



UNIVERSITATEA “OVIDIUS” DIN CONSTANȚA

SCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE
DOMENIUL DE DOCTORAT INGINERIE CIVILĂ ȘI INSTALAȚII

TEZĂ DE DOCTORAT

-REZUMAT-

Conducător științific

Prof. dr. ing. Romeo CIORTAN

Student – doctorand

Ing. Daniel VLĂESCU

ASPECTE TEHNICO-ECONOMICE ÎN CONSOLIDAREA MODERNĂ CU SISTEME COMPOZITE LA CONSTRUCȚII CU STRUCTURI DIN CADRE DE BETON ARMAT

CUPRINSUL

REZUMATULUI TEZEI DE DOCTORAT

1	Cuprinsul tezei de Doctorat.....	2
2	Cuvinte cheie	7
3	Introducere	7
4	Prezentare sintetică a capitolelor tezei de doctorat	8
5	Concluzii și recomandări finale	22
6	Bibliografie selectiva	24

1. CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

Cuprins.....	1
Lista cu abrevieri și simboluri	6

I.

CUVÂNT ÎNAINTE.....	9
----------------------------	----------

1.

INTRODUCERE

1.1.	Aspecte generale și introducere în tema de cercetare.....	10
1.2	Scopul activității de cercetare.....	11
1.3	Obiectivele tezei de doctorat.....	12
1.4	Conținutul tezei de doctorat	13

2.

SISTEME COMPOZITE MODERNE UTILIZATE LA CONSOLIDAREA STRUCTURILOR ÎN CONSTRUCȚII

2.1	Tipuri de structuri în construcții.....	15
2.2	Definirea sistemelor compozite.....	17
2.3	Materiale compozite polimerice armate cu fibre (CPAF).....	19
2.3.1	Matricea.....	19
2.3.2	Armătura.....	20
2.3.3	Zona de contact dintre matrice și armatură	21

2.4	Tipuri de materiale compozite	21
2.4.1	Fibre din sticlă.....	22
2.4.2	Fibre din carbon și grafit.....	23
2.4.3	Fibre aramidice (Kevlar)	24
2.4.4	Rășini poliesterice	25
2.4.5	Rășini vinilesterice	26
2.4.6	Rășini epoxidice.....	26
2.4.7	Adaosuri	28
2.5	Procedee de obținere a sistemelor compozite	28
2.5.1	Formarea manuală	29
2.5.2	Formarea prin pulverizare	29
2.5.3	Formarea prin vacuumare	30
2.5.4	Formarea prin laminare continuă	31
2.5.5	Formarea prin pultrudere	32
2.5.6	Formarea sub presiune	32
2.5.7	Injectarea sub vacuum	33

3. TIPURI DE REABILITĂRI LA CONSTRUCȚII CU STRUCTURI DIN CADRE DE BETON ARMAT

3.1	Îmbunătățirea performanțelor structurale prin consolidare la construcții din cadre de beton armat	34
3.1.1	Consolidarea structurală a grinzilor din beton armat	38
3.1.2	Consolidarea structurală a planșelor din beton armat.....	41
3.1.3	Consolidarea structurală a pereților din beton armat	41
3.1.4	Consolidarea structurală a stâlpilor din beton armat.....	43
3.1.5	Consolidarea structurală a nodurilor de cadru.....	45
3.2	Studii de caz	49

4. STUDIILE EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA STRUCTURILOR DIN BETON ARMAT CONSOLIDATE CU MATERIALE COMPOZITE

4.1	Introducere.....	56
4.2	Problematika zonei de îmbinare dintre stâlp și grindă la structurile din beton armat.....	57
4.3	Obiectivele programului experimental	57
4.4	Organizarea programului experimental	59
4.5	Dimensiuni și materiale utilizate în cadrul programului experimental.....	60
4.6	Etapele de lucru în cadrul programului experimental	63
4.7	Studiile experimentale a nodurilor din beton armat consolidate cu materiale compozite și rășini epoxidice	66
4.8	Pregătirea probelor experimentale	70
4.9	Analiza efectului consolidării	74
4.10	Concluzii ale studiilor experimentale	75

5. INTERPRETAREA TEORETICĂ A ÎNCERCĂRILOR EXPERIMENTALE

5.1	Aspecte privind proiectarea sistemelor compozite în reabilitarea structurală a cadrelor din beton armat.....	76
5.1.1	Analiza stâlpilor din beton armat consolidați cu sisteme compozite.....	77
5.1.2	Analiza grinzilor din beton armat consolidate cu sisteme compozite.....	80
5.1.3	Analiza nodurilor de cadru din beton armat	81
5.2	Confinarea betonului folosind materiale compozite. Presiune de confinare..	83
5.3	Relația tensiune-deformație specifică a betonului confinat.....	86
5.4	Analiza încercărilor experimentale cu ajutorul modelării numerice cu elemente finite	87
5.5	Modurile de răspuns ale nodurilor din beton armat	88
5.6	Moduri de cedare a structurilor din beton armat consolidate cu sisteme compozite	94

5.6.1	Generalități	94
5.6.2	Analiza modurilor posibile de cedare identificate de Triantafillou	97
5.6.3	Moduri de cedare observate în timpul investigațiilor experimentale	99
5.7	Concluzii.....	106
6.	CONSOLIDAREA CU SISTEME COMPOZITE A ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT SUPUSE LA ACȚIUNEA SEISMICĂ	
6.1	Considerații asupra consolidării cadrelor din beton armat supuse la acțiuni seismice	107
6.2	Consolidarea anti-seismică cu sisteme compozite	115
6.3	Alte sisteme de intervenție la structuri în cadre pentru îmbunătățirea la activitatea seismică	117
6.3.1	Sisteme noi de protecție seismică a structurilor	120
6.3.2	Izolarea seismică a bazei.....	121
6.3.3	Creșterea capacității de disipare a energiei.....	122
7.	ASPECTE ECONOMICE ÎN CONSOLIDAREA CONSTRUCȚIILOR CU SISTEME COMPOZITE	
7.1	Considerații privind consolidarea construcțiilor cu materiale compozite în comparație cu materialele tradiționale	127
7.2	Evaluarea construcțiilor care necesită consolidare	128
7.3	Indici de deteriorare economică.....	129
7.4	Analiza economică a valorii de consolidare cu sisteme compozite	131
8.	ALTE DOMENII DE APLICARE A SOLUȚIILOR DE CONSOLIDARE CU SISTEME COMPOZITE	
8.1	Specificul utilizării materialelor compozite în consolidarea monumentelor istorice de patrimoniu. Soluții de reabilitare la alte tipuri de structuri la construcții istorice	134
8.1.1	Apariția betonului. Perioada realizării primelor construcții de patrimoniu din beton armat	136

8.1.2	Soluții de consolidare a monumentelor istorice de patrimoniu din beton	137
8.1.3	Soluții de consolidare a structurilor de patrimoniu din zidărie	138
8.1.4	Soluții de consolidare a elementelor istorice din lemn	140
8.1.5	Aplicații ale sistemelor compozite la reabilitarea monumentelor istorice de patrimoniu	142
8.2	Specificul utilizării materialelor compozite în consolidarea construcțiilor hidrotehnice portuare	145
8.2.1	Particularitățile construcțiilor hidrotehnice portuare	145
8.2.2	Soluții constructive ale construcțiilor portuare	146
8.2.3	Aspecte privind consolidarea și reabilitarea estacadelor portuare cu materiale compozite	147
9.	CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI ELEMENTE ORIGINALE ALE LUCRĂRII DE DOCTORAT	
9.1	Concluzii generale	149
9.2	Contribuții personale și elemente de originalitate. Valorificarea rezultatelor	154
10.	BIBLIOGRAFIE.....	157
11.	ANEXE.....	169
11.1	Anexa 1. Analiza procesată a încercărilor experimentale	170
11.2	Anexa 2. Modul de realizare al încercărilor experimentale	181
11.3	Anexa 3. Mic dicționar de termeni	198

2. CUVINTE CHEIE

Reabilitare, consolidare, consolidare noduri, materiale compozite, consolidare monumente istorice, consolidarea construcțiilor hidrotehnice portuare, reabilitări structurale, compozite polimerice armate cu fibre.

3. INTRODUCERE

Consolidarea construcțiilor cu structuri din cadre de beton armat folosind materiale compozite armate cu fibre reprezintă o abordare relativ nouă în reabilitarea structurilor. În ultima perioadă, această metodă modernă de reabilitare se aplică pe scară largă în tot mai multe componente constructive. Datorită faptului că unele materialele de construcții tradiționale au suferit degradări în timp și totodată prezintă anumite limitări, a devenit necesară căutarea de soluții constructive alternative. O soluție viabilă a venit din zona materialelor aeronautice care, aplicate în stransă legătură cu materialele tradiționale din construcții au dezvoltat capacități superioare.

Aplicabilitatea materialelor compozite armate cu fibre în vederea îmbunătățirii performanțelor structurale se analizează din două perspective diferite: armătura aplicată la exterior sau armătura înglobată în beton. Armătura exterioară este cea mai folosită și constă în consolidarea grinzilor din lemn și beton armat prin lipirea de platbande compozite sau prin cămășuire, confinarea stâlpilor, consolidarea zidărilor și a planșelor. Armăturile înglobate se folosesc în beton ca armături simple, pre și post întinse.

În cadrul tezei de doctorat, a fost inițiat un program de cercetare în scopul analizării sistemelor moderne de consolidare cu materiale compozite.

Analizând studiile efectuate până în prezent pe diversele elemente structurale din beton armat, a devenit necesară și oportună studierea zonelor de încastrare a grinzilor în nodurile cadrelor care necesită consolidare datorită faptului că această cercetare nu a fost amănunțită. O parte din încercările experimentale realizate sunt unice față de tot ceea ce s-a întâlnit în literatura de specialitate națională și internațională.

În vederea efectuării investigațiilor experimentale s-a realizat un cadru de încărcare în mărime naturală (1:1) care a fost asimilat cu o construcție mai veche existentă la care au existat o serie de limitări constructive dimensionale și de armare față de normele de proiectare actuale.

Teza de doctorat cu titlul „Aspecte tehnico-economice în consolidarea modernă cu sisteme compozite la construcții cu structuri din cadre de beton armat” are ca obiectiv prioritar analiza soluțiilor/oportunităților oferite prin utilizarea sistemelor compozite polimerice armate cu fibre la reabilitarea la consolidarea structurilor din cadre de beton armat și în special o

preocupare deosebită am acordat-o sistemelor de consolidare a nodurilor cadrelor din beton armat cu sisteme compozite.

Îndeplinirea unui sector din vastul program de cercetare – dezvoltare, demarat în acest domeniu, se regăsește în această teză de doctorat în urma colaborărilor cu echipele de cercetare, cu domnul Profesor Univ. Dr. Ing. Ciortan Romeo, cu domnul Profesor Univ. Dr. Ing. Breabă Virgil și cu alte persoane din domeniu.

4. PREZENTARE SINTETICĂ A CAPITOLELOR TEZEI DE DOCTORAT

Capitolul 1, reprezintă partea introductivă și definește obiectivele și conținutul tezei de doctorat pe capitole.

Capitolul 2 (SISTEME COMPOZITE MODERNE UTILIZATE LA CONSOLIDAREA STRUCTURILOR ÎN CONSTRUCȚII), definește principalele tipuri de materiale compozite folosite în reabilitarea structurilor ingineresti, precum și proprietățile fizico-mecanice ale acestora. Sunt analizate principalele procedee de obținere a sistemelor compozite la consolidarea structurilor ingineresti.

Având în vedere particularitățile și caracteristicile diferite ale materialelor, funcție de natura acestora și de modul de producție, precum și necesitatea determinării caracteristicilor folosinței maxime, ne conduce la studierea mai amanunțită a materialelor compozite și a modurilor de consolidare cu aceste materiale.

Materialele compozite sunt elemente de sistem multifazice obținute prin alăturarea a cel puțin două materiale distincte chimic cu interfață clară între componente, iar rezultatul este un material compus creat în scopul obținerii unor proprietăți care nu pot fi obținute de oricare dintre componenți lucrând individual. Ținând cont de faptul că aceste materiale sunt obținute artificial, se poate dispune modul de orientare al armăturii, funcție de performanțele dorite.

Compozitele cuprind una sau mai multe faze discontinue înglobate într-o fază continuă. Faza discontinuă, de regulă mai rigidă și mai rezistentă se numește armătură, iar faza continuă se definește ca matrice sau, masă de bază - figura 4.1 [20].

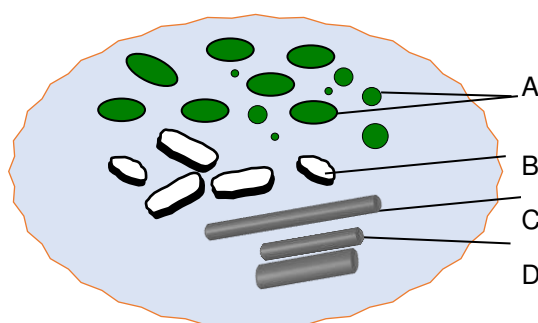


Fig4.1. Fazele componente ale materialelor compozite:

A - particule; B - foițe; C - fibre; D - matrice;

În vederea stabilirii proprietății compozitului ca sistem multifazic trebuie delimitată regiunea de interfață. Ideea generală de interfață definește limita comună a două faze și reprezintă o suprafață de separare a componentilor dintr-un amestec existent ca faze distincte [4, 12, 16, 18].

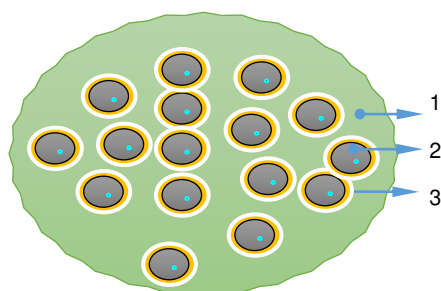


Fig. 4.2 Fazele sistemului compozit [1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 13, 15]:

1 – faza continuă (matricea); 2 – faza dispersă (armătura); 3 – interfața

Datorită faptului că pe piață există mai mulți producători de sisteme compozite și mai multe tehnologii de obținere, proprietățile mecanice ale fibrelor pot varia în intervale valorice mari. În aplicațiile practice și în cercetare se folosesc cel mai frecvent fibrele din sticlă, carbon și aramid datorită faptului că acestea prezintă o comportare liniar elastică până la rupere, spre deosebire de oțel. În Figura 4.3 sunt prezentate comparativ curbele caracteristice tensiune – deformație specifică ale fibrelor și oțelului.

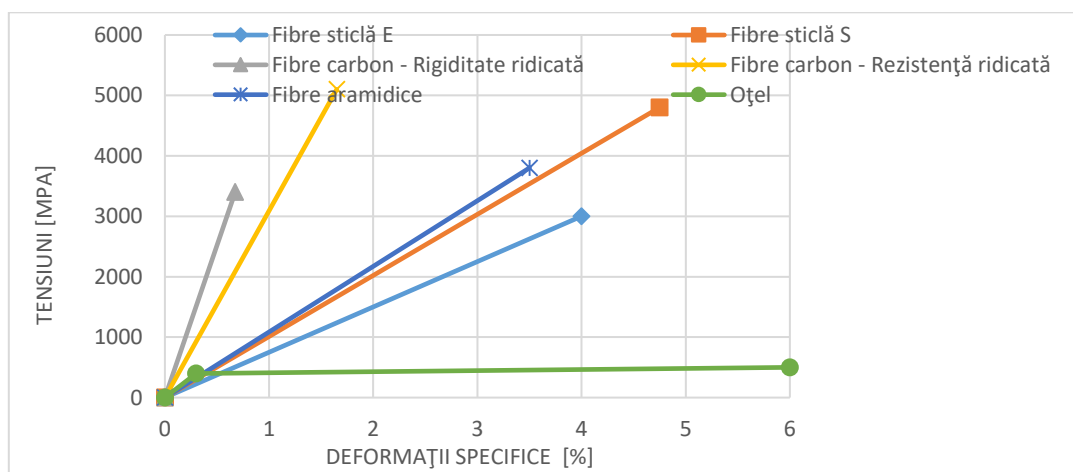


Fig 4.3 Curbe caracteristice tensiune – deformație specifică fibrelor și oțelului

Plecând de la cea mai simplă fibră care se regăsește în majoritatea produselor compozite, industria a dezvoltat mai multe tipuri de materiale care stau la baza consolidărilor moderne. Din ingineria clasică au fost asimilate ca și formă mai multe bare sau platbande fiind

transformate în materiale compozite. Elementele liniare se folosesc în special ca armături interioare pentru structuri din beton dar și ca elemente aplicate la exteriorul construcțiilor sub forma de platbenzi, lucrând pe același fundament ca și structurile convenționale din oțel.

Formarea manuală prin contact reprezintă cel mai ieftin și mai simplu procedeu de creare a produselor compozite. Fibrele sunt sub formă de saltele sau țesături și se dispun pe o matriță sau pe o suprafață plană urmând a fi impregnate cu rășină și presate cu ajutorul unei role [8].

În cadrul procedurii de formare prin pulverizare, materialul de armare și rășină sunt impregnate în același timp pe o matriță. Formarea prin pulverizare este folosită cel mai mult la materialele armate cu fibre de sticlă [7].

Formarea prin vacumare are la bază metoda de formare manuală, utilizându-se în plus o folie de vacumare, care se dispune la partea superioară a suprafeței elementului compozit. Folia se fixează cu ajutorul unei garnituri de etanșare, urmând ca între folie și matriță să se elimine aerul prin vidare.

Formarea de laminare continuă se realizează printr-un proces tehnologic mai complex care constă într-o primă etapă în introducerea unui material sau țesături care este protejată pe ambele fețe cu o folie de protecție și scufundată într-un recipient cu rășină pentru impregnare

Formarea prin pultrudare este un proces continuu de fabricare automată care permite producerea elementelor lungi, cu secțiuni constante sub diverse forme din materiale compozite armate cu fibre [17].

Formarea sub presiune derivă din metoda de formare prin preimpregnare. O folie subțire din cauciuc este aplicată deasupra fibrelor impregnate cu rășină. Presiunea aerului de circa 0,35 MPa este aplicată prin tubul plăcii de presiune și apoi prin sacul de cauciuc.

Impregnarea prin vacuumare a fibrelor este asemănătoare cu metoda de formare prin preimpregnare și este folosită la consolidarea elementelor din beton.

Capitolul 3 (TIPURI DE REABILITĂRI LA CONSTRUCȚII CU STRUCTURI DIN CADRE DE BETON ARMAT), expune soluții practice și tehnologii de execuție folosite în reabilitarea structurală la construcții cu structuri din cadre de beton armat. În cadrul capitolului sunt expuse mai multe studii de caz privind metodele actuale de consolidare.

Prin reabilitare se înțelege ansamblul lucrărilor ce se execută în scopul creșterii capacității portante a unei structuri sau în scopul consolidării.

Necesitatea măsurilor de reabilitare este stabilită de o serie de elemente: procesul de îmbătrânire al materialelor constitutive, distrugerii datorate mediului de lucru agresiv chimic, schimbarea cerințelor functionale, apariția unor noi încărcări funcționale, proiectare sau execuție deficitară, atingerea duratei de exploatare, întreținerea și exploatarea necorespunzătoare, vandalism, modificarea exigențelor prevazute prin standarde [20].

Consolidarea structurilor din beton armat are la bază o soluție conceptuală simplă, iar cea mai mare provocare este dată de capacitatea zonei beton – compozit de a prelua și de a transmite stările de tensiuni dintre elemente.

Consolidarea grinzilor din beton armat se realizează cu sisteme compozite în vederea creșterii capacității portante la încovoiere (fibrele sunt dispuse pe direcția axei longitudinale aplicate la intradosul grinzilor) sau în scopul creșterii capacității portante la forfecare (fibrele sunt dispuse perpendicular pe axa longitudinală în vederea suplimentării armăturii interioare transversale).

Fig. 4.4 Reparații finale cu sisteme compozite la elementele deteriorate (foto arhiva personală - Univ. Maritima din Constanta)



Proiectarea materialelor compozite aplicate la exteriorul planșelor din beton armat are la bază principiul barelor din oțel folosite în armarea plăcilor din beton armat. Aplicarea fâșiilor compozite la intradosul planșelor urmărește aceleași trasee, iar distanța dintre ele se determină în urma unui calcul al plăcilor încovoiate [4,13].



Fig. 4.5 Consolidare planșeu cu platbande compozite (foto arhiva personală - Univ. Maritimă din Constanța – imobil Baza Nautică)

În vederea consolidării pereților din beton armat se folosesc de cele mai multe ori fâșiile înguste din compozit aplicate pe direcțiile tensiunilor principale. Se mai folosesc în vederea consolidării și țesăturile continue care acoperă pereții din beton [4]. Fibrele din compozit se pot dispune orizontal, vertical sau pe direcțiile diagonalelor în funcție de direcția solicitărilor în raport cu planul median al peretelui.

Consolidarea structurală a stâlpilor din beton armat vizează creșterea capacității portante la compresiune prin crearea unui sistem exterior de confinare. Evoluția de extindere în direcție transversală a solicitărilor este ținută în loc de sistemul exterior care manifestă asupra betonului o presiune de confinare [4,16].



Fig. 4.6 Reparații finale cu sisteme compozite la stâlpi (foto arhiva personală - Univ. Maritima din Constanta)

Datorită faptului că riscul seismic reprezintă o condiție determinantă tot mai importantă în procesul de proiectare al structurilor, nodurile de cadru devin elemente de interes deosebit. Intersecțiile dintre elementele orizontale și cele verticale crează o serie de zone care necesită o abordare aparte, ținând cont de transferul solicitărilor în condiții optime și fără a influența direcțiile încărcărilor către sistemul de fundare [3, 19].

Fig. 4.7 Nodul 1 experimental – stânga (zona 1) și dreapta (zona 2 de încercare)



Fig. 4.8 Nodul 2 experimental – dreapta (zona 3 de încercare)

Capitolul 4 (STUDIILE EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA STRUCTURILOR DIN BETON ARMAT CONSOLIDATE CU MATERIALE COMPOZITE), prezintă rezultatele experimentale obținute pe elementele de încărcare consolidate și neconsolidate cu sisteme compozite. Au fost efectuate patru încercări pe patru zone distincte pentru 2 noduri de cadru (stânga și dreapta). Trei zone de încercare au fost consolidate cu sisteme compozite în ipoteze distincte, iar o zona nu a fost consolidată în vederea stabilirii caracteristicilor de bază aferente structurii neconsolidate. Zonele de încercare au fost supuse la încărcări controlate individuale în vederea stabilirii caracteristicilor mecanice în condiții de solicitare.

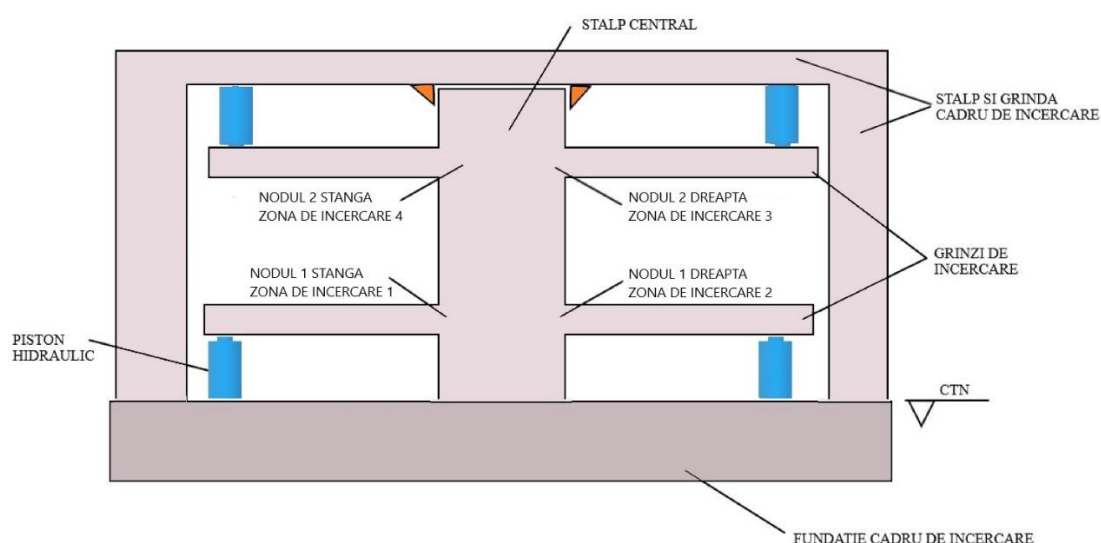


Fig.4.9 Ansamblul de încercare

Pentru evaluarea răspunsului structural al nodurilor din beton armat consolidat cu Compozite Polimerice Armate cu Fibre (CPAF) s-a stabilit un program experimental astfel încât să permită obținerea unor date și rezultate experimentale concludente care să reflecte cât mai fidel fenomenul studiat. Un alt aspect, la fel de important care s-a avut în vedere, este cel al înregistrării și interpretării modului de comportare al nodurilor.

În cadrul programului experimental au fost analizate zonele de încastrare a grinzii în nod pe o parte și pe alta la o structură tip cadru din beton armat.

Programul experimental a necesitat execuția unui ansamblu format dintr-un stâlp central și două grinzi dispuse în consolă simetric față de stâlpul central, calculate astfel încât să poată fi aplicat pistonul hidraulic de încărcare. În exteriorul ansamblului experimental s-a realizat o construcție ajutătoare sub forma unui cadru din beton armat. Construcția ajutătoare a fost necesară în vederea fixării pistonului hidraulic de încărcare. Din construcția realizată au rezultat 4 zone de încercare, numerotate de la 1 la 4 care au fost supuse unor încercări individuale. Calculul structural al ansamblului experimental a fost idealizat în vederea optimizării modalității de aplicare a Compozitelor Polimerice Armate cu Fibre (CPAF).

În vederea realizării programului experimental au fost stabilite o serie de etape de lucru potrivit complexității de realizare a obiectivelor propuse, în scopul obținerii parametrilor de calitate doriți.

Astfel au fost stabilite și avute în vedere următoarele etape de lucru:

- a) realizarea cadrului de încercare ajutator (fundăție, stâlpi și grindă);
- b) armarea elementelor experimentale - stâlpul central și grinzile dispuse în consolă simetric față de stâlpul central;
- c) cofrarea elementelor experimentale din beton armat;
- d) turnarea și vibrarea elementelor experimentale din beton armat;
- e) decofrarea ansamblului experimental;
- f) prelucrarea suprafețelor și muchiilor aferente zonelor supuse consolidării;
- g) realizarea sistemului compozit de consolidare a nodurilor (zonele de încercare 1, 2 și 3);
- h) pregătirea și calibrarea sistemului format din pompa hidraulică, piston hidraulic, manometru, microcomparatori și elemente de conectică;
- i) efectuarea încercării zonei neconsolidate (zona 4), înregistrarea și achiziția datelor;
- j) realizarea studiului experimental pe nodurile consolidate (zonele de încercare 1, 2 și 3) și achiziția datelor;
- k) prelucrarea datelor și realizarea observațiilor cu privire la programul experimental.

Zonele de încercare 1, 2 și 3 (așa cum sunt reprezentate în Figura 4.9 - ansamblu de încercare) au fost consolidate cu Compozitele Polimerice Armate cu Fibre (CPAF) în trei ipoteze distincte rezultând 3 moduri diferite de consolidare:

- **Zona de încercare 1 (nodul 1 stânga)** a fost consolidată cu țesături din fibre de carbon dispuse pe mai multe direcții. O direcție de armare a fost asigurată de o țesătură de Sika Wrap care s-a fixat la 70 de cm de la nod la intradosul grinzii și s-a prelungit pe o lungime de 40 de cm la partea verticală a stâlpului. O a doua direcție de consolidare a fost asigurată de înfășurarea și fixarea cât mai intimă de nod a unor țesături de Sika Wrap în vederea asigurării elementelor de consolidare aplicate la intradosul grinzii și pe verticala stâlpului. Zona de încercare 1 a mai fost supusă unei consolidări prin aplicarea unei țesături de Sika Wrap pe diagonala care este perpendiculară pe bisectoarea nodului.
- **Zona de încercare 2 (nodul 1 dreapta)** a necesitat execuția unei construcții ajutătoare din tablă ambutisată la rece pe unghiul interior al nodului. Față de această construcție ajutătoare au fost prevăzute o serie de ancore realizate din țesături de fibre de carbon despicate la capăt. Ancorele compozite realizate din țesătură de Sika Wrap s-au fixat în găuri perforate de o parte și de alta a nodului (în stalp și în grindă) și au fost întărite cu țesătură de Sika Wrap dispusă pe diagonala care este perpendiculară pe bisectoarea nodului de încercare;
- **Zona de încercare 3 (nodul 2 dreapta)** a fost prevăzută cu un profil cornier compozit fixat la partea inferioară cu ajutorul rășinilor epoxidice și cu ajutorul unor ancore

compozite realizate din tesatura de Sika Wrap. Ancorele compozite au fost la rândul lor fixate prin bisectoarea unghiului nodului, iar partea vizibila a acestora a fost repartizată în mod unitar atât pe stâlp cât și pe grindă. Tot acest ansamblu a fost fixat de elementele structurale din beton cu ajutorul unor țesături Sika Wrap care au fost înfășurate perimetral cu fibră dispusă perpendicular pe axul grinzii;

Tipul de consolidare aplicat pe zona 2 și respectiv pe zona 3 sunt diferite de practica curentă datorită faptului că au necesitat ca element de noutate așa numitele ancore compozite. Tehnologia de fixare a ancorelor s-a realizat prin forarea betonului cu diametru de 25 mm, injectarea în găuri a rășinii epoxidice și introducerea forțată în găuri a unor mănunchiuri din țesături de fibre de carbon impregnate cu rășini epoxidice și despicate la capăt. Lungimea acestor ancore este cuprinsă între 20 și 30 de cm.

Fig. 4.10 Consolidare zona 2 cu ancore compozite



În vederea stabilirii caracteristicilor de baza ale nodurilor aferente structurii neconsolidate, zona de încercare 4 nu a fost supusă consolidării. Acest nod a fost considerat ca martor în vederea stabilirii unui tipar de răspuns în comparație cu componentele consolidate.

Analiza criteriilor de cedare constatate din datele experimentale conduce la următoarele concluzii:

- cercetările stiințifice practice la scara naturala (1:1) crează premisele obținerii unor rezultate fidele și cât mai exacte;
- observațiile vizuale au arătat epuizarea capacității portante;
- prin înregistrarea relației forță / deplasare s-a pus în evidență eficiența tipului de consolidare;
- experimentele au permis analiza diverselor sisteme și modalități de consolidare.

Prin **Capitolul 5 (INTERPRETAREA TEORETICĂ A ÎNCERCĂRILOR EXPERIMENTALE)** se realizează o analiză teoretică a încercărilor experimentale precum și o analiză cu ajutorul modelarii numerice cu elemente finite. Au fost evaluate modurile de

răspuns ale nodurilor din beton armat. S-a realizat și o analiză a modurilor posibile de cedare identificate de Triantafillou.

Înainte oricărui proces de execuție este necesară o analiză și o proiectare riguroasă care va ține cont de toate aspectele care cuprind natura materialelor, interacțiunea acestora cu sistemele compozite, condițiile de lucru la care vor fi supuse precum și încărcările existente și cele ulterioare.

În reprezentarea grafică de mai jos s-a realizat o analiză comparativă a celor 4 încercări experimentale din care se poate observa faptul ca zona de încercare nr. 2 a înregistrat cea mai buna comportare și cel mai bun răspuns comparativ cu celelalte zone. Așa cum era de așteptat zona 4 (neconsolidată) a înregistrat cele mai mici valori.

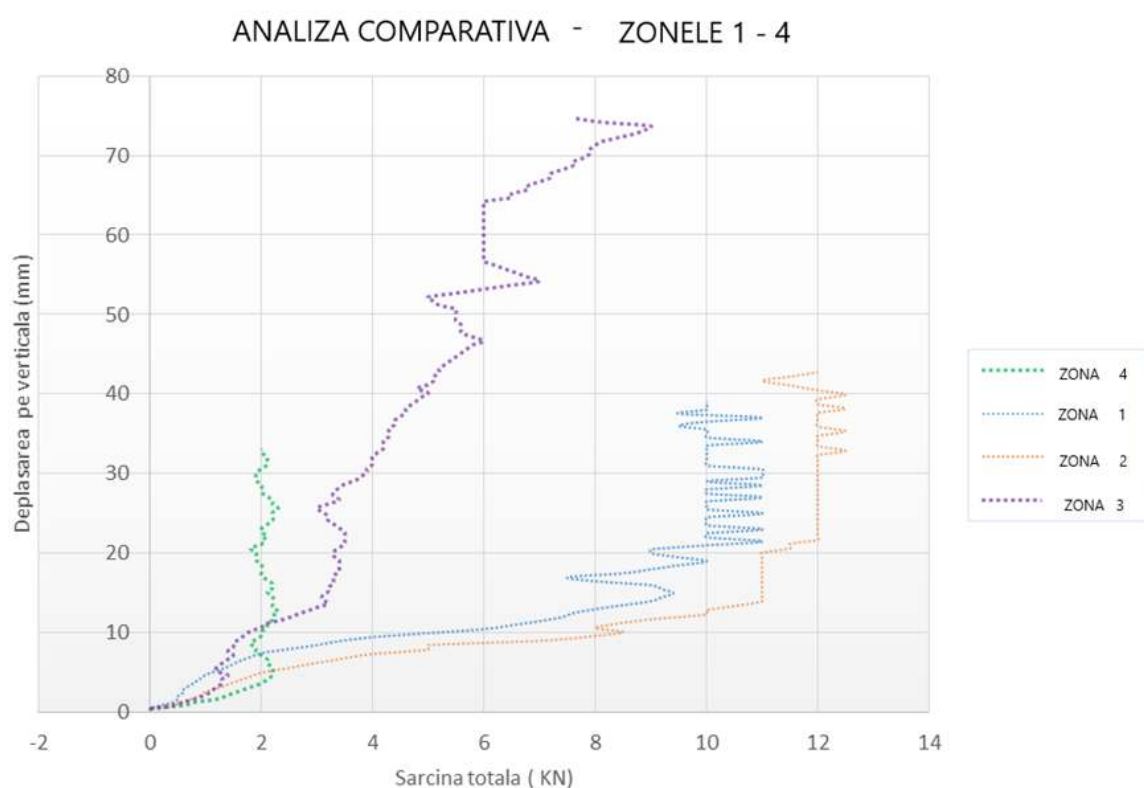


Fig. 4.11 Analiza comparativă zone de încărcare

În literatura de specialitate există patru cerințe generale pe care trebuie să le îndeplinească sistemele compozite [11].

- identificarea riscurilor la care există posibilitatea să fie supuse structurile;
- reabilitarea va ține cont de riscurile identificate;
- structura nu trebuie pusă în pericol de posibilele deteriorari locale acceptate;
- eventuala cedare a sistemelor compozite nu trebuie să aibă loc fără eventuale semnale prevestitoare.

Eficiența maximă de confinare în cazul stâlpilor din beton armat este dată de structurile cu secțiune circulară. Elemente individuale ce țin de geometria elementului din beton armat au determinat efectuarea unor studii suplimentare în vederea creșterii eficacității sistemului compozit prin stabilirea unor relații de calcul între rezistențele finale solicitate și calitatea compozitului.

Consolidarea grinzii din beton armat cu platbandă din sisteme compozite se realizează asemănător calculului unei grinzi încovoiate cu secțiune neomogenă. Atât betonul cât și platbanda din compozit sunt legate perfect între ele prin stratul de adeziv epoxidic, iar lunecarea pe planul de separație este împiedicată [13].

Nodurile de cadru trebuie să poată prelua și transmite forțele tăietoare care acționează asupra lor în plan orizontal și în plan vertical. Forțele tăietoare de calcul care pot acționa asupra unui nod de cadru se determină din condiția de echilibru al eforturilor maxime ce iau naștere în elementele concurente din nod (stâlp și grindă).

Prin consolidarea structurilor din beton armat cu sisteme compozite se realizează un transfer al eforturilor de întindere de la structura din beton armat către sistemul de confinare [14, 21]. Comportarea caracteristică a betonului (încărcare-deformare) se modifică datorită sistemului de confinare. Asupra betonului se exercită o așa numită presiune de confinare care se transformă într-o stare spațială de tensiuni și deformații.

Triantafillou a stabilit prin studiile realizate un model analitic care descrie nivelul maxim de pretensionare ce poate fi atins în fâșiile de compozite polimerice armate cu fibre.

Modelul analitic a fost elaborat pe baza următoarelor ipoteze:

- materialele utilizate sunt liniar-elastice;
- deformația din forfecare are rol determinant în stratul de adeziv.

Modelul teoretic poate determina nivelul maxim de pretensionare, astfel încât sistemul pretensionat din compozit nu va ceda lângă zonele de ancorare.

Triantafillou a reprezentat grafic modurile de cedare posibile, după cum urmează:

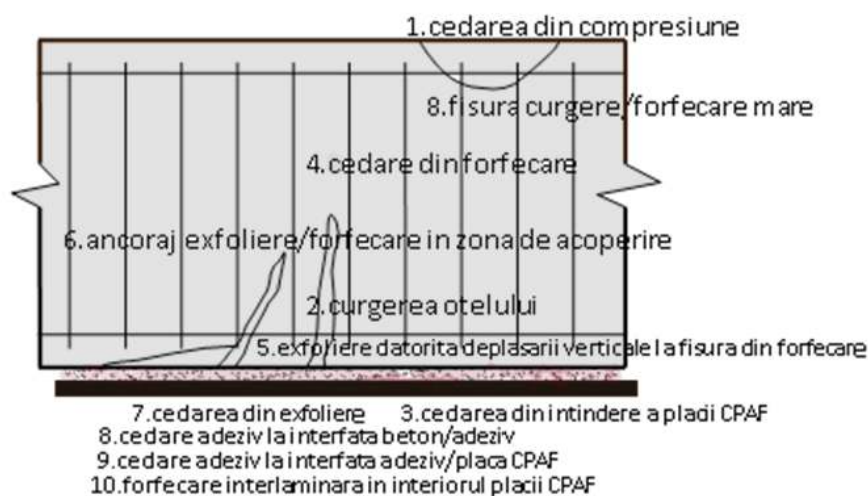


Fig. 4.12 Moduri de cedare posibile

În cadrul **Capitolului 6 (CONSOLIDAREA CU SISTEME COMPOZITE A ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT SUPUSE LA ACȚIUNEA SEISMICĂ)** este analizată consolidarea cu sisteme compozite a elementelor din beton armat supuse la acțiunea seismică și diverse procedee folosite în reabilitarea structurală.

Datorită activității seismice importante este necesară abordarea problemelor privind reabilitarea structurală a imobilelor care prezintă deficiențe.

În prezent, se cunosc o serie de cauze care influențează apariția degradărilor structurale apărute în urma seismelor:

- cauze datorate proiectării necorespunzătoare;
- cauze datorate exploatării necorespunzătoare;
- cauze datorate execuției necorespunzătoare a lucrărilor;
- cauze datorate efectelor externe extraordinare.

În funcție de tipul elementului structural de beton armat și de avaria suferită se poate realiza o clasificare a celor mai însemnate tipuri de avarii:

- A. avarii ale grinzilor din beton armat;
- B. avarii ale stâlpilor din beton armat;
- C. avarii ale planșelor din beton armat;
- D. avarii ale pereților portanți din beton armat.

Metodele utilizate în cadrul proiectelor de intervenții asupra structurilor sunt de două feluri: lucrări de reparații sau de consolidare. Investigarea construcțiilor existente în vederea determinării caracteristicilor materialelor trebuie să urmărească următoarele etape:

- identificarea materialelor și a caracteristicilor prin teste nedistructive și examinare vizuală;
- corelarea vechimii construcției cu reglementările existente din perioada execuției;
- culegerea datelor privind proiectarea, execuția și istoricul acesteia;
- prelevarea de probe și efectuarea de încercări în vederea determinării caracteristicilor materialelor;
- dereminarea caracteristicilor materialelor.

Sistemele compozite au început să fie utilizate la reabilitarea structurilor în situațiile în care soluțiile tradiționale de consolidare s-au dovedit nefunctionale sub anumite aspecte. Deși soluțiile de consolidare bazate pe compozite polimerice sunt relativ noi, în ultima perioadă s-a acumulat un volum important de studii permițând aprecieri realiste în privința viabilității acestor soluții în proiectele de reabilitare structurală.

Dezavantajele date de sistemul de placare cu platbande din oțel a condus la introducerea plăcii cu fâșii din compozite polimerice, soluție cu avantaje evidente. O altă metodă tradițională (cămășuirea elementelor care trebuie consolidate) s-a dovedit eficientă în privința creșterii rezistenței și asigurării ductilității, dar ineficientă datorită: costurilor, sporirii uneori a rigidității și a întreruperii exploatării pe o anumită durată.

În urma cercetărilor efectuate în vederea reabilitării seismice, pe lângă metodele clasice de consolidare care sunt deja folosite pe scară largă, în ultimii 30 de ani s-au evidențiat o serie de noi procedee de protecție seismică, cum ar fi:

- A) izolarea seismică a bazei;
- B) creșterea capacității de disipare a energiei.

Capitolul 7 (ASPECTE ECONOMICE ÎN CONSOLIDAREA CONSTRUCȚIILOR CU SISTEME COMPOZITE), cuprinde o analiză economică a valorii de consolidare a structurilor cu sisteme compozite comparativ cu adoptarea materialelor și tehnologiilor tradiționale.

Compozitele polimerice armate cu fibre prezintă o serie de avantaje față de materialele tradiționale, cum ar fi:

- rezistența la foc datorată conductibilității termice reduse;
- datorită greutății reduse sistemele compozite se pot aplica la construcții unde nu se mai poate încărca fundația;
- durata de execuție redusă;
- costul de întreținere redus;
- posibilitate de pretensionare prin creșterea efortului capabil la forfecare;
- rezistența superioară;
- costul de transport mai redus datorită greutății mai mici a fibrelor;
- pregătirea mai ușoară a suprafețelor de contact;
- fixarea mai ușoară și mai facilă a compozitelor;
- durabilitatea sistemului compozit;
- riscul redus de îngheț-dezghet;
- flexibilitatea în proiectare a sistemului compozit;
- materialele compozite nu sunt magnetice.

Compozitele polimerice armate cu fibre prezintă dezavantajul că pentru aplicare este necesar personal calificat, iar pentru unele rășini care prezintă un grad ridicat de toxicitate se impune un tratament special.

Din evidentierea avantajelor folosirii sistemelor compozite, precum și a dezavantajelor acestora putem trage concluzia că aplicarea materialelor compozite în reabilitarea construcțiilor este viabilă din punct de vedere economic având în vedere costul final de consolidare precum și posibilitatea executării lucrărilor în timp ce construcția este în exploatare fără a se înregistra pierderi cauzate de întreruperea utilizării acesteia.

În vederea stabilirii unei valori asupra unei construcții care necesită consolidare trebuie realizată evaluarea astfel încât să se poată realiza indentificarea și descrierea adecvată a construcției și comparații pertinente în evaluare.

Din informațiile furnizate de piață a reieșit faptul că o reabilitare cu materiale compozite a unui imobil puternic avariat costă între 200 și 600 de euro pe metru pătrat construit, în timp ce în cazul în care sunt folosite metode clasice costul variază între 700 și 1000 de euro pe metru pătrat.

În Capitolul 8 (ALTE DOMENII DE APLICARE A SOLUȚIILOR DE CONSOLIDARE CU SISTEME COMPOZITE) este descris un concept nou de aplicare al materialelor polimerice la reabilitarea și consolidarea construcțiilor hidrotehnice portuare din beton armat, dar și a construcțiilor monument istoric. Sunt prezentate soluții de consolidare a monumentelor istorice de patrimoniu, fiind realizată și o comparație cu materialele tradiționale.

Atunci când se constată că o clădire istorică de patrimoniu necesită lucrări de consolidare, reabilitare și reparații, în marea majoritate a cazurilor, se recomandă folosirea materialelor care prezintă caracteristici apropiate cu cele ale materialelor tradiționale originale, cum ar fi: piatra cioplită sau turnată, lemnul, teracota, fonta, fierul, betonul, etc. În cazurile în care se observă necesitatea înlocuirii unor porțiuni sau elemente ale clădirii cu valoare istorică, materialul care va fi substituit ar trebui să prezinte caracteristici similare legate de aspect, structură, culoare sau alte însușiri similare.

Ținând cont de avântul tehnologic din ultimele decenii și datorită intervențiilor neinvazive a elementelor compozite, în protejarea, conservarea și menținerea monumentelor istorice, au început să se folosească din ce în ce mai mult materialele obținute pe cale sintetică de tipul rășinilor epoxidice, a polimerilor și a materialelor compozite armate cu fibre.

Pentru protejarea și menținerea monumentelor istorice și a clădirilor de patrimoniu, există mai multe metode clasice aplicate, cum ar fi: repararea cu plombe de beton a pereților din zidărie portantă, repararea prin reșesere a zonelor de zidărie care prezintă fisuri și crăpături, repararea prin rematarea rosturilor dintre elemente, repararea prin înlocuirea elementelor deteriorate, repararea prin introducerea agrafelor de oțel în fixarea zidăriei, reparații cu tiranți de oțel pentru consolidare, reparații prin injectare de mortare de ciment la zidării, consolidarea pereților din zidărie cu sâmburi și centuri de beton armat și repararea prin cămășuire cu beton armat.

Pentru repararea monumentelor istorice se folosesc procedee actuale de consolidare prin cămășuire cu compozite polimerice armate cu fibre. Principalele metode aplicate sunt: pretensionarea și post-tensionarea cu sisteme de platbande din compozite polimerice, confinarea cu compozite polimerice armate cu fibre, bare înglobate din compozite și ancorarea cu compozite polimerice armate cu fibre.

Marea majoritate a produselor compozite polimerice armate cu fibre este compatibilă cu materialele tradiționale cum ar fi lemnul, oțelul, betonul sau aluminiul. Materialele compozite se pot folosi la consolidarea și repararea elementelor constitutive din materiale tradiționale sau chiar la înlocuirea acestora.

Soluția de consolidare a unui monument istoric sau a unei clădiri de patrimoniu este aleasă pe baza unei analize riguroase, iar rezultatul favorabil de la sfârșitul proiectului este dat de implicarea și profesionalismul echipei de arhitecți, ingineri, executanți, fabricanți, etc., dar și de respectarea legislației și normelor în vigoare.

Este bine cunoscut faptul ca de mai bine de două decenii structurile din beton pot fi consolidate cu sisteme compozite. Datorită domeniului vast de aplicabilitate, sistemele compozite s-au introdus și la protejarea și menținerea monumentelor istorice și a clădirilor de patrimoniu cu structuri din beton.

Datorită rezultatelor remarcabile obținute în urma folosirii sistemelor compozite la consolidarea zidărilor, s-a implementat, într-un context mult mai larg, soluția de consolidare a structurilor de patrimoniu cu compozite armate cu fibre.

Noțiunea de consolidare a lemnului cu sisteme compozite este relativ nouă și se bazează pe tehnica consolidării structurilor. Așa cum stâlpii și grinzile din beton sunt consolidate cu sisteme compozite, aceeași metodică se poate aplica în cazul stâlpilor și grinzilor din lemn în vederea creșterii capacităților structurale.

Construcțiile hidrotehnice portuare se deosebesc de alte construcții inginești în principal prin următoarele aspecte:

- execuția celei mai mari părți a structurii se realizează sub nivelul apei și uneori în condiții dificile cauzate de valuri, curenți, etc.;
- se utilizează la maximum elemente prefabricate de mari dimensiuni, puse în operă cu utilaje navale specializate;
- construcțiile sunt supuse unor solicitări, atât verticale, cât și orizontale cu valori importante și cu caracter dinamic;
- materialele de construcții sunt supuse acțiunii agresive a mediului acvatic și în special a celui marin.

În cele mai multe cazuri, infrastructura construcțiilor portuare se realizează din piloți de beton armat, precomprimați sau metalici.

Metodele de consolidare a suprastructurii estacadelor portuare din beton armat cu sisteme compozite sunt similare cu cele prezentate în teză și constau în: injectări cu rășini epoxidice, placări cu platbande din fibre de carbon, confinări cu țesături din fibre de carbon, ancore, etc. Trebuie avut în vedere ca degradările pot apărea la exterior cât și interiorul elementelor din beton armat.

Pentru piloții care se află practic sub nivelul apei, s-au perfecționat o serie de tehnologii de execuție care permit ca lucrul să se desfășoare în condiții de uscat. Pe pilotul afectat se suprapune o cameră etanșă în care pot acționa oameni în vederea execuției lucrărilor de reparații în condiții de siguranță.

În cadrul **Capitolului 9 (CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI ELEMENTE ORIGINALE ALE LUCRĂRII DE DOCTORAT)** sunt formulate concluziile finale în urma realizării programului de doctorat, valorificarea rezultatelor și contribuțiile originale din teza de doctorat.

Structurile care necesită reabilitare și consolidare au la baza mai multe metode specifice dezvoltate pe fiecare element structural în parte. Aceste metode analizează rolul jucat în structura din care face parte, poziția relativă și absolută în contextul structurii, starea de tensiuni și deformații, gradul de expunere la acțiunea factorilor de mediu, legăturile cu elementele învecinate, aspectul estetic, funcționalitatea, parametri economici și nu în ultimul rând posibilitatea punerii în operă.

Practicile tradiționale de reabilitare și consolidare implică folosirea acelorași materiale constitutive (beton, oțel, lemn) care, deși prezintă un grad de eficiență ridicat preiau neajunsurile materialelor inițiale.

Principalele argumente care stau la baza consolidării structurilor din beton armat cu compozite polimerice armate cu fibre sunt date de:

- dispunerea armăturii din compozite polimerice armate cu fibre pe fețele laterale cu fibrele orientate după direcția tensiunilor principale de întindere pentru sporirea capacității de rezistență la forfecare;
- adăugarea armăturii din compozite polimerice armate cu fibre pe fața întinsă a grinzilor și a plăcilor pentru creșterea capacității portante la încovoiere;
- confinarea cu membrane compozite în vederea îmbunătățirii sarcinilor capabile la solicitări axiale, forfecare sau în scopul sporirii ductilității stâlpilor.

5. CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI FINALE

Prin prezenta lucrare de doctorat am dorit să realizez o sinteză a modalităților de întrebuințare a produselor compozite polimerice armate cu fibre la reabilitarea și consolidarea structurală a elementelor din beton armat în general și a nodurilor de cadru în special.

Fără a înțelege fenomenele și procesele care au loc la regiunea de interfață matrice – fibră, nu se poate realiza o analiză a proprietăților și a comportării unui material compozit polimeric armat cu fibre. Numai în cazul unui contact molecular intim între componenți se poate realiza un transfer adecvat al eforturilor la interfață.

Soluțiile și metodele de consolidare a structurilor în cadre din beton armat folosind materiale compozite polimerice armate cu fibre prezintă un domeniu vast de aplicabilitate, putând fi folosite la consolidarea tuturor elementelor structurale.

Distribuția tensiunilor din jurul fibrelor se poate obține prin elemente finite sau diferențe finite (analitic) sau pe cale experimentală.

Dupa realizarea obiectivelor stabilite, studiu tezei de doctorat s-a oprit într-un anumit stadiu de cercetare, urmând ca datele obținute până la acest moment să fie folosite în vederea aprofundării ulterioare în domeniul vast furnizat de materialele compozite.

Teza de doctorat poate fi folosită ca punct de plecare pentru realizarea altor studii de consolidare cu materiale compozite polimerice armate cu fibre.

Studiul materialelor compozite utilizate în consolidarea construcțiilor reprezintă un domeniu relativ nou, fapt pentru care necesită un volum de date experimentale și o dezvoltare a unor cercetări aplicative. Principalele direcții de continuare a cercetărilor se referă la:

- durabilitatea materialelor și sistemelor compozite;
- conlucrarea dintre beton și compozit;
- posibilitatea de pretensionare a materialelor compozite;
- ancorajul materialelor compozite;
- modalități noi de consolidare a nodurilor;
- caracterul casant al cedării elementelor structurale.

Rezultatele cercetărilor efectuate în perioada derulării studiilor de doctorat au stat la baza unor lucrări ingineresti care au fost valorificate prin publicare în reviste și volume de specialitate.

Banca Mondială, în parteneriat cu Primăria Municipiului Constanța a elaborat un "Ghid de regenerare urbană a cartierelor de blocuri Constanța" în care am contribuit în calitate de coautor (2019).

În cadrul "OVIDIUS" UNIVERSITY ANNALS CONSTANTZA (OUAC) - Series Civil Engineering, Year XXI (2019), Issue XXI – am publicat în calitate de Autor lucrarea cu titlul: "The specific of use of composite materials in consolidation of historical monuments" - <http://revista-constructii.univ-ovidius.ro/doc/editii/2019.pdf>.

În cadrul "OVIDIUS" UNIVERSITY ANNALS CONSTANTZA (OUAC) - Series Civil Engineering, Year XXI (2019), Issue XXI – am publicat în calitate de Coautor lucrarea cu titlul: "Proper infrastructure design at high verticals loads, nearby waterfront structures" - <http://revista-constructii.univ-ovidius.ro/doc/editii/2019.pdf>.

De asemenea, în calitate de Autor am publicat și am susținut prezentări orale cu ocazia Conferinței școlii Doctorale de la Iași (23-24 mai 2018), în scopul comunicării rezultatelor cercetării, a schimbului de idei și a inițierii unor noi colaborări (www.tuiasi.ro).

6. BIBLIOGRAFIE SELECTIVA

1. *** (1997) "Engineering and design: Composite materials for civil engineering structures", Technical Letter no. 1110-2-548, Department of the army – US Army Corps of Engineers, Washington, DC.
2. *** (2005) „Normativ privind Consolidarea cu Fibre a Elementelor Structurale de Beton”; Institutul National de Cercetare-Dezvoltare în Construcții și Economia Construcțiilor
3. *** (2006) "FRP reinforcement for RC structures", Technical report on the Design and use of fibre reinforced polymer reinforcement (FRP) for reinforced concrete structures, Federation International du Beton (fib)
4. *** fib Bulletin 14 (2001), "Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report on the Design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures" International Federation for Structural Concrete. Lausanne
5. Bakis C. E., Bank L. C., Brown V. L., Cosenza E., Davalos J. F., Lesko J. J., Machida A., Rizkalla S. H., Triantafillou T. C. (2002). "Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction-State-of-the-Art Review", Journal of Composites for Construction, May. 16
6. Department of Defense Handbook (1997). "Polymer Matrix Composites", Materials Sciences Corporation, Fort Washington, PA
7. Emmons P.H., Vaysburd A. M., Thomas J. - "Strengthening Concrete Structures, Part I", Concrete International, Vol.20, Issue 3, March 1, 1998
8. Extern Design Manual (1995). Marisson Molded Fiberglass Co., Bristol
9. Fukuyama H., Tumialan G., Nanni A. (2001). "Japanese design and construction guidelines for seismic retrofit of building structure with FRP composites", *FRP composites in Civil Engineering*
10. Head, P. R., Maunsell, G. (1996). "Advanced composites in civil engineering - A critical overview at this high interest, low use stage of development"-Advanced composite materials in bridges and structures, Quebec, Ed. El-Badry
11. ISIS Canada (2001). "Strengthening Reinforced Concrete Structures with Externally Bonded Fibre Reinforced Composites", Design Manual No. 4

12. Matthys, S. (2000). "Structural behavior and design of concrete members strengthened with externally bonded FRP reinforcement", PhD Thesis, Ghent University, Faculty of Applied Sciences, Department of Structural Engineering
13. Oprisan G., (2002). „Soluții moderne de consolidare a structurilor pentru construcții industriale”, Univ. Tehnică Gh. Asachi Iași, Facultatea de Construcții și Arhitectură - Teza de doctorat
14. Oprisan, G., Taranu, N., Munteanu, V. (2007). "Experimental and numerical analysis of compressed concrete elements confined with FRP composites", Computational Civil Engineering - International Symposium Iași, România, May 25
15. Peters S.T. (1998). "Handbook of composites – Second Edition", Chapman&Hall, London, UK
16. Stoian, V., Tamas, N. G., Dan, D., Gergely, J., Daescu, C. (2004). „Materiale compozite pentru constructii”, Editura Politehnica, Timisoara
17. Täljsten, B., Elfgren, L. (2000). "Strengthening concrete beams for shear using CFRP materials Evaluation of different application methods. Journal of Composites, Part B, Accepted for publication."
18. Taranu, N., Bejan, Liliana. (2005). Mecanica mediilor compozite armate cu fibre. Ed. Cermi, Iași.
19. Triantafillou T.C., Matthys S. (2001). "fib report on design of concrete members strengthened with Externally Bonded Reinforcement", FRP composites in Civil Engineering
20. Țăranu, N., Isopescu, D., Secu, A., Decher, E., Groll, L., Entuc, I., Oprișan, G., Saftiuc, C. (1999). "Modernizarea structurilor inginerești prin utilizarea materialelor compozite armate cu fibre. Îmbinarea elementelor."
21. Xiao Y., Wu H. (2003). "Compressive Behavior of Concrete Confined by Various Types of FRP Composite Jackets", Journal of Reinforced Plastics and Composites