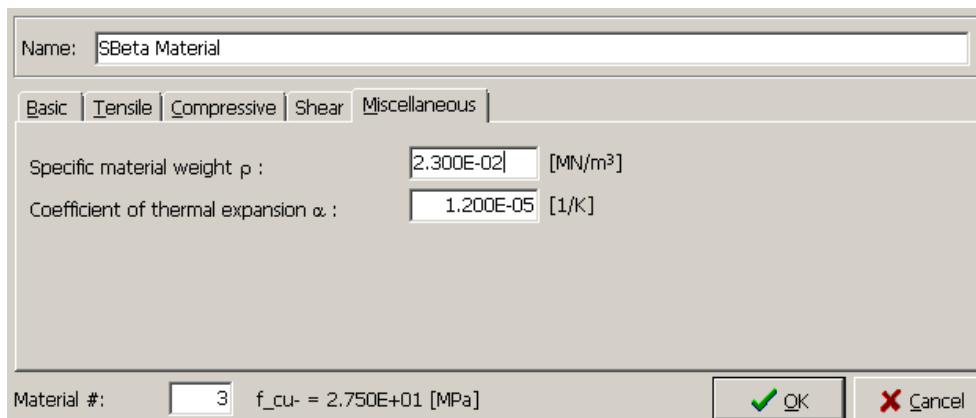


Figura 5.6. Alte caracteristici ale modelului de beton.

Pentru oțel a fost folosit un model de comportare bilinear (figurile 5.7 ÷ 5.9), cu definirea limitei de curgere a oțelului, limită obținută din testele de material. Au existat variații ale celor doi parametri introduși, astfel:

- modulul de elasticitate:  $E = 160000 - 210000$  [MPa]
- limita de curgere:  $f_y = 525 - 560$  [MPa]

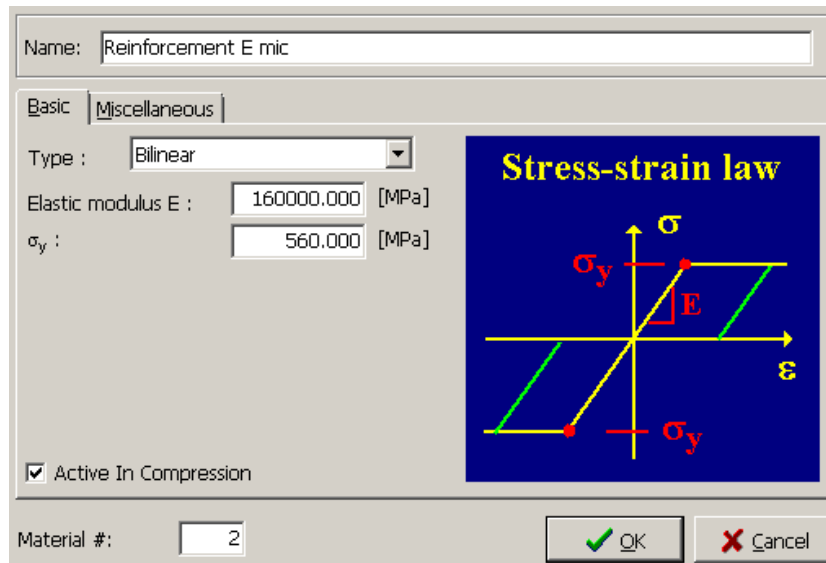


Figura 5.7. Caracteristici de bază ale modelului de oțel – Varianta 1.

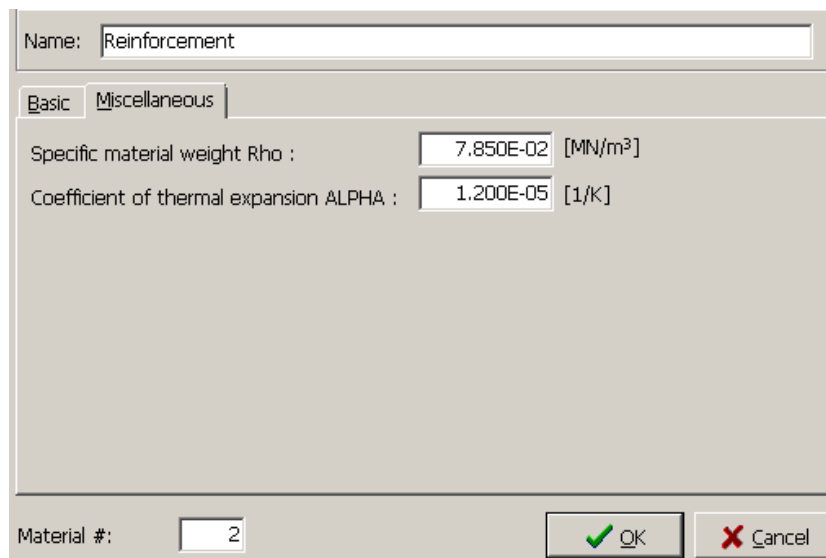


Figura 5.8. Caracteristici de bază ale modelului de oțel – Varianta 2.

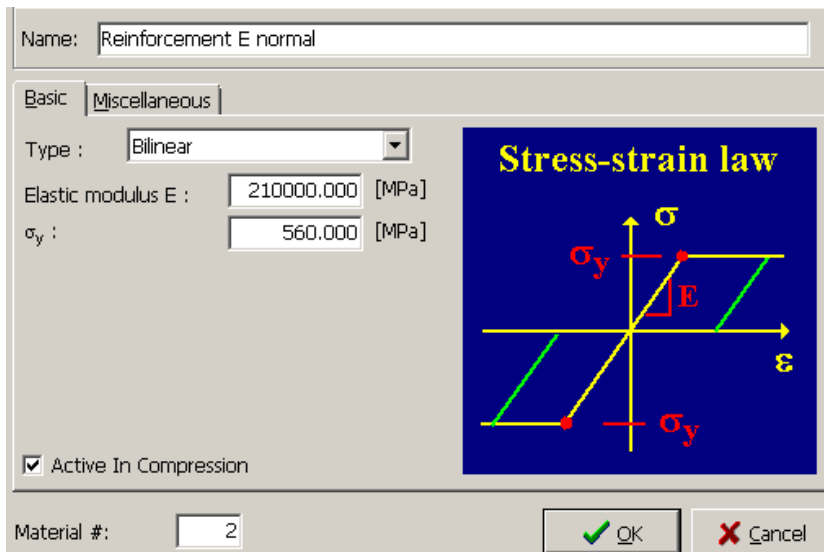


Figura 5.9. Alte caracteristici ale modelului de oțel – Ambele variante.

Țesătura din fibră de sticlă folosită pentru înfășurare a fost introdusă în model prin intermediul unui model de comportare biliniară, cu rezistența ultimă considerată ca fiind rezistența de curgere. Trebuie menționat că în modelările prezentate, această limită de curgere nu a fost atinsă în materialul de confinare, altfel spus, comportarea a fost perfect elastică.

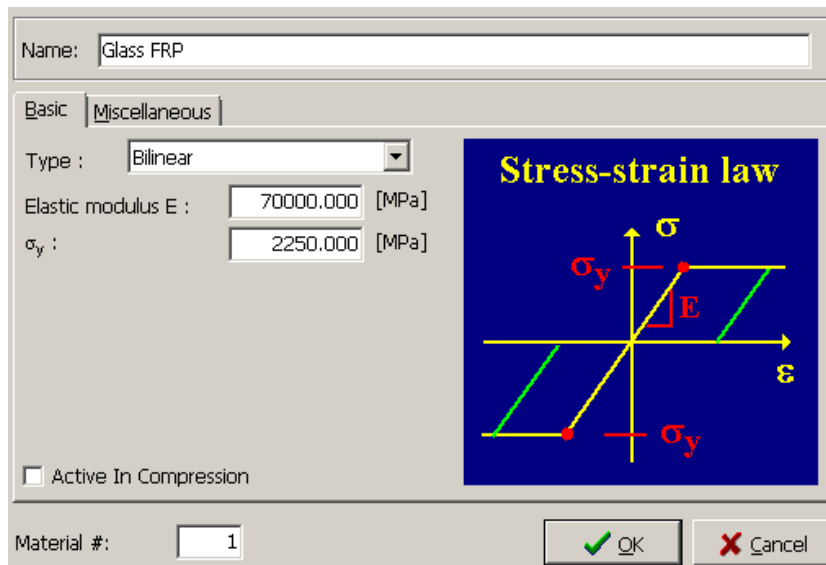
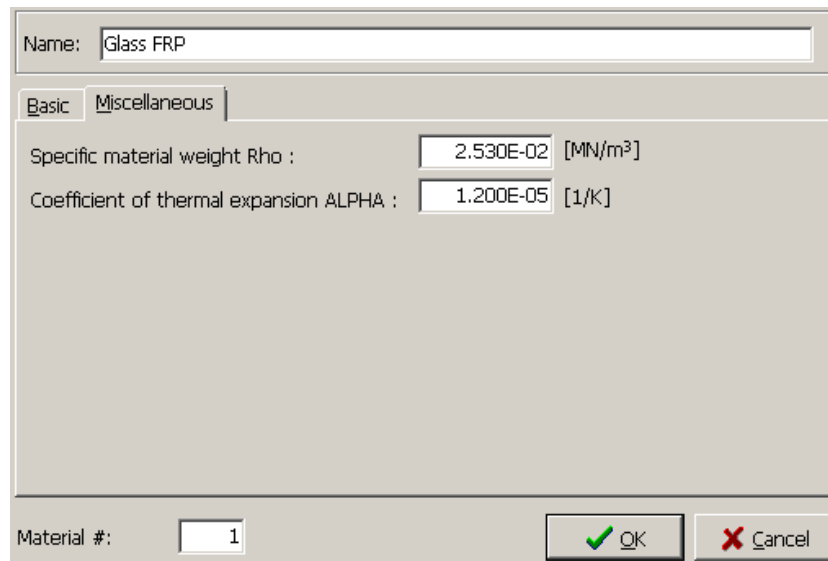


Figura 5.10. Caracteristici de bază ale modelului de țesătură de fibră de sticlă



Name: Glass FRP

Basic Miscellaneous

Specific material weight Rho : 2.530E-02 [MN/m<sup>3</sup>]

Coefficient of thermal expansion ALPHA : 1.200E-05 [1/K]

Material #: 1

OK Cancel

Figura 5.11. Alte caracteristici de bază ale modelului de țesătură de fibră de sticlă

### 5.3. Studiu comparativ teoretic / experimental

#### 5.3.1. Modelul pentru C1M

Suprapunerea din figura 5.12 a diagramei de comportare în încercarea experimentală cu diagrama de modelare cu elemente finite arată o bună comportare a modelului de calcul. S-a reușit surprinderea atât a rigidității inițiale, cât și a momentului de intrare în curgere a armăturii interioare întinse.

#### 5.3.2. Modelul pentru C2M-GW-BC

Suprapunerea din figura 5.13 a diagramei de comportare în test cu diagrama de modelare cu elemente finite arată o bună calibrare a modelului de calcul. Și în acest caz s-a reușit surprinderea atât a rigidității inițiale, cât și a momentului de intrare în curgere a armăturii interioare întinse.



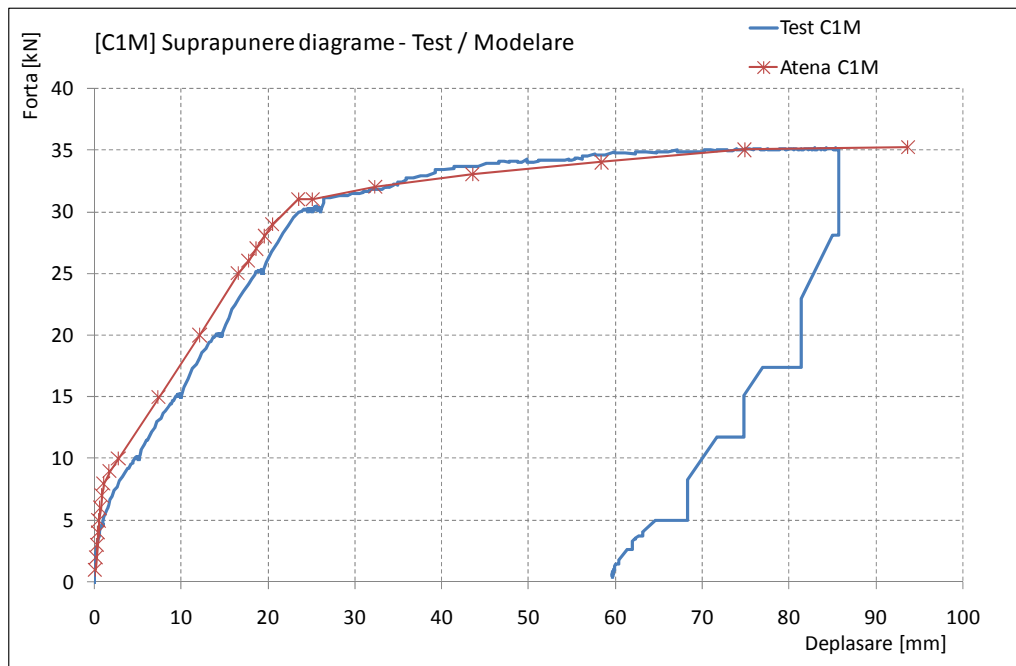


Figura 5.12. Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C1M.

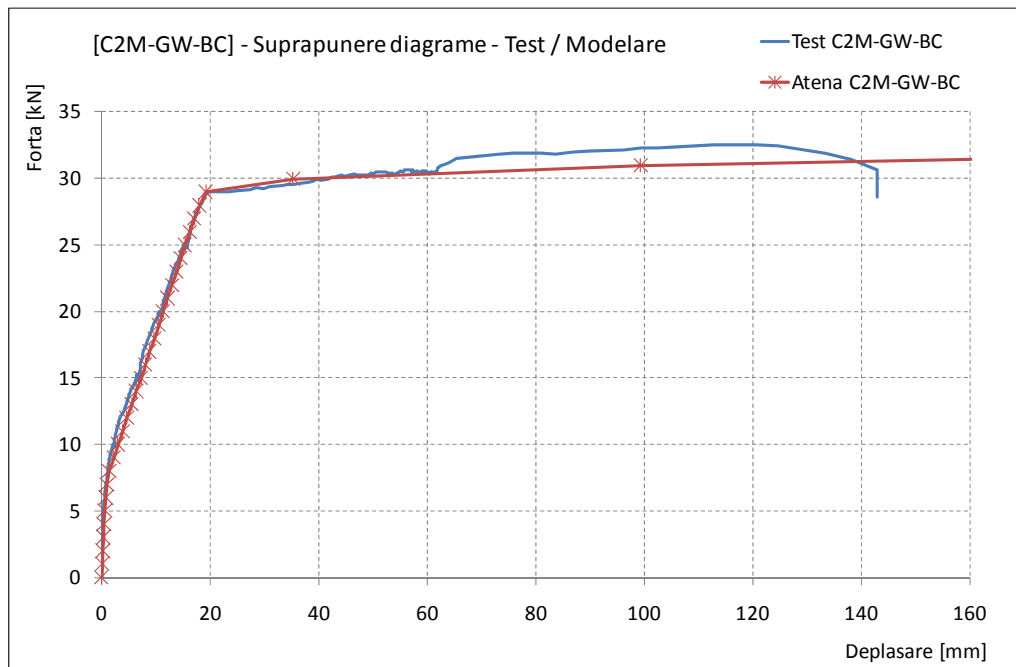


Figura 5.13. Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C2M-GW-BC

### 5.3.3. Modelul pentru C3M-BM-AF

Momentul desprinderii consolidării laterale nu a putut fi surprins în bună corelare cu testul experimental datorită efectelor locale din beton din momentul desprinderii.

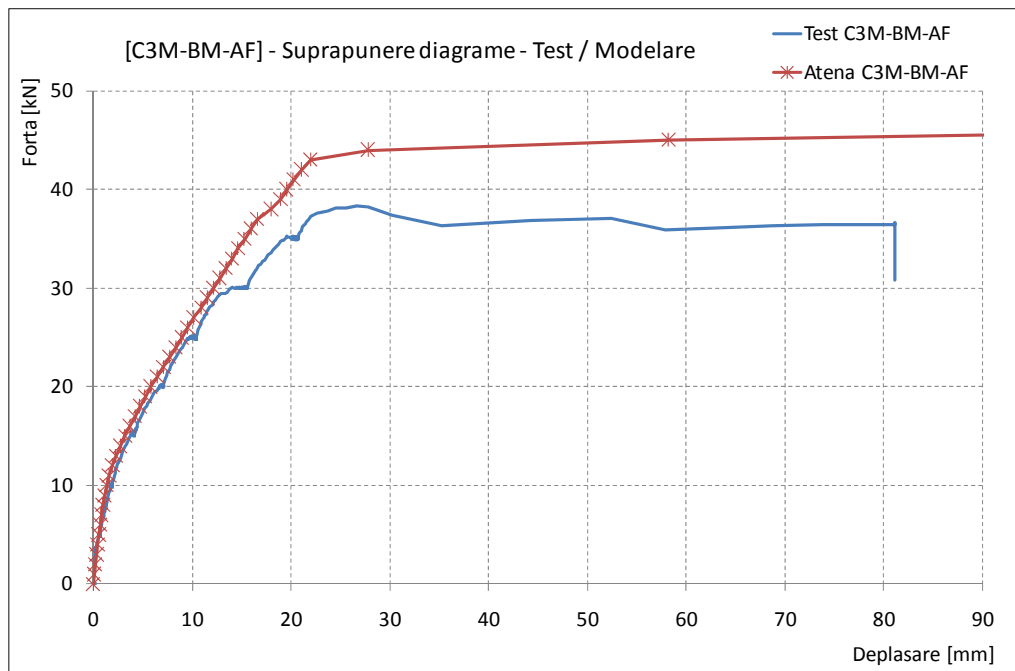


Figura 5.14. Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C3M-BM-AF

### 5.3.4. Modelul pentru C3M-BM+GW

Suprapunerea diagramei de comportare în test cu diagrama de modelare cu elemente finite arată o bună calibrare a modelului de calcul. Și în acest caz s-a reușit surprinderea atât a rigidității inițiale, cât și a momentului de intrare în curgere a armăturii interioare.

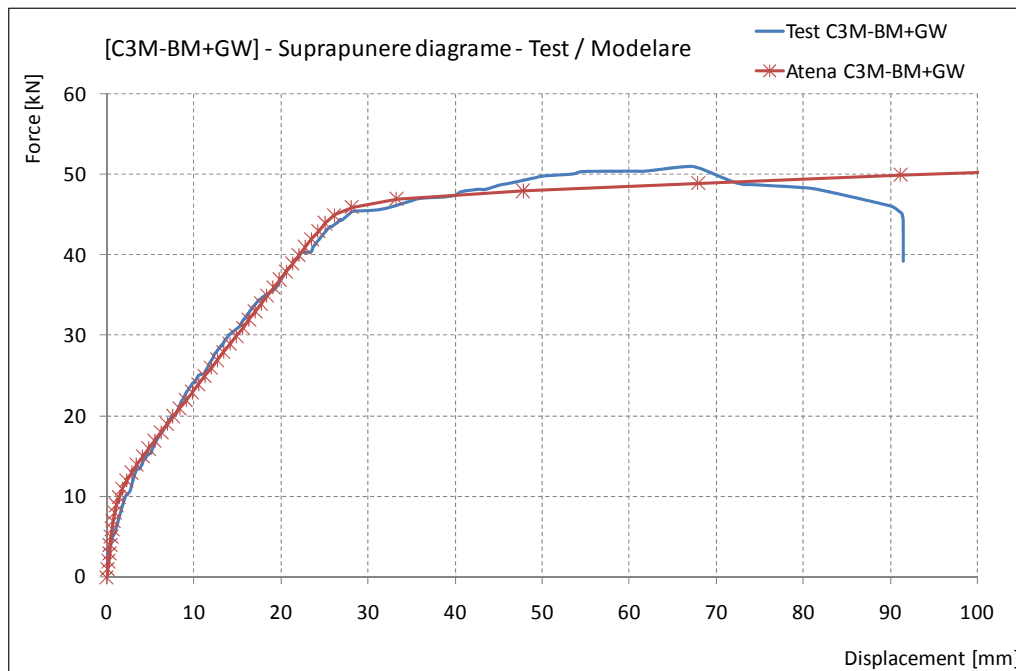


Figura 5.15. Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C3M-BM+GW

### 5.3.5. Modelul pentru C1C

C1C este specimenul de referință, testat ciclic.

Suprapunerea diagramei de comportare în test cu diagrama de modelare cu elemente finite arată o bună calibrare a modelului de calcul. S-a reușit surprinderea atât a rigidității inițiale, cât și a momentului de intrare în curgere a armăturii interioare. După cum se mai poate observa, după primul ciclu a avut loc o degradare a rigidității elementului, ceea ce a condus, în final, la o deplasare mai mare cu aproximativ 15mm (20%) a modelului cu elemente finite față de testul experimental.

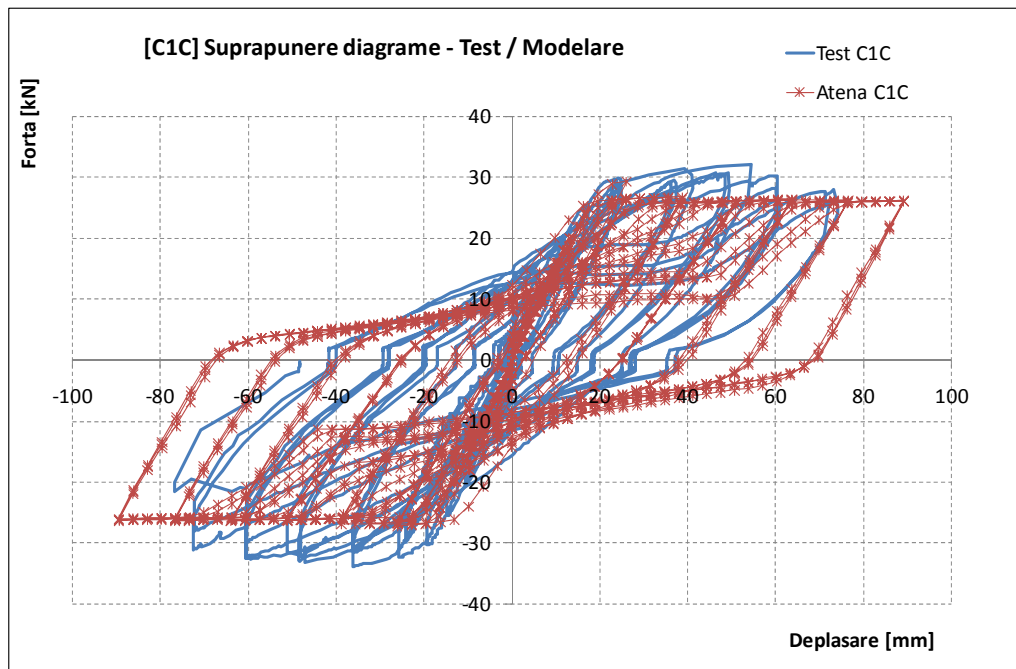


Figura 5.16. Comparație între analiza cu elemente finite și încercarea experimentală pentru elementul C1C

#### 5.4. Considerații asupra modelărilor cu elemente finite

Conform celor diagrame prezentate anterior, se poate afirma că modelele de calcul cu elemente finite conduc la o evaluare corectă a comportării elementelor studiate.

În special în cazul elementelor încercate monotone, s-a reușit obținerea unor deformații și forțe maxime similare în modelare și în testele experimentale. Acest fapt arată că modelarea efectuată urmărește și evidențiază aceleași comportări obținute prin încercările experimentale.

În cazul modelărilor ciclice, modelul de material mai trebuie rafinat sau calibrat, pentru a surprinde corect comportarea elementelor. Se face observația că aceste tipuri de modelări sunt sensibile la variațiile de material, la nivel micro, ce pot fi întâlnite în elementele reale (agregate neuniforme ca formă și dimensiuni, compactări ușor diferite ale elementului, pe înălțimea acestuia, etc.).

## **6. PROPUNEREA UNEI METODOLOGII DE CALCUL ȘI APLICARE PENTRU CONSOLIDAREA ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT FOLOSIND MATERIALE COMPOZITE POLIMERICE.**

### **6.1. Caracteristicile teoretice ale betonului confinat**

Conform metodologiilor de calcul prezentate în capitolele anterioare ale acestei teze, pentru betonul confinat pot fi calculate caracteristicile de rezistență și deformație specifică ultimă. Aceste caracteristici pot fi luate în considerare în calcul pentru mărirea rezistenței la compresiune a betonului și pentru atingerea unei ductilități superioare în elementele consolidate.

### **6.2. Calculul consolidărilor cu materiale compozite polimerice (FRP)**

Normele de referință luate în considerare sunt

Buletinul fib 14 – „Externally bonded FRP reinforcement for RC structures” [95]

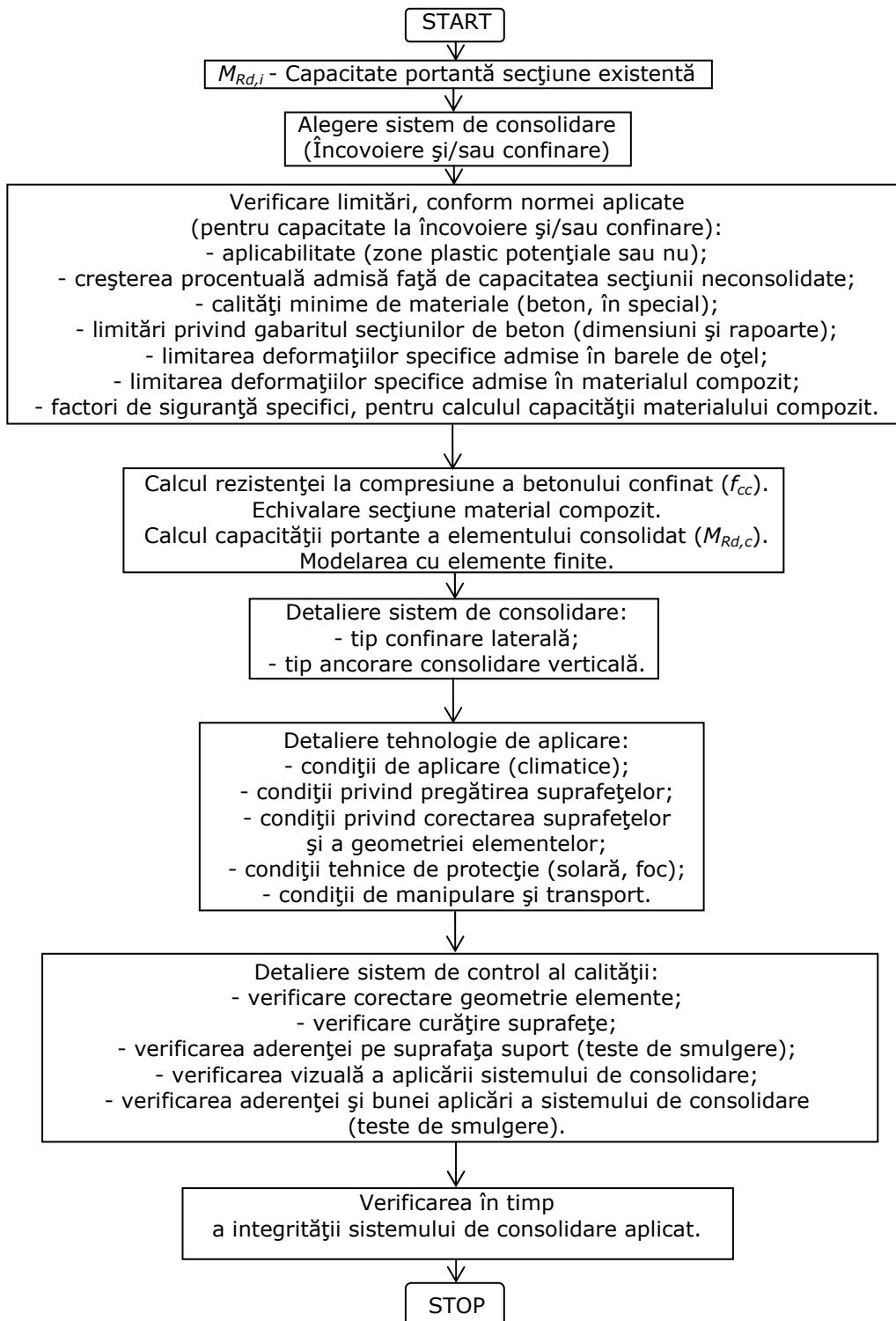
ACI440.2R-08 – “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures” [96]

Cele două documente fac referire la consolidările elementelor structurale folosind materiale compozite polimerice (Fibre Reinforced Polymers – FRP). Prevederile normei *fib* pot fi aplicate cu o corelare mai ușoară cu normele EC2 [99] aflate în vigoare și în țara noastră. Prescripțiile de proiectare prezentate în ACI vor trebui corelate cu prevederile specifice pentru calculul secțiunilor conform normelor conexe valabile în SUA. Avantajul normei ACI este acela că prevede o serie de exemple de calcul aferente fiecărui tip de consolidare, exemple ce se pot dovedi extrem de utile în practica inginerescă. Din experiența acestui program de cercetare, se desprinde și obligativitatea introducerii în consolidare și calcul a unei confinări a elementului (totale sau parțiale), cu scopul prevenirii desprinderii consolidărilor laterale. Aceste prevederi pot fi aplicate atât pentru elemente tip grindă, cât și pentru elemente tip stâlp.

### **6.3. Metodologia propusă**

Metodologia este prezentată în cele ce urmează sub forma unei scheme logice. Se urmărește descrierea cât mai amănunțită a pașilor ce trebuie urmați atunci când se urmărește realizarea unui calcul al unei consolidări, urmat de aplicarea practică a soluției propuse.

Momentan, în România nu este reglementată o cerință de verificare specifică pentru consolidările cu materiale compozite sau pentru controlul calității acestor tipuri de consolidări. Sensibilitatea acestor materiale la aplicarea și manipularea lor corectă impune un anumit grad de pregătire tehnică de specialitate, atât pentru inginerul proiectant, cât și pentru cel care pune în practică aceste soluții tehnice.



### 6.3.1. Considerații referitoare la aplicarea practică

Punerea în operă a sistemelor de consolidare cu materiale compozite necesită o atenție deosebită.

#### *Pregătirea suprafeței betonului*

Primul pas important este pregătirea suprafeței de aplicare, atât în cazul confinărilor, cât și în cazul consolidărilor laterale, pentru momente încovoietoare.

Suprafața trebuie să fie netedă, fără impurități. Netezirea suprafeței trebuie făcută mecanic (șlefuire), iar denivelările nu trebuie să depășească 2...4 mm [95]. Apariția unor denivelări mai mari trebuie corectată cu mortare de corecție speciale.

După netezire, suprafața trebuie curățată temeinic de praf și alte impurități, pentru a permite realizarea unui contact ideal între materialul compozit și stratul suport (vacuumare sau suflare cu aer comprimat).

#### *Aplicarea sistemului de consolidare ales*

Indiferent de tipul consolidării, în cazul folosirii materialelor compozite trebuie respectate și în acest caz o serie de prevederi tehnologice simple. Materialele compozite folosite trebuie să fie curățate de orice tipuri de impurități. Acest lucru se realizează prin curățarea cu diluant (specific) folosind o țesătură curată de bumbac. Trebuie evitate procedeele de curățare ce pot genera avarieri ale fibrelor (agățarea, scămoșarea sau ruperea).

Aplicarea se va face folosindu-se un echipament de protecție adecvat: salopete, mănușă și ochelari de protecție. Această prevedere are un dublu rol: de a proteja contaminarea materialelor folosite și de a preveni accidentarea personalului tehnic.

Aplicarea țesăturilor poate fi umedă sau uscată, în funcție de soluția tehnică adoptată de inginerul proiectant. Manipularea țesăturilor trebuie făcută cu atenție, pentru evitarea plierilor excesive, răsucirilor sau decalării aliniamentului fibrelor 90 [95].

#### *Finisarea consolidării*

Consolidările cu materiale compozite au nevoie de un strat de protecție. Fie că acesta este dispus sau nu din considerente estetice, este oricum nevoie de el din considerente tehnice.

Astfel, toate consolidările cu materiale compozite trebuie protejate la: acțiuni mecanice (loviri), acțiunea razelor ultraviolete ale soarelui și acțiunea focului.

#### *Controlul calității*

Controlul calității este necesar în fazele pregătitoare, în fazele de aplicare și în faza de finisare.

De asemenea, trebuie avut în vedere și urmărirea în timp a comportării sistemului de consolidare aplicat.

## **7. CONCLUZII SI CONTRIBUȚII PERSONALE**

Teza investighează noi metode de consolidare a elementelor din beton armat, folosind materiale compozite (fibră de carbon sau fibră de sticlă), în diverse sisteme de aplicare. Principalul avantaj al acestor sisteme este că ele nu măresc rigiditatea elementelor consolidate, menținându-se distribuția inițială a forțelor și eforturilor din structură. Îmbunătățiri semnificative pot fi aduse în ceea ce privește ductilitatea acestor elemente, permițând astfel disiparea unei energii seismice mai mari. Acest aspect reprezintă scopul și obiectivul principal al tezei.

Au fost realizate mai multe încercări experimentale, în diferite variante de consolidare, pentru stabilirea unor metodologii de calcul și detalieri a acestor tipuri de consolidări. Au fost realizate și modele numerice care au reușit să simuleze comportarea elementelor încercate, scopul final fiind recomandarea unei soluții optime însoțită de o metodologie de calcul aferentă acestor tipuri de intervenții.

### **7.1. Rezumarea capitolelor**

#### **Capitolul 2**

Face o trecere în revistă a începuturilor consolidărilor cu materiale compozite polimerice. Sunt prezentate principiile ce au stat la baza dezvoltării acestor sisteme, precum și o prezentare generală a procedurilor și materialelor folosite.

#### **Capitolul 3**

În literatura de specialitate sunt prezentate mai multe moduri de calcul a betonului confinat (rezistență și deformație specifice ultime). Sunt sintetizate 4 metode de calcul, două prezentate în norme de specialitate (Europa și SUA) și două modele alternative prezentate de autori ca având anumite particularități în abordare. Este elaborat un tabel comparativ al celor patru modele. Concluzia ce se poate trage este că subiectul abordat este un subiect de actualitate, abordat sub diferite aspecte (secțiuni solicitări, detalieri).

#### **Capitolul 4**

Cele 18 încercări experimentale efectuate au urmărit studierea diferitelor metode de consolidare la încovoiere a elementelor din beton armat. Astfel au fost efectuate încercări pe elemente de referință, încercate monoton sau ciclic. Au fost efectuate încercări pe specimene consolidate doar prin confinarea bazei, încercări pe specimene consolidate doar vertical-lateral, iar în final, încercări pe specimene consolidate atât prin confinare cât și vertical-lateral.

În finalul programului de încercări este realizată o comparație între capacitatea teoretică la încovoiere și capacitatea reală a elementelor încercate. Studiul include și o comparație a variației ductilității secțiunilor, pentru studierea aportului confinării la îmbunătățirea acestui parametru.

Concluzia este că aceste tipuri de materiale pot aduce îmbunătățiri substanțiale ale capacității portante a elementelor din beton armat, atât în ceea ce privește efortul secțional, cât și în ceea ce privește ductilitatea.



### **Capitolul 5**

În continuarea programului de încercări, capitolul 5 include modelări cu elemente finite ale unor elemente încercate în laborator. Astfel, au fost realizate simulări numerice pentru stâlpii încercați monoton, în patru variante: neconsolidat, consolidat doar prin încovoiere, consolidat doar prin bare amplasate lateral și consolidat prin confinare și bare amplasate lateral. De asemenea, a fost realizat și un model numeric pentru un stâlp de referință, încercat ciclic.

Sintetizând, se poate afirma că este posibilă crearea unui model numeric ce poate să simuleze comportarea elementelor consolidate cu materiale compozite polimerice.

### **Capitolul 6**

Rezultatul firesc al programului de cercetare a fost realizarea unei propuneri de metodologie de consolidare a elementelor de beton armat. Ea este prezentată sub forma unei scheme logice, accentul fiind pus pe asigurarea unui control de calitate temeinic în execuția practică a acestor lucrări.

## **7.2. Contribuții personale**

În cadrul programului de cercetare aferent acestei teze au fost realizate:

1. Efectuarea unui studiu bibliografic de specialitate cu privire la metodele de consolidare folosind materiale compozite.
2. Realizarea unui program experimental de încercări, pe elemente la scară reală. Variabilitatea programului de încercări, precum și numărul de specimene (18) au generat o bună bază pentru modelările experimentale și calculele ulterioare.
3. Propunerea mai multor variante de consolidare a elementelor de beton armat, cu sintetizarea aportului fiecăreia la consolidare.
4. Modelările cu elemente finite au urmărit îndeaproape comportarea elementelor încercate experimental, validând astfel procedul și tipologia de modelare.
5. Propunerea unei metodologii privind calculul, detalierea, aplicarea practică și controlul calității elementelor consolidate cu materiale compozite polimerice.

### **7.2.1. Proiecte de cercetare**

Pe parcursul anilor de pregătire a acestei teze, am colaborat la realizarea următoarelor proiecte de cercetare:

Grant de cercetare CNCSIS TD [2005-2006] – Director de grant – “Studiul teoretic și experimental asupra ductilității stâlpilor de beton armat consolidați cu materiale compozite”.

Grant de cercetare CNCSIS A [2005] – Membru colectiv – “Studiul teoretic și experimental al capetelor de grinzi prefabricate, consolidate cu materiale compozite polimerice”.

Grant de cercetare CNCSIS A [2006-2008] – Membru colectiv – “Consolidarea cu compozite polimerice armate cu fibre a pereților structurali și a planșelor din beton armat cu goluri create ulterior”.

Grant de cercetare CNCSIS A [2005-2006] – Membru colectiv – “Evaluarea rigidității elementelor din zidărie, reabilitate prin diferite procedee”.

Grant de cercetare CNCSIS CEEEX ET [2006-2008] – Membru colectiv – “Sisteme avansate pentru consolidarea elementelor structurale din beton armat de tip grinzi, stâlpi, pereți și planșee folosind materiale compozite polimerice”.

Grant de cercetare PROHITECH FP6 [2006-2008] – Membru colectiv – “Earthquake PROtection of Historical buildings by reversible mixed TECHnologies”

Grant de cercetare PN II [2009-2010] – Membru colectiv – “Sisteme structurale inovative din materiale compuse oțel beton și compozite polimerice”

### 7.3. Publicații

Au fost publicate mai multe articole în conferințe naționale și internaționale, legate de tematica tezei, precum și legate de tematica proiectelor de cercetare terțe în care autorul a participat.

#### 7.3.1. Cărți publicate

Stoian V., Nagy-György T., Dan D., Gergely J., DĂESCU Alexandru Cosmin - *Materiale compozite pentru construcții (Composite materials for constructions)*, Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 973-625-148-9, 2004.

Stoian V., Nagy-György T., Dan D., Gergely J., DĂESCU Alexandru Cosmin - *Materiale compozite pentru construcții (Composite materials for constructions)*, Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-948-7, 2009 – Ediția 2, corectată.

#### 7.3.2. Articole publicate

Anul 2004

Nagy-György T., Dan D., Stoian V., DĂESCU Alexandru Cosmin - *Experimental test on a hollow-core precast slab strengthened with CFRP composites*, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Tom 49 (63), 2004, ISSN 1224-6026.

Anul 2005

(1) Stoian V., Nagy-György T., Diaconu D., DĂESCU Alexandru Cosmin - *Studiu tehnic – economic și reabilitarea grinzilor din beton armat cu materiale compozite*, Simpozion AICPS, București. (Proceedings).

(2) Stoian V., Dan D., Nagy-György T., DĂESCU Alexandru Cosmin - *Efficient Composite Materials Used for Strengthening the RC Structures*, Festive Scientific Session, Timisoara. (Proceedings).

(3) Stoian V., Dan D., Nagy-György T., DĂESCU Alexandru Cosmin, Diaconu D., Sas G. - *Studiul performanțelor unei fâșii prefabricate consolidate cu țesătură din fibră de carbon*, Simpozion Structuri Prefabricate din Beton, Cluj Napoca. (Proceedings).

(4) Diaconu D., DĂESCU Alexandru Cosmin - *Consolidarea Grinzilor La Forță Tăietoare Folosind Materiale Compozite – Studiu Economic*, Simpozion Structuri Prefabricate din Beton, Cluj Napoca. (Proceedings).

*Anul 2006*

(5) Stoian V., Nagy-György Tamás, DĂESCU Alexandru Cosmin, Diaconu D. - *Theoretical and experimental study of prestressed concrete beam support zone strengthened with composite materials*, The Second fib Congress, Naples, Italy. (Proceedings).

(6) Stoian V., Nagy-György Tamás, Dan D., DĂESCU Alexandru Cosmin, Mosoarca M., Diaconu D. - *Polymeric composites for seismic rehabilitations - studies and research*, Proceedings of the 4th International Scientific meeting - INDIS 2006, Novi Sad, Serbia. (Proceedings).

*Anul 2007*

**(7) Dan D., Stoian V., Nagy-György Tamás., DĂESCU Alexandru Cosmin - Tentative approach for the design formula of steel concrete composite joint, 9<sup>th</sup> International conference on Steel, Space & Composite Structures, Yantai -Beijing, China. (Cotare ISI)**

**(8) Dan D., Stoian V., Nagy-György Tamás., DĂESCU Alexandru Cosmin - Composite joint for buildings placed in seismic areas theoretical and experimental studies, 9<sup>th</sup> International conference on Steel, Space & Composite Structures, Yantai -Beijing, China. (Cotare ISI)**

**(9) Nagy-György Tamás., Dan D., Stoian V., DĂESCU Alexandru Cosmin, Diaconu D., Floruț C. - RC beams and columns retrofitted with FRP composites - Experimental Investigations, 3<sup>rd</sup> WSEAS International Conference MECHANICS'07, Tenerife, Spain. (Cotare ISI)**

**(10) Dan D., Stoian V., Nagy-György Tamás., DĂESCU Alexandru Cosmin, Pavlou D. - Numerical analysis and experimental studies on welded joint for buildings, 3<sup>rd</sup> WSEAS International Conference MECHANICS'07, Tenerife, Spain. (Cotare ISI)**

(11) Dubina D., Dogariu A., Stratan A., Stoian V., Nagy-György Tamás, Dan D., DĂESCU Alexandru Cosmin - *Masonry walls strengthening with innovative metal based techniques*, ICSCS07 - Steel and Composite Structures, Manchester, United Kingdom. (Cotare BDI).

(12) Dan D., Stoian V., Nagy-György Tamás, DĂESCU Alexandru Cosmin - *Sustainable management of existing building stock - Thermal rehabilitation of a student's hostel belonging to the UPT*, Sustainable Construction. Materials and Practice. Challenge of the Industry for New Millenium SB07. (Proceedings).

(13) Dan D., Stoian V., Nagy-György Tamás, DĂESCU Alexandru Cosmin - *Actions and policies to implement sustainable construction - Energy efficiency of old and new buildings*, Sustainable Construction. Materials and Practice. Challenge of the Industry for New Millenium SB07. (Proceedings).

(14) Dan D., Stoian V., Nagy-György Tamás, DĂESCU Alexandru Cosmin - *Thermal rehabilitation of a student's hostel belonging to the Politehnica University of Timisoara*, 1st Workshop Cost C25 - Sustainability of Constructions. Lisabona, Portugalia. (Proceedings).

(15) Dan D., Stoian V., Nagy-György Tamás, DĂESCU Alexandru Cosmin - *Energy efficiency of old and new buildings in Romania*, 1st Workshop Cost C25 - Sustainability of Constructions. Lisabona, Portugalia. (Proceedings).

(16) Nagy-György Tamás, Stoian V., Dan D., DĂESCU Alexandru Cosmin, Diaconu D., Sas G., Mosoarca M. - *Research Results on RC Walls and Dapped Beam Ends Strengthened with FRP Composites*, FRPRCS-8, Patras, Greece. (Proceedings).

(17) Dogariu A., Stratan A., Dubina D., Nagy-György Tamás, DĂESCU Alexandru Cosmin, Stoian V. - *Strengthening of masonry walls by innovative metal*

*based techniques*, COST Action C26 Proceedings - Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, Praga. (Proceedings).

Anul 2008

(18) DĂESCU Alexandru Cosmin, Stoian V., Nagy-György Tamás, Dan D., Demeter I - *Ductility increasing for concrete columns - experimental results*, Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008), Zurich, Switzerland. (Proceedings).

(19) Dan D., Stoian V., Nagy-György Tamás, DĂESCU Alexandru Cosmin - *Steel-concrete composite joints for buildings under Symmetrical and Asymmetrical Loads - Theoretical and Experimental Study*, EUROSTEEL 2008, Graz, Austria. (Proceedings).

(20) DĂESCU Alexandru Cosmin., Stoian V., Nagy-György Tamás, Dan D., Demeter I - *Ductility increasing for concrete columns. Experimental results*, 17th IABSE Congress, Chicago, USA. (Proceedings).

(21) Nagy-György Tamás, Stoian V., Dan D., DĂESCU Alexandru Cosmin, Diaconu D., Demeter I - *RC Beams Strengthened with FRP Systems - Results in Dapped-ends and Increase of Flexural Capacity*, 17th IABSE Congress, Chicago, USA. (Proceedings).

(22) DĂESCU Alexandru Cosmin, Stoian V., Nagy-György Tamás, Dan D., Demeter I. - *Experimental Studies on Ductility Increasing for Reinforced Concrete Columns*, Acta Technica Napocensis, 51/II-2008, Civil Engineering. (Revista CNCSIS B).

Anul 2009

**(23) DĂESCU Alexandru Cosmin, Tamás NAGY-GYÖRGY - Experimental study on the strengthening procedures for reinforced concrete columns, Proceedings of the 11th international Conference on Sustainability in Science engineering (SSE'09). (Cotare ISI).**

(24) Nagy-György Tamás, Stoian V., Dan D., DĂESCU Alexandru Cosmin, Demeter I., Diaconu D., Dogariu A. - *Experimental assessment on shear strengthening of clay brick masonry walls using different techniques*, PROHITECH, Rome. (Proceedings).

(25) Diaconu D., Nagy-György T., Stoian V., Dan D., S.C. Codrut, Dăescu Alexandru Cosmin, Demeter I. - *Economic assessment of different shear strengthening methods for clay brick masonry walls*, PROHITECH, Rome. (Proceedings).

(26) DĂESCU Alexandru Cosmin, Tamás NAGY-GYÖRGY, STOIAN Valeriu, DAN Daniel - *Experimental study on the retrofitting procedures for RC columns*, Proceedings of the Twin Coimbra international Conferences on Civil Engineering and The Concrete Future. (Proceedings).

(27) Istvan Demeter, Nagy Gyorgy Tamas, Valeriu Stoian, DĂESCU Alexandru Cosmin - *Seismic retrofit of precast RC wall pannels with cut-out openings using FRP composites*, Proceedings of the 9th International Symposium on Fiber - Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, Sydney. (Proceedings).

(28) DĂESCU Alexandru Cosmin, STOIAN Valeriu, Tamás NAGY-GYÖRGY, DAN Daniel - *Experimental tests on concrete columns. Step-by-step consolidation procedures*, Proceedings of the 9th International Symposium on Fiber - Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, Sydney. (Proceedings).

(29) DIACONU Dan, Tamás NAGY-GYÖRGY, DĂESCU Alexandru Cosmin, STOIAN Valeriu, Codruț FLORUȚ - *RC Elements strengthened with FRP composite - economical study*, Proceedings of the 9th International Symposium on Fiber - Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures. (Proceedings).

(30) Demeter I., Nagy-György Tamás, Stoian V., DĂESCU Alexandru Cosmin C., Dan D. - *Precast RC Wall Panels with Cut-out Openings Retrofitted by FRP Composites*, IABSE Symposium Bangkok. (Proceedings).

(31) Istvan Demeter, Nagy Gyorgy Tamas, Valeriu Stoian, DĂESCU Alexandru Cosmin, Dan Daniel - *Precast RC Wall Panels with Cut-out Openings Retrofitted by CFRP Composites*, INDIS 2009 Planning, Design, Construction and Renewal in the construction industry, Novi Sad, Serbia. (Proceedings).

(32) Dan Daniel, Stoian Valeriu, Nagy Gyorgy Tamas, Fabian Alexandru, DĂESCU Alexandru Cosmin, Floruț Codruț - *Experimental studies on steel and steel concrete composite joints under asymmetrical loads*, INDIS 2009 Planning, Design, Construction and Renewal in the construction industry, Novi Sad, Serbia. (Proceedings).

(33) DĂESCU Alexandru Cosmin, Nagy-György Tamás, Dan D. - *Investigation of RC columns strengthened for bending with different methods*, 13th International Conference in Civil Engineering and Architecture - EPKO 2009, Miercurea Ciuc. (Proceedings).

#### Anul 2010

(34) Dan D., Stoian V., Nagy-György T., Fabian A., DĂESCU Alexandru Cosmin, Floruț C., Demeter I. - *The behaviour of steel and steel concrete composite joints*, First International Conference on Structures and Architecture (ICSA2010), Guimaraes, Portugal. (Cotare BDI).

(35) Demeter I., Nagy-György T., Stoian V., DĂESCU Alexandru Cosmin, Dan D - *FRP Composites for Seismic Retrofitting of RC Wall Panels with Cut-Out Openings*, First International Conference on Structures and Architecture (ICSA2010), Guimaraes, Portugal. (Cotare BDI).

(36) Demeter I., Nagy-György T., DĂESCU Alexandru Cosmin, Stoian V., Dan D. - *Kivágott nyílású előregyártott vasbeton falak megerősítési stratégiái szálerősítésű polimerek felhasználásával*, 16th Building Services, Mechanical and Building Industry days, Debrecen, Hungary. (Proceedings).

(37) Demeter I., Nagy-György T., Stoian V., DĂESCU Alexandru Cosmin, Dan D - *Seismic Performance of Precast RC Wall Panels with Cut-Out Openings*, 14th European Conference on Earthquake Engineering (14ECEE), Ohrid, Macedonia. (Proceedings).

(38) Demeter I., Nagy-György T., Stoian V., DĂESCU Alexandru Cosmin, Dan D - *Seismic Performance of Precast RC Wall Panels with Cut-Out Openings Retrofitted by Externally Bonded CFRP Composites*, 3rd fib International Congress, Washington. (Proceedings).

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Teng, J.G., Chen J.F., Smith S.T., Lam L. "FRP Strengthened RC Structures", Chapter 6, Edited by John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, England
- [2] Humphreys, Matthew F. "Extending the Service Life of Buildings and Infrastructure with Fibre Composites", Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
- [3] De Lorenzis, Laura "A Comparative Study of Models on Confinement of Concrete Cylinders with FRP Composites", University of Lecce, Italy.
- [4] Considère, A. "Résistance à la compression du béton armé et du béton fretté" – din [3]
- [5] <http://www.hoopmachines.fi/images/d2500vees.jpg>
- [6] Nanni, A., Norris, M.S. (1995) "FRP Jacketed Concrete Under flexure and Combined Flexure-compression" Construction and building materials, vol.9, no.5, pp.273-281 – din [1]
- [7] Xiao, Y. and Ma, R. (1997) "Seismic Retrofit of RC Circular Columns Using Prefabricated Composite Jacketing", Journal of Structural Engineering, ASCE, vol.123, No. 10, pp.1357-1364 – din [1]
- [8] Ojha, Aradhana "The Execution of Carbon Fibre Reinforced Polymer Strengthening Work", Luleå University of Technology, Luleå, Sweden
- [9] Shahawy, M., Mirmiran, A., Beitelman, T. (2000) "Tests and modelling of Carbon-wrapped Concrete Columns", Composites: Part B, Vol. 31, pp.471-480 – din [1]
- [10] Xiao, Y. and Wu, H. (2000) "Compressive behaviour of Concrete Confined by Carbon Fibre Composite Jackets", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol.12, No. 2, pp.139-146 – din [1]
- [11] Pei-Chang, Yao T. Hsu, Antonio Nanni „Assessment and proposed structural repair strategies for bridge piers in Taiwan damaged by the Ji-Ji earthquake” , Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Ottawa, Canada, J. Humar and A.G. Razaqpur, Editors, 15-18 Aug. 2000, pp. 593-600
- [12] Orazio Manni, Antonio La Tegola „FRP-Confined hollow concrete columns: a theoretical model”, Convegno Internazionale sui Materiali Compositi, Milano, Maggio 9-11, 2000.
- [13] Nina Avramidou „Nuove tecnologie per il rinforzo di pilastri in muratura”, Revista Costruire In Laterizio - „Progetto E Restauro”, Nr. 75, , Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A., Mai/Iunie 2000.
- [14] Tomoki Furuta, Toshiyuki Kanakubo, Takeshi Nemoto, Keisuke Takahashi and Hiroshi Fukuyama „Sprayed-up FRP strengthening for concrete structures”, International Symposium on Earthquake Engineering Commemorating Tenth Anniversary of the 1995 Kobe Earthquake, Abstract Volume, p.118, 2001.
- [15] John E. Crawford, Javier Malvar, Kenneth B. Morrill, John M. Ferritto "Composite retrofits to increase the blast resistance of reinforced concrete buildings", Tenth International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Mai, 2001
- [16] Cole, C. and Belarbi, A "Confinement Characteristics of Rectangular FRP-Jacketed RC Columns", Proceedings of the Fifth International Symposium on Fiber

- Reinforced Polymer for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-5), Cambridge, UK, July 16-18, 2001, pp. 823-832, 2001
- [17] Laura de Lorenzis "A Comparative Study of Models on Confinement of Concrete Cylinders with FRP Composites", Teză de doctorat, Conducător: Tekn dr Ralejs Tefers, Chalmers University of Technology, Division of Building Technology, Göteborg, Sweden, 2001
- [18] S. M. Verhulst, L. A. Fuentes, J. O. Jirsa, D. W. Fowler, H. G. Wheat, and T. Moon „Evaluation And Performance Monitoring Of Corrosion Protection By Fiber-Reinforced Composite Wrapping”, Raport de Cercetare No. 1774-1, Conducător pentru „Texas Department of Transportation”, Ianuarie 2001
- [19] Alper Ilki, Nahit Kumbasar and Volkan Koc „Strength and Deformability of Low Strength Concrete Confined by Carbon Fiber Composite Sheets”, 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, Columbia University, New York, NY, June 2-5, 2002
- [20] Andi Bogdanovici „Strengthening Circular Concrete Columns using FRP sheets - applications”, Submitted to: Dr. Svecova, April 02, 2002 – din internet.
- [21] Peter Grassl „Constitutive Modelling of Concrete in Compression”, Teză de Licență în Inginerie Civilă, Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden 2002
- [22] X.F. Yuan, L. Lam, J.G. Teng „Performance and application of a design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete”, Prezentat la Conferința ACIC, Universitatea Southampton, 2002
- [23] K.C. Chang, L.L. Chung, B.J. Lee, Y.F. Li, K.C. Tsai, J.S. Hwang, S.J. Hwang „Seismic Retrofit Study of RC Bridge Columns”, Prezentat la seminarul cu tema „International Training Programs for Seismic Design of Building Structures, 2002
- [24] Mihaela-Anca Ciupala, Kypros Pilakoutas, FRP Seismic Strengthening Of Frames”, Proceedings of *fib* Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003
- [25] Mauro Dolce, Angelo Masi, Tiziana Cappa, Domenico Nigro, Maurizio Ferrini „Experimental Evaluation Of Effectiveness Of Local Strengthening On Columns Of R/C Existing Structures”, Proceedings of *fib* Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003
- [26] Athanasios I. Karabinis, Theodoros C. Rousakis „Behaviour Of Rectangular FRP Confined Concrete Elements Subjected To Monotonic And Cyclic Axial Compressive Load”, Proceedings of *fib* Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003
- [27] Panos D. Kioussis, Theodoros C. Rousakis, Athanasios I. Karabinis – „Theory Of Plasticity For The Modeling Of Rectangular FRP Confined Concrete Columns”, Proceedings of *fib* Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003
- [28] Chris P. Pantelides, Domingo A. Moran – „Model For Fiber Reinforced Polymer Confined Concrete Columns”, Proceedings of *fib* Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003
- [29] Aftab Mufti, Kenneth Neale, Saidur Rahman, Sharlie Huffman „GFRP Seismic Strengthening And Structural Health Monitoring Of Portage Creek Bridge Concrete Columns”, Proceedings of *fib* Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003
- [30] Amir Mirmiran „Hybrid FRP-Concrete Columns”, Raport final la contractul Nr. BD224, Pentru „Structures Research Laboratory, Florida Department of Transportation, Tallhassee, Florida.

- [31] Abou-Zeid A., Abdelrahman A., El-Ghandour A. "Efficiency of Three-Sides Wrapping for RC Columns Using CFRP Laminates", Proceedings of the fib Symposium, Budapest. [2005, 23-25 mai]
- [32] Monti G., Alessandri S. "Assesment of RC Columns Under Combined Biaxial Bending and Axial Load", Proceedings of the 2nd International fib Congress, Napoli. [2006, 5-8 iunie]
- [33] J.F. Chen, J. AI, T.J. Stratford "FRP Strains In FRP Wrapped Columns: A Parametric Study", Proceedings of the FRPRCS-8, Patras. [2007, 16-18 iulie]
- [34] A. Parvin, J. M. Schroeder "FRP-Confined Rectangular Concrete Columns", Proceedings of the FRPRCS-8, Patras. [2007, 16-18 iulie]
- [35] G.P. Lignola, A. Prota, G. Manfredi, E. Cosenza "Effective Strain in FRP Jackets on Circular RC Columns", CICE2008, Zurich. [2008, 22-24 Iulie]
- [36] K. Pfyl-Lang, O. Huth, M.F. Green, M. Motavalli "Square RC columns confined with non-laminated CFRP straps", CICE2008, Zurich. [2008, 22-24 Iulie]
- [37] G. Monti, N. Nisticò "Analytical modeling of square and rectangular concrete sections confined by FRP: ultimate strength prediction", CICE2008, Zurich. [2008, 22-24 Iulie]
- [38] Matthew Haskett, Deric J. Oehlers, Mohamed Ali M.S. "Ductility Design Of FRP Reinforced Concrete Beams", Proceedings of the FRPRCS-9, Sydney. [2009, 15 iulie]
- [39] Gian Piero Lignola, Edoardo Cosenza "Performance Of FRP Confinement On Non Circular Members", 3rd fib International Congress, Washington. [2010, 29mai-2iunie 2010]
- [40] Dionysis A. Bournas, Thanasis T. Triantafillou "Effect Of Composite Material Confinement on Bond Strength Between Lap-Spliced Bars And Concrete", 3rd fib International Congress, Washington. [2010, 29mai-2iunie 2010]
- [41] Dionysis A. Bournas, Thanasis T. Triantafillou "Bar Buckling in RC Columns Confined with Composite Materials", Journal of Composites for Construction, octombrie 2010.
- [42] Shamim A. Sheikh, Jingtao Liu "Enhancing Seismic Resistance Of Concrete Columns With FRP", fib Symposium, Prague. [2011, 8-10 iunie]
- [43] Pei-Chang, Yao T. Hsu, Antonio Nanni „Assessment and proposed structural repair strategies for bridge piers in Taiwan damaged by the Ji-Ji earthquake", Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Ottawa, Canada, J. Humar and A.G. Razaqpur, Editors, 15-18 Aug. 2000, pp. 593-600.
- [44] Laura De Lorenzis, Brian Miller, Antonio Nanni „Bond Of FRP Laminates To Concrete", ACI Structures Journal, Iulie 2000.
- [45] Laura De Lorenzis, Antonio Nanni, Antonio La Tegola „Strengthening of Reinforced Concrete Structures with Near Surface Mounted FRP Rods", International Meeting on Composite Materials, PLAST 2000, Milan, Italy, May 9-11, 2000.
- [46] Annaiah Raghu, John J. Myers, Antonio Nanni „An Assessment Of In-Situ FRP Shear And Flexural Strengthening Of Reinforced Concrete Joists", Conference Proceeding Paper, Structures Congress - Advanced Technology in Structural Engineering, 2000.
- [47] D. Kachlakeva, D.D. McCurry „Behavior of full-scale reinforced concrete beams retrofitted for shear and flexural with FRP laminates", Publicat în „Composites: Part B 31", Editura Elsevier, 2000.
- [48] Tomoki Furuta, Toshiyuki Kanakubo, Takeshi Nemoto, Keisuke Takahashi and Hiroshi Fukuyama „Sprayed-up FRP strengthening for concrete structures",



- International Symposium on Earthquake Engineering Commemorating Tenth Anniversary of the 1995 Kobe Earthquake, Abstract Volume, p.118, 2001.
- [49] John E. Crawford, Javier Malvar, Kenneth B. Morrill, John M. Ferritto "Composite retrofits to increase the blast resistance of reinforced concrete buildings", Tenth International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Mai, 2001
- [50] Tumialan, G., H. Fukuyama, and A. Nanni „Overview Of The Japanese Guidelines For Seismic Retrofitting Of RC Columns Using FRP Materials”, Structures 2001, Washington DC, May 21-23, 2001.
- [51] Xinbao Yang, Antonio Yang „Concrete Beams Strengthened with Misaligned CFRP Laminates”, Proceedings of FRPRCS5, Non-metallic reinforcement for Concrete Structures, Cambridge, July 16th-18th, 2001.
- [52] Sherif El-Tawil, Ayman M. Okeil „LRFD Flexural Provisions For PSC Bridge Girders Strengthened With CFRP Laminates”, [www.dot.state.fl.us/structures](http://www.dot.state.fl.us/structures)
- [53] J.G. Teng, J.W. Zhang, S.T. Smith „Interfacial stresses in reinforced concrete beams bonded with a soffit plate: a finite element study”, Publicată în „Construction and Building Materials 16”, Editura Elsevier, 2002.
- [54] Damian Kachlakev, Thomas Miller, Solomon Yim, Kasidit Chansawat, Tanarat Potisuk „Finite Element Modeling Of Reinforced Concrete Structures Strengthened With FRP Laminates”, Final Report SPR 316, Oregon Department of Transportation, Mai, 2001.
- [55] K.T. Lau, P.K. Dutta, L.M. Zhou, D. Hui „Mechanics of Bonds in an FRP Bonded Concrete Beam”, Publicat în „Composites Part B 32 (2001)”, pag. 491-502, Editura Elsevier, 2001.
- [56] K. Brosens, D. Van Gemert „Anchorage of externally bonded reinforcements subjected to combined shear/bending action”, Conferința CICE, HK, China, 2001.
- [57] K.C. Chang, L.L. Chung, B.J. Lee, Y.F. Li, K.C. Tsai, J.S. Hwang, S.J. Hwang „Seismic Retrofit Study of RC Bridge Columns”, Prezentat la seminarul cu tema „International Training Programs for Seismic Design of Building Structures, 2002.
- [58] F. Kamalodeen, A. K. Sharma „Fibre Reinforced Concrete Rectangular Members Under Combined Bending, Shear And Torsion”, 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, Columbia University, New York, NY, June 2-5, 2002.
- [59] Dat Duthinh, Monica Starnes „Strength and Ductility of Concrete Beams Reinforced with Carbon FRP and Steel”, Contract „NSTIR 6830”, U.S. Department of Commerce, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, USA, 2002.
- [60] R. Capozucca, M. Nilde Cerri „Static and dynamic behaviour of RC beam model strengthened by CFRP-sheets”, Publicat în „Construction and Building Materials 16 (2002)”, pag. 91-99, Editura Elsevier, 2002.
- [61] Peter F. Takács, Terje Kanstad „Strengthening Prestressed Concrete Beams with Carbon Fiber Reinforced Polymer Plates”, Publicat pe site-ul „Nordic Concrete Research”, la adresa: <http://www.itn.is/ncr/publications/pub-25.htm>
- [62] R. Delpak „FRP Strengthening of RC Flexural Members - Ductility Issues”, Conferința ACIC, Southampton, 2002.
- [63] A. F. Ashour „Size of FRP laminates to strengthen reinforced concrete sections in flexure”, Publicat în „Structures & Buildings” Nr. 152 , Partea 3, 2002.
- [64] R. Delpak, D.B. Tann, E. Andreou, M. Abuwarda, D.K. Pugh „FRP Strengthened Behaviour of RC Flexural Elements Subjected to Degradation Influences”, Conferința ACIC, Southampton, 2002.

- [65] J. Yao, J.G. Teng, L. Lam „Debonding in RC cantilever slabs strengthened with FRP strips”, Proceedings of the „International Conference on Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction”, UK, , pp. 125-133, 15-17 April 2002.
- [66] A.A. El-Refaie, A.F. Ashour, S.W. Garrity „Premature Failure of RC Continuous Beams Strengthened with CFRP Laminates”, Conferința ACIC, Southampton, 2002.
- [67] J. Yang, J.F.Chen, J.G. Teng „Interfacial Stresses in Plated RC Beams Under Arbitrary Symmetric Iods: a High-Order Closed-Form Solution”, Presentation, University of Leeds, 2002.
- [68] Anthony J. Lamanna, Lawrence C. Bank, David T. Borowicz, Dushyant Arora „Strengthening Of Concrete Beams With Mechanically Fastened FRP Strips”, Publicat la „Third International Conference on Composites in Infrastructure”, University of Arizona, 2002.
- [69] Herman C.Y. Luk, Christopher K.Y. Leung „Effect of Flexural Cracking on Plate End Shear Stresses in FRP-Strengthened Beams”, Universitatea de Știință și Tehnologie, Hong Kong , Departamentul Inginerie Civilă, Prezentare, 2002.
- [70] Jonathan Hulatt, Prof Len Holloway, Anthony Thorne „A New Prepreg Material Used In Conjunction With Concrete To Form A Structural Unit”, Conferința ACIC, Southampton, 2002.
- [71] Oral Buyukozturk, Oguz Gunes, Erdem Karaca „Characterization And Modeling Of Debonding In RC Beams Strengthened With FRP Composites”, 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, Columbia University, New York, June 2-5, 2002.
- [72] Christopher K.Y. Leung, Yong Yang „A Fracture-Based Model For Debonding Of FRP Plate From Concrete Substrate”, 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, Columbia University, New York, June 2-5, 2002.
- [73] Nabil F. Grace, S.B. Singh „Design Approach for Carbon Fiber-Reinforced Polymer Prestressed Concrete Bridge Beams”, Publicat în „ACI Structural Journal”, Titlul nr. 100-S40, Mai-Iunie, 2003.
- [74] J.F. Chen, J.G. Teng „Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding”, Publicat în „Construction and Building Materials 17”, Pag. 27-41, Editura Elsevier, 2003.
- [75] Houssam Toutanji, Yong Deng „Deflection and crack-width prediction of concrete beams reinforced with glass FRP rods”, Publicat în „Construction and Building Materials 17”, Pag. 69-74, Editura Elsevier, 2003.
- [76] Z.J. Yang, J.F. Chen , D. Proverbosc „Finite element modelling of concrete cover separation failure in FRP plated RC beams”, Publicat în „Construction and Building Materials 17”, Pag. 3-13, Editura Elsevier, 2003.
- [77] Damian I. Kachlakev „Behavior Of Historic Reinforced Concrete Bridge Retrofited For Flexure And Shear Deficiencies With Externally Applied FRP Composites: Testing, Strengthening Design Method, And Finite Element Modeling”, fib Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003.
- [78] Damian I. Kachlakev „Design And Evaluation Of Full-Size Beams Strengthened For Shear And Flexure With FRP Composites: Testing, Parametric Studies And FEM Analysis”, fib Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003.
- [79] Issam Harik, Tong Zhao, Ching Chiaw Choo „Preservation Of Existing Bridges In Kentucky Using Advanced Composites”, Publicat în „19th US-Japan Bridge Engineering Workshop”, 27-29 Oct. 2003.

- [80] Oral Buyukozturk, Oguz Gunes, Erdem Karaca „Progress on understanding debonding problems in reinforced concrete and steel members strengthened using FRP composites”, Publicat în „Construction and Building Materials 18”, Pag. 9-19, Editura Elsevier, 2004.
- [81] Michele Barbato, Giorgio Monti, Federico Santinelli „Fiber-Section FE Of FRP-Strengthened RC Beam For Seismic Analysis”, fib Symposium „Concrete Structures in Seismic Regions”, Atena, 2003.
- [82] Bob C., Dan S., Gruin A., Zeno D. “Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones Using CFRP”, Proceedings of the fib Symposium, Budapest. [2005, 23-25 mai]
- [83] Ceroni Francesca, Pecce Marisa “Strength and Ductility of RC Beams Strengthened with FRP Sheets Under Monotonic and Cyclic Loads”, Proceedings of the fib Symposium, Budapest. [2005, 23-25 mai]
- [84] Castro Eliane K., Melo Guilherme S., Nagato Yoshiaki “Flexural Strengthening Resistance of RC Beams with Carbon Sheet Laminates (CFRP) by the AICI 440”, Proceedings of the fib Symposium, Budapest. [2005, 23-25 mai]
- [85] Zhang G.F., Kishi N., Mikami H. “Effects of Design Parameters on Flexural Behaviour of RC Beams Reinforced with FRP Sheet”, Proceedings of the 2nd International fib Congress, Napoli. [2006, 5-8 iunie]
- [86] Jason Delaney, Vistasp M. Karbhari “Defect Criticality In FRP Strengthening”, Proceedings of the FRPRCS-8, Patras. [2007, 16-18 iulie]
- [87] Cornelia Magureanu, Bogdan Heghes, Adela Chiorean “Strengthening With Carbon Fibers – Experimental Study”, Proceedings of the FRPRCS-8, Patras. [2007, 16-18 iulie]
- [88] J.A.O. Barros, S.J.E. Dias, J.L.T. Lima “Analytical and numerical analysis of the behaviour of RC beams flexural strengthened with CFRP”, CICE2008, Zurich. [2008, 22-24 Iulie]
- [89] Y. Takahashi “Flexural Strengthening of RC Beams with CFRP Sheets and U Jackets”, CICE2008, Zurich. [2008, 22-24 Iulie]
- [90] InSung Kim, James O. Jirsa, Oguzhan Bayrak “Use of CFRP to Strengthen Lap Splices of Reinforced Concrete Columns”, Proceedings of the 17th Congress of IABSE, Chicago. [2008, 17-19 septembrie]
- [91] Mohamed A. ElGawady, Haitham M., Dawood Messay Endeshaw “Lateral Displacement of Rectangular Reinforced Concrete Columns Retrofitted Using FRP”, Proceedings of the FRPRCS-9, Sydney. [2009, 15 iulie]
- [92] Dionysis A. Bournas, Thanasis T. Triantafillou “Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Columns with Near-Surface-Mounted FRP or Stainless Steel”, AICI Structural Journal, Iulie-August 2009.
- [93] Liu Hang, Liu Hang, Yang Xuezhong “Seismic Behaviors And Ductility Of Reinforced Concrete Columns Wrapped With CFRP Sheets”, 3rd fib International Congress, Washington. [2010, 29 mai-2 iunie]
- [94] Roberto Capozucca “Bond-Slip Effects In RC Beams Strengthened With Near Surface Mounted CFRP Rods”, fib Symposium, Prague. [2011, 8-10 iunie]
- [95] „Externally bonded FRP reinforcement for RC structures”, fib14 Technical report al Task Group 9.3, Iulie 2001.
- [96] „Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, Raport al ACI Committee 440, Iulie 2008.
- [97] M. Yekrang Nia, M.A. Dastan, A. Vafai “Nonlinear Seismic behavior of an RC frame repaired by FRP laminates”, 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, 12-17 octombrie 2008.

- [98] Silvia Rocca, Nestore Galati, Antonio Nanni "Interaction diagram methodology for design of FRP-confined reinforced concrete columns", Construction and Building Materials 23 – 2009.
- [99] "Eurocod 2: Proiectarea structurilor din beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri", SR EN 1992-1-1, Iulie 2006.
- [100] Vladimír Červenka, Libor Jendele, Jan Červenka "ATENA Program Documentation", Prague, February 23, 2011. [www.cervenka.cz](http://www.cervenka.cz)