

# Reabilitarea panourilor din beton armat prefabricate folosind lamele din CFRP aplicate pe exterior

**Teză de doctorat – Rezumat**

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Civilă

**autor ing. Fofiu Mihai**

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

luna 10 anul 2017

Această lucrare aparține domeniului ingineriei seismice și abordează comportamentul pereților prefabricați din beton armat la acțiuni seismice. Obiectivele tezei sunt investigarea performanței seismice a pereților din beton armat prefabricat și evidențierea efectelor reabilitării seismice cu lamele din fibră de carbon aplicate pe exterior. Programul experimental a constatat în zece teste ciclice cvasi-stactice pe pereți din beton armat prefabricați la scară apropiată de cea reală. Variabilele experimentale au constatat în tipul deschiderii și în strategia de reabilitare. Influența dimensiunii golului asupra rezistenței la tăiere, rigidității și ductilității a fost considerabilă. Reabilitarea panourilor folosind tehnica CFRP-EBR a îmbunătățit caracteristicile de comportament, în primul rând în ceea ce privește capacitatea portantă maximă și deplasarea maximă; cu toate acestea, au fost identificate și anumite limitări privind utilizarea acestui sistem de consolidare în aplicații ciclice inversate.

## 1. INTRODUCERE

### 1. Cadru

Această lucrare abordează răspunsul seismic al pereților din beton armat prefabricați și posibilitatea de a-i reabilita. În epoca comunistă a României a existat o cerere mare de locuințe noi pentru locuitorii din zonele urbane, astfel nevoia clădirilor cu un comportament bun la acțiuni seismice și rapiditate în construire a fost necesară. Răspunsul a apărut sub forma clădirilor tipice din estul Europei, realizate din pereți structurali realizați fie din panouri mari din beton armat prefabricate (PRCLP), fie monolitic. În ceea ce privește funcționalitatea, aceste clădiri de apartamente nu corespund standardelor de viață de astăzi, iar proprietarii unor astfel de apartamente sunt în căutare de soluții pentru a îmbunătăți confortul locuinței lor prin modificarea compartimentării existente. Cu toate acestea, acest lucru se dovedește a fi destul de dificil deoarece sistemul structural cu pereți din beton armat nu este modular, forțând ocupanții să creeze noi deschideri în pereții existenți sau să crească deschiderile existente prin decupaje. În ultimele decenii, s-au înregistrat progrese considerabile în procedeele de proiectare a pereților din beton armat (RC) pentru construcții noi, cum ar fi noile principii de proiectare seismică bazate pe performanță și design de capacitate. Alături de aceste progrese în ceea ce privește construcția de clădiri noi, cercetarea a început în domeniul reabilitării acestor clădiri cu pereți din beton armat ca sistem structural, existând atât de multe posibilități de deschidere, proiectare diferită a panourilor pe parcursul anilor și strategii distincte de reabilitare, căutarea continuă pentru cea mai eficientă procedură de reabilitare și înțelegerea efectului tăierii de goluri noi asupra comportamentului seismic.

## 2. Motivație și obiective

Tema de cercetare este axată pe studii experimentale privind comportamentul panourilor mari din beton armat prefabricate supuse la încărcări ciclice, simulând acțiunea seismică. Obiectivele acestei teze sunt de a oferi o înțelegere mai aprofundată și de a îmbunătăți cunoștințele asupra câtorva discuții-cheie.

- Cum se comportă panourile mari din beton armat prefabricate și cum cedează atunci când sunt supuse încărcării ciclice inverse în plan?

- Poate reabilitarea elementelor folosind lamele ERB-CFRP să restabilească capacitatea portantă inițială a pereților?

- Cum influențează procedura de reabilitare modul de cedare al elementelor?

- Dimensiunea și tipul de deschidere influențează comportamentul și capacitatea portantă la stările limită?

- Care este capacitatea de disipare a energiei a pereților cu deschideri diferite și cum se compară cu cele cu cei reabilitați?

- Sunt dispozițiile codului de proiectare pentru estimarea rezistenței la forfecare precise?

- Cum se compara rezultatele obținute cu cele disponibile în literatura de specialitate?

## 3. Prezentare generală a tezei

Teza este compusă din șase capitole și două anexe care totalizează peste 180 de pagini. Teza se concentrează asupra a zece teste cvasi-stactice ciclice pe panouri mari prefabricate la scară apropiată de cea reală.

În primul capitol se prezintă cadrul tezei, se dau motivația și obiectivele care conduc la cercetare și se prezintă o imagine de ansamblu a tezei.

Capitolul 2 oferă o prezentare generală a zonelor seismice din România și modalitățile în care oamenii de știință încearcă să prezică cutremurele. În plus, este prezentată distribuția celui mai popular și mai utilizat sistem de construcții pentru clădiri de locuințe din România, cu prezentarea prototipului folosit pentru campania experimentală. Ulterior, este prezentată o revizuire a literaturii de specialitate privind testele pe pereți din BA, urmată de o descriere a strategiilor și materialelor de rețehnologizare și o revizuire extensivă a testelor pe pereți din BA reabilitați.

În capitolul 3 este prezentată o descriere detaliată a programului experimental. Capitolul începe cu cronologia testelor alături de descrierea eșantioanelor experimentale în ceea ce privește dimensiunile, detaliile de armare etc. Ulterior, sunt prezentate proprietățile celor trei tipuri de materiale folosite. O atenție deosebită a fost acordată descrierii strategiilor de reabilitare utilizate în teză și a tehnicilor utilizate pentru aplicarea acestora. Tot în acest capitol sunt detaliate și setarea testului, protocolul de încărcare și condițiile limită. Descrierea programului experimental se încheie prin instrumentarea elementelor.

În capitolul al patrulea, rezultatele obținute din cele zece teste ciclice pe pereți sunt redată în două moduri, și anume rezultatele primare și jurnalele detaliate de testare. Rezultatele primare constau în curbele forță-deplasare, modelul final de fisurare, o scurtă descriere a modului de comportament și de cedare observat și un număr limitat de fotografii privind detaliile de cedare. O altă parte extensivă a capitolului este analiza rezultatelor. În conformitate cu caracteristicile generale de performanță seismică ale elementelor de rezistență la acțiuni seismice s-au efectuat următoarele tipuri de analize: analiza rezistenței și ductilității, analiza deplasării, analiza rigidității, studiul teoretic și analiza disipării energiei. Pe lângă analiza răspunsului seismic, aspectele de comportament observate specifice elementelor de beton au fost abordate și prin analiza crăpăturilor.

În capitolul 5 se trag concluziile cu privire la efectul de reabilitare folosind sistemul cu

lamele FRP-EBR asupra răspunsului ciclic al panourilor din beton armat prefabricate. Capitolul este încheiat printr-o relatare publicațiilor autorului și a contribuției sale personale la această lucrare.

În ultimul capitol, este prevăzută o perspectivă pentru viitoarele direcții de cercetare.

Anexele conțin informații descriptive suplimentare care constau în diagrame care ar fi fost perturbatoare dacă ar fi prezentate în corpul principal al tezei. În anexa A se face o comparație între eșantioane similare în ceea ce privește analiza curbelor forță-drift și în anexa B sunt prezentate jurnale detaliate de testare pentru toate eșantioanele.

## 2. STUDIUL LITERATURII

### 1. Zonele seismice în România

România este situată în partea sud-estică a Europei Centrale și este a douăsprezecea țară din Europa, având în vedere aria ei de 238391 km<sup>2</sup> [1]. În partea de sud, România se învecinează cu Serbia și Bulgaria, o parte a acestei frontiere fiind Dunărea (1075 km). Alte frontiere sunt cu Ungaria, Ucraina, Moldova și Marea Neagră. Țara este traversată de munții Carpați, care sunt o subdiviziune a sistemului mai mare al Alin-Himalayan care aparține centurii Alpide. Conform USGS [2], centura Alpidă este a doua regiune ca activitate seismică la nivel mondial, însumând 17% din cele mai mari cutremure. Situată în litosfera subcrustală la începutul Carpaților Orientali, Vrancea, cea mai periculoasă zonă seismică din România, se caracterizează prin cutremure de profunzime intermediară.

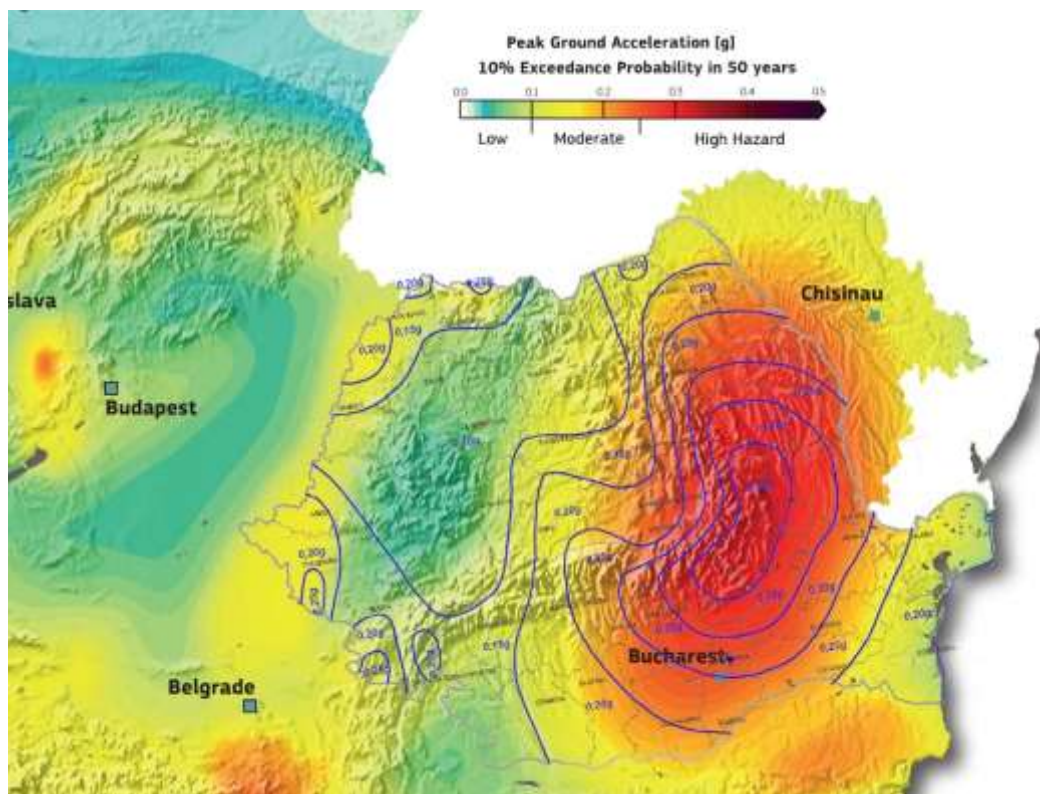


Figura 2 1 Harta SHARE și P100-1 2013, suprapunerea accelerațiilor de vârf pentru României.

"Hazardul seismic descrie un fenomen natural asociat cu un cutremur și poate fi quantificat printr-un grad de severitate (de exemplu, accelerația de vârf a terenului, intensitatea macro-seismică), frecvența și localizarea acestuia" [2]. Predicția hazardului seismic este foarte complicată și dificilă din cauza specificității fiecărei caracteristici a regiunii și analiza clasică a hazardului seismic nu este relevantă vreodată pentru cutremure puternice și profunde în

Vrancea. [3]. O stare completă a tehnicii în ceea ce privește geodinamica și seismicitatea în profunzime intermediară în zonă a fost făcută de Zadeh et al. [2], propunând studii aprofundate în vederea îmbunătățirii mai multor aspecte cheie cum ar fi tipul de studii care ar trebui să se desfășoare în regiune pentru a explica problemele nerezolvate, o mai bună înțelegere a litosferei și a mantalei sub Vrancea și cum să se îmbunătățească prognoza cutremurului și să se dezvolte modele seismice fiabile.

## 2. Clădirile din panouri mari prefabricate în România

În România, unul dintre cele mai răspândite tipuri de construcții de apartamente este cel cu pereți din beton armat prefabricați. Popularitatea acestui sistem structural a câștigat impuls în epoca postbelică al celui de-al doilea războiului mondial, când au fost necesare un număr mare de apartamente în zonele urbane. Potrivit [4] populația urbană care trăia în blocuri de apartamente în 1966 a fost de 17,4% și a crescut la peste 42% în 1977, ajungând la un uimitor 71,4% la începutul anilor nouăzeci. În figura 2.2 este prezentată distribuția locuințelor pe baza materialelor lor de construcție [5] și analizând graficul se poate observa că majoritatea acestora sunt din elemente prefabricate și din beton armat cu o cotă combinată apropiată de 50%. O scurtă examinare a structurilor cu panouri mari a fost publicată de Demeter și colab. [6].

Conventional dwellings distribution based on construction materials in 2011

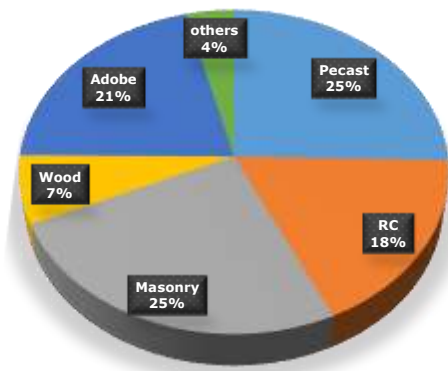


Figura 2.2 Distribuția locuințelor pe baza materialelor de construcție

România are o populație de aproximativ 20 de milioane de locuitori [7], cel mai mare număr pentru populație a fost măsurat în 1992, cu peste 22 de milioane de persoane care trăiau în țară. Deși trendul populației stabile este în scădere, România este a 7-a țară din Uniunea Europeană, în funcție de populație [8] și a 58-a în întreaga lume [9]. Când vine vorba de locuința românilor, 35% din populație trăiește în blocuri de locuințe, adică aproape 7 000 000 de persoane [5]. Dintre acestea, putem spune că 2,75 milioane de persoane locuiesc în clădiri prefabricate și peste 2,50 milioane trăiesc în clădiri cu apartamente din beton armat. Deoarece perioada de construcție de vârf pentru aceste clădiri a fost acum peste 30 de ani, majoritatea locuitorilor din blocurile de locuințe au o locuință veche construită în era socialistă. Pentru teza actuală a fost aleasă o clădire tipică de panouri mari, proiectul românesc tip 770-81 construit după cutremurul din 1977 din 1982, același utilizat în lucrările anterioare legate de performanța seismică a pereților prefabricate, realizate de D. Istvan [10] și C. Todut [11] în cadrul aceluiași program experimental. Pe lângă doi pereți din BA turnați în cadrul lucrările anterioare, s-au turnat 4 pereți noi din BA, speciemele testate au fost construite în conformitate cu reglementările P100 din 1981, normativul revizuit după cutremurul din 1977.

### **3. Teste pe pereți din BA**

Pereții prefabricați din beton armat au fost folosiți în clădiri timp de mulți ani și au avut un comportament bun în timpul cutremurelor de-a lungul istoriei. Au fost elaborate câteva studii majore pentru a investiga răspunsul seismic al acestor panouri supuse la acțiuni seismice.

### **4. Proceduri de reabilitare folosind FRP pentru BA**

În literatură există câteva proceduri de modernizare a structurilor din beton armat. Pe baza caracteristicilor și scopurilor elementelor, se poate alege procedura de reabilitare adecvată. O introducere în FRP, proprietăți, procese și concepte sunt prezentate de M. A. Masuelli [12], care prezintă principalele funcționalități pe care aceste produse le au (Aramide, Compozite, Glass-FRP și Carbon FRP). În acest capitol sunt prezentate mai multe proceduri recente de modernizare folosind FRP.

Fibrele din poliamidă aromatică în care 85% dintre legăturile amidice sunt atașate direct la două inele aromatice sunt numite "aramide". Acestea sunt unul dintre primii polimeri utilizați în modernizarea structurilor existente. Polimerul armat cu fibră de aramidă (AFRP) poate înlocui armarea clasică deoarece nu este predispus la coroziune, încercările de îmbătrânire accelerată pe armătură din fibre de aramidă au fost realizate de Soroushian și colab. [13].

Un alt material care nu este foarte frecvent utilizat în procedurile de modernizare este cu polimeri armați cu fibre de bazalt (BFRP). Aceste fibre au fost dezvoltate pentru prima oară de Institutul de Cercetare din Moscova din sticlă și plastic în anii 1950 prin topirea rocilor de bazalt. O revizuire a acestor fibre de bazalt și a compozitelor lor a fost făcută de V. Fiore și colab. [14]. Prima preocupare cu acest material a fost siguranța, deoarece prezintă o compoziție similară cu azbestul. Cu toate acestea, studiul a arătat că nu reprezintă o amenințare pentru oameni și poate fi folosit în condiții de siguranță. [15, 16]. Proprietățile mecanice ale acestor fibre sunt similare cu cele ale fibrei de sticlă atunci când vine vorba de rezistența la tracțiune, dar modulul elastic al acestor fibre este mai mare [17].

Polimerii armați cu fibră de sticlă (GFRP), așa cum sugerează și numele, este un compozit realizat din fibre de sticlă conținute cu o matrice polimerică. GFRP este mai răspândită în ceea ce privește modernizarea vechilor construcții existente și altele noi decât cele aramide. Unul dintre principalele avantaje este faptul că GFRP este mai ușor de produs și este folosit în diferite domenii cu succes pentru o perioadă lungă de timp. Ca și în cazul AFRP, GFRP vine în mai multe forme.

Cea mai populară modalitate de modernizare a structurilor RC existente este utilizarea polimerilor armați cu fibră de carbon (CFRP). În comparație cu celelalte sisteme FRP prezentate, carbonul are cel mai mare modul de elasticitate și cea mai mare rezistență la tracțiune. Singurul dezavantaj al CFRP este costul, deoarece este mult mai scump decât alte sisteme FRP. Au fost realizate multe studii în ceea ce privește utilizarea CFRP pentru reabilitarea structurală a structurilor din beton armat, în ceea ce privește întărirea forfecării, întărirea încovoierii, confinarea betonului etc

### **5. Testarea seismică a pereților BA reabilitați**

În literatura de specialitate există câțiva cercetători a căror încercări experimentale în ceea ce privește procedura de reabilitare a pereților de BA a îmbunătățit cunoștințele privind comportamentul și capacitățile acestor elemente.

### 3. PROGRAMUL EXPERIMENTAL

#### 1. Introducere

Obiectivul de cercetare este de a simula comportamentul pereților structurali din BA supuși acțiunilor seismice. Programul experimental a implicat testarea elementelor scalate ale PRCLP proiectate și construite în conformitate cu prevederile codului care era în vigoare în anii 1980. Testul experimental a fost efectuat în cadrul Laboratorului de structuri din beton armat din cadrul Departamentului de Construcții, Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnica Timișoara, România. Cercetarea prezentată este o continuare a unei anchete mai ample privind PRCLP începută de I. Demeter [10] și continuată de C. Todut [11].

Au fost efectuate zece teste experimentale pe șase exemplare diferite, cunoscute sub denumirea de PRCWP [13-18], două existente din testele etapei anterioare și patru noi elemente construite, începând cu aprilie 2013 până în iulie 2015, așa cum este prezentat în Figura 3.1. Specimenele testate au avut diferite tipuri de deschidere și decupaje. Mai multe exemplare au fost reabilitate înainte de deteriorare sau post-deteriorare utilizând lamele EBR-CFRP sau EBR-CFRP combinate cu NSM.

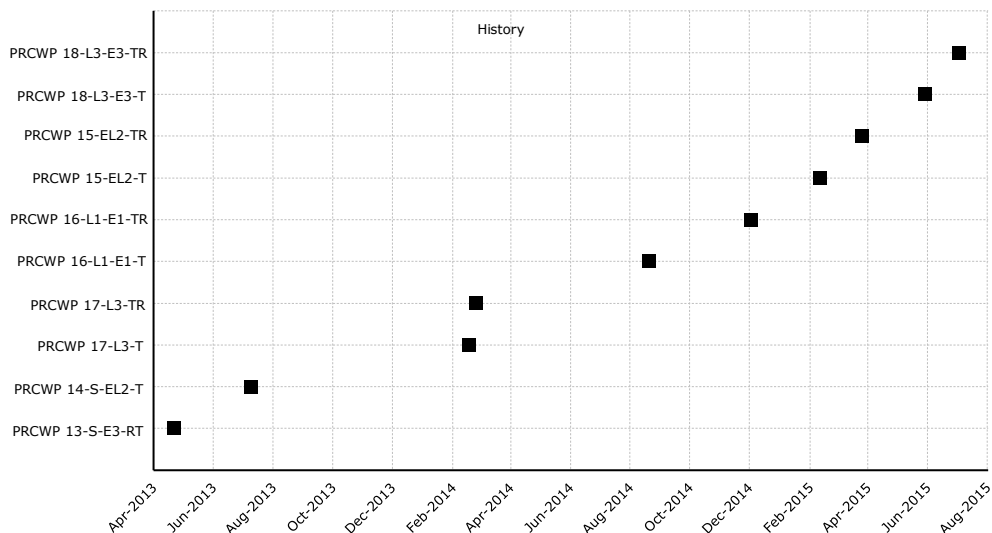


Figura 3 1 Cronologie de testare

#### 2. Caracteristicile elementelor

Elementele experimentale de perete au fost construite și proiectate în conformitate cu practica de fabricare a panourilor mari din România din 1980. În această teză, speci-menele de perete prototip au fost alese pentru a fi peretele interior desemnat I54-2a, iar panoul longitudinal exterior a fost denumit E 36-7. Aceste tipuri de pereți pot fi considerate reprezentative pentru clădirea panoului mare post 1977 și pot fi găsite în mai multe planuri diferite ale seriei 770. Având în vedere limitările impuse de instalația de testare și capacitățile de ridicare ale macaralei, disponibile în laborator, toate elementele testate sunt reduse cu un factor de reducere de 0,83, corespunzând unui model de 1: 1,2. Fiecare element de testare experimental poate fi numit perete, deoarece reprezintă un singur etaj. Pentru a simula îmbinările de conectare către panourile adiacente ale condițiilor de construcție, toate unitățile testate au elemente de margine în formă de T care, de asemenea, împiedică deplasarea în afara planului în timpul încărcării

laterale în plan. Aceste elemente sunt denumite aripi.

Specimenele testate în această teză au fost fabricate în două șantiere diferite. Două din cele șase exemplare, respectiv 13 și 14, au fost fabricate în Timișoara în 2007 cu armatura și betonul furnizate de firma de construcții. Celelalte patru exemplare au fost fabricate în Stei, județul Bihor, la o stație de beton din cadrul unei firme de construcții. Toți au fost turnați în poziție orizontală și vibrați în cofraje.



Figura 3-1 Turnarea elementelor

Deoarece cele două elemente fabricate în Timișoara erau elemente solide și în această teză autorul dorea două mostre cu diferite deschideri, două deschideri fiind proiectate și decupate din elemente în laborator, prin îndepărtarea unei porțiuni în formă de ușă mare dintr-un perete solid, conturul dreptunghiular al panoului se schimbă și devine un element asemănător cadrului, alcătuit din două coloane și o grinda deasupra deschiderii. Pentru programul experimental, autorul a trebuit să testeze exemplarele ca fiind mai nereabilitate și apoi să le repare și să le întărească, pentru a le putea retesta. Astfel, speci­menele au fost denumite folosind notații distinctive prin adăugarea la sfârșitul eșantioanelor testate a numelui sufixului T, TR sau RT. T reprezintă un element neîntărire supus încercării înainte de deteriorare, TR pentru elementul testat, reabilitat și testat din nou RT pentru elementele reabilite înainte de deteriorare și testate. Toate speci­menele au avut un fel de deschidere inițială, iar armarea este în concordanță cu tipul de deschidere. În grinda de cuplare deasupra fiecărei deschideri se află o carcasă spațială din oțel, alcătuită din 4 bare de diametru de  $\text{Ø}10$  mm cu etriere  $\text{Ø}8$  mm. Lungimea carcase de armatura a deschiderii înguste a ușilor sau ferestrelor diferă de cea a ușii mari sau a deschiderii ferestrei mari. Elementul PRCWP 15-EL2 a avut o carcasă de armatură spațială verticală pe toată înălțimea montantului din stânga, carcasă din 6 bare de diametru  $\text{Ø}6$  mm și etrier  $\text{Ø}6$  mm. În toți montanții elementelor care nu au fost armați cu carcase, s-au prevăzut bare de oțel verticale și orizontale și sârmă sudată. În parapetul tuturor elementelor a fost plasată o plasă sudată de diametre de  $\text{Ø}8$  mm, fire trase la rece la pas de 150 mm. Se poate observa pentru eșantioanele cu decupaje de deschidere cum a fost plasată armătura pentru a simula tăierea deschiderii prin barele și plasa sudată.

### 3. Proprietățile materialelor

Materialele folosite la testele pe pereți au constat din beton, armătură din oțel, armătură CFRP și mortar de reparații. Testele, în conformitate cu [18], au fost efectuate pe cuburi din beton din toți pereții, în timp ce pentru pereții fabricați în Timișoara, testul materialului a fost efectuat, de asemenea, de către Demeter [10], pe oțel în conformitate cu [19, 20].

Betonul a fost asigurat de stația de beton în care au fost construiți pereții și a fost pregătit

în conformitate cu rețeta de beton pentru clasa de beton C16/20. Din fiecare element s-au obținut șase probe pe cuburi de 150 mm, după ce betonul s-a așezat și s-a întărit timp de una sau două zile, probele au fost îndepărtate din matrițe și au fost introduse în bazinul de apă și menținute acolo în timpul dezvoltării rezistenței.

Testele privind rezistența la compresiune a cuburilor au fost efectuate la Laboratorul de Construcții, Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnică Timișoara, România, folosind presa de testare la compresiune de 2000 kN, probele au fost testate după durată de întărire minimă de 39 de zile și maxim 66 de zile, astfel încât coeficientul  $\beta_{cc}(t)$ , dat în Eurocod 2 [21], pentru variația rezistenței betonului în timp nu a fost considerat necesar. Rezultatele testului de compresie obținute sunt similare pentru toate probele, ceea ce indică o calitate bună și constantă a betonului, totuși se poate observa că rezistența la compresiune a betonului indică pentru PRCWP 17-L3 o clasă care este superioară celei dorite C16 / 20. Acest lucru poate fi atribuit rețetei folosite care a fost făcută pentru a asigura de fiecare dată o calitate minimă C16 / 20. Din tabelul 1 se poate observa că rezistența la compresiune a probelor din PRCWP 18-L3-E3 este extrem de scăzută, deoarece probele au înghețat în matrițe înainte de a le pune în apă. Din fericire, în timpul transportului și testului s-a observat că specimenul nu a avut aceeași rezistență scăzută la compresiune, astfel încât a fost asumată o forță similară cu celelalte.

Table 1 Proprietățile betonului

Element	$f_{cm,cube}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Class
PRCWP 15-EL2	27,35	22,43	16,91	C16/20
PRCWP 16-L1-E1	29,03	23,80	17,95	C16/20
PRCWP 17-L3	34,1	27,96	21,08	C20/25
PRCWP 18-L3-E3	10,25	8,41	6,34	C6/7,5

Pentru elementele fabricate în Timișoara, au fost efectuate teste de tracțiune prin intermediul mașinii universale de testare a laboratoarelor de structuri metalice de la Universitatea Politehnică Timișoara pentru fiecare tip de armătură utilizată, și anume: barele netede (OB37), nervuri (PC52) - plasă sudată cu bare sudate (STNB). Aceste teste au fost făcute de Demeter [10]. Pentru speciemenele fabricate în Stei, proprietățile armăturii sunt considerate ca fiind caracteristicile armăturii tipice din României.

Pentru repararea betonului care a fost foarte deteriorat, mortarul de înaltă rezistență a folosit a fost de la Mapei. S-au folosit două tipuri de mortar, unul fiind Mapegrout Rapido, care are proprietatea timpului de fixare rapidă între 50-60 de minute [22], celălalt mortar folosit fiind Mapegrout Easy Flow GF, care este un mortar de ciment, tixotrop, pre-amestecat fabricat din lianți hidraulici rezistenți la sulfat, fibre sintetice din poliacrilonitril, fibre anorganice, inhibitori organici de coroziune, aditivi speciali și agregate selectate [22].

În această lucrare s-au folosit trei tipuri de compozite FRP, laminate din fibră de carbon de la Mapei pentru sistemul principal de consolidare, țesătură din fibră de carbon unidirecțională utilizată pentru ancore, rețeaua de fibră de carbon utilizată pentru confinare. Proprietățile produselor experimentale CF și ale matricei de rășină sunt luate din fișele de date furnizate de producător.

#### 4. Repararea și Consolidarea

Autorul acestei lucrări a adoptat două strategii de consolidare a elementelor experimentale, una utilizând polimeri armați cu fibre de carbon pe suprafață (CFRP) combinată cu CFRP combinată cu polimeri armați cu fibre de carbon extern (EBR) și cealaltă folosind armatura montată pe exterior (EBR) laminate din fibre de carbon (CFRP). Strategiile de



consolidare sunt adoptate conform modului observat a comportamentului și a cedării elementelor neîntărire (referință), cu accent pe zonele critice. Fiecare element are propria sa strategie de consolidare unică, bazată pe ceea ce sa observat în timpul testelor neîntărire. Caracteristicile generale ale comportamentului eșantioanelor de referință au fost următoarele: fisurarea diagonală a montanților la taiere a fost motivul principal de cedare, zdrobirea betonului la îmbinarea montantului cu grinda de cuplare, zdrobirea betonului extremităților inferioare ale montanților.

Prima strategie de consolidare a fost adoptată pentru a elementul nedeteriorat 13 S-E3-RT, singurul specimen care nu a fost testat înainte de consolidare. Având în vedere armarea specimenului, care este specifică unui element solid, și tipul de deschidere cu ușă mare (E3), specimenul a avut doi montanți armați simetric, conectați prin grinda de cuplare. Autorul acestei lucrări prezintă strategia de consolidare numai pentru o față a specimenului, totuși trebuie să rețineți că ambele părți ale specimenului au fost consolidate simetric.

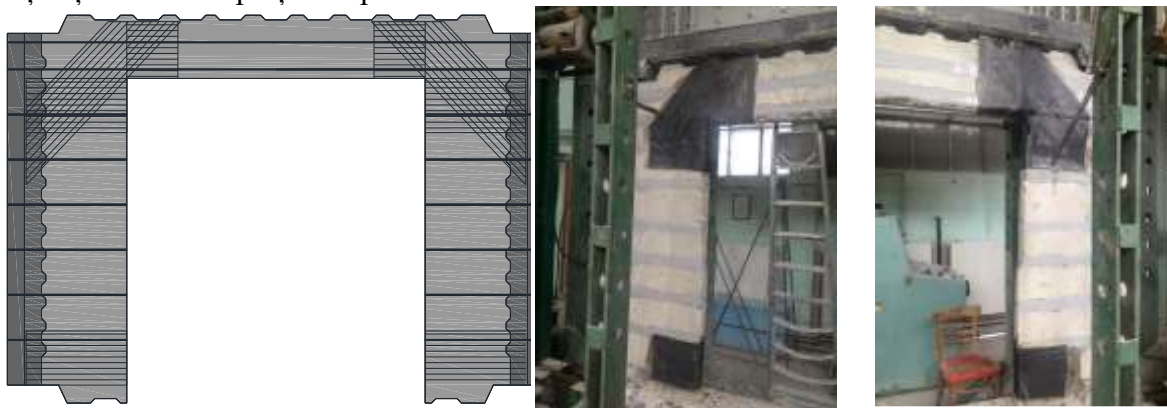


Figura 3-2 Strategia de consolidare utilizând NSM-CFRP combinată cu ERB CFRP

Toate eșantioanele fabricate în Stei au fost consolidate folosind lamele din fibre de carbon (EBR), iar strategia de reabilitare a fost aplicată după deteriorare. Fiecare dintre elementele testate a avut o distribuție ușor diferită a materialelor de consolidare pe suprafața lor, în funcție de comportamentul elementului nereabilitat și de distribuția modelului fisurilor. Câteva detaliile privind strategia de modernizare pentru fiecare element sunt prezentate în Figura. 3.4. În mod similar strategiei de consolidare anterioară, în teză este prezentată doar o față a elementului, însă ambele părți au fost întărite simetric. Dimensiunile lamelor CFRP au fost aceleași pentru toate eșantioanele, au fost de 3,2 cm lățime și 1,4 mm groasă și ancorate folosind fie rețeaua CFRP, fie grila CFRP. Având în vedere faptul că toți pereții au avut un anumit tip de deschidere, grinda de cuplare a avut lamă de CFRP care rulează alături de deschidere pentru toate eșantioanele, cu toate acestea, poziția lamei diferă.

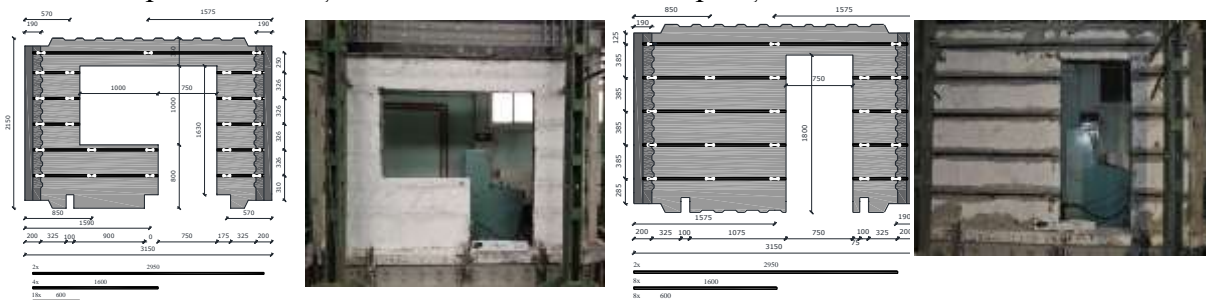


Figura 3-3 Poziția lamelor EBR CFRP

## 5. Configurarea standului experimental

Configurația standului de testare cuprinde patru cadre de reacțiune vertical din oțel cu o capacitate de 1000 kN, ancorate pe punctul de ancorare din oțelul din laboratorul de structuri din beton armat, două cadre de reacțiune pentru forțele laterale din oțel cu o capacitate de 1000 kN, dispozitivul hidraulic de încărcare, pompe hidraulice automate, pompe manuale, o serie de cricuri hidraulice, cilindri și furtunuri de presiune de lucru de 375 bari. Pentru transmiterea forțelor la element au fost utilizate două grinzi de încărcare, una plasat în partea superioară a elementului denumit grinda de încărcare și una în partea inferioară a elementului numit grindă de fundare. Aceste grinzi au fost proiectate de Demeter [10] pentru a fi utilizate în toate testele experimentale care au urmat, de aici și procentul ridicat de oțel în grindă și clasa înaltă a betonului. Grinzile de încărcare constau din două profile de oțel U300 și o grindă T din beton armat, acestea fiind conectate folosind tije filetate  $\Phi 20$  mm. Pentru a conecta grinda de încărcare la cadrele de reacțiune, au fost furnizate detalii speciale de conectare. Pentru grinda de fundare șurub de oțel  $\Phi 70$  mm și pentru grinda de încărcare conexiuni de oțel. Pentru ancorarea peretelui la grinda de fundare, Demeter a proiectat o sudură transversală a armăturii de oțel cu continuitate verticală 4-5, în funcție de tipul de deschidere al elementului, totuși totul în programul său experimental a îmbunătățit sistemul prin sudarea prin traversare a barelor de oțel de la element la profile L din oțel care au fost fixate pe grinda de fundare. În cadrul testelor prezentate în această teză a fost utilizată versiunea îmbunătățită a ancorajului. Spațiul dintre cele două grinzi și proba de perete a fost umplut cu mortar de reparații de înaltă rezistență, același cu cel folosit pentru a repara betonul strivit în timpul încercărilor.

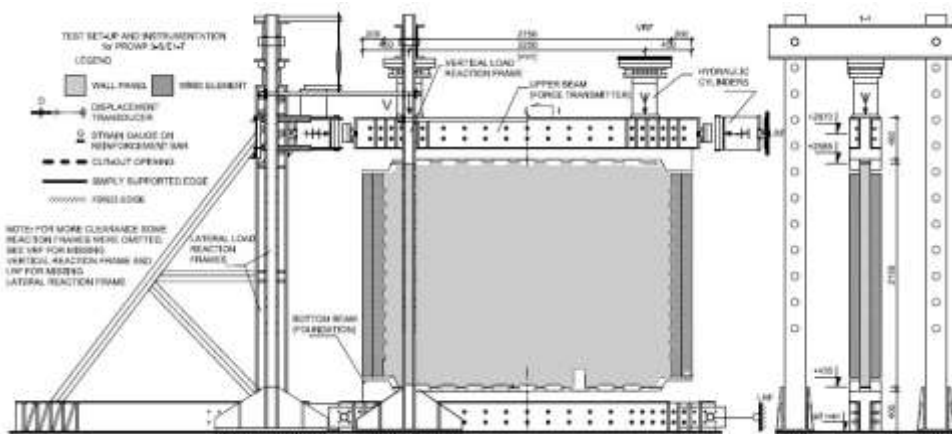


Figura 3-4 Configurarea standului experimental

## 6. Strategia de încărcare

Eșantioanele de testare au fost supuse sarcinilor seismice ciclice inverse cvasistatice și sarcinilor alternante gravitaționale. Pentru încărcările seismice (laterale) a fost adoptată o amplitudine de deplasare crescătoare, control de deplasare. Controlul deplasării a fost considerat drept deplasarea orizontală calculată ca diferența dintre deplasarea orizontală măsurată la vârful eșantionului și deplasarea orizontală măsurată la baza eșantionului. Această distanță este aproximativ egală cu 2150 mm, astfel încât raportul de deplasare de 1% corespunde la 21,5 mm, calculat cu formula:

$$R\% = \frac{\text{drift}}{\text{height}} * 100$$

Amplitudinile de deplasare au fost multiplii ale valorii de bază calculate mai sus, astfel a fost aplicată incrementul ( $\Delta R\%$ ) de 0,1%. Pentru a replica comportamentul real al eșantioanelor, au fost folosite două cricuri hidraulice în partea superioară a grinzii de încărcare, pentru a simula condițiile de încărcare gravitaționale la baza unei clădiri cu cinci etaje. Aceste sarcini axiale au fost constituite dintr-o parte constantă și una alternantă. Acest lucru era necesar pentru a restrânge rotația specimenelor încărcate, acest lucru fiind necesar datorită faptului că grinda de bază nu a fost fixat pe podeaua laboratorului, astfel nu avea astfel forțe de reacție la tensiunea verticală.

## 7. Condiții de deplasare

Programul experimental prezintă un tip de rotație restrâns de condiție limită pentru toate probele de perete. Prin adoptarea acestei condiții limită, am reușit să stimulam comportamentul de forfecare și nu pe cel de încovoiere. Configurația standului de testare are un moment de bază aproape egal cu zero prin conexiunile articulate. Cu toate acestea, în cazul elementelor cu deschideri, precum cele prezentate în această teză, este posibil ca unele momente interioare să se dezvolte. Aceste momente sunt limitate de încărcările axiale crescătoare

## 8. Instrumentarea

Performanța eșantioanelor testate a fost evaluată prin măsurarea a două cantități, și anume deplasările și forțele. Pentru fiecare specimen au fost măsurate un total de 10 deplasări și trei presiuni. Deplasările au fost măsurate folosind potențiometre liniare, au fost fixate fie pe un cadru independent din oțel, fie direct pe specimen. Pentru măsurarea presiunii au fost montate traductoare piezo-rezistive pe furtunurile hidraulice. Au fost necesare trei măsurători, una pentru sarcinile laterale și două pentru sarcini axiale.

## 4. REZULTATE

În acest capitol sunt prezentate rezultatele obținute prin cele nouă teste ciclice de perete. Toate datele înregistrate au fost supuse unei examinări intense și eliminării tuturor "bug-urilor" de achiziție a datelor, prin eliminarea tuturor încercărilor de ciclu nereușite, eliminarea tuturor valorilor duplicate și prin realocarea semnului corect la forță atunci când a fost schimbată direcția de încărcare. Practic, această operație de netezire a fost efectuată prin eliminarea mai multor linii de date din fișierul de date înregistrate, pentru a avea grafice și diagrame fluente și lizibile. După analiza datelor obținute au fost obținute următoarele aspecte importante: comportamentul general observat și modurile de cedare a zidurilor în timpul testelor experimentale, analiza raportului de forță-deplasare, disiparea energiei, ductilitatea elementelor, degradarea rigidității, evaluarea slăbirilor induse de goluri și cartografia fisurilor.

## 1. Detalii și comportamentul elementelor de referință

Aspectele generale de comportament care au fost observate în timpul încercării elementelor de referinței, constau într-un număr semnificativ de fisuri care apar în toate regiunile elementului, zdrobirea betonului la baza și colțurile deschiderilor și curgerea armaturii. Pentru fiecare element a fost creată o prezentare detaliată a comportamentului.

## 2. Detaliile și comportamentul elementelor consolidate cu FRP

În general, aspectele de comportament ale pereților testați au fost așa cum era de așteptat și au fost similare cu elementele de referință. Caracteristicile observate în timpul încercărilor constau în redeschiderea fisurilor existente, din încercările anterioare, desprinderea lamelor FRP, cedarea ancorajelor, apariția unor fisuri noi și strivirea betonului. Cu toate acestea, în timpul acestor teste, nu au lamelle FRP au cedat.

## 3. Analiza forță-deplasare

Pentru a observa performanțele eșantioanelor testate, au fost necesare mai multe tipuri de analize privind răspunsurile la forța și deplasare. Performanța seismică generală a elementelor portante este cel mai bine observată folosind următoarele tipuri de analize: curbă de histerzis, curbele înfășurătoare (înfășurătoarea ciclica M2 și înfășurătoarea ciclica M1), plicurile din coloana vertebrală T1 și T2

Prelucrarea datelor începe cu definirea constituentelor curbei .

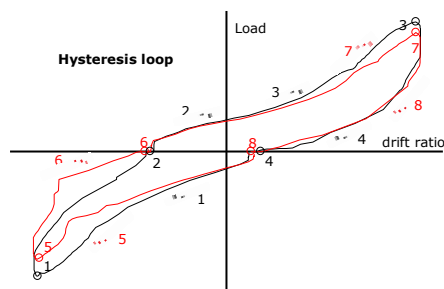


Figura 4-1 Ciclurile și punctele de încărcare

În Figura 4.1 punctele de încărcare a buclei de histerzis și subsecțiunile sale sunt prezentate, la un nivel general de deplasare  $x$ , a unui răspuns general de două cicluri inverse de sarcină-deplasare. Fiecare ciclu este alcătuit din patru subsecțiuni: două secțiuni de încărcare opuse și două secțiuni opuse de descărcare. Fiecare dintre aceste secțiuni este limitată de două puncte: punctul de încărcare maximă (corespunzător deplasării țintă) și punctul de reîncărcare (corespunzător intersecției curbei până la axă). Rețineți că punctul 8 coincide cu punctul 0 pentru următoarea buclă.

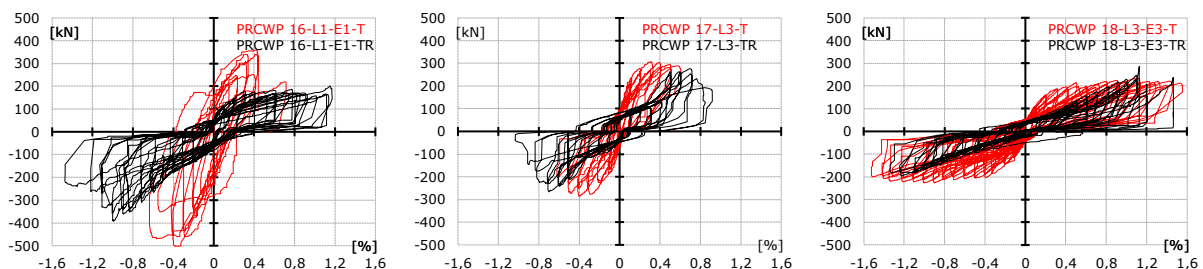


Figura 4-2 Comparăția dintre curbele de histerzis

Atunci când se compară buclele de histerzis ale eșantioanelor de referință și cele consolidate prezentate în Figura 4.2, se poate observa că deplasarea a fost mărită pentru elementele consolidate, iar rezistența laterală de încărcare a fost complet restaurată în cazul PRCWP 18-L3-E3 și în cazul lui 17-L3 a fost restaurată la 93% în comparație cu cel de referință. În cazul lui 16-L1-E1-TR, capacitatea portantă a eșantionului de referință nu a fost atinsă în cazul celui consolidat, aceasta diferență de comportament a fost cauzată de

funcționarea defectuoasă a manometrului.

Înfășurătoarele ciclice pot fi construite pentru orice tip de diagrame de răspuns ciclic. Având în vedere faptul că testul experimental prezentat în această teză este controlat prin deplasare (drift), înfășurătoarele ciclice au fost obținute pentru răspunsul forta deplasare. Pentru construirea înfășurătoarelor ciclice, punctele de încărcare maxime pentru fiecare ciclu, și anume 1 și 3 pentru primul ciclu și 5 și 7 pentru cel de-al doilea, au fost interconectate prin punctele de deplasare crescătoare, obținându-se astfel o sigura înfășurătoare pentru fiecare ciclu, înfășurătoarea C1 pentru primul ciclu și pentru înfășurătoarea C2 pentru al doilea. Pentru a obține înfășurătoarea medie denumită Înășurătoare M2, a fost calculată media aritmică dintre punctele de încărcare de vârf de la C1 și C2, apoi prin conectarea acestor puncte medii de încărcare a fost construită Înășurătoarea M2. Pentru construirea înfășurătorii monotonică a fost calculată media aritmică a valorilor absolute pentru punctele de încărcare de vârf la fiecare ciclu, și anume 1, 3, 5 și 7, apoi prin conectarea acestor puncte medii de încărcare a fost construită Înășurarea M1.

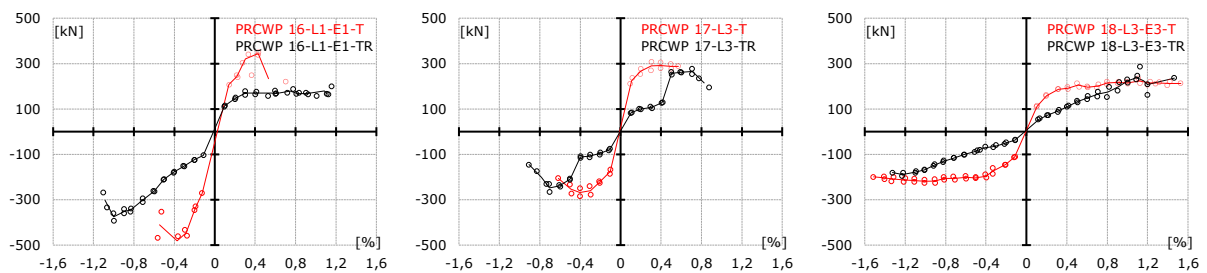


Figura 4-3 Compararea înfășurătorii M2

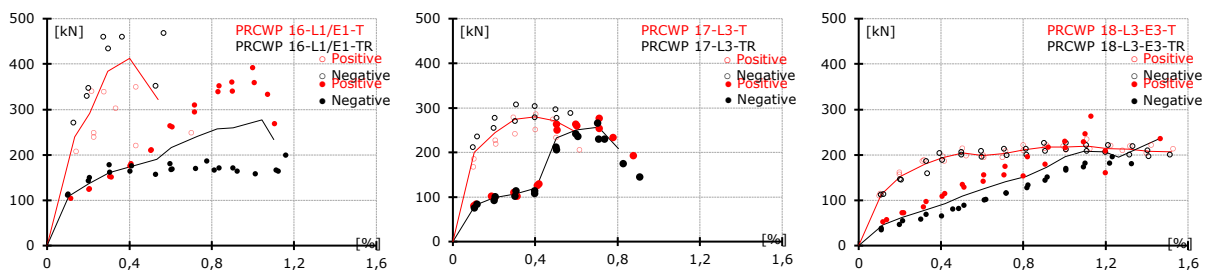


Figura 4-4 Compararea înfășurătorii M1

Autorul acestei teze a adoptat modelul tri-liniar de anvelope, datorită faptului că acesta este cel mai apropiat de răspunsul real, pentru fiecare specimen sunt prezentate două tipuri de anvelope **de coloană vertebrală**. Există multe alte anvelope **de coloană vertebrală**: bi-liniar [23, 24] sau tetra-liniar [25]. Construcția anvelopei tri-liniare presupune definirea a trei puncte de deplasare.

Pentru primul tip de anvelopa prezentat (Tipul 1) cele trei puncte de definire sunt după cum urmează:

- (1) punctul de fisurare - care este momentul când a apărut fisura diagonală,
- (2) punctul de încărcare de vârf - este punctul în care forța laterală a fost cea mai mare
- (3) punctul de cedare - în momentul în care specimenul a pierdut cel puțin 20% din capacitatea sa de încărcare

Pentru cel de-al doilea tip de plic principal prezentat (Tipul 2) cele trei puncte definatorii sunt după cum urmează:

- (1) punctul de curgere - care este punctul în care forța laterală este la 0,85 din punctul de încărcare de vârf,
- (2) punctul de încărcare de vârf - este punctul în care forța laterală a fost cea mai mare
- (3) punctul de cedare - în momentul în care specimenul a pierdut cel puțin 20% din capacitatea sa de încărcare

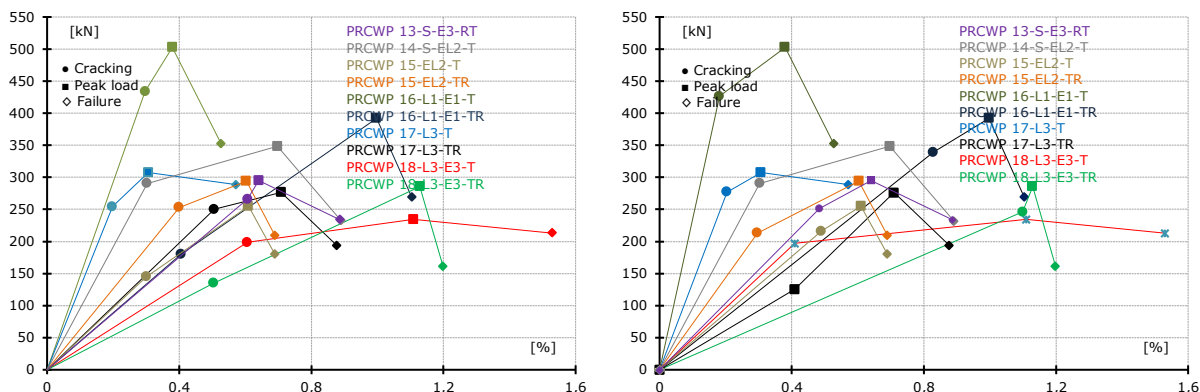
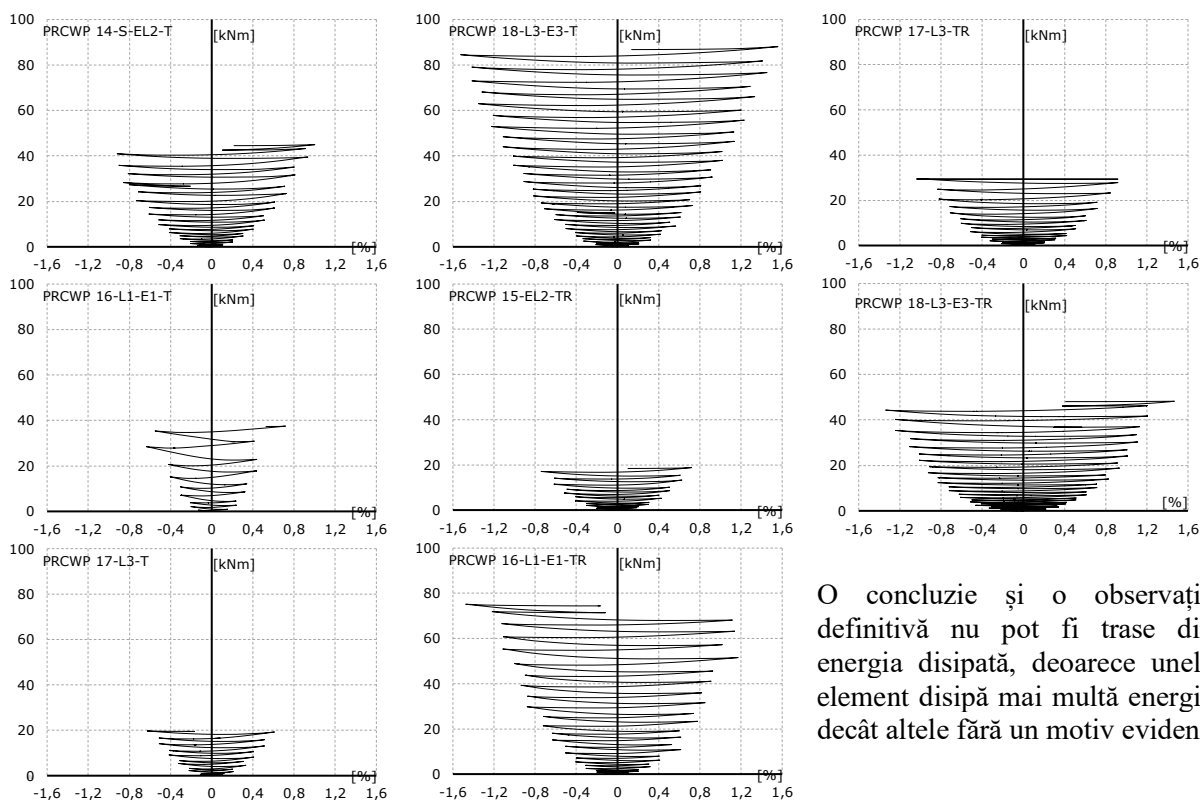


Figura 4-5 Backbone Envelope comparison: (left) Type 1; (right) Type 2

#### 4. Analiza disipării de energie

O importanță deosebită pentru comportamentul clădirilor din panouri mari din beton armat prefabricate este capacitatea de disipare a energiei. În cazul PRCWP, energia disipată este calculată prin utilizarea zonei sub buclele de histerezis forță-deplasare așa cum este prezentat în [171, 172, 59]. În această teză, cantitatea de energie disipată este notată cu ED și energia cumulată disipată este notată cu CED. La fiecare ciclu, ED și CED în direcția atât pozitivă cât și negativă au fost calculate dându-ne rezultatele pe jumătate de ciclu. Pentru a calcula energia cumulată disipată (CED), a fost utilizată următoarea ecuație incrementală pentru întregirea buclei de histerezis forță deplasare:

$$CED_j = CED_{j-1} + (\delta_j - \delta_{j-1}) \times \left( \frac{V_j}{2} + \frac{V_{j-1}}{2} \right)$$



O concluzie și o observație definitivă nu pot fi trase din energia disipată, deoarece unele element disipă mai multă energie decât altele fără un motiv evident

Figura 4-6 Energia cumulativa disipata vs deplasare

## 5. Analiza rezistenței și ductilității

Forța de forfecare variază între 234,5 kN și 502,5 kN. Pentru elementele de referință cea mai mare valoare înregistrată a fost obținută pentru 16-L1-E1, care a avut cea mai mică deschidere. În urma acestei observații, se poate vedea că rezistența eșantioanelor scade odată cu mărirea deschiderii. Având în vedere faptul că elementele au avut clase de beton ușor diferite, se pare că prezența parapetului nu este atât de influentă asupra rezistenței maxime la forfecare a pereților. Pentru eșantioanele consolidate, rezistența a variat de la 276,5 kN la 392 kN cu forfecarea maximă fiind obținută de către 16-L1-E1 TR același eșantion ca și în cazul încercărilor de referință. Aceste rezultate arată că toate eșantioanele cu deschideri similare au avut o rezistență similară. În figura 4.7, toate rezistențele pentru toate eșantioanele sunt prezentate atât ca valoare absolută, cât și ca normalizată comparativ cu valoarea maximă obținută.

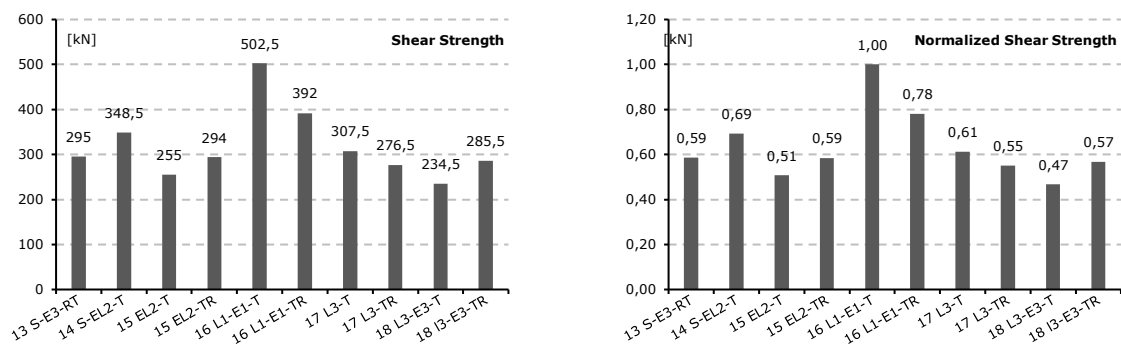


Figura 4-7 Forța de forfecare a eșantioanelor testate

Atunci când se calculează rapoartele de ductilitate, definiția deformării curgerii (deplasare, rotație și curbura) cauzează adesea dificultăți, deoarece relația de rezistență-deplasare poate să nu aibă un punct de curgere bine definit. Cercetători diferiți au folosit definiții diferite, conform Priestley [26], este definită ca intersecția rigidității tangențiale inițiale cu rezistența nominală, intersecția rigidității secante cu prima curgere cu rezistență nominală și deplasarea la prima curgere, în timp ce Park [27] a afirmat că este o deplasare la curgere unui sistem elastic echivalent-perfect plastic echilibrat, cu rigiditate redusă, definit ca rigiditate secantă la 75% din sarcina laterală maximă a sistemului actual. În această teză, metoda  $\mu 0.85$  a fost utilizată ca și în [11] care afirmă că ductilitatea ( $\mu = \Delta u / \Delta y$ ) este raportul dintre deplasarea finală ( $\Delta u$ ), care corespunde pierderii de 20% a rezistenței la forța laterală și deplasarea corespunzătoare la 85% din sarcina laterală maximă pe curba ascendentă.

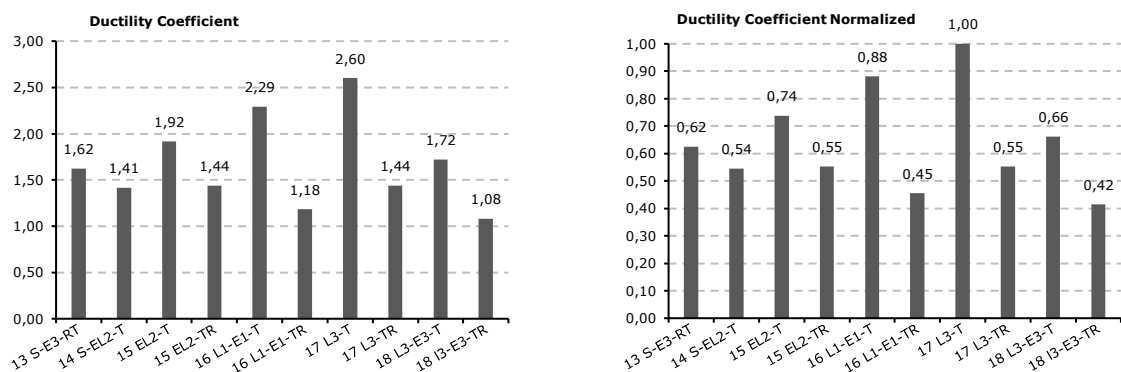


Figura 4-8 Coeficientul de ductilitate

## 6. Analiza deplasării

Principalele caracteristici ale răspunsului seismic sunt definite pe curbele **culoanei vertebrale** ca punct de fisurare, punct de curgere, punct cu forță maximă și punct de cedare. Pe măsură ce punctul de fisurare este atribuit de propria judecată a autorului, acesta nu poate fi folosit în analiza deplasării.

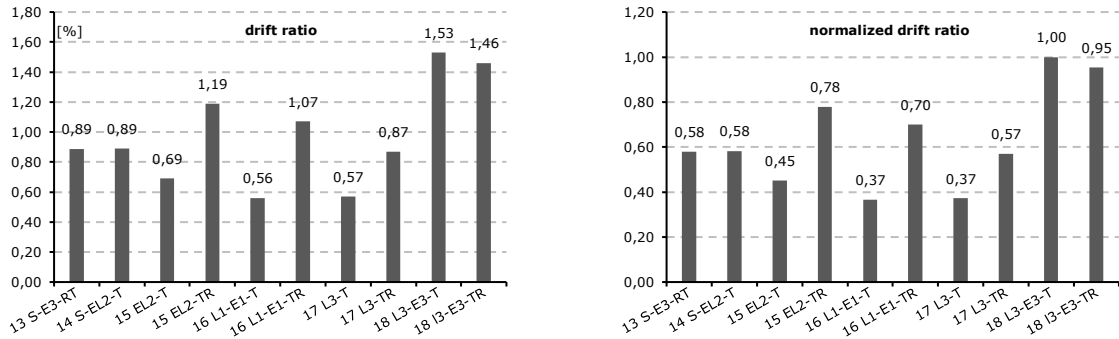


Figura 4-9 Deplasarea pentru toate eșantioanele testate

## 7. Analiza rigidității

Rigiditatea unui element structural este definită ca rigiditatea acestuia și reprezintă raportul dintre sarcina aplicată și deformarea rezultată. Pentru a calcula degradarea rigidității, a fost folosită anvelopa monotonică M1, pe curba rigiditate secanta este panta unei linii care leagă punctul de origine de un punct de pe curbă definit în [10]. Primul punct al graficului corespunde raportului de deviație de 2,15 mm (0,1%) și se numește rigiditate inițială. În Figura 4.10, degradarea rigidității este reprezentată grafic pentru toate elementele.

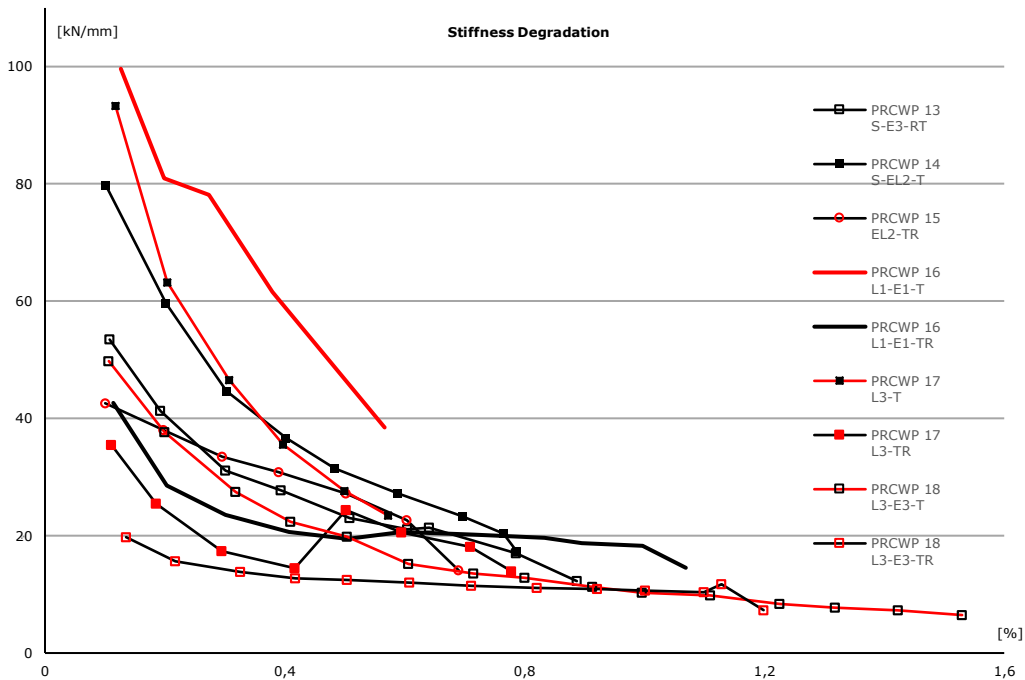


Figura 4-10 Compararea degradării rigidității



## 8. Studiu teoretic utilizând prevederile din Eurocod și CNR

Pentru eșantioanele de referință, pentru a determina rezistența la forfecare, au fost utilizate dispozițiile din secțiunea 6 din Eurocod 2 [21]. Rezistența la forfecare este definită în termeni de  $VR_d, c$ ,  $VR_d, s$ ,  $VR_d, max$

Pentru eșantioanele reabilite s-au utilizat dispozițiile din CNR-DT 200 R1 / 2013 [28] pentru a determina rezistența la forfecare luând în considerare sistemul de consolidare.

În Eurocodul 8 se presupune că  $VR_d, max > VR_d, s$  astfel încât rezistența maximă la forfecare este limitată de curgerea armăturii de forfecare. Se poate observa că predicțiile bazate pe rezistența la forfecare a curgerea armăturii de forfecare sunt extrem de conservatoare pentru elementele testate. În cazul în care rezistența la forfecare este limitată prin strivirea bielei comprimate, se observă că rezultatele care utilizează prevederile Eurocodului sunt supraestimate. Deși pentru pereți cu raport de aspect ( $\alpha_s \leq 1,5$ ), numiți pereți mari întăriți, proiectați în conformitate cu DCM (ductilitate medie), nu se specifică niciun factor de reducere. Cu toate acestea, folosind factorul de reducere pentru clasa de ductilitate ridicată, 0,4 din valoarea determinată în alte regiuni decât cea critică de bază, se poate vedea din Figura 4.11 că acest factor de reducere pare să fie foarte apropiat de realitate, Postelnicu și colab. [29] și Todut [11].

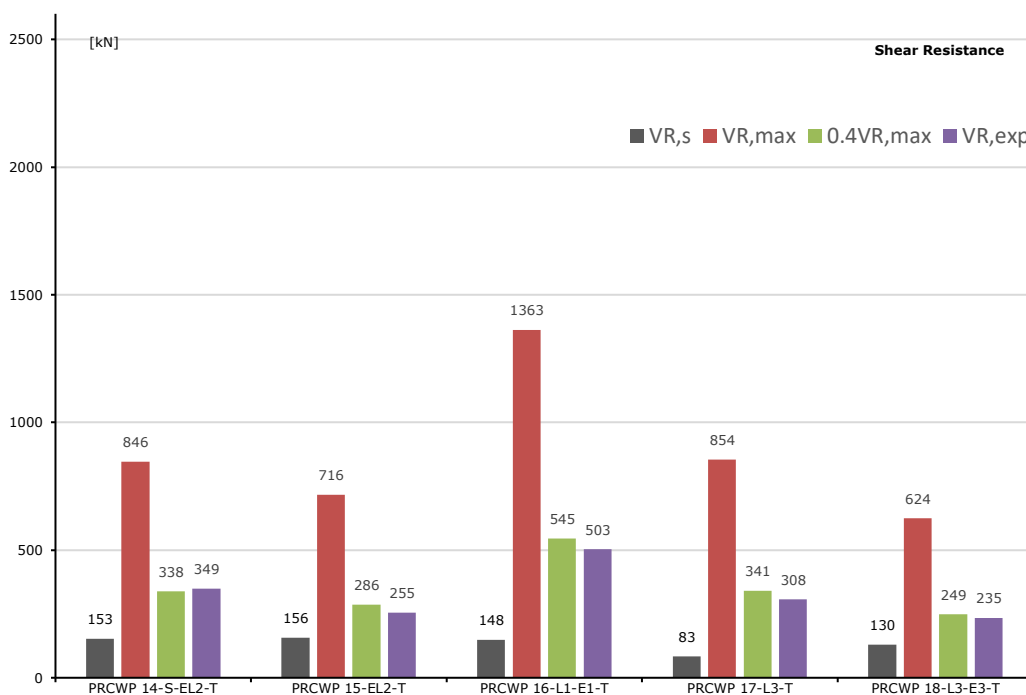


Figura 4-11 Rezistența la forfecare a comparației eșantioanelor de referință

În figura 4.12 capacitatea de forfecare a elementului este calculată pe baza prevederilor CNR. Se poate observa că capacitatea de forfecare a eșantioanelor cu FRP este mai mare decât cea a rezistenței specimenelor limitate de strivirea bielelor comprimate. Cu toate acestea, testul experimental arată că elementul nu atinge forța de forfecare calculată, forța de cedare fiind similară testului inițial. Prin calcularea capacității de forfecare a eșantioanelor cu unghiul stâlpilor comprimați față de axa longitudinală a elementului de  $45^\circ$  Figura 4.13, așa cum se presupune în coduri, putem observa că supraestimarea capacității de forfecare a elementului limitată de zdrobirea bielelor comprimate este mai mare. Aplicând factorul de 0,4, suntem aproape de rezultatele experimentale.

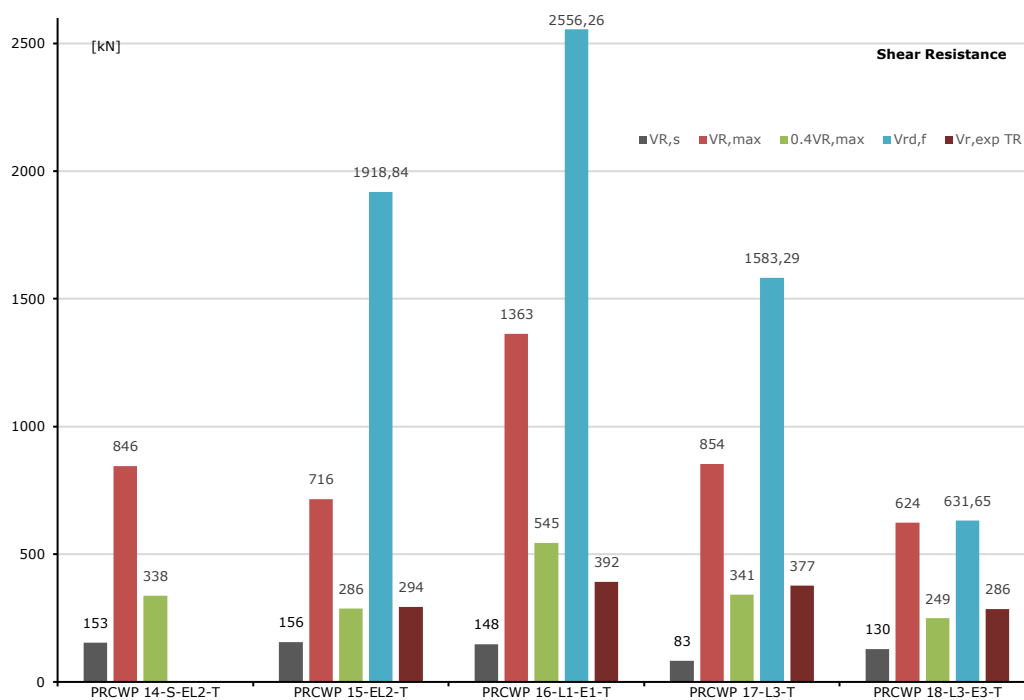


Figura 4-12 Rezistența la forfecare pentru elementele consolidate

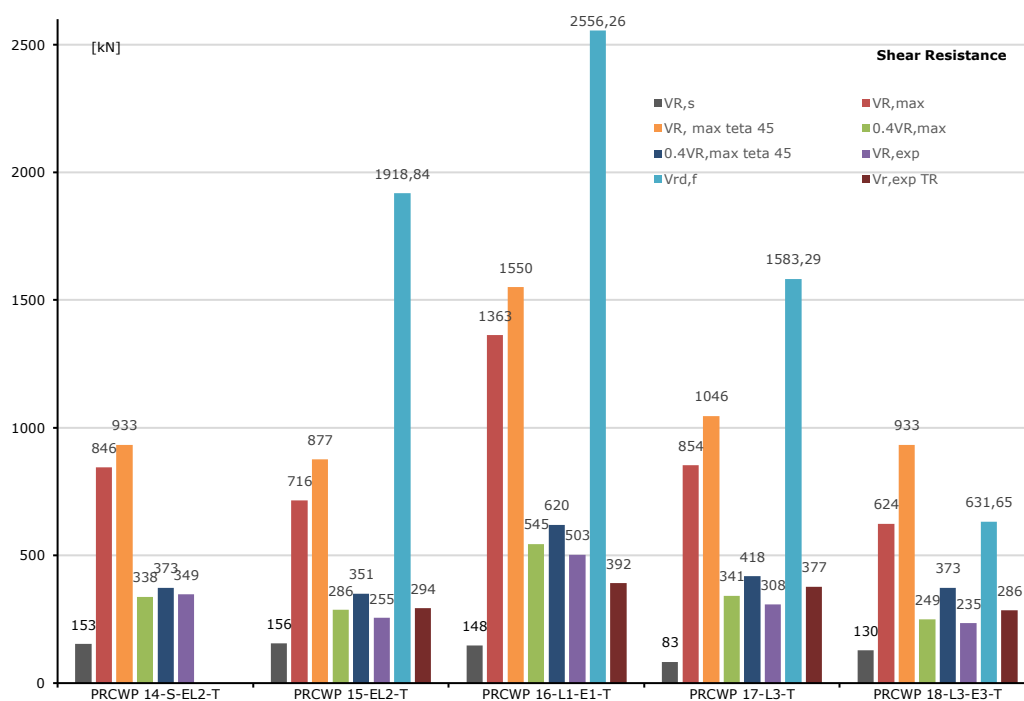


Figura 4-13 Rezistența la forfecare între elementele computerizate

## 9. Tiparul de fisurare

Un aspect foarte important al comportamentului elementelor din beton armat, în afară de răspunsul măsurat, este tiparul de crăpare. În elemente de beton, crăpăturile apar foarte devreme dacă elementul este supus unei încărcări / deplasare crescânde. În această teză, autorul

a monitorizat doar o față a specimenului, și anume fața frontală, deoarece fața din spate era ocupată cu echipament de monitorizare, astfel încât nu era posibil să aibă acces la acea față. Trebuie menționat faptul că modelul de fisurare a fost inspectat și pe fața posterioară, după ce testarea a fost finalizată și echipamentul a fost îndepărtat și sa observat că modelul de fisurare a fost foarte similar pe ambele fețe, majoritatea crăpăturilor de pe fața frontală fiind vizibil și pe fața din spate.

Comportamentul așteptat al pereților din beton armat supuși încărcării laterale în plan este fie o încovoiere, fie o forfecare. Fiecare comportament se caracterizează prin diferite modele de fisurare, pentru comportarea la încovoiere se poate aștepta apariția unor fisuri orizontale, în timp ce comportamentul de forfecare este caracterizat de crăpături înclinate. Totuși, în unele cazuri nu este neobișnuit să observăm fisuri care pornesc orizontal, tipice comportamentului la încovoiere, apoi schimbându-și direcția înclinată, tipică pentru forfecare. Acest caz este cunoscut sub numele de comportament la forfecare

## **5. OCLUCZII SI CONTRIBUTII PERSONALE**

### **1. Concluzii**

Această teză abordează subiectul modernizării PRCWP supuși încărcărilor seismice folosind materialele CFRP. În cadrul acestui capitol sunt raportate principalele concluzii care derivă din această cercetare, care a fost efectuată pe șase panouri de perete din beton armat, prefabricate la scară aproape de cea reală. Rezultatele obținute sunt echivalente cu comportamentul real deoarece speciamele sunt elemente cu scară reală de 1: 1,2.

În ceea ce privește capacitatea de încărcare a speciamelelor, se poate spune că soluțiile de consolidare adoptate în această teză au reușit să redea capacitatea portantă a majorității elementelor și, în mai multe cazuri, să le mărească.

Comparând deplasările maxime ale elementelor de referință și cele consolidate, se poate concluziona că procedura de consolidare crește deplasarea speciamelelor, deplasarea fiind majorată prin în majoritatea cazurilor.

Cedarea eșantioanelor de referință a fost caracterizat prin crăparea extensivă a tuturor zonelor, cele mai frecvente locuri pentru care s-au dezvoltat crăpăturile au fost în montantul stâng și cel drept și în colțurile deschiderii.

În cazul eșantioanelor consolidate, principalele criterii de cedare au fost deconectarea sistemului FRP. În cazul sistemului EBR-CFRP combinat cu sistemul NSM-CFRP, CFRP utilizat pentru confinare a fost deconectat, în timp ce NSM-CFRP nu a prezentat semne de slăbiciune. Pentru sistemul de lamele EBR-CFRP s-a observat desprinderea laminatelor și cedarea ancorajului, însă în majoritatea cazurilor CFRP a fost dezlipit cu betonul zdrobit, astfel că aderența dintre sistemul de consolidare și suprafața de beton a fost bună.

În ceea ce privește capacitatea de disipare a energiei a elementelor, nu se poate trage concluzia clară și definitivă numai din aceste teste, sunt necesare mai multe teste pentru o observație mai clară a rezultatelor.

În ceea ce privește reducerea rigidității, prin compararea probelor cu o calitate similară a betonului, s-a observat că rigiditatea este influențată de deschidere, și anume, cu cât este mai mare deschiderea, cu atât rigiditatea este mai mică.

Utilizarea expresiilor EC2 pentru evaluarea rezistenței la forfecare a indicat faptul că capacitatea de rupere a forfecării care poate fi susținută de armatura este conservatoare în comparație cu testul experimental, în timp ce rezistența maximă la forfecare a elementului limitată prin strivirea bielei comprimate este supraestimată.

## **2. Contribuții personale**

Din analiza lucrării se desprind următoarele contribuții originale ale autorului tezei:

1. Îmbunătățirea programului experimental existent prin:

- organizarea decupajelor pentru elementele solide și turnarea a 4 noi elemente de testare cu calitate specifică a betonului și poziționare a armaturii;
- testarea a șase elemente la scară aproape reală, toate cu deschideri diferite, efectuând 10 teste, însumând mai mult de 38 de ore de testare;
- strategii de testare și proiectare pentru sistemele de consolidare folosind EBR-CFRP combinat cu lamele NSM-CFRP și lamele EBR-CFRP;
- materiale diferite utilizate pentru consolidarea eșantioanelor;
- adăugarea a patru stabilizatoare la standul de încercare pentru a evita deplasarea în afara planului a eșantioanelor.

2. Prelucrarea și analiza datelor înregistrate din instrumente:

- peste 100 000 de rânduri de date brute și peste 39 000 de rânduri de date "curate" su fost prelucrate;
- au fost generate peste 250 de diagrame;
- crearea curbelor de histerezis forță-deplasare;
- crearea curbelor înfășurătoare forță vs. deplasare (înfășurătoare ciclice, înfășurătoare monotone);
- analiza disipării energiei (disiparea cumulată a energiei, disiparea cumulată a energiei pe jumătate de ciclu, disiparea cumulată a energiei pe ciclu, disiparea energiei pe ciclu);
- analiza rezistenței, ductilității și deplasării;
- analiza rigidității (rigiditate inițială și degradarea rigidității);
- detalii privind cedarea și examinarea modului de comportare;
- evaluarea rezistenței la forfecare utilizând dispozițiile codului de proiectare;
- crearea modelului de fisurare.

3. investigarea unor cercetări similare curente, cum ar fi: elemente prefabricate de forfecare, structuri din beton armat, pereți din beton armat supuși încărcărilor seismice, consolidarea elementelor din beton folosind FRP, analiza codurilor de proiectare. Baza de date conține 178 de referințe.

4. sinteza rezultatelor și direcții viitoare de cercetare.

## **3. Mulțumiri**

Contribuții la proiecte de cercetare:

1. Strategic grant POSDRU/159/1.5/S/134378 (2014) of the Ministry of National Education, Romania, co-financed by the European Social Fund – Investing in People, within the Sectoral Operational Programme Human Resources Development 2007-2013.

Mulțumiri

1. This paper is partially supported by the Sectoral Operational Programme Human Resources Development (SOP HRD), ID134378 financed from the European Social Fund and by the Romanian Government.

2. Strategic grant POSDRU/159/1.5/S/134378 (2014) of the Ministry of National Education, Romania, co-financed by the European Social Fund – Investing in People, within the Sectoral Operational Programme Human Resources Development 2007-2013.

3. SC MIROCOM SRL company by representative Mr. Mihai Fofiu

4. MAPEI company by representative Mr. Cristi Cartas.

## 6. RECOMANDĂRI PENTRU CERCETARI VIITOARE

Cercetarea actuală se bazează pe o investigație continuă a comportamentului PRCWP și a procedurilor de consolidare și reabilitare a acestor elemente. Având în vedere că în această cercetare a fost testat un număr limitat de eșantioane experimentale, este evidentă necesitatea unei investigații suplimentare asupra specișenelor experimentale. Această investigație experimentală a fost efectuată pe pereți din beton armat prefabricat aproape la scară reală supuși forfecării, pereții având deschideri inițiale și / sau decupate. Un număr mare de teste experimentale trebuie efectuate pentru a obține toți respondenții din cercetările actuale și pentru a consolida observațiile încheiate.

### Bibliografie

- [1] "Romanian national Statistics Institute," Governmental, [Online]. Available: <http://www.insse.ro/cms/>. [Accessed 01 February 2015].
- [2] A. Ismail-Zadeh, L. Matenco, M. Radulian, S. Cloetingh and G. Panza, "Geodynamics and intermediate-depth seismicity in Vrancea (the south-eastern Carpathians): Current state-of-the art," *Tectonophysics*, Vols. 530-531, pp. 50-79, 2012.
- [3] G. Mărmureanu, A. Mărmureanu, E. F. Manea, D. Toma-Danila and V. Mihnea, "Can we still use classic seismic hazard analysis for strong and deep Vrancea earthquakes?," *ROMANIAN JOURNAL OF PHYSICS*, vol. 61, no. 3-4, pp. 728-738, 2016.
- [4] G. Pásztor and P. László, "Romanian Housing Problems: Past and Present," *Studia Universitatis Babes-Bolyai-Sociologia*, vol. 1, pp. 79-100, 2009.
- [5] National Institute of Statistics, "Census of Population and Dwellings 2011," vol IV, Buildings, Dwellings, Households, 2011.
- [6] I. Demeter, "Short history of large panel structures in Romania," *Scientific Bulletin of Politehnica University of Timisoara*, vol. 51, no. 65, pp. 87-94, 2005.
- [7] National Institute of Statistics, "Census of Population and Dwellings 2011," Vol. I: stable population (rezidents) - demographic structure, 2011.
- [8] "eurostat.eu," European Union, [Online]. Available: [https://europa.eu/european-union/about-eu/figures/living\\_en#tab-1-3](https://europa.eu/european-union/about-eu/figures/living_en#tab-1-3). [Accessed 03 04 2016].
- [9] "cia.gov," Central Intelligence Agency, [Online]. Available: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2119rank.html>. [Accessed 02 03 2016].
- [10] I. Demeter, Seismic Retrofit of precast RC walls by externally bonded CFRP composites, Phd. Thesis: Politehnica University of Timisoara, 2011.
- [11] C. Todut, Seismic strenghtening of precast RC wall panels using FRP composites, Phd. Thesis: Politehnica University of Timisoara, 2015.
- [12] M. A. Masuelli, Introduction of Fibre-Reinforced Polymers – Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes, INTECH Open Access Publisher, 2013.
- [13] P. Soroushian, S. Ravanbakhsh and M. A. Nagi, "Laboratory Evaluation and Field Application of Concrete Reinforcement with Aramid Fiber-Reinforced Polymer Bars," *Materials Journal*, vol. 99, no. 6, pp. 584-590, 2002.
- [14] V. Fiore, T. Scalici, G. Di Bella and A. Valenza, "A review on basalt fibre and its composites," *Composites Part B: Engineering*, vol. 74, pp. 74-94, 2015.

- [15] F. M. Kogan and O. V. Nikitina, "Kogan, F. M., & Nikitina, O. V. (1994). Solubility of chrysotile asbestos and basalt fibers in relation to their fibrogenic and carcinogenic action.," *Environmental health perspectives*, vol. 102, no. 5, p. 205, 1994.
- [16] E. E. McConnell, O. Kamstrup, R. Musselman, T. W. Hesterberg, J. Chevalier, W. C. Miiller and P. Thevenaz, "Chronic inhalation study of size-separated rock and slag wool insulation fibers in Fischer 344/N rats," *Inhalation toxicology*, vol. 6, no. 6, pp. 571-614, 1994.
- [17] V. Fiore, G. Di Bella and A. Valenza, "Glass-basalt/epoxy hybrid composites for marine applications," *Materials & Design*, vol. 32, no. 4, pp. 2091-2099, 2011.
- [18] CEN, "Part 3: Compressive strength of tested specimens," in *EN 12390-3:2001 Testing of hardened concrete*, Brussels, Belgium, European Committee for Standardization (CEN), 2001.
- [19] CEN, "EN ISO 15630-1:2002 Steel for the reinforcement and prestressing of concrete," in *Test methods - Part 1: Reinforcing bars, wire rod and wire*, Brussels, Belgium, European Committee for Standardization (CEN), 2002.
- [20] CEN, "EN 10002-1:2001 Tensile Testing Metallic Materials," in *Tensile Testing Metallic Materials*, Brussels, Belgium, European Committee for Standardization (CEN), 2001.
- [21] CEN/TC250, "EN 1992-1-1:2004:E Eurocode 2: Design of concrete structures," in *Part 1-1: General rules and rules for buildings*, Brussels, Belgium, European Committee for Standardization (CEN), 2004.
- [22] "www.mapei.com," MAPEI, [Online]. Available: [http://www.mapei.com/public/COM/products/1066\\_mapegrout%20easy%20flow%20gf\\_gb.pdf](http://www.mapei.com/public/COM/products/1066_mapegrout%20easy%20flow%20gf_gb.pdf). [Accessed 28 10 2016].
- [23] M. Mansour, J. Y. Lee and T. T. Hsu, "Cyclic stress-strain curves of concrete and steel bars in membrane elements," *Journal of Structural Engineering*, vol. 127, no. 12, pp. 1402-1411, 2001.
- [24] A. S. Elnashai and R. Pinho, "Repair and retrofitting of RC walls using selective techniques," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 2, no. 04, pp. 525-568, 1998.
- [25] M. Warashina, S. Kono, M. Sakashita and H. Tanaka, "Shear behavior of multi-story RC structural walls with eccentric openings," in *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, 2008.
- [26] M. J. N. Priestley, "Performance based seismic design," *Bulletin of the New Zealand society for earthquake engineering*, vol. 33, no. 3, pp. 325-346, 2000.
- [27] R. Park, "Ductility evaluation from laboratory and analytical testing," in *Proceedings of the 9th world conference on earthquake engineering*, Tokyo-Kyoto, Japan, 1988.
- [28] CNR, DT 200 R1/2013 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures, Rome: Italian National Research Council, 2014.
- [29] I. Damian, E. Morariu, B. Buzaianu, T. Postelnicu and D. Zamfirescu, in Postelnicu T, editor.; Proiectarea structurilor de beton armat in zone seismice (Design of reinforced concrete structures placed in seismic areas - in Romanian), Bucharest: MarLink, 2012.