

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII ȘI ARHITECTURĂ
DEPARTAMENTUL DE CONSTRUCȚII CIVILE INDUSTRIALE ȘI AGRICOLE
CENTRUL DE CERCETARE PENTRU MATERIALE ȘI STRUCTURI

UTILIZAREA MATERIALELOR COMPOZITE POLIMERICE LA CONSOLIDAREA ELEMENTELOR DIN ZIDĂRIE DE CĂRĂMIDĂ ȘI BETON ARMAT

Ing. NAGY-GYÖRGY Tamás

- Teză de doctorat -

Conducător științific

Prof.Dr.Ing. STOIAN Valeriu

UNIVERSITATEA
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA
644.694
369 E

2004

Prezenta teză de doctorat a fost elaborată în cadrul Departamentului de Construcții Civile, Industriale și Agricole, respectiv în cadrul Centrului de Cercetare pentru Materiale și Structuri (MAST), din Facultatea de Construcții și Arhitectură a Universității „Politehnica” din Timișoara.

Mulțumesc și îmi exprim recunoștința conducătorului științific, domnului Prof.dr.ing. Stoian Valeriu, pentru contribuția sa la pregătirea mea profesională, la formarea mea ca cercetător și proiectant, pentru îndrumarea, sfaturile și sprijinul acordat la elaborarea lucrării.

Mulțumesc foarte mult colegului și prietenului dr. Dan "Meșteru" Daniel pentru ajutorul acordat în anii doctoratului, respectiv pentru sfaturile și discuțiile purtate.

Mulțumesc călduros referenților oficiali: Prof.dr.ing. Bob Corneliu, Prof.dr.ing. Balázs L. György și Conf.dr.ing. Pascu Radu pentru faptul că au acceptat să facă parte din comisia de doctorat și pentru atenția cu care au recenzat teza.

Sunt profund recunoscător domnului dr. Gergely János pentru ajutorul acordat, recomandările oferite constant în timp, încă de la alegerea temei prezentei teze de doctorat.

Mulțumesc de asemenea în egală măsură tuturor colegilor, cadrelor didactice și personalului tehnic, care au contribuit prin strădania lor la efectuarea programului de încercări experimentale.

* * *

Dedic această lucrare întregii mele familii.

Mulțumesc părinților mei pentru toate sacrificiile făcute, pentru sprijin și încurajare, și pentru faptul că m-au crescut cu respectul față de muncă.

Mulțumesc nespuse de mult soției mele Andrea pentru răbdarea, încrederea și dragostea, și totodată înțelegerea pentru puținul timp acordat în toți acești ani.

CUPRINS

I. INTRODUCERE. OBIECTIVELE TEZEI	I - 1
1. Generalități	I - 1
2. Consolidări cu compozite	I - 2
3. Obiectivele tezei	I - 3
II. MATERIALE COMPOZITE POLIMERICE	II - 1
1. Introducere	II - 1
2. Fibre utilizate la alcătuirea compozitelor	II - 2
2.1. Scurtă prezentare	II - 2
2.2. Utilizarea rezistențelor fibrei	II - 4
2.3. Fibrele	II - 7
3. Matrice utilizate la alcătuirea compozitelor	II - 11
3.1. Matrice termorigide	II - 13
3.2. Matrice termoplaste	II - 14
3.3. Adaosuri (filer)	II - 15
3.4. Aditivi și modificatori	II - 15
4. Compozite polimerice	II - 18
4.1. Natura și raportul dintre componente	II - 18
4.2. Dimensiunea, dispunerea și conținutul de fibre	II - 20
4.3. Tipul interfeței fibră – matrice	II - 24
4.4. Structura compozitelor	II - 25
4.5. Producția compozitelor polimerice	II - 28
4.6. Proprietățile compozitelor polimerice	II - 37
5. Utilizarea compozitelor în construcții	II - 48
5.1. Consolidări cu materiale compozite	II - 49
5.2. Armări cu compozite	II - 59
5.3. Profile compozite	II - 67
5.4. Panouri compozite	II - 70
III. PEREȚI DIN ZIDĂRIE DE CĂRĂMIDĂ CONSOLIDAȚI CU COMPOZITE	III - 1
1. Introducere	III - 1
2. Rezultate din literatura de specialitate	III - 2
2.1. Primii pași în consolidarea cu compozite a pereților din zidărie	III - 2
2.2. Cercetări efectuate de Ghanem, Zied și Salama (1994)	III - 2
2.3. Cercetări efectuate de Reinhorn și Madan (1995)	III - 3
2.4. Cercetări efectuate de Priestley și Seible (1995)	III - 3
2.5. Cercetări efectuate de Laursen, Seible, Hegemier, Innamorato (1995)	III - 4
2.6. Cercetări efectuate de Ehsani și Saadatmanesh (1995/1996)	III - 4
2.7. Cercetări efectuate de Schwegler și Kelterborn (1996/1997)	III - 5
2.8. Cercetări efectuate de Ehsani, Saadatmanesh și Al-Saidy (1997)	III - 5
2.9. Cercetări efectuate de Triantafillou (1997/1998)	III - 5
2.10. Cercetări efectuate de Al-Chaar și Hasan (1998)	III - 8
2.11. Cercetări efectuate de Marshall, Sweeney și Trovillion (1999)	III - 8
2.12. Cercetări efectuate de Mullins, Hartley, Engebretson și Sen (2000)	III - 9
2.13. Cercetări efectuate de Gergely și Young (2001)	III - 9
2.14. Cercetări efectuate de Valuzzi, Tinazzi și Modena (2002)	III - 10

2.15. Cercetări efectuate de Haroun, Mosallam și Allam (2003)	III - 10
2.16. Cercetări efectuate de ElGawady, Lestucci și Badoux (2003)	III - 10
2.17. Recomandarea privind consolidarea pereților din zidărie cu compozite	III - 11
2.18. Obiectivele studiilor efectuate pe pereți din zidărie de cărămidă	III - 11
3. Modelarea pereților din zidărie solicitați la eforturile principale de întindere	III - 13
3.1. Noțiuni generale legate de zidării	III - 13
3.2. Modelul teoretic	III - 15
3.3. Analiza pereților cu elemente finite	III - 15
4. Pregătirea elementului experimental	III - 23
5. Descrierea încercărilor	III - 24
5.1. Încercarea elementelor experimentale UM1 și RM1	III - 24
5.2. Încercarea elementului experimental RM2	III - 33
5.3. Încercarea elementelor experimentale UM2 și RM3	III - 37
5.4. Încercarea elementelor experimentale UM3 și RM4	III - 46
5.5. Încercarea elementelor experimentale UM4 și RM5	III - 55
6. Concluzii finale	III - 65
IV. PEREȚI DIN BETON ARMAT CONSOLIDAȚI CU COMPOZITE	IV - 1
1. Introducere	IV - 1
2. Rezultate din literatura de specialitate privind consolidarea pereților din beton armat cu compozite	IV - 1
2.1. Cercetările efectuate de Lomabard, Lau, Humar, Foo și Cheung (2000)	IV - 2
2.2. Cercetările efectuate de Antoniadis, Salonikios, Kappos (2003)	IV - 3
2.3. Alte cercetări din domeniul pereților consolidați cu compozite	IV - 4
2.4. Recomandarea privind consolidarea pereților din beton armat cu compozite	IV - 5
3. Cercetări anterioare	IV - 6
3.1. Obiectivele cercetării și rezultatele din literatura de specialitate	IV - 6
3.2. Studii teoretice asupra comportării seismice a pereților structurali cu goluri decalate	IV - 7
3.3. Încercări experimentale realizate pe pereții structurali	IV - 15
4. Încercări experimentale pe pereți consolidați cu compozite	IV - 19
4.1. Descrierea încercărilor	IV - 19
4.2. Procedeele de determinare a rigidității, ductilității și a curbei elasto-plastic echivalente	IV - 20
4.3. Încercarea elementelor experimentale SW1 și RW1	IV - 22
4.4. Încercarea elementelor experimentale SW23 și RW23	IV - 33
4.5. Încercarea elementelor experimentale SW45 și RW45	IV - 45
4.6. Încercarea elementelor experimentale SW67 și RW67	IV - 57
4.7. Încercarea elementelor experimentale SW8 și RW8	IV - 69
5. Concluzii finale	IV - 81
V. APLICAREA REZULTATELOR STUDIILOR EFECTUATE	V - 1
1. Consolidarea unor grinzi din beton armat la tăiere	V - 1
2. Consolidarea unui stâlp din beton armat	V - 3
3. Consolidarea unor pereți din beton armat și din zidărie de cărămidă	V - 5
VI. CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE	VI - 1
1. Considerații asupra temei studiate	VI - 1
1.1. Concluzii privind consolidarea pereților structurali din zidărie de cărămidă cu compozite	VI - 1

1.2. Concluzii privind consolidarea pereților din beton armat cu compozite	VI - 3
1.3. Considerații finale	VI - 4
2. Contribuții personale	VI - 5
3. Valorificarea rezultatelor obținute	VI - 6
3.1. Publicații științifice	VI - 6
3.2. Contracte de cercetare	VI - 8
3.3. Alte lucrări publicate	VI - 9
VII. TERMINOLOGIA UTILIZATĂ	VII - 1
1. Mic dicționar de termeni (englez – român)	VII - 9

ABSTRACT**BIBLIOGRAFIE****ANEXA1****ANEXA2**

I. INTRODUCERE. OBIECTIVELE TEZEI

1. Generalități

Materialele compozite sunt compuse din două sau mai multe elemente. Exemple ale utilizării ingineresti a materialelor compozitelor pentru construcții le găsim încă din vremea Egiptenilor, sub forma cărămizilor din argilă cu paie. Compozitele moderne utilizează matrice polimerice armate cu fibre, de diferite tipuri, creând recent, o adevărată revoluție în structurile de înaltă performanță. Materialele compozite avansate oferă performanțe deosebite de rezistență și rigiditate, având o greutate mică, în comparație cu materialele convenționale din oțel. Performanța structurală ridicată se asociază cu posibilitatea alegerii orientării fibrelor pentru exploatarea optimă a caracteristicilor. Noutatea și măreția mai intervine și în sensul că proprietățile materialului se pot proiecta la fel ca și o structură.

Utilizarea pe scară largă a materialelor compozite polimerice datează din anii 1940 în industria de război, fiind folosite în industria aeronautică și de nave marine. La început avantajul principal a constat în raportul ridicat dintre rezistență și greutate, respectiv rezistența la coroziunea apei mării și a aerului sărat.

După cel de-al II-lea război mondial s-au dezvoltat compozitele polimerice cu performanțe ridicate (cu fibre de carbon), utilizate în proiectele nucleare, programele spațiale și astronomică. Tot în această perioadă s-a trecut la utilizarea mai intensă în industria aeronautică, nu numai datorită caracteristicilor superioare față de celelalte materiale, ci și datorită transparenței la radar.

Din anii 1950 compozitele polimerice se folosesc și în industria chimică, mai ales datorită durabilității, rezistenței la solicitări intense și la coroziune. În anii 1960 piața industriei navale era consumatorul principal al materialelor compozite, dar începând din anii 1970 industria de automobile devine piața numărul unu, poziție pe care o ocupă și în zilele noastre. Compozitele au un impact mare și în transportul energiei electrice, putând fi confecționate produse cum ar fi stâlpii de înaltă tensiune și izolatorii.

Deși majoritatea datelor referitoare la utilizarea compozitelor polimerice provin din industria (aero)spațială, navală sau chimică, totuși ele au fost utilizate ca materiale de construcții de multe decenii. În anii 1950 se foloseau sub forma unor armături pentru structuri din beton, dar utilizarea a fost extrem de redusă. În anii 1980 a început renașterea, când s-au lansat domenii noi ale utilizării, în special sub forma aplicării unor armături compozite în betoane, la care sunt impuse cerințe de performanțe speciale, ca și proprietăți nemagnetice sau rezistență la atacuri chimice severe.

La sfârșitul anilor 1970 și începutul anilor 1980 au apărut mai multe aplicații ale produselor din compozite polimerice în întreaga lume. În 1986 a fost construit, în Germania, primul pod rutier, utilizând armături de precomprimare din compozite. În zilele noastre producătorii de compozite dezvoltă intens produse pentru industria de construcții, aceasta fiind considerată cea mai mare piață viitoare pentru compozitele polimerice.

2. Consolidări cu compozite

Utilizarea compozitelor pentru consolidări structurale exterioare a început în anii 1980, prima dată fiind utilizate pentru înlocuirea plăcilor metalice lipite, apoi pentru înlocuirea confinărilor din oțel a stâlpilor, pilonilor.

Tehnologia de consolidare exterioară a fost dezvoltată în Japonia, sub forma unor fâșii de înfășurare, iar în Europa, sub forma unor lamele lipite. În zilele noastre există numeroase structuri consolidate cu compozite, aceasta fiind o soluție recomandată atât pentru aplicațiile de post-tensionare sau reparații, cât și pentru consolidări antiseismice.

Consolidările cu compozite se realizează prin lipirea unor materiale fibroase, impregnate cu rășini, pe suprafața diferitelor elemente, pentru a reface sau a mări capacitatea portantă **la încovoiere, tăiere, compresiune și/sau torsiune**, respectiv a ductilității, fără afectarea semnificativă a rigidității acestora. Fibrele folosite în consolidări pot fi **fibre de sticlă**, aramidă sau **carbon**. Compozitele au forme diferite, ele putând fi lamele pultrudate, **țesături uscate** sau preimpregnate, respectiv în ultimii ani armături. Elementele consolidate pot fi din **beton, cărămidă**, lemn, oțel și piatră, iar structural grinzi, **pereti**, stâlpi, plăci, în ultima perioadă aplicându-se și la nodurile grindă-stâlp.

Datorită varietății mari a sistemelor și a soluțiilor, aceste materiale pot avea o lungime infinită, permit tăierea la forme și dimensiuni dorite, respectiv pot fi fixate în straturi pentru a îmbrăca elementul solicitat.

Consolidările cu compozite au numeroase avantaje. Dintre acestea cele mai importante sunt:

- *greutatea mică*, aproximativ 20% din cea a oțelului, reducându-se astfel semnificativ cheltuielile de transport și de montaj (nu necesită susțineri); acest avantaj le recomandă în aplicațiile la care nu se pot adăuga încărcări semnificative unei structuri sau element structural care se consolidează;
- *rezistența la rupere ridicată*, de cel puțin trei ori mai mare decât cea a oțelului;
- *raportul rezistență – greutate ridicat*, compozitul putând avea mai puțin de 10% din greutatea oțelului, la aceeași rezistență ultimă;
- *posibilitatea de direcționare a capacității maxime de rezistență*, prin alegerea poziției, orientării și a volumului de fibre;
- *durabilitatea ridicată*, permițând astfel utilizarea în medii agresive;
- *stabilitatea dimensională*, conductivitatea termică și coeficientul de dilatare termică fiind mici;
- *transparența magnetică și la radar*, fiind posibile în aplicațiile cu astfel de cerințe;
- *nu necesită întrețineri*, reducând costul întreținerii pe toată durata de viața acestui sistem;
- *posibilitatea de precomprimare*;
- *varietatea mare a sistemelor*, putând fi produse în orice lungime dorită, respectiv pot fi fixate în straturi pentru a îmbrăca elementul solicitat;
- *țimp de execuție redus*, reducând costurile determinate proceselor de producție;
- *posibilitatea de utilizare în locuri cu acces limitat*, datorită grosimilor reduse ale sistemelor;
- *rezistența ridicată la impact / explozii*.

Caracterul multilateral al materialelor compozite a făcut ca utilizarea acestora să fie o alternativă viabilă în consolidări, rezultând economii de scurtă și de lungă durată.

Studiile și cercetările efectuate pe plan internațional au scos în evidență pe

lângă avantajele utilizării materialelor compozite în construcții o serie de aspecte care necesită o atenție deosebită cum ar fi:

- performanțele de rezistență la foc reduse;
- deteriorări mecanice cauzate de obiecte tăietoare;
- degradarea superficială datorită efectului radiațiilor ultraviolete;
- alungire la rupere mai mică decât cea a oțelului, ceea ce conduce la o rupere fragilă;
- cost relativ ridicat dar în continuă scădere în ultima decadă de timp.

Toate aspectele menționate mai sus constituie subiectul unor cercetări ample aflate în desfășurare pe plan internațional, existând progrese mari în ceea ce privește producerea de materiale compozite cu ductilități sporite cum ar fi de exemplu fibrele hibride carbon - aramidă sau sticlă - aramidă.

3. Obiectivele tezei

Dezvoltarea materialelor noi, a compozitelor a determinat începerea unor cercetări ample privind determinarea caracteristicilor materialelor și a comportării acestora.

Având în vedere faptul că producătorii au dezvoltat o paletă largă de procedee de fabricație, materialele compozite obținute au caracteristici diferite. Cercetările aflate în curs de desfășurare îmbunătățesc procesele de fabricație, ceea ce determină îmbunătățirea caracteristicilor materialelor.

Analizând în ansamblu posibilitățile oferite de compozite și luând în considerare potențialul care există în acest domeniu, s-a propus studierea mai detaliată a utilizării compozitelor în construcții. Domeniul este foarte larg, cuprinzând multe ramuri, de la consolidări, până la armări, de la profile până la panouri.

În zilele noastre utilizarea compozitelor la consolidările structurale constituie alternative atractive. Varietatea foarte mare a soluțiilor și diversitatea materialelor utilizate nu a permis elaborarea unor norme / prescripții valabile pentru toate tipurile de utilizări. Astfel, există numeroase norme și recomandări privind consolidarea elementelor din beton armat, cum ar fi grinzi, stâlpi, planșee, acestea fiind cele mai întâlnite în practică. Lipsesc însă reglementările pentru pereții structurali, atât cei de beton armat, cât și din zidărie.

Tema prezentei teze de doctorat este de mare actualitate din următoarele considerente:

- utilizarea compozitelor în construcții a luat o amploare deosebită în ultimii ani, datorită caracteristicilor performante și a prețurilor în scădere continuă;
- lipsa normativelor naționale și internaționale în domeniul consolidării pereților;
- avantajele deosebite pe care le prezintă compozitele în consolidările structurale, în comparație cu soluțiile tradiționale utilizate și în zilele de azi.

Având în vedere aceste considerente, lucrarea de față își propune următoarele obiective:

- 1. Studiul compozitelor, cuprinzând materialele constituate, tipurile și modurile de utilizare ale acestora;**
- 2. Studiul pereților din beton armat și din zidărie de cărămidă consolidați cu compozite, solicitați în planul lor;**
- 3. Elaborarea unui mic dicționar de terminologie din domeniul compozitelor.**

II. MATERIALE COMPOZITE POLIMERICE

1. Introducere

Materialele compozite polimerice sunt sisteme de materiale. Termenul compozit se poate aplica pentru orice combinație dintre două sau mai multe materiale diferite, având interfețe identificabile între ele. În cazul de față compozitul este definit ca o matrice din material polimeric armat cu fibre.

Fibrele utilizate ca armături în compozitele polimerice sunt fibre de carbon (grafit), de sticlă, de aramidă și hibride. Ele au greutate specifică redusă, rezistență la întindere și modul de elasticitate ridicat, coeficient de dilatare mic și o comportare bună la oboseală.

Matricele polimerice folosite în compozite se pot împărți în două grupe, și anume, matrice termorigide și matrice termoplaste, în funcție de procesul de întărire ale acestora.

Pentru a înțelege comportarea materialelor compozite polimerice, mai întâi trebuie să cunoaștem caracteristicile materialelor constituente (fibre și matrice), care în rândul lor depind de materia primă, de procesele de fabricare, de modurile de tratare și fabricare.

În continuare, sunt prezentate mai detaliat, date legate de cele mai importante tipuri de fibre, matrice și principalele domenii de utilizare ale materialelor compozite.

2. Fibre utilizate la alcătuirea compozitelor

2.1. Scurtă prezentare [46]

Fibra este una dintre componentele de bază ale materialului compozit. Ea se obține în urma unor procese tehnologice care au o complexitate ridicată, motiv pentru care prețul fibrei este în prezent destul de ridicat. Proprietățile fibrei depind de forma sa și influențează la rândul lor în mod determinant proprietățile compozitului.

Dimensiunile secțiunii fibrelor sunt în general de ordinul micronilor, frecvent 3 -10 μm . Unitatea de bază a materialului este prezentată în *figura 2.1*. În colțurile unității se găsesc atomii sau moleculele, ținute de legăturile interatomice. Această unitate de bază indică dependența proprietăților pe fiecare direcție. Cele mai multe materiale, între care oțelul, cuprul, nichelul sau borul sunt anizotrope având proprietăți dependente de direcții, aceasta fiind cauzată de forțele interatomice și legăturile intermoleculare. Legăturile sunt mai puternice în anumite direcții decât în celelalte, iar unitatea de material este foarte compactă și prezintă o forță considerabilă în direcția legăturii mai puternice. În majoritatea cazurilor proprietățile favorabile sunt aliniate numai într-o direcție, pe celelalte fiind mai slabe. În direcțiile perpendiculare pe direcția puternică materialul este mult mai slab și mai moale. Alte proprietăți, cum ar fi conductivitatea electrică și conductivitatea termică sunt de asemenea dependente de direcție.

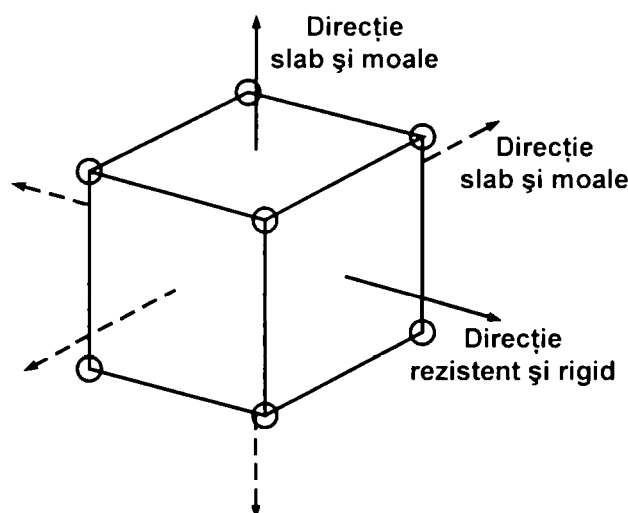


Figura 2.1. Unitatea de bază a materialului

În funcție de raportul dintre lungime și diametru, fibrele pot fi de două tipuri :

- continue, când raportul dintre lungime (l) și diametru (d) $l/d > 1000$
- discontinue, care în funcție de dimensiuni se clasifică în:
 - fibre lungi, la care $l/d > 300 \dots 1000$;
 - fibre scurte, la care $l/d = 100$;
 - fibre foarte scurte (whiskers).

Când materialul este fabricat și prelucrat în cantități mari, unitățile de material sunt mai mult sau mai puțin orientate aleator în volumul de material (*figura 2.2*). În general, proprietățile materialului în vrac reflectă proprietățile mai slabe ale unității de material. Proprietățile materialului în vrac sunt determinate de proprietatea cea mai

slabă a legăturii de lanț a unei unități. Dacă proprietățile sunt similare în toate direcțiile, materialul se consideră izotrop.

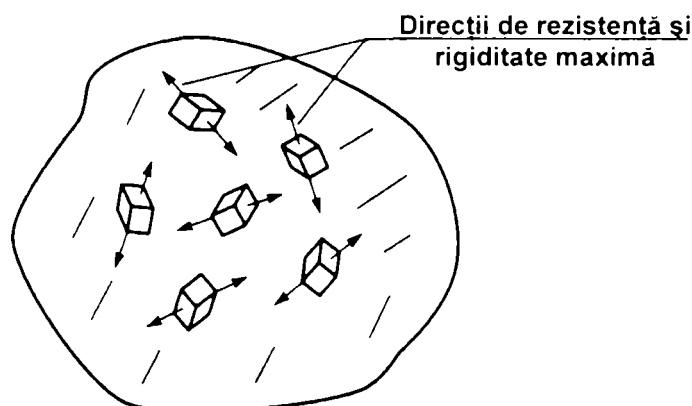


Figura 2.2 – Câteva unități de bază orientate aleator în volumul de material în vrac

Dacă putem prelucra materialul într-un mod care permite alinierea fiecărei unități de bază pe direcția de rezistență și rigiditate maximă, obținem un material anizotrop, dar cu o rezistență și rigiditate mult superioară materialului în vrac, pe direcția longitudinală (figura 2.3.).

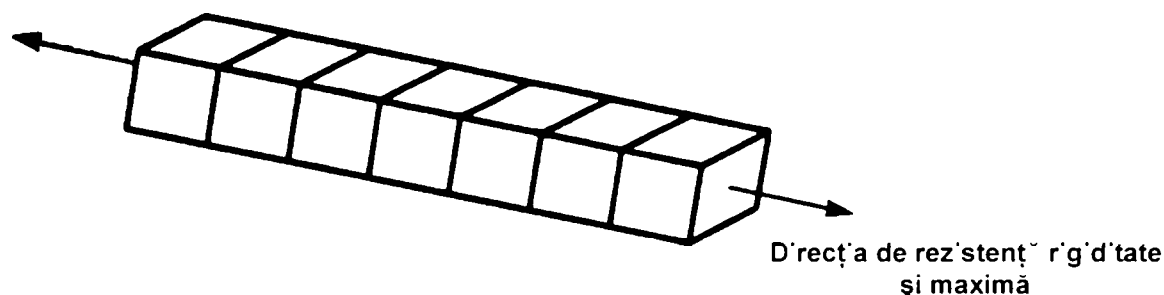


Figura 2.3. Unitățile de bază ale materialului aliniate astfel ca direcțiile de rezistență și rigiditate maximă să coincidă

Prin dispunerea mai multor unități de material de bază în direcția proprietăților superioare, obținem un fir lung, pe care îl numim **fibră**. Fibrele au lungimi semnificative și deci se pot alinia ușor pe o direcție, putând fi astfel armături într-un alt material. Rezistențele fibrelor sunt foarte variabile.

Unele fibre, mai ales cele din carbon, au diametre atât de mici, încât este mult mai convenabilă încercarea lor în grup. O grupă de fibre se numește câlț (tow), și este formată din sute de mii de fibre. Câlțul este ca și o frânghie făcută din fibre, dar în general nerăsucite sau țesute.

În vederea utilizării în compozite, fibrele pot avea diverse alcătuiuri, în funcție de scopul urmărit. Cele mai frecvente alcătuiuri sunt sub forma de :

- mănunchiuri de filamente nerăsucite (dacă sunt înfășurate pe un mosor se numesc roving);
- mănunchiuri de filamente toarse;
- benzi unidirecționale (figura 2.4.):
 - nețesute, realizate din mănunchiuri întinse și care își păstrează poziția prin impregnare (figura 2.4.a);

- țesute, realizate din mănunchiuri dispuse ca urzeală, menținute prin fire de bățatură, distanțate (*figura 2.4.b*);

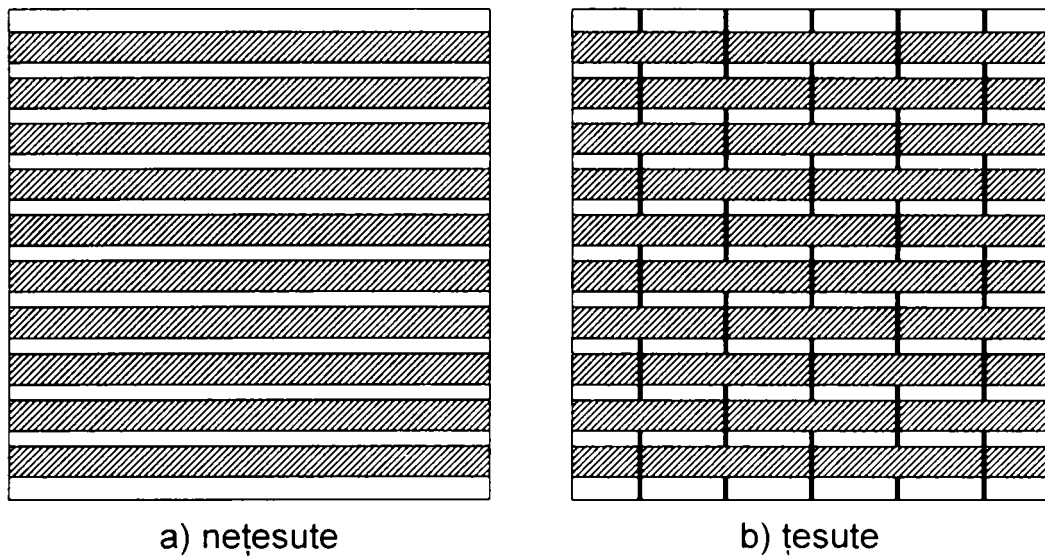


Figura 2.4 – Benzi unidirecționale

- țesături bidimensionale, respectiv bidirecționale (*figura 2.5*). Se utilizează țesături tip:

- tafta (plain, square, foile) (*figura 2.5.a*);
- diagonale (twill, serge) ;
- satin (*figura 2.5.b*);
- împletituri (*figura 2.5.c*);

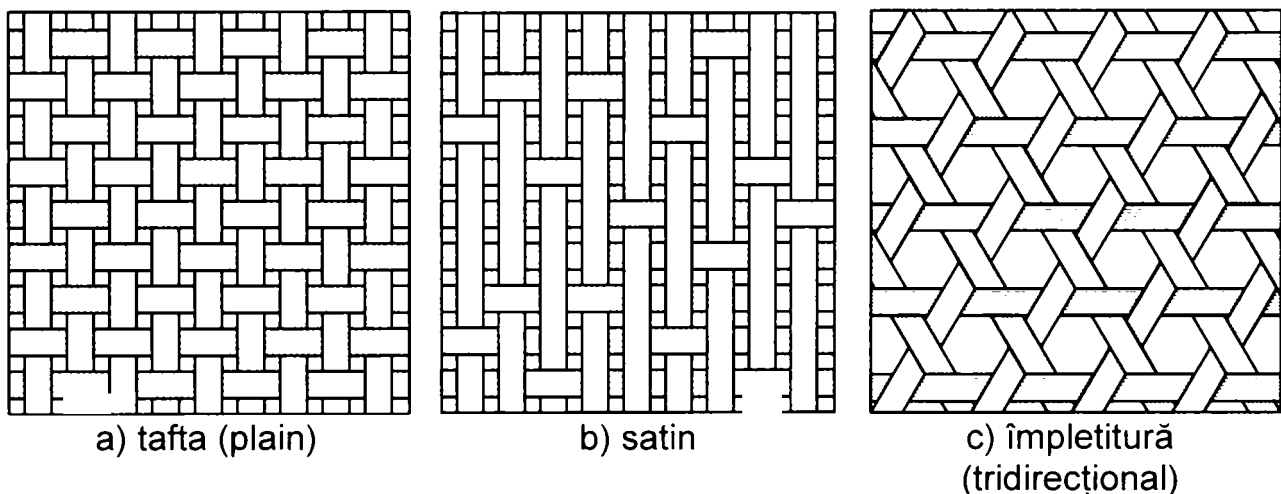


Figura 2.5 – Țesături bidirecționale

2.2. Utilizarea rezistențelor fibrei

Alegerea tipului de fibră se face ținând cont de influența pe care aceasta o are asupra proprietăților compozitului. Fibrele trebuie să asigure următoarele proprietăți:

- greutate specifică mică;
- coeficient de dilatare mic;
- modul de elasticitate cât mai ridicat;
- rezistență la rupere ridicată;
- diametru uniform;

- păstrarea rezistenței în timpul manipulării și aplicării;
- comportare bună la oboseală.

Date fiind caracteristicile materialului se pune problema utilizării acestuia. Fibrele trebuie aliniate după direcția eforturilor. Eforturile trebuie transferate la fibre și apoi preluate de acestea. În esență aceasta se realizează prin înglobarea (învelirea) și legarea de un alt material. Materialul de înglobare, care de obicei este mai moale și mai slab, nu numai că înconjoară câștii, dar și îi penetrează înconjurând fiecare fibră din câț (figura 2.6 a). Materialul de îmbibare este matricea. Matricea transmite eforturile fibrei prin efortul tangențial τ . Aceasta se poate vedea în secțiunea din figura 2.6 b, de-a lungul fibrei. Forța (F) generează eforturile tangențiale pe suprafața fibrei. Aceste eforturi conduc efortul de întindere σ în fibră. În apropierea extremităților fibrei efortul tangențial superficial este mare iar efortul de întindere în fibră este mic (figura 2.6 c). Odată cu creșterea distanței de la capătul fibrei efortul tangențial scade, iar efortul de întindere crește. După o anumită lungime, numită și distanța caracteristică, efortul tangențial devine foarte mic iar efortul de întindere ajunge la valoarea maximă. Această stare de eforturi se menține de-a lungul fibrei. În general, această distanță caracteristică este cu mult mai mică decât lungimea fibrei.

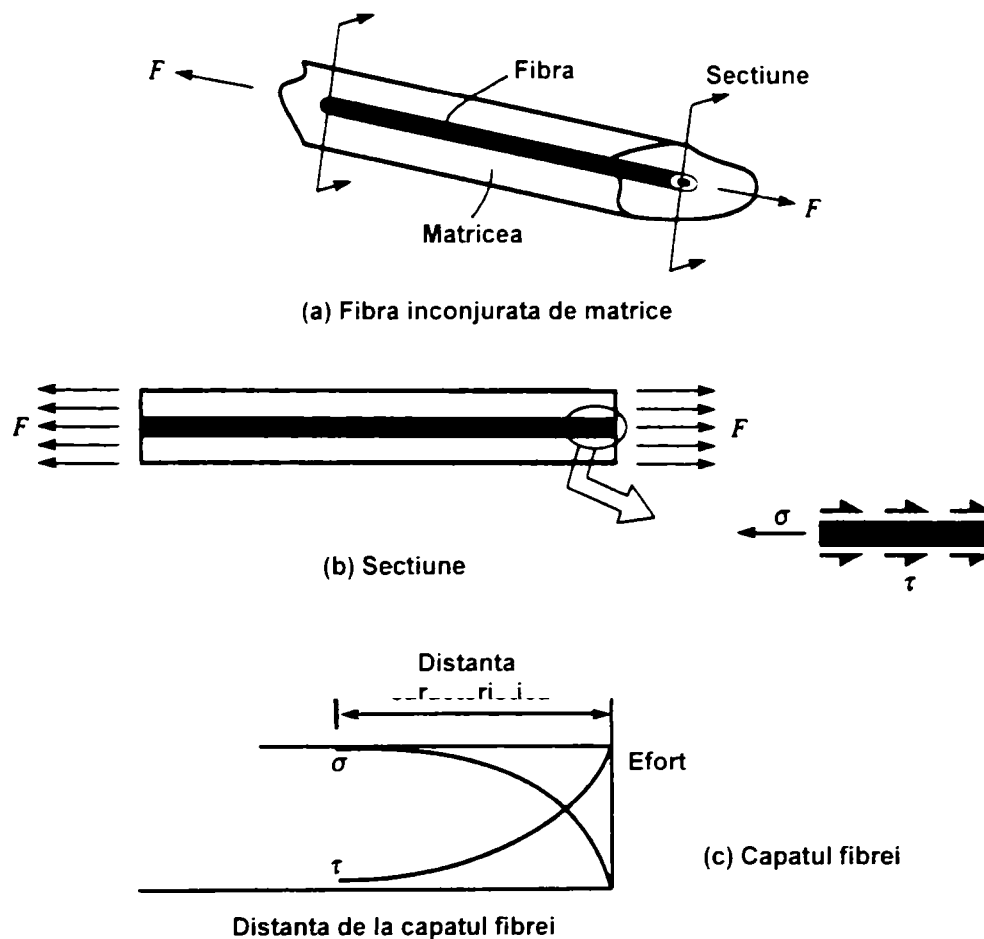


Figura 2.6 – Fibra îmbrăcată de matrice și starea de tensiune în fibră

În cazul efortului de compresiune trebuie avut în vedere flambajului fibrei (figura 2.7). Dacă efortul tangențial de la capătul fibrei din figura 2.6 c se inversează, atunci efortul din fibră devine compresiune și atinge valoarea maximă la o distanță mică de la capăt. În acest caz fibra are un răspuns diferit față de efortul de întindere, compresiunea cauzând flambajul fibrelor. Rezistența la compresiune a celor mai

multe fibre este ca și a unui cablu solicitat la compresiune, sau unui stâlp foarte subțire. Pentru a preveni flambajul datorită compresiunii, fibrele trebuie rezemate lateral, rol care îi revine matricei.

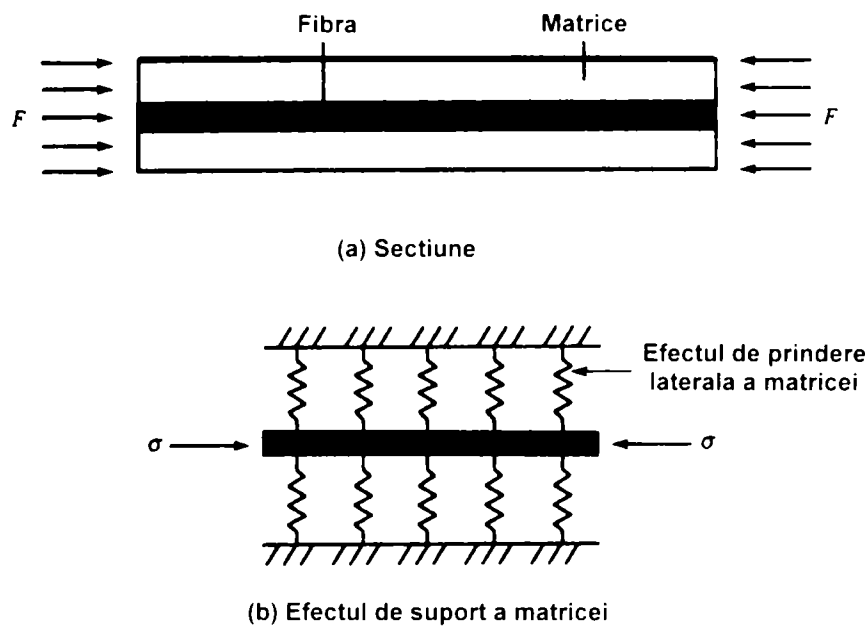


Figura 2.7 – Transferul efortului în fibră :
compresiune și prinderea laterală datorată matricei

În afară de aceste efecte matricea transmite eforturile în fibre și le menține aliniată și aranjate paralel. În figura 2.8.a este ilustrată o secțiune transversală a compozitului armat cu fibră de grafit și înglobat în rășină epoxidică (cercurile mai deschise sunt fibrele, iar zonele mai închise este matricea). Figura 2.8.b și c reprezintă două vederi microscopice cu fibre înconjurate cu matrice. În figura 2.9. sunt prezentate cazurile de încărcări care pot apărea dacă izolăm o unitate de material compozit. Situația este asemănătoare comportării fibrei neînglobate în matrice. Proprietățile cele mai bune rezultă pe direcția fibrelor, iar perpendicular pe aceste obținem valori mult mai slabe. În mod excepțional, proprietățile compozitelor depind în mare măsură de integritatea legăturilor dintre fibre și matrice. În figura 2.10. sunt prezentate cele trei componente ale eforturilor tangențiale aplicate unității de volum a unui material compozit. În toate cele trei cazuri efortul din compozit depinde de efortul de la interfața fibră-matrice: tangențial (figura 2.10a și c) sau de întindere (figura 2.10b). Pe de altă parte proprietățile depind în mare măsură și de materialul matricei.

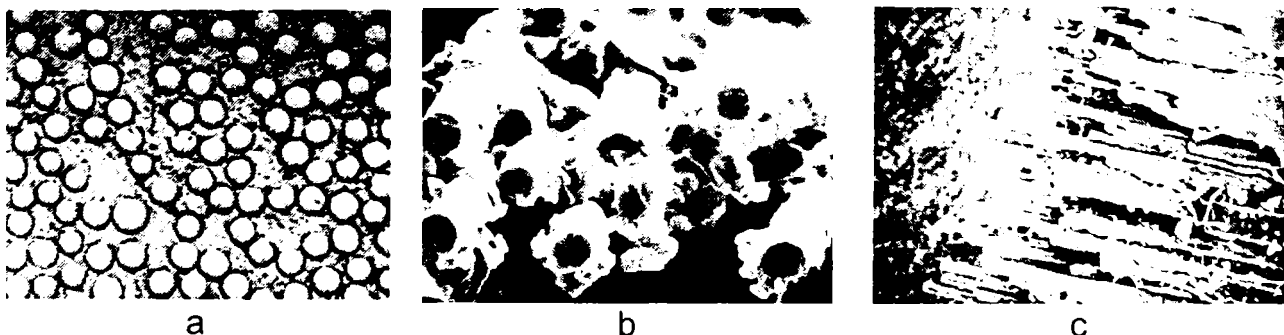


Figura 2.8 – Imagini ale unor polimeri armați cu fibră de grafit

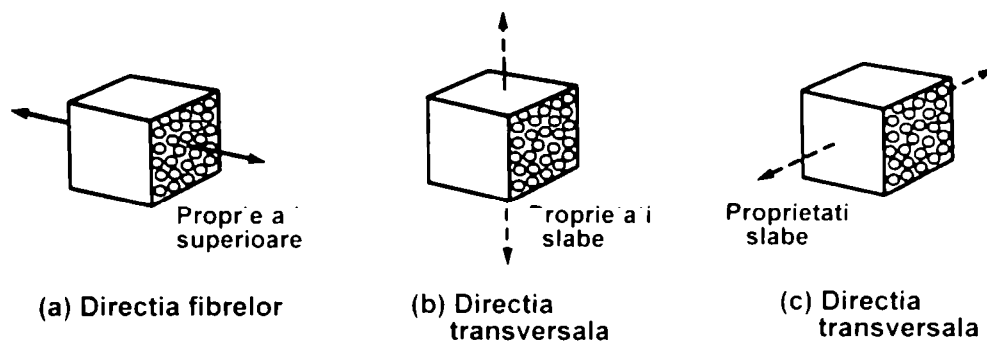


Figura 2.9 – Variația proprietăților materialelor armate cu fibre în funcție de direcția de solicitare

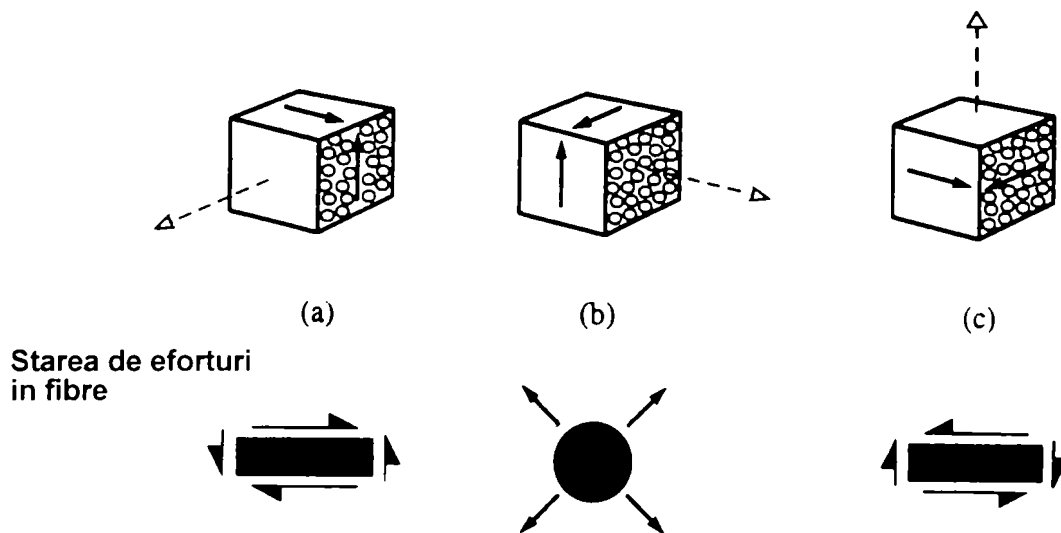


Figura 2.10 – Efortul tangențial aplicat unui volum unitar de material armat cu fibră

2.3. Fibrele

În primele structuri compozite au fost folosite fibre de bor. În prezent se utilizează trei tipuri de fibre ca armături în compozitele cu matrice de polimer, și anume: fibre pe bază de carbon sau grafit, fibre pe bază de sticlă și fibre din polimeri sintetici. Aceste trei tipuri de fibre au în alcătuirea lor carbon, oxigen și azot, care sunt caracterizate de legături interatomice covalente puternice, au densități reduse, stabilitate termică și sunt foarte răspândite în natură.

2.3.1. Fibre pe bază de carbon

Pentru a produce o fibră pe bază de carbon este necesar mai întâi un precursor. Primele fibre precursori au fost obținute din mătase artificială, însă acestea nu erau eficiente economic. Cel mai frecvent se folosesc fibre precursori din poli-acrilo-nitril (PAN) și fibre precursori făcute din gudron. Alți precursori utilizați mai rar sunt cei fenolici, poliamidele și polivinilalcoolicile. Proprietatea mecanică finală a fibrei obținute nu este afectată semnificativ de tipul precursorului, deși procesele tehnologice diferă mult de la o fibră la alta. În general fibrele pe bază de carbon cu un modul mare de elasticitate sunt produse prin carbonizarea fibrelor precursori organice și apoi grafitizate la temperaturi foarte înalte. Orientarea fibrelor se obține

prin întinderea acestora în diferite etape ale procesului de fabricație. Rezultatul acestor întinderi este o mai bună aliniere a straturilor plane de grafit în direcția axială a fibrei, măbind totodată rigiditatea și rezistența pe aceste direcții.

Firmele producătoare livrează fibrele de carbon în câteva sortimente, adeseori marcate prin următoarele simboluri :

- HS (high strength) – cu rezistență ridicată;
- IM (intermediate modulus) – cu modul intermediar;
- HM (high modulus) – cu modul ridicat;
- XA – cu alungire ridicată.

În general, fibrele cu modul de elasticitate scăzut au greutate specifică redusă și preț mai mic, dar rezistența și alungirea la rupere mai mare decât fibrele cu modulul de elasticitate ridicat.

Tabelul 2.1 – Proprietățile fibrelor de carbon

Proprietăți	PAN			Gudron (Pitch) Type-P	Rayon (mătase artificială)
	¹ IM	² HM	³ UHM		
Diametru (μm)	8-9	7-10	7-10	10-11	6.5
Densitate (kg/m^3)	1780-1820	1670-1900	1860	2020	1530-1660
Modul de elasticitate ($10^3 \times$ N/mm^2)	228-276	331-400	517	345	41-393
Rezistența la întindere (N/mm^2)	2410-2930	2070-2900	1720	1720	620-2200
Alungirea (%)	1,0	0,5	0,3-0,4	0,4-0,9	1,5-2,5
Coef. de dilatare termică ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)					
În direcția fibrei	-0,1...-0,5	-0,5...-1,2	-1,0	-0,9...-1,6	-
Perpendicular pe fibră	7-12	7-12	-	7,8	-

¹IM - modul de elasticitate intermediar (intermediate modulus)

²HM - modul de elasticitate mare (high modulus)

³UHM - modul de elasticitate foarte ridicat (ultra high modulus)

În mod evident, variabilitatea condițiilor de fabricație determină diferența de la o fibră la alta ale proprietăților mecanice. Întră în responsabilitatea producătorilor reducerea acestor variații ale proprietăților materialelor pentru a putea fi folosite în aplicațiile ingineresti. Pe lângă acestea fiecare producător de fibre de grafit investește în procedee noi îmbunătățite pentru a produce cu mai mare eficiență, cu rezistențe și modul de elasticitate cât mai mari, cu densități cât mai mici.

2.3.2. Fibre pe bază de sticlă (Glass-Based Fibers)

Fibrele pe bază de sticlă sunt considerate cu performanțe ceva mai scăzute decât fibrele de grafit, însă costul lor este considerabil mai redus.

Bioxidul de siliciu, SiO_2 , formează baza aproape a majorității sticlei comerciale. Aceasta se prezintă sub formă de polimer $(\text{SiO}_2)_n$. La temperatura ambientală este solidă, dar se înmoaie înainte de a ajunge la temperatura de 2000°C , după care începe să se descompună. Dacă siliciul se încălzește până la starea fluidă și se răcește, se formează o structură sticloasă dezordonată. Oîncălzire prelungită peste 1200°C va produce cristalizarea (de ex. structură tip cuarț). Utilizarea siliciului ca

sticlă este potrivită multor aplicații industriale. Există un inconvenient, și anume temperatura ridicată în procesele de fabricație, necesare formării sticlei și prelucrarea acesteia în forme utilizabile. De aceea au fost dezvoltate diferite tipuri de sticlă pentru a reduce complexitatea proceselor și pentru a crește comercializarea sticlei în formă de fibră. Astfel s-a obținut tipul A, AR, C, E și S.

Tipul A - este o sticlă calcosodică obișnuită, folosită pentru recipiente de alimente, izolații, etc.

Tipul AR (Alkali Resistent) - este o sticlă utilizată pentru a asigura o rezistență mai bună la alcali în structuri laminate.

Tipul C (Chemical glass) - numită sticlă chimică, are o stabilitate mare în medii corozive, fiind astfel folosită în aplicațiile unde se cere o rezistență la coroziune mai ridicată.

Tipul E (Electrical glass) - numită sticlă electrică este cea mai utilizată în aplicațiile generale cu compozite (80-90%).

Tipul S, numită sticlă structurală este folosită în structuri și aplicații de mare performanță. Aceasta are o rezistență mare, modul de elasticitate mărit și o rigiditate sporită.

Tabelul 2.2 – Proprietățile fibrelor de sticlă

Proprietăți	Tipul de sticlă			
	AR	C	E	S
Diametru (μm)	8-12	-	8-14	10
Densitate (kg/m^3)	2700	2490	2540	2490
Modul de elasticitate ($10^3 \times \text{N/mm}^2$)	75	68,9	72,4	85,5
Rezistența de întindere (N/mm^2)	3500	3160	3450	4590
Alungirea (%)	3	4,8	1,8-3,2	5,7
Coefficient de dilatare termică ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)	-	7,2	5,0	5,6

2.3.3. Fibre aramide (polimerice)

Aramidele sunt poliamide aromatice (ARomatic poliAMIDE). Această categorie fibre relativ nouă se utilizează din ce în ce mai des în materialele compozite armate cu fibre. Prin utilizarea unei metode de fabricație adecvate, fibrele polimerice pot ajunge la o rezistență și rigiditate foarte mare. Aceasta ca urmare a alinierii legăturilor polimerului de-a lungul axei fibrei. Se utilizează deja diverse fibre polimerice. Altele sunt în dezvoltare. Se găsesc în două tipuri și anume cu modul mare de elasticitate respectiv cu rezistență mare.

Kevlar-ul este probabil cea mai cunoscută fibră polimerică. Acest tip de fibră a fost dezvoltat de firma DuPont Co. în 1968. Inelele aromatice fac fibra destul de rigidă.

Spectra este o altă fibră de polietilenă orientată, dezvoltată de firma AlliedSignal, care se produce în formă de soluție sau gel, urmată de filarea sau tragerea (laminare, trefilare – drawing) (20-100%) pentru a orienta legăturile polimerice. Avantajul ei constă în aceea că fibra are rezistențe chimice bune și densitate redusă, dar temperatura maximă de folosire este relativ mică (100°C).

Din mulți alți polimeri pot fi produse fibre, însă aplicațiile lor comerciale sunt foarte limitate. Acestea includ copoliesteri aromatici, polimeri heterociclici aromatici, și o clasă nouă, poliimidele. Fibrele poliimide, ca Avimid, produs de DuPont Co., vor avea viitor datorită posibilității de utilizare la temperaturi ridicate ($>300^{\circ}\text{C}$).

Tabelul 2.3 – Proprietățile fibrelor de aramidă

Proprietăți	Tipul de fibră			
	Kevlar-29	Kevlar-49	Spectra 900	Twaron
Diametru (μm)	12	12	38	12
Densitate (kg/m^3)	1440	1479	970	1450
Modul de elasticitate ($10^3 \times \text{N/mm}^2$)	62	131	117	127
Rezistența de întindere (N/mm^2)	2760	2800-3792	2580	3600
Alungirea (%)	3-4	2,2-2,8	4-5	2,5
Coeficient de dilatare termică ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)				
	În direcția fibrei	-2,0	-2,0	-
Perpendicular pe fibră	59	59	-	59

*Valorile din tabel sunt date doar cu caracter informativ.

3. Matrice utilizate la alcătuirea compozitelor

Matricea este componenta de bază a materialului compozit, în care sunt repartizate fibrele. Indiferent de tipul matricei și de structura materialului compozit, matricea trebuie să îndeplinească următoarele funcții :

- să lege fibrele între ele
- să protejeze suprafața fibrelor în timpul manipulării, fabricării și a duratei de serviciu a compozitului
- să mențină fibrele în poziții în care să evite propagarea fisurilor, care conduc la distrugerea compozitului
- să transfere tensiunile apărute în exploatare la fibre, prin adeziune și/sau frecare între fibră și matrice
- să fie compatibilă din punct de vedere chimic și termic cu fibrele
- să îmbunătățească proprietățile transversale ale compozitului
- să îmbunătățească rezistența la șoc și la rupere a compozitului

În afară de funcțiile menționate, matricea trebuie să asigure și proprietăți tehnologice care să permită fabricarea, în condiții de siguranță și cu costuri cât mai reduse, a compozitului.

Pentru inginerii constructori prezintă interes familia de matrice polimerice.

Majoritatea aplicațiilor curente din industria compozitelor utilizează matrice polimerice. Materialul matrice joacă un rol important în comportarea compozitului și trebuie să satisfacă numeroase cerințe privind rezistența, durabilitatea, rezistența la factori de mediu și umiditatea, comportare bună la temperaturi ridicate și cost. Printre principalele cauze ale dezvoltării compozitelor cu matrice polimerică se numără și dorința de a se îmbunătăți o serie de proprietăți mecanice ale materialelor plastice, care nu sunt apte să răspundă unor solicitări complexe, iar alegerea unei matrice pentru compozite de acest tip se realizează pe baza proprietăților unor materiale cu potențial de utilizare.[14]

Factorii principali care influențată comportarea materialelor polimerice sunt mărimea forțelor de legătură dintre atomi, numărul de legături chimice pe unitatea de volum și rezistența la degradare a legăturilor sub acțiunea unor solicitări externe.

Materiale polimerice au proprietăți caracteristice, cum ar fi **densitate** mică, în general cuprinsă între 800 – 1500 kg/m³, **modul de elasticitate** scăzut, cu anizotropie puternică, datorită posibilității de obținere de legături moleculare orientate. Acestea au o **conductibilitate termică și electrică** scăzută, astfel polimerii se utilizează ca izolatori electrici, iar conductibilitatea termică este de până la patru ori mai mică decât cea a cuprului. **Rezistența și durabilitatea** sunt reduse la temperaturi ridicate, în timp ce la temperaturi scăzute se înregistrează o fragilitate accentuată. **Rezistența chimică** poate să fie foarte bună și depinde de natura polimerului. Rezistența la coroziune este complementară cu cea a metalelor (majoritatea polimerilor rezistă la acizi și soluții alcaline care corodează metalele, dar unii nu rezistă la uleiuri). Rezistența la coroziune este afectată negativ de prezența unor tensiuni de natură mecanică suprapuse peste cele chimice. **Comportarea la foc** este dependentă de tipul polimerului. Deși toți polimerii pot fi distruși prin ardere, unii dintre ei se comportă mai bine decât alții. Viteza de ardere depinde de natura polimerului, de raportul dintre suprafață și volum, de temperatura și de natura expunerii la foc. O bună parte din polimeri emit gaze toxice la ardere și din această

cauză au o utilizare limitată la aplicații care necesită o siguranță ridicată (de exemplu mijloacele de transport). Datorită curgerii plastice la temperaturi ridicate, polimerii se pot prelucra ușor. [14]

Materialele polimerice pot să fie cristaline sau necristaline (amorfe).

Tranziția de la starea lichidă la starea solidă a materialelor cristaline are loc la răcire, odată cu atingerea temperaturii de cristalizare (T_{cr}).

În cazul materialelor necristaline această tranziție are loc la o temperatură numită **temperatură de tranziție sticloasă** (T_g). La scăderea temperaturii sub această valoare, materialul polimeric devine mai rigid și are o comportare fragilă. Această comportare se datorează faptului că prin răcire nu s-a reușit să se obțină un aranjament al moleculelor de așa manieră încât să răspundă în mod eficient la solicitări externe [11]. Comportarea matricelor polimerice funcție de temperatura de tranziție sticloasă se poate urmări pe figura 3.1.

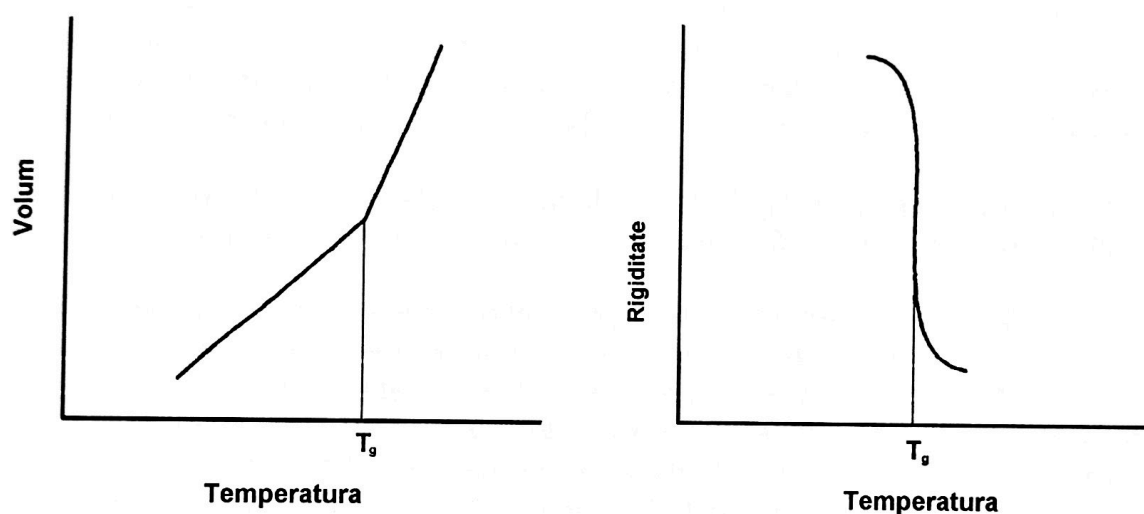


Figura 2.11 – Curbe tipice de comportare a rășinilor în funcție de temperatura de tranziție sticloasă (T_g)

Materialele amorfe nu se utilizează peste temperatura de tranziție sticloasă. Polimerii cristalini sunt folosiți preponderent la temperaturi situate între temperatura de tranziție sticloasă și mult sub temperatura de topire, iar alții sunt utilizați puțin sub temperatura de tranziție sticloasă. [14]

Comportarea mecanică a polimerilor este vâscoelastică, proprietățile de rigiditate și rezistență, frecvența și rata de încărcare sunt dependente de timp. Rezistența la rupere a materialelor polimerice este mult mai mică decât cea a materialelor metalice. În plus, poate să apară și o anizotropie datorată orientării moleculelor polimerice în timpul procesului tehnologic. Spre deosebire de metale, polimerii pot avea o comportare fragilă, care apare mai ales la viteze mari de încărcare sau la temperaturi scăzute.

Polimerii sunt vâscoelastici și de aceea deformațiile lor sunt dependente de factori ca timpul de menținere sub sarcină sau temperatură. Aspectele fenomenologice fundamentale sunt legate de faptul că la materialele vâscoelastice apare la tensiune constantă o deformație dependentă de timp (fluaj). Similar, în cazul în care este impusă o deformație constantă, apare o modificare în timp a tensiunii (relaxare). Deci pentru un interval de timp tensiunea va fi direct proporțională cu timpul.

În fabricarea materialelor compozite polimerice este foarte importantă alegerea corectă a matricei dintr-o multitudine de materiale polimerice, în concordanță cu condițiile în care va funcționa materialul rezultat. [14]

Matricele polimerice pot fi clasificate în două categorii generale, numite **termorigide și termoplaste**. În prezent, la marea majoritate a aplicațiilor structurale se utilizează matrice termorigide (aproximativ trei sferturi din piață).

3.1. Matrice termorigide

Materialele polimerice termorigide sunt de tipul rășinilor, de obicei lichide sau solide cu temperatură de topire joasă, care își formează legăturile ireversibile în cursul unui proces de întărire. Aceasta poate avea loc prin încălzire și presare, fie prin adăugarea unor agenți de întărire (catalizatori), sau prin combinația acestora.

În cursul întăririi se formează legături covalente între lanțuri, de același tip cu cele existente în lanțul polimeric. Legăturile ireversibile formate reduc posibilitatea de deplasare a lanțurilor polimerice, și astfel cresc temperatura de tranziție sticloasă (T_g) până deasupra temperaturii ambientale. În consecință, materialele sunt rigide și fragile la această temperatură. Totodată ele nu își pot modifica forma prin încălzire, ci se degradează.

Rigiditatea crește cu atât mai mult cu cât legăturile slabe (de tip van der Waals) dintre lanțurile polimerice sunt înlocuite de legături puternice de tip reticulat. [14]

Rășinile polimerice sunt utilizate, aproape întotdeauna, în stare lichidă cu vâscozitate mică, astfel este posibil obținerea unei impregnări bune a fibrelor, fără a recurge la temperaturi ridicate sau presiune. Ele au o stabilitate termică și rezistență chimică bună, în general cu o durată de aplicare scurtă după amestecarea cu agenți de întărire (catalizatori, întăritori). Curgerea lentă și relaxarea sub tensiune este mai redusă comparativ cu polimerii termoplaste. De asemenea au deformații specifice la rupere și rezistență la impact mai redus.

Principalele matrice termorigide utilizate la fabricarea compozitelor polimerice sunt rășinile poliesterice, epoxidice, vinilesterice, fenolice și poliamide, dar există cercetări care urmăresc dezvoltarea altor rășini în acest scop. Proprietățile lor sunt prezentate în *tabelul 2.4*.

Tabelul 2.4 – Proprietățile unor matrice termorigide

Proprietăți	Poliester	Vinilester	Epoxi	Bismaldehid	Poliimid
Densitate (kg/m^3)	1100-1500	1150	1100-1400	1320	1430-1890
Modulul de elasticitate ($\times 10^3 \text{N/mm}^2$)	1,2-4,5	3-4	2-6	3,6	3,1-4,9
Rezistența la întindere (N/mm^2)	40-90	65-90	35-130	48-78	70-120
Rezistența la compresiune (N/mm^2)	90-250	127	100-200	200	-
Alungire (%)	2-5	1-5	1-8,5	1-6,6	1,5-3
Coeficient de dilatare termică ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)	60-200	53	45-70	49	90
Temperatura de tranziție sticloasă ($^\circ\text{C}$)	50-110	100-150	50-250	250-300	280-320

Temperatura de utilizare este un criteriu de selecție a matricelor termorigide. Valorile prezentate în tabel sunt temperaturile de serviciu a matricelor, respectiv, în unele cazuri, temperaturile maxime la care pot să fie încălzite pentru durate scurte. [14]

3.2. Matrice termoplaste

Matricele termoplaste devin moi când sunt încălzite la temperaturi ridicate, permițând astfel formarea și turnarea lor în forme până când se află în stare semifluidă încălzită și devin rigide după răcire la temperatură ambiantă. Acești polimeri pot să fie încălziți repetat, fabricați și răciți. În consecință resturile pot fi reciclate (apare totuși o ușoară degradare a proprietăților, din cauza reducerii greutatei moleculare).

Termoplastele sunt polimeri liniari, nu formează o rețea rigidă prin interconectare chiar dacă lanțurile lor pot fi arborescente. Legătura dintre lanțuri este datorată unor forțe slabe van der Waals, care sunt distruse ușor prin acțiunea combinată a temperaturii și a solicitărilor mecanice. Din această cauză, termoplastele curg la temperatură ridicată. [14]

Deși există două tipuri de rășini termoplaste, și anume amorfe și cristaline, totuși majoritatea sunt de natură cristalină până la semicristalină, pentru care gradul de cristalinitate depinde de detaliile structurii moleculare și variază considerabil.

Matricele polimerice termoplaste au rezistență mare la impact, la fel și rezistență la rupere ridicată. Multe dintre termoplaste au alungire specifică la rupere mai mare decât termorigidele.

Alte avantaje potențiale sunt:

- timp de depozitare nelimitată când sunt protejate de umiditate sau sunt uscate înaintea utilizării
- cicluri de formare mai reduse, micșorând astfel costurile de fabricație
- posibilitate de formare secundară (reutilizare)
- ușurința de prelucrare
- toleranță la distrugeri

Dezavantajul principal este vâscozitatea mare, astfel este greu de combinat cu fibre continue, dar recent s-au dezvoltat procese noi promițătoare.

Principalele materiale termoplaste utilizate ca și matrice sunt : poliamide (PA), policarbonat (PC), polietersulfon (PES), polietereterchetona (PEEK), polieterchetona (PEK), polipropilen (PP), polipropilen-sulfid (PPS).

Tabelul 2.5 – Proprietățile unor matrice termoplaste

Proprietăți	PA (Torlon)	Nylon 6.6	PC	PEEK	PES	PP	PPS
Densitate (kg/m ³)	1400	1140	1150	1320	1240	900	1340
Modulul de elasticitate (x10 ³ N/mm ²)	5	1,4-2,8	2,2-2,4	-	2,5	1,0-1,4	3,3
Rezistența la întindere (N/mm ²)	95-185	60-75	45-70	92-100	70-75	25-38	70-75
Rezistența la compresiune (N/mm ²)	276	34	80	-	-	-	110
Alungire (%)	12-18	40-80	50-80	150	50-100	300	3
Coefficient de dilatare termică (10 ⁻⁶ /°C)	36	90	70	-	56-100	110	54- 100
Temperatura de tranziție sticloasă (°C)	243-275	50-60	130	143	190	-20...-5	85
Absorbție de apă (în 24h la 20°C)	0,3	1,3	0,1	0,1	0,2	0,03	0,2

*Valorile din tabel sunt date doar cu caracter informativ.

3.3. Adaosuri (filer) [P17]

Adaosurile se pot folosi atât la polimerii termoplastici cât și termorigizi pentru a reduce costul rășinilor, pentru a controla contracția, de a îmbunătăți proprietățile mecanice, incluzând performanțele de comportare la foc, respectiv de a îmbunătăți rezistența la umiditate, netezimea suprafeței, rigiditatea, stabilitatea dimensională și rezistența la temperaturi.

În aplicații structurale adaosurile sunt utilizate selectiv pentru a îmbunătăți transferul de încărcări, de asemenea pentru a reduce fisurarea în zonele nearmate, ele putând fi și agenți de întărire (catalizatori) și inhibitori de radiații ultraviolete.

Materialele de adaos sunt disponibile într-o varietate mare de forme și proprietăți care sunt frecvent utilizate. În continuare sunt prezentate câteva materiale de adaos anorganice utilizate cu compozite.

Când adaosurile anorganice sunt utilizate în compozite laminate nestructurale ele pot atinge 40-65% din masa compozitului. În comparație cu rășini și fibre, adaosurile sunt cele mai ieftine ingrediente, totuși foarte importante pentru a îmbunătăți performanțele laminatelor compozite.

3.4. Aditivi și modificatori

O varietate mare de aditivi sunt utilizați în compozite pentru a modifica proprietățile materialelor și a impune performanțele laminatelor. Deși aceste materiale în general sunt folosite în cantități (după masă) relativ reduse comparativ cu rășinile, fibrele și adaosurile, le pot îmbunătăți unele performanțe cheie, cum ar fi:

- **contracție redusă** cu suprafețe netede se pot atinge, când o rășină termoplastică specială, care moderează contracția rășinii, este adăugată rășinilor termorigide;
- **rezistența la foc** se poate îmbunătăți prin alegerea rășinii convenabile, utilizând adaosuri speciale și/sau prin adăugarea unor aditivi opritori de ardere (flame-retardant), incluzând în această categorie materiale care conțin trioxid de antimoniu, brom, clor, trioxid de bor (borat) și fosfor;

- **capabilitatea de eliberare a aerului** (air-release) se poate îmbunătăți prin utilizarea aditivilor de specialitate care asigură procesarea fără goluri de aer, de asemenea măbind și umezirea (wet-out) fibrelor;
- **controlul vâscozității** deseori se atinge prin utilizarea aditivilor de umezire și dispersanților. Acești aditivi facilitează umezirea (wet-out) și dispersia adaosurilor rezultând o vâscozitate mai redusă;
- **conductivitatea electrică** este posibilă prin adăugare de metal, particule de carbon sau fibre conductibile în matricea compozită;
- **tenacitatea** se poate îmbunătăți cu aditivi speciali, cum ar fi anumite cauciucuri sau alte materiale elastomere.

Diverse tipuri de aditivi au fost dezvoltati pentru a îmbunătăți lucrabilitatea rășinilor matrice pe timpul procesului de fabricare și/sau de a contribui la sporirea performanțelor specifice a produsului compozit final. Astfel de aditivi sunt:

- **antioxidanți**, care întârzie sau împiedică (opresc-inhibă) oxidarea polimerului și degradarea acestuia;
- **agenți antistatici** sunt adăugați polimerilor pentru a reduce tendința lor de a trage încărcarea electrică. Controlul electricității statice este esențial în anumite procese ale plasticelor și operații de prelucrare, la fel și în produsele finale. Încărcările statice în materiale plastice pot produce șocuri, prezintă risc de incendiu și atrag praful;
- **spumanti** (agenții de spumare) sunt chimicale care sunt adăugate polimerilor în timpul procesării pentru a forma celule fine (minute cells) în rășină. Plasticele spumate prezintă densitate redusă, reduc costul materialului, îmbunătățesc izolația electrică și termică, măresc raportul rezistență-greutate și reduc contracția;
- **plastifianții** sunt adăugați compusului pentru a îmbunătăți caracteristicile la fabricare și să ofere proprietăți fizice și mecanice într-o gamă mai largă;
- **agenți de alunecare și blocare** asigură lubrifierea suprafeței, asigurând astfel un coeficient de frecare redus și ajută la desprinderea elementului de formă;
- **stabilizatorii de căldură** sunt utilizați la sistemele termoplaste pentru a împiedica degradarea polimerilor când acestea sunt expuse la căldură;
- **stabilizatori la ultraviolete** sunt adăugați pentru a preveni pierderea strălucirea (gloss), microfisurarea, decolorarea, schimbarea caracteristicilor electrice, fragilitatea și dezintegrarea datorită radiațiilor ultraviolete. Aditivii care protejează compozitele prin absorția radiațiilor UV se cheamă absorbatori de ultraviolete. Materialele care protejează prin alte metode se cheamă stabilizatori de ultraviolete. Acești aditivi se folosesc atât pentru compozitele termoplaste, cât și la termorigide.

În poliesteri, aditivul cel mai important este **catalizatorul** sau **inițiatorul**. De obicei un peroxid organic, ca și peroxidul metil-etil-chetona (MEKP) se utilizează pentru procesele de întărire la temperatura ambiantă, sau se adaugă rășinei peroxid de benzoil pentru formarea la temperaturi mari. Când se inițiază prin căldură sau se utilizează împreună cu un **activator** (accelerator - promoter), peroxidele se transformă într-o stare reactivă (prezintă radicali liberi), determinând rășinile nesaturate să reacționeze și să devină solide. Unii aditivi sunt folosiți pentru a încetini viteza de reacție, aceștia fiind numiți inhibitori (stabilizatori).

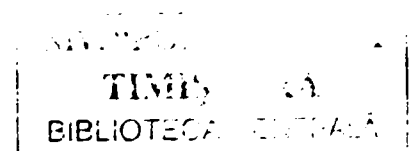
Acceleratorii (ca dimetil anilina) accelerează (grăbesc) întărirea.

Coloranții și pigmentii sunt deseori folosiți în compozite pentru a colora părțile acestuia. Aditivii se pot amesteca în rășină sau se pot aplica parte a procesului de formare (ca și un strat de gel).

Agentul de deblocare (release agent) facilitează îndepărtarea părților din matrită (forma de turnare). Aceste produse trebuie adăugate rășinei, aplicată pe ștanță, sau ambele.

În unele procese, ca și așezarea manuală sau așezarea prin pulverizare (spray-up) trebuie folosiți **agenți tixotropici**. Când rășinile conțin agenți tixotropici rămân în stare de viscozitate mai ridicată. Aceasta reduce tendința rășinii lichide de a curge de pe suprafețele verticale. Agenții tixotropici cei mai utilizați sunt silica fume și anumite argile.

Aditivii și ingredientele de modificare largesc aria de utilizare a polimerilor, ușurează procesul de fabricare sau extind durabilitatea produselor. Deși aceste materiale măresc costul sistemului de material, ele ajută la îmbunătățirea performanțelor.



4. Compozite polimerice

Materialzele compozite polimerice sunt alcătuite dintr-un număr de fibre cu diametre mici, continue, direcționate și legate într-o rășină matrice. Funcție de tipul fibrelor se folosesc următoarele denumiri:

- polimeri armați cu fibră de carbon, prescurtarea în engleză fiind CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)
- polimeri armați cu fibră de sticlă, prescurtarea în engleză fiind GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)
- polimeri armați cu fibră de aramidă, prescurtarea în engleză fiind AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer)

Fracțiunea volumetrică (volume fraction) a fibrelor în compozit este în jur de 50-70% pentru benzi și aproximativ 25-35% pentru foi.

Datorită diversității fibrelor și a matricelor, a proceselor de fabricație, respectiv datorită posibilităților de combinare ale acestora sub aspect cantitativ, calitativ sau structural, materialele compozite apar într-o gamă largă de combinații și forme. Proprietățile materialului rezultat astfel depinde în mare măsură de factorii menționați, inginerul fiind nevoit să găsească combinațiile optime dintre componente și să asigure cerințele pentru realizarea și aplicarea acestor compozite.

Proprietățile mecanice de bază ale materialelor compozite polimerice se pot estima, dacă se cunosc proprietățile materialelor constituente (fibre, matrice) și factorii care influențează acestea, dintre care cele mai importante sunt următoarele:

- natura și raportul dintre componente
- dimensiunea, dispunerea și conținutul de fibre
- tipul interfeței fibră-matrice
- structura compozitului
- tehnologiile de fabricare

Pentru a adapta proprietățile rezultante la cerințele produsului factorii trebuie identificați, după care se poate acționa asupra fiecăruia, în limite mai mari sau mai mici. Astfel se pot modifica rapoartele volumetriche fibră-matrice, dispunerea fibrelor la unghiuri convenabile și tipurile de interfețe, care asigură compatibilitatea componentelor. De asemenea sunt disponibile numeroase tehnologii de realizare a compozitelor, care la rândul lor sunt influențate de considerente tehnico-economice, criteriul economic fiind unul dintre criteriile principale cu obiectivul asigurării unei balanțe convenabile preț-calitate.

4.1. Natura și raportul dintre componente [14]

Natura și raportul dintre componente au influență hotărâtoare asupra proprietăților compozitului. Prin creșterea până la o anumită limită a cantității de fibre din componența materialului compozit, proprietățile mecanice se pot îmbunătăți.

Raportul existent între cele două părți principale ale compozitului (fibră și matrice), se poate exprima prin două mărimi fizice, și anume fracțiunea masică și fracțiunea volumetrică.

Fracțiunea masică (M) este raportul dintre masa componentului, căruia i se determină participarea procentuală, și masa compozitului. Acest factor se ia în considerare în operația de dozare a componentelor din cadrul procesului tehnologic. Astfel:

$$\begin{aligned}
 \text{- fracția masică a fibrei :} & \quad M_F = \frac{m_F}{m_C} \\
 \text{- fracția masică a matricei:} & \quad M_M = \frac{m_M}{m_C}
 \end{aligned}
 \Rightarrow M_F + M_M = 1$$

Fracțiunea volumetrică (V) se exprimă prin raportul dintre volumul componentului și volumul compozitului și este cea față de care se calculează proprietățile compozitului.

$$\begin{aligned}
 \text{- fracțiunea volumetrică a fibrei :} & \quad V_F = \frac{v_F}{v_C} \\
 \text{- fracțiunea volumetrică a matricei:} & \quad V_M = \frac{v_M}{v_C}
 \end{aligned}
 \Rightarrow V_F + V_M = 1$$

Unde: m_F = masa fibrei; m_M = masa matricei; m_C = masa compozitului;
 v_F = volumul fibrei; v_M = volumul matricei; v_C = volumul compozitului.

La fabricarea și utilizarea materialului compozit este utilă stabilirea unei relații de transformare din fracții volumetrică în fracții de masă, și reciproc. Pornind de la relația:

$$\begin{aligned}
 m_C &= m_F + m_M \\
 \text{și efectuând înlocuirea } m &= \rho \cdot v \Rightarrow \rho_C \cdot v_C = \rho_F \cdot v_F + \rho_M \cdot v_M \Rightarrow \\
 &\Rightarrow \rho_C = \rho_F \frac{v_F}{v_C} + \rho_M \frac{v_M}{v_C} \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$\text{Rezultă } \Rightarrow \rho_C = \rho_F \cdot V_F + \rho_M \cdot V_M$$

$$\begin{aligned}
 \text{În același timp :} & \quad V_F = \frac{v_F}{v_C} = \frac{\rho_F}{m_C} = \frac{m_F}{m_C} \cdot \frac{\rho_C}{\rho_F} \Rightarrow V_F = M_F \frac{\rho_C}{\rho_F} \\
 & \quad V_M = M_M \frac{\rho_C}{\rho_M}
 \end{aligned}$$

Astfel cunoscând densitățile fibrelor și ale matricei (ρ_M), mărimi precizate de firmele producătoare, se pot stabili, funcție de necesități, participările volumetrică sau masice.

Pe baza relațiilor de mai sus, care exprimă o proprietate a compozitului în funcție de proprietățile componentelor și participarea volumetrică, se pot scrie, cu aproximare, și celelalte proprietăți cu ajutorul relației numită legea amestecurilor, care în forma generalizată se scrie în felul următor:

$$A_C = A_F V_F + A_M V_M, \text{ unde } A \text{ reprezintă o proprietate mecanică.}$$

$$\text{Ținând seama de faptul că : } V_M = 1 - V_F, \text{ rezultă : } \quad A_C = A_F V_F + A_M (1 - V_F)$$

Cu această formulă se poate determina rezistența la rupere și modulul de elasticitate a materialului compozit, cunoscând rezistențele de rupere și modulele de elasticitate a fibrei, respectiv a matricei, de asemenea și participarea volumetrică a fibrelor.

$$\begin{aligned}
 &\Rightarrow R_C = R_F V_F + R_M (1 - V_F) \\
 &\Rightarrow E_C = E_F V_F + E_M (1 - V_F)
 \end{aligned}$$

Fiindcă legea amestecurilor este doar o aproximație a comportării micromecanice a compozitelor, influențată de o serie de factori suplimentari, valori mai sigure ale proprietăților și comportărilor se pot obține prin încercări de laborator. [75]

4.2. Dimensiunea, dispunerea și conținutul de fibre

Dimensiunea fibrelor

Multe dintre caracteristicile unice ale materialelor compozite se datorează dimensiunilor fibrelor, care influențează valoarea tensiunilor care apar în materialul compozit și prin urmare și proprietățile acestuia. Fibrele aproape întotdeauna sunt mai rezistente când se produc cu diametre mici, datorită excluderii defectelor de execuție la scară mare (figura 2.12.). Această afirmație este adevărată mai ales în cazul materialelor fragile, ca și fibrele de sticlă.

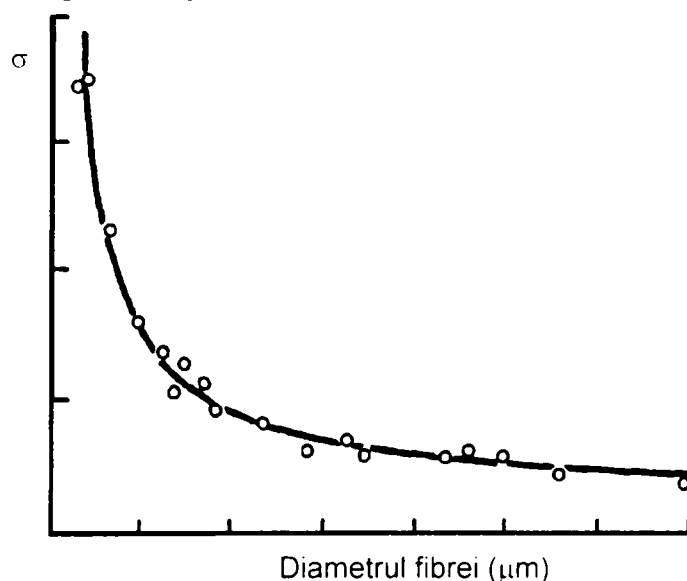


Figura 2.12. Efectul diametrului fibrelor asupra rezistențelor [39]

Diferența de comportament dintre fibră și matrice conduce la apariția în cele două componente a unor tensiuni de natură diferită.

În fibră apar eforturi de întindere a căror valoare este minimă la capătul fibrei și maximă în centrul fibrei (figura 2.13.).

În matrice apar eforturi tangențiale care se modifică de fapt la interfața dintre fibră și matrice. Aceste tensiuni sunt minime în centru și maxime la capete (figura 2.14.).

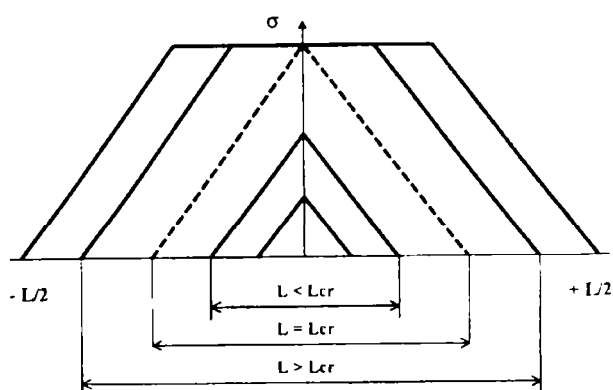


Figura 2.13. Eforturi apărute în fibră

L = lungimea fibrei; L_{cr} = lungimea critică a fibrei

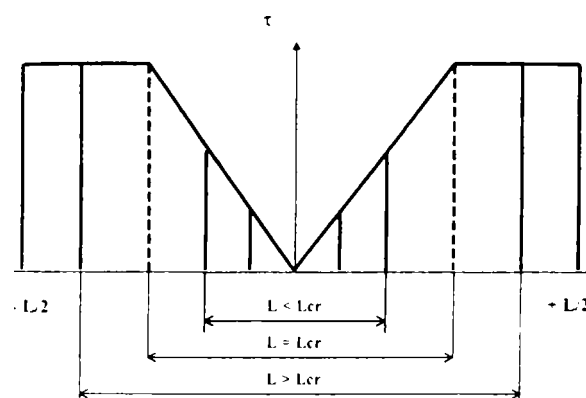


Figura 2.14. Eforturi apărute în matrice

Lungime critică a fibrei (L_{cr}) este lungimea corespunzătoare unui efort maxim în matrice. Pentru o fibră a cărei lungime este egală cu lungimea critică, eforturile din fibră și matrice ating valorile maxime. Pentru fibre a căror lungime este mai mare decât lungimea critică nu se înregistrează creșteri ale eforturilor din fibră și din matrice peste valorile maxime (critice). Pentru fibre a căror lungime este mai mică decât lungimea critică, efortul din fibră este mai mic decât efortul maxim și fibra nu este încărcată la adevărata capacitate.

Lungimea critică se poate determina folosind modelul din *figura 2.15*.

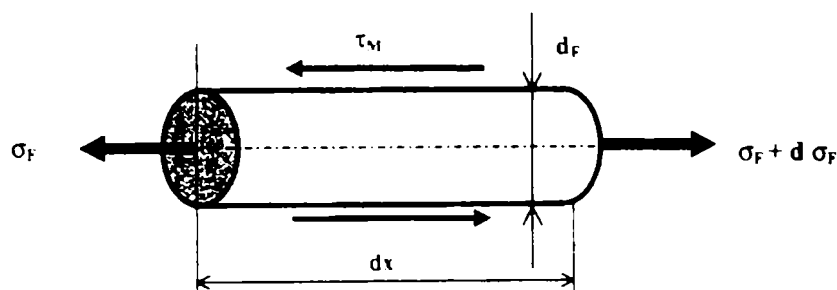


Figura 2.15. Model pentru determinarea lungimii critice

Pentru elementul de fibră se poate scrie ecuația forțelor care apar pe direcție axială :

$$\sigma_F \frac{\pi d_F^2}{4} = \tau_M \pi d_F dx$$

La limită, pe baza *figurilor 4.2. și 4.3.* rezultă :

Pentru $x = 0 \rightarrow \sigma_F = 0$ și

$x = l_c / 2 \rightarrow \sigma_F = \max$

$$\Rightarrow \sigma_{Fmax} \frac{\pi d_F^2}{4} = \tau_M \pi d_F \frac{l_c}{2} \Rightarrow l_c = \frac{d_F}{2} \frac{\sigma_{Fmax}}{\tau_M}$$

unde τ_M este limita de rupere la forfecare a matricei.

Deci lungimea critică a fibrei este direct proporțională cu diametrul fibrei și depinde de proprietățile mecanice ale fibrei și ale matricei. Pe baza acestor analize pot apărea următoarele situații extreme:

- d_F foarte mare \Rightarrow conduce la l_{cr} de valoare ridicată
- d_F foarte mic \Rightarrow conduce la l_{cr} de valoare mică

Importanța practică a acestei observații este în faptul că la diametre de ordinul micronilor transferul de sarcină între fibră și matrice este suficient și la lungimi mici ale fibrelor. [14]

Conținutul de fibre

Fibrele influențează proprietățile compozitului prin dimensiunile asociate formei (diametru, lungime) și prin modul și pozițiile în care sunt dispuse. Datorită faptului, că rigiditatea și rezistența fibrelor este mult mai mare decât cea a matricelor, proprietatea materialului compozit este determinată de proprietățile fibrelor și aria

transversală ale acestora. Comparând proprietățile secțiunii transversale totale (fibre și matrice) a compozitului cu proprietățile fibrelor independente, observăm că rigiditățile și rezistențele sunt mai mici. Pentru o cantitate constantă de fibre forța de rupere, respectiv alungirea specifică la rupere este afectată doar foarte puțin de creșterea cantității rășinei. Deci putem afirma că există o relație puternică între fracția volumetrică a fibrelor și proprietățile compozitului (*figura 2.16. și 2.18.*). [75]

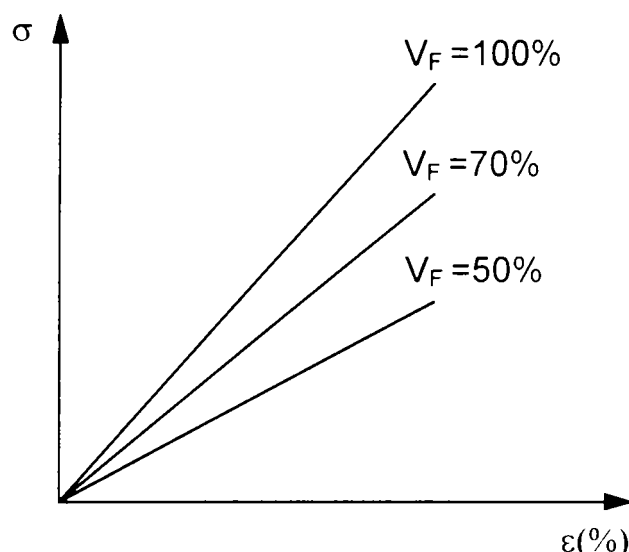


Figura 2.16. Relația dintre efortul unitar și conținutul volumetric al fibrelor (V_F)

La realizarea materialelor compozite performante există limite teoretice și limite practice (tehnologice). Limitele teoretice rezultă din analiza corelației existente între proprietățile componentelor și raportul dintre acestea. Limitele tehnologice au în vedere posibilități efective de dozare și aranjare a componentelor în condiții de preț și productivitate acceptabile. [14]

Un material compozit cu fibre continue și cu legătura puternică între fibră și matrice permite definirea a două mărimi față de care se pot analiza limitele teoretice :

- gradul de armare, definit ca raportul dintre sarcinile suportate de fibre, respectiv de matrice (σ_F/σ_M)
- gradul de transfer al sarcinii, definit ca raportul dintre modulele de elasticitate ale fibrei și cele ale matricii (E_F/E_M)

Cele două rapoarte formează o proporție dacă sunt afectate și de raportul care exprimă volumul relativ al componentelor.

$$\frac{\sigma_F}{\sigma_M} = \frac{E_F}{E_M} \frac{V_F}{V_M}$$

Această relație poate fi reprezentată grafic sub forma diagramei Krock (*figura 4.6.*), care permite stabilirea raportului dintre volumul fibrelor și cel al matricii, pentru obținerea unui grad de armare dorit.

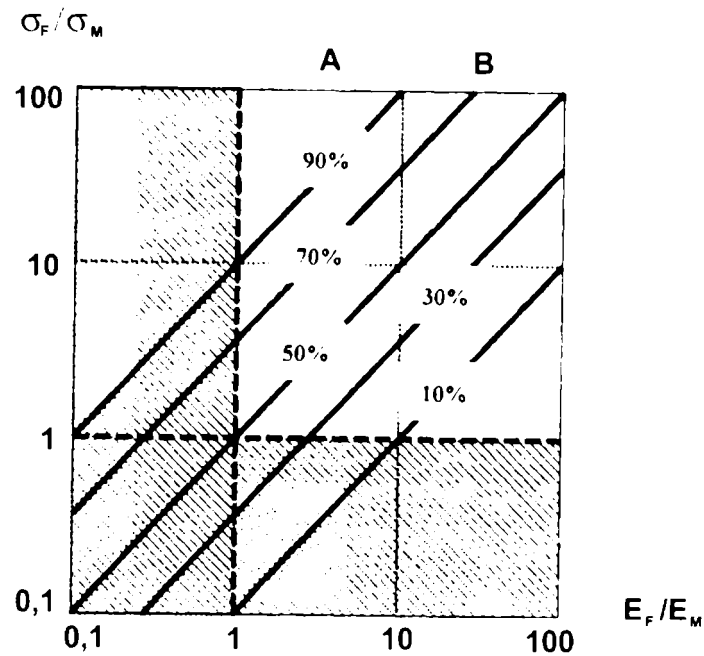


Figura 2.17. Diagrama Krock

Conform diagramei la grade mici de transfer al sarcinii este nevoie de o cantitate mare de fibre, respectiv la grade mari de transfer al sarcinii este suficientă o cantitate mai redusă de fibre.

Pe diagrama Krock se formulează două condiții restrictive derivate din definiția materialelor compozite, și anume, $\sigma_F > \sigma_M$ și $E_F > E_M$.

Disponerea fibrelor

Diferența fundamentală dintre compozitele armate cu fibre și materialele convenționale (ca oțelul) este că proprietățile sunt foarte direcționate. Această direcționalitate afectează modul în care materialul se folosește, disponerea fibrelor fiind factorul care influențează în grad ridicat proprietățile materialului compozit. Dacă în ceea ce privește ceilalți factori de care depinde comportarea materialelor compozite există posibilități limitate de modificare a proprietăților, la disponerea fibrelor plaja de variație a proprietăților este mult mai mare.

Materialele compozite se pot caracteriza printr-un grad ridicat de neomogenitate, datorită formei și distribuției fibrelor, respectiv prin anizotropie, tipul și modul de aranjare a fibrelor având un rol hotărâtor asupra acestuia.

Anizotropia compozitelor crește cu gradul de aranjare și cu lungimea fibrelor, respectiv cu direcționarea (orientarea) fibrelor. La prima vedere anizotropia constituie un dezavantaj major al materialelor compozite, dar aceasta poate să fie utilizată favorabil, dispunând fibrele după direcția tensiunilor maxime, care apar în timpul utilizării.

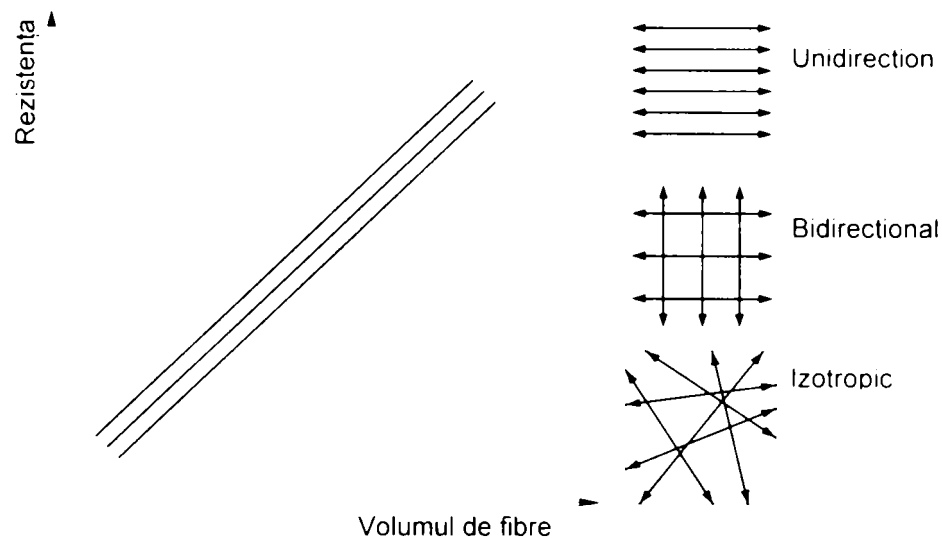


Figura 2.18. Relația dintre rezistență, volumul de fibre și dispunerea fibrelor în compozit

Cheia utilizării materialelor compozite constă în utilizarea unor fibre corespunzătoare scopului urmărit, dispunerea fibrelor în pozițiile și orientările potrivite, realizarea unei proporții de fibre optime cu utilizarea unor matrice adecvate.

4.3. Tipul interfeței fibră – matrice [14]

La materialele compozite s-a constatat că, în majoritatea cazurilor, cedarea sub efectul solicitărilor exterioare, are loc la interfața dintre fibră și matrice și nu transversal pe fibră. Interfața este porțiunea din materialul compozit care asigură transferul de sarcină de la fibră la matrice și, în același timp, ea poate constitui un mijloc de protecție la influențele mediului exterior. În materialele compozite armate cu fibre această legătură determină (de multe ori decisiv) rezistența la rupere, tenacitatea, rezistența la oboseală și la influențele mediului extern.

Din punctul de vedere al intensității legăturilor pe care le creează se pot întâlni interfețe slabe, care duc la obținerea de compozite cu comportare ductilă și caracteristici de rezistență redusă, respectiv interfețe puternice, care favorizează obținerea de compozite cu caracteristici de rezistență ridicată și comportare fragilă.

La compozite cu matrice polimerică se întâlnesc tipuri de interfețe bazate pe formarea următoarelor legături :

a) Legătura de tip mecanic este utilizată în special atunci când nu există alte metode mai bune de a forma o interfață puternică. Pentru legătura tip mecanic se urmărește să se obțină o suprafață de contact cât mai mare între fibră și matrice. Acest tip de interfață asigură o comportare bună la solicitări paralele cu interfața și slabă la solicitări aplicate transversal. Dezavantajul principal al legăturilor de tip mecanic este dat de faptul că apar diferențe între deformațiile fibrei și cele ale matricei care provoacă în compozit apariția unor tensiuni semnificative.

b) Legătura prin atracție electrostatică este importantă atunci când una dintre componentele materialului compozit (în general fibra) are un potențial electropozitiv sau electronegativ. Legăturile de acest tip se întind pe adâncimi foarte mici (de ordinul distanțelor atomice), iar pentru ca ele să fie eficiente este necesar să se asigure un contact perfect (fără impurități și goluri) între fibră și matrice.

c) Legătura chimică apare atunci când grupuri chimice de pe suprafața fibrei și, respectiv, grupuri de pe suprafața matricei, sunt compatibile. Se formează astfel o interfață între componentele compozitului, a cărei rezistență depinde de tipul legăturilor care au luat naștere între grupurile chimice și de numărul de legături pe unitatea de suprafață.

d) Legătura prin difuzie se întâlnește atunci când atomii sau moleculele componentelor formează legături între ele. Proprietățile depind de distanța pe care moleculele se îngemănează, de lungimea legăturii dintre molecule și de densitatea de molecule pe unitatea de suprafață.

4.4. Structura compozitelor

- **Lamina** este o unitate a unei structuri compozite alcătuită dintr-un număr semnificativ de fibre înglobate într-un strat subțire de matrice. În funcție de dimensiunea și dispunerea fibrelor se pot realiza mai multe tipuri de lamine, acestea putând fi uni-, bi- sau multidirecționale, cu așezare întâmplătoare, respectiv continuu sau discontinuu, grosimea lor fiind uzual între 0,1 – 1 mm.

Lamina unidirecțională are cea mai accentuată anizotropie, fibrele fiind dispuse paralel, într-o singură direcție, la distanță regulată și perfect legate de matrice.

Lamina bidirecțională are fibre dispuse pe două direcții, anizotropia variind în anumite limite, funcție de cantitățile de fibre pe cele două direcții, respectiv de tipul acestora.

În cazul fibrelor discontinue, rezistența la rupere și modulul de elasticitate sunt mai mici decât cele obținute la compozitele cu fibre continue. În același timp însă, la o distribuție întâmplătoare a fibrelor, proprietățile mecanice și fizice sunt aproximativ egale în orice direcție din planul laminei. [14]

- **Laminatul** este alcătuit din mai multe lamine suprapuse. Laminele din laminat pot să aibă fibrele cu aceeași orientare sau orientarea poate să difere de la o lamină la alta, sau de la un grup de lamine la altul (*figura 2.19*).

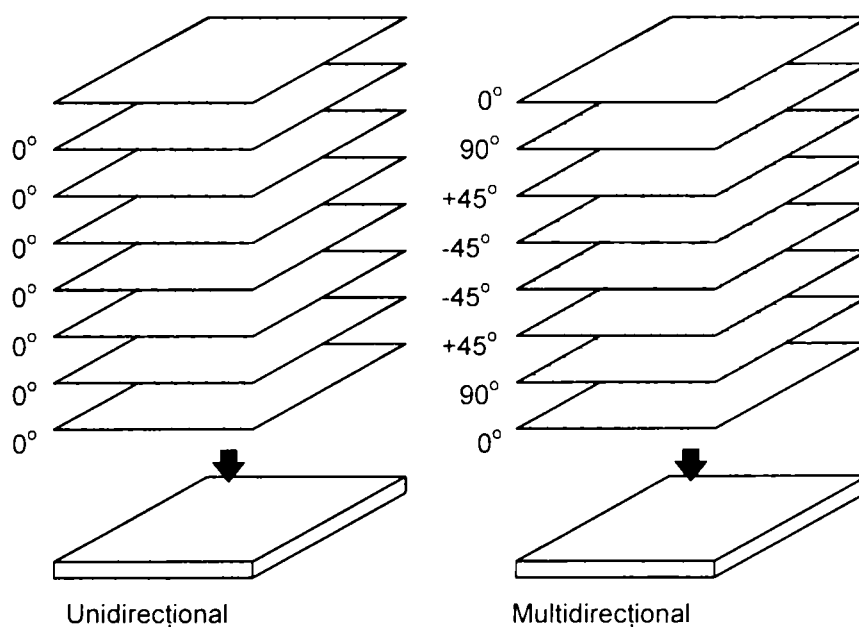


Figura 2.19. Exemple de laminate

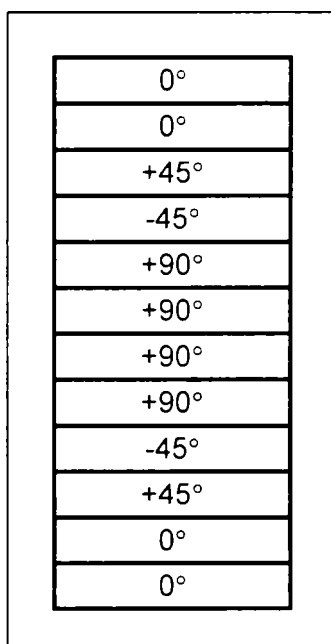
Motivul principal al realizării laminatelor îl constituie faptul, că grosimea unei singure lamine este de obicei insuficientă ca să reziste la sarcinile aplicate, iar prin aşezarea mai multor lamine unidirecţionale poate fi redusă şi anizotropia.

Structurile practice din materiale compozite au fibre plasate în mai multe direcţii. Deoarece majoritatea compozitele sunt extrem de slabe în direcţia transversală pe fibre, orice încărcare în această direcţie poate cauza distrugerea structurii, de aceea fibrele se aşează în mai multe direcţii. Alegerea corectă a unghiurilor de aşezare a diferitelor straturi de fibre constituie cheia proiectării structurilor compozite.

Situaţia materialelor compozite este într-un fel similar cu cea a betonului armat, în care şi dacă acţionează o încărcare simplă, distribuţia solicitărilor interne nu este uniformă. Situaţia este complicată în compozite, deoarece rigiditatea straturilor individuale depinde de unghiul de aşezare a fibrelor faţă de încărcare.

În funcţie de simetrie, se pot întâlni laminat simetrice sau nesimetrice. La cele simetrice, prin rabaterea în jurul axei de simetrie, laminele din laminat coincid.

Pentru a se putea discuta mai convenabil despre laminat în notaţii se folosesc prescurtări. Astfel, pentru fiecare lamină unidirecţională din laminat se precizează unghiul pe care o fac fibrele cu direcţia principală, iar dacă mai multe lamine consecutive sunt identice, atunci la unghiul laminei ca şi indice se trece numărul straturilor.



Luând un exemplu de aşezare de pe figura 2.20, notaţia ar fi:

$$0_2 / \pm 45 / 90_4 / \pm 45 / 0_2$$

În caz că laminatul prezintă o axă de simetrie, se poate simboliza doar jumătate din el şi se specifică simetria printr-un indice *s*. Deci pentru acelaşi laminat notaţia devine:

$$[0_2 / \pm 45 / 90_2]_s$$

Figura 2.20. Exemplu de laminat

- **Compozitele hibride** se obţin prin utilizarea a două sau mai multe tipuri de fibre la realizarea unei lamine sau a unui laminat. Astfel se combină fibra de carbon cu sticlă sau aramidă. Dezvoltarea compozitelor hibride a fost favorizată de avantajele rezultate din posibilitatea de înlocuire a unor fibre cu proprietăţi excepţionale dar având preţ extrem de mare cu fibre mai ieftine, cu proprietăţi mai slabe, dar care să nu afecteze semnificativ proprietăţile rezultate ale compozitului. În acelaşi timp există posibilitatea de a ameliora anumite proprietăţi prin substituirea fibrelor de bază cu fibre cu comportare mai bună. [14]

Lamina hibridă este alcătuită din două sau mai multe tipuri de fibre, dispuse după o anumită legătură (figura 2.21. a).

Laminatul hibrid poate fi realizat în două variante :

- laminat hibrid interpliu, obținut prin alăturarea a mai multor lamine obișnuite, dar cu fibre de natură diferită (*figura 2.21. b*)
- laminat hibrid intrapliu, care este obținut pe baza unor lamine hibride (*figura 2.21. c*).

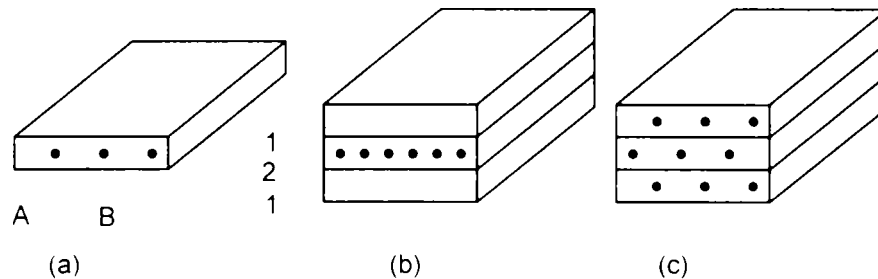


Figura 2.21. Tipuri de compozite hibride

Pentru obținerea unei bune legături între lamine, de obicei se utilizează același tip de matrice pentru întreg laminatul.

- **Compozitele tip sandwich** se obține dacă un miez cu densitate mică este așezat între două plăci (foi) rigide cu grosime mult mai mică decât cea a miezului (*figura 4.11*). Miezul trebuie să fie suficient de rigid pe direcție perpendiculară pe fețe, astfel încât în timpul deformării acestea să păstreze o distanță corectă între ele, respectiv trebuie să fie suficient de rigid, încât să împiedice deformarea locală în planul propriu sub acțiunea forțelor de compresiune.

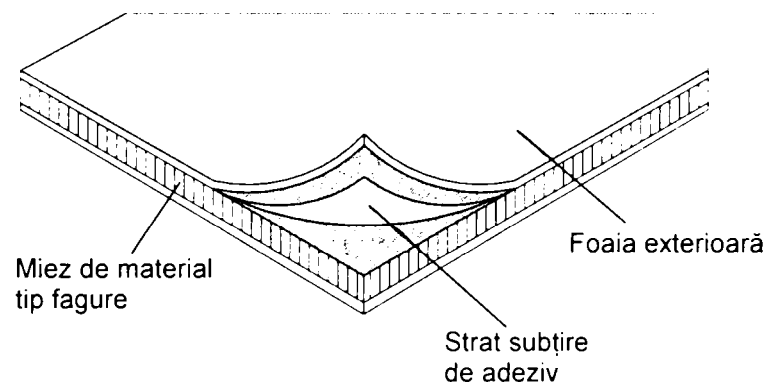


Figura 2.22. Alcătuirea unei panou sandwich [W11]

Foile de față pot fi din numeroase materiale, în industria compozită cele mai utilizate fiind cele din carbon sau sticlă. Materialele cele mai utilizate ca miez sunt spuma, spuma sintetică și structurile tip fagure. Utilizarea miezurilor conduce la obținerea unor compozite cu rigiditate mărită la care straturile exterioare, realizate din alte materiale, preiau tensiunile maxime.

Comparația cea mai potrivită a unei structuri sandwich se poate face cu o grindă I (*figura 2.13*). Fețele (skin) panoului se pot asocia cu tălpile grinzii, care preiau eforturile din încovoiere la care sunt supuse, cu o față întinderile, iar cu cealaltă compresiunile. Similar, miezul corespunde inimii grinzii, prin care solicitările sunt transferate între fețele de jos și sus prin eforturi de tăiere. Miezul mărește rigiditatea structurii, ținând fețele îndepărtate, îmbunătățirea față de grinda I fiind, aceea că dă un suport continuu pentru fețe, realizând astfel un panou cu rigiditate uniformă.

Fetele sunt lipite de miez cu ajutorul unui adeziv care ține componentele panoului rigid, și permite acestora să acționeze ca o singură unitate, cu rigiditate mare la torsiune și încovoiere.

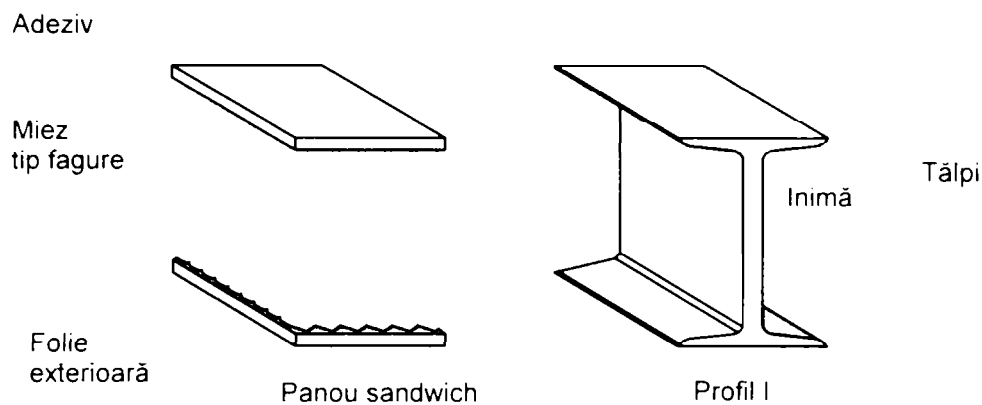


Figura 2.23. Comparația dintre alcătuirea unui panou sandwich și un profil laminat [W11]

Compozitele tip sandwich sunt utilizate pe scară largă de mai mulți ani, mai ales în aplicații unde raporturile rigiditate-greutate și rezistență-rigiditate nu pot fi depășite. Astfel de domenii sunt industria aviatică, nautică, de automobile și în construcții.

4.5. Producția compozitelor polimerice

Compozitele polimerice sunt segmentul de compozite cu cea mai largă utilizare datorită, în principal, tehnologiei de fabricare relativ simplă, care permite un preț convenabil.

Deși există multe procedee de fabricare a compozitelor, toate procesele au la bază o serie de pași comuni. De exemplu toate compozitele necesită fabricarea unei structuri de rețele de fibre, care trebuie să fie îmbibate (umezite – wet-out) și infiltrate de matricea rășină, care la urmă trebuie solidificată.

Dintre toate structurile de fibre posibile, se disting două variante majore : liniare și (între)țesute (împletite - interlaced). Fiecare tip necesită o tehnică de fabricare diferită, din care rezultă proprietăți diferite.

Structurile liniare sunt făcute prin așezarea de câlți (tow), benzi sau foi din fibre aliniate (de obicei impregnate de rășini) peste o mandrină sau aparat de prelucrare. Aceasta se poate face manual sau prin mijloace automatizate, materiale produse fiind caracterizate de rânduri paralele de fibre, cu o fracție volumetrică a fibrelor foarte ridicate, deci cu rezistențe și rigidități specifice mari în planul lor.

Țeserea fibrelor, pe de altă parte, pot produce structuri textile cuplate (prinse, legate – interlocked) 2D și 3D. Variantele cele mai comune ale acestora sunt procesele de împletire (braiding) și țesere (weaving) 2D. Țeserea necesită manipularea a două sau mai multe ghemuri în același timp. Deci, procesele liniare folosesc, de obicei, mașini cu un singur „cap” de repartiție cu multe grade de libertate, în timp ce procesele de țesere utilizează mașini cu „capuri” multiple, dar fiecare cu un domeniu de mișcare foarte limitată.

Abilitatea de a crea produse prin numeroase procedee de fabricare este specifică industriei de compozite. Există o varietate mare de procedee la îndemâna producătorilor de compozite de a confecționa produse la un preț eficient (cost-efficient). Fiecare procedeu are caracteristici care definesc tipul produsului, aceasta

constituind un avantaj, deoarece permite producătorului să asigure soluția cea mai bună pentru cumpărător. Pentru a selecta procedeul de fabricație cel mai eficient, trebuie luați în considerare numeroși factori, cum sunt:

- nevoile utilizatorului;
- cerințele de performanță;
- dimensiunile produsului;
- complexitatea formei și aspectul;
- rata de producție și volumul total de producție;
- țintele și/sau limitările economice;
- forța de muncă (labour);
- materialele utilizate;
- prelucrare, asamblare;
- echipament.

Procedeele de fabricație tipice utilizate pentru realizarea produselor întâlnite în construcții sunt următoarele:

- a) Sisteme cu formare deschisă (Open-mould systems)
 - așezarea manuală (hand lay-up)
 - aplicare prin pulverizare (spray-up)
- b) Sisteme cu formare închisă (Closed-mould systems)
 - formare prin transfer de rășină (Resin Transfer Molding)
 - formare prin transfer de rășină asistată de vid (Vacum Assisted Resin Transfer Molding)
 - formare prin compresiune (Compression Molding)
- c) Sisteme automate
 - înfășurarea filamentului (filament winding)
 - pultrudarea

4.5.1. Procesul de așezare manuală (Hand Lay-up) și prin pulverizare (Spray-up)

Procesul de așezare manuală este metoda cea mai veche și simplă, utilizată pentru producerea laminatelor plastice. În ciuda progresului continuu de a înlocui așezarea manuală cu procedee automatizate, totuși aceasta este metoda cu care o mare parte a compozitelor polimerice avansate sunt realizate. Procedeul este și în continuare folosit, deoarece este extrem de flexibil, capabil să realizeze o varietate mare de forme. În afară de aceasta nu impune investiții de capital mari, ca și în cazul procedeelor automatizate. Cu toate acestea, cu creșterea volumului de producție și intensificarea presiunii economice, așezarea manuală, gradual, va fi înlocuită sau modificată prin folosirea noilor tehnologii automatizate.

Tehnologia de laminare se bazează pe legarea sau lipirea a două sau mai multe lamine pentru a forma laminatul. Materialele pot diferi ca tip și proprietăți mecanice, respectiv în orientările specifice.

Într-un procedeu de așezare manuală, numit așezare umedă (wet lay-up), rășina este pulverizată, vărsată sau întinsă (periat – brushed) într-o formă (mold). După aceasta fibrele (reinforcement) sunt impregnate (wet-out – umezit, saturat) cu rășină, plasându-se în formă. Funcție de grosimea sau densitatea fibrelor (reinforcement) se mai adaugă rășină pentru a îmbunătăți impregnarea suprafeței formei, după care este periat (brushed) sau rolat (rolled) pentru a îndepărta bulele de aer și pentru a o compacta în formă.

Componentul cheie a unei laminări este procesul de lipire (legare – bond) a straturilor. Există trei componente de bază care completează (make up) procesul de

lipire. Prima este prepararea suprafeței laminei, care îmbunătățește capacitatea suportului (substrate) de a accepta și a lega cu un adeziv. Prepararea suprafeței variază în funcție de tipul materialului. La compozite se utilizează sablarea, șlefuirea (grinding), buciardarea suprafeței sau curățirea cu solvenți. Componenta a doua este adezivul însuși, care are atributele dependente de tipul substratului, de cerințele de utilizare și limitele procedurii. Ca o regulă generală, legătura maximă este atinsă pentru un suport dat, când se rupe materialul însuși la rezistența ultimă. Componenta a treia a laminării este procesul prin care materialele sunt lipite unul de celălalt. Aceasta implică o multitudine de parametri, în primul rând timpul, căldura, presiunea, amestecul, umiditatea și catalizatorii (inițiatori). Este important ca aceste trei componente ale legării (lipirii – bonding) să fie folosite corect pentru a atinge o laminare performantă.

Cu procesul de așezare manuală se pot realiza mai multe tipuri de laminate. Unul dintre acestea este laminatul tip sandwich, care constă în două straturi exterioare cu rigiditate și rezistență mare conectate printr-un miez. Tipul al doilea sunt elementele integral laminate (all-laminated), care constă din straturi cu rigiditate și rezistență relativ mari. Al treilea tip constă din elemente structurale care sunt armate (reinforced) pe partea întinsă sau comprimată, sau pe ambele.

În construcții cel mai des folosit este tipul al treilea. În multe dintre acestea compozitele sunt utilizate prin laminarea feței întinse la grinzi sau prin înfășurare la stâlpi, materialele compozite fiind aplicate în formă preîntărită (pre-cured), prepreg sau prin așezare umedă. Laminarea la clădiri și poduri este o metodă simplă cu costuri reduse, care mărește capacitatea portantă la încărcări și rezistența la solicitări dinamice, cum este seismul.

Performanța structurală, greutatea redusă și proprietățile structurale orientate sunt doar câteva dintre avantajele acestor materiale laminate, în multe cazuri rezultatul fiind o soluție mai puțin costisitoare pentru numeroase probleme structurale ingineresti.

Procesul de aplicare prin pulverizare are fazele similare de preparare cu cea a așezării manuale, dar tehnica actuală de aplicare a rășinii și a fibrei în formă este mai puțin exigentă. În timpul operațiunii de aplicare prin pulverizare fibrele sunt așezate în matrită împreună cu un jet de rășină, apoi consolidate. În industria construcțiilor acest proces este utilizată la consolidarea pereților portanți și de închidere (load-bearing and infill panels) sau ca strat superior la panourile sandwich.

4.5.2. Procesul de formare prin transfer de rășină (Resin Transfer Molding - RTM)

Formarea prin transfer de rășină este un grup de procedee în care fibrele uscate semifabricate (preformate – preformed) sunt infiltrate de o rășină cu viscozitate mică și sunt întărite într-o formă, schema procedurii fiind prezentată pe *figura 4.17*. Aceste operații se realizează în trei pași principali, și anume, producerea semifabricatului de fibră (fibre preformate) și așezarea acestora într-un tipar sau matrită (formă), infiltrarea rășinii sub o presiune moderată-mare în semifabricatul de fibră, respectiv întărirea (curing) structurii compozite în formă. O cerință importantă privind semifabricatul de fibră este de a menține forma sa în timpul infiltrării rășinii, de aceea ele se leagă (se prind) sau se lipesc cu un liant (material de lipit – binder). Cercetările recente se focalizează pe semifabricate de fibre împletite pentru operațiile de fabricație cu această metodă, deoarece acestea mențin forma prin legarea firelor. Mare parte dintre semifabricate au limita fracțiunii volumetrice de fibre

50-60% înainte de infiltrare, fiindcă o fracțiune volumetrică mai mare nu poate fi infiltrată corect. Etapa de infiltrare a rășinii este de obicei realizată prin pomparea rășinii în matrită sub presiune. Rășina trebuie să aibă vâscozitate destul de mică de a permite infiltrarea completă și să nu se întărească prea repede, pentru o impregnare suficientă a fibrelor. Întărirea este îndeplinită prin încălzirea matritei înainte sau după infiltrare, în al doilea caz rășina fiind de întărire lentă, astfel ca întregul semifabricat să se infiltreze înainte începerii prizei. De obicei în timpul infiltrării și întăririi se aplică un vacuum matritei pentru ca golurile să fie eliminate sau reduse.

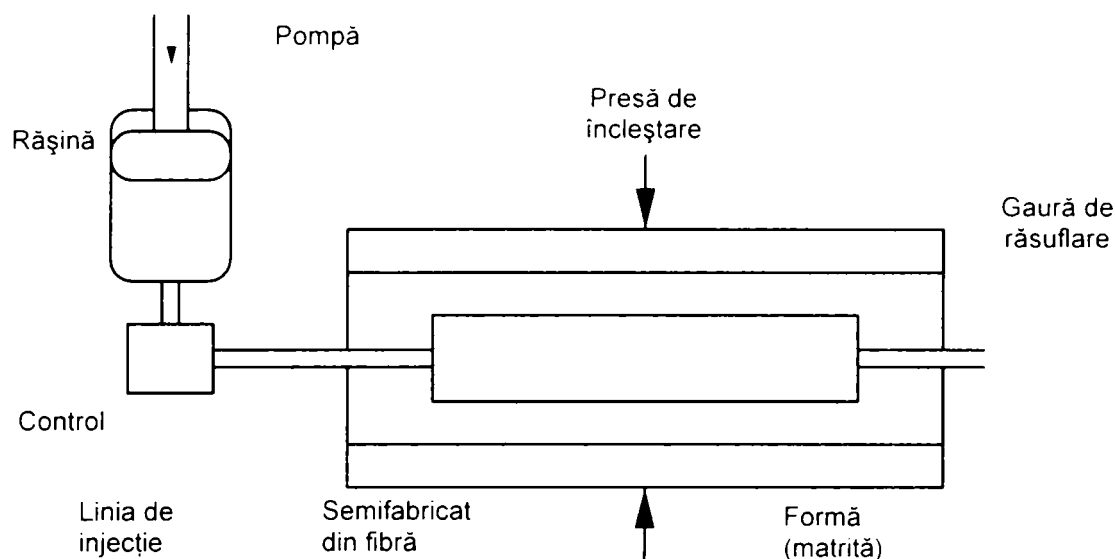


Figura 2.24. Schema procesului de formare prin transfer de rășină

Formarea prin transfer de rășină este un procedeu închis, deoarece semifabricatele sunt plasate între două suprafețe de matrită pereche, compatibil cu o varietate de sisteme de rășini. Utilizarea acestui proces este convenabilă la producerea în volume medii a unor părți structurale complexe de dimensiuni medii sau mici. Prin producerea unor părți foarte complexe se reduce sau se elimină necesitatea de asamblare.

Compozitele realizate cu acest procedeu au finisaje de înaltă calitate cu toleranțe foarte mici și productivitate de 5-20 de ori mai mari decât cele fabricate cu tehnici de formare deschisă (ca așezarea manuală). Dezavantajele procedurii sunt costurile mari de prelucrare, formele de țesere se limitează astfel încât fibrele să fie impregnabile, respectiv dimensiunile părților fabricate sunt determinate de dimensiunile matritei.

4.5.3. Procedeu de formare prin transfer de rășină în de vid (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding - VARTM)

O variantă a procedurii prezentat mai sus dar care diferă de acesta este **transferul de rășină în vid** (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding – VARTM). În prima etapă, fabricarea părților trebuie efectuată într-o singură matrită deschisă. În a doua etapă, se injectează rășina în combinație cu vacuumarea pentru impregnarea perfectă a fibrelor. Acest proces s-a utilizat în numeroase aplicații, ca paleți de turbină (turbine blade), bărci și platelaje de poduri (bridge decks). Metoda de fabricare este unică acestui proces, fiindcă permite producerea unor forme structurale mari fără goluri (void-free). Acest procedeu se folosește la fabricarea atât

a laminatelor subțiri, cât și a celor foarte groase. În plus, forme complexe cu o arhitectură de fibre specială permite fabricarea unor elemente mari, care au performanțe structurale ridicate. Elementele care utilizează acest procedeu sunt fabricate prin așezarea țesăturilor uscate într-o matrită, aplicând suprafeței deschise vacuumul, între timp injectând (infusing) o rășină pentru a satura fibrele până când elementul este complet întărit. Acest proces permite monitorizarea vizuală a rășinii asigurând acoperirea completă, pentru a produce elemente fără defecte.

4.5.4. Procedeu de formare prin presare (Compression Molding)

Procesul de formare prin presare este metoda cea mai utilizată de formare a materialelor termorigide. Această tehnică implică formarea materialelor prin presare, utilizând forme-pereche (matched dies). Produsul rezultat are un finisaj bun pe ambele fețe, sistemul permițând utilizarea unui conținut de fibre mai mari, cu proprietăți mecanice îmbunătățite comparativ cu procedeele deschise.

Procedeu de formare prin **presare la rece** (la presiune joasă) (cold-press/low pressure) utilizează forme-perechi neîncălzite presate pentru impregnarea cu rășină a fibrelor plasate în formă. Înaintea așezării fibrelor și a rășinii, pe suprafața formei se aplică un strat de gel și soluție antiaderentă (release agent). Acest proces este convenabil la loturi mici cu suprafețe cu finisaj bun. Este o metodă simplă, eficientă, cu costuri reduse, dar necesită cicluri de formare lungi, de obicei de ordinul orelor.

În procesul de formare prin **presare la cald** (la presiune mare) (hot-press/high pressure) polimerii umpluți cu fibre sunt reținuți între forme-perechi din metal lustruite și încălzite, presate. Acest proces este metoda cu cel mai mare volum de formare a polimerilor termorigizi. Pentru a crește eficiența în utilizarea procedeuului de fac diferite combinații de rășini, fibre și aditivi. Cele mai larg utilizate sunt cunoscute sub numele amestec în gramadă (bulk molding compound) și amestec în foi (sheet molding compound).

4.5.5. Procedeu de înfășurarea filamentului (Filament Winding)

Înfășurarea filamentului este o tehnica de fabricație dezvoltată la sfârșitul anilor 1940 și începutul anilor 1950, în care fibrele continue erau înfășurate pe un dispozitiv (mașină) rotitor sau mandrină. Cheia procesului este construirea mandrinei. Alegerea materialului este critică, fiindcă mandrina trebuie „îndepărtată” din interiorul structurii finale după terminarea procesului. Când se fabrică o structură chesonată complex prin înfășurarea filamentului, câteodată este greu de îndepărtat mandrina. De aceea trebuie să fie astfel proiectată, încât să permită dezamblarea în interiorul chesonului sau să fie dizolvabil într-o soluție după terminarea procesului.

Înfășurarea filamentului este o metodă automată de fabricație, mișcarea dintre suprafața rotitoare și roving, respectiv dozarea fiind controlată de calculator. Unele tipuri de mașini și sisteme de control permit țeserea unor modele foarte complexe.

Există două tipuri de înfășurare a filamentului, și anume înfășurarea umedă (wet winding) și înfășurarea uscată (dry winding).

Înfășurarea umedă se referă la folosirea unei rășini pe timpul înfășurării. Fibrele trec printr-o baie de rășini înainte de a fi înfășurate pe mandrină, fibrele și rășina fiind combinate în timpul fabricării.

În cazul înfășurării uscate, fibrele preimpregnate, în formă de bandă sau câlți, sunt înfășurate direct pe mandrină. Uneori se utilizează preîncălzitori pentru a înmuia materialul preimpregnat înaintea așezării pe suprafața mandrinei. Dacă se înfășoară compozite termoplaste, ele se consolidează direct pe suprafața mandrinei, utilizând

surse de căldură locale, care înmoaie banda sau câlțul preimpregnat în punctul de contact cu suprafața mandrinei.

Procesul de fabricație prin înfășurarea filamentului este folosit la fabricarea unor compozite cu axă de simetrie sau tubulare, exemplele tipice fiind țevi, tuburi, rezervoare, vase de presiune, sau orice formă sferică sau conică. Alte forme, cum sunt panourile drepte, se pot face cu această metodă, înfășurând pe o mandrină rectangulară și apoi tăind structura în dreptul axelor după fabricare.

Se utilizează două modele (forme – pattern) de înfășurare de bază : polară și elicoidală.

Modul de înfășurare polară (sau plană) (*figura 4.13.*) rezultă când mandrina stă pe loc, iar capul care distribuie fibrele se rotește în jurul axei longitudinale. Pentru a produce o orientare dorită a fibrei de-a lungul axei, capul este înclinat iar mandrina este mișcată longitudinal în timp ce capul se rotește. De obicei acest model operează în poziție verticală pentru a elimina curbarea(deflection) datorită greutateii. Avantajul major este că controlul este mai simplu. Rotația capului se face la o viteză uniformă, prin aceasta eliminând efectele de inerție, care apar la înfășurarea elicoidală, când viteza sau direcția de traversare se schimbă. Metoda în general se limitează la utilizarea materialelor preimpregnate.

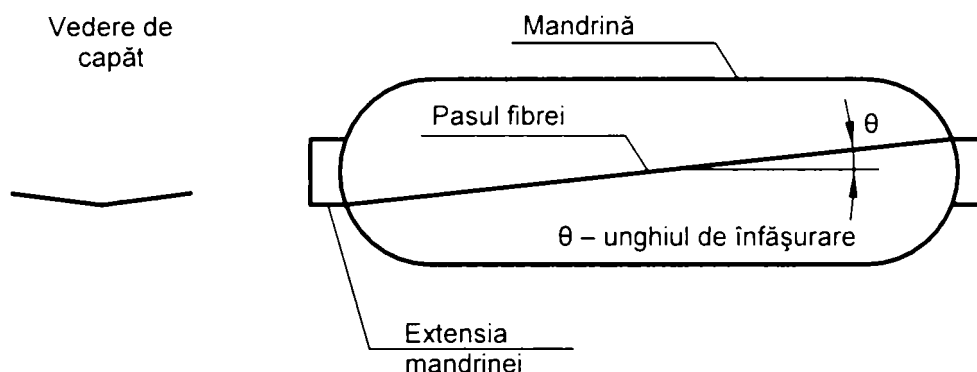


Figura 2.25. Procedul înfășurării polare

Modul de înfășurare elicoidal (*figura 2.16.*) rezultă când mandrina se rotește continuu, în timp ce capul traversează înainte și înapoi de-a lungul axei mandrinei, astfel fibrele înfășurându-se transversal față de axa de rotație. Deoarece metoda necesită cel puțin două grade de libertate (rotația mandrinei și mișcarea capului), controlul este mult mai complicat, însă aceste mișcări permit plasarea mai precisă a fibrelor în jurul capetelor.

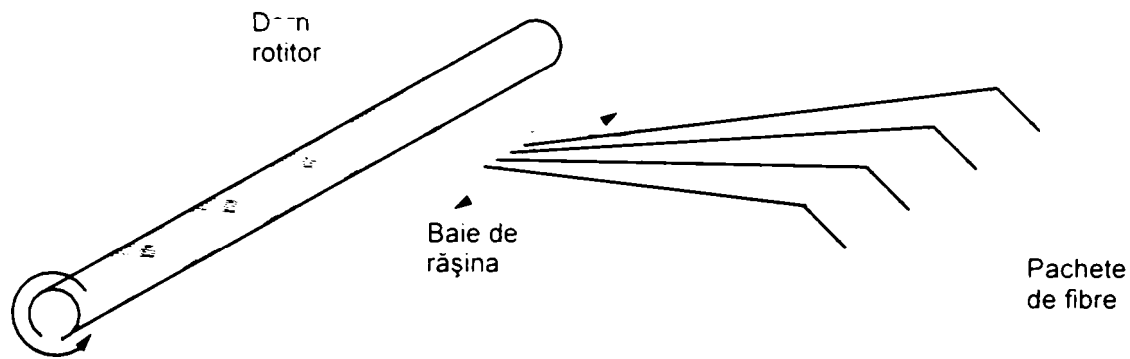


Figura 2.26. Procedul înfășurării elicoidale

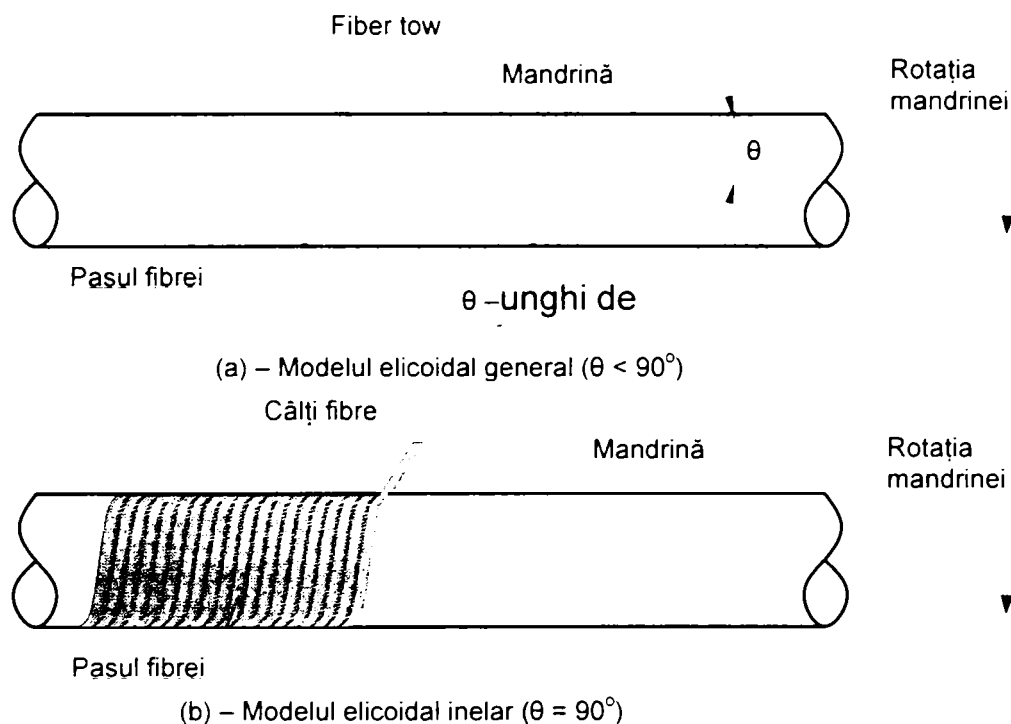


Figura 2.27. Procedee de înfășurare

Procedeele de înfășurare a filamentului are productivitatea cea mai mare dintre toate tehnicile de fabricare a compozitelor (aproximativ 50kg/h).

4.5.6. Procedeele de pultrudare (Pultrusion)

La începutul anilor 1950 s-a dezvoltat un procedeu continuu de fabricare a compozitelor, tehnică numită pultrudare (pultrusion). Acest procedeu este cel mai potrivit cerințelor comerciale, având preț redus și calitate bună. Procedeele au fost gândite pentru aplicații eficiente, unde s-a cerut rezistență la coroziune, greutate mică și conductivitate electrică redusă, cu prețul puțin peste cel a oțelului sau al aluminiului.

Pultrudarea este un proces continuu de formare, prin care combinația de fibre și matricea de rășină este trasă printr-o matriță (stanță – die) sau o serie de matrițe,

având rol de formare și tratare (întărirea – cure), produsul final de compozit fiind un material cu secțiune transversală constantă. Structurile pultrudate pot avea orice lungime dorită (teoretic) și pot avea secțiuni transversale de o mare varietate, exemplele tipice fiind țevi circulare sau rectangulare, bare de armătură, profile cu secțiuni I, C, U, L, T respectiv benzi, panouri sau alte forme.

Ca și în procedeul precedent, și aici putem avea procedeul uscat sau umed.

În pultrudarea umedă, fibrele (câlții) uscate traversează o baie de rășină înainte să fie trase prin stanță. În acest caz rășinile utilizate sunt rășini termorigide, care în timpul procesului sunt supuse unor cicluri de încălzire-presare (temperature-pressure) pentru întărirea matricii respective.

În procesul de pultrudare uscată materialele utilizate sunt foi preimpregnate. Preimpregnarea se face cu rășini termoplaste, foile fiind foarte subțiri, foile conțin o mixtură convenabilă fibră-matrice. Pultrudarea acestor materiale se numește de fapt laminare.

Etapele de bază ale procesului de pultrudare, prezentate schematic în *figura 2.18.*, sunt impregnarea cu rășină (pentru pultrudare umedă), preîncălzirea (preheater), formarea (shaping die), tratarea (curing and forming die), tragerea (pullers) și tăierea.

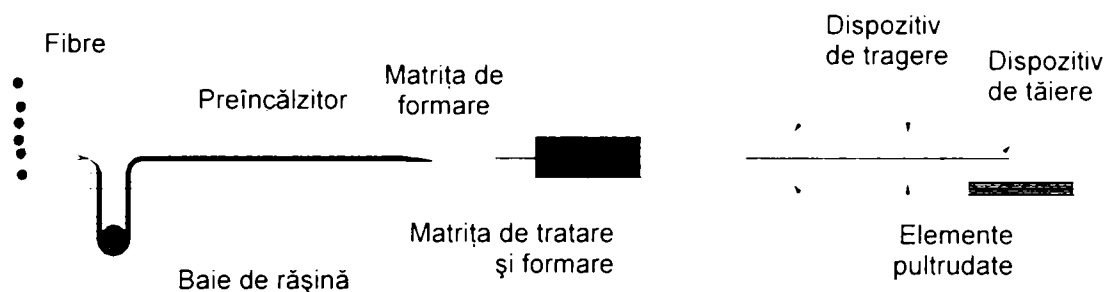


Figura 2.28. Schema procesului de pultrudare

Impregnarea cu rășini se realizează de obicei prin tragerea fibrelor printr-o baie de rășină, dar se pot folosi și benzi preimpregnate. Rolele de ghidare și de tensionare se folosesc pentru netezirea și întinderea fibrelor (câlților), deci permit îmbibarea completă a rășinii.

Înainte de linia de formare se găsesc o serie de preîncălzitori, dispuși la distanțe egale, folosite pentru îmbunătățirea tratamentului sau pentru favorizarea impregnării prin minimalizarea vâscozității. Preîncălzirea materiei prime (rășina și/sau fibrele) înainte ca aceasta să ajungă la matrița de tratare reduce semnificativ timpul (și lungimea liniei) de tratare.

Matrița de tratare și de formare este una dintre cele mai costisitoare părți al procesului de pultrudare. Aceasta este constituită de obicei dintr-un tipar din oțel (tool steel mold), care este lustruit (netezit – polished) extrem de uniform și apoi placat cu crom. Uniformitatea suprafeței matriței este foarte importantă. Matrița de tratare trebuie să fie cât se poate de lungă (peste 2 m) și de obicei încălzită la o temperatură necesară inițierii reacției de întărire (tratare – curing) a rășinii. Câteodată se utilizează cuptoare de încălzire, după ce materialul iese din matriță, pentru a termina reacțiile de tratare. Înainte ca materialul să părăsească matrița de tratare, acesta trebuie să fie complet în stare de gel pentru a menține forma sa structurală.

Traversarea secțiunilor de încălzire este asigurată de dispozitivul de tragere, prin viteza căruia se controlează timpul de tratare, înaintarea fiind asigurată de cleme și prin alunecare continuă cu viteză constantă.

Dispozitivul de tăiere este de obicei alcătuit dintr-un nisip de siliciu umed sau uscat, sau o pânză cu diamant cu care produsul este tăiat la lungimile dorite.

Fabricanții au dezvoltat o varietate mare de procese de pultrudare. Majoritatea pultrudărilor comerciale utilizează tehnica cu baie de rășină și fibre unidireționale. Când se cer laminate mai complicate trebuie adăugate împletituri sau țesături pentru obține armări transversale sau în afara axei. Există și posibilitatea utilizării unor amestecuri hibride de fibre pentru a obține performanțe speciale.

Procesul de pultrudare necesită o investiție de capital în general mai mare la început, rezultatul fiind un proces de producție care se numără printre procesele de fabricare a compozitelor avansate cu cele mai mici prețuri.

4.5.7. Defecte de fabricație

Este inevitabilă apariția defectelor în compozite în procesul de fabricație. Când un material este de înaltă calitate aceasta înseamnă că are puține defecte.

Defectele de fabricație pot fi de diferite tipuri, și anume goluri, delaminări, fisuri induse din tensiuni reziduale, lipsă de rășină, punji (porțiuni) bogate în rășină, fibre distruse, dezlipiri dintre fibră și matrice, descompunere termică, și regiuni întărite excesiv și insuficient. Parametrii procesului au o influență nemijlocită asupra producerii acestor defecte, respectiv asupra modului cum se pot preveni acestea.

Golurile sunt extrem de dăunătoare performanțelor mecanice ale materialelor compozite. Crearea lor în timpul procesului se poate datora mai multor cauze. Goluri de aer se pot forma în timpul procedurii de așezare, apa absorbită în rășină poate vaporiza în timpul ciclului de întărire, respectiv se pot forma produse gazoase în timpul reacției de întărire. În formarea prin transfer de rășină golurile pot apărea dacă rășina nu se infiltrează uniform printre fibre. Tehnologia curentă de control a formării golurilor în procedeele de fabricație este aplicarea unei presiuni suficiente pentru a preveni dezvoltarea (creșterea) acestora în timpul ciclului de întărire.

Delaminarea sau separarea straturilor pot apărea în timpul procesului ca rezultat al migrării bulelor de gaze, emise de rășină la întărire, la interfața dintre straturi. Dacă se acumulează un număr suficient de goluri la interfață se produce delaminarea. În afară de acestea murdăriile, grăsimile sau alte materiale contaminante de pe suprafața straturilor prepreg trebuie evitate în timpul așezării sau a consolidării.

Tensiuni reziduale se nasc în materialul compozit datorită nepotrivirii dilatării termice dintre componente. Dacă necorelarea sau temperatura de prelucrare este prea mare, tensiunile reziduale pot determina fisurarea matricei în timpul răcirii.

Dacă întărirea nu s-a produs în mod corespunzător, rezultatul poate fi apariția unor zone cu deficit de rășină sau prea bogate în rășină. Lipsa de rășină apare când presiunea aplicată este prea mare, astfel că prea multă rășină este presată prin material. Dacă presiunea aplicată e prea mică sau curgerea rășinii (resin flow) nu e uniformă, se pot crea regiuni prea bogate în rășină. Aceste regiuni sunt porțiunile slabe ale compozitului și pot fi la urmă partea de inițiere a ruperii.

Similar, întărirea neuniformă poate conduce la regiuni slăbite ale materialului. Acest tip de defect se produce când distribuția temperaturii în timpul întăririi nu este uniformă. În cazuri extreme pot apărea temperaturi excesive, când grosimea elementului este mare. Energia produsă de rășină pe timpul întăririi este înmagazinată în interiorul materialului, astfel încât temperatura locală poate să se ridice la nivele foarte mari, în final ducând la descompunerea termică a matricei.

Oricâte precauții se iau anumite defecte totuși apar în timpul fabricării compozitelor, deoarece nici un proces nu e perfect. Rolul inginerului este înțelegerea corectă a efectelor asupra proprietăților mecanice ale acestor defecte.

4.6. Proprietățile compozitelor polimerice [N1]

Proprietățile materialelor compozite polimerice sunt influențate de mai mulți factori, dintre care cele mai importante sunt proprietățile fizice și mecanice, cele dependente de timp și durabilitatea. În continuare sunt prezentate caracteristicile ale acestora.

4.6.1. Proprietăți fizice

- **Densitatea**

Materialele compozite polimerice au densitatea cuprinsă între 1,2 și 2,1 g/cm³, care este de 4-6 ori mai mică decât a oțelului (*Tabelul 4.1.*). Greutatea redusă conduce la costuri de transport și manipulare mai mici și încărcări permanente mai reduse în structuri.

Tabelul 2.6. Densitatea materialelor compozite, comparativ cu cea a oțelului (g/cm³) [N1]

Oțel	GFRP	CFRP	AFRP
7,9	1,2 – 2,1	1,5 – 1,6	1,2 – 1,5

GFRP – compozit armat cu fibră de sticlă (Glass Fiber Reinforced Polymer)
 CFRP – compozit armat cu fibră de carbon (Carbon Fiber Reinforced Polymer)
 AFRP – compozit armat cu fibră de aramidă (Aramide Fiber Reinforced Polymer)

- **Coeficientul de dilatare termică**

Coeficientul de dilatare termică a materialelor compozite polimerice unidirecționale este diferit pe direcția longitudinală și transversală, și depinde de tipul fibrei, de fracțiunea volumică a acestora și de rășina utilizată (*tabelul 4.2.*).

Coeficientul negativ de dilatare termică indică faptul că materialul se contractă cu creșterea temperaturii, și se dilată cu scăderea temperaturii.

Tabelul 2.7. Coeficienții de dilatare termică a unor materiale compozite tipice, unidirecționale, respectiv a betoanelor și a oțelurilor [N1]

		Coeficientul de dilatare termică (10 ⁻⁶ /°C)				
		GFRP	CFRP	AFRP	Beton	Oțel
Direcția	Longitudinal α_L	6 ... 10	-1 ... 0	-6 ... -2	7 ... 11	11,7
	Transversal α_T	19 ... 23	22 ... 50	60 ... 80		

Fracțiunea volumică a fibrelor din compozit este de 0,5-0,7

- **Efectele temperaturii**

Schimbările proprietăților fizice ale materialului compozit induse de temperatură reprezintă un aspect esențial în proiectarea sigură a unei structuri/procedeu. Rezistența și modulul de elasticitate se reduc cu creșterea temperaturii, datorită schimbărilor moleculare.

Temperatura maximă de utilizare a compozitului depinde de doi factori: de temperatura de tranziție sticloasă (T_g) a rășinei și de temperatura la care descompunerea chimică începe să devină semnificativă.

Temperatura de tranziție sticloasă este temperatura la care polimerul se înmoaie. Valoarea temperaturii T_g depinde de tipul rășinii care, de obicei, nu este capabilă să reziste la valori peste 250°C pe o perioadă lungă, normal aceasta fiind între 60 - 80°C. Foarte multe cercetări se ocupă cu dezvoltarea și îmbunătățirea rășinilor rezistente la temperaturi ridicate. Există deja rășini care au temperatura de tranziție sticloasă peste 400°C, însă aplicarea acestora în construcții este așteptată doar în viitor, datorită duratei lungi de procesare și de întărire, respectiv prețului ridicat.

Fibrele din materialul compozit au proprietăți termice mai bune decât rășina, astfel ele mai pot prelua în continuare eforturi pe direcția longitudinală, până când se atinge temperatura de prag a fibrei. Fibrele de sticlă sunt termal stabile, ele pot rezista la temperaturi mai mari decât orice generație actuală de rășină comercializată, temperatura de distrugere fiind apropiată de 1000°C. Fibrele aramide pierd 75% din rezistența la întindere în jurul temperaturii de 175°C, însă impregnate cu rășini, acestea le protejează, astfel că s-a demonstrat că la 180°C nu se mai produce acest efect. Fibrele de carbon au rezistențe excelente la temperaturi ridicate, fiind capabile să reziste la temperaturi care depășesc 275°C.

Din cauza reducerii transferului de forțe prin aderență dintre fibre și rășină, se reduc proprietățile la întindere a întregului compozit. Rezultatele experimentale au indicat că la temperatura de 250°C, care este mult mai înaltă decât temperatura T_g a rășinii, rezistențele la întindere a materialelor compozite polimerice armate cu fibră de sticlă (GFRP) și carbon (CFRP) se reduc cu peste 20%, în cazuri extreme ajungând chiar la 30-40%. În plus, rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate a compozitului se reduce semnificativ și la temperaturi mai mici.

Acțiunea temperaturii ridicate accelerează și alte procese de degradare. Poate apărea efectul de distrugere, datorită dilatării termice și incompatibilității termice, dintre două materiale cu coeficienți de dilatare diferiți, rezultatul posibil fiind dezlipirea. Șocurile termice pot cauza fisurarea compozitului, după serii rapide sau bruște de schimbări de temperatură,

Descompunerea chimică la temperatură se atinge rar pe durata de serviciu a compozitelor. Această temperatură depinde de structura moleculară a rășinei, a aditivilor și a modificatorilor, respectiv de inițiatorul de temperatură sau factorul 'căldură plus oxigen', și este afectat de raportul suprafață-volum a compozitului.

Stabilitatea dimensională bună a compozitului nu garantează stabilitatea chimică, deci inginerii și proiectanții trebuie să fie atenți și siguri ca efectul dăunător al degradării datorită temperaturii este complet înțeles și stăpânit de ei înaintea recomandării utilizării acestor materiale pentru aplicații specifice.

Rășinile poliesterice nu sunt foarte bune privind stabilitatea termică, dar ele sunt utilizate pe scară largă producția compozitelor, având temperatura de distorsiune (distortion temp.) în jur de 55-120°C, depinzând de structura moleculară. Peste această temperatură scade modulul de elasticitate și se accelerează fluajul (curgerea

lentă –creep). Poliesterii standard de obicei nu se folosesc peste 100°C, nici dacă ei nu se descompun chimic înainte de 150°C.

Rășinile epoxidice au o temperatură critică de utilizare care depinde în mare măsură de tipul rășinii și a întăritorului. Sistemele de rășini epoxidice sunt foarte utilizate, fiindcă au rezistență ridicată la temperatură (200-300°C) când sunt combinate cu anhidridele. Se pot obține rezistențe la temperaturi și mai ridicate cu anumite dezavantaje, cum este fragilitatea, dar în unele cazuri este preferată utilizarea sistemelor cu rezistență mai redusă la temperatură, dar cu proprietăți mai ductile. Unele rășini rezistente la temperatură sunt dificil de procesat, iar alegerea procedeeleor de fabricație trebuie limitată.

Rășinile fenolice au fost luate mai în serios ca și rășini de laminare foarte recent, datorită în special rezistențelor favorabile la foc și la temperaturi ridicate. Temperatura de tranziție sticloasă este, de regulă, de la 200°C până peste 300°C. Pierderea rigidității la încălzire astfel este mai puțin important decât degradarea chimică, care apare sub forma modificării greutateii la încălzire sau prin pierderea din rezistență la temperaturi ridicate. Rășinile fenolice au proprietăți bune de rezistență la temperatură până la 175°C sau chiar mai mare, dar peste aceasta de obicei apare o reducere progresivă a modulului de elasticitate cu 30-45%, iar degradarea permanentă poate să apară la 200°C.

Rășinile poliamidice au probabil cele mai bune rezistențe termice dintre toate rășinile comerciale, deși apar noi competitori cu limite mai mari de temperatură. Unele poliamide nu suferă pierderi de greutate sub 450°C, însă utilizarea practică pe termen îndelungat trebuie să se facă sub temperatura de 300°C. Rășinile bismalmidice au stabilitate termică excelentă, însă sunt fragile. Pierderi de greutate suferă frecvent la 350°C sau mai sus.

Pentru sistemele compozite, lipite exterior pe elementele structurale, proprietatea esențială a polimerului de pe interfața fibră-element este menținerea legăturii (bond) între compozit și element. La temperatura apropiată de T_g , proprietățile mecanice ale compozitului sunt reduse semnificativ, și polimerul începe să piardă abilitatea lui de a transfera eforturile de la element spre fibre.

Pentru a menține proprietățile compozitelor la efectele temperaturii înalte, acestea trebuie protejate.

Compozitele au mai fost supuse și unor condiții extreme de frig, în jur de -40°C, fără efecte dăunătoare. Este de remarcat, că la temperaturile între -10 și -30°C se poate vedea o creștere semnificativă a rigidității și o rupere foarte fragilă (very brittle brooming failure), de asemenea se reduc dramatic performanțele la impact.

• Rezistența la foc

În primii ani materialele compozite polimerice au fost folosite în domeniul construcțiilor și în transport cu mare entuziasm de către ingineri și proiectanți, utilizând doar proprietățile mecanice și optice ale acestor materiale noi, neglijând în mod periculos performanțele lor la foc. Câteva dezastre însă au arătat, că performanțele la foc sunt criterii de proiectare la fel de esențiale ca și modulul de elasticitate sau rezistențele.

Rășina în sine nu arde, însă propagă produse foarte volatile care ard în fază de gaz pe suprafața polimerului. Focul (temperatura - heat) generat accelerează degradarea în continuare a polimerului, încălzirea puternică ducând la apariția volatilelor inflamabile, astfel ciclul continuă, cum se poate vedea pe figura 4.17.

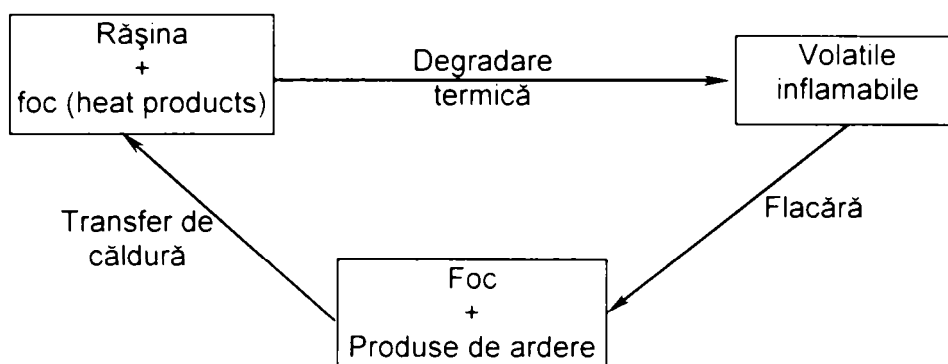


Figura 2.29. Ciclul de degradare a compozitului la foc

În cazul arderii, este de extrem de nedorită apariția fumului sau a gazelor inflamabile. Toxicitatea fumului la arderea compozitului este mai puțin importantă decât densitatea fumului, care poate fi fatală.

În timpul arderii, în zona de combustie și în compozit, se desfășoară procese chimice complexe, care nu sunt încă înțelese în totalitate.

Deoarece arderea este dependentă de oxigen, combustia este câteodată incompletă, astfel se produc cantități mari de monoxid de carbon, care este responsabil pentru cele mai multe decese, fiind considerat un alt factor major de prevenire în cazul evacuării.

Rășinile încălzite peste temperatura de tranziție sticloasă sau de topire (T_m)(melt) pierd foarte rapid integritatea dimensională și mecanică. Datorită conductivității reduse a celor mai multe rășini, la încălziri radiante mari se ating foarte rapid temperaturi ridicate pe suprafața compozitului astfel și degradarea devine rapidă.

Încercările de a reduce sau de a elimina tendințele de ardere au condus la utilizarea aditivilor. Tipurile și proprietățile acestora sunt prezentate în capitolul 3.

Sistemele de rășini inhibitori de foc (fire-retardant) se pot executa astfel încât să mărească rezistența la foc și la fum, deși prin inflamabilitatea redusă nu se subînțelege și fum redus. Din nefericire, în procesare pot apărea efecte contrare, sau proprietăți mecanice bune sau rezistență chimică.

Polimeri într-adevăr neinflamabili sunt doar câțiva. Rășinile fenolice au performanțe bune la foc și la fum, astfel ele devin din ce în ce mai mult favorizate pentru structurile compozite, de exemplu la transportul subteran, unde unele cerințele sunt cele mai severe. Rășina PEEK are de asemenea comportare bună la foc și la fum. Rășinile poliesterice nesaturate, ca cele vinilesterice și epoxidice ard ușor, dar versiunile modificate sunt disponibile cu comportări mult îmbunătățite. Este de menționat, ca compozitele poliesterice cu fibră de sticlă sunt momentan în general utilizate în industrie pentru protecția la foc.

Natura fibrelor din compozit este de asemenea un factor important. Alcătuirile tridimensionale pot preveni delaminarea și expunerea straturilor bogate în rășină. Fibrele țesute asigură mai mult stabilitatea structurală decât cele cu fibre scurte. Fibrele de carbon pot conduce căldura departe de zona de combustie, astfel limitând descompunerea polimerului.

4.6.2. Proprietățile mecanice și comportările materialelor compozite

- **Comportarea la întindere (Tensile behavior)**

Materialul compozit, dacă este întins, nu prezintă deformații plastice (curgere) înaintea ruperii. Comportarea la întindere a compozitului, alcătuit dintr-un singur fel de fibră, este caracterizată de o relație efort-deplasare linear elastică până la rupere.

Rezistența la întindere și rigiditatea materialului compozit este dependentă de mai mulți factori. Fiindcă fibrele din compozit sunt principalii constituenți care preiau eforturi, astfel tipul, orientarea și cantitatea fibrelor sunt factorii care decid proprietățile compozitului. Datorită rolului principal al fibrelor și metodelor de aplicare, proprietățile sistemelor compozite sunt date, câteodată, pe baza ariei nete a fibrelor, și/sau pe baza ariei globale (brute) a laminatului.

Aria brută a laminatului (gross-laminate area) unui sistemului compozit se calculează folosind aria totală a secțiunii transversale a sistemului întărit, incluzând toate fibrele și rășina. Aria brută este, de regulă, folosită în cazul sistemelor compozite prefabricate (precured) (de exemplu lamele), unde grosimea întărită este constantă și proporția fibrelor și a rășinii este controlată.

Aria netă a fibrelor unui sistem compozit se calculează folosind aria cunoscută a fibrelor, neglijând lățimea și grosimea totală a sistemului întărit, rășina fiind astfel exclusă. Aria netă a fibrelor este folosită, de regulă, la sistemele de așezare umedă, care utilizează foi de fibre fabricate industrial și rășini aplicate la fața locului (field-installed). Acest proces de instalare conduce la un conținut de fibre controlate și conținut de rășină variabilă.

Caracteristicile sistemelor compozite date prin folosirea ariei brute a laminatului, au grosimi relativ mai mari, iar rezistențe și moduli de elasticitate relativ mai mici, în timp ce caracteristicile sistemelor la care sunt date prin aria netă a fibrelor conduce la grosimi mai mici și rezistențe și modul de elasticitate mai mari. Neglijând valorile de bază date ale acestora, capacitatea de rezistență și rigiditatea rămân constante. Caracteristicile bazate pe aria netă a fibrelor, nu sunt doar ale fibrelor. Caracteristicile unui sistem compozit trebuie să fie caracterizată ca și un compozit, astfel încet trebuie luate în considerare nu numai proprietățile individuale a fibrelor, ci și eficiența sistemului fibră-rășină și arhitectura țesăturii. Proprietățile mecanice a tuturor sistemelor compozite, indiferent de formă și alcătuire, trebuie să se bazeze pe testarea probelor (laminatelor) cu conținut de fibre cunoscut.

Tabelul 2.8. Proprietățile informative la întindere a unor laminate cu un conținut de 40-60% de fibre [N1]

Sistemul compozit (orientarea fibrelor)	Modulul de elasticitate		Rezistența la întindere ultimă		Alungirea la rupere la 0° [%]
	Proprietatea la 0°	Proprietatea la 90°	Proprietatea la 0°	Proprietatea la 90°	
	[10 ³ xN/mm ²]	[10 ³ xN/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Carbon de mare rezistență/epoxi • 0 • 0/90 • +45/-45	100 - 145 55 - 75 14 - 28	2 - 7 55 - 75 14 - 28	1025 - 2075 700 - 1025 175 - 275	35 - 70 700 - 1025 175 - 275	1,0 - 1,5 1,0 - 1,5 1,5 - 2,5
Sticlă E/epoxi • 0 • 0/90 • +45/-45	20 - 40 14 - 34 14 - 21	2 - 7 14 - 35 14 - 20	525 - 1400 525 - 1025 175 - 275	35 - 70 525 - 1025 175 - 275	1,5 - 3,0 2,0 - 3,0 2,5 - 3,5
Aramidă de înaltă performanță/epoxi • 0 • 0/90 • +45/-45	48 - 68 28 - 34 7 - 14	2 - 7 28 - 35 7 - 14	700 - 1725 275 - 550 140 - 205	35 - 70 275 - 550 140 - 200	2,0 - 3,0 2,0 - 3,0 2,0 - 3,0

Notă:

- Compozitele au o proporție volumetrică fibră-rășină de aproximativ 1:1, și grosimea compozitului de 2,5 mm
- 0° reprezintă o orientare a fibrelor unidirecțională
- 0/90 și +45/-45 reprezintă fibre în două direcții ortogonale
- Efortul este aplicat pe direcția de 0°
- În general, sistemele preîntărite (precured) (lamelle) au volumul de fibre între 40-60%, în timp ce sistemele cu așezare umedă (wet lay-up) au 25-40%. Fiindcă volumul fibrelor influențează proprietatea laminatului brut, laminatele prefabricate au proprietăți mecanice mai mari, decât cele obținute prin așezare umedă.

Proprietățile la întindere a sistemelor compozite trebuie obținute de la producător. Acesta este obligat să declare rezistența ultimă și alungirea specifică ultimă a sistemului compozit, determinată prin procedeele de testare prevăzute în standarde. Producătorul trebuie să prezinte descrierea metodei utilizate la determinare, incluzând numărul de teste, valorile medii și abaterile (standard).

• **Comportarea la compresiune**

Modul de rupere a compozitelor la compresiune poate fi prin eforturi transversale, prin microflambajul fibrelor sau prin tăiere. Modul de rupere depinde de tipul fibrelor, de fracțiunea volumetrică a fibrelor și de tipul rășinii. Rezistența la compresiune este 55% pentru GFRP, 78% pentru CFRP și 20% pentru AFRP din rezistența la întindere a compozitelor. În general rezistența la compresiune este mai mare la materialele cu rezistență la întindere mai mare, cu excepția compozitelor AFRP, la care fibrele au un comportament neliniar la compresiune deja de la un nivel relativ scăzut al efortului.

Modulul de elasticitate la compresiune a compozitului este de obicei mai mic decât modulul de elasticitate la întindere. Pe baza rapoartelor de cercetare se poate

afirma că acestea reprezintă 80% pentru GFRP, 85% pentru CFRP și 100% pentru AFRP.

4.6.3. Proprietăți dependente de timp (Time-dependent behavior)

- **Fluajul (curgerea lentă - Creep-rupture)**

Materialele FRP solicitate la un efort constant de lungă durată, se pot rupe (fail) după o perioadă de timp. Aceasta este ca și oboseala la oțel, cu excepția că aici eforturile se mențin constant, în loc de cicluri. Dacă raportul dintre efortul de lungă durată și rezistența de scurtă durată a compozitului crește, atunci rezistența în timp (endurance time) scade. De asemenea rezistența în timp (endurance time) scade sub efectul condițiilor de mediu defavorabile, cum ar fi temperatură înaltă, expunere la radiații ultraviolete, mediu alcalin accentuat, cicluri de uscare-umezire sau cicluri de îngheț-dezghet.

În general fibrele de carbon sunt cel mai puțin sensibile la rupere datorită curgerii lente (creep-rupture), fibrele de aramidă sunt sensibile moderat, iar fibrele de sticlă sunt cele mai sensibile.

Testele efectuate până acum au arătat că există o relație liniară între rezistența de rupere la fluaj și logaritmul timpului pentru toate nivelele de încărcare. Nivelele de eforturi la rupere după 500000 de ore (în jur de 50 de ani) raportate la rezistența ultimă inițială a compozitelor GFRP, AFRP și CFRP calculate prin extrapolare sunt de 0.3, 0.47 și 0.91.

Pentru a evita ruperea compozitelor datorită curgerii lente trebuie urmărite recomandările din instrucțiunile/norme de proiectare și trebuie consultați producătorii, deoarece această comportare este foarte dependentă de tipul compozitului.

- **Oboseala**

Materialele compozite au o comportare mai bună la încărcări ciclice decât betonul sau oțelurile.

Ordonarea fibrelor funcție de rezistența la oboseală este carbon, aramidă și sticlăiar ordonarea rășinilor epoxidice, vinilesterice și polesterice.

Dintre toate tipurile de compozite utilizate în aplicațiile pentru infrastructuri în construcții cel mai bine se comportă compozitele cu fibră de carbon, pentru care limita rezistenței la oboseală (endurance limit) este de obicei, 60-70% din rezistența statică ultimă inițială.

În cazul compozitelor cu fibră de sticlă rezistența la oboseală este mai mică, dar de obicei nu se poate defini clar o limită, deoarece factorii de mediu joacă un rol important în comportarea la oboseală a fibrelor de sticlă, datorită sensibilității lor la umezeală, respectiv soluții alcaline și acide.

Fibrele aramide se comportă la oboseală similar cu cele de sticlă. Neglijând comportarea slabă a fibrelor aramide la compresiune, rezistența lor la oboseală de tipul întindere-întindere este excelentă.

La testare compozitele sunt sensibile la rata ciclului, ca rezultat al naturii organice a rășinilor. De obicei frecvența de încercare trebuie ținută sub 10 Hz pentru a preveni încălzirea laminatului, care poate conduce la ruperea prematură a matricei și astfel a compozitului. S-a mai constatat, că rezistența la oboseală este mai redusă,

dacă compozitele sunt așezate la unghiuri de $\pm 45^\circ$, sau efortul se aplică transversal pe direcția fibrelor.

Mecanismul de cedare a compozitelor la oboseală încă nu este foarte bine cunoscut, datorită complexității structurii anizotropice ale acestora. Cele mai multe date disponibile sunt pentru laminate unidirecționale, încărcate în direcția fibrelor la cicluri de întindere-întindere.

- **Coroziunea sub efort / Ruperea la efort (Stress corrosion/Stress Rupture sau Environmental Stress Cracking)**

În multe compozite sub acțiunea sarcinilor de lungă durată se produce fenomenul numit ruperea la efort. Coroziunea sub efort apare când mediul ambiant este de natură corozivă, dar nu suficient pentru a produce coroziunea fără o solicitare adițională. Acestea sunt dependente de timp, nivelul de solicitare, mediu, respectiv de tipul matricei și a fibrei. Cedarea în oricare dintre cazuri este considerată prematură, până când compozitul cedează la un nivel de solicitare mai mic decât cel ultim.

Fibrele de carbon sunt relativ neafectate de acest fenomen până la nivele de solicitare de 80% din cel ultim. Fibrele de sticlă și de aramidă sunt susceptibile atât la ruperea la efort, cât și la coroziunea sub efort, care poate duce la rupere prematură sub încărcări de lungă durată. Calitatea sistemului rășinii utilizate are un efect semnificativ asupra timpului de rupere și a nivelelor de solicitare suportate. Sistemele de rășini recomandate sunt cele epoxidice, vinilesterice și poliesterice.

4.6.4. Durabilitatea

Există o legătură evidentă între procedeele de fabricație, metodele de inspecție și durabilitatea produsului. Unele metode de fabricație ale compozitelor produc materiale mai bune decât altele, deoarece introduc defecte mai puține sau permit un control mai bun asupra așezării și orientării fibrelor, utilizează fracțiuni volumetrică mai ridicate a fibrelor, sau le dispun mai bine. Controlul de calitate este un element important în optimizarea durabilității materialului.

Sistemele compozite, după mai mulți ani de folosință, prezintă modificări în proprietăți, după ce sunt expuse unor factori de mediu ca temperatură, umiditate și (substanțe) chimice. Mediul și durata de expunere, tipul rășinii și alcătuirea acesteia, tipul fibrei, respectiv metodele de întărire a rășinilor sunt câțiva dintre factorii care influențează gradul de reducere a proprietăților mecanice. Nu toate proprietățile se schimbă la fel de rapid.

Durabilitatea elementului compozit este câteodată corelată cu aspectul exterior, incluzând schimbările de culoare, pierderea calității suprafeței, și altele. Câteodată schimbările sunt evidente, de exemplu prin forma fisurilor vizibile sau umflături, dar pe de altă parte există și semne inevitabile. Deteriorările se pot depista prin utilizarea echipamentelor de diagnosticare avansate, acestea fiind termografierea, echipamente cu emisie acustică, instrumente ultrasonice, electromicroscopie sau spectrometrie pentru analize chimice.

- **Umiditatea**

Apa este un mediu agresiv pentru toate materialele. Oțelul ruginește, betonul carbonat, lemnul putrezește, iar în rășină se rup legăturile și sticla poate pierde

rezistența la întindere. În legătură cu compozitele, prima întrebare este cât bine rezistă rășina la efectele îndelungate de expunere la apă, fie sărată sau dulce. Experiențele arată, că aceste efecte pot apărea doar după un timp extrem de lung.

Rășinile absorb apa. Cantitatea de apă absorbită depinde de tipul de rășină și de temperatura apei. De regulă, în rășină imediat după absorbția apei apar două efecte, și anume, se reduce temperatura de tranziție sticloasă (T_g), respectiv rășina pierde rigiditatea. Ambele efecte sunt parțial reversibile în sistemele epoxidice, când apa se îndepărtează din rășină prin uscare. La rășinile poliesterice și vinilesterice aceste schimbări pot fi reverzibile sau nu, în funcție de timpul și de temperatura de expunere. Rășinile epoxidice nu au esteri în legături, astfel lanțul polimeric nu se hidratează ușor, însă vinilesterii și poliesterii au aceste legături, de aceea ele întotdeauna se avariază, mai ales la imersii în apă cu temperatură ridicată.

Umezeala poate pătrunde în compozit prin trei căi separate. Prima cale este prin acțiunea capilară de-a lungul axei longitudinale la interfața fibră-matrice. Celelalte căi sunt prin fisurile și golurile din structură, respectiv prin difuzia prin matrice.

Fibrele de aramidă pot absorbi umezeală până la 13% din greutatea lor, afectând rezistența la întindere și interfața fibră-rășină. Fibrele de sticlă absorb umezeala în timpul procesului de fabricație, depozitării, transportării și în timpul procesării. Fibrele de carbon sunt inactive (inerte) la apă.

Cu creșterea temperaturii efectele pătrunderii umezelii devin mai rapide și mai severe. Viteza reacțiilor chimice se dublează brusc la fiecare creștere cu 10°C a temperaturii, astfel poate apare fisurarea sau alte degradări. Uneori rășinile absorb o cantitate redusă de umezeală, și la început laminatele au o comportare normală, dar mai târziu, când apar fisurări în regiunile de interfață, delaminarea sau chiar fisurare traslaminară dintre straturi, s-au observat creșteri neașteptate ale absorbției totale a laminatului.

Efectele umidității, odată absorbită, sunt complexe. Schimbările produse în proprietățile și aspectul compozitului pot fi ușoare sau severe, chimice sau fizice, reversibile sau ireversibile. Cu absorbția unei cantități mai mari de umezeală crește nivelul deteriorării proprietăților și scade reversibilitatea prin uscare. Din cercetările efectuate până la ora actuală s-a observat reducerea rezistențelor și a modulelor de elasticitate, a rigidității și a temperaturii de tranziție sticloasă, respectiv schimbări în proprietățile chimice.

• Chimicale

Majoritatea aplicațiilor cu materiale compozite vin în contact ocazional sau îndelungat cu substanțe chimice. Cele mai importante dintre acestea sunt apa (discutat mai sus), detergenți, solvenți de curățire și degresare, acizii, alcalii, agenți puternic oxidanți, combustibili și uleiuri, diluanți (paint stripper), lubrifianți, materiale de gravare, gaze și altele. Trebuie menționat ca rezistența compozitelor la substanțe chimice este de obicei foarte bună, aceasta explicând utilizarea lor pe scară largă și la echipamentele unor procese chimice, unde sunt supuse unor condiții foarte severe.

Performanțele în timp a sistemelor compozite în mediu acid sau alcalic depinde de tipul matricei și a fibrei. Fibrele de carbon rezistă în ambele medii agresive, însă fibrele de sticlă, dacă nu sunt special alcătuite, sunt atacate de acizi, cauza principală fiind îndepărtarea ionilor de calciu și aluminiu din sticlă. Rata de îndepărtare depinde de concentrația ionilor de hidrogen în soluția acidă și de natura acidului. Acizii care formează săruri insolubile sau ioni complecși accelerează foarte

mult procesul de coroziune, în comparație cu substanțele care formează săruri solubile. Prin aplicarea unor rășini adecvate fibrele pot fi izolate și protejate, încetinind deteriorarea.

Coroziune galvanică nu se produce cu polimeri organici, deoarece aceștia sunt izolatori. Compozite polimerice cu fibră de sticlă și armidă sunt ele izolatoare, însă cele cu carbon sunt conductive și de aceea trebuie evitată folosirea lor în contact cu anumite metale, ca și oțelul, sau trebuie utilizate materiale izolatoare între ele.

- **Radiații ultraviolete**

Cauza principală de degradare a unor proprietăți în timpul expunerii în exterior a compozitelor se datorează combinației efectelor radiațiilor solare și a oxigenului din atmosferă. Radiația ultravioletă este factorul principal al degradării și produce efecte care sunt similare cu cel al degradării termice. Spre deosebire însă de degradarea termică, radiațiile UV nu se produc uniform prin polimer, având efectul doar de suprafață, sau în imediata vecinătate a suprafeței (near surface) și nu afectează serios integritatea structurală.

De obicei prima schimbare care apare în matrice este decolorarea sau schimbarea culorii, cauzată de radiații de unde scurte ale soarelui, care însă nu determină micșorarea rezistenței. Fibrele de sticlă și de carbon nu sunt afectate de radiații UV, iar aramidele sunt doar puțin afectate, datorită dezvoltării unui strat de auto-protecție sub expunerea la radiații UV.

Gradul de deteriorare la radiații UV depinde de tipul rășinii și de orientarea și așezarea fibrelor.

Rășinile poliesterice, de regulă, sunt mai susceptibile la degradările datorate radiațiilor UV, decât cele epoxidice, deși ele au câteva reduceri de rezistență similare. Datorită acestor reduceri ale rezistențelor, compozitele devin mai sensibile la fisurarea rășinii, care pot duce la alte probleme de mediu, cum ar fi creșterea absorbției de umezeală și/sau atacuri chimice.

Orientarea și așezarea fibrelor au o importanță hotărâtoare în rezistența la întindere și la încovoiere a compozitului, care suferă degradări foarte reduse la expunerea radiațiilor UV, însă acestea sunt strâns legate de proprietățile dominate de rășini, cum sunt rezistența la tăiere, care sunt afectate semnificativ datorită reducerii rezistenței rășinii.

Pentru protejarea materialelor compozite la radiațiile UV se pot utiliza vopsele pe bază acrilică sau poliuretanică. Vopseaua trebuie aplicată în 72 de ore, până când rășina încă este lipicioasă. Dacă rășina s-a întărit, suprafața trebuie șlefuită ușor înainte de vopsire. Culoarele utilizate la protejare sunt alb și gri, care reflectă căldura.

- **Radiații (altele decât UV)**

Degradările datorate radiației de electroni se reflectă în deteriorarea rezistenței și a modului de elasticitate a compozitului. Gradul de degradare depinde de doza de radiație. Rezistența la tăiere interlaminară poate să crească pe durata radiației. Fibrele de sticlă, de carbon sau alte materiale anorganice rezistă mai bine la radiațiile cu electroni decât fibrele organice sau rășinile. Compozitele cu matrice organice suferă microfisurării când sunt supuse unor doze mai mari.

Cercetările efectuate au arătat ca iradierea cu neutroni de asemenea degradează atât compozitele cu fibră de sticlă, cât și pe cele cu carbon, producând avarii mai mai decât radiațiile gama.

Radiațiile de ionizare tind să rupă macromoleculele din matrice, comportările cele mai bune având sistemele de rășini aromatice epoxidice, PES (polietersulfon), PEEK (polietereterchetona).

- **Impact**

Un pericol general la materiale compozite îl prezintă degradările datorită unui impact minor, rezultat din zgârierea sau ciocnirea cu obiecte mici. Degradarea rezultată de obicei este greu de văzut cu ochiul liber, dar poate să ascundă delaminarea, fisurarea matricei, dezlipirea fibrei, și în multe cazuri ruperea fibrei. Cele mai multe lovituri apar în practică la un unghi oblic, care reduc gravitatea problemei, dar nu și atunci când efectul se poate măsura prin aria degradată, grosimea de pătrundere sau pierdere de rezistență.

Cunoștințele în comportarea compozitelor la impact sunt încă relativ limitate.

5. Utilizarea compozitelor în construcții

Materialele compozite polimerice armate cu fibre (FRP – Fiber Reinforced Polymer) au câteva avantaje, în comparație cu materialele de construcții tradiționale, cum sunt betonul și oțelul. Ele au fost utilizate în cantități reduse în industria construcțiilor în deceniile trecute, însă în ultimii ani, datorită necesității de consolidare și de reparare rapidă a structurilor degradate, aceste materiale compozite se bucură de o utilizare pe scară tot mai largă. Există multe domenii unde s-au aplicat cu succes, cele mai importante fiind la poduri, construcții civile, panouri de construcții, conducte și construcții maritime.

Materialele compozite au rezistență la coroziune excelentă, respectiv rapoarte foarte avantajoase de rigiditate-greutate și rezistență-greutate, comparativ cu materialele de construcții tradiționale. În afară de aceste avantaje sunt de reținut și dilatarea termică redusă, performanțe ridicate la oboseală și degradare, proprietăți nemagnetice, transportare și manipulare ușoară și consum de energie redus la fabricarea materialului brut. Cu siguranță un avantaj este acela că fibrele pot fi orientate în funcție de condițiile de încărcare, putându-se astfel optimiza performanțele. Fibrele utilizate pot fi din sticlă, carbon sau aramidă, respectiv hibride, iar rășinile cu utilizare cea mai largă sunt cele termorigide (poliesterice, fenolice, epoxidice).

Costul relativ ridicat al compozitelor (ca materie primă) comparativ cu cel al materialelor convenționale reprezintă unul dintre dezavantaje, însă dacă includem și costurile de punere în operă în calculul economic, compozitele pot fi competitive cu acestea. În ultimii ani costul compozitelor a scăzut odată cu creșterea cererii pieței, care continuă să crească cu o rată de 2,5% pe an (conform datelor statistice din anul 2000).

Compozitele sunt treptat acceptate și de către inginerii constructori executanți și proiectanți, atât la consolidări, cât și la înlocuirea materialelor convenționale în structurile de rezistență. Ele sunt utilizate în industria construcțiilor sub diferite forme, începând cu lamele (benzi) prefabricate industrial, țesături din fibre uscate sau preimpregnate (prepreg) și până la armături, profile de diferite forme sau panouri sandwich.

Tehnologiile de utilizare ale acestor materiale avansate depind în principal de scopul pentru care sunt folosite, de soluțiile aplicate și de materialul cu care vin în contact.

Scopul utilizării materialelor compozite este, în principal, consolidarea și armarea, dar în ultimul timp au apărut și aplicațiile unde se folosesc profile și panouri compozite.

Procedeele de aplicare a compozitelor sunt diverse, cele mai întâlnite fiind:

- consolidările cu lamele, cu posibilitatea de precomprimare;
- consolidări cu țesături uni- sau multi-direcționale, preimpregnate sau impregnate în timpul aplicării;
- consolidări cu armături compozite;
- realizarea betonului armat sau precomprimat cu armături compozite;
- panouri compozite (panouri sandwich);
- profile (I, U, T și alte forme).

5.1. Consolidări cu materiale compozite

Tehnologia de consolidare exterioară a fost dezvoltată în Japonia (înfășurarea cu fâșii), apoi în Europa (lamelile lipite). Consolidarea sau reproiectarea structurilor, pentru mărirea sau refacerea capacității portante sau a ductilității, erau rezolvate, tradițional, prin utilizarea materialelor și tehnicilor de construcții convenționale, cum sunt cămășuirile cu beton armat sau cu profile din oțel, lamelile de oțel lipite, sau post-tensionarea exterioară. Primele consolidări cu compozite au fost efectuate în anii '50. În ultimii 20 de ani calitatea compozitelor a crescut considerabil, procesul de fabricare fiind automatizat, iar prețul materialelor scăzând considerabil.

Consolidările cu compozite se realizează prin lipirea unor materiale fibroase, impregnate cu rășini, pe suprafața diferitelor elemente, pentru a reface sau a mări capacitatea portantă (la încovoiere, tăiere, compresiune și/sau torsiune) și a ductilității, fără afectarea rigidității acestora. Fibrele folosite la consolidări pot fi fibre de sticlă, aramidă sau carbon. Compozitele au forme diferite, ele putând fi lamelile pultrudate, țesături uscate sau preimpregnate (așa numitul prepreg), respectiv în ultimii ani armături. Elementele consolidate pot fi din beton, cărămidă, lemn, oțel și piatră, iar structural pot fi grinzi, pereți, stâlpi, și planșee, iar mai nou se aplică și la noduri.

Consolidările trebuie efectuate, prin dispunerea acestora în poziția, în procentul de volum și în direcția astfel aleasă încât să se obțină eficiență maximă. Datorită varietății mari ale sistemelor și a soluțiilor, aceste materiale pot avea o lungime infinită, pot fi tăiate la forme și dimensiuni dorite, respectiv pot fi fixate în straturi pentru a îmbrăca elementul solicitat

Consolidările efectuate cu compozite prezintă avantaje din mai multe puncte de vedere. Materialele utilizate sunt nemagnetice, neconductive și au o rezistență ultimă la rupere ridicată, de cel puțin trei ori mai mare decât cea a oțelului. Au o greutate mică, de aproximativ 20% din cea a oțelului, reducând semnificativ cheltuielile de transport și de instalare, nu necesită susțineri grele, se pot folosi în locuri cu acces limitat și nu aduc încărcări semnificative structurii.

Compozitele sunt materiale cu durabilitate ridicată, permițând astfel utilizarea în medii agresive, iar după executare nu necesită întrețineri pretențioase reducând costul întreținerii pe toată durata de viața a elementului consolidat.

Cu excepția compozitelor din fibră de sticlă, acestea au demonstrat proprietăți excelente la oboseală și rupere. Cercetările și dezvoltările sistemelor au dat rezultate, în prezent utilizându-se și la precomprimare, cu toate avantajele acestei tehnologii.

Larga utilizare a materialelor compozite a făcut ca această alternativă să viabilă la consolidări, rezultând economisiri de scurtă și de lungă durată.

Pe lângă avantajele compozitelor utilizate la consolidări trebuie menționate și câteva dezavantaje ale acestor sisteme. Dintre acestea cel mai mare dezavantaj este prețul relativ mare, care însă scade de la an al an odată cu producția în cantități tot mai mari și odată cu apariția concurenței dintre firmele producătoare. Compozitele sunt susceptibile la deteriorare mecanică, astfel că în locurile expuse trebuie protejate. Datorită sensibilității la radiații ultraviolete, în cazul utilizării în locuri expuse acestea trebuie protejate. Ca și oțelul, și compozitele au rezistență la foc scăzută, astfel că la temperaturi care depășesc temperatura de tranziție sticloasă a rășinei, trebuie luate măsuri de protecție. În comparație cu oțelul, modulul de elasticitate și alungire la rupere sunt mai mici, respectiv au o comportare la rupere fragilă, caracteristică care însă se poate îmbunătăți prin utilizarea compozitelor hibride. În

cea ce privește utilizarea compozitelor la precomprimare, datorită lipsei de experiență, mai sunt încă probleme în zonele de ancoraj.

Situațiile în care se recomandă utilizarea compozitelor la consolidări sunt următoarele:

- deteriorări structurale cauzate de acțiunea mediului (ex. coroziunea armăturilor);
- exploatarea neadecvată a structurii de beton armat;
- suprasolicitări apărute ca urmare a schimbărilor structurale sau funcționale;
- modificările normelor de proiectare;
- creșterea cerințelor de siguranță;
- modificarea condițiilor de utilizare sau a încărcărilor;
- pierderea tensiunii din armătură în betonul precomprimat;
- capacitatea inadecvată la deformații.

Consolidările cu compozite se mai pot utiliza cu succes și atunci când se cere scurtarea duratei reparațiilor, respectiv în locuri cu acces limitat și când nu se permite adăugarea unor încărcări semnificative structurii.

5.1.1. Sisteme de consolidare

Selecția materialelor pentru diferite sisteme de consolidare este un aspect foarte important. Fiecare sistem este unic, în sensul că, fibrele și rășinile sunt proiectate să lucreze împreună. Aceasta înseamnă că un tip de rășină pentru un sistem de consolidare nu va lucra la fel și pentru alt sistem.

Principalele sisteme de consolidare cu compozite, folosite în prezent sunt următoarele:

- **Sisteme de aplicare umedă** (wet lay-up) care constau din fibre sau țesături uni- sau multidirecționale, impregnate cu o rășină de saturare la fața locului. Rășina de saturare este utilizată pentru a lipi țesătura pe suprafața elementului. Astfel sistemul se saturează și se întărește la fața locului, în acest sens fiind asemănător cu betonul monolit. Cele trei tipuri generale ale sistemului de aplicare umedă sunt:

- fibre uscate unidirecționale;
- fibre sau țesături uscate multidirecționale, la care fibrele sunt orientate după cel puțin două direcții;
- împâslituri de fibre uscate, care sunt țesute sau aplicate mecanic pe suprafața betonului. Acestea sunt impregnate cu rășină la fața locului, pe durata operațiunii de țesere.

- **Sisteme prepreg** care constau din foi de fibre sau țesături uni- sau multidirecționale neîntărite, preimpregnate cu o rășină de saturare înaintea aplicării, pentru ușurarea utilizării. Prepregul este lipit pe suprafața elementului cu sau fără aplicarea unei rășini adiționale, depinzând de cerințele specifice ale sistemului. Sistemele prepreg sunt presaturate, fiind ca și sistemele de așezare umedă, întărite la fața locului, dar de obicei necesită încălzire adițională pentru întărire. Cele trei tipuri generale ale sistemului prepreg sunt cunoscute :

- fibre unidirecționale preimpregnate
- fibre sau țesături uscate multidirecționale preimpregnate, la care fibrele sunt orientate după cel puțin două direcții
- împâslituri de fibre preimpregnate, care sunt țesute sau aplicate mecanic pe suprafața betonului.

- **Sisteme cu elemente prefabricate** (preîntărite) care constau dintr-o varietate mare de forme, prefabricate. De regulă, pentru lipirea formelor prefabricate pe suprafața elementului se utilizează un adeziv. Acest sistem este asemănător betonului prefabricat. Cele trei tipuri principale utilizate ale sistemului preîntărit sunt:

- foi laminate unidirecționale livrate sub formă de benzi late sau fâșii de benzi subțiri, înfășurate pe un tambur
- armături multidirecționale preîntărite, livrate în colaci
- foi preîntărite, livrate sub forma de segmente de foi, tăiate longitudinal, pentru a putea fi deschise și montate în jurul stâlpilor sau a altor elemente, pentru confinare.

Aceste sisteme sunt disponibile în diferite configurații, tipuri de fibre, rășini, respectiv adezivi. Aplicabilitatea fiecărui sistem depinde de tipul structurii care urmează să fie consolidată.

5.1.2. Execuția consolidărilor cu sisteme cu aplicare umedă

Procedeele de punere în operă a sistemelor compozite au fost dezvoltate de producătorii sistemelor de aceea acestea sunt diferite. Procedurile de punere în operă pot fi diferite în cadrul aceluiași sistem, în funcție de tipul și de starea structurii. Astfel compozitele pot fi aplicate de personal calificat în conformitate cu prescripțiile furnizate în caietele de sarcini și procedurile tehnologice ale producătorilor. Abaterile de la aceste proceduri nu sunt permise fără acordul producătorului.

Unele procese și tehnologii cum ar fi repararea substratului și pregătirea suprafețelor pentru consolidare, prepararea și aplicarea rășinilor de corectare, sunt comune pentru toate sistemele, doar echipamentele folosite diferă.

Pașii principalii de aplicare a diferitelor sisteme sunt:

1. Repararea substratului și pregătirea suprafeței
 - a) Injectate sub presiune cu mortare epoxidice
 - b) Curățirea suprafeței
 - c) Suflare cu aer comprimat
2. Tăierea la dimensiunea dorită a fibrelor sau a lamelelor
3. Amestecarea rășinilor
4. Aplicarea compozitului

Trebuie menționat că sistemele de consolidare cu aplicare umedă (wet lay up) sunt cel mai des utilizate, existând mai multe modalități de aplicare, cum sunt:

- cu țesătură impregnată, când țesătura se impregnează la fața locului separat, manual sau cu mașină de impregnare;
- cu țesătura uscată aplicarea uscată manuală, când impregnarea țesăturii se realizează la fața locului, prin presarea manuală a acesteia în rășina de pe elementul de consolidat;
- automatizat.

Pașii de consolidare prin aplicarea umedă cu țesătură impregnată:

1. Aplicarea amorsei (primer)
2. Aplicarea chitului (putty)
3. Impregnarea țesăturii
4. Aplicarea țesăturii
5. Eliminarea golurilor de aer
6. Umezirea suplimentară a țesăturii
7. Aplicarea stratului de acoperire (protecție)

Pașii de consolidare prin aplicarea umedă cu țesătură uscată:

1. Aplicarea rășinii de saturare (adezivul)
2. Aplicarea țesăturii uscate pe suprafața elementului
3. Aplicarea unui strat suplimentar de rășină
4. Aplicarea stratului de acoperire sau de protecție

În tabelul 2.1 sunt prezentate cu titlu informativ câteva valori caracteristice ale sistemelor de consolidare cu aplicare umedă (fibră + rășină).

Aplicarea automatizată este un tip de consolidare care se poate folosi la consolidarea stâlpilor din beton armat. Procedeu se aplică cu ajutorul unor echipamente automatizate de înfășurare a fibrelor, care practic îmbracă elementul. Cu acest echipament, numit Robo-Wrapper, există posibilitatea de modificare a conținutului de fibre, a unghiului de înfășurare și a numărului de straturi aplicate. Impregnarea fibrei se face cu un cap de impregnare. După aplicare se aplică un tratament termic pentru polimerizarea rășinii, obținându-se un strat rezistent și puternic, cu o grosime de 5 ori mai mică și de 12 ori mai ușor decât o cămășuire cu oțel echivalentă. Fibrele utilizate la acest sistem sunt fibre de carbon.

Aceste cămășuiri cu compozite se pot pune în operă de 5 până la 10 ori mai rapid decât o cămășuire cu oțel.

5.1.3. Execuția consolidărilor cu sisteme preîntărite (prefabricate)

Sistemele preîntărite utilizate la consolidarea elementelor pot fi:

- lamele (benzi), utilizate la consolidarea elementelor la încovoiere și tăiere
- forme compozite prefabricate pentru cămășuirea stâlpilor
- armături compozite pentru consolidarea la tăiere și încovoiere

Pașii consolidărilor cu lamele:

1. Curățirea lamelelor
2. Aplicarea adezivului pe lamelă
3. Aplicarea adezivului pe element și pe lamele
4. Aplicarea lamelelor
5. Presarea lamelei cu rolă
6. Înlăturarea rășinii în exces
7. Aplicarea stratului de acoperire sau de protecție

Pașii de execuție la cămășuirea stâlpilor cu forme compozite prefabricate:

1. Tăierea formelor la dimensiunea necesară
2. Pregătirea suprafețelor de legătură
3. Aplicarea adezivului pe suprafețele formei de lipit
4. Poziționarea cămășuiei și asamblarea celor două jumătăți
5. Asamblarea definitivă (completă) a celor două părți
6. Îndepărtarea rășinii în exces și montarea distanțierelor
7. Prepararea și aplicarea mortarului de umplere
8. Execuția stratului de acoperire

Tabel 2.9 – Proprietăți ale sistemelor de consolidare – date informative
(C=carbon; S=sticlă; A=aramidă)

Firma producătoare	Sistem	Produs	Tipul fibrelor	Direcția fibrelor [°]	Modul de elasticitate a fibrei E_{FIBRE} [N/mm ²]	Modul de elasticitate a sistemului (fibră + rășină) E_{FRP} [N/mm ²]	Rezistența la întindere a fibrei [0°] f_{FIBRE} [N/mm ²]	Rezistența la întindere a sistemului [0°] (fibră + rășină) f_{FRP} [N/mm ²]	Alungirea la rupere a fibrei $\epsilon_{u FIBRE}$ [%]	Alungirea la rupere a sistemului $\epsilon_{u FRP}$ [%]	Lățime [cm]
SIKA [P7]	SikaWrap Hex	100G	S	0	76000	26130	2300	600	2.80	2.24	60
		103C	C	0	230000	73100	3900	960	1.50	1.33	60
		106G	S	0/90	72400	17029	2250	303	3.70	2.08	125
		107G	S/A	0	76000	26130	2300	600	2.80	2.24	125
		113C	C	0/90	230000	41400	3450	456	1.50	1.20	125
		117C	C	0	231000	56500	3900	724	1.50	1.00	30/60
		160C	C	0/90	230000	-	3800	-	1.50	-	60
		201C	C	0	230000	-	4900	-	2.1	-	-
		230C	C	0	231000	73100	4100	960	1.70	1.33	30/60
		300C HiMod	C	0	640000	-	2600	-	0.40	-	-
		430G	S	0	76000	-	2300	-	2.80	-	30/60
450A	A	0	100000	-	2880	-	2.80	-	-		
FYFE [P9]	Tyfo	SCH-35	C	0	-	78600	-	991	-	1.26	60
		SEH-51A	S	0	-	26100	-	575	-	2.20	140
		WEB	S	0/90	-	19300	-	309	-	1.60	130
		SCH-41S	C/A	0/90	-	72400	-	875	-	1.21	60
		SEH-51	S/A	0/90	-	26100	-	575	-	2.20	140
		BC	S	± 45	-	19000	-	279	-	1.50	130
MASTER BUILDERS [P10]	MBrace	AK 60	A	0	120000	-	2000	-	1.67	-	50/30/10
		CF130	C	0	227000	-	3800	-	1.67	-	61
		CF530	C	0	373000	-	3500	-	0.94	-	61
		EG900	S	0	72400	-	1520	-	2.10	-	61
S&P [P11]		A-Sheet 120	A	0	120000	-	2900	-	2.5	-	30
		C-Sheet 240	C	0	240000	-	3800	-	1.55	-	30
		C-Sheet 640	C	0	640000	-	2650	-	0.4	-	30
		G-Sheet E 50/50	S	0/90	73000	-	3400	-	4.5	-	68
		G-Sheet AR50/50	S	0/90	65000	-	3000	-	4.3	-	68
EDGE STRUCTURAL COMPOSITE [P13]	FIBER-BOND	Vela-Glass 875U	S	0	72390	27600	2275	552	4.00	2.20	15/30/ 60/120
		Vela-Carb 335U	C	0	234400	70000	4480	1035	1.90	1.50	15/30/ 60/120

Tabelul 2.10 – Caracteristicile fizico-mecanice ale lamelelor

Firma producătoare	Sistemul	Produs	Tipul fibrelor	Direcția fibrelor [grade]	Modul de elasticitate E [N/mm ²]	Rezistența la întindere f_{FRP} [N/mm ²]	Alungirea la rupere cu FRP [%]	Lățime [mm]	Grosime [mm]
SIKA [P7]	CarboDur	S	C	0	165000	2800	1.7	50 ÷ 120	1.2 ; 1.4
		M	C	0	210000	2400	1.2	60;90;120	1.4
		H	C	0	300000	1300	0.45	50	1.4
FYFE [P9]	Tyfo SCH	UC	C	0	155000	2790	1.8	50; 100	1.4; 1.9
		UG	S	0	41400	896	2.2	50; 100	1.4; 1.9
MASTER BUILDERS [P10]	MBrace	LM	C	0	150000	2200	1.4	100	1.4
		HM	C	0	200000	2200	1.1	100	1.4

Pașii consolidărilor cu armături compozite:

1. Tăierea unor șlițuri pe suprafața elementului
2. Curățirea șlițului
3. Aplicarea amorsei (primer) în șliț
4. Umplerea șlițului până la jumătate cu un liant de mare viscozitate (ex. pastă epoxidică)
5. Montarea armăturii în șliț
6. Umplerea șlițului cu pastă
7. Nivelarea suprafeței

5.1.4. Coduri, ghiduri și recomandări de proiectare

În prezent pe plan internațional există mai multe organizații profesionale, care au publicat specificații și recomandări referitoare la compozite. Multe dintre acestea au publicat coduri, standarde, metode de testări și specificații despre compozite și produse similare. Organizațiile cu preocupări în domeniul utilizării compozitelor sunt următoarele:

<i>Organizația</i>	<i>Comitetul de specialitate</i>
<i>American Concrete Institute (ACI)</i>	<i>440 – Composites for Concrete 440C – State-of-the-art-Report 440D – Research 410E – Professional Educations 440F – Repair 440G – Student Education 440H – Reinforced Concrete (rebar) 440I – Prestressed Concrete (tendons) 440J – Structural Stay-in-Place Formwork 440K – Material Characterization 440L – Durability 440M – Masonry</i>
<i>American Society of Civil Engineers (ASCE)</i>	<i>Structural Composites and Plastics</i>
<i>American Society of Testing and Materials (ASTM)</i>	<i>ASTM D20.18.01 – FRP Materials for Concrete ASTM D20.18.02 – Pultruded Profiles ASTM D30.30.01 – Composites for Civil Engineering</i>
<i>AASHTO</i>	<i>Bridge Subcommittee T-21 - FRP Composites</i>
<i>International Federation of Structural Concrete (FIB)</i>	<i>fib TG 9.3 : Design of Concrete Members Reinforced, Prestressed or Strengthened with FRP</i>
<i>Canadian Society of Civil Engineers (CSCE)</i>	<i>ACMBS – Advanced Composite Materials for Bridges and Structures</i>
<i>Japan Society of Civil Engineers (JSCE)</i>	<i>Research Committee on Concrete Structures with Externally Bonded Continuous Fiber Reinforcing materials</i>
<i>Japan Concrete Institute (JCI)</i>	<i>TC 952: Technical Report on Continuous Fiber Reinforced Concrete</i>
<i>Transportation Research Board</i>	<i>A2C07 – FRP Composites</i>
<i>Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA)</i>	<i>Seismic Retrofitting Design and Construction Guidelines for Existing Reinforced Concrete (RC) Buildings with FRP - Materials</i>
<i>International Code Council - Evaluation Service (ICC -ES)</i>	<i>AC125 – Interim Criteria for concrete and reinforced and unreinforced masonry strengthening using fiber-reinforced polymer (FRP) composite systems</i>

5.1.5. Exemple de consolidări cu compozite

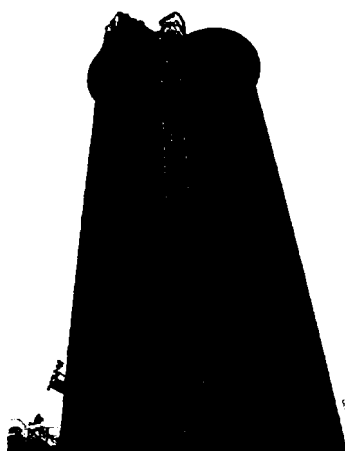
Deoarece în ultimii ani s-au executat nenumărate consolidări utilizând materiale compozite, în continuare sunt prezentate câteva lucrări mai interesante din acest domeniu.



Tăierea șlițurilor



Șlițurile verticale și orizontale înainte de instalarea armăturilor



Injectarea fisurilor



Silozuri consolidate

Figura 2.31a – Fazele consolidării unor silozuri cu armături compozite așezate în șlițuri umplute cu rășină (Blue Circle Cement Company, Boston, SUA) [80]



Instalarea armăturilor



Aplicarea rășinii de acoperire

Figura 2.31b – Fazele consolidării unor silozuri cu armături compozite așezate în șlițuri umplute cu rășină (Blue Circle Cement Company, Boston, SUA) [80]

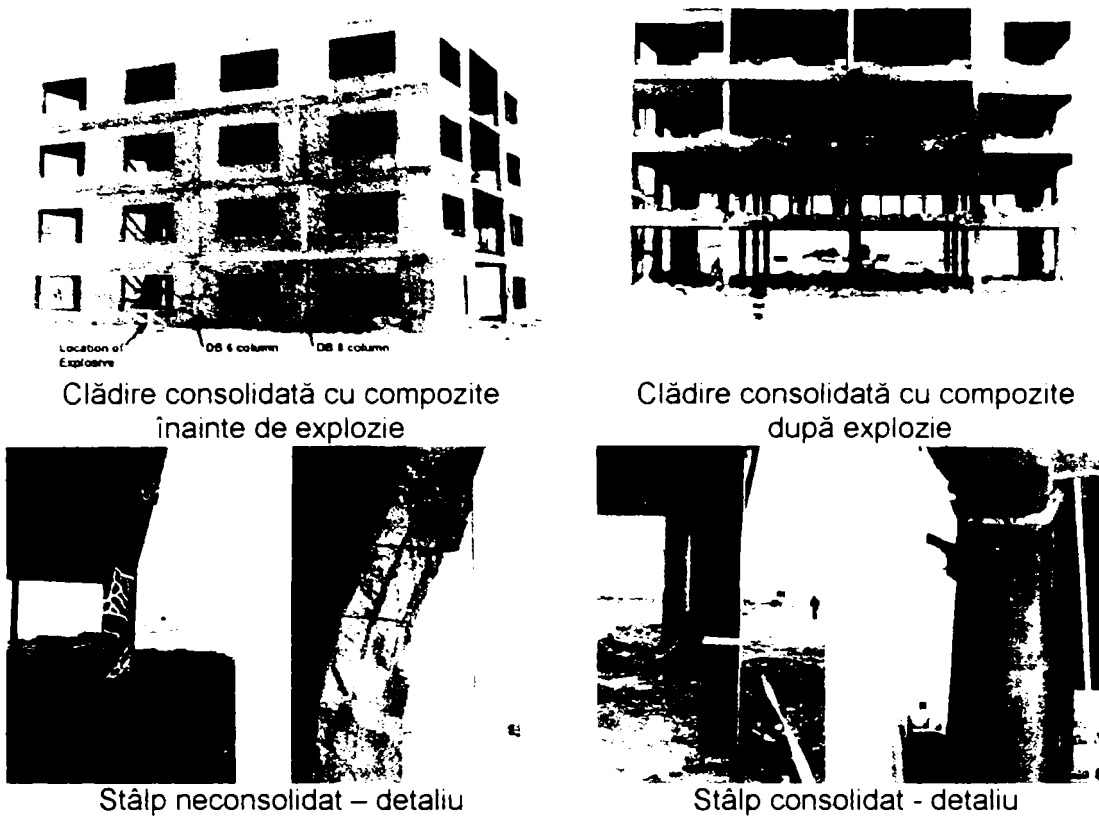


Figura 2.32 – Mărirea capacității portante a clădirilor la explozii prin înfășurarea cu compozite [13]

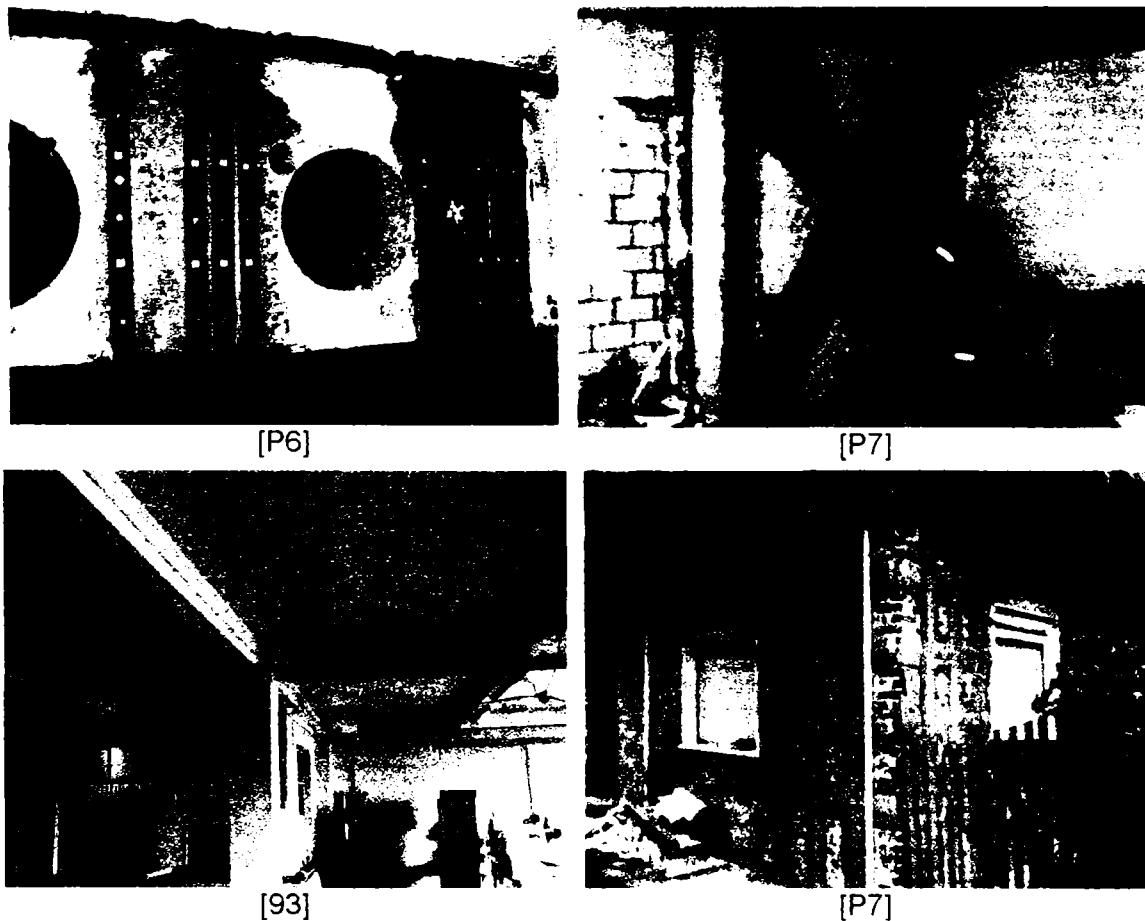


Figura 2.33 – Consolidarea grinzilor la forța tăietoare

Figura 2.34 – Consolidarea pereților din beton armat și din zidărie

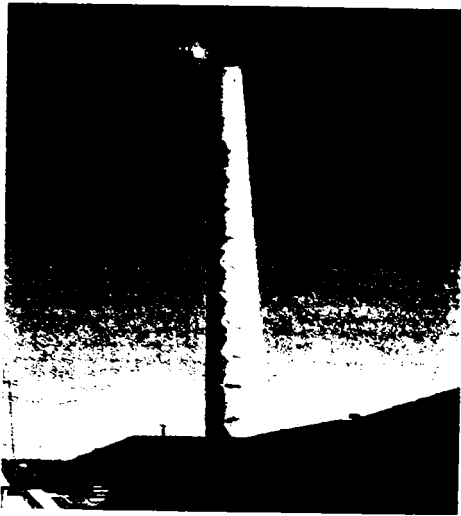


Figura 2.35 - Coș de fum din zidărie consolidat cu țesături [P6]



Figura 2.36 - Noduri consolidate cu țesături [P13]

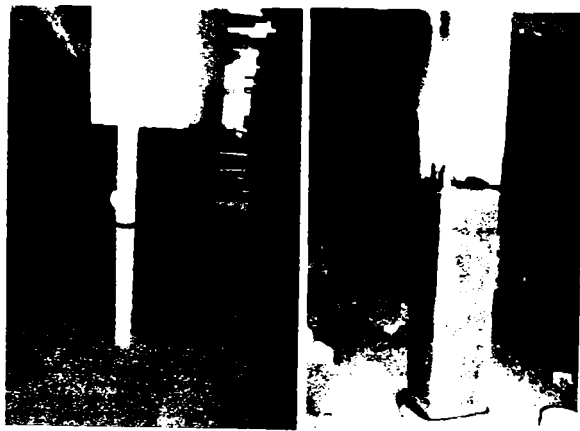


Figura 2.37 - Stâlpi consolidați cu țesături [84] [P9]



Figura 2.38 - Piloni din lemn consolidați sub apă [P9]



Figura 2.39 - Grindă de lemn consolidată cu lamele [P6]

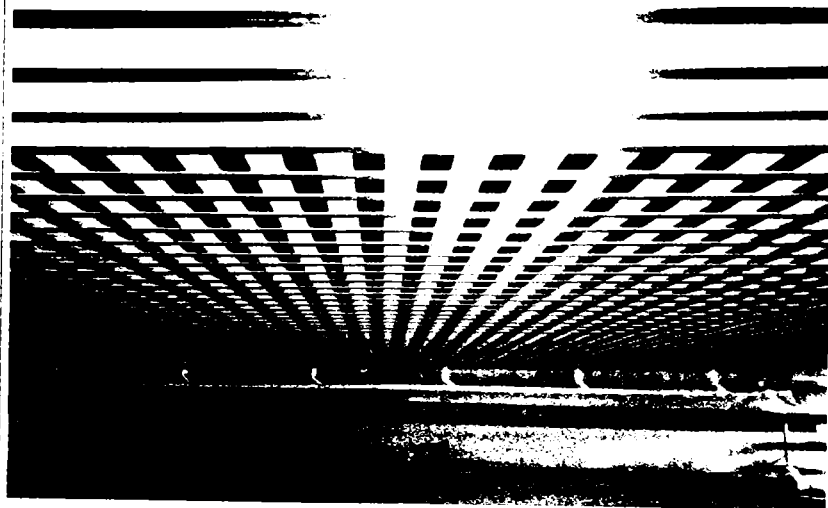


Figura 2.40 - Planșeu consolidat cu lamele [P6]

5.2. Armări cu compozite

Betonul este un material foarte des utilizat în construcții pentru realizarea structurilor, având o rezistență mare la compresiune, însă rezistența la întindere mai mică. Pentru a depăși aceste limitări, se folosesc armături în zona întinsă a elementelor structurale. Dacă armăturile din oțel sunt protejate în mod corespunzător de atacul ionilor, pot rezista îndelung fără deteriorări. Deoarece nu este întotdeauna posibilă prevenirea acestor coroziuni, acoperirea insuficientă cu beton, greșelile de proiectare sau execuție, respectiv prezența unor agenți agresivi în cantități mari pot determina fisurarea betonului și coroziunea armăturilor din oțel.

Armăturile din compozite au fost utilizate, la început, în Japonia și Canada, și apoi s-a extins în SUA și Europa.

Compozitele, alcătuite din fibre impregnate cu rășini, fie din carbon sau sticlă, pot fi utilizate ca armături pentru elemente din beton armat, supuse la încovoiere, tăiere și compresiune centrică sau excentrică. În plus, acestea sunt rezistente la atacurile ionilor de cloride, au o rezistență la întindere de 1,5 - 4 ori ca oțelul (în funcție de fibra utilizată, sticlă sau carbon) și doar 25% din greutatea acestora.

Cu toate că armăturile compozite nu înlocuiesc în totalitate oțelul, în aplicațiile unde se folosește oțelul, acestea au avantaje specifice (distincte) care pot fi exploatate cu succes și eficient. Avantajele utilizării acestor armături compozite sunt următoarele:

- raport rezistență – greutate ridicată fiind avantajoase la punerea în operă;
- necorozive, fiind posibilă astfel utilizarea lor în aplicații în medii agresive, corozive;
- neconductivi, asigurând o izolație excelentă electrică și termică;
- rezistență excelentă la oboseală, lucrând foarte bine în situații cu încărcări ciclice;
- rezistență bună la impact, rezistând la încărcări bruște sau în puncte;
- transparentă magnetică, nefiind afectate de câmpuri electromagnetice;
- pierderi mici de precomprimare, în special datorită relaxării, la toroane;
- posibilitatea de integrare a unor senzori de fibre optice;
- stabilitate dimensională sub încărcări termice;
- greutatea mică făcând posibilă transportul și asamblarea pe șantier, fără necesitatea unor mașini grele și scumpe de ridicare.

Succesul sistemelor de armare cu compozite depinde direct de dezvoltarea tehnologiilor de fabricare, care progresează foarte rapid în ultimul deceniu. Cu toate acestea produsele prezintă câteva dezavantaje, cum ar fi:

- prețul relativ ridicat, cu tendință de scădere, concomitent cu creșterea calității;
- modul de elasticitate câteodată mai mic decât cel al oțelului, care limitează aplicarea acestora la deschideri mai mici sau la elemente structurale secundare ;
- rupere fragilă;
- grad de rezistență la foc mai scăzut;
- probleme de ancorare la elemente precomprimate;
- grad limitat de precomprimare (cel mult 50 - 60% din limita de rupere);
- pericol de coroziune galvanică între fibrele de carbon și piesele (elemente) metalice;
- nervurile sau suprafața rugoasă necesară pentru a obține o legătură bună sunt relativ scumpe în procesul de producție (acoperire sau înfășurare separată)
- calculul elementelor cu armături compozite diferă de cele cu armături din oțel

Din cauza costurilor în momentul de față armăturile cele mai utilizate sunt cele cu fibră de sticlă.

După modul de alcătuire a suprafeței armăturilor ele pot fi netede sau cu

nervuri, cu sau fără strat de nisip. Conlucrarea armăturilor (cu diferite suprafețe) cu betonul, este prezentată în *Figura 2.41*.

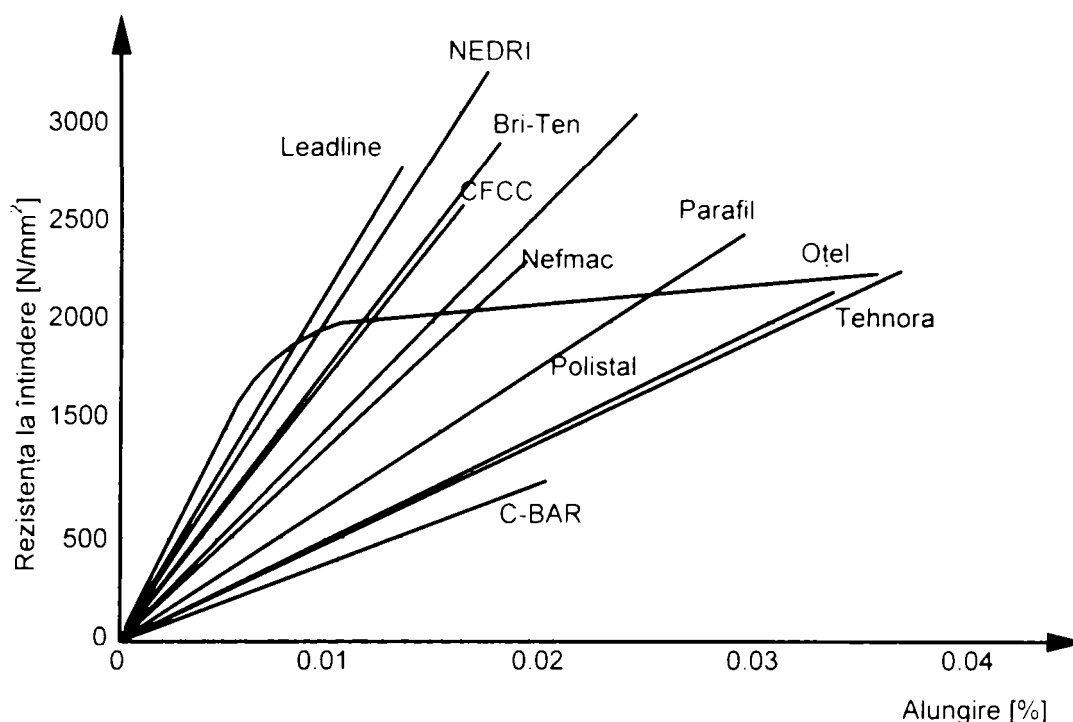


Figura 2.41- Conlucrarea dintre beton și armăturile compozite

5.2.1. Domenii de aplicare

Au fost identificate șase categorii de aplicații pentru care armăturile compozite sunt alternative bune pentru armăturile din oțel, oțel cu rășină și oțel inoxidabil, și anume:

- Beton armat supus acțiunii sărurilor
- Structuri construite în apa mărilor sau în zona maritimă
- Elemente de construcții supuse la alți agenți corozivi
- Aplicații care necesită conductivitate electrică redusă sau transparență electromagnetică
- Aplicații de genul tuneluri și foraje care necesită structuri provizorii din beton armat
- Structuri sensibile la încărcări (weight sensitive structures)

5.2.2. Tipurile, caracteristicile și utilizările armăturilor compozite

Cu toate că cercetările privind utilizarea armăturilor compozite în elemente din beton au început în anii 1950, acestea însă nu au fost luate în serios până la sfârșitul anilor 1970. La începutul anilor 1980 s-a început fabricarea armăturilor compozite pe scară largă. S-au răspândit utilizările în aplicații cu cerințe de performanță speciale sau unde armăturile erau supuse unor atacuri chimice severe.

În anul 1986 s-a construit, în Germania, primul pod din lume cu armături compozite. De atunci numeroase firme se ocupă cu fabricarea și aplicarea armăturilor compozite.

În Japonia, pentru a promova dezvoltarea și utilizarea armăturilor și a sistemelor de cablurilor compozite, în anul 1991 a fost înființată asociația ACC (Advanced Composite Cable Club), membrii fiind producători și firme de execuție, respectiv de proiectare. Membrii grupului lucrează la proiecte independente, dar schimbă informații pentru dezvoltarea standardelor și se informează despre progresele făcute

în aplicații. Până în prezent produsele grupurilor au fost utilizate în peste 100 de proiecte, din care cca. 24% fiind construcții de poduri. Din cauza durabilității (umiditate și rezistență la alcalii) aplicațiile s-au concentrat pe fibrele de carbon și de aramidă. Unul dintre principalele domenii dezvoltate este cel al sistemelor de ancoraj.

Sistemele Japoneze au fost de asemenea utilizate pentru poduri în Canada, SUA și Europa. În continuare sunt prezentate cele mai cunoscute tipuri de elemente compozite utilizate la armare elementelor din beton.



Figura 2.42 – Toroane CFCC [46]



a) Armătură rectangulară striată



b) Armătură rotundă acoperită cu nisip



Figura 2.44 – Podul Birdie și ancorajele de pretensionare Arapree de tipul lipit conic [52]

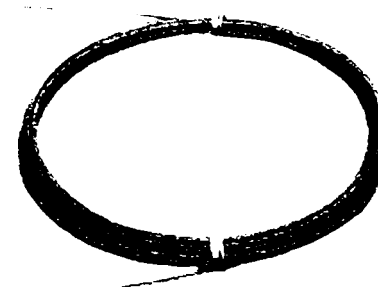
Figura 2.43 – Armături de pretensionare [52]



Toroane și bare



Armături țesute rigide



Armături flexibile

Figura 2.45 – Elemente FiBRA [52]

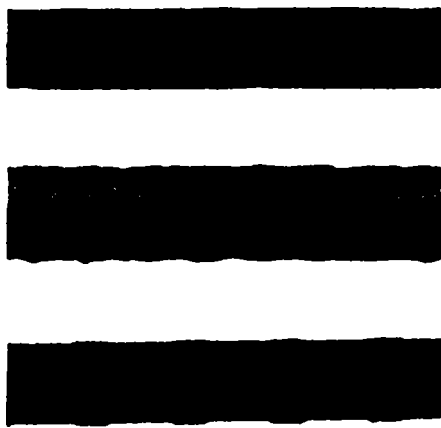


Figura 2.46 –Bare Leadline [52]

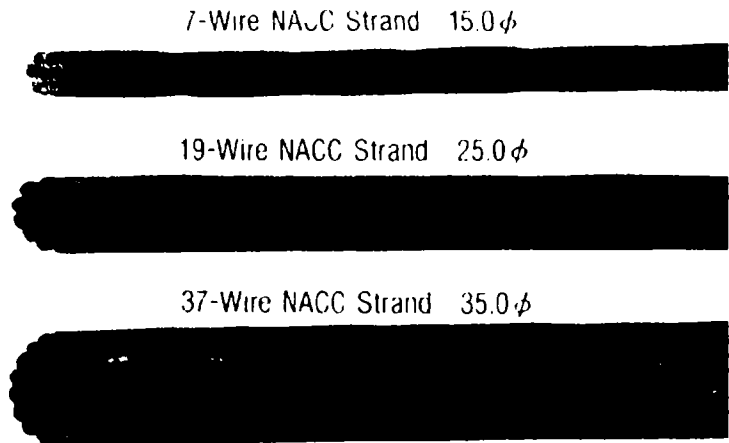


Figura 2.47– Cabluri NACC alcătuite 7, 19 și 37 de sârme [52]

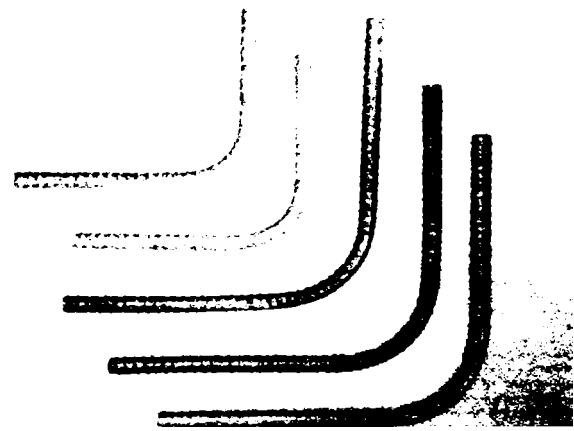
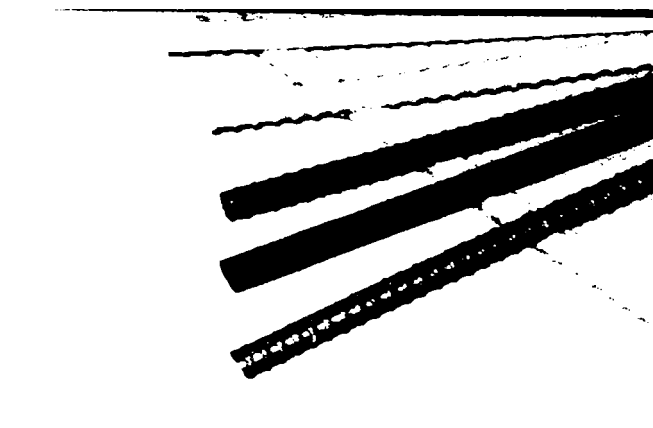


Figura 2.48 – Armături și etrieri tip C-Bar [P17]

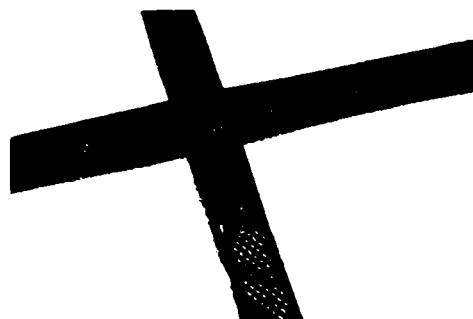
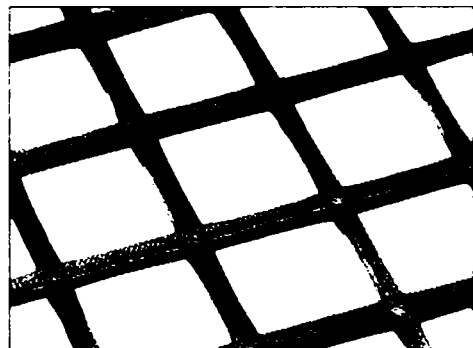
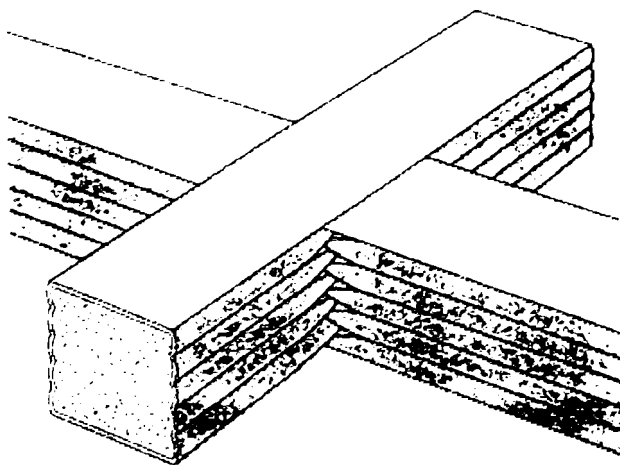
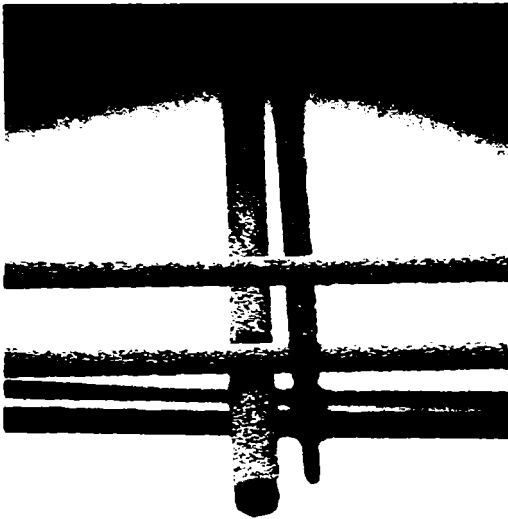


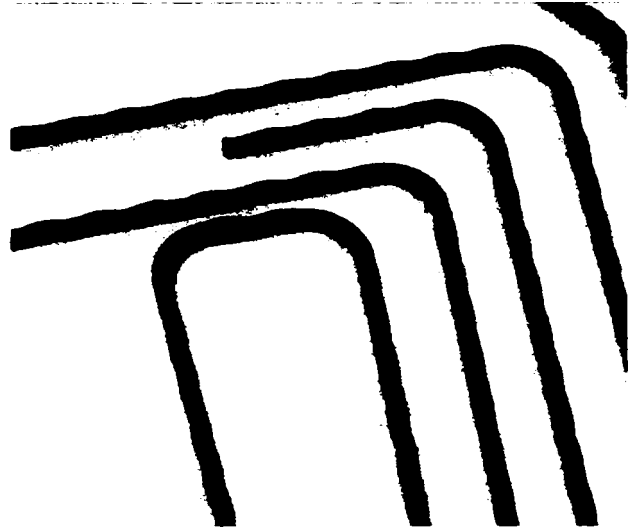
Figura 2.49 – Armături NEFMAC tip rețea [W1]



Armătura CRT cu gol și suprafața elicoidală [P17]



Bare Isorod acoperite cu nisip [P17]



Bare Isorod îndoite [P17]



Armături adunate sub forma unor cabluri [106]

Figura 2.50 Diferite tipuri de armături

În tabelul de mai jos sunt prezentate caracteristicile mecanice ale unor armături din compozite.

Tabelul 2.11 - Caracteristicile mecanice ale unor armături din compozite

C – carbon, S – sticlă, A – aramidă, H - hibrid

Firma producătoare	Sistem	Formă produs	Tipul fibrelor	Modul de elasticitate E_{FRP} [kN/mm ²]	Rezistența la întindere [0°] f_{FRP} [N/mm ²]	Alungirea la rupere $\epsilon_{u,FRP}$ [%]	Relaxarea (la 20°C) [%]	Coefficient de dilatare (la 20°C) [10 ⁻⁶ /°C]
Tokyo Rope (Japonia)	CFCC	toroane	C	137	1420 ... 2000	1,6	0,7 ... 2,5	0,6
Nippon Aramid, Kajima (Japonia) AKZO (Olanda)	Arapree	Bare rectangulare striate	A	125 ... 130	2800 ... 3000	2,4	15	1,8
		Bare rotunde acoperite cu nisip	A	125 ... 130	2800 ... 3000	2,4	15	1,8
Teijin, Sumitomo Construction (Japonia)	Technora	Bare rotunde netede sau striate	A	54	1800	3,6	7 ... 14	-3
Shinko Wire (Japonia)	FIBRA	toroane, armături țesute și cabluri	C S A	69	1385 ... 1500	2	25	-5,2
Mitsubishi Chemical (Japonia)	Leadline	Bare rotunde netede sau striate Toroane	C	147	2255	1,5 ... 1,7	2 ... 4	0,68
Nippon Steel, Suzuki Metal Industry (Japonia)	NACC	cabluri (toroane)	C	118 ... 206	790 ... 1800	-	0,5 ... 1,5	0,6
Marshall Industries Composites Inc. (SUA)	C-Bar	Bare rotunde striate Etrieri	S	40 ... 42	720 ... 840	1,8 ... 2,0	-	8,1
Linear Composites (Marea Britanie)	Parafil	Toroane (cabluri)	A	129 (79)	1960	-	8	-
Shimizu Corp. (Japonia)	NEFMAC	armături tip rețea sau carcase	C S A H (S-C)	37 ... 100	530 ... 1300	-	-	-
Nubar (SUA)	LCR	Bare rectangulare striate	C	110 ... 137	1240 ... 1380	0,2 ... 0,4	-	-0,5 ... 0,1
Pulltral, ADS Composites Group (SUA)	Isorod	Bare rotunde acoperite cu nisip	S	42	689 ... 719	1,8	-	8,88
			C	120	1596	1,4	-	-
Sika	CarboDur Rod	Bare rotunde	C	155	2800	1,8	-	-

OBS: Valorile din tabel sunt doar informative și depind în mare măsură de forma produsului. Pentru valorile exacte se va contacta producătorul!

În figurile de mai jos sunt prezentate câteva exemple mai semnificative.

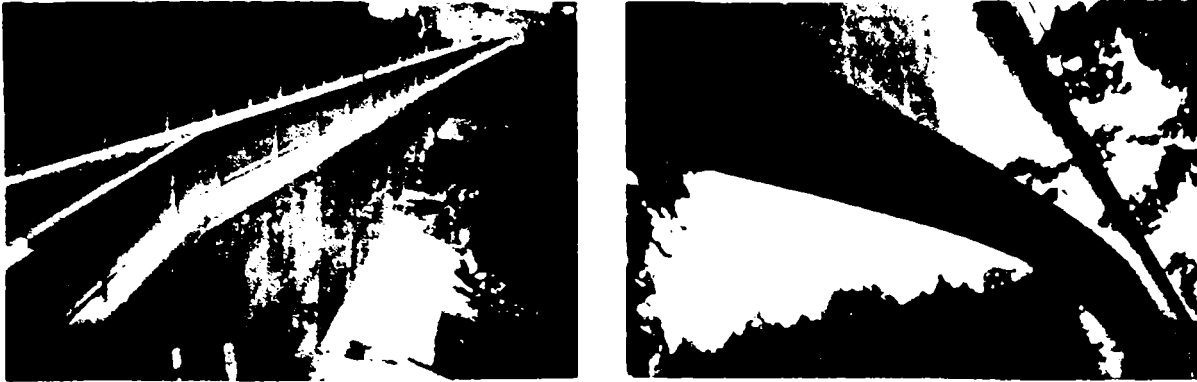


Fig. 2.51- Podul Hisho – 111 x 3,6 m. cu deschiderea liberă de 75 m [52]

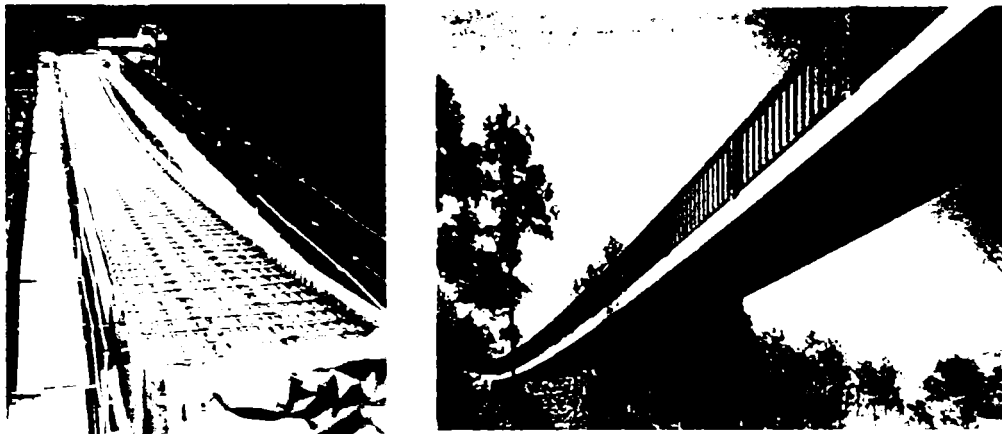


Fig. 2.52- Podul Birdie și ancorajele de pretensionare Arapree de tipul lipit conic [52]

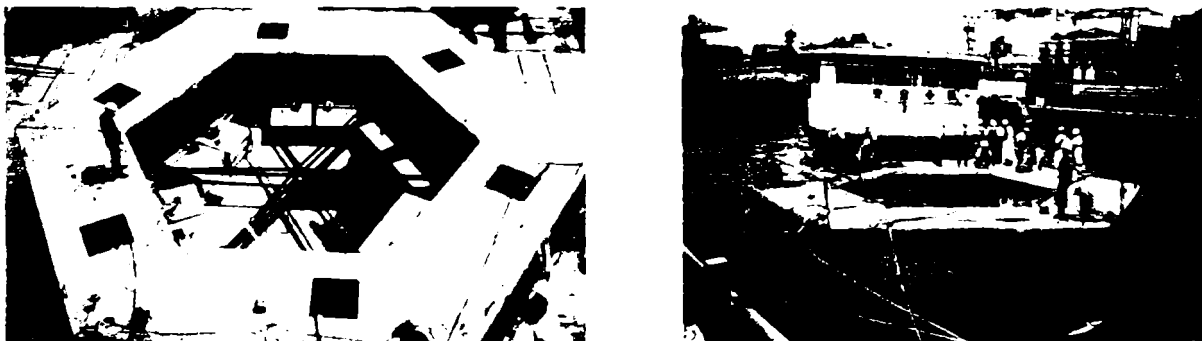


Fig. 2.53 - Structuri hexagonale plutitoare [52]

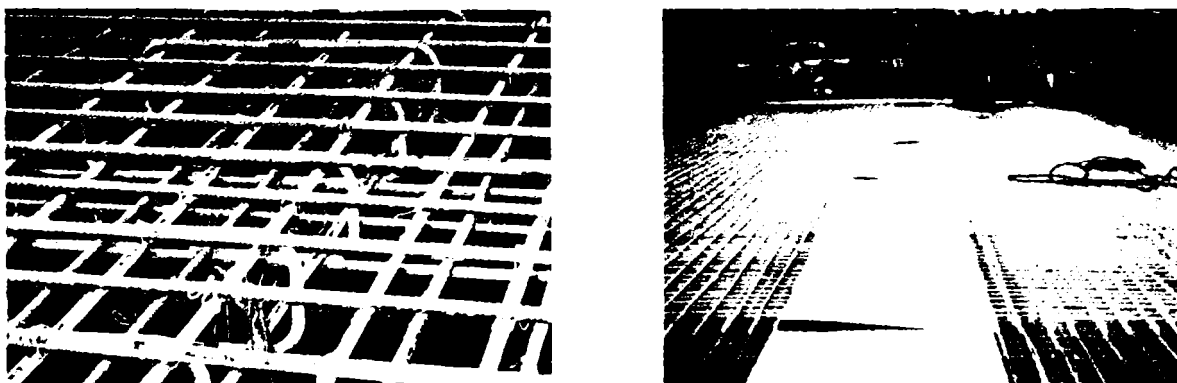


Fig. 2.54 - Armarea tablierului podului Buffalo Creek (West Virginia, SUA) [P17]

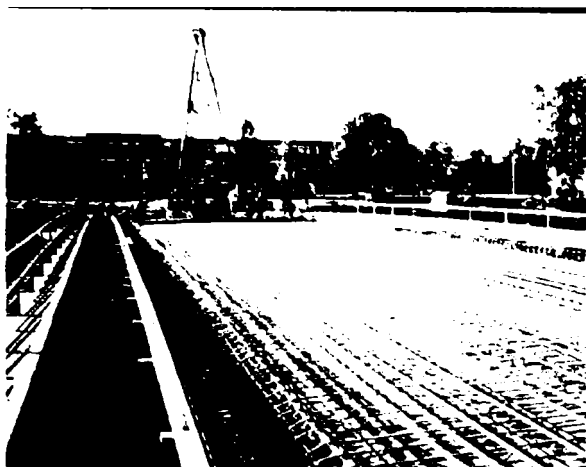


Fig. 2.55 – Armarea podului Pierce Street
(Lima, Ohio, SUA) [P17]



Fig. 2.56 - Consolidarea grinzilor din beton
armat [52]

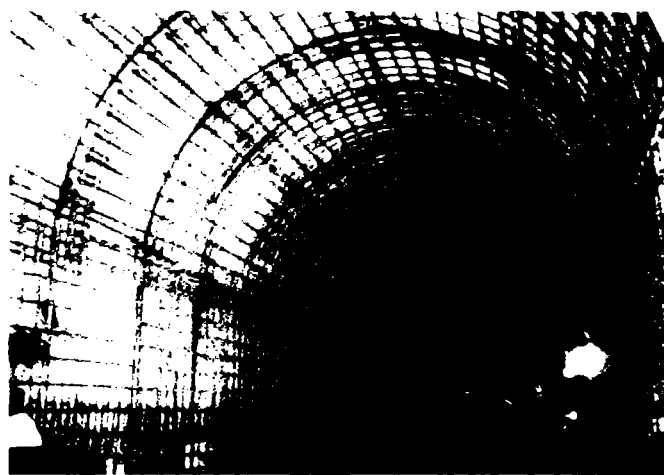
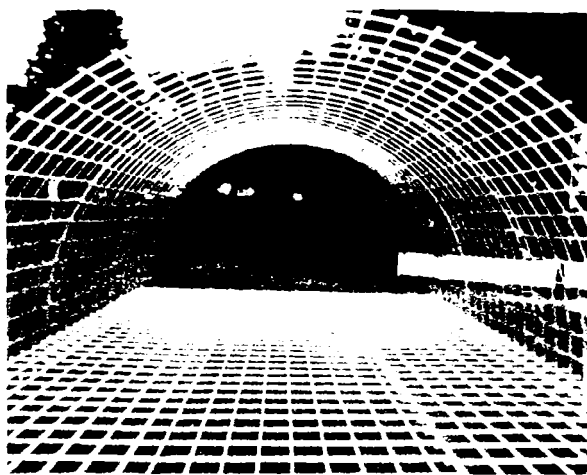
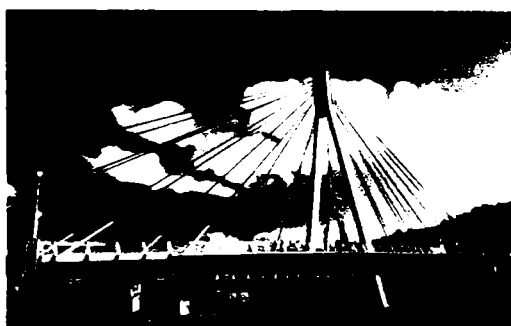


Fig 2.57 - Armarea tunelelor [52]



Podul Stork (Elvetia)
Cablu la poduri suspendate [106]



Stâlpi pentru linie electrică, pretensionate [106]

Fig 2.58 - Alte posibilități de utilizări ale armăturilor compozite

5.3. Profile compozite

Profilele compozite sunt produse în cea mai mare parte prin pultrudare, astfel fiind posibile obținerea oricărei forme dorite. În procesul de fabricare fibrele continue sunt trase printr-o formă (matriță), unde sunt impregnate sub presiune cu rășină, apoi se supun tratamentelor termice și eventual se adaugă catalizatori de întărire. Mănunchiurile de fibre longitudinale sunt suplimentate cu împletituri țesute și/sau țesături complexe, care măresc rezistența la tăiere și întindere în direcția transversală. Față de profilele din oțel, care sunt materiale izotrope, profilele realizate din materiale compozite cu fibre prezintă o comportare puternic anizotropă.

Forma secțiunilor profilelor compozite au fost luate în marea majoritate după forma profilelor structurale din oțel, dar se produc din ce în ce mai multe forme adaptate la proprietățile materialului.

Cele mai utilizate materiale sunt fibrele de sticlă în matrice poliesterică sau vinilesterică, dar uneori sunt adăugate fibre de carbon unidirecționale în tălpi. Protecția la radiațiile ultraviolete se asigură prin intermediul unor aditivi speciali și acoperiri de suprafață (fleeces).

Profilele compozite sunt utilizate în principal la podurile pietonale integral compozite și la poduri rutiere hibride sau integral compozite.

Ca și în cazul armăturilor compozite, se poate afirma că profilele compozite nu pot înlocui peste tot oțelul, sau aplicațiile unde se folosește oțelul, însă au unele avantaje specifice. Avantajele principale ale utilizării sunt următoarele:

- rezistență la coroziune ridicată, fiind posibilă astfel utilizarea lor la aplicații în medii agresive, corozive;
- greutatea redusă (cca. 25% din cea a oțelului) face posibil transportul și asamblarea pe șantier, fără necesitatea unor mașini grele și scumpe de ridicare
- proprietăți de conductivitate redusă cu o capacitate dielectrică (de izolare) ridicată, și conductivitate termică redusă
- raport rezistență – greutate ridicată, mai mare decât cea a oțelului
- transparentă magnetică, nefiind afectată de câmpuri electromagnetice, unde radio
- pot fi produse în orice culoare prin adăugarea unor pigmenți la rășină
- rezistență bună la impact, rezistând la încărcări concentrate;
- posibilitatea de tăiere ușoară cu scule simple, îmbinări prin lipire sau cu șuruburi.
- costuri de instalare și de mentinere mai mici în aplicații industriale, putând avea și costuri de viață mai mici sau egale cu cea a oțelului, și chiar egale pe metru linear cu cele ale profilelor din aluminiu.

5.3.1. Domenii de aplicare și exemple de utilizări

Principalele domenii de aplicare sunt asemănătoare cu cele ale armăturilor din compozite, acestea fiind:

- structuri în medii corozive
- uzine cu procese chimice
- construcții pe malul mării sau în mare
- stații de epurare
- structuri ușoare
- structuri pentru telecomunicații, aviație sau cu cerințe de transparentă electromagnetică
- structuri pentru poduri

5.3.2. Tipuri și caracteristici ale profilelor compozite

În continuare sunt prezentate cele mai cunoscute firme producătoare de profile compozite utilizate în aplicații structurale, respectiv câteva exemple de aplicare ale acestora.

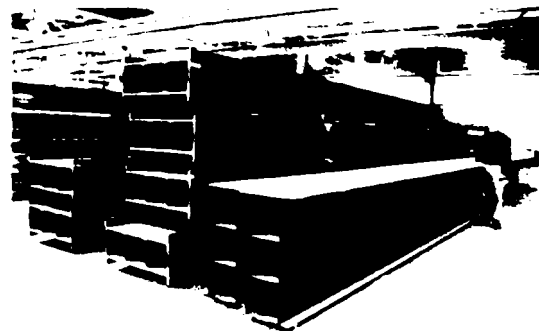
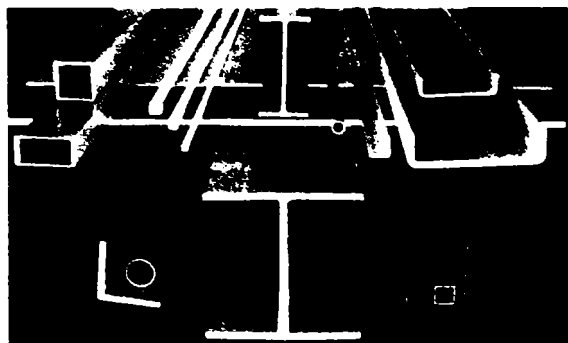
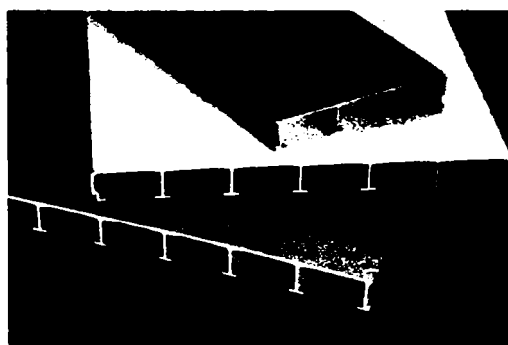
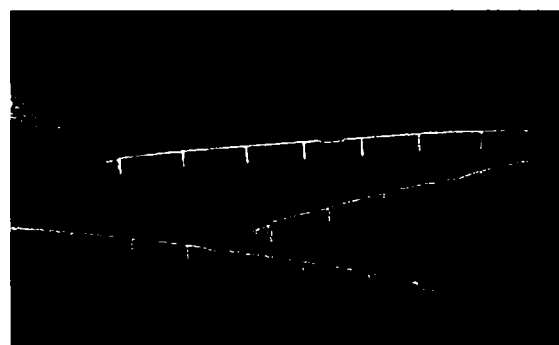


Figura 2.59 - EXTREN : profile și plăci structurale din fibră de sticlă [W21]



SAFPLANK



SAFDECK

Figura 2.60 – Sisteme pentru planșee și platelaje (decking and flooring) [W21]

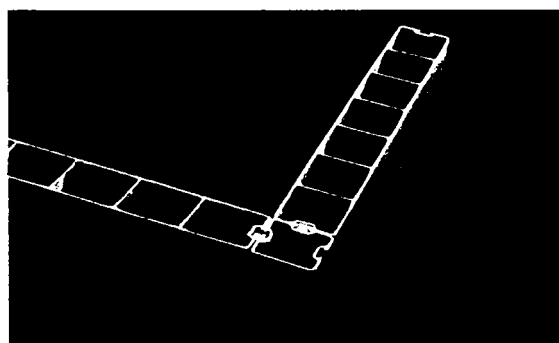


Figura 2.61 – Sisteme de panee și elemente de îmbinare COMPOSOLITE [W21]

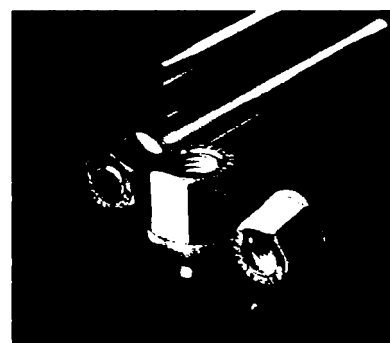
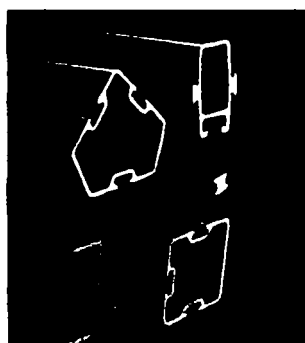


Figura 2.62 – Buloane și piulițe (FIBREBOLT) [W21]

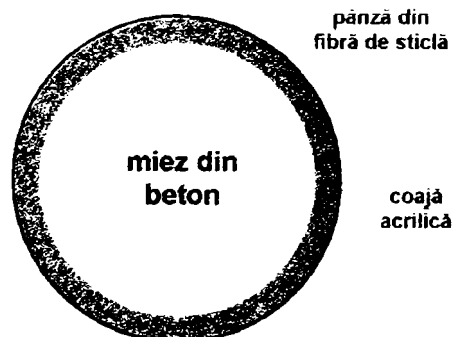


Figura 2.63 – Stâlp tubular umplut cu beton

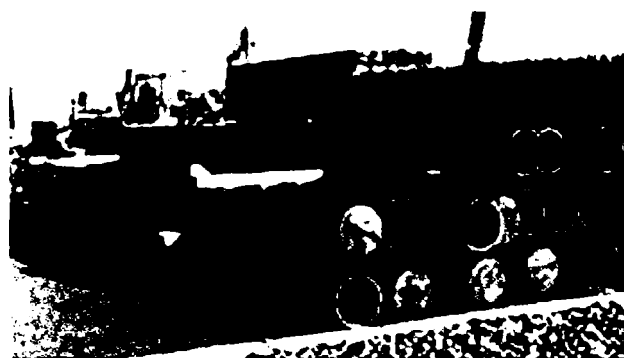


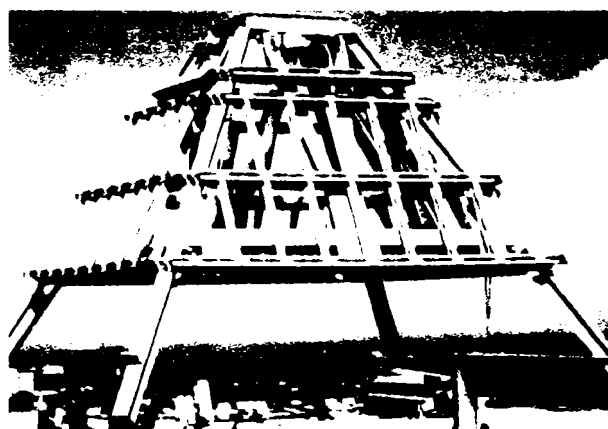
Figura 2.64 – Stâlpi goi și umpluți cu beton [W10]

În tabelul de mai jos sunt prezentate caracteristicile mecanice generale ale unor profile din compozite armate cu fibre de sticlă.

Tabelul 2.12 - Caracteristicile mecanice generale ale unor profile din compozite armate cu fibre de sticlă

Proprietate	Paralel cu fibrele	Transversal pe fibre
Rezistența la întindere [N/mm ²]	200...400	50...60
Rezistența la compresiune [N/mm ²]	200...400	70...140
Rezistența la tăiere [N/mm ²]		25...30
Modulul de elasticitate longitudinal [kN/mm ²]	20...40	5...9
Modulul de elasticitate transversal [N/mm ²]		3...4
Densitatea [g/cm ³]		1,8...1,9
Conținutul de fibre [% din greutate]		50...70

Câteva exemple de utilizări mai semnificative sunt prezentate pe următoarele figuri.



Structură tip turn cu 3 etaje (Orlando, Florida, SUA)

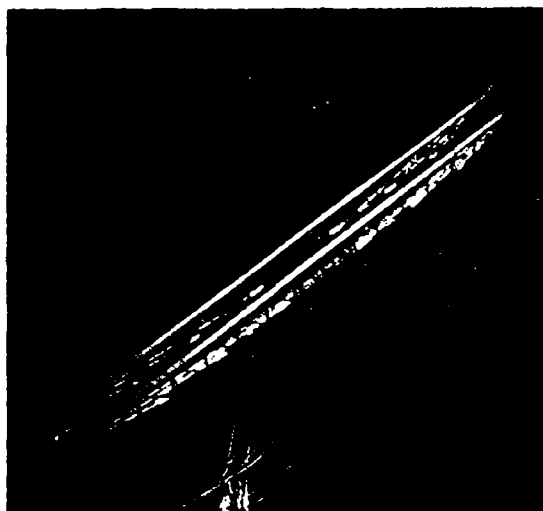


Turn pentru casa scării de 19 m înălțime (Virginia Beach, SUA)



Clădire cu structură integral din compozite: grinzi cu 18,9 m deschidere (profil I tip EXTREN).

Figura 2.65 - Utilizarea structurală a profilelor



Podul pietonal Hiking Trail (Hawaii, SUA) - 24m



Podul pietonal Antioch (Illinois, SUA) - 13.7 m deschidere -1996



Pod pietonal (38m x 3m, Lleida, Spania)



Fig. 2.66 – Exemple de utilizări la Poduri [P17]

5.4. Panouri compozite

Structurile compozite tip sandwich, sunt folosite în construcțiile de poduri, în principal ca și planșee dală (deck slab). Acestea au o greutate proprie redusă (cca. 20% din cea a unui tablă echivalent din beton), rezistență ridicată la coroziune și oboseală și pot fi instalate rapid, cu o întrerupere minimă a circulației. În SUA au fost dezvoltate deja numeroase sisteme, care au fost încercate în proiecte pilot.

Până la sfârșitul anului 2000 au fost construite 36 de poduri cu planșee dală compozite (30 poduri rutiere, 6 pietonale). Toate sistemele utilizează fibra de sticlă iar ca matrice poliesteri sau vinilesteri. Datorită modulului de elasticitate relativ mic, factorul determinant la proiectare este întotdeauna deformația, astfel că efortul unitar din fibrele de sticlă sub încărcări permanente nu este niciodată în apropierea valorii de rupere.

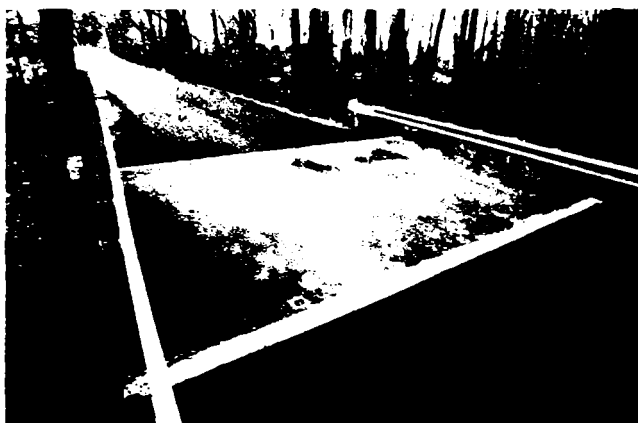
Majoritatea dalelor sunt fabricate prin tehnologia de pultrudare, grosimea planșeului fiind constantă și, funcție de sistem limitată între 12 ÷ 25 cm. De aceea deschiderea maximă posibilă este doar în jur de 2.7 m fiind necesară o structură de rezistență de susținere din grinzi. În cazul înlocuirii dalelor, se pot utiliza grinzile existente din beton sau din oțel. Datorită grosimii constante realizarea pantelor transversale este mai dificilă, acestea fiind rezolvate cu vute (haunches). Pentru îmbinarea dalelor au fost dezvoltate mai multe tehnici, cum ar fi prin lipire, cu buloane, cu dibluri sau altele.

Unele sisteme sunt fabricate utilizând metoda de transfer de rășină în vid

(VARTM) sau laminarea manuală. Față de sistemele pultrudate acestea oferă numeroase avantaje constructive, prezentate în continuare. Grosimea plăcilor este variabilă, astfel că poate fi adaptată la deschideri mai mari sau la pante transversale. Deschiderea cea mai mare până acum este de 10 m. În timpul fabricării plăcilor există posibilitatea de a prevedea conectori sub forma unor piese de oțel înglobate în plăci.

Pentru acoperirea dalelor în principiu se utilizează diferite tipuri de betoane polimerice de grosime mică ($6 \div 20$ mm), care de obicei sunt aplicate înaintea instalării dalei.

În continuare sunt prezentate câteva exemple de utilizări ale sistemelor folosite în acest domeniu.

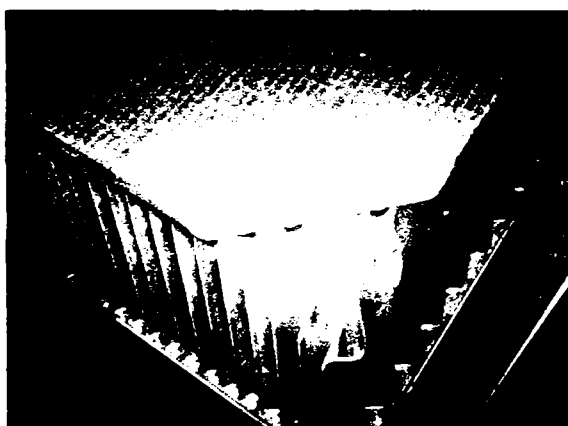


Podul Cecil Country
6,1 x 7,6 m
(Maryland, SUA) - 1997[P17]



Podul Bentley Creek
4,3 x 2,6 m
(Chemung, SUA) - 1999[P17]

Figura 2.67 - Utilizarea panourilor tip HARDCORE



Structura panoului Kansas



Panouri compozite depozitate

Fig. 2.68 - Utilizarea panourilor tip KANSAS

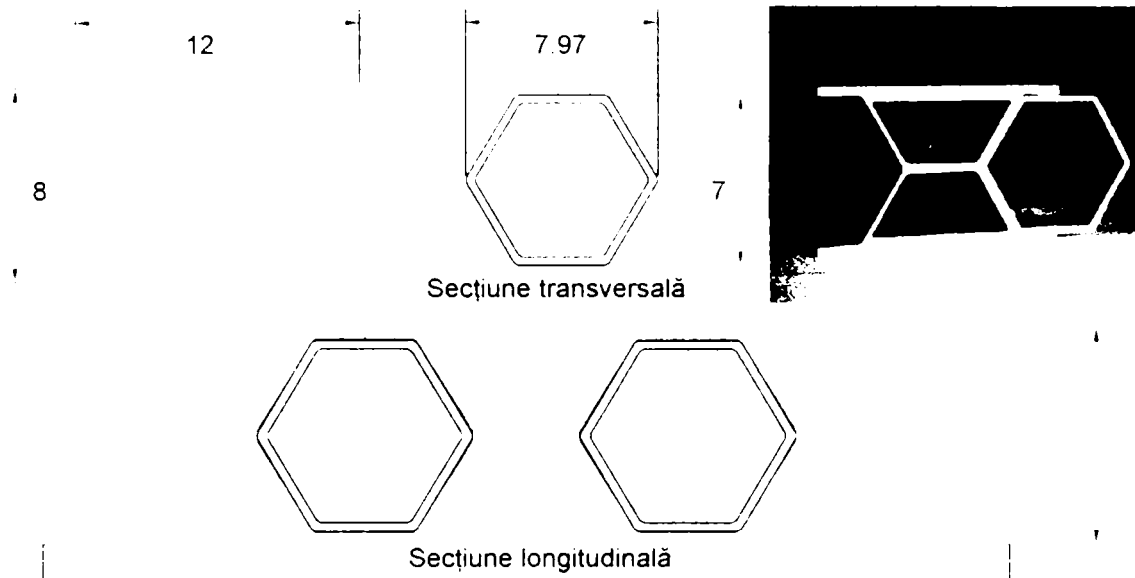


Figura 2.69 – Elementele Superdeck [in] [W2]

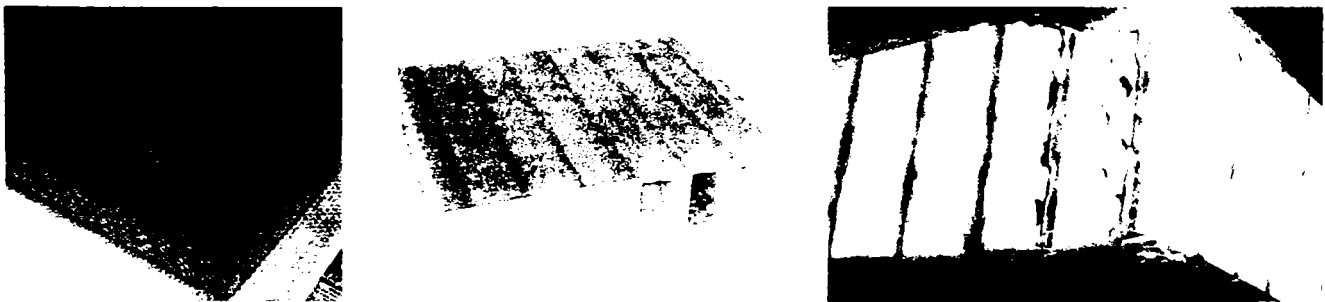


Figura 2.70 – Detaliul structurii panoului TYCOR [P17],[W34]

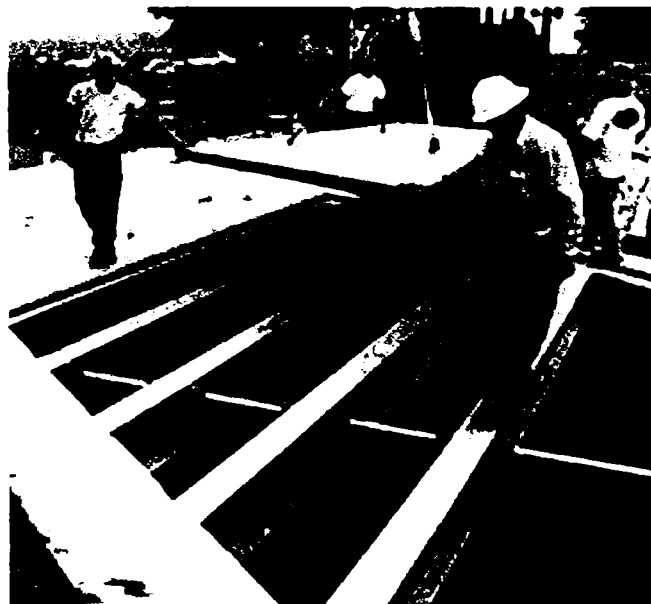


Figura 2.71 – Podul Hebble Creek, din panouri de 2,4 x 9,75 m [P17],[W34]

III. PEREȚI DIN ZIDĂRIE DE CĂRĂMIDĂ CONSOLIDAȚI CU COMPOZITE

1. Introducere

În evenimentele seismice din întreaga lume un număr mare de clădiri cu structură de zidărie au suferit degradări semnificative, în multe cazuri putând fi observate cedări parțiale ale structurii sau chiar colapsul total. Din acest motiv s-a impus dezvoltarea unor tehnici noi de consolidare cu mare eficiență.

Repararea și consolidarea seismică cu fibre continue este o metodă relativ nouă, primele cercetări efectuându-se în Japonia în anul 1979. Soluția a fost atractivă din cauza lucrabilității excelente și datorită caracteristicilor mecanice a materialelor [30].

Domeniul abordat este de strictă actualitate ținând cont de numărul mare al clădirilor de locuit realizate cu pereți structurali din zidărie. Nivelul relativ scăzut al cunoștințelor legate de comportarea structurilor din zidărie simplă reabilite cu materiale și tehnologii avansate a condus în ultima perioada la lansarea unor noi direcții de cercetare la nivel internațional.

Astfel, în cadrul Departamentului C.C.I.A. al Facultății de Construcții și Arhitectură (UPT) a fost demarat un program de cercetare, care a propus investigarea acestor noi metode și tehnici de consolidare, folosind materiale compozite polimerice, care măresc capacitatea portantă la tăiere (și încovoiere) a pereților din zidărie de cărămidă.

Datorită complexității foarte mare a problemei, respectiv a numărului mare a variabilelor, **domeniul studiat a fost limitat la comportarea pereților din zidărie de cărămidă consolidați cu compozite polimerice, solicitați la tăiere.**

2. Rezultate din literatura de specialitate

În continuare sunt prezentate, cronologic și sistematizat, principalele concluzii ale cercetărilor experimentale și studiilor teoretice, referitoare la consolidarea pereților din zidărie de cărămidă.

2.1. Primii pași în consolidarea cu compozite a pereților din zidărie

Croci și alții (1987) [103]

A fost unul dintre primele studii în utilizarea armăturilor ne-metalice pentru consolidarea pereților din zidărie. Au fost încercate la forță tăietoare elemente consolidate cu fășii verticale sau înclinate, alcătuite din împletituri din polipropilenă. Acestea nu intră în categoria compozitelor polimerice armate cu fibre de înaltă rezistență.

Sweidan (1991) [103]

A demonstrat prin studii teoretice eficiența ridicată a sistemelor de post-tensionare din compozite pentru pretensionarea zidăriilor.

Triantafilou și Fardis (1993/1996/1997) [101] [103]

Concepte de detaliu și studii analitice în aplicarea eficientă a armăturilor de pretensionare cu compozite perimetrală a clădirilor istorice din zidărie. Sunt prezentate studii de caz și detalii referitoare la consolidarea unei clădiri rectangulare prin pretensionare exterioară, și a unei cupole semisferice.

Schwegler și alții (1994) [103]

Au fost primii care au studiat utilizarea compozitelor polimerice cu fibră de carbon pentru consolidarea seismică a elementelor și structurilor din zidărie. Au utilizat lemele, care au fost lipite cu rășini epoxidice pe suprafața zidăriei, funcționând ca și diagonale întinse. Au demonstrat eficiența acestei tehnici, încercând ciclic pereți de zidărie, la tăiere și încovoiere. Au dezvoltat un model analitic pentru descrierea comportării pereților consolidați cu compozite din fibră de carbon.

2.2. Cercetări efectuate de Ghanem, Zied și Salama (1994) [32]

Obiectivul cercetărilor a fost investigarea efectului utilizării armăturii exterioare din fibră de sticlă pentru mărirea rezistenței la tăiere a pereților din zidărie din blocuri de beton.

Procedura de reabilitare a constat din aplicarea unui strat de rășină pe suprafața pereților, apoi așezarea țesăturii, urmată de al doilea strat de rășină.

Au fost încercate 24 de specimene, la scara $1/3$, pentru investigarea rezistenței la eforturi principale de întindere. Au fost consolidate 15 specimene cu compozite cu fibră de sticlă, în diferite aranjamente. Toate elementele au fost încărcate până la rupere. Au fost încercați 9 pereți simpli, apoi consolidați și retestați.

Concluzia finală a fost, că utilizând consolidările cu fibre de sticlă se pot mări semnificativ rezistențele la eforturi principale de întindere a pereților. Elementele consolidate au avut o creștere de rezistență de până la 600% în comparație cu pereții neconsolidați.

Dezlipirea de-a lungul rostului de mortar la apariția primei fisuri a limitat rezistența peretelui, aceasta variind în funcție de unghiul dintre forță și rostul de mortar.

2.3. Cercetări efectuate de Reinhorn și Madan (1995) [81]

Obiectivul cercetării au fost evaluarea eficienței unui sistem compozit utilizat pentru mărirea rezistenței la tăiere și a capacității de deformare a unor pereți din zidărie de cărămidă.

Au fost încercați la forță tăietoare doi pereți. Primul perete a fost neconsolidat, iar pe celălalt a fost aplicat două straturi de compozit cu rășină epoxidică. Materialul utilizat pe o față a fost o țesătură din fibră de sticlă unidirecțională, cu fibre transversale tip Kevlar, iar pe cealaltă o țesătură bidirecțională.

Pereții testați au avut dimensiunea de $182 \times 178 \text{ cm}$ și au fost supuși la o forță verticală constantă de compresiune, iar forța orizontală a fost aplicată ciclic.

Peretele neconsolidat a cedat printr-o fisură diagonală, iar cel consolidat prin dezlipirea compozitului de-a lungul diagonalei, unde eforturile de întindere erau maxime, cedarea producându-se la apariția fisurii diagonale.

Procedura de consolidare a mărit atât rezistența la tăiere, cât și capacitatea de deformare. Rezistența peretelui consolidat a fost cu 120% mai mare decât cel neconsolidat, iar deplasarea a fost cu 150% mai mare la zidul consolidat față de peretele martor. Disiparea energiei de asemenea a fost mai mare la zidul consolidat.

2.4. Cercetări efectuate de Priestley și Seible (1995) [79]

Scopul studiilor asupra pereților din zidărie de cărămidă solicitați la tăiere a fost obținerea unor date referitoare la:

- reducerea deformațiilor din forță tăietoare la pereții structurali avariați de seism
- repararea sau consolidarea pereților la forța tăietoare pentru a obține o comportare ductilă la încovoiere
- mărirea ductilității la încovoiere a pereților structurali
- consolidarea la încovoiere a pereților solicitați în afara planului lor

Toate testele au fost efectuate pe pereți din zidărie din blocuri de beton, la scara naturală. După pregătirea suprafețelor au fost aplicate consolidările cu compozite, din țesături impregnate cu rășină. Acceptând ipoteza, că fisura de tăiere apare la 45° , a rezultat capacitatea la forță tăietoare a consolidării:

$$V_o = f_o \cdot t_i \cdot d \quad (1)$$

unde f_o este nivelul efortului admis, determinat pe baza deformației specifice admise de 0.004 , t_i este grosimea compozitului iar d lungimea efectivă a peretelui.

Ca observații se precizează faptul, că la un raportul tipic înălțime-lățime, când lățimea și înălțimea pereților este aproximativ egală, criteriul de deformare specifică de mai sus permite deformații mari la tăiere, și anume un drift de 0.4% , până când compozitul devine eficient. Pentru a reduce această deformare, autorii propun reducerea nivelului de efort admis f_o . Astfel, la consolidarea pereților trebuie folosite criteriile de rigiditate, limitând deformațiile din tăiere la nivele de deformații care pot apărea în pereții din beton cu armături orizontale convenționale A_{sh}^{req} , determinate

conform cerințelor de dimensionare a betonului convențional, calculând cantitatea țesăturii orizontale necesare A_{sh} din necesarul de armătură orizontală cu formula:

$$A_{sh} = A_{sh}^{conv} \frac{E_c}{E_s} \quad (2)$$

Deoarece legătura dintre compozit și suportul de beton este cel puțin atât de bună cât e capacitatea legăturii dintre barele individuale și un beton simplu, se definește limita inferioară a valorii aportului consolidării la tăiere, conform ACI-318, astfel:

$$\max V_o = 0.66 \sqrt{f_c} b_w d \quad (3)$$

unde f_c este rezistența nominală a betonului, b_w este grosimea peretelui și d lungimea efectivă a peretelui.

În recomandările de calcul pentru consolidarea pereților la forță tăietoare prezentate mai sus, compozitul a fost considerat unidirecțional, așezat orizontal, pentru a limita deschidere fisurilor diagonale, ceea ce permite dezvoltarea fisurilor orizontale și de încovoiere, mărind astfel ductilitatea și rezistența seismică.

Pentru demonstrarea eficienței aplicării acestor compozite a fost încercată o clădire cu structură din zidărie de cărămidă de 5 niveluri, la scară reală, sub acțiunea seismică până la rupere. Rezultatele au indicat dublarea capacității deformației inelastice, deformațiile din tăiere măsurate pe pereții consolidați reducându-se la jumătate față de structura neconsolidată.

2.5. Cercetări efectuate de Laursen, Seible, Hegemier, Innamorato (1995) [62]

Obiectivele cercetării au fost demonstrarea oportunității utilizării compozitelor pentru îmbunătățirea comportării pereților din zidărie de cărămidă, consolidați cu compozite. Pentru aceasta s-au construit doi pereți cu lățimea de 183 cm și înălțimea de 183 cm, folosind blocuri din beton cu grosimea de 152 mm. Pereții au fost încercați ciclic alternant. Primul perete s-a încercat până la rupere, apoi s-a consolidat cu două straturi de compozite cu fibră de carbon unidirecțional, așezat orizontal, și s-a reîncercat. Al doilea perete s-a consolidat cu aceeași arie și tip de țesătură, dar așezată doar pe o față, după care s-a încercat.

Performanțele pereților au fost clar îmbunătățite prin aplicarea consolidării cu compozite, modificând comportarea de la un mod de cedare bruscă și fragilă la un mod cedare ductilă, modificând capacitatea de deformație fără o degradare semnificativă de rezistență. Capacitatea de deformație la cedare a fost aproape dublată, la peretele rupt și apoi consolidat rigiditatea aproape că a fost total refăcută.

2.6. Cercetări efectuate de Ehsani și Saadatmanesh (1995/1996) [18] [19]

Rezultatele cercetărilor au demonstrat, că consolidarea structurilor din zidărie cu compozite este o tehnică foarte eficientă pentru creșterea capacității portante la încovoiere și tăiere, respectiv a ductilității pereților. În mod deosebit, țesăturile compozite îmbunătățesc transferul la tăiere la interfața mortar-cărămidă.

Specimenele încercate la tăiere au rezistat la încărcări mari și au cedat în mod ductil. Modul de cedare a fost controlat de rezistența țesăturii. Țesăturile mai slabe au cedat la întindere, iar țesăturile mai tari au menținut integritatea elementului până când cărămizile se sfărâmă (ating capacitatea limită).

2.7. Cercetări efectuate de Schwegler și Kelterborn (1996/1997) [85] [87]

Benzile din polimeri armate cu fibră de carbon sunt mai bune decât benzile din oțel, privind coroziunea, comportarea la oboseală și rezistența. Testele au arătat că benzile pot fi aplicate și doar pe o față a peretelui și pot mări semnificativ rezistența și ductilitatea pereților, fără mărirea grosimii.

Una dintre primele aplicații a tehnicii de consolidare cu lamele compozite a fost la Zürich la câțiva pereți de rezistență a unei clădiri rezidențiale de șase etaje.

Concluziile finale au arătat, că aplicarea lamelelor cu fibră de carbon, pe o structură de rezistență din zidărie de cărămidă, mărește semnificativ rezistența la tăiere și ductilitate a acestuia, fiind o metodă foarte eficientă în domeniul consolidărilor seismice, economic și ușor de aplicat. Metodele alternative, ca armarea și torcretarea, respectiv înlocuirea peretelui sunt soluții mult mai scumpe.

2.8. Cercetări efectuate de Ehsani, Saadatmanesh și Al-Saidy (1997) [20]

Au fost încercate 37 de elemente experimentale consolidate cu compozite. S-au studiat 3 tipuri de densități de fibre, variind și lungimea fibrelor, pentru determinarea lungimii de ancoraj. Au fost observate două moduri de cedare, și anume cedare la tăiere de-a lungul rostului de mortar, respectiv prin dezlipirea țesăturii de pe cărămidă. Modul de cedare au fost influențat de rezistența țesăturii. Rezistența și rigiditatea specimenelor au fost puternic influențată de orientarea fibrelor. Modificând orientarea fibrelor de la 90° la 45° s-a obținut mărirea ușoară a încărcării ultime. Pentru a utiliza capacitatea totală a materialului este necesară asigurarea lungimii de ancoraj a fibrelor.

Rezultatele testelor arată incontestabil, că compozitele pot fi foarte eficiente la consolidarea rosturilor de mortar a pereților din zidărie de cărămidă. Ușurința de aplicare și prețul relativ scăzut face ca această tehnică să fie o alternativă viabilă pentru aplicațiile curente.

2.9. Cercetări efectuate de Triantafillou (1997/1998) [102] [103]

În continuare sunt prezentate rezultatele cercetărilor teoretice, având ca obiectiv evaluarea capacității portante la tăiere a pereților din zidărie de cărămidă consolidați cu compozite.

Considerând cazul unui perete de zidărie cu lungimea l și grosimea t , solicitat la tăiere în planul lui cu V_{Rd} și cu forța axială N_{Rd} (figura 3.1). Peretele este consolidat cu compozite așezate orizontal, lipite cu rășină epoxidică, cu procentul de armare egal cu ρ_h , definit ca aria totală a secțiunii transversale a compozitului așezat orizontal împărțit cu aria peretelui corespunzător. Modulul de elasticitate a compozitului este E_{frp} , deformația specifică ultimă $\varepsilon_{frp,u}$ și coeficientul de siguranță parțială γ_{frp} , respectiv deformația specifică ultimă a zidăriei $\varepsilon_{M,u}$ și rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei f_k .

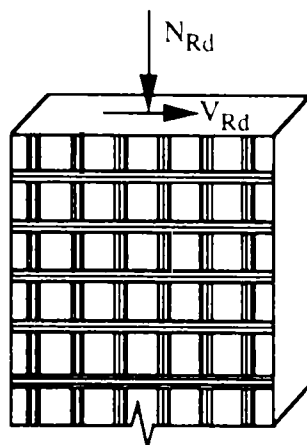


Figura 3.1 – Perete de zidărie consolidată cu compozite solicitată la tăiere în planul lui cu forța axială

Pe baza formatului Eurocode 6, analiza și calculul zidăriei armate la tăiere are la bază presupunerea că contribuția totală la capacitatea la tăiere este dată de suma a două termeni, similar cu betonul armat. Primul termen, V_{Rd1} , ia în considerare în primul rând contribuția peretelui nefisurat, iar termenul al doilea, V_{Rd2} , ia în considerare efectul armăturii de tăiere. Capacitatea totală la tăiere, V_{Rd} , a zidăriei armate este:

$$V_{Rd} = V_{Rd1} + V_{Rd2} \leq \frac{0.3 \cdot f_k \cdot t \cdot d}{\gamma_M} \quad (4)$$

unde

$$V_{Rd1} = \frac{f_{vk} \cdot t \cdot d}{\gamma_M} \quad (5)$$

iar d este înălțimea efectivă.

Pentru pereții de zidărie cu mai multe straturi de armături (compozite), ca în acest caz, d poate fi luat aproximativ egal cu $0.8 \cdot l$, cum este sugerat de Paulay și Priestley [77]. În ecuația (5) f_{vk} este rezistența caracteristică a zidăriei, dată ca :

$$f_{vk} = \min \left[f_{vko} + 0.4 \frac{N_{Rd}}{l \cdot t}, 0.7 f_{vk,lim}, 0.7 \max(0.065 f_b, f_{vko}) \right] \quad (6)$$

unde:

f_{vko} este rezistența caracteristică la tăiere a peretelui sub încărcarea de compresiune egală cu 0, și este între 0.1 și 0.3 MPa (valoarea mai mică aplicându-se în absența datelor experimentale), depinzând de tipul cărămizii din zidărie și de rezistența mortarului;

$f_{vk,lim}$ este valoarea limită a lui f_{vk} , și este de ordinul 1.0 – 1.7 MPa, în funcție de tipul cărămizii din zidărie și de rezistența mortarului;

f_b este rezistența la compresiune normată a cărămizii, egală cu rezistența la compresiune medie a cărămizii înmulțită cu un coeficient (între 0.65–1.55); de regulă în cazul la calculul seismic se utilizează coeficientul de 0.7.

Formula (6) într-o formă mai simplificată se poate scrie ca:

$$f_{vk} = \min\left(f_{vko} + 0.4 \frac{N_{Rd}}{l \cdot t}, f_{vk,max}\right) \quad (7)$$

Trebuie menționat, că dacă consolidarea este aplicată fără repararea totală, în cazul pereților de zidărie avariate, valoarea lui f_{vk} trebuie luată mai mică decât cea rezultată din ecuația (7). O astfel de reducere depinde de gradul de degradare și trebuie estimat de la caz la caz.

Contribuția consolidării cu compozite la preluarea forței tăietoare este foarte greu de cuantificat. *Autorul susține, că contribuția consolidării verticale, care în opinia lui are în principal un efect de dorn, este neglijabil.* Aceasta poate fi justificată de flexibilitatea ridicată a compozitelor în asociere cu dezlipirea lor locală în vecinătatea fisurilor de tăiere. Singurul mecanism de rezistență la tăiere rămas este asociat cu acțiunea compozitului orizontal, care poate fi modelat prin analogia etrierilor, sau a armăturilor compozite de tăiere în grinzile de beton. Adaptând analogia de bare clasică, contribuția la capacitatea de tăiere a compozitului orizontal se poate evalua în felul următor:

$$V_{Rd2} = \rho_h E_{frp} \left(r \frac{\varepsilon_{frp,u}}{\gamma_{frp}} \right) \cdot t \cdot 0.9d \quad (8)$$

unde r este un coeficient de eficiență a consolidării, depinzând de modul de cedare a compozitului (dezlipirea compozitului sau ruperea la întindere). De aceea, ecuația (8) se poate exprima ca:

$$V_{Rd2} = \frac{0.7}{\gamma_{frp}} \rho_h E_{frp} \varepsilon_{frp,e} l t \quad (9)$$

unde $\varepsilon_{frp,e}$ este deformația specifică efectivă a compozitului, singura necunoscută, pentru a determina contribuția compozitului la capacitatea de tăiere. Se presupune că $\varepsilon_{frp,e}$ scade cu creșterea termenului $\rho_h E_{frp}$.

În final, capacitatea la tăiere a zidăriei consolidate cu compozite se poate scrie sub forma:

$$\frac{V_{Rd}}{f_k l t} = \frac{0.8}{\gamma_M} \min\left(\frac{f_{vko}}{f_k} + 0.4 \frac{N_{Rd}}{f_k l t}, \frac{f_{vk,max}}{f_k}\right) + \frac{0.7}{\gamma_{frp}} \omega_h \frac{\varepsilon_{frp,e}}{\varepsilon_{M,u}} \leq \frac{0.25}{\gamma_M} \quad (10)$$

unde

$$\omega_h = \frac{\varepsilon_{M,u} E_{frp}}{f_k} \rho_h \quad (11)$$

$\varepsilon_{frp,e}$ este dată în funcție de $\rho_h E_{frp}$, și anume:

$$0 \leq \rho_{frp} E_{frp} \leq 1 \Rightarrow \varepsilon_{frp} = 0.0119 - 0.0205(\rho_{frp} E_{frp}) + 0.0104(\rho_{frp} E_{frp})^2 \quad (12a)$$

$$\rho_{frp} E_{frp} \geq 1 \Rightarrow \varepsilon_{frp} = -0.00065(\rho_{frp} E_{frp}) + 0.00245 \quad (12b)$$

Pentru o înțelegere mai bună a contribuției compozitului la capacitatea de tăiere a pereților de zidărie, rezultatele date mai sus sunt prezentate în figura 3.2, pentru cazuri concrete de materiale, cum sunt: $\varepsilon_{Mu} = 0.0035$, $\gamma_M = 2.5$, $f_k = 5 \text{ MPa}$, $\gamma_{frp} = 1.15$, $f_{vko} = 0.2 \text{ MPa}$, $f_{vk,max} = 0.5 \text{ MPa}$ pentru figura 3.2a și 1.0 MPa pentru figura 3.2b. S-a demonstrat, că în funcție de nivelul forței axiale, creșterea capacității la tăiere datorită consolidării poate fi considerabilă, ajungând la valoarea limită la mărimi relativ mici a lui ω_h .

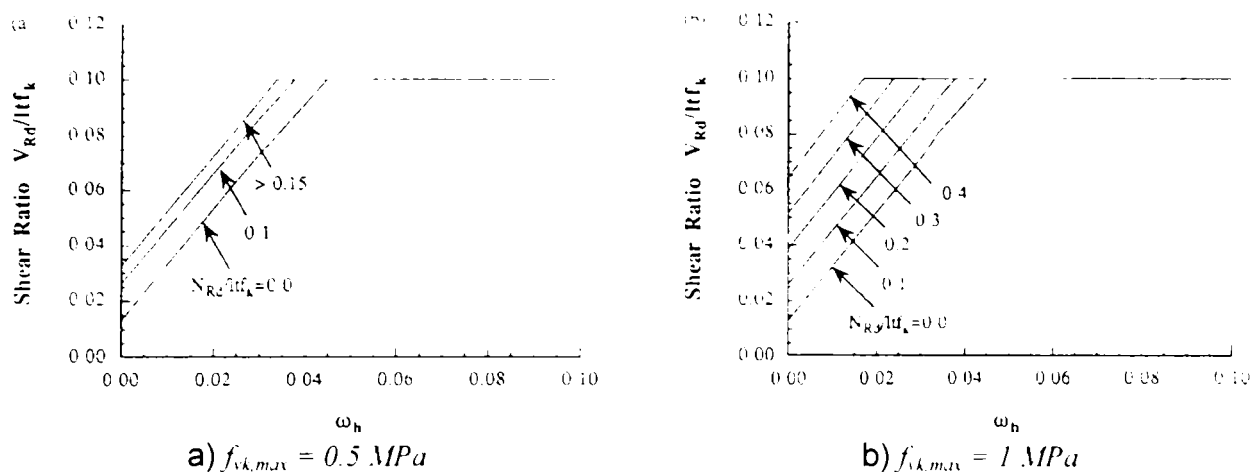


Figura 3.2 - Relația între capacitatea portantă la tăiere și aria compozitului pentru diferite încărcări axiale

2.10. Cercetări efectuate de Al-Chaar și Hasan (1998) [1]

A fost studiată eficiența pereților din zidărie din blocuri de beton consolidați cu țesături din fibră de sticlă unidirecționale, aplicate vertical pe o singură față a elementelor. Pentru a se verifica comportarea acestor elemente, s-a efectuat o analiză seismică și o încercare pe o platformă seismică, comparând performanțelor dinamice a pereților simpli și consolidați.

Testele au arătat că aplicând astfel consolidări pe o față a pereților din zidărie de cărămidă, crește rezistența seismică a acestora, datorită compozitului care împiedică alunecarea în fisură și datorită efectului de boltă (arching action) acolo unde fisurile sunt formate.

Legătura pereților cu fundația și planșeele contribuie legăturile slabe în structura existentă, astfel încât îmbunătățirea performanțelor pereților nu se poate realiza fără aplicarea unor sisteme de ancoraj corespunzătoare.

2.11. Cercetări efectuate de Marshall, Sweeney și Trovillion (1999) [64]

S-au studiat diferite procedee de reabilitare și/sau consolidare a pereților din zidărie de cărămidă, folosind materiale compozite. Pentru aceasta s-au executat panouri de zidărie, s-au consolidat cu compozite pe o singură față și s-au testat. Obiectivele au fost multiple. În primul rând evaluarea capacității sistemelor compozite de a reface pereții degradați. Alt obiectiv a fost evaluarea consolidării și/sau creșterea ductilității întregului sistem la pereții consolidați. În final elaborarea unui ghid de calcul și specificații pentru reabilitarea pereților din zidărie.

S-au construit douăzeci de panouri din zidărie din blocuri de beton de $122 \times 122 \text{ cm}$, și douăzeci din zidărie de cărămidă cu goluri (double-wythe brick wall panel). S-au utilizat patru sisteme de compozite diferite, și anume fibre de sticlă și de carbon

cu rășină epoxidică, fibră de sticlă cu rășină vinilesterică și o plasă (grid) din fibră de sticlă aplicată cu rășină epoxidică. Fiecare sistem a fost aplicat pe o singură față a pereților, orientarea fibrelor fiind de $[0\ 90]$ și $[\pm 45]$, iar pe perete au fost așezate pe toată suprafața, în X sau pe fâșii, în formă "cadru". Primele încercările s-au efectuat prin compresiune diagonală, dar autorii și-au dat seama, că acest tip de încercare nu reflectă corect comportarea pereților la acțiunea seismică. De aceea au trecut la încercarea mai corectă a pereților, utilizând o forță orizontală ciclic alternantă în regim dinamic, sub o forță verticală constantă.

Concluziile au fost, că consolidările cu compozite au un potențial ridicat și se recomandă la utilizarea acestor tipuri de elemente, dar date concrete privind rezultatele încercării nu sunt prezentate.

2.12. Cercetări efectuate de Mullins, Hartley, Engebretson și Sen (2000) [72]

Sunt prezentate rezultatele experimentale pentru evaluarea oportunității utilizării compozitelor polimerice cu fibră de carbon unidirecționale pentru repararea pereților din zidărie din blocuri de beton ușor armate, care s-au fisurat din cauza tasării fundației. În experiment, doi pereți, cu înălțimea de 243 cm și lățimea de 610 cm, au fost avariați la încărcări de tasări simulate, apoi consolidați cu compozite cu fibră de carbon aplicate pe o față, orizontal, și retestați. S-au înregistrat creșteri de peste 50% în capacitate.

2.13. Cercetări efectuate de Gergely și Young (2001) [37]

A fost studiată comportarea pereților din zidărie din blocuri de beton la forță tăietoare. Au fost încercați ciclic trei pereți, apoi consolidați și retestați. Pereții au avut raportul înălțime-lățime egală cu doi. Compozitele utilizate au fost din țesături unidirecționale cu fibră de carbon, așezate în trei modalități, și anume $[\pm 45]$, $[0_2]$ și $[90/0]$, pe ambele fețe ale pereților. Rezistența la tăiere după consolidarea și reîncercarea pereților a crescut cu 1100%, față de elementele neconsolidate. Toți pereții au cedat la baza lor, fără atingerea rezistenței ultime a compozitului. De aceea au fost retestați, încărcarea orizontală aplicându-se astfel încât raportul lățime-înălțime să fie de 0.5. În acest caz forța de rupere a crescut față de elementul inițial cu 3100%.

După încercări au fost efectuate și studii teoretice, în care relațiile date în ACI 440.2R-02 [N1] și ICBO AC125 [N2] au fost modificate și utilizate în forma următoare:

$$V_f = n_f t_f E_f \varepsilon_f \frac{w_f}{s_f} (\sin^2 \alpha) d_f \varphi \quad (13)$$

unde n_f este numărul de straturi orientate cu unghiul α față de axa peretelui, t_f este grosimea stratului de compozit, E_f modulul de elasticitate a compozitului, ε_f fiind nivelul de deformare specifică din compozit măsurat sau presupus, w_f lățimea compozitului, s_f spațiul orizontal dintre compozite, d_f lățimea peretelui (care să nu depășească înălțimea peretelui), iar φ este un factor de reducere care ia în considerare posibilitatea de aplicare a compozitului pe o singură sau pe ambele fețe.

2.14. Cercetări efectuate de Valuzzi, Tinazzi și Modena (2002) [107]

S-a efectuat un studiu experimental pe panouri din zidărie de cărămidă consolidată compozite cu scopul de a determina eficiența acestora de a prelua tăierea. Pentru aceasta au fost testate 9 panouri simple (nearmate) și 24 de panouri consolidate, cu diferite configurații de consolidare, supuse la compresiune pe diagonală.

Din experimente a rezultat că panourile simple au avut cedare fragilă, așa cum era de așteptat, prin despicare de-a lungul diagonalei încărcate. La panourile consolidate doar pe o singură față nu se modifică semnificativ mecanismul de cedare, fiind identic cu cel al pereților simpli, iar uneori forța de rupere fiind chiar mai mică decât cea de referință. Elementele au avut o deformare de încovoieră pe fața neconsolidată pe timpul încercării, degradarea majoră concentrându-se astfel pe fața neconsolidată. În cazul consolidărilor pe ambele fețe modul de cedare s-a produs sau prin dezlipirea (desprinderea) stratului superficial a peretelui, sau prin ruperea compozitului, astfel fiind mai puțin fragilă, având și o creștere de capacitate portantă remarcabilă.

După încercări s-au efectuat și studii privind calculul consolidărilor cu compozite, propunând calibrarea exactă a coeficientului r din formula (8), propusă de Triantafillou.

2.15. Cercetări efectuate de Haroun, Mosallam, Allam (2003) [42]

Sunt prezentate rezultatele unor încercări ciclice efectuate pe pereți supuși la tăiere. Șase pereți, cu dimensiunile de $183 \times 183 \text{ cm}$, au fost alcătuiți din blocuri de beton și armături verticale și consolidați cu compozite. La doi pereți s-au utilizat fibre de carbon pe ambele fețe, la una pe o singură față, respectiv la una țesături din fibră de sticlă pe ambele fețe și la ultima fâșii din fibră de carbon dispuse pe o singură față.

În ciuda cedărilor premature la compresiune de la baza pereților, pereții consolidați cu compozite pe una sau două fețe au avut o creștere semnificativă în rezistență, rigiditate și ductilitate. Adăugând un singur strat de țesătură de carbon pe ambele fețe a peretelui pre-avariat capacitatea a crescut cu 20% față de specimenul martor încercat până la rupere. Pentru peretele consolidat cu un strat de țesătură de carbon pe ambele fețe creșterea de capacitate a fost de 130% din capacitatea ultimă a peretelui martor, iar capacitatea peretelui consolidat pe o singură față a fost cu 115% mai mare. Perete consolidat cu țesătură cu fibră de sticlă pe ambele fețe a avut o creștere de rezistență de 128%, comparabile cu peretele martor, iar peretele consolidat cu fâșii din fibră de carbon, aplicate pe o față, a avut o capacitate cu 118% mai mare.

2.16. Cercetări efectuate de ElGawady, Lestucci și Badoux (2003) [23]

Sunt prezentate cercetările privind consolidarea pereților la tăiere, utilizând diferite tipuri de compozite. Pentru aceasta s-au efectuat încercări dinamice, obiectivele fiind înțelegerea mai bună a comportării acestor pereți și investigarea eficienței materialelor compozite.

Pereții testați au fost de două dimensiuni (cu raportul $H/L=1.4$ și 0.7), alcătuiți din cărămidă din argilă arsă cu goluri și mortare de două tipuri, unul mai slab ($M2.5$) și unul mai tare ($M9$). Au fost utilizate diferite tipuri de materiale compozite, și anume țesături din fibră de aramidă $[90/0]$ și de sticlă $[90/0]$, plase din fibră de sticlă și

lamele din fibră de carbon. Modurile de așezare a compozitelor a fost în X și pe toată suprafața elementului. În total au fost testați 11 elemente.

Rezultatele obținute au arătat o creștere de 1.4 până la 2.9 ori comparabile cu elementele de referință. Consolidarea pe o singură față s-a comportat bine. Nu s-au înregistrat comportări inegale sau în afara planului pereților. Rezistența laterală la prima delaminare depinde puternic de procentul de armare (consolidare) și de raportul înălțime-lățime a pereților, la fel și de caracteristicile fibrei. Țesăturile au împiedicat căderea bucăților de cărămidă în timpul și după rupere. În general, materialele cu suprafață mai mare, cum sunt țesăturile sau plasele, aplicate pe întreaga suprafață a peretelui, ancorate corect, pot ajuta la toate cele trei tipuri clasice de cedare a pereților din zidărie (încovoiere, tăiere, alunecare). Lamelele puse pe diagonală (X sau XX) au avut cel mai mic succes, cedarea în toate cazurile fiind prematură, sau a ancorajului, sau la tăiere-încovoiere.

2.17. Recomandarea privind consolidarea pereților din zidărie cu compozite [N9]

Singura recomandare privind consolidarea pereților din zidărie cu materiale compozite polimerice disponibilă în momentul de față este cea publicată de Consiliul Internațional de Cod, sub denumirea de ICC ES AC125.

Acest document conține niște descrieri minime despre modurile de încercări standardizate, anumite criterii minime care trebuie îndeplinite la încercări, materialul sau de elementul de încercat. Astfel, pentru un perete, cu secțiune dreptunghiulară, având lungimea H , paralelă cu forța tăietoare aplicată, respectiv cu grosimea fibrei de t_f pe ambele fețe a peretelui, înclinată cu unghiul θ față de axa elementului, sporul de rezistență nominal la tăiere este dat de formula:

$$V_s = 2t_f f_j H \sin^2 \theta \quad (14)$$

unde f_j este tensiunea din fibră, determinată cu formula

$$f_j = 0.004E_j \leq 0.75 f_{uj} \quad (15)$$

din care E_j este modulul de elasticitate a materialului compozit, iar f_{uj} este efortul de întindere ultim din compozit.

Dacă peretele este consolidat doar pe o singură față, la un unghi mai mare de 75° față de axa peretelui și prevăzut cu un ancoraj la capătul peretelui, sporul de rezistență nominal la tăiere este:

$$V_s = 0.75t_f f_j H \sin^2 \theta \quad (16)$$

2.18. Obiectivele studiilor efectuate pe pereți din zidărie de cărămidă

Principale obiective ale acestui capitol au fost studiul teoretic și experimental al pereților din zidărie de cărămidă din argilă arsă, solicitați la tăiere și consolidați cu compozite polimerice armate cu fibre.

Pentru realizarea acestor obiective s-au prevăzut următoarele etape:

- studiul teoretic a pereților din zidărie solicitați la eforturile principale de întindere, prin modelarea comportărilor cu programe cu elemente finite

- studiul experimental, cuprinzând încercarea unor pereți la tăiere, apoi consolidarea cu compozite ale acestora și reîncercarea elementelor
- compararea rezultatelor experimentale și concluzii finale.

3. Modelarea pereților din zidărie solicitați la eforturile principale de întindere

3.1. Noțiuni generale legate de zidării [88]

În ansamblul complex al unei construcții, structura de rezistență este acea parte componentă care are rolul de a prelua toate solicitările de proveniență mecanică, conferindu-i astfel stabilitate și siguranță pe întreaga durată de timp a exploatării acesteia.

Structurile din zidărie portantă se înscriu în categoria structurilor cu diafragme, formate dintr-un sistem de elemente verticale dezvoltate pe două direcții, respectiv diafragme, legate între ele prin planșee, astfel încât să formeze un ansamblu spațial. Prin definiție, la aceste tipuri de structuri, pereții exteriori și interiori sunt elemente care transmit terenului, prin intermediul fundațiilor, toate încărcările verticale și orizontale ce acționează asupra clădirii. În afară de rolul de rezistență al pereților portanți, ei au și rolul de a izola încăperile între ele și de exterior [88].

Un factor definitoriu pentru structurile din zidărie portantă îl reprezintă grosimea pereților, ce depinde de valoarea încărcărilor, de numărul de etaje și de exigențele de izolare termică, ajungându-se în multe situații la grosimi mari ale pereților ceea ce constituie evident un dezavantaj.

Cu toate acestea, clădirile cu diafragme din zidărie cu un număr mic și mediu de etaje sunt încă foarte răspândite astăzi, având avantaje de ordin economic. Grosimea zidurilor la aceste structuri este folosită rațional, în sensul în care grosimea pereților rezultată din considerente de rezistență se suprapune peste grosimea necesară pentru izolarea termică a clădirii.

Structurile cu diafragme din zidărie se caracterizează prin materiale de calitate relativ slabă, cu secțiuni transversale mai mari decât construcțiile în cadre și cel mai important, având înălțimi reduse. Aceasta le conferă perioade proprii de vibrație foarte scurte, de până la 0.5 secunde, fiind considerate construcții rigide.

Construcțiile cu structura de rezistență cu o rigiditate ridicată sunt practic indeformabile. Terenul de fundare le susține pe durata mișcării seismice ca pe niște corpuri rigide, mișcările construcțiilor fiind aceleași cu cele ale terenului traversat de undele seismice.

Conform celei de-a doua legi a dinamicii, ca urmare a deplasării rapide a bazei, în blocul rigid se nasc instantaneu forțe și momente de inerție a căror intensitate este proporțională cu produsul dintre masa lor și accelerația mișcării terenului.

Generarea instantanee a acestor forțe și momente încovoietoare în construcție stă la originea declanșării următoarelor fenomene mecanice:

- Tendința de alunecare a construcției pe teren sau la un anumit nivel la care se opune forța de frecare ce apare între construcție și teren sau între părțile componente;
- Tendința de încovoiere cu efect predominant din forță tăietoare și concomitent de întindere a materialului, la care se opun însă forțele interne coezive;
- Tendința de răsturnare a întregii construcții pe teren, la care se opune însă greutatea construcției.

Conform concluziilor de mai sus clădirile din zidărie se vor calcula la acțiunea seismului ca și console verticale încastrate în infrastructură, acționate de forțe orizontale aplicate static, al căror efect se suprapune peste efectul forțelor

gravitaționale. Forțele orizontale vor fi egale și de sens contrar cu forțele inerțiale produse de deplasarea bruscă a bazei de rezemare datorată mișcării seismice. Sigur, acest mod de calcul nu reflectă perfect realitatea dar se apropie de aceasta cu cât clădirea are o rigiditate mai pronunțată.

Sub acțiunea unei încărcări orizontale, aplicate static sau dinamic, un element structural vertical se deformează, iar în volumul său apare o stare de eforturi interioare. Deformațiile cauzate de încărcarea orizontală constau din deplasări liniare față de situația inițială și din rotații ale secțiunilor față de poziția inițială.

Solicitările mecanice dintr-o secțiune oarecare sunt: încărcarea axială (N), forța tăietoare (T) și momentul încovoiator (M), iar eforturile interioare ce se dezvoltă sub acțiunea acestor solicitări pe un element de suprafață din secțiune considerată sunt: eforturi normale (σ) cărora le corespund alungiri sau scurtări (ε) și eforturi tangențiale (τ) ce au drept corespondent alunecări specifice (γ).

Indiferent de mărimea încărcării întotdeauna există o relație de legătură ce caracterizează răspunsul elementului la încărcarea orizontală, între următoarele perechi de parametrii: forță – deplasare ($P - \Delta$), efort normal – alungire ($\sigma - \varepsilon$), moment – rotație ($M - \varphi$) și efort tangențial – alunecare ($\tau - \gamma$).

Elementele structurale verticale au o comportare variată în funcție de o serie de parametrii, cum ar fi: răspunsul liniar elastic, răspunsul elasto-plastic sau răspunsul casant. Pentru construcțiile din zidărie caracterizate printr-o limită elastică foarte redusă, problema se va pune în evitarea ruperii casante și dirijarea mecanismelor de rupere spre un răspuns elasto-plastic producând doar avarieri locale fără cedarea bruscă a structurii.

Deoarece rezistența la tăiere este factorul determinant în calculul structural al unei clădiri din zidărie, s-au efectuat numeroase cercetări pentru determinarea cât mai exactă a acestuia. În general, eforturile de tăiere sunt aplicate, de regulă, împreună cu eforturile normale, modurile de rupere diferă, cum se poate vedea pe figura 3.3.

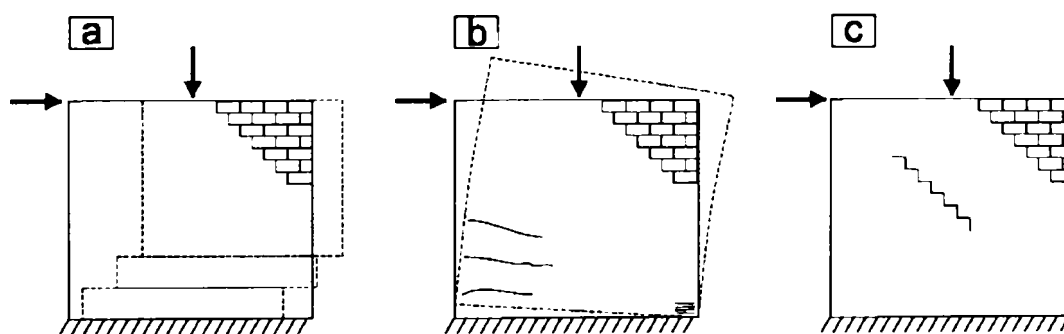


Figura 3.3 – Modurile de cedare a pereților de zidărie
 a) cedare prin forfecare în rostul orizontal
 b) cedare prin încovoiere la compresiune excentrică
 c) cedare la eforturi unitare principale

Pereții din zidărie solicitați în planul lor pot ceda în trei moduri.

- 1) Cedarea prin forfecare în rostul orizontal, este definită ca deplasarea pe orizontală a unei părți întregi a peretelui, în rostul orizontal, barieră de vapori sau pat de mortar.
- 2) Cedarea prin încovoiere la compresiune excentrică, când peretele se comportă ca o consolă verticală sub încărcare laterală, capacitatea portantă fiind limitată fie de fisurarea zidăriei în zona întinsă (deschiderea rosturilor de mortar), fie de zdrobirea zidăriei din zona comprimată.

3) Cedarea la eforturi unitare principale este caracterizată printr-o combinație critică a eforturilor unitare principale de întindere și de compresiune, ca rezultat al aplicării combinate a tăierii și compresiunii, conducând la fisuri diagonale tipice. În practică se pot diferenția două tipuri de fisuri: fisurări în trepte (prin alunecarea locală în rosturile de mortar) și fisurări pe diagonală (când fisura traversează atât prin cărămidă, cât și prin mortar).

Cedarea la eforturi unitare principale apare atunci când raportul înălțime-lățime a peretelui este relativ mic, situație des întâlnită în practică.

3.2. Modelul teoretic

Tipurile de elemente din zidărie studiate s-au ales astfel încât să acopere majoritatea situațiilor ivite în practică, respectiv ca cedarea pereților să fie controlată de eforturile principale de întindere, fără influența semnificativă a momentului încovoietor.

În prima fază s-a stabilit modelul teoretic simplificat al încercărilor cu principiile lui. În acest sistem original încărcările generează un efort de tăiere pură în montanș, fără influența semnificativă a momentului încovoietor, făcând astfel posibilă determinarea reală a eforturilor principale de întindere. Acest sistem este autoechilibrant și fisura (teoretic) trebuie să se formeze în direcție diagonală. Încărcările aplicate elementului sunt o forță verticală constantă (V) și una orizontală (H) monoton crescătoare. Modelul teoretic se poate vedea pe *figura 3.4*.

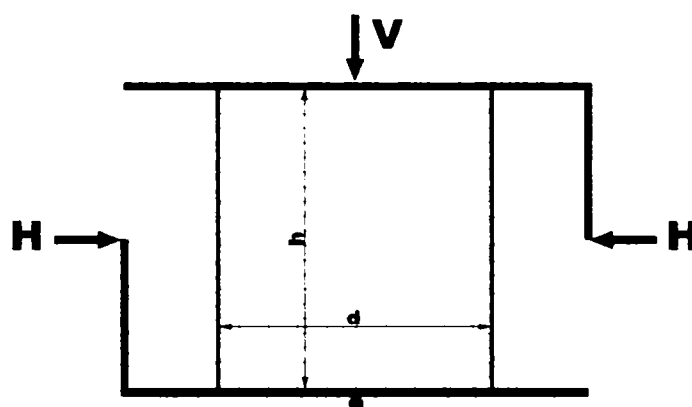


Figura 3.4 – Modelul teoretic

Cu această configurație au fost efectuate analize cu elemente finite, modificând raportul dintre lățime și lungime a elementelor ($d/h = 1$; $d/h = 1.5$ și $d/h = 2$), calitatea cărămidzilor și a mortarului prin rezistența și modulul de elasticitate a elementului, respectiv pașii de încărcare.

3.3. Analiza pereților cu elemente finite

Pentru determinarea comportării pereților, cât mai exactă și mai aproape de realitate, s-au utilizat două programe de analiză numerică.

3.3.1. Analizele efectuate cu programul BIOGRAF

Primele analize numerice au fost efectuate cu programul BIOGRAF, dezvoltat în Departamentul CCIA, care permite introducerea incrementală a încărcărilor aplicate și urmărirea formării fisurilor, unghiurilor și deschiderilor acestora. După

fiecare increment aplicat, programul recalculează rigiditatea și modulul de elasticitate al elementului. În figura 3.5 este prezentat modelul utilizat pentru analiza cu elemente finite. În calculele simplificade au fost alese caracteristicile pereților după cum sunt prezentate în tabelul 3.1. Valorile de calcul sunt extrase din STAS 10109/1-82.

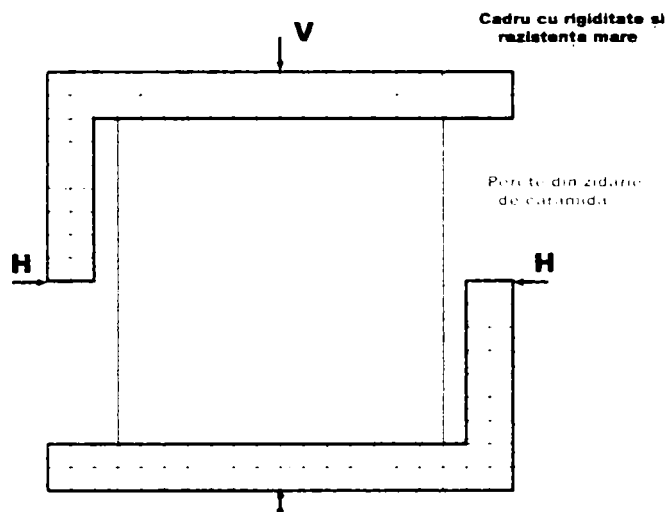


Figura 3.5 – Modelul pentru analiza numerică cu BIOGRAF

Tabelul 3.1 - Caracteristicile pereților pentru analizele numerice

Tipul de mortar și cărămidă aleasă	M50 + C75	M100 + C75	M50 + C100	M100 + C100
Rezistența de calcul la compresiune (R_c) [N/mm ²]	1.25	1.50	1.50	1.75
Rezistența de calcul la eforturi principale (R_p) (în rosturi) [N/mm ²]	0.11	0.11	0.11	0.11
Rezistența de calcul la eforturi principale (R_p) (prin cărămidă) [N/mm ²]	0.20	0.20	0.25	0.25
Modulul de elasticitate (E) [N/mm ²]	1250	1500	1500	1750
Dimensiunea pereților studiați d x h x t [cm]	140 x 140 x 24 // 210 x 140 x 24 // 280 x 140 x 24			
Forța verticală constantă V [kN]	200 // 300			

Unde modulul de elasticitate pentru calculul la starea limită ultimă se determină cu formula:

$$E = 0.5R\alpha k \quad (17)$$

de unde R este rezistența de calcul la compresiune a zidăriei, α 1000 este caracteristica elastică a zidăriei, iar $k-2$ este coeficientul de transformare a rezistenței de calcul.

Teoretic, aplicarea forței verticale nu este necesară în acest sistem de încercare în cazul materialelor omogene, însă pereții sunt alcătuiți din cărămidă și mortar, care au caracteristici și comportare diferită. De aceea, pentru a preveni forfecarea în rosturile orizontale a fost aplicată o forță verticală constantă de 200 kN, respectiv 300 kN.

Principalele rezultate sunt prezentate pe figura 3.6, 3.7 și 3.8, pentru toate cele trei dimensiuni ale pereților.

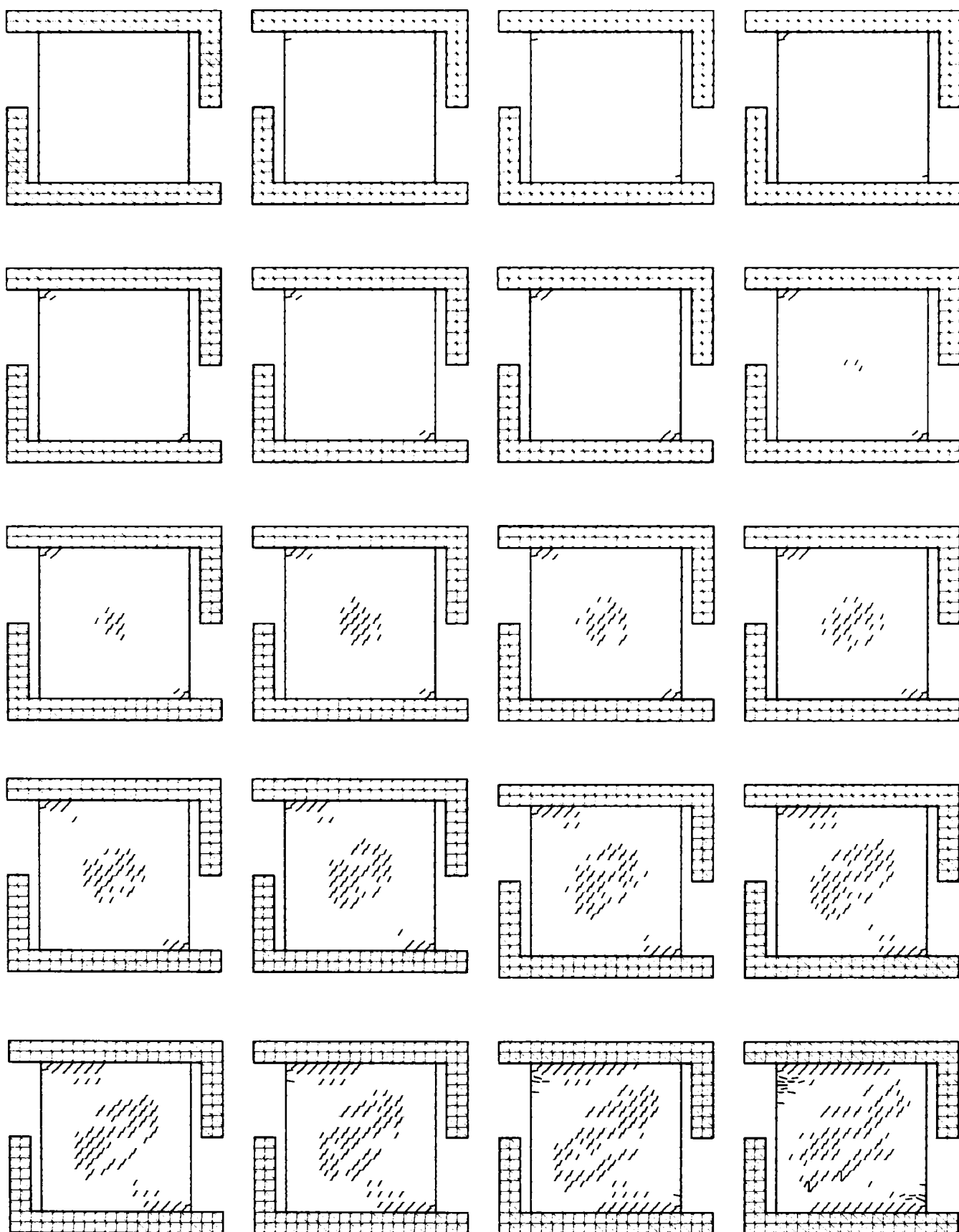


Figura 3.6 - Distribuția fisurilor în peretele de 140x140 cm

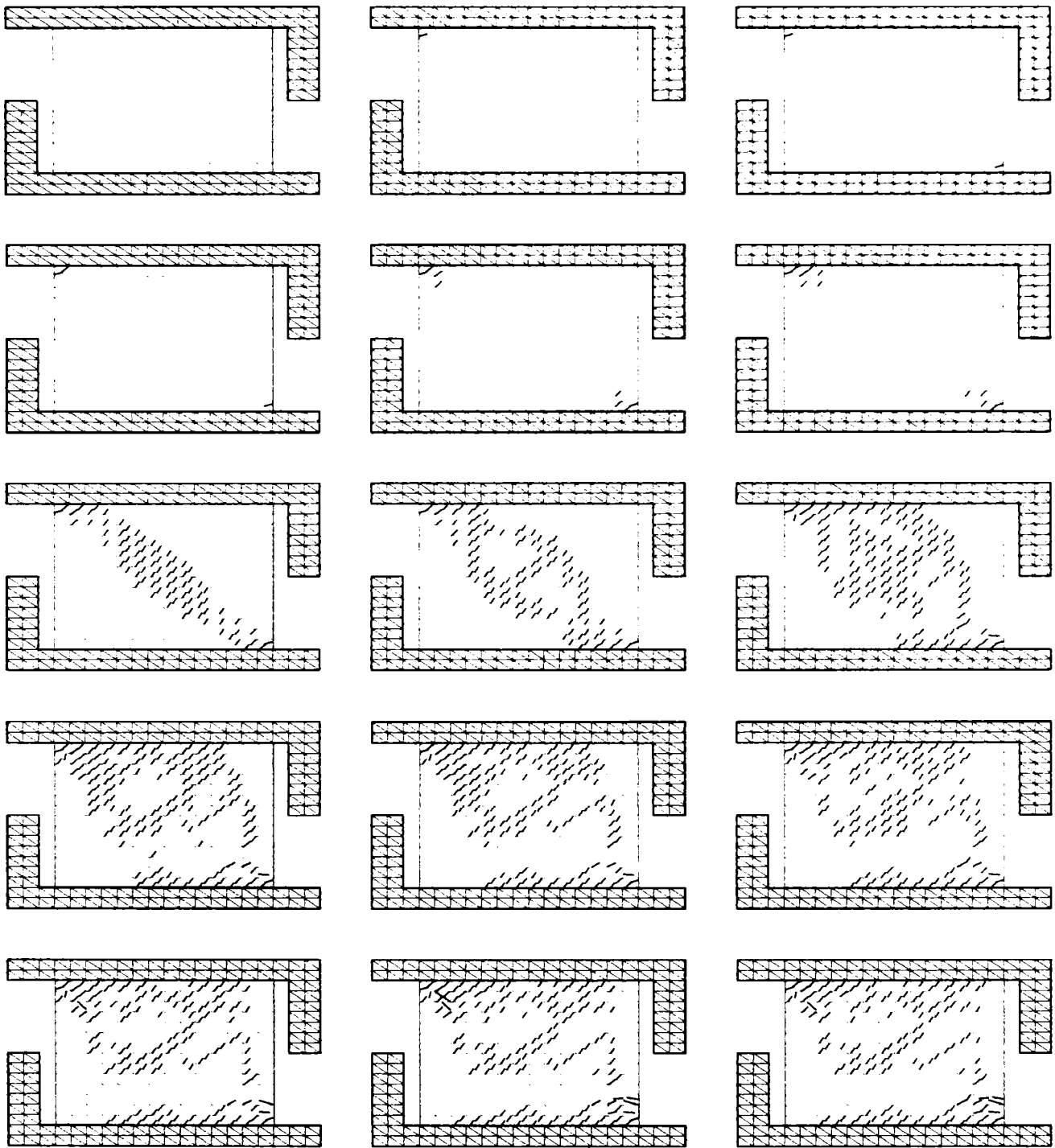


Figura 3.7 - Distribuția fisurilor în peretele de 210x140 cm

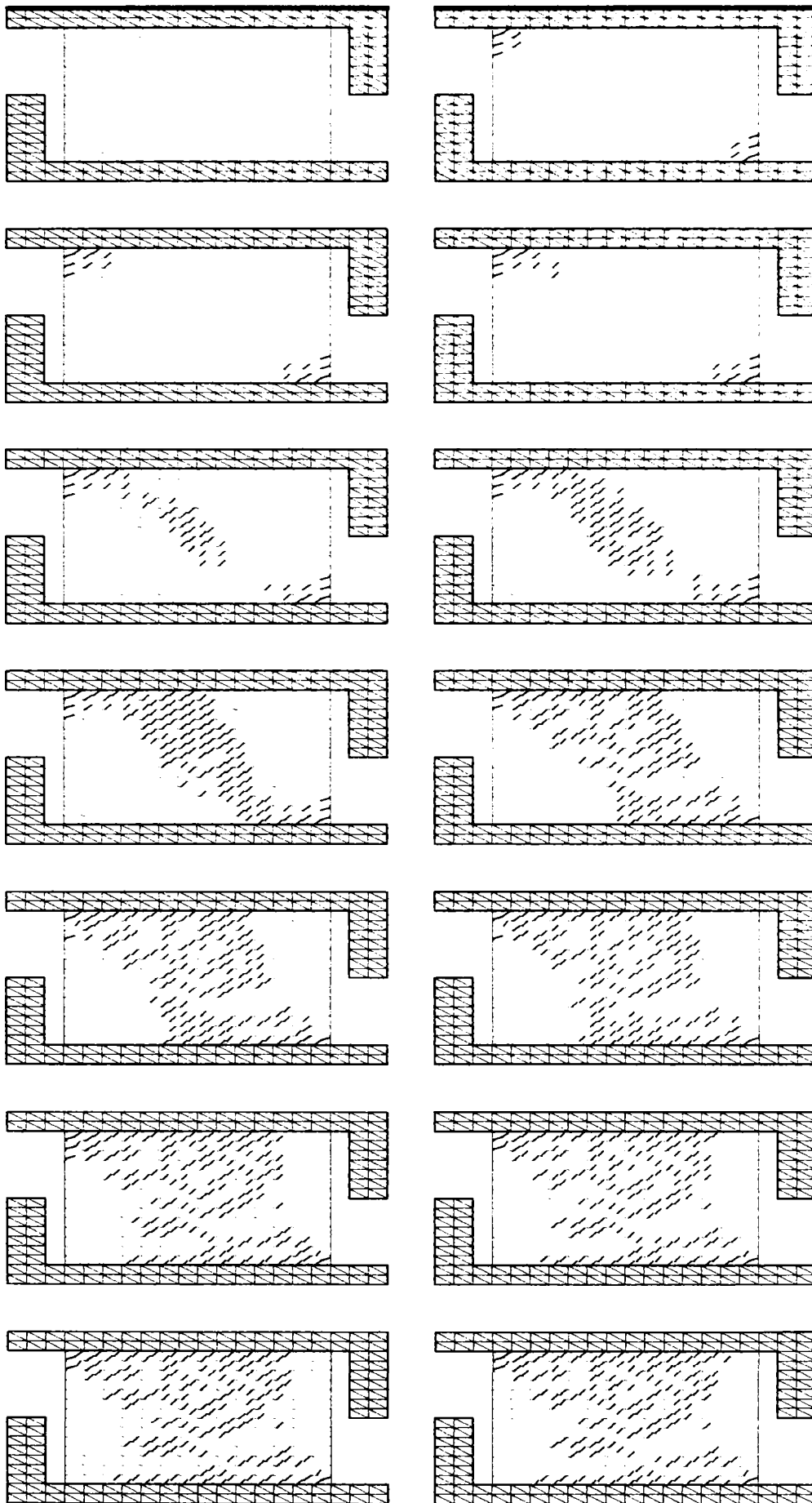


Figura 3.8 - Distribuția fisurilor în peretele de 280x140 cm

3.3.1. Analizele efectuate cu programul Axis VM

După analizele efectuate cu programul BIOGRAF s-a decis alegerea montantului cu raportul lățime-înălțime egal cu 1, deoarece acest raport se întâlnește foarte frecvent în montanții structurilor de zidărie vechi. Din cauza dimensiunilor cărămizii lățimea și lungimea peretelui s-a modificat la 150 cm. Cu aceste dimensiuni au fost efectuate alte analize mai detaliate cu ajutorul programului Axis VM.

În *figura 3.9* este prezentată discretizarea elementului experimental pentru analiza cu elemente finite efectuată cu programul Axis VM. Cu acest model s-au obținut distribuțiile eforturilor principale, dezvoltarea și propagarea fisurilor pe cale grafică, confirmând rezultatele obținute cu BIOGRAF.

Sinteza modelărilor cu Axis VM se poate urmări pe *figura 3.10*, respectiv *3.11*.

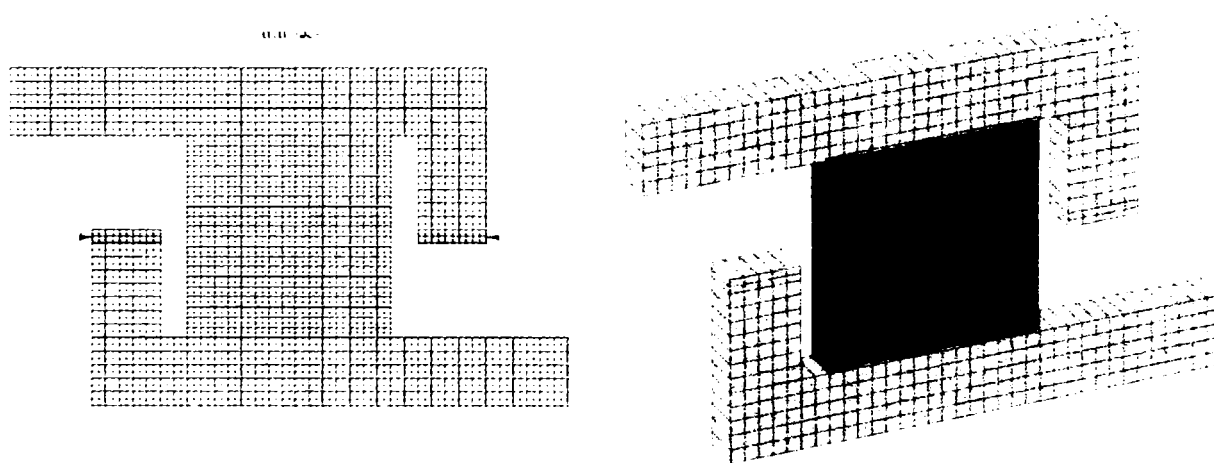


Figura 3.9 - Discretizarea modelului și vederea 3D a elementului

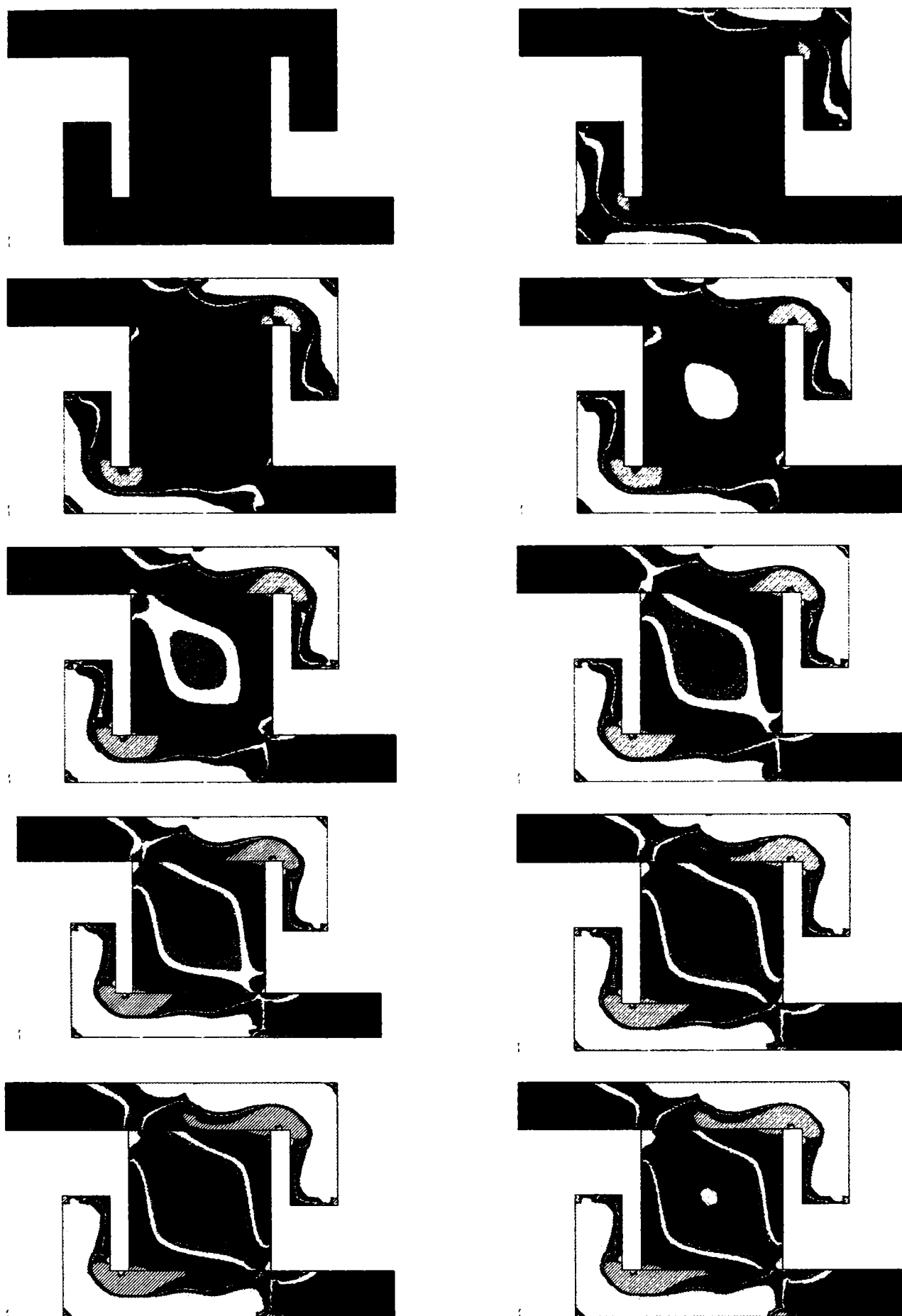


Figura 3.10 - Distribuția eforturilor principale de întindere (σ_1) și de compresiune (σ_2)

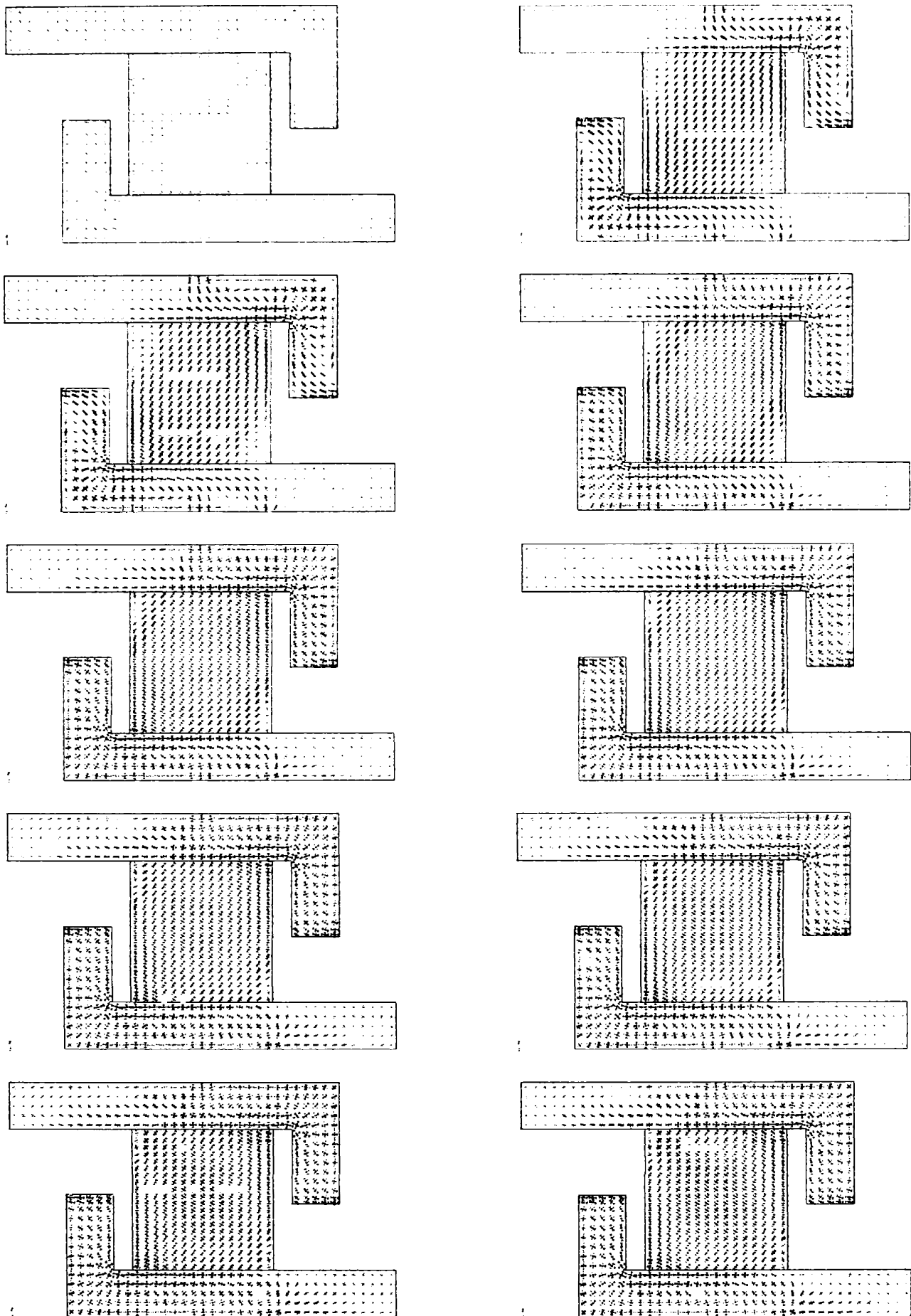


Figura 3.11 - Dezvoltarea și propagarea fisurilor reprezentată prin intermediul eforturilor principale

4. Pregătirea elementului experimental

În prima fază a fost executat și pregătit cadrul special de încercare prin care se pot produce eforturile de compresiune și de tăiere. Sistemul este alcătuit dintr-o pereche de profile metalice solide legate de un masiv de betonul armat, care face parte din element, fiind centura și fundația acestuia. Legătura dintre profilul metalic și elementul din beton se face prin intermediul unor buloane înglobate în beton. Forța este aplicată prin intermediul unor prese hidraulice. Forța verticală se aplică la partea superioară a elementului, acționând prin centura din beton armat. Forța orizontală se aplică prin intermediul a doi tiranți, care leagă cele două perechi de profile. Schema de încărcare al elementului se poate vedea pe figura 3.12.

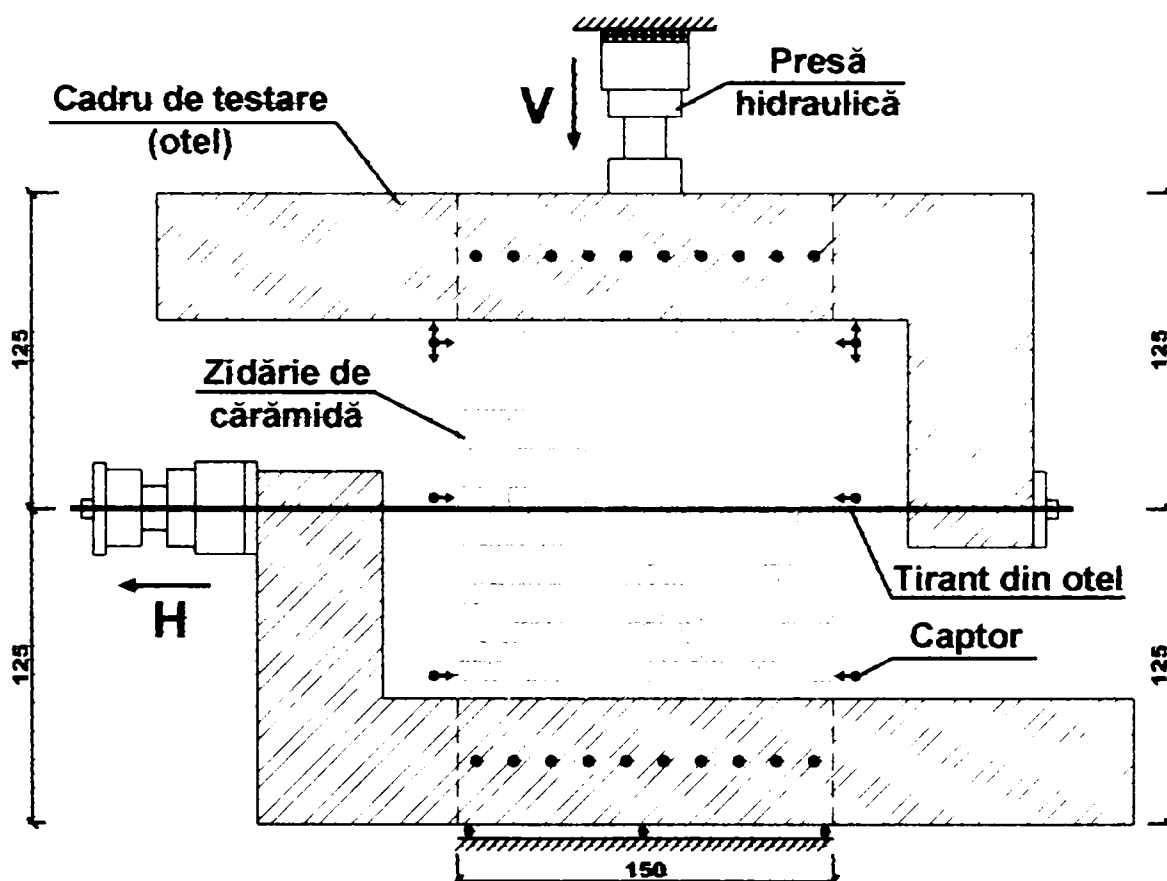


Figura 3.12 - Schema de încercare

Dimensiunea elementului experimental este de 150 cm înălțime și 150 cm lățime, grosimea fiind de 24 cm. Pentru detalii privind armarea fundației și a centurii, respectiv țeserea cărămidilor vezi Anexa 1. Celelalte caracteristici ale peretelui sunt următoarele :

- peretele este alcătuit din cărămizi pline cu dimensiunile $6.3 \times 24 \times 11.5$ cm, având rezistența la compresiune $9.0 - 10.0 \text{ N mm}^2$;
- centură din beton armat de $50 \times 188 \times 25$ cm ;
- fundație din beton armat de $50 \times 188 \times 25$ cm ;
- mortar cu rezistența mai mare de 10 N mm^2 ;

5. Descrierea încercărilor

Obiectivele principale în continuare au fost efectuarea încercărilor experimentale pe pereții de zidărie, solicitați la eforturile principale de întindere consolidăți cu compozite polimerice armate cu fibre, pe o singură față a elementului. Motivația acestei soluții este faptul, că acest sistem va fi aplicat în majoritatea cazurilor la consolidările clădirilor monumentale și istorice cu structură de rezistență din zidărie de cărămidă, la care nu sunt permise intervenții la fațadă, respectiv la acele clădiri care sunt lipite una de cealaltă sau cele fără acces.

Fazele încercărilor au fost:

- executarea pereților de zidărie, cu dimensiunea de $150 \times 150 \text{ cm}$
- încercarea până la cedare a acestora
- pregătirea peretelui pentru consolidare cu compozite (curățire suprafeței de consolidat, injectarea fisurilor)
- consolidarea cu țesături din fibră de carbon, respectiv din sticlă
- reîncercarea până la cedare a acestora
- prelucrarea rezultatelor, comparând rezultatele de la pereții simpli cu cele de la cei consolidați

Datele înregistrate la încercări au fost:

- încărcarea orizontală
- deplasările orizontale
- modul de cedare al elementelor
- deformațiile specifice din compozit

Deoarece un număr mic de încercări experimentale au fost efectuate pe elemente consolidate cu compozite la pereți din zidărie de cărămidă consolidați pe o singură față, rezultatele obținute sunt cu certitudine foarte importante și folositoare. Din teste se pot determina: aportul compozitului la preluarea efortului de tăiere, sistemul de așezare cel mai eficient și necesarul de material, astfel fiind posibilă determinarea costurilor de consolidare pe metru pătrat de zidărie.

5.1. Încercarea elementelor experimentale UM1 și RM1

5.1.1. Încercarea elementului experimental UM1

Peretele UM1 (UM – Unreinforced Masonry) a fost primul element încercat (figura 3.13). Încărcarea verticală constantă a fost $V=200 \text{ kN}$, iar încărcarea orizontală H a fost aplicată monoton crescător cu un increment de 5 kN până la rupere, generând astfel forța tăietoare dorită în elementul experimental. Rezistența mortarului utilizat a fost de 16.9 N/mm^2 .

La încercarea elementului s-au utilizat 10 microcomparatoare. Pentru măsurarea deplasărilor pe orizontală s-au folosit câte 3 microcomparatoare pe ambele laturi, așezate în dreptul primului și a ultimului rând de mortar, respectiv la mijlocul peretelui. Pentru măsurarea deplasării cadrului pe verticală s-a folosit câte un microcomparator pe ambele laturi. Pentru măsurarea deplasărilor pe verticală ale peretelui, s-au mai așezat câte un comparator în primul rând de mortar (de sus), la fel pe ambele laturi. Așezarea aparatelor de măsură este prezentată în figura 3.13.

Prima pocnitură s-a auzit la forța orizontală de 65 kN , apoi la 125 kN , dar fără apariția vreunei fisuri vizibile. Prima fisură a apărut la 140 kN , între rândul 2 și 3 de sus, aproape de mijlocul peretelui, pe direcție verticală, începând să se deschidă, iar la 160 kN între rândurile 3 și 4 pe orizontală. La 190 kN apar mai multe fisuri în colțul

dreapta sus. Cedarea peretelui s-a produs printr-o fisură diagonală în direcția dreapta sus – stânga jos (văzută din față), cum era de așteptat.

Diagramele caracteristice forță-deplasare a peretelui sunt prezentate mai jos. Comportarea peretelui este aproape lineară, tipică pentru un element din zidărie simplă. Forța orizontală (H) de cedare a fost 190 kN , iar deplasarea maximă orizontală a atins 8 mm .

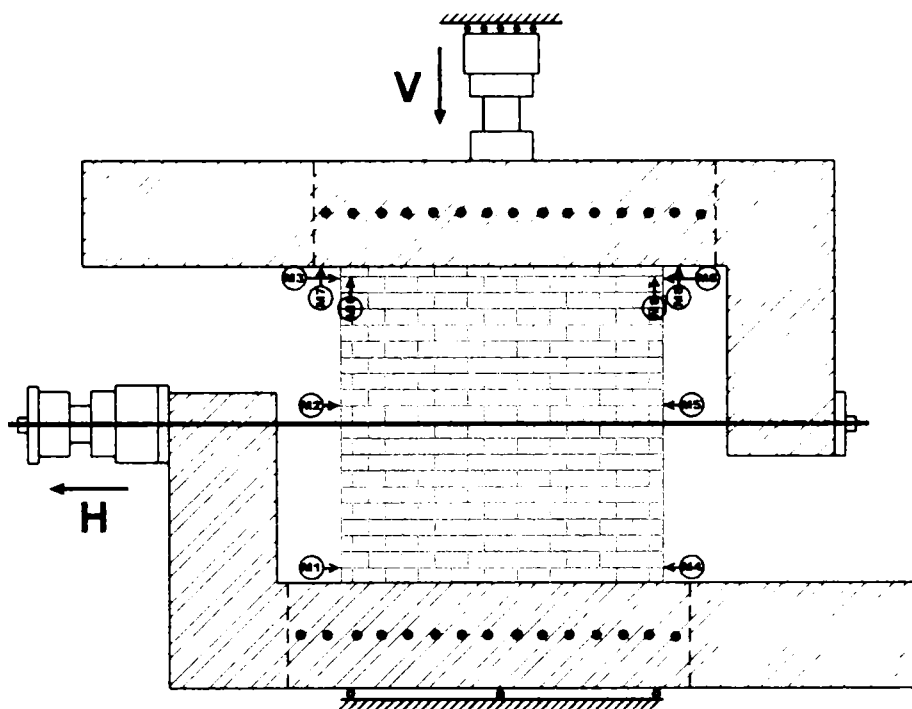
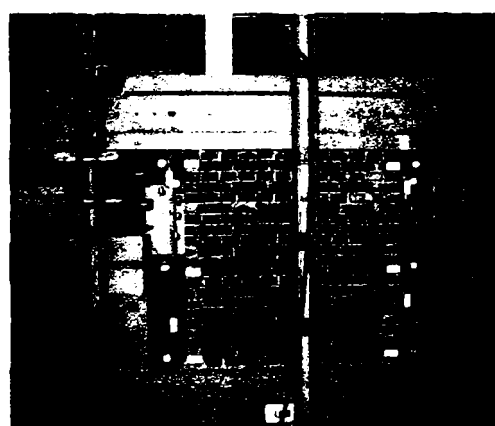


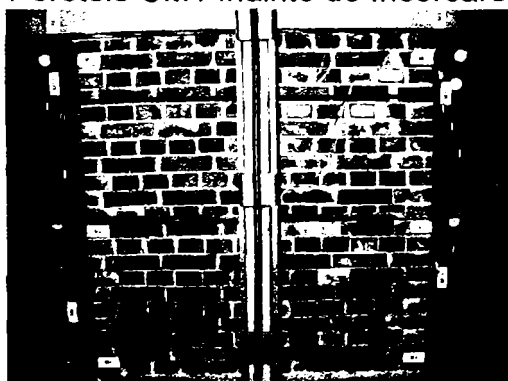
Figura 3.13 – Poziția aparatelor de măsură pe elementul experimental



Peretele UM1 înainte de încercare



Peretele UM1 după încercare



Vederea din față a fisurii



Vederea din spate a fisurii

Figura 3.14 – Încercarea peretelui UM1

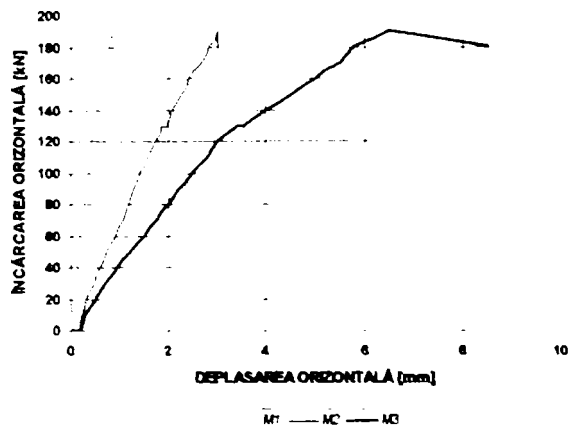


Figura 3.15 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui UM1 (partea stângă)

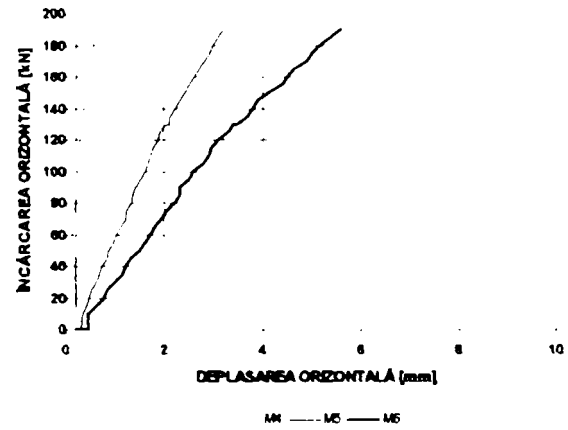


Figura 3.16 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui UM1 (partea dreaptă)

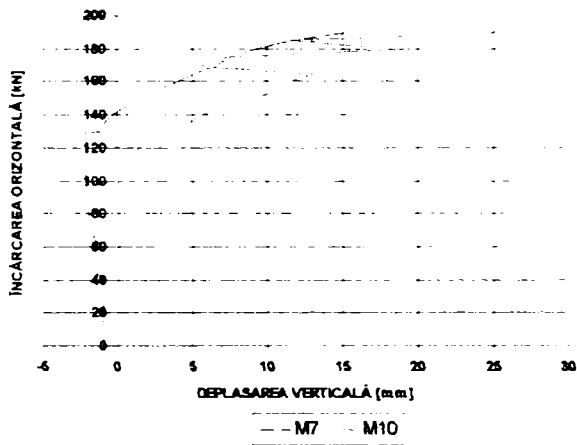


Figura 3.17 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui UM1 (partea stângă)

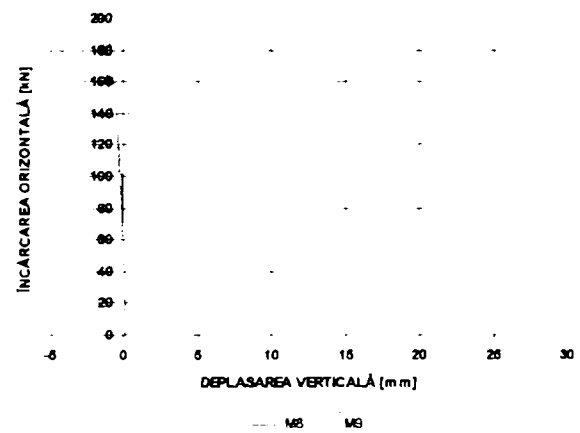


Figura 3.18 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui UM1 (partea dreaptă)

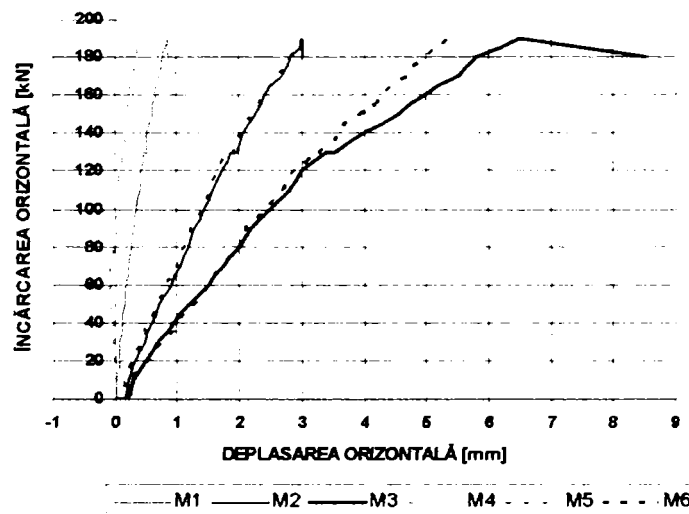


Figura 3.19 – Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui UM1

5.1.2. Consolidarea elementului experimental UM 1

Consolidarea peretelui s-a realizat prin aplicarea a 3 fâșii de câte 30 cm lățime din țesătură de fibră de carbon unidirecțională, așezate pe o singură față a elementului pe direcție verticală, pe toată înălțimea acestuia, așa cum se vede în figura 3.20. Sistemul folosit a fost alcătuit din fibre SikaWrap Hex 230C, rășină de impregnare a țesăturii și de amorsare a suprafeței tip SikaDur 330, și din rășină de corectare a suprafeței de tipul SikaDur 30.

Așezarea țesăturilor pe perete s-a realizat prin aplicare manuală umedă. În prima etapă s-a făcut pregătirea elementului fisurat, care a constat în curățirea suprafeței cu un disc abraziv (flex). Elementul curățat, a fost apoi suflat cu aer comprimat pentru înlăturarea impurităților și a prafului rezultat în urma curățirii. Sistemul compozit aplicat pe perete a fost alcătuit din țesătură din fibră de carbon unidirecțională, impregnată cu rășină epoxidică bicomponent. În etapa a doua s-a aplicat un amorsaj (grund), care a avut rolul de a umple porii cărămizii și ai mortarului, respectiv fisurile existente. Operațiunea a fost urmată de chituiră suprafeței, pentru a asigura o suprafață netedă de lipire pentru compozit. După ce suprafața peretelui a fost pregătită, țesătura din fibră de carbon a fost impregnată cu o rășină epoxidică și apoi aplicată pe suprafața elementului. Consolidarea peretelui a fost astfel încheiată, iar sistemul compozit a fost lăsat să se întărească timp de șapte zile, până la încercare. Fazele executării consolidării sunt prezentate în figura 3.20.

Caracteristicile principale ale componentelor sistemului compozit aplicat sunt prezentate mai jos, în tabelul 3.2. Pentru mai multe detalii legate de sistemul utilizat vezi Anexa 1.

Tabelul 3.2 - Caracteristicile principale ale componentelor sistemului compozit aplicat

Componenta sistemului	Țesătură	Rășină de impregnare & Amorsă	Rășină de corectare
Denumirea produsului	SikaWrap Hex 230C	SikaDur 330	SikaDur 30
Modulul de elasticitate [N/mm ²]	231000	3800	12800
Rezistența la întindere [N/mm ²]	3500	30	24
Rezistența la compresiune [N/mm ²]	-	-	85
Deformația specifică ultimă [%]	1.7	-	-



Figura 3.20 - Fazele consolidării

5.1.3. Încercarea elementului consolidat RM1

Elementul consolidat UM1, după consolidare a primit numele de RM1 (RM – Retrofitted Masonry). Încercarea elementului consolidat s-a efectuat în aceleași condiții cu cel precedent (UM1). Pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniate pe direcția fibrelor (figura 3.21).

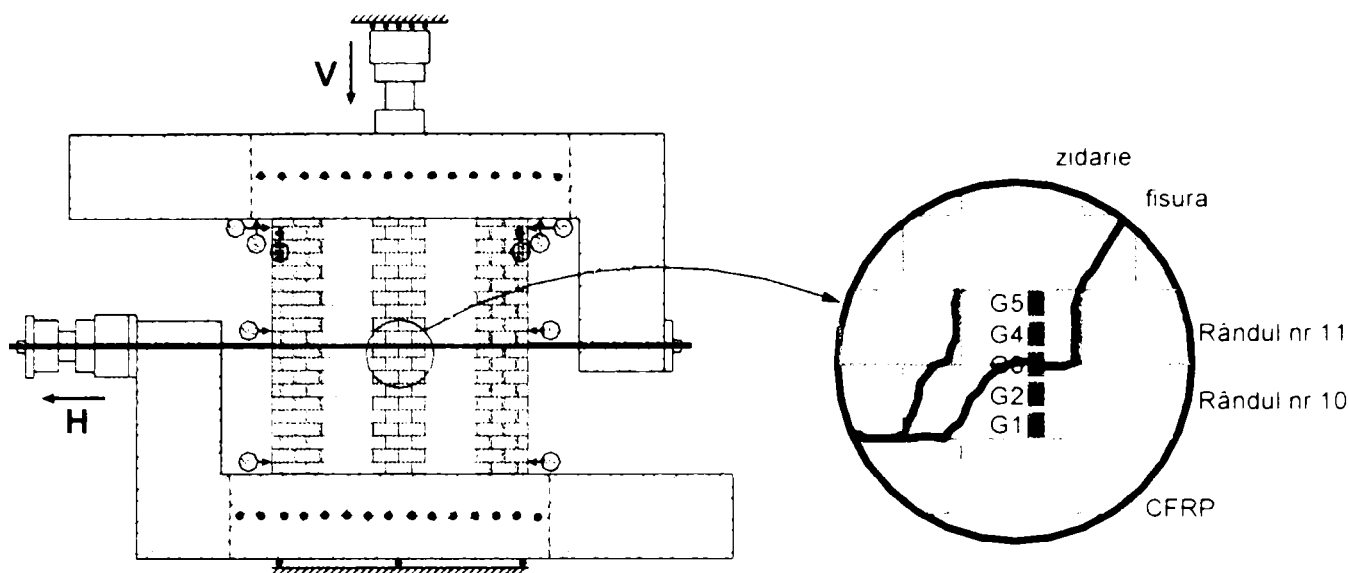


Figura 3.21 - Așezarea aparatelor de măsurare și a timbrilor tensometrici pe elementul RM1

Încercarea a decurs fără nici un incident până la forța orizontală de 115 kN , când s-au auzit primele pocnituri. Fisura existentă a început să se deschidă foarte ușor, iar compozitul să se dezlipească pe ambele părți ale fisurii, dar pe o lățime foarte mică (figura 3.29). La 120 kN s-au auzit pocnituri, când compozitul a început să se desprindă mai accentuat, pe suprafețe din ce în ce mai mari, în jurul fisurii (figura 3.31). Începând cu încărcarea de 125 kN fisura se deschide în continuare, compozitul desprinzându-se mai departe.

Cedarea elementului s-a produs la încărcarea orizontală de 145 kN , prin deschiderea pronunțată a fisurii inițiale concomitent cu desprinderea și dezlipirea compozitului în zona acestuia. La încărcarea maximă peretele a avut o deplasare orizontală de 19 mm . Efortul unitar de întindere maxim din compozit a atins aproximativ 29% din valoarea ultimă, corespunzând deformației specifice ultime de $0,50\%$. Aceasta demonstrează că sistemul de consolidare conlucrează foarte bine cu zidăria de cărămidă.

Diagramele forță-deplasare caracteristice, înregistrările deformațiilor specifice din compozit, respectiv detalii de rupere sunt prezentate în continuare.



Peretele RM1 înainte de încercare



Peretele RM1 după încercare

Figura 3.22 – Încercarea peretelui RM1

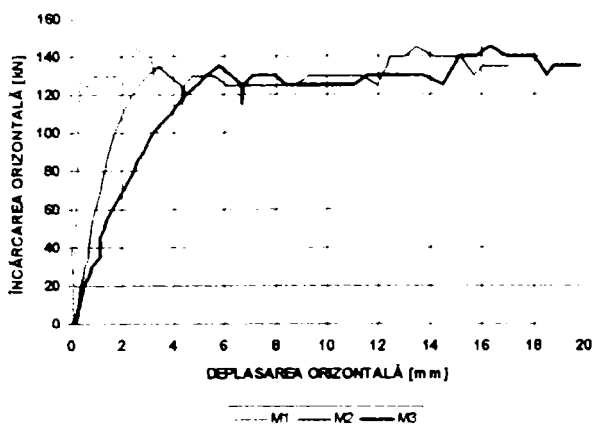


Figura 3.23 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM1 (partea stângă)

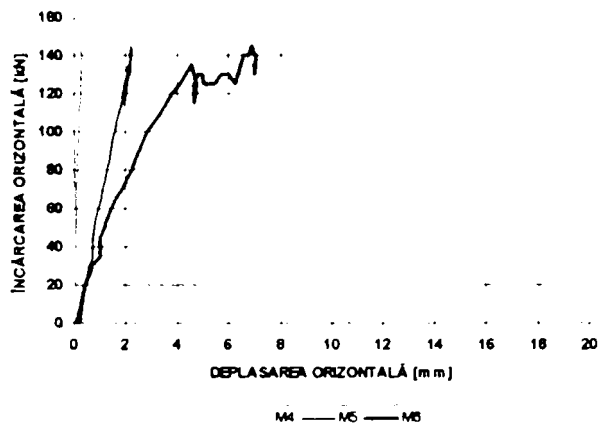


Figura 3.24 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM1 (partea dreaptă)

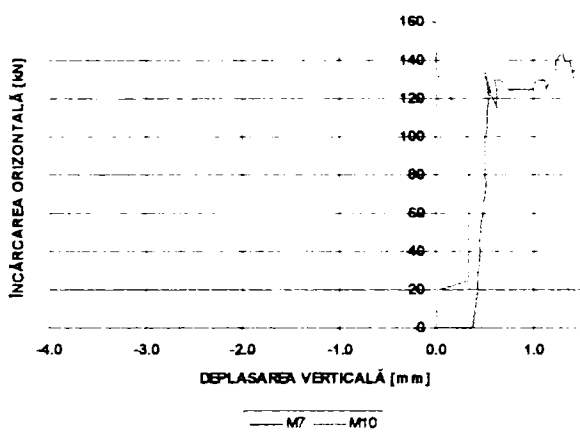


Figura 3.25 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM1 (partea stângă)

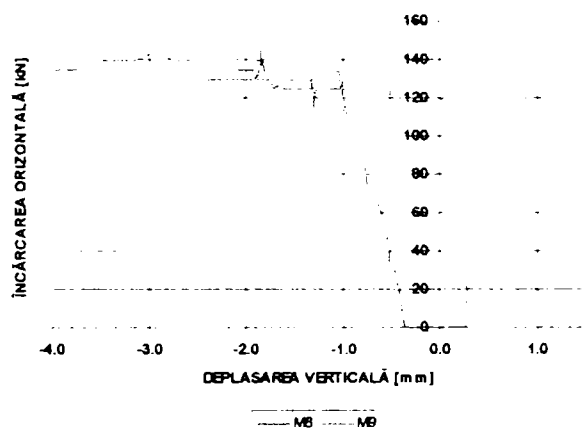


Figura 3.26 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM1 (partea dreaptă)

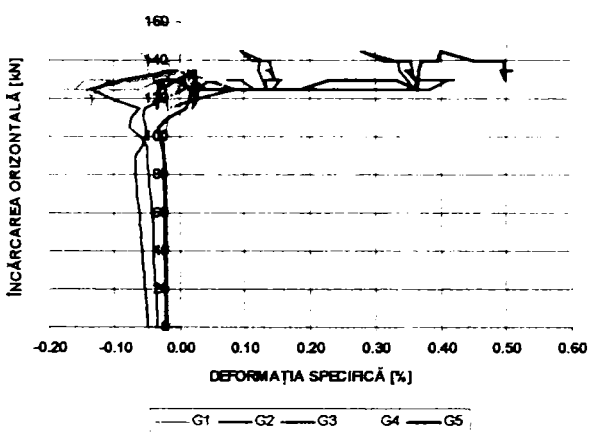


Figura 3.27 - Deformațiile specifice din compozit

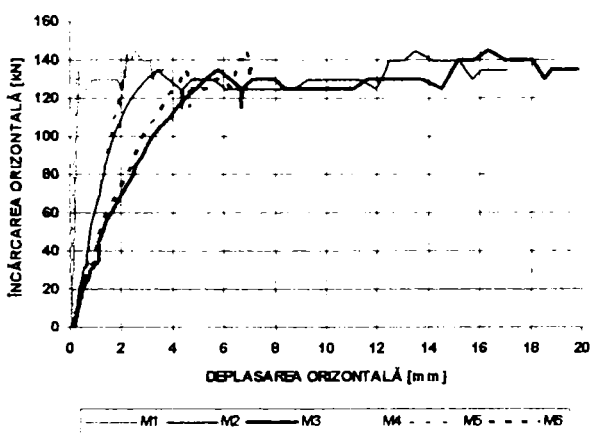
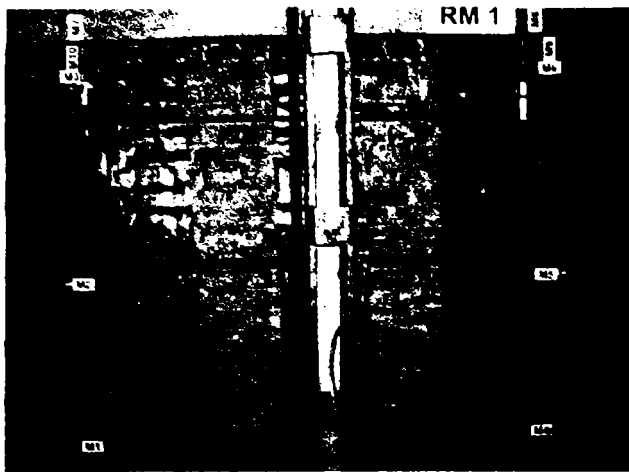
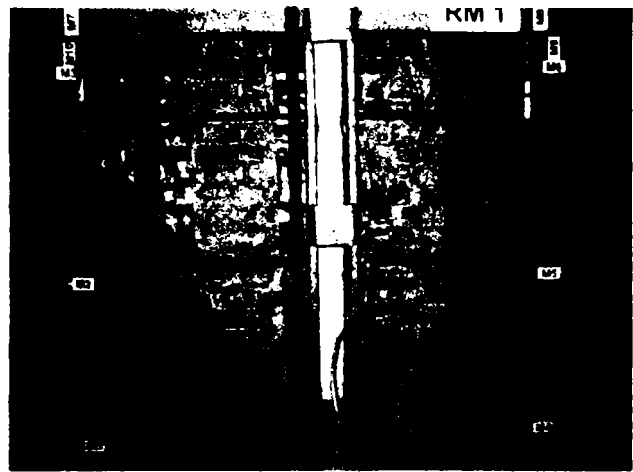


Figura 3.28 - Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui RM1



Începerea încercării



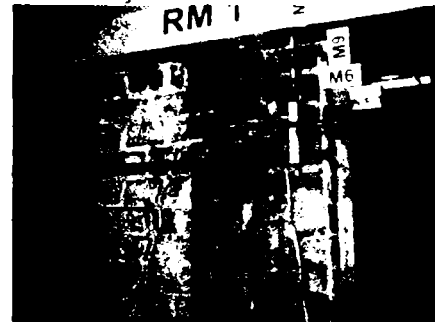
Deschiderea ușoară a fisurii



Dezlipirea ușoară a compozitului (colțul jos)



Dezlipirea ușoară a compozitului (mijloc)

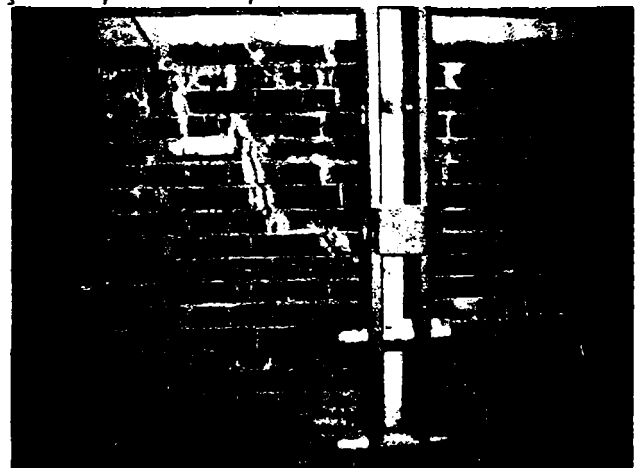


Dezlipirea ușoară a compozitului (colțul sus)

Figura 3.29 - Deschiderea ușoară a fisurii și dezlipirea compozitului în zona fisurii



Deschiderea ușoară a fisurii



Deschiderea fisurii se accentuează

Figura 3.30 – Pașii de deschidere a fisurii (vedere spate)



Fisura se deschide, compozitul se desprinde (colțul jos)



Fisura se deschide, compozitul se desprinde (mijloc)



Fisura se deschide, compozitul se desprinde (colțul sus)

Figura 3.31 - Desprinderea și dezlipirea compozitului în zona fisurii în timpul deschiderii accentuate a fisurii

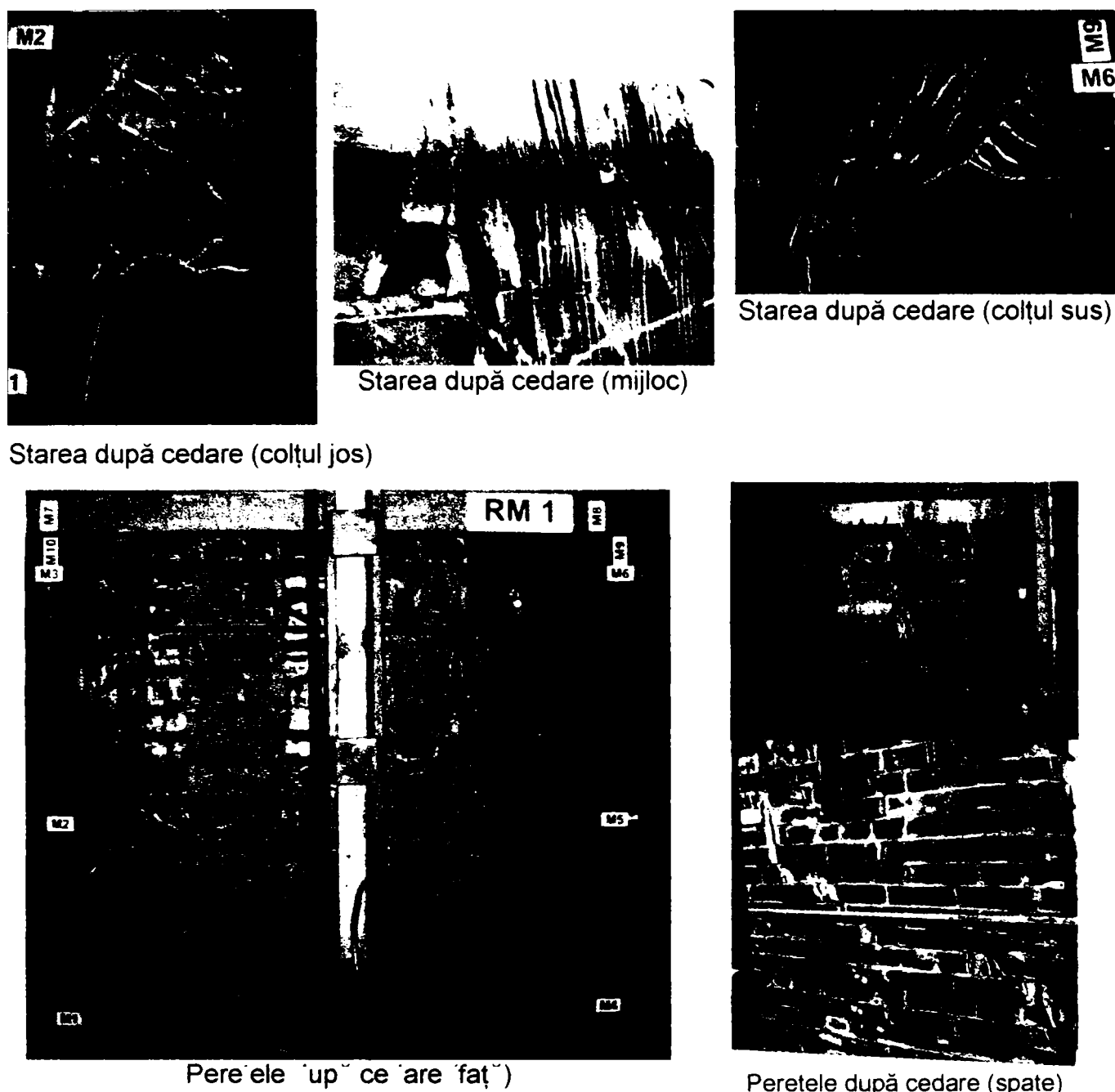


Figura 3.32 – Detalii de rupere

5.1.4. Compararea rezultatelor

În urma rezultatelor obținute din încercarea elementelor UM1 și RM1, se pot trage următoarele concluzii:

- forța de rupere al elementului UM1 a fost de 190 kN , în timp ce a peretelui RM1 a fost de 145 kN , acesta reprezentând 76% din capacitatea inițială a peretelui
- deplasarea pe orizontală a peretelui simplu UM1 a fost de 8.5 mm , iar a peretelui consolidat RM1 a ajuns la valoarea de 19.7 mm , deci creșterea în capacitatea de deformare a fost de 131%
- la cedarea peretelui consolidat, deformația specifică din compozit a atins 0.50%, care corespunde unei valori de 30% din rezistența ultimă a fibrei
- rigiditatea peretelui consolidat nu s-a modificat semnificativ, fiind ușor sub rigiditatea inițială a peretelui simplu.

Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe partea superioară a pereților UM1 și RM1 se pot urmări în figura 3.33.

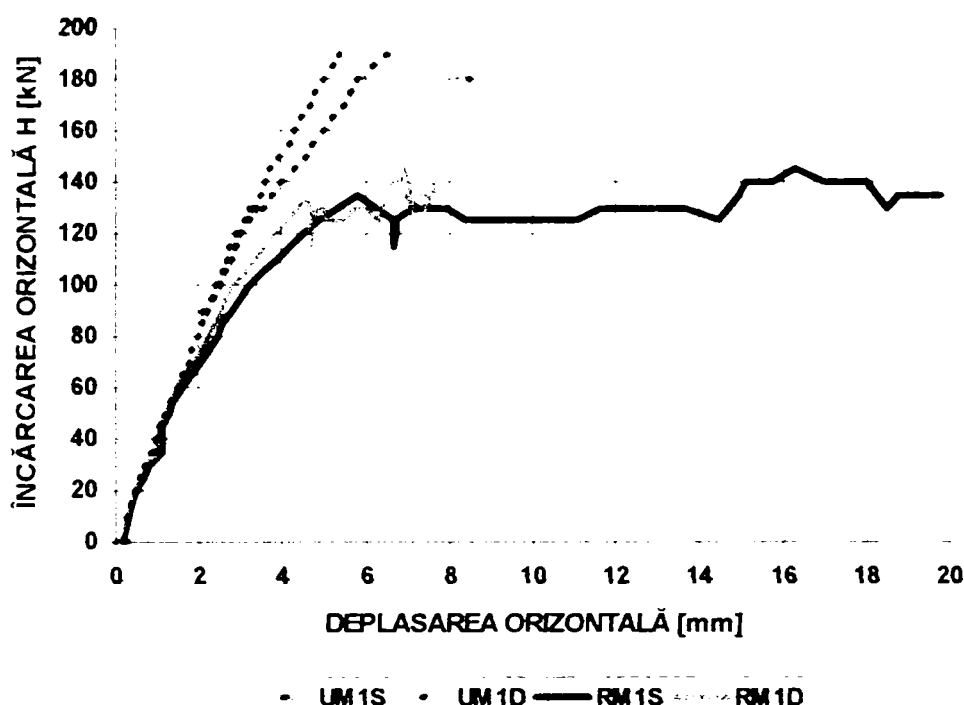


Figura 3.33 - Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe partea superioară a pereților UM1 și RM1
(S – deplasarea pe partea stângă, D – deplasarea pe partea dreaptă)

5.2. Încercarea elementului experimental RM2

Elementul RM2 a fost executat în condiții similare ca peretele UM1. După ce s-a realizat peretele, s-a efectuat consolidarea acestuia cu același tip de material și cu același mod de așezare, așa cum a fost folosit și la RM1.

Ideea a fost de a compara capacitățile portante ale unui perete simplu (neconsolidat – UM1), cu a unui perete avariat și apoi consolidat (RM1), respectiv a unui perete consolidat de la început.

Pentru a realiza aceste obiective era necesară realizarea unui mortar identic cu cel folosit la primul perete (UM1). Cărămida utilizată era aceeași, mortarul însă după încercare a avut rezistența la compresiune de 13.1 N mm^2 , cu 22.5% mai mică decât la primul element.

Încercarea elementului consolidat RM2 s-a efectuat în aceleași condiții cu cele precedente (UM1 și RM1). Încărcarea verticală constantă a fost $V = 200 \text{ kN}$, iar încărcarea orizontală H a fost aplicată monoton crescător cu un increment de 5 kN până la rupere, generând astfel forța tăietoare dorită în elementul experimental. Pentru înregistrarea deplasărilor s-au folosit 10 captori de deplasare, dispuse și denumite în mod identic cu cei de la pereții anteriori, iar deformațiile specifice din compozit s-au înregistrat cu ajutorul a 7 timbre tensometrice. Dispunerea aparatelor de măsură și a timbrelor tensometrice este prezentată în figura 3.34.

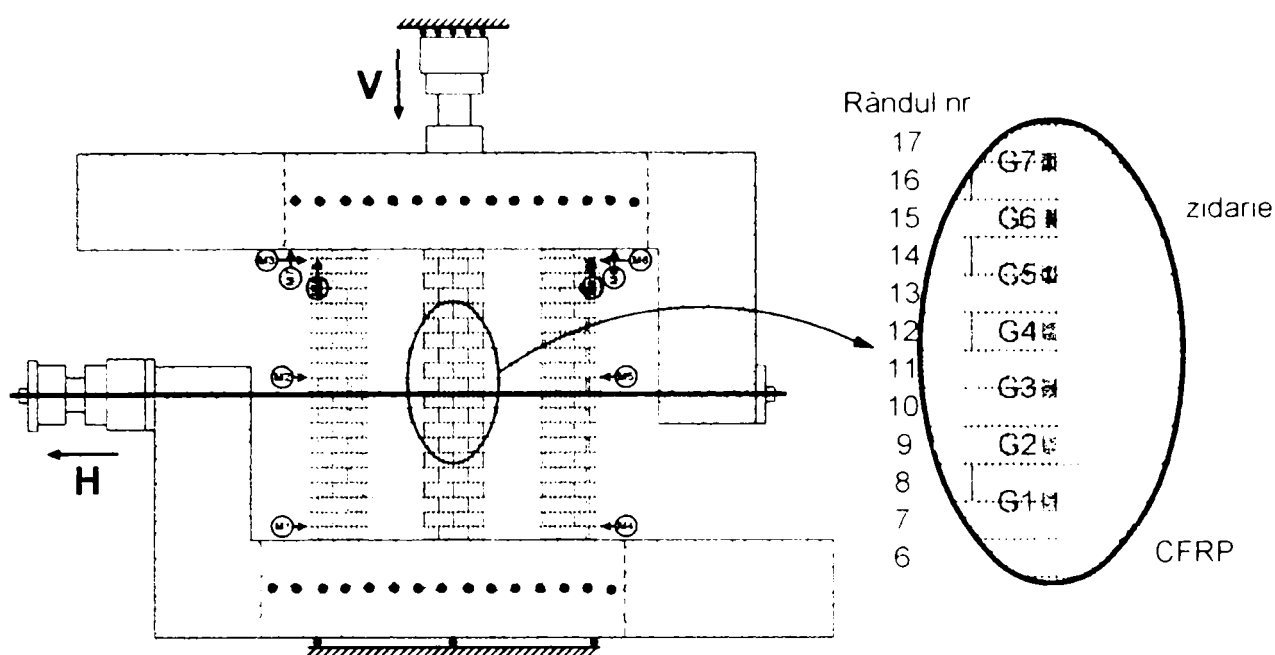


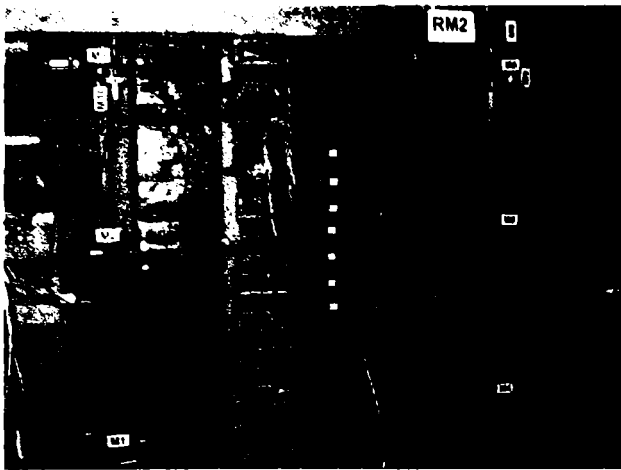
Figura 3.34 - Dispunerea aparatelor de măsură și a timbrilor tensometrice pe elementul RM2

Din nefericire, încărcarea maximă la rupere (H) a peretelui consolidat (RM2) a fost neașteptat de mică. La 130 kN s-au auzit primele pocnituri ale fibrei, aceasta începând să se desprindă de pe zid în apropierea unei fisuri în formare, apărută între fâșii (figura 3.42). La 140 kN apare o fisură orizontală între centură și perete. Tendința de desprindere a fibrei, concomitent cu deschiderea fisurii, a continuat până la 165 kN . Este de remarcat, că fisura a apărut într-un unghi total neconvențional. Pe primele 5 rânduri a avut un unghi de aproximativ 45° , după care s-a dezvoltat pe orizontală, apoi urma o porțiune cu un unghi mai mare de 45° , iar pe ultimele 10 cm fisura s-a format pe direcție verticală, de la mijloc în sus (figura 3.43).

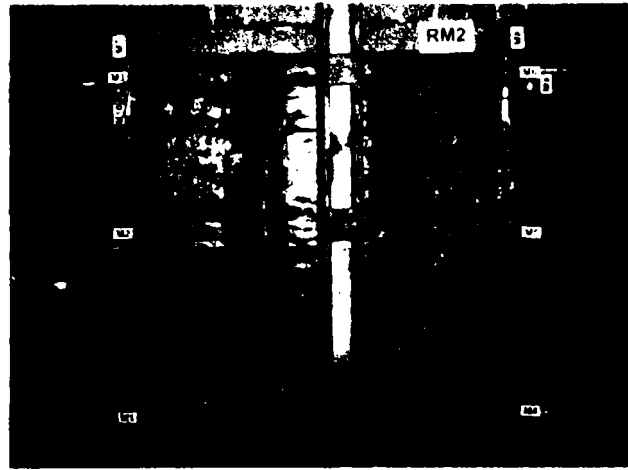
Datorită fisurii, care a apărut prima dată între fâșii și apoi s-a extins doar pe jumătatea inferioară a peretelui, compozitul nu a intrat în lucru în modul dorit. Capacitatea portantă la rupere a atins doar 170 kN , iar deplasarea orizontală de 32.5 mm . Efortul unitar de întindere maxim din fibră măsurat a atins aproximativ 4% din valoarea ultimă, corespunzând deformației specifice ultime de 0.064% . Trebuie menționat însă faptul, că fisura s-a format sub cele 7 timbre, înregistrările nefiind deci maximele din compozit. Modul de cedare al elementului s-a produs prin deschiderea pronunțată a fisurii inițiale, concomitent cu desprinderea compozitului în zona acesteia. Diagramele de comportare, respectiv etapele cedării se pot urmări în figurile următoare.

Foarte probabil, că elementul a avut acest comportament nedorit, datorită faptului, că încercarea s-a efectuat la un timp prea apropiat de execuția acestuia. Mortarul și cărămida investigată după încercare prezenta încă o umiditate destul de ridicată, deci cu mare probabilitate rezistența mortarului din perete la data încercării nu a ajuns la valoarea rezultată din determinările pe prisme.

Pentru prevenirea situațiilor similare s-a decis, ca la următoarele încercări să nu se utilizeze astfel de elemente consolidate de la început.



Peretele RM2 înainte de încercare



Peretele RM2 după încercare

Figura 3.35 – Încercarea peretelui RM2

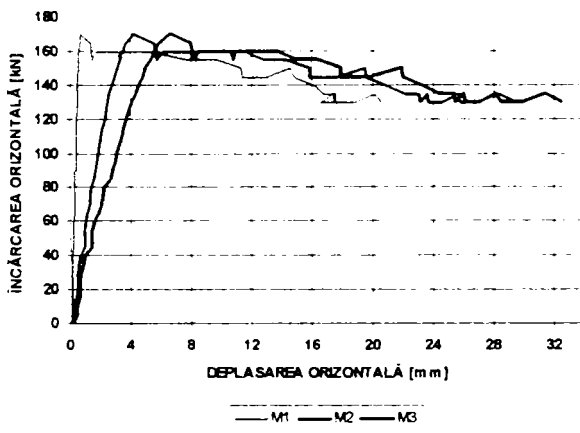


Figura 3.36 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM2 (partea stângă)

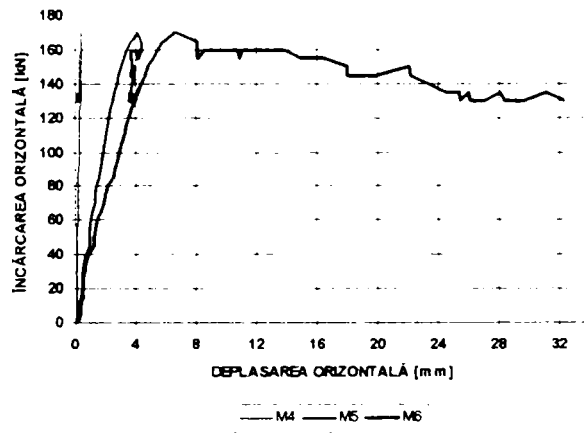


Figura 3.37 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM2 (partea dreaptă)

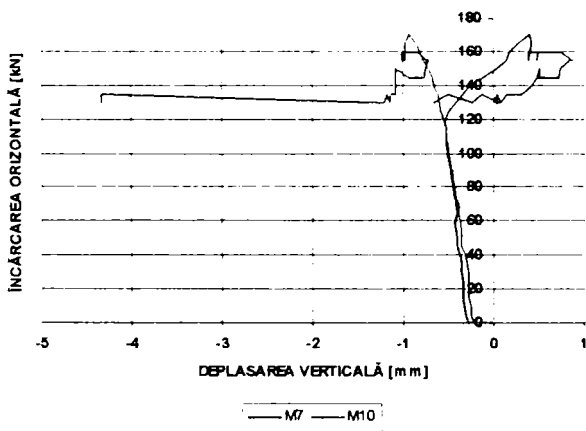


Figura 3.38 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM2 (partea stângă)

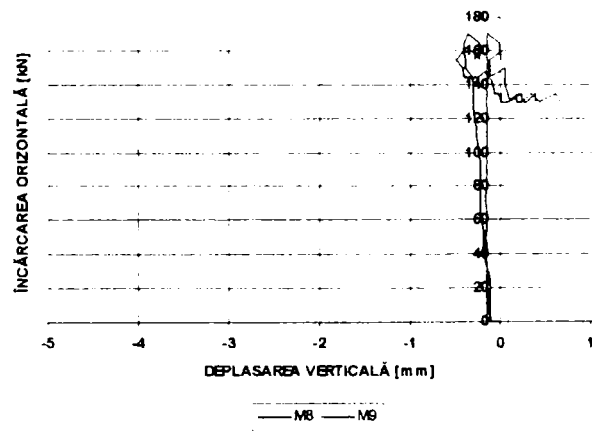


Figura 3.39 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM2 (partea dreaptă)

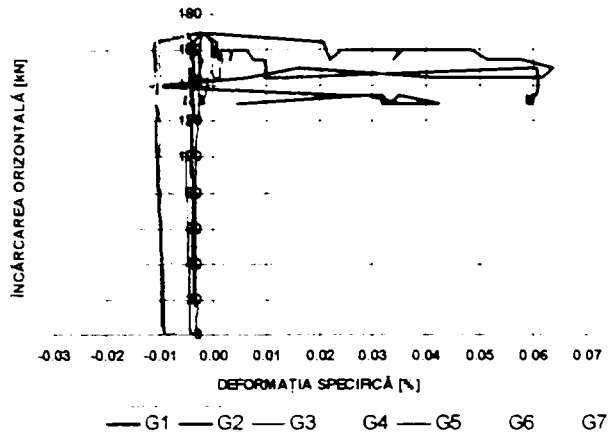


Figura 3.40 – Deformațiile specifice din compozit

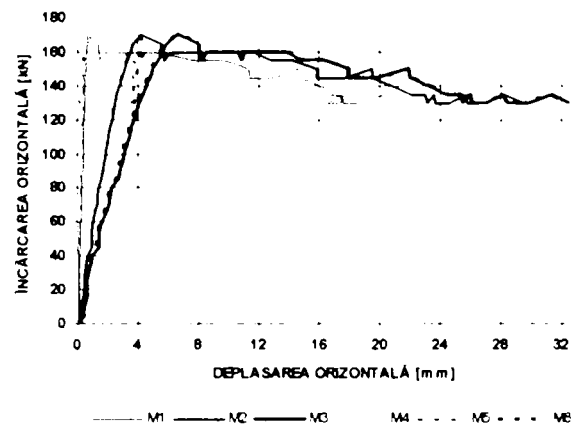


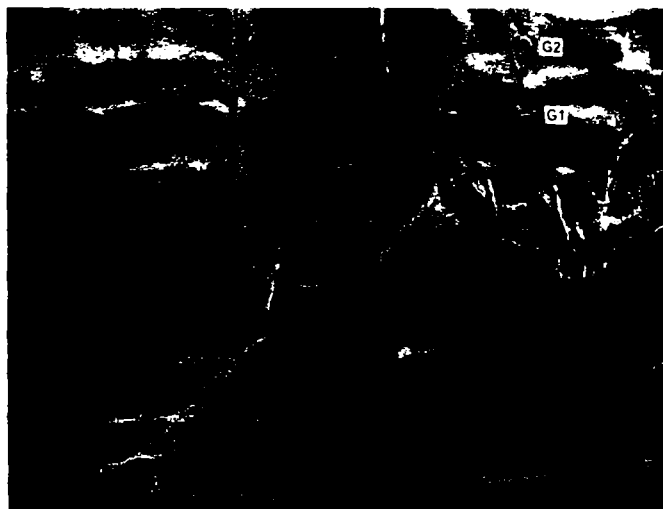
Figura 3.41 – Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui RM2



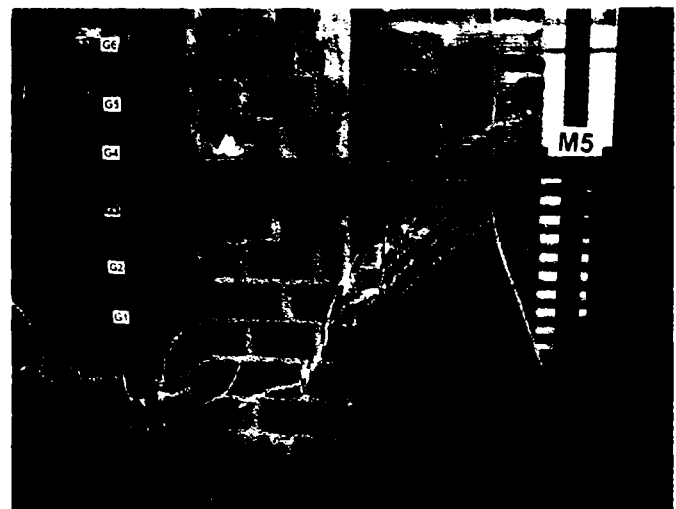
Apariția fisurii (spate)



Desprinderea compozitului în dreptul fisurii



Desprinderea compozitului (stânga jos, mijloc)



Desprinderea compozitului (mijloc, dreapta sus)

Figura 3.42 – Apariția fisurii și desprinderea ușoară a compozitului

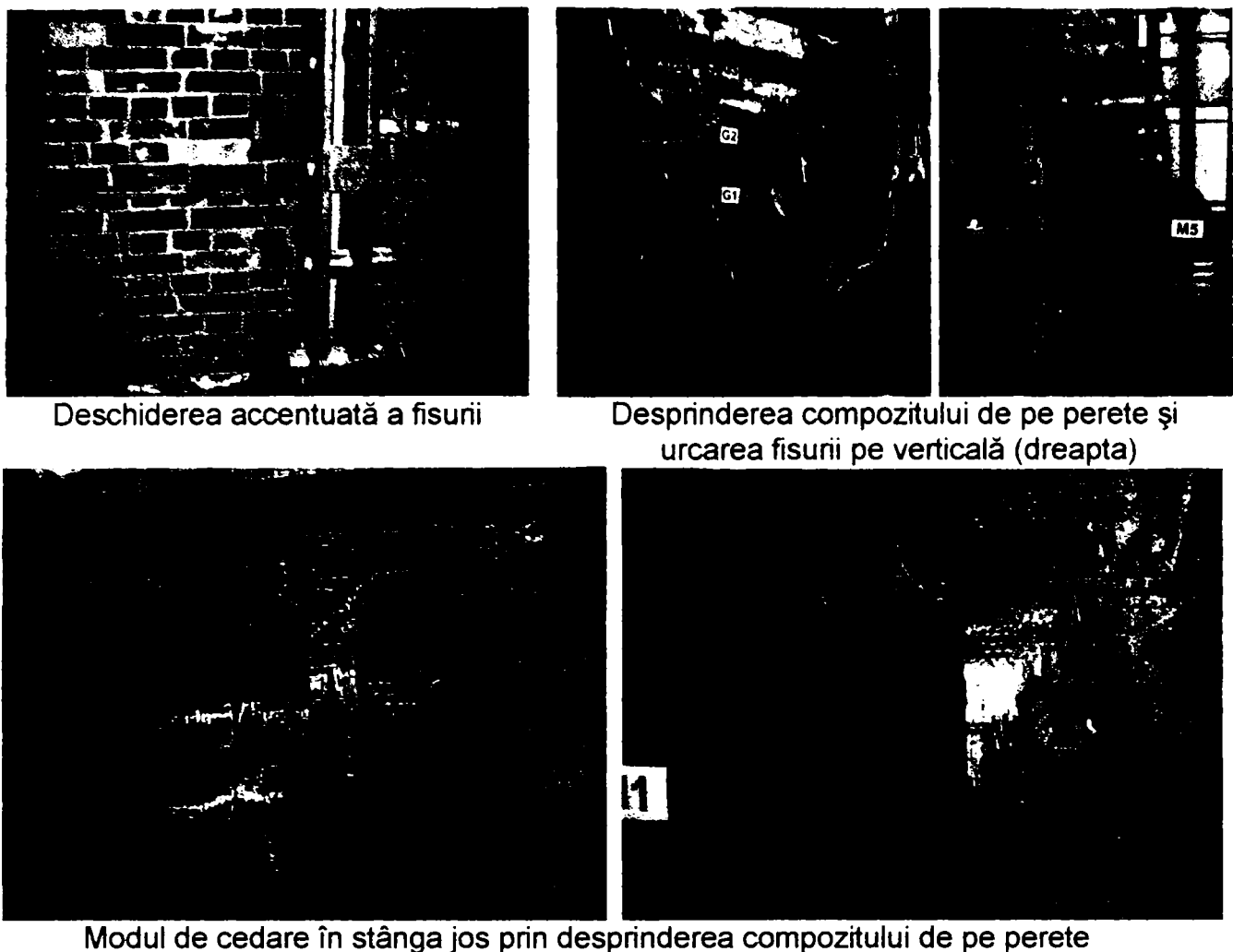


Figura 3.43 – Detalii de rupere

5.3. Încercarea elementelor experimentale UM2 și RM3

5.3.1. Încercarea elementului experimental UM2

Peretele UM2 a fost al doilea element din zidărie simplă încercat. Rezistența mortarului utilizat la alcătuirea acestui zid fost de 13.1 N mm^2 .

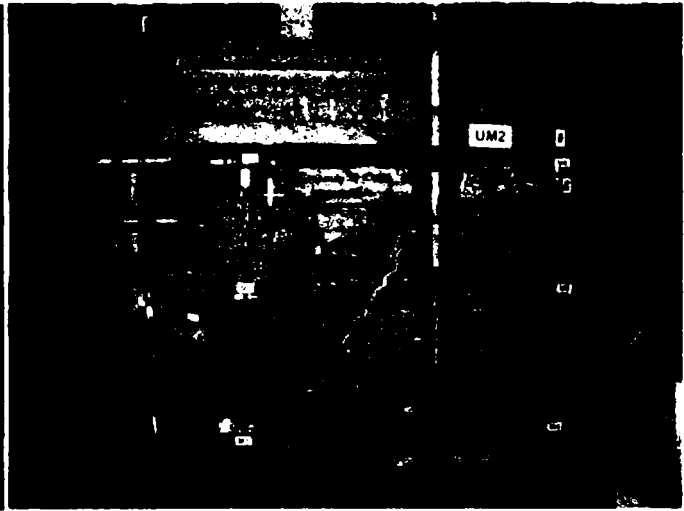
Încărcarea verticală constantă aplicată a fost mărită la $V \ 300 \text{ kN}$, pentru a împiedica eventualele alunecări în rostul orizontal și pentru a favoriza apariția fisurii cât mai aproape de unghiul ideal de 45° , deoarece măbind eforturile de compresiune neomogenitățile peretelui nu mai au un rol așa de important. Încărcarea orizontală (H) a fost aplicată la fel, monoton crescător cu un increment de 5 kN până la rupere. Elementul a fost echipat cu 10 captori de deplasare, așezați în mod identic ca la încercările precedente, 3-3 măsurând deplasările pe orizontală și 2-2 deplasările pe verticală.

Peretele s-a comportat perfect elastic până la rupere. Cedarea peretelui s-a produs printr-o fisură diagonală în direcția dreapta sus – stânga jos (văzută din față), cum era de așteptat (figura 3.44).

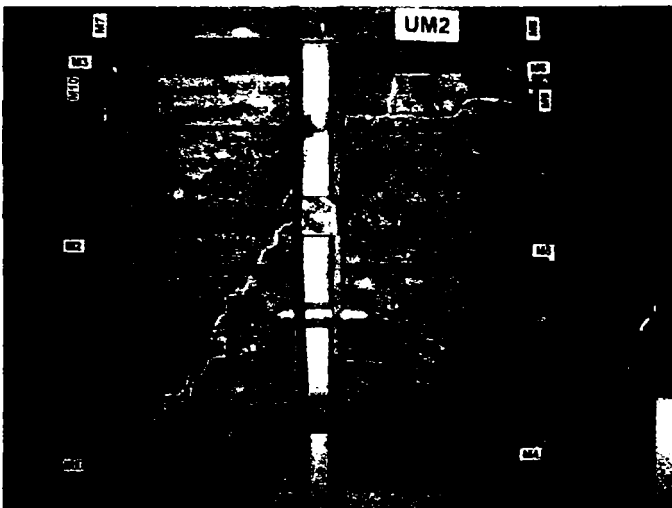
Diagramele caracteristice forță-deplasare al peretelui sunt prezentate mai jos. Comportarea peretelui este lineară până la rupere. Forța orizontală (H) la cedare a fost 300 kN , iar deplasarea maximă orizontală a fost de 8.7 mm . Fisura formată s-a deschis de cca $1-1.5 \text{ mm}$.



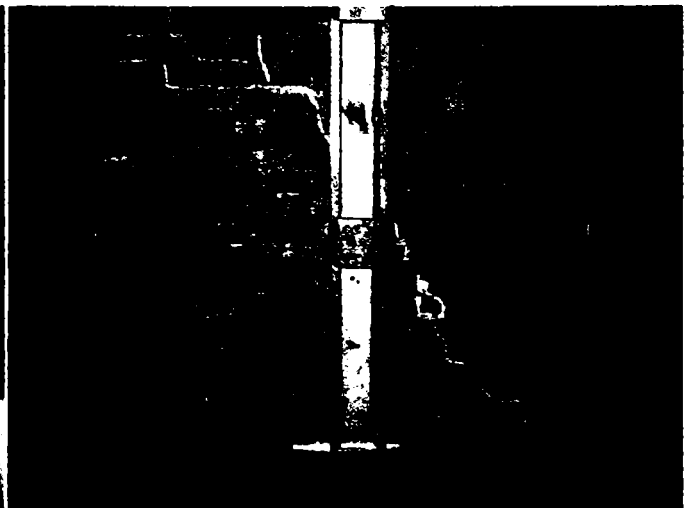
Peretele UM1 înainte de încercare



Peretele UM1 după încercare



Vederea fisurii din față



Vederea fisurii din spate

Figura 3.44 – Încercarea peretelui UM2

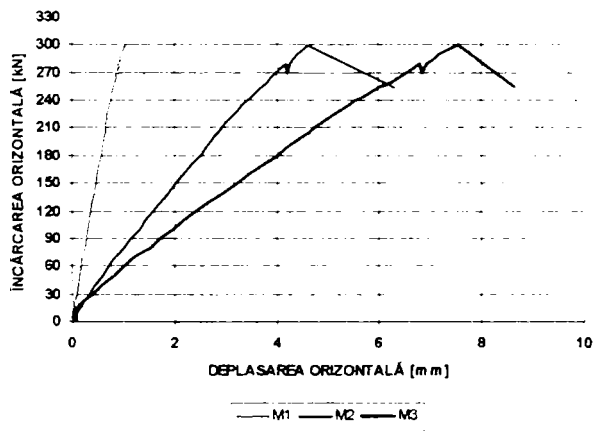


Figura 3.45 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui UM2 (partea stângă)

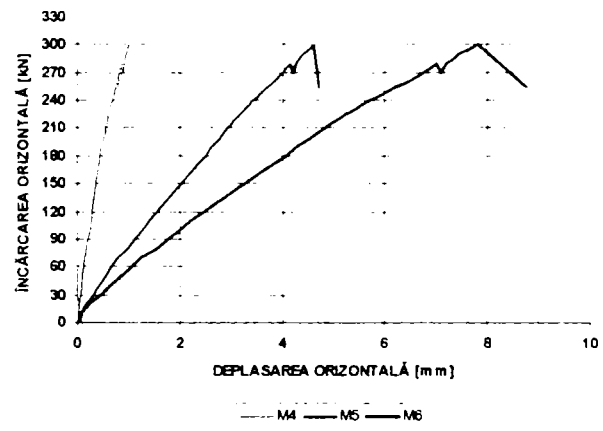


Figura 3.46 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui UM2 (partea dreaptă)

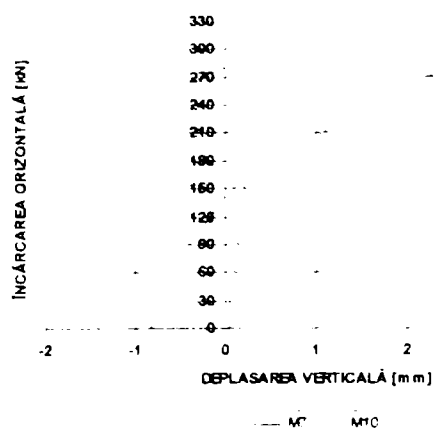


Figura 3.47 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui UM2 (partea stângă)

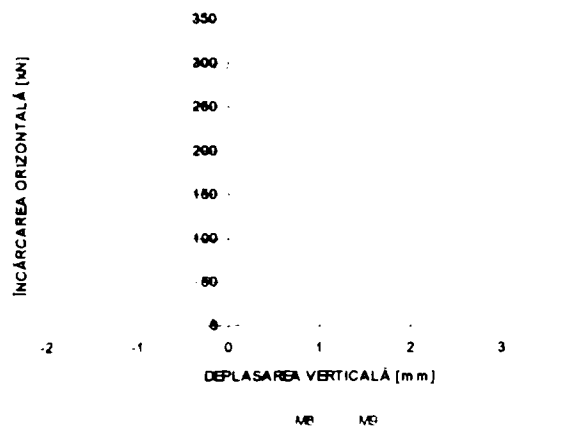


Figura 3.48 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui UM2 (partea dreaptă)

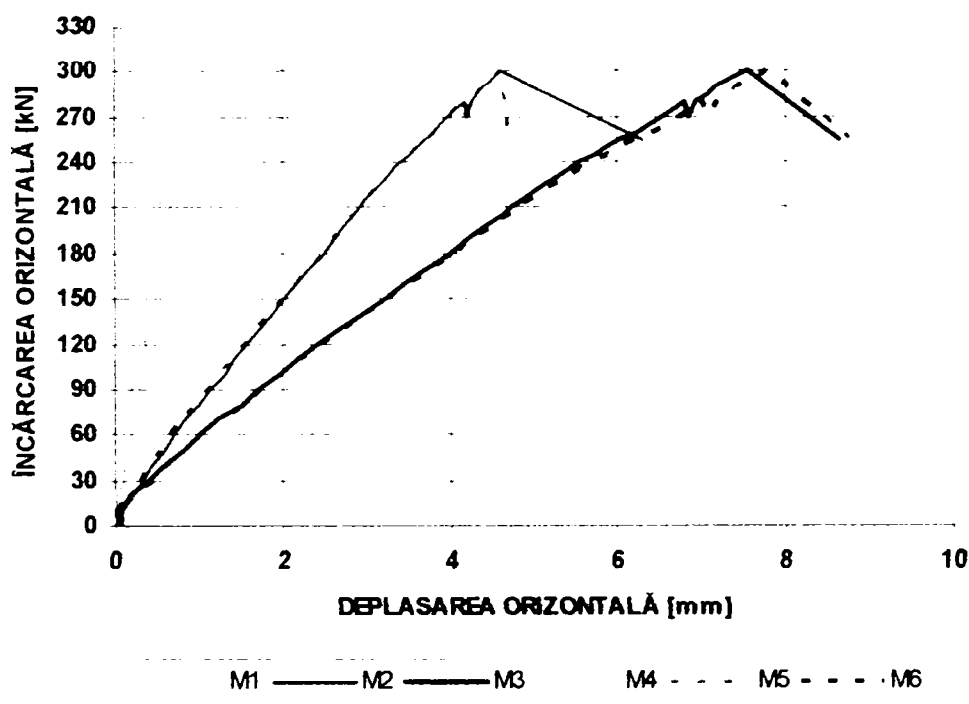


Figura 3.49 – Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui UM2

5.3.2. Consolidarea elementului experimental UM2

Consolidarea peretelui în acest caz s-a realizat prin aplicarea unei țesături din fibră de carbon unidirecțională, așezată pe toată lățimea elementului, pe direcție verticală, așa cum se vede pe figura 3.50. Sistemul folosit a fost alcătuit din fibre SikaWrap Hex 103C, rășină de impregnare a țesăturii și de amorsare a suprafeței de tip SikaDur 306, respectiv din rășina de corectare a suprafeței SikaDur 30.

Etapele consolidării peretelui au fost identice cu cele al peretelui UM1, doar sistemul utilizat a fost diferit. Caracteristicile principale ale componentelor sistemului compozit aplicat sunt prezentate mai jos, în tabelul 3.3. Alte caracteristici legate de acest sistem se găsesc în Anexa 1.

Tabelul 3.3 - Caracteristicile principale ale componentelor sistemului compozit aplicat

Componenta sistemului	Țesătură	Rășină de impregnare & Amorsă	Rășină de corectare
Denumirea produsului	SikaWrap Hex 103C	SikaDur 306	SikaDur 30
Modulul de elasticitate [N/mm ²]	231000	3120	12800
Rezistența la întindere [N/mm ²]	3500	72	24
Rezistența la compresiune [N/mm ²]	-	-	85
Deformația specifică ultimă [%]	1.5	-	-



5.3.3. Încercarea elementului consolidat RM3

Elementul consolidat UM2, după consolidare a primit numele de RM3 (deoarece peretele RM2 era deja încercat). Încercarea elementului consolidat s-a efectuat în aceleași condiții cu cel precedent (UM2). Pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse 5 timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniate pe direcția fibrelor (figura 3.51).

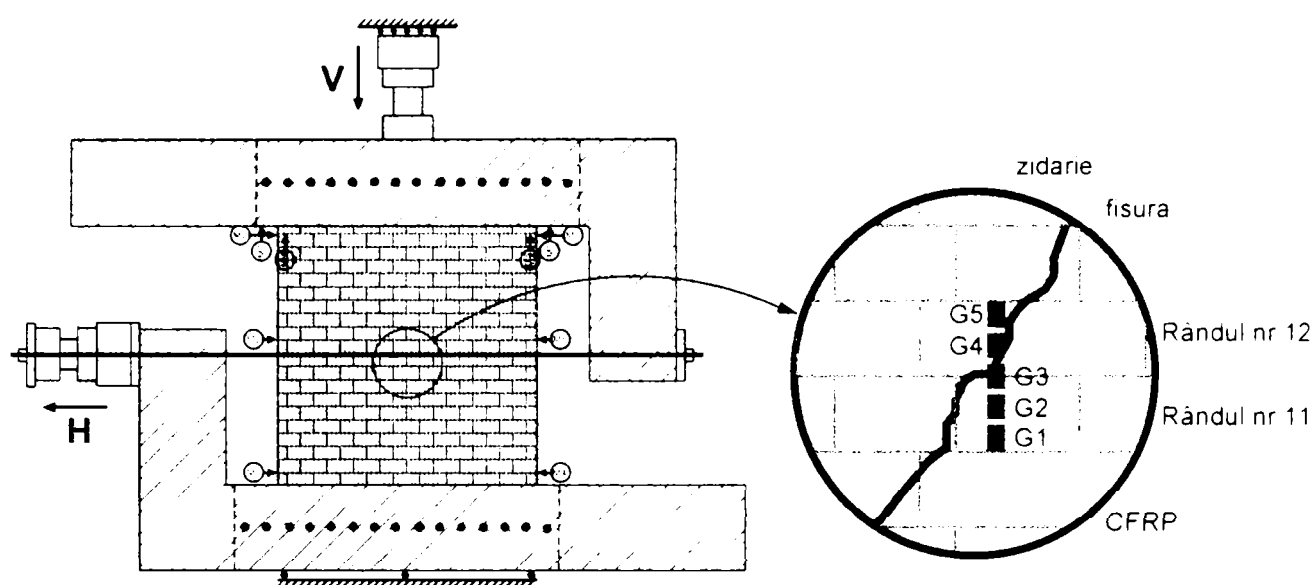


Figura 3.51 - Așezarea aparatelor de măsură și a timbrilor tensometrice pe elementul RM3

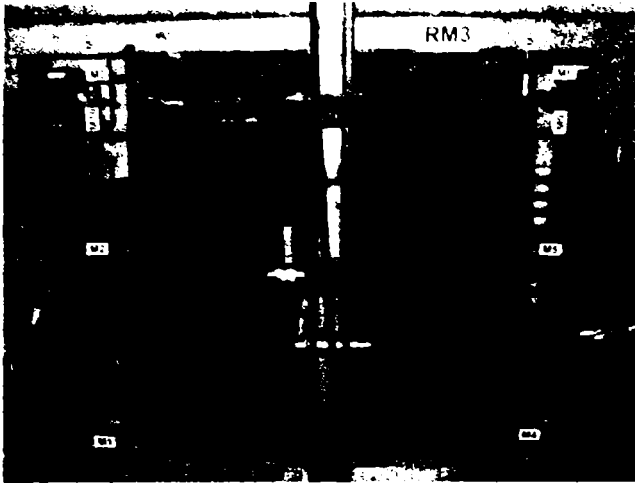
Încercarea s-a desfășurat fără incidente până la forța orizontală de 155 kN , când s-au auzit primele pocnituri, semnalând faptul că compozitul se desprinde în unele zone. Dezlipirile vizibile ale compozitului au fost în dreapta sus și în stânga jos. Fisura existentă a început să se deschidă mai accentuat la aproximativ 260 kN , iar la 280 kN au mai apărut niște fisuri mai mici pe partea superioară a peretelui, în primele 2-3 rânduri.

După un interval de timp dezlipirile s-au oprit (s-au stabilizat), nu s-au dezvoltat mai departe. Cedarea elementului s-a produs la forța de 375 kN , brusc, prin formarea unei fisuri noi aproape perfect la 45° . Compozitul s-a dezlipit pe cca. $10\text{-}10\text{ cm}$ pe o parte și pe alta în zona fisurii nou formate, dar nu s-a rupt, deși deplasările la rupere au fost destul de mari. Deplasările relative între cele două jumătăți de perete au generat în fibră așa numitul efect de dorn, despre care se amintește în studiile legate de consolidarea pereților cu compozite efectuate de Triantafillou [103].

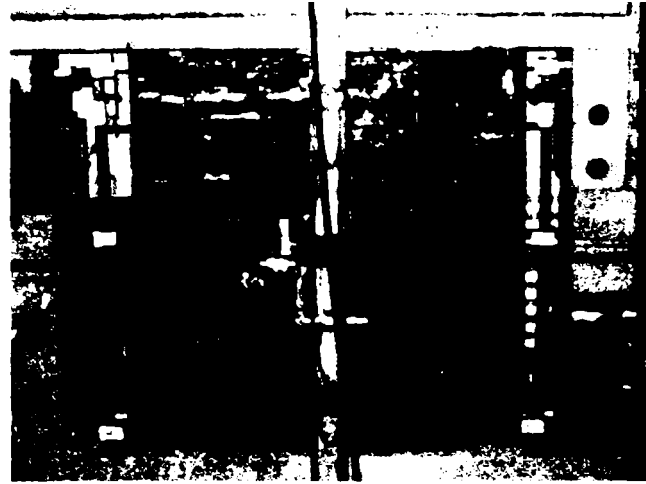
Trebuie menționat faptul, că la sfârșitul încercării forța verticală nu s-a mai putut păstra constantă, aceasta crescând în momentul ruperii cu 30% !

Deplasările orizontale maxime la rupere au fost de aproape 18 mm , iar deformația specifică din compozit a atins 0.15% , care reprezintă cca. 10% din capacitatea portantă ultimă a fibrei. Aceasta demonstrează, că compozitul a avut rezerve foarte mari în momentul cedării elementului.

Diagramele forță-deplasare caracteristice, înregistrările deformațiilor specifice din compozit, respectiv detaliile de rupere sunt prezentate în continuare.



Peretele RM3 înainte de încercare



Peretele RM3 după încercare

Figura 3.52 – Încercarea peretelui RM3

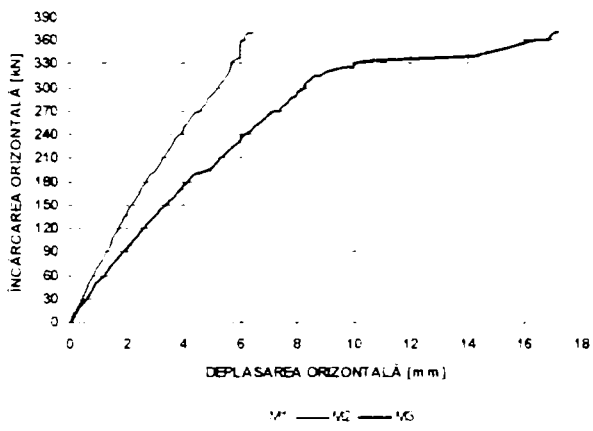


Figura 3.53 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM3 (partea stângă)

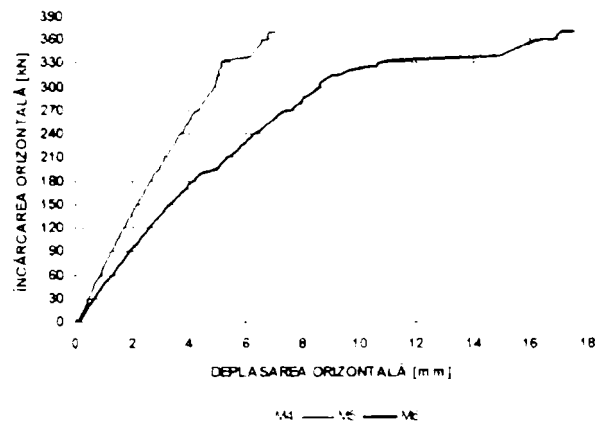


Figura 3.54 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM3 (partea dreaptă)

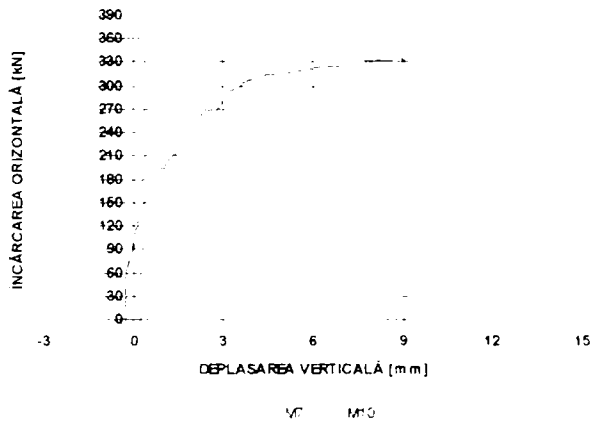


Figura 3.55 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM3 (partea stângă)

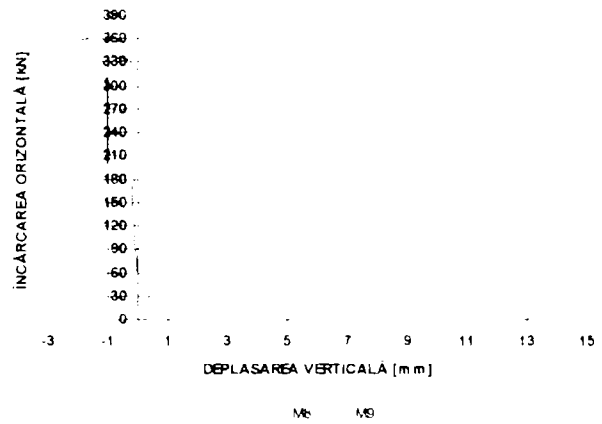


Figura 3.56 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM3 (partea dreaptă)

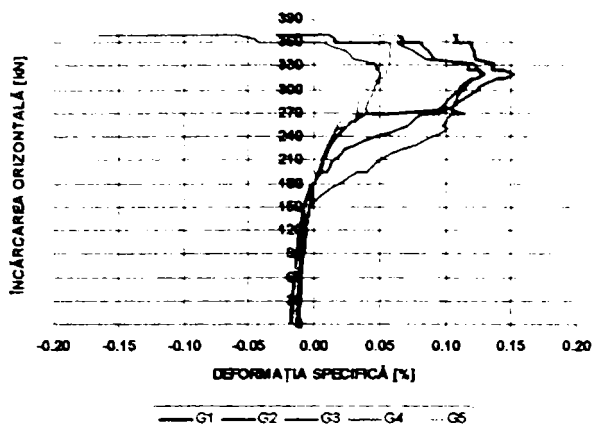


Figura 3.57 – Deformațiile specifice din compozit

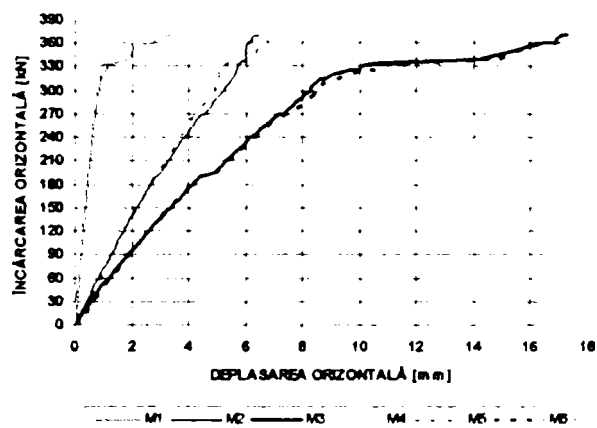
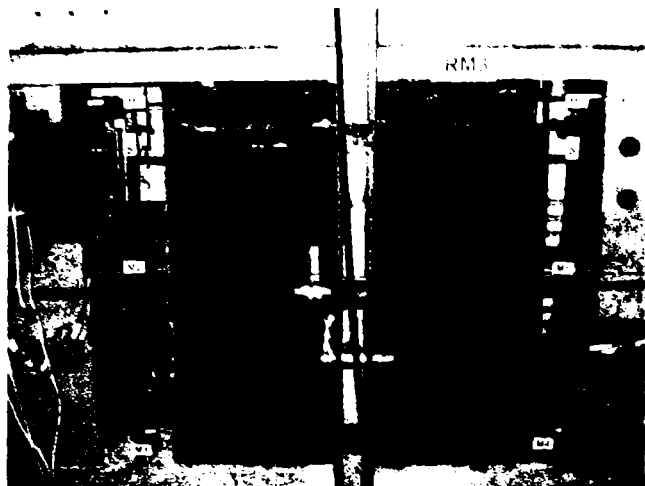


Figura 3.58 – Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui RM3



Începerea încercării



Deschiderea ușoară a fisurii existente



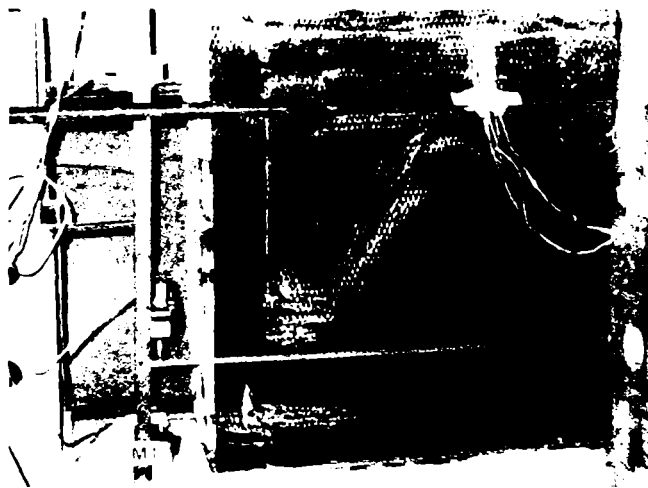
Dezlipirea ușoară a compozitului (colțul jos)



Dezlipirea ușoară a compozitului (colțul sus)



Apariția unor fisuri noi, mai mici



Dezlipirea compozitului continuă

Figura 3.59 – Fazele premergătoare cedării peretelui RM3

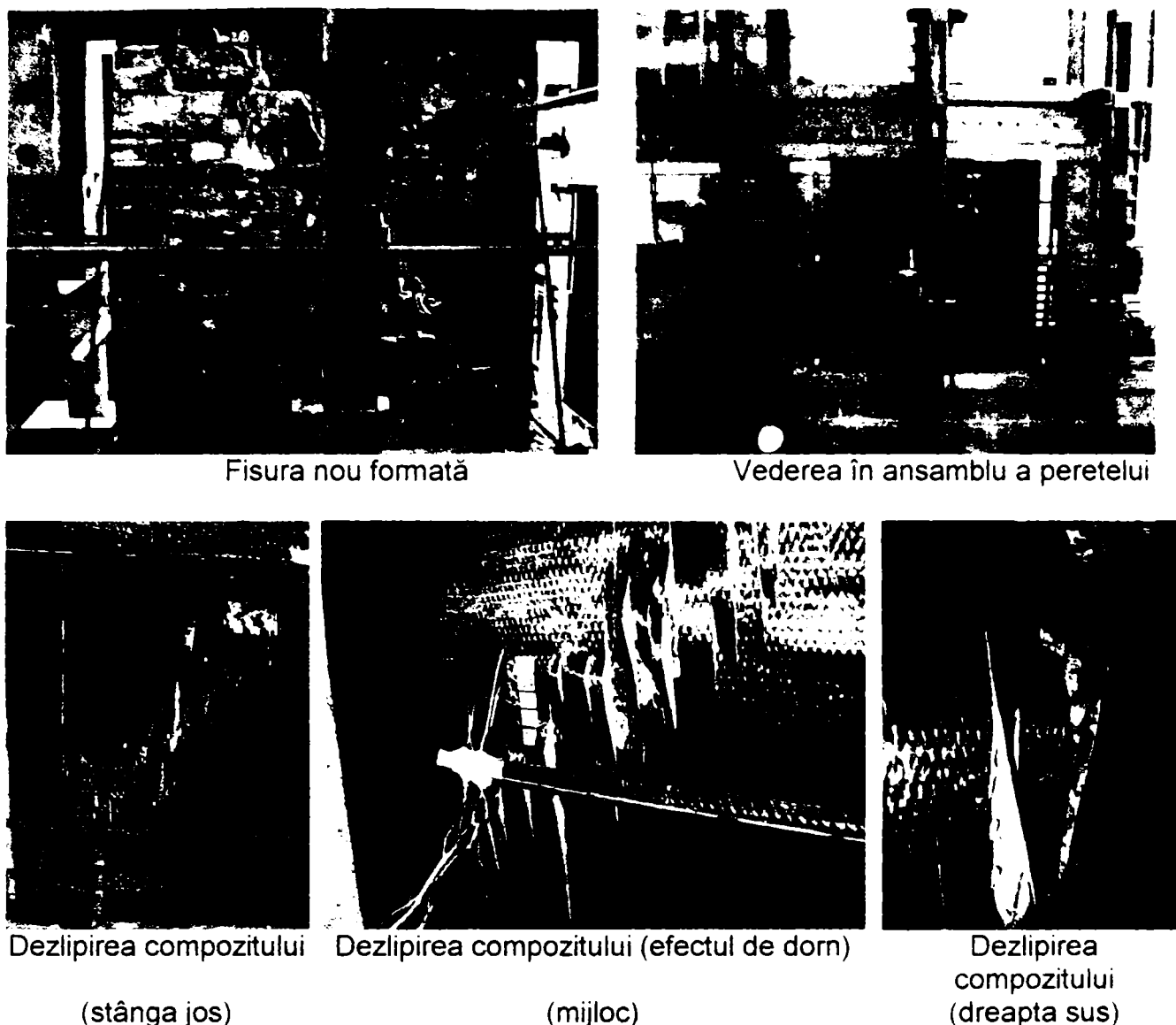


Figura 3.60 – Detalii de cedare a elementului RM3

5.3.4. Compararea rezultatelor

În urma rezultatelor obținute din încercarea elementelor UM2 și RM3, se pot remarca următoarele:

- forța de rupere a elementului UM2 a fost de 300 kN , în timp ce a peretelui RM3 a fost de 370 kN , aceasta reprezentând o creștere de capacitate de 23% , față de capacitatea inițială a peretelui simplu
- deplasarea pe orizontală a peretelui simplu UM2 a fost de 8.7 mm , iar a peretelui consolidat RM3 a ajuns la valoarea de 17.5 mm , deci creșterea în capacitatea de deformare a fost de 101%
- la cedarea peretelui consolidat, deformația specifică din compozit a atins doar 0.15% , ceea ce corespunde unei valori de cca. 10% din rezistența ultimă a compozitului.
- cedarea elementului consolidat s-a produs prin formarea unei noi fisuri și prin deschiderea pronunțată a acesteia, și nu prin ruperea compozitului.

Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe partea superioară a pereților UM2 și RM3 se poate urmări în figura 3.61.

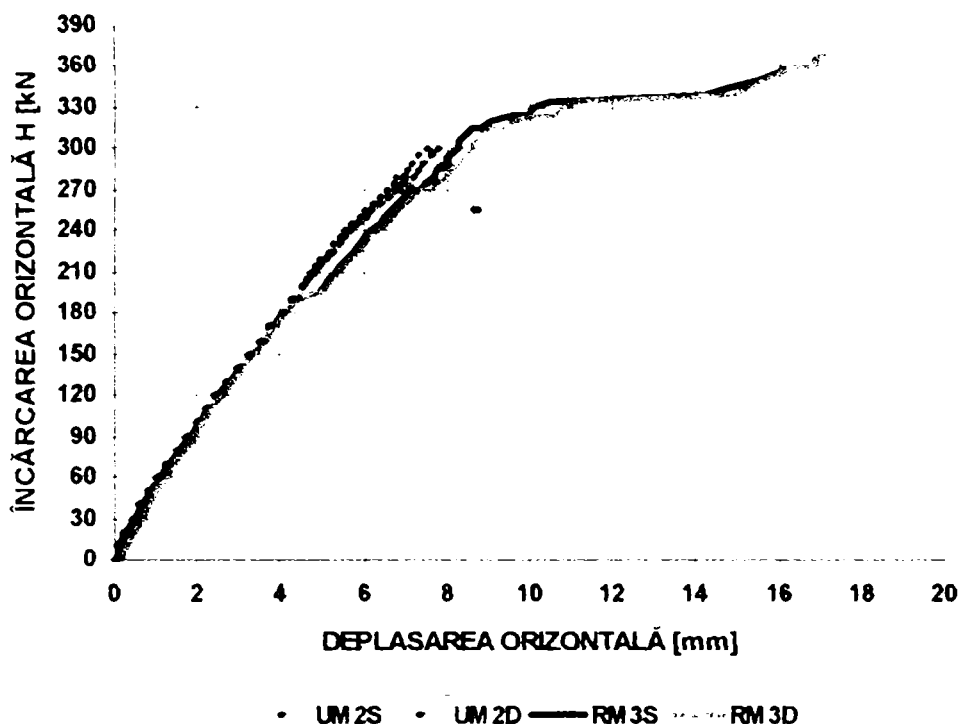


Figura 3.61 - Suprapunerea diagramelor forță-deplasare la partea superioară a pereților UM2 și RM3
(S – deplasarea pe partea stângă, D – deplasarea pe partea dreaptă)

5.4. Încercarea elementelor experimentale UM3 și RM4

5.4.1. Încercarea elementului experimental UM3

În acest set de încercări s-a dorit repetarea încercării precedente (UM2/RM3). Astfel s-a încercat mai întâi elementul din zidărie simplă UM3. Rezistența mortarului utilizat la alcătuirea acestui zid a fost de 14.9 N mm^2 .

Încărcarea verticală constantă a fost $V = 300 \text{ kN}$, iar forța orizontală H aplicată monoton crescător a avut un increment de 5 kN până la rupere. Elementul a fost echipat, de asemenea, cu 10 captori de deplasare, așezați în mod identic ca la încercările precedente, 3-3 măsurând deplasările pe orizontală și 2-2 deplasările pe verticală.

Peretele s-a comportat elastic până la rupere, singurele evenimente înainte de cedare au fost apariția unei fisuri între centură și perete la forța de 100 kN , respectiv o fisură mică de compresiune în dreapta-jos (din față) la forța de 270 kN . Fisura orizontală s-a extins apoi ca lungime, dar nu a influențat mersul încercării. Cedarea peretelui s-a produs brusc, printr-o fisură diagonală în direcția dreapta sus – stânga jos (văzută din față), care s-a deschis cca. 20 mm (figura 3.62 și 63).

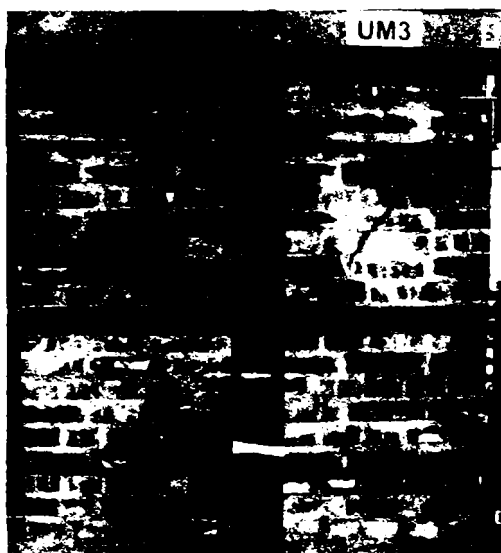
Comportarea peretelui a fost lineară, cu o mică alunecare la forța de 290 kN . Forța orizontală (H) maximă atinsă a fost de 325 kN , iar deplasarea orizontală aferentă acestei forțe nu a depășit 3 mm . Diagramele caracteristice forță-deplasare ale peretelui sunt prezentate mai jos.



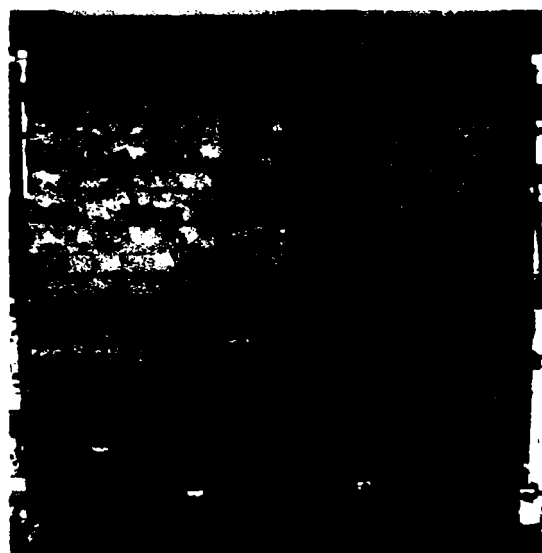
Peretele UM3 înainte de încercare



Peretele UM3 după încercare



Vederea fisurii din față



Vederea fisurii din spate

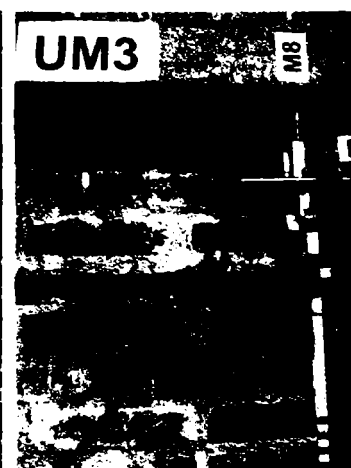
Figura 3.62 – Încercarea peretelui UM3



Deschiderea fisurii
(stânga jos)



Deschiderea fisurii
(pe diagonală)



Deschiderea fisurii
(dreapta sus)

Figura 3.63 – Detalii de rupere

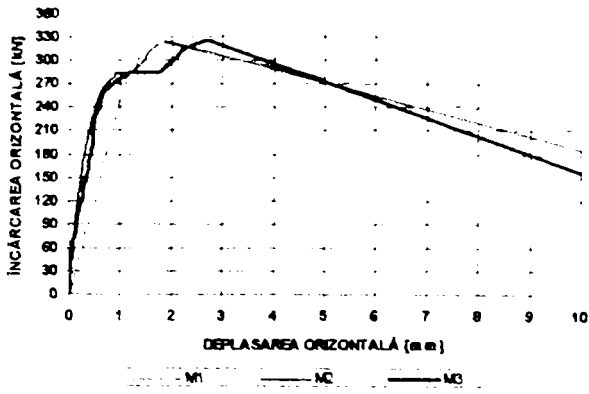


Figura 3.64 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui UM3 (partea stângă)

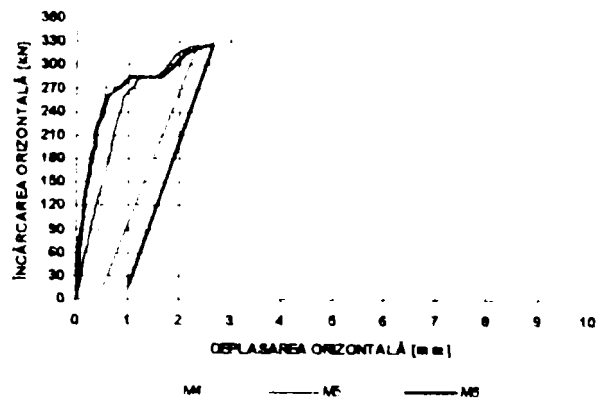


Figura 3.65 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui UM3 (partea dreaptă)

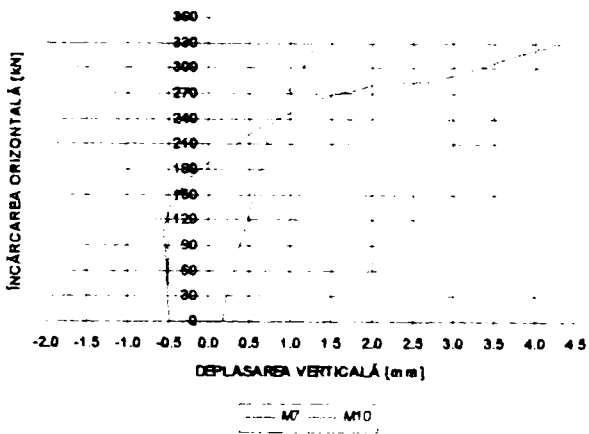


Figura 3.66 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui UM3 (partea stângă)

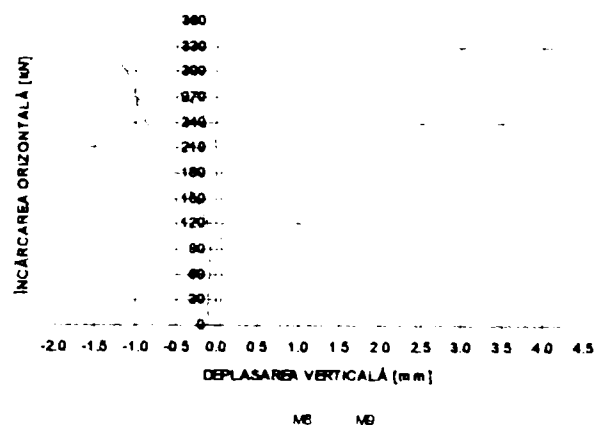


Figura 3.67 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui UM3 (partea dreaptă)

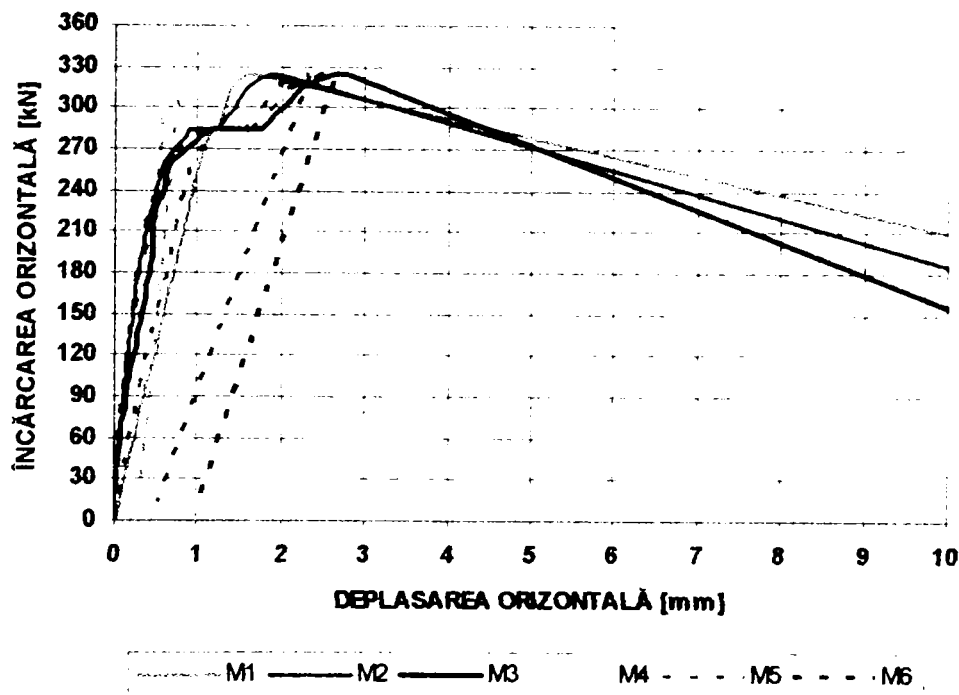


Figura 3.68 - Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui UM3

5.4.2. Consolidarea elementului experimental UM3

Datorită deschiderii foarte mari a fisurii, la acest element a fost necesară mai întâi umplerea fisurii, umplere care s-a realizat cu lapte de ciment, respectiv cu mortar bogat în ciment.

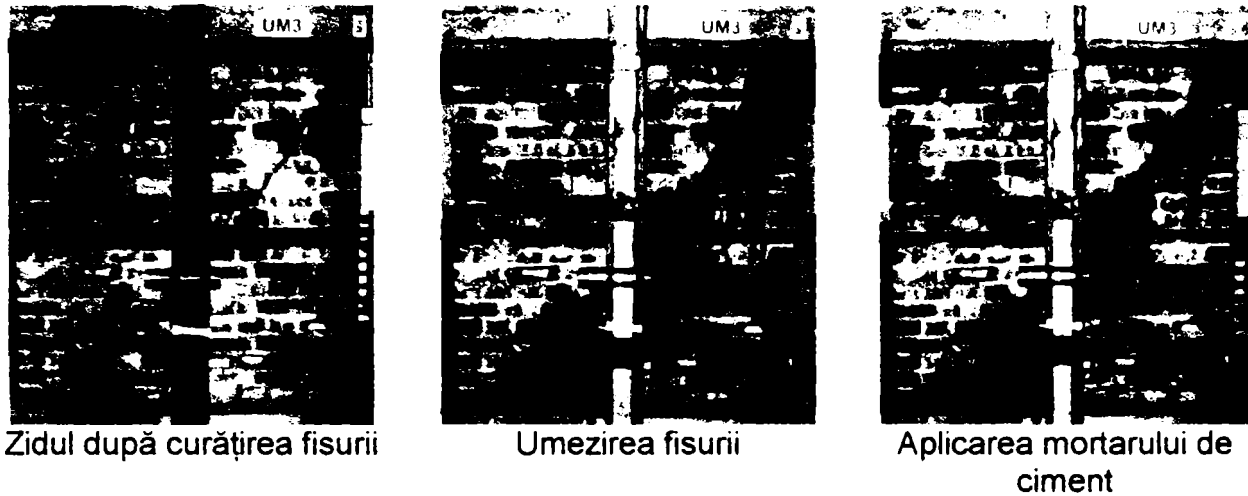


Figura 3.69 – Umplerea fisurii cu lapte de ciment

Deoarece prin această încercare s-a dorit repetarea încercării precedente (UM2/RM3), așa cum s-a mai amintit, consolidarea peretelui s-a executat identic, prin aplicarea unei țesături din fibră de carbon unidirecțională, așezată pe toată lățimea elementului, pe direcție verticală (figura 3.70). Sistemul folosit a fost alcătuit, de asemenea, din fibre SikaWrap Hex 103C, rășină de impregnare a țesăturii și de amorsare a suprafeței de tip SikaDur 306, respectiv din rășina de corectare a suprafeței SikaDur 30. Etapele consolidării peretelui au fost identice cu cel al peretelui UM2.



Figura 3.70 - Fazele consolidării

5.4.3. Încercarea elementului consolidat RM4

Elementul consolidat UM3, după consolidare a primit numele de RM4. Încercarea elementului consolidat s-a efectuat în aceleași condiții cu cel precedent (UM3). Pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse 6 timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniat pe direcția fibrelor (figura 3.71).

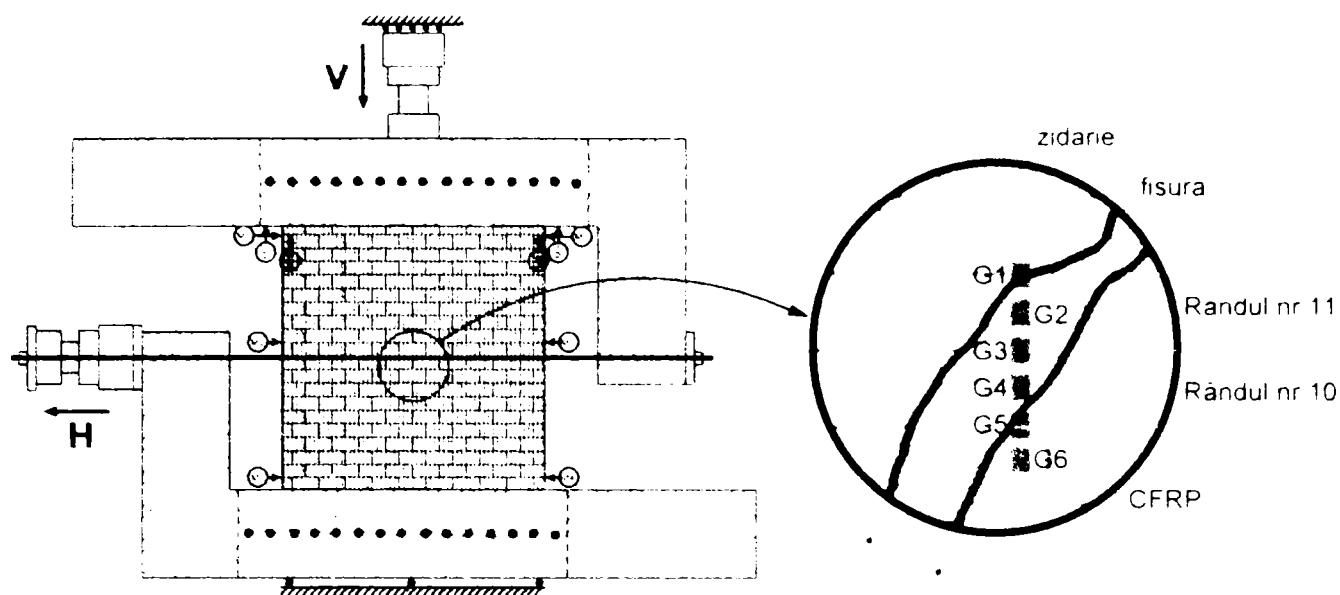


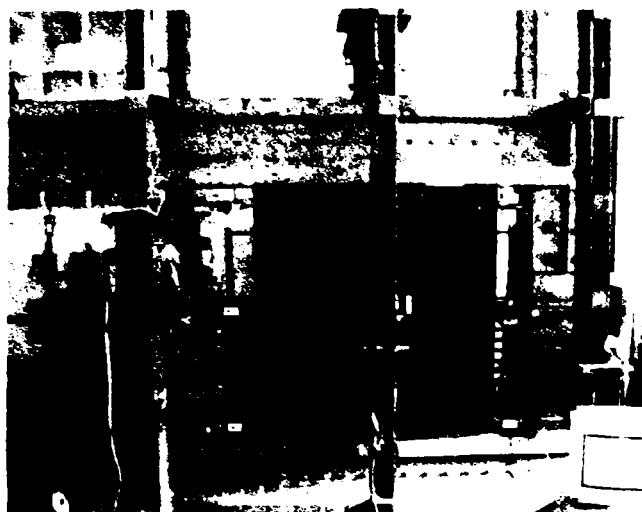
Figura 3.71 - Așezarea aparatelor de măsură și a timbrilor tensometrici pe elementul RM4

Încercarea s-a desfășurat fără incidente până la forța orizontală de 100 kN , când s-au auzit niște pocnituri, fără urme vizuale. La 135 kN apare fisura între perete și centura de beton. La 165 kN fisura existentă se deschide ușor pe o porțiune mică, iar la 175 kN pe toată lungimea ei. La 185 kN deschiderea fisurii se accentuează și se deschide continuu până la rupere. La această solicitare apar dezlipiri ușoare ale compozitului în zona fisurii, care continuă să se extindă.

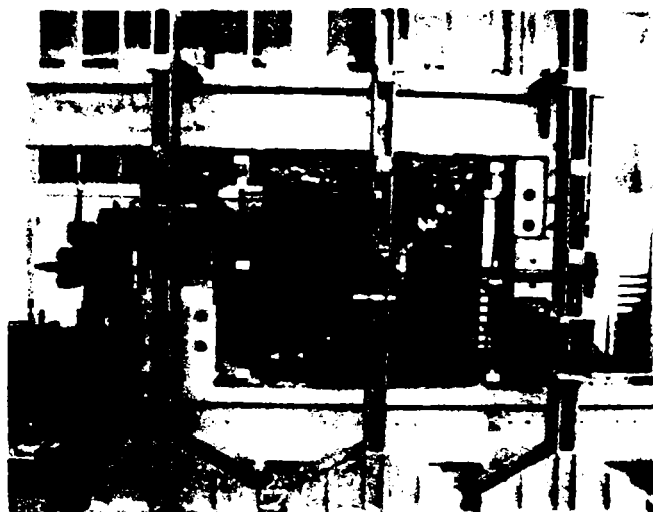
Cedarea elementului s-a produs brusc, prin deschiderea pronunțată a fisurii, concomitent cu dezlipirea compozitului pe cca. 5 cm de o parte și de alta a fisurii. Compozitul nu s-a rupt, deși deplasările la cedare au fost relativ mari. Și în acest caz deplasările relative între cele două jumătăți de perete au generat în fibră efectul de dorn. De asemenea trebuie menționat faptul, că la sfârșitul încercării forța verticală a crescut foarte ușor, până la 320 kN .

Deplasarea orizontală maximă la rupere a fost de 9.5 mm . Deformația specifică maximă din compozit înregistrată în penultimul pas, deci înainte de rupere, a fost de 0.12% în timbrul G3. La ultima treaptă în timbrul G4 s-a înregistrat o deformație specifică de 0.80% , în timp ce în timbrul G3 nivelul deformației specifice a scăzut puțin, până la 0.11% . După rezultatele și experiențele de până acum valoarea mai realistă ar fi cea de 0.12% , care reprezintă aproximativ 8% din capacitatea portantă la întindere a fibrei, însă nu se poate exclude nici valoarea deformației specifice de 0.80% , care abia depășește 50% din capacitatea portantă a fibrei. După încercare timbrul G4 a fost verificat și era intact, dar nu se poate afirma faptul, că în penultimul pas, când compozitul s-a deformat timbrul mai înregistra valori corecte.

Diagramele forță-deplasare caracteristice, înregistrările deformațiilor specifice din compozit, respectiv detaliile de rupere sunt prezentate în continuare.



Peretele RM4 înainte de încercare



Peretele RM4 după încercare

Figura 3.72 – Încercarea peretelui RM4

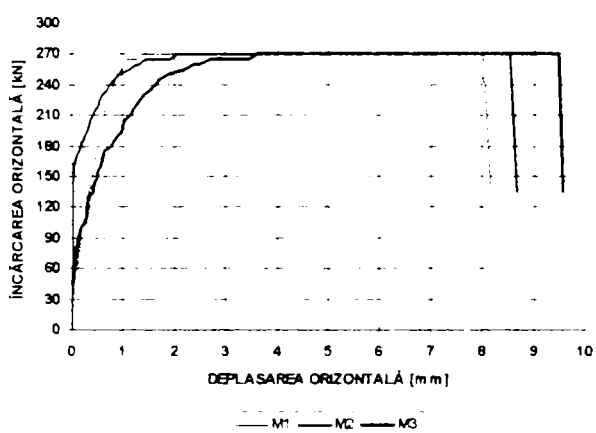


Figura 3.73 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM4 (partea stângă)

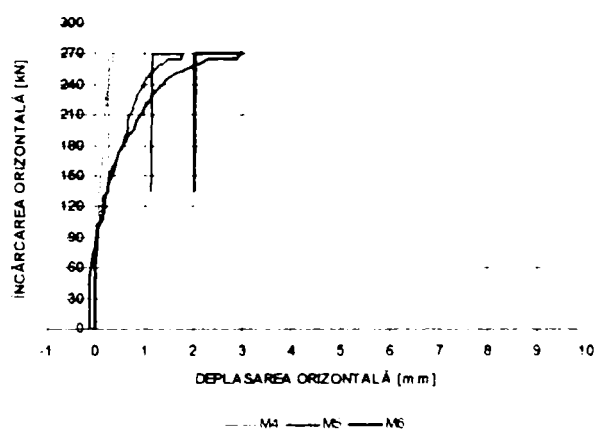


Figura 3.74- Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM4 (partea dreaptă)

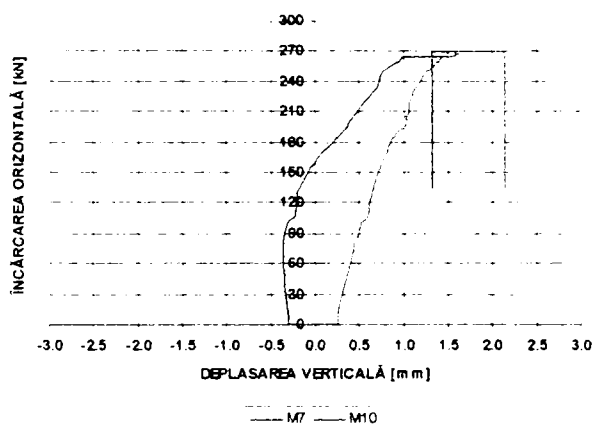


Figura 3.75 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM4 (partea stângă)

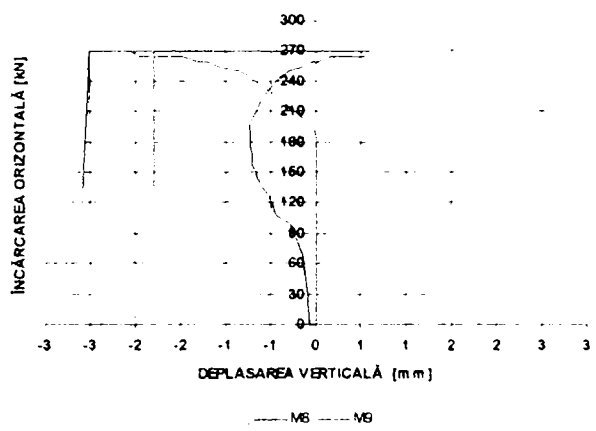


Figura 3.76 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM4 (partea dreaptă)

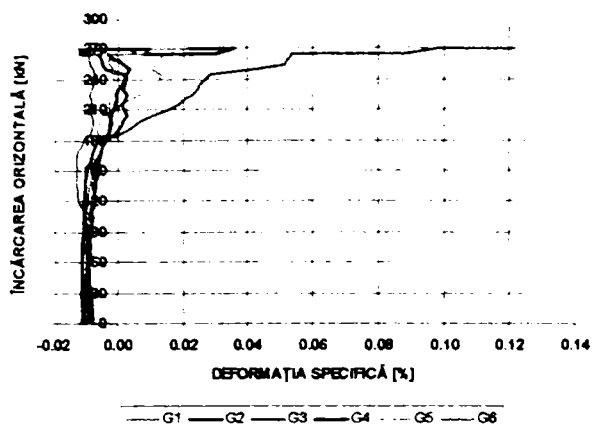


Figura 3.77 – Deformațiile specifice din compozit

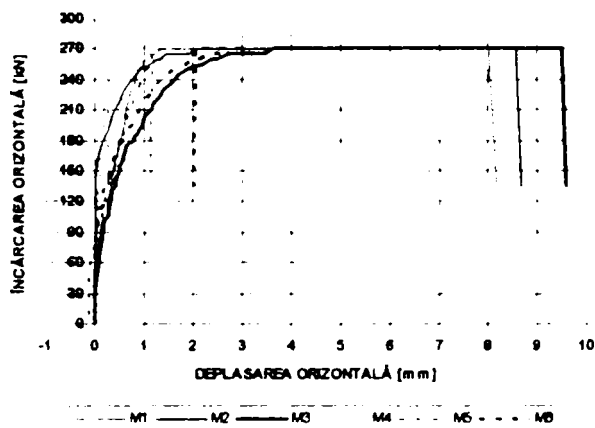
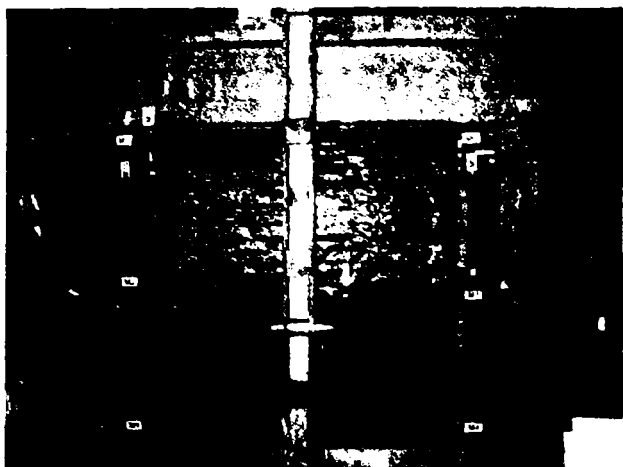
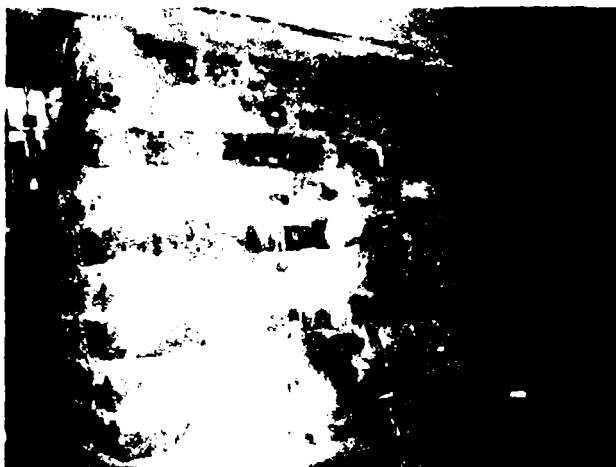


Figura 3.78 – Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui RM4



Începerea încercării



Deschiderea ușoară a fisurii



Dezlipirea ușoară a compozitului
(mijloc)



Dezlipirea ușoară a compozitului
(dreapta - sus)

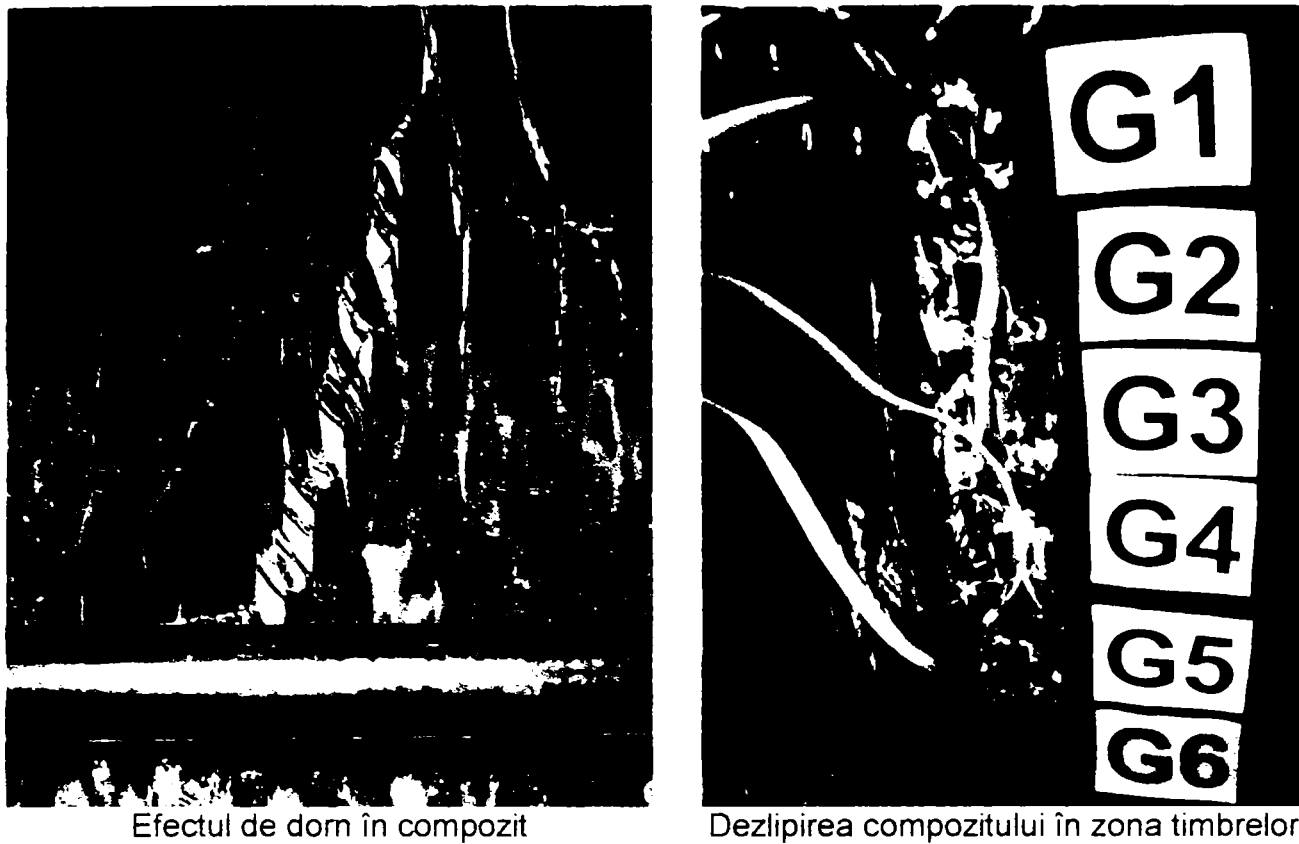


Cedarea elementului (față)



Cedarea elementului (spate)

Figura 3.79 – Fazele cedării peretelui RM4



Efectul de dorm în compozit

Dezlipirea compozitului în zona timbreilor

Figura 3.80 – Detalii de cedare a elementului RM4

5.4.4. Compararea rezultatelor

În urma rezultatelor obținute din încercarea elementelor UM3 și RM4, se remarcă următoarele:

- forța de rupere al elementului UM3 a fost de 325 kN , în timp ce a peretelui RM4 a fost de 270 kN , în pofida fisurii inițiale foarte deschise, diferența de capacitate fiind de aproape 17%
- deplasarea pe orizontală a peretelui simplu UM3 la forța orizontală maximă a fost de 2.8 mm , iar a peretelui consolidat RM4 a ajuns la valoarea de 9.5 mm , deci creșterea în capacitatea de deformare a fost de 239%
- la cedarea peretelui consolidat, deformația specifică din compozit a atins doar 0.12% , ceea ce reprezintă cca. 8% din rezistența ultimă a fibrei.
- cedarea elementului consolidat s-a produs prin deschiderea pronunțată a fisurii existente, concomitent cu dezlipirea compozitului în zona fisurii, și nu prin ruperea compozitului.

Suprapunerea diagramelor forță-deplasare la partea superioară a pereților UM3 și RM4 se poate urmări în figura 3.81.

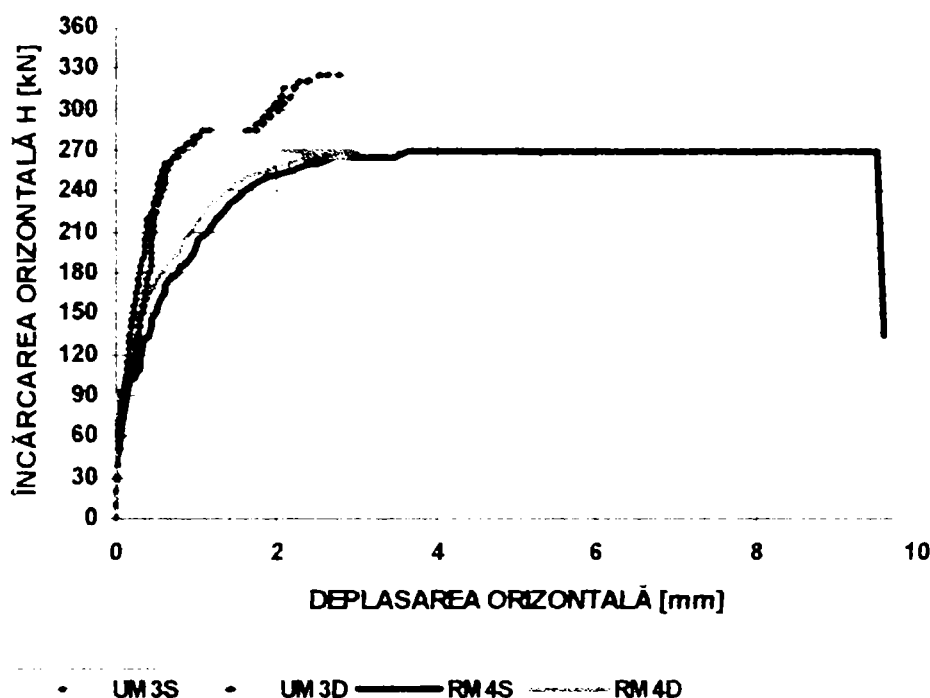


Figura 3.81 - Suprapunerea diagramelor forță-deplasare la partea superioară a pereților UM3 și RM4
(S – deplasarea pe partea stângă, D – deplasarea pe partea dreaptă)

5.5. Încercarea elementelor experimentale UM4 și RM5

5.5.1. Încercarea elementului experimental UM4

În acest set de încercări s-a dorit repetarea ultimelor două încercări (UM2/RM3, respectiv UM3/RM4), dar în loc de fibre de carbon folosind fibre de sticlă. Mai întâi s-a încercat elementul din zidărie simplă UM4, având rezistența mortarului de 13.1 N mm^2 .

Încărcarea verticală constantă a fost $V = 300 \text{ kN}$, iar forța orizontală H aplicată monoton crescător a avut un increment de 5 kN până la rupere. Elementul a fost echipat, de asemenea, cu 10 captori de deplasare, așezați în mod identic ca la încercările precedente, 3-3 măsurând deplasările pe orizontală și 2-2 deplasările pe verticală.

Peretele s-a comportat elastic până la rupere. În timpul încercării s-au înregistrat trei evenimente notabile, și anume, apariția unei fisuri perete și centură, deschiderea continuă a acesteia, respectiv cedarea elementului.

Fisura între perete și centură a apărut la 170 kN , care apoi în timpul încercării s-a deschis și s-a extins dar nu a avut o influență asupra mersului încercării. Cedarea peretelui s-a produs brusc, printr-o fisură diagonală în direcția dreapta sus – stânga jos (văzută din față), care s-a deschis cca. 15 mm (figura 3.82 și 83).

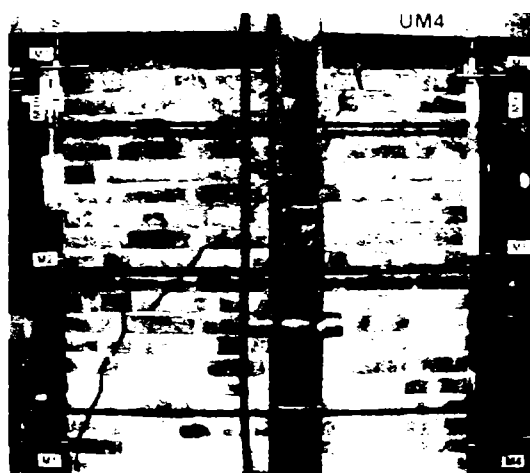
Comportarea peretelui a fost lineară, forța orizontală (H) maximă atinsă a fiind de 320 kN , iar deplasarea orizontală aferentă acestei forțe a fost de 16 mm . Diagramele caracteristice forță-deplasare ale peretelui sunt prezentate mai jos.



Peretele UM4 înainte de încercare



Peretele UM4 după de încercare



Vederea fisurii din față

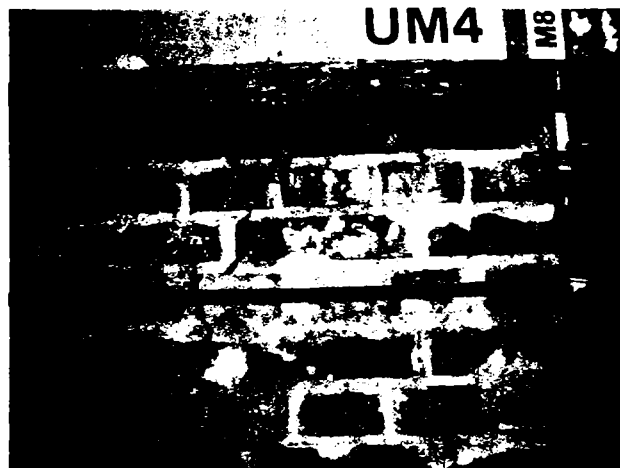


Vederea fisurii din spate

Figura 3.82 – Încercarea peretelui UM4



Deschiderea fisurii
(stânga jos din față și din spate)



Deschiderea fisurii
(dreapta sus)

Figura 3.83 – Detalii de rupere

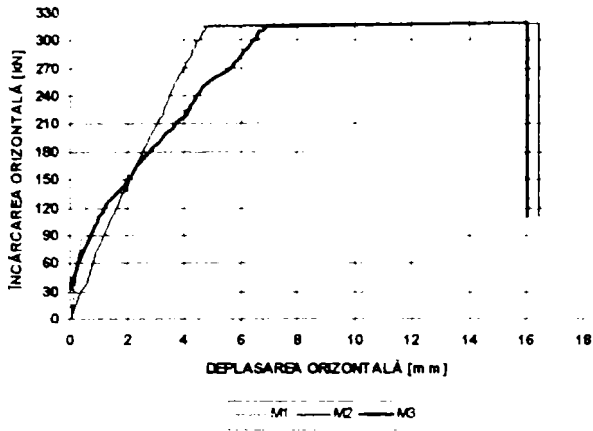


Figura 3.84 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui UM4 (partea stângă)

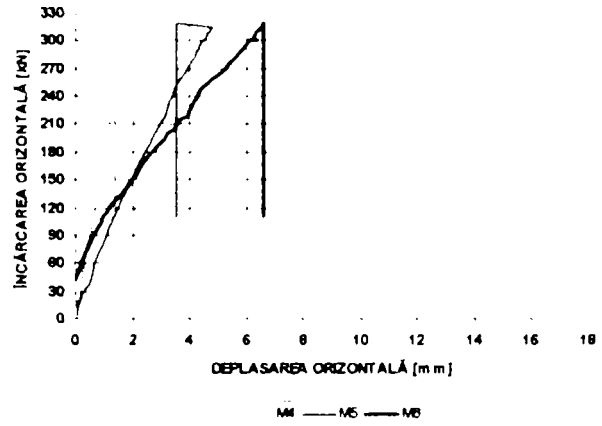


Figura 3.85 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui UM4 (partea dreaptă)

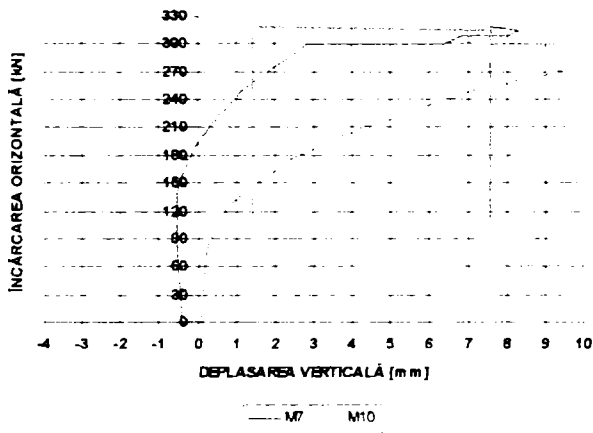


Figura 3.86 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui UM4 (partea stângă)

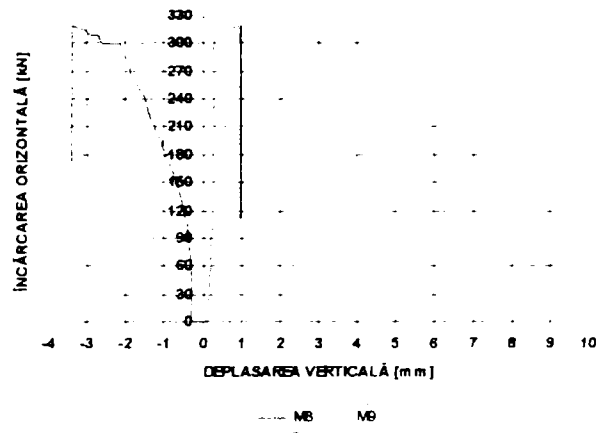


Figura 3.87 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui UM4 (partea dreaptă)

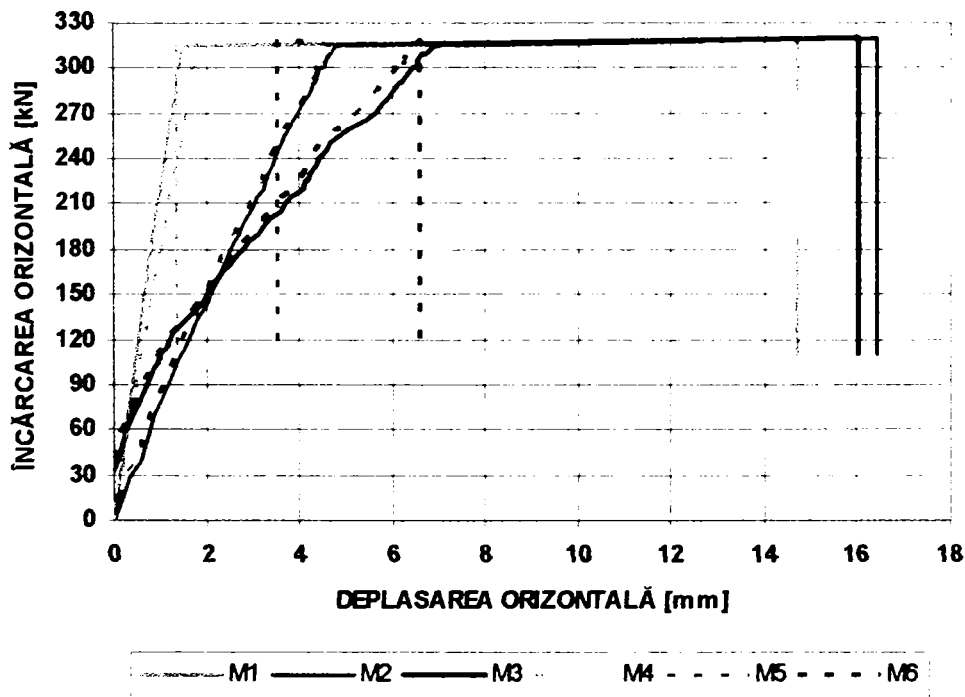


Figura 3.88 – Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui UM4

5.5.2. Consolidarea elementului experimental UM3

Datorită deschiderii destul de mari a fisurii, și la acest element a fost necesară mai întâi umplerea fisurii, care s-a realizat cu lapte de ciment, respectiv cu mortar bogat în ciment.

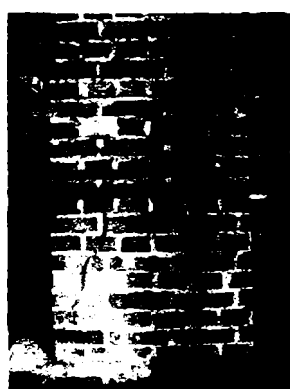
Consolidarea peretelui s-a executat identic cu cazurile precedente. Fazele executării au fost identice, însă în loc de țesătură din fibră de carbon s-a utilizat o țesătură din fibră de sticlă unidirecțională. Aplicarea țesăturii s-a făcut pe toată lățimea elementului, pe direcție verticală (*figura 3.89*). Sistemul folosit a fost alcătuit din fibre SikaWrap Hex 100G, rășină de impregnare a țesăturii și de amorsare a suprafeței de tip SikaDur 306, respectiv din rășina de corectare a suprafeței SikaDur 30. Etapele consolidării peretelui au fost identice cu cele ale peretelui UM2 și UM3. Caracteristicile principale ale componentelor sistemului compozit aplicate sunt prezentate mai jos, în *tabelul 3.4*. Alte caracteristici legate de sistem se găsesc în Anexa 1.

Tabelul 3.4 - Caracteristicile principale ale componentelor sistemului compozit aplicat

Componenta sistemului	Țesătură	Rășină de impregnare & Amorsă	Rășină de corectare
Denumirea produsului	SikaWrap Hex 100G	SikaDur 306	SikaDur 30
Modulul de elasticitate [N/mm ²]	72400	3120	12800
Rezistența la întindere [N/mm ²]	2250	72	24
Rezistența la compresiune [N/mm ²]	-	-	85
Deformația specifică ultimă [%]	3.7	-	-



Umplerea fisurii



Curățarea în dreptul fisurii



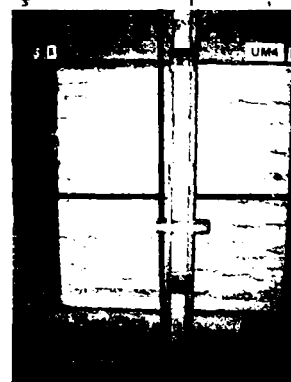
Șlefuirea suprafeței



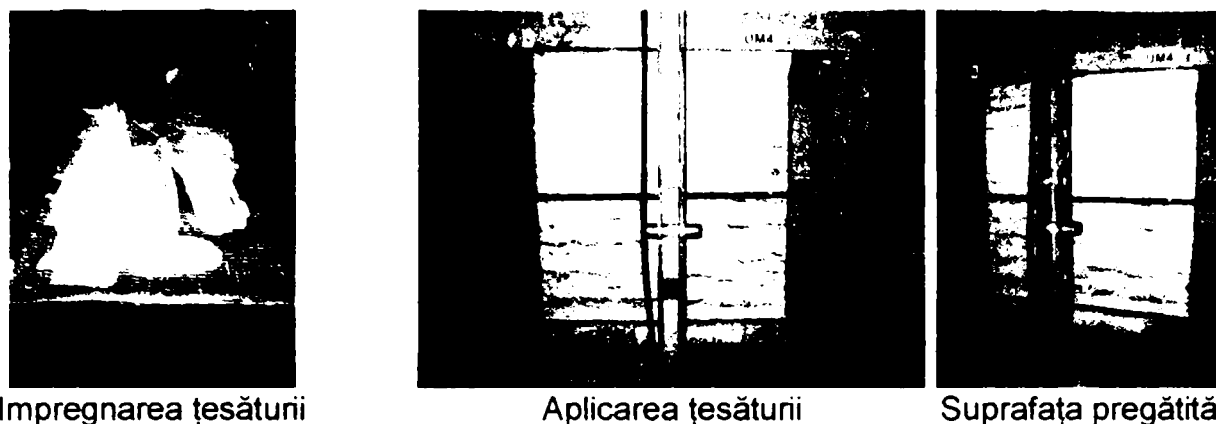
Tăierea țesăturii



Impregnarea suprafeței



Chituirea suprafeței



Impregnarea țesăturii

Aplicarea țesăturii

Suprafața pregătită

Figura 3.89 - Fazele consolidării

5.5.3. Încercarea elementului consolidat RM5

Elementul consolidat UM4, după consolidare a primit numele de RM5. Încercarea elementului consolidat s-a efectuat în aceleași condiții cu cel precedent (UM4). Pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse 4 timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniate pe direcția fibrelor (figura 3.90).

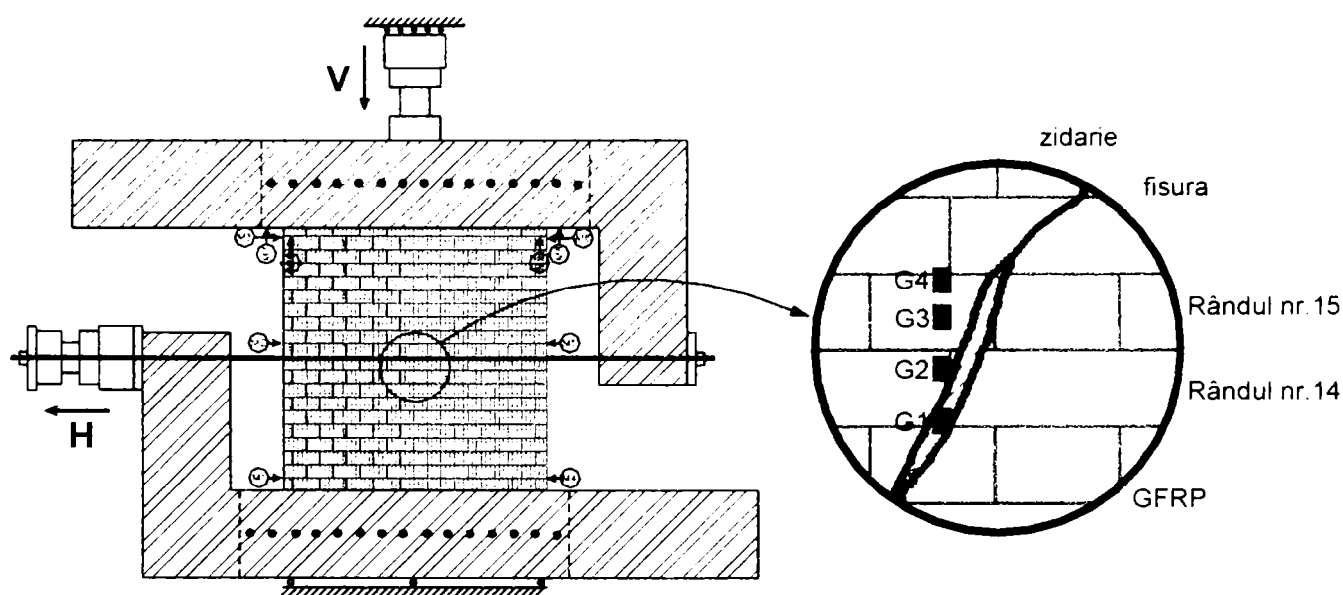


Figura 3.90 - Așezarea aparatelor de măsură și a timbrelor tensometrice pe elementul RM4

Încercarea s-a desfășurat fără incidente până la forța orizontală de 265 kN , când se deschide fisura dintre perete și centură. După 315 kN fisura existentă începe să se deschidă vizibil, iar compozitul începe să se dezlipească. Primele dezlipiri apar în zona de mijloc, apoi în dreapta sus și stânga jos, în dreptul fisurii, acestea unindu-se aproximativ la forța de 330 kN . În continuare deschiderea fisurii se accentuează. Dezlipirile, în mod surprinzător, apar doar în dreptul fisurii și foarte lent se extind, nu ca și în cazul fibrelor de carbon. Fisura are deja o deschidere de aproximativ 10 mm când în zona de dreapta jos și stânga sus compozitul se dezlipește pe o porțiune mai mare, dar peretele mai are capacitate portantă. Încercarea se oprește când deplasarea la partea superioară depășește 40 mm , la o forță orizontală puțin sub 150 kN .

Elementul s-a comportat total diferit de restul elementelor încercate, prezentând o mică asemănare în privința deplasării cu primul element consolidat (RM1). Cedarea elementului s-a produs foarte lent, comparativ cu încercările de la peretele RM3 și RM4, prin deschiderea pronunțată a fisurii existente, concomitent cu dezlipirea compozitului în zona fisurii și prin formarea unei fisuri noi pe o porțiune de 70-80 cm în dreapta-sus (văzută din față). Pe o porțiune de aproximativ 50 cm pe partea stângă și dreaptă, compozitul s-a dezlipit pe o lățime de 15-15 cm de o parte și de alta a fisurii, în timp ce în treimea mijlocie practic nu sunt dezlipiri mai mari decât 2-3 cm. Cedarea peretelui s-a produs cu unele mici rupturi ale compozitului, doar în zona de mijloc, cu mare probabilitate la tăiere. În treimea din stânga și dreapta, unde compozitul s-a desprins pe o porțiune mai mare, fibra nu s-a rupt, ci a flambat. Și în acest caz deplasările relative între cele două jumătăți de perete au generat în fibră efectul de dorn. Acest efect se poate vedea foarte bine pe figurile cu detaliile de rupere. Mai trebuie menționat faptul, că la forța orizontală maximă a crescut foarte ușor forța verticală, ajungând la 330 kN, iar la ultimii doi pași peretele a avut tendința să iasă din plan.

Încărcarea orizontală maximă a peretelui a atins 335 kN, la care deplasarea a fost de 7.4 mm. Deplasarea maximă la partea superioară a peretelui la terminarea încercării a depășit 42 mm. Deformația specifică maximă din compozit înregistrată a fost de 1.78%, valoare care reprezintă aproximativ 48% din capacitatea portantă la întindere a fibrei.

Diagramele forță-deplasare caracteristice, înregistrările ale deformațiilor specifice din compozit, respectiv detalii de rupere sunt prezentate în continuare.

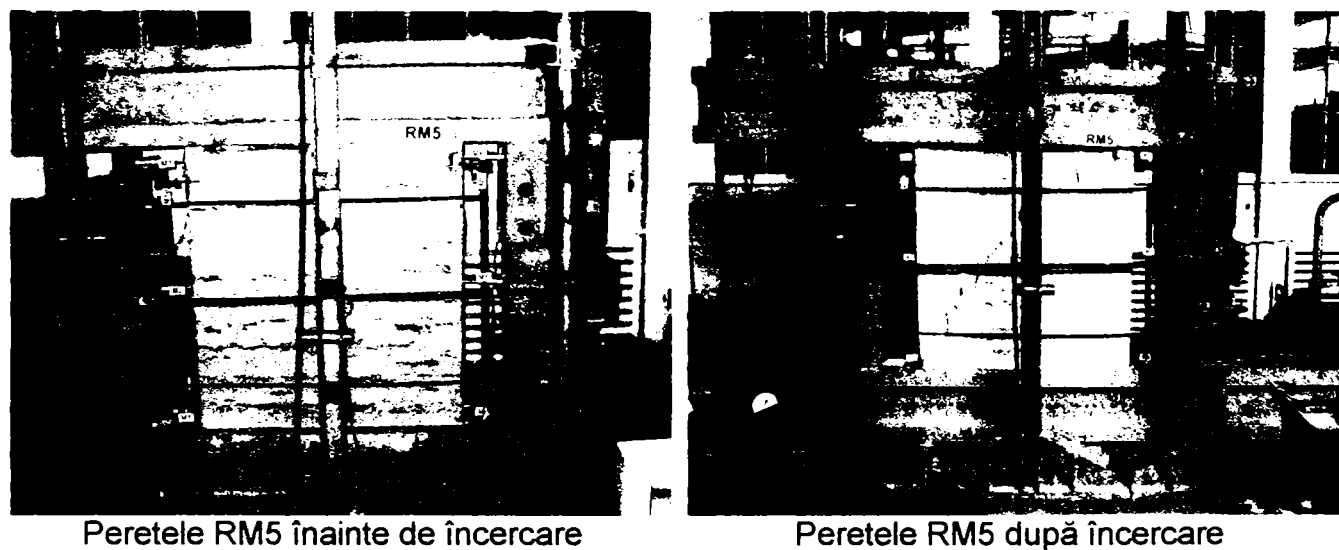


Figura 3.91 – Încercarea peretelui RM5

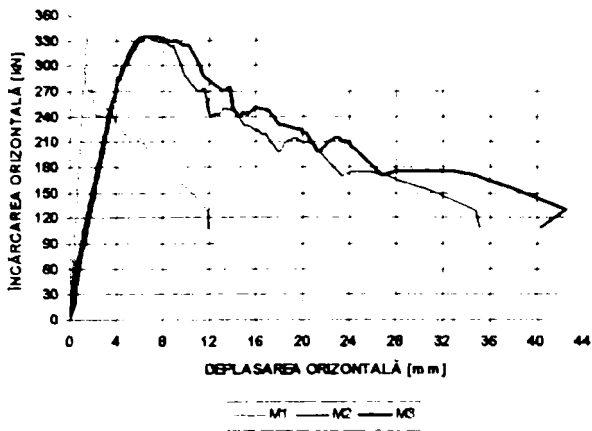


Figura 3.92 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM5 (partea stângă)

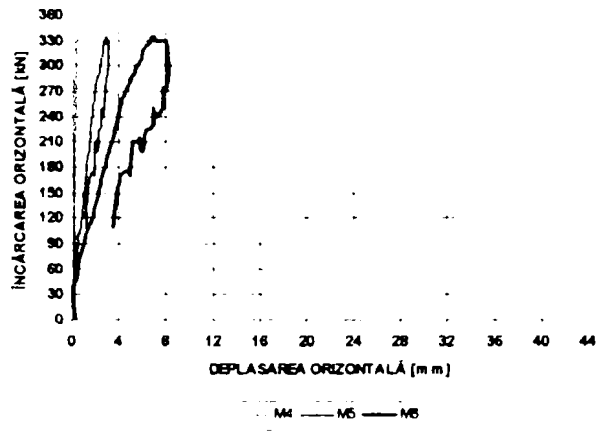


Figura 3.93 - Diagrama forță-deplasare pe orizontală a peretelui RM5 (partea dreaptă)

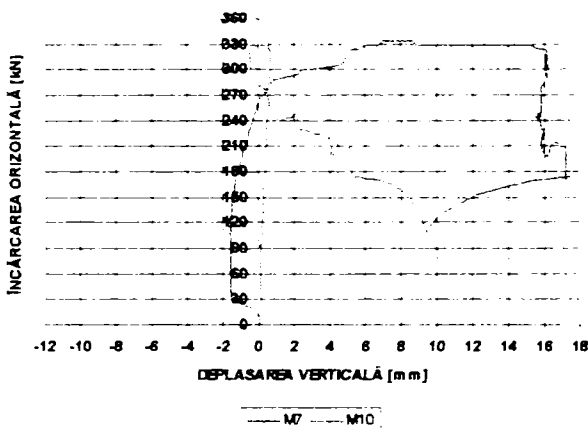


Figura 3.94 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM5 (partea stângă)

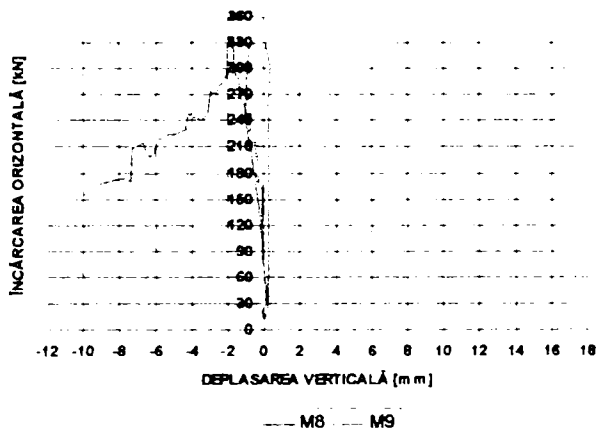


Figura 3.95 - Diagrama forță-deplasare pe verticală a peretelui RM5 (partea dreaptă)

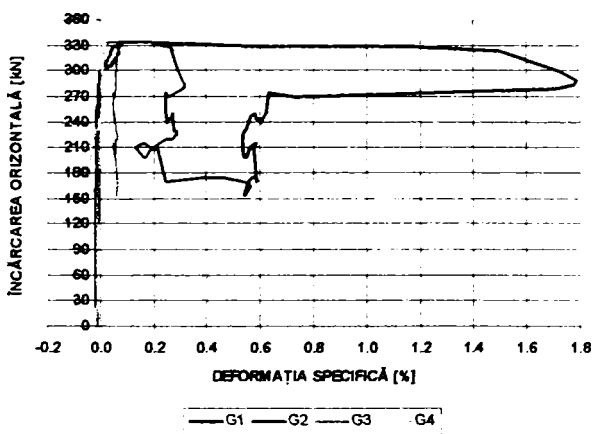


Figura 3.96 - Deformațiile specifice din compozit

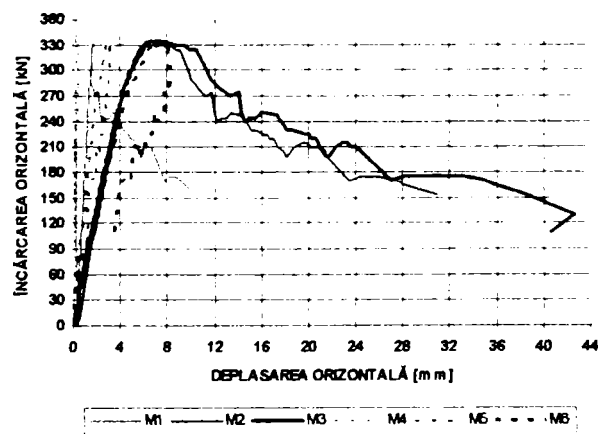
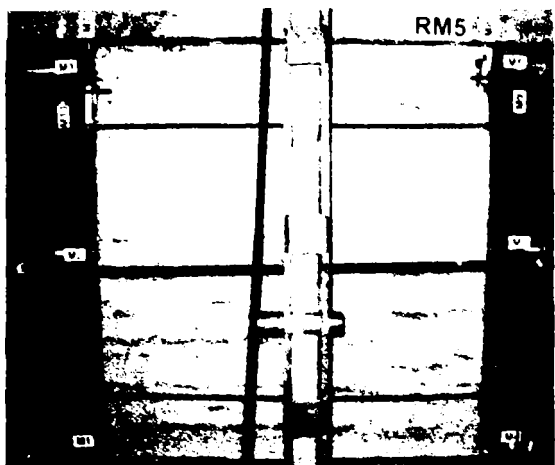


Figura 3.97 - Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe orizontală ale peretelui RM5



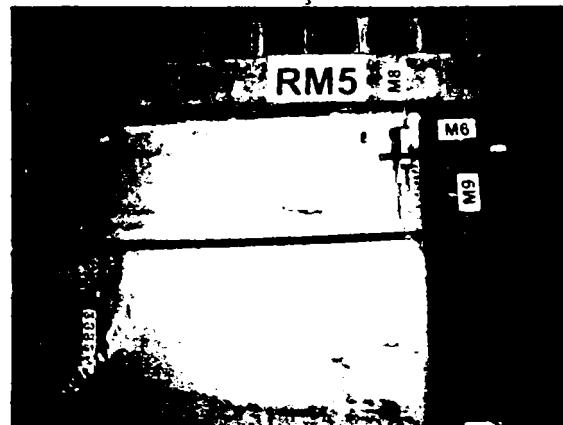
Începerea încercării



Deschiderea ușoară a fisurii



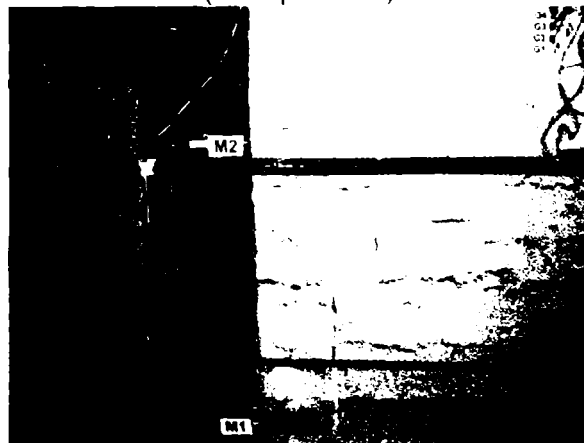
Dezlipirea ușoară a compozitului
(drea ta sus)



Dezlipirile se accentuează
(dreapta sus)



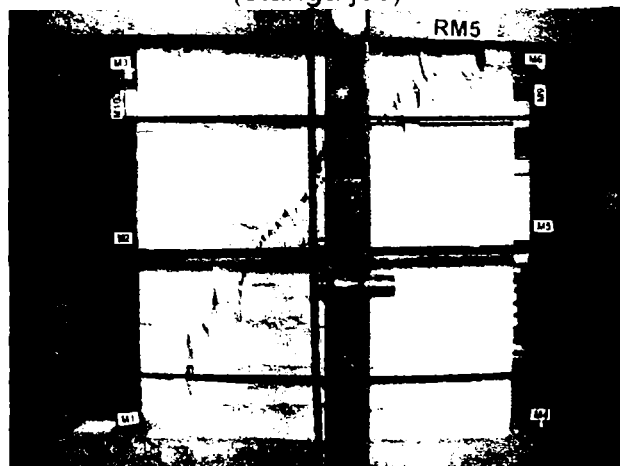
Dezlipirile se accentuează
(mi loc)



Dezlipirile se accentuează
(stânga jos)



Deschiderea fisurii accentuate

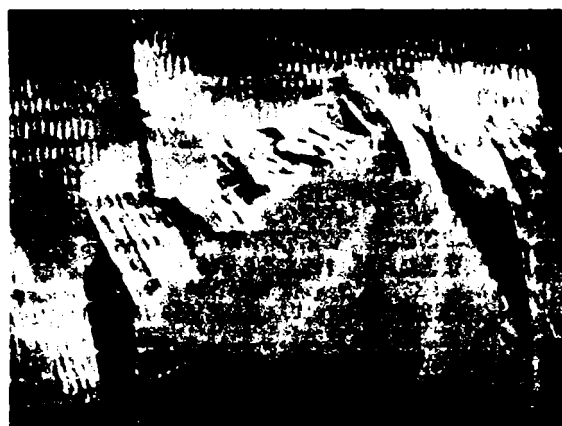


Cedarea elementului

Figura 3.98 – Fazele cedării peretelui RM5



Dezlipirea compozitului (stânga jos)



Dezlipirea compozitului (dreapta sus)



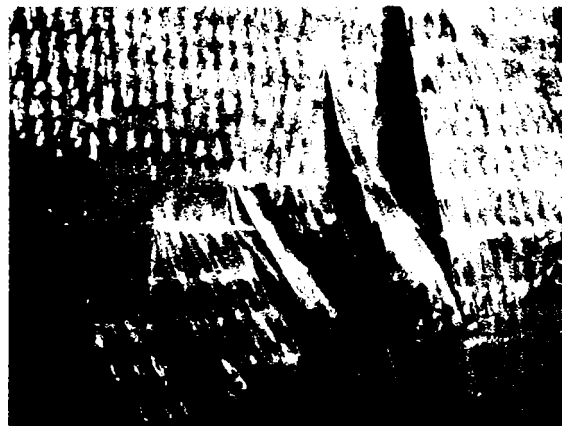
Efectul de dorn în compozit



Porțiuni cu compozitul rupt



Compozitul dezlipit și flambat (a)



Compozitul dezlipit și flambat (b)



Fisura nou formată



Fisura în zona de mijloc

Figura 3.99 – Detalii de cedare a elementului RM5

5.5.4. Compararea rezultatelor

În urma rezultatelor obținute din încercarea elementelor UM4 și RM5, se remarcă următoarele:

- forța de rupere a elementului UM4 a fost de 320 kN , în timp ce a peretelui RM4 a fost de 325 kN , în pofida fisurii inițiale foarte deschise, diferența de capacitate fiind de aproape 5%
- deplasarea pe orizontală a peretelui simplu UM4 la forța orizontală maximă a fost de 16 mm , iar a peretelui consolidat RM5 a ajuns la valoarea de 42 mm , deci creșterea în capacitatea de deformare a fost de 138%
- la cedarea peretelui consolidat, deformația specifică din compozit a atins 1.78% , care reprezintă cca. 48% din rezistența ultimă a fibrei.
- cedarea elementului consolidat nu s-a produs brusc, ca la elementele anterioare, ci prin deschiderea treptată a fisurii existente, respectiv prin apariția unei noi fisuri de cca. 75 cm , concomitent cu dezlipirea compozitului în zona fisurii
- compozitul în treimea dreapta și stânga s-a dezlipit mai pronunțat și a flambat, dar nu s-a rupt, iar pe treimea mijlocie s-a dezlipit pe o lățime foarte mică, apărând efectul de dom și chiar unele rupturi ale compozitului la tăiere.

Suprapunerea diagramelor forță-deplasare pe partea superioară a pereților UM4 și RM5 se poate urmări în figura 3.100.

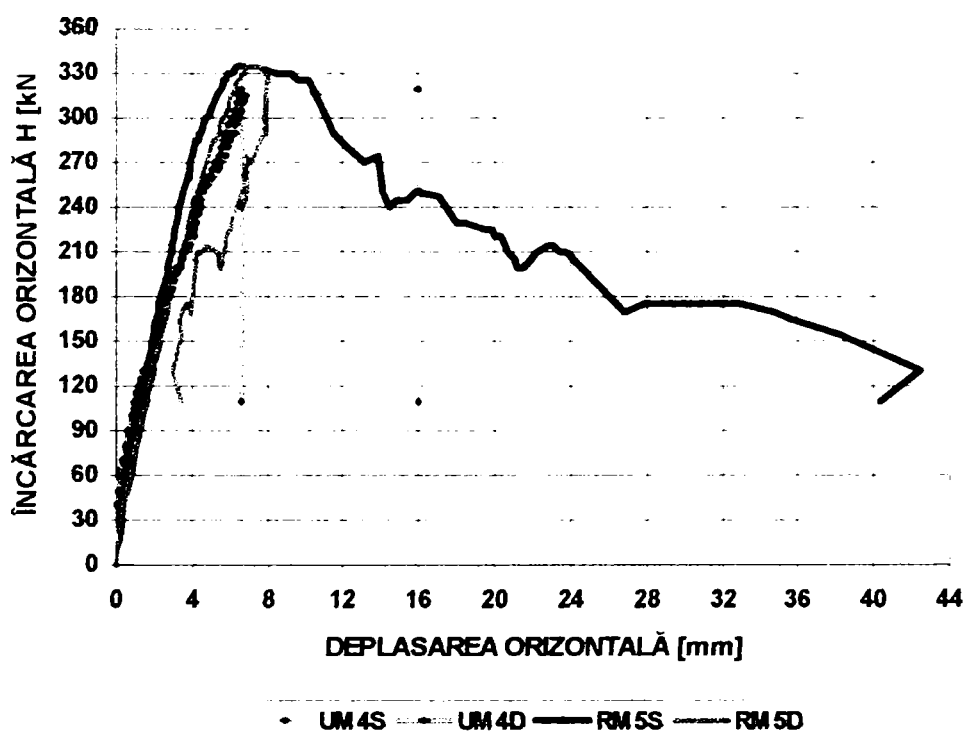


Figura 3.100 - Suprapunerea diagramelor forță-deplasare la partea superioară a pereților UM4 și RM5
(S – deplasarea pe partea stângă, D – deplasarea pe partea dreaptă)

6. Concluzii finale

Pe baza rezultatelor obținute se pot formula următoarele observații și concluzii:

- consolidarea cu compozite a pereților din zidărie simplă fisurați duce la creșterea semnificativă a capacității portante a acestora la tăiere (practic, capacitatea portantă a pereților fisurați este 0 kN);
- din înregistrările deformațiilor specifice din compozit se demonstrează aportul acestuia la capacitatea portantă a zidărilor consolidate precum și conlucrarea compozitului cu zidăria de cărămidă;
- cedarea pereților consolidați s-a datorat deschiderii accentuate a fisurilor, urmată de desprinderea compozitului în zona fisurii, și nu datorită cedării la întindere sau la tăiere a compozitului;
- deplasarea orizontală maximă ale pereților consolidați au crescut de minimum două ori comparativ cu cele inițiale, fapt ce demonstrează creșterea ductilității și a capacității de absorbție de energie a pereților consolidați;
- compatibilitatea cea mai bună dintre compozit și perete de zidărie s-a constatat la fibră de sticlă.

Pereții din zidărie simplă supuși forțelor seismice au o comportare fragilă și cedează fără avertizare. Consolidând astfel de elemente structurale ne-ductile cu compozite, care au de asemenea o comportare fragilă, se obțin elemente a căror caracteristici se pot considera ductile.

Rezultatele încercărilor efectuate sunt prezentate analitic în *tabelul 3.5*.

Tabelul 3.5. Rezultatele sintetice ale încercărilor experimentale

Specimenul	UM1	RM1	UM2	RM3	UM3	RM4	UM4	RM5
Sistemul de consolidare (Hex)	230C		103C		103C		100G	
Rezistența la întindere a fibrei [N/mm ²]	4100		3900		3900		2250	
Modulul de elasticitate a fibrei [N/mm ²]	231000		231000		231000		72400	
Deform. spec. max a fibrei [%]	1.7 (1.5)		1.5		1.5		3.7 (4.0)	
Rezistența mortarului [N/mm ²]	16.9		13.1		14.9		13.1	
Rezistența cărămidii [N/mm ²]	10.6		9.5		9.5		9.5	
Încărcarea verticală constantă V [kN]	200		300		300		300	
Încărcarea orizontală maximă H [kN]	190	145	300	370	325	270	320	335
Diferența de capacitate portantă [%]	- 23.6		+ 23.3		- 16.9		+ 4.7	
Deplasarea orizontală maximă [mm]	8.5	19.7	8.7	17.5	2.8	9.5	16.0	38.1
Diferența în deplasări [%]	+ 131		+ 101		+ 239		+ 138	
Deform. spec. max. în compozit [%]	-	0.50	-	0.15	-	0.12 (0.8)	-	1.78
Modul de cedare a peretelui	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere	tăiere

În opinia autorului, pentru evaluarea cât mai exactă a contribuției compozitului la preluarea forței tăietoare, este necesară considerarea în calcul a următorilor termeni:

- Coeficientul de siguranță pentru compozit (γ_f), care ia în considerare factorii care nu sunt incluși în formula de calcul (de ex. modul de reabilitare al peretelui de consolidat, fisurile și degradările existente în perete)
- Coeficientul de eficiență a consolidării (r), care ia în considerare modul de cedare a compozitului (dezlipire sau rupere la întindere)
- Procentul de armare cu compozit (ρ_f), care este în funcție de grosimea (t_f) și de lățimea compozitului (b_w) aplicat
- Modulul de elasticitate al compozitului (E_f)
- Deformația specifică a compozitului (ε_f), care se poate estima sau determina și care depinde de tipul interfeței compozit-zidărie și de termenul $E_f \rho_f$; după unii autori valoarea limită a deformației specifice este de 0.004.
- Grosimea peretelui (b)
- Lățimea activă a peretelui (d), aceasta fiind după unii autori $d \approx 0.8L$, unde L este lungimea peretelui
- Forța axială de compresiune din perete (N)
- Rezistența la compresiune a zidăriei (f_k)
- Deformația specifică ultimă a zidăriei ($\varepsilon_{M,u}$)
- Unghiul fibrei față de axa peretelui (α)
- Factorul care ia în considerare aplicarea pe una sau pe două fețe (ϕ)

Astfel, formula de calcul generalizată ar putea fi:

$$V = f(\gamma_f; r; \rho_f; E_f; \varepsilon_f; b; d; N; f_k; \varepsilon_{M,u}; \alpha; \phi)$$

Tabelul 3.6. Sinteza formulelor de calcul

Termenii de calcul	Notatii	Autorii (anul apariției formulei)			
		Priestley & Seible (1995)	Triantafillou (1997/1998)	Gergely & Young (2001)	ICC ES AC125 (2003)
Coeficientul de siguranță pentru compozit	γ_f	-	*	-	-
Coeficientul de eficiență a compozitului	r	-	*	-	-
Procentul de armare cu compozit	ρ_f	-	*	*	*
Modulul de elasticitate al compozitului	E_f	*	*	*	*
Deformația specifică a compozitului	ϵ_f	0.004	$f(\rho_f E_f)$	*	0.004
Grosimea peretelui	b	-	*	-	-
Lățimea activă a peretelui	d	*	0.8L	*	*
Forța axială de compresiune din perete	N	-	*	-	-
Rezistența la compresiune a zidăriei	f_k	-	*	-	-
Deformația specifică ultimă a zidăriei	$\epsilon_{M,u}$	-	*	-	-
Unghiul fibrei față de axa peretelui	α	0°	0°	*	*
Factorul care ia în considerare aplicarea pe una sau pe două fețe	ϕ	-	-	*	*

IV. PEREȚI DIN BETON ARMAT CONSOLIDAȚI CU COMPOZITE

1. Introducere

Schimbările nevoilor sociale, îmbunătățirea normelor de calcul, cerințele de siguranță crescute și degradările apărute în urma evenimentelor seismice impun îmbunătățirea structurilor clădirilor existente prin consolidare. Unele dezavantaje ale tehnicilor tradiționale de consolidare a condus cercetătorii la dezvoltarea unor metode inovative, utilizând compozite polimerice armate cu fibre.

În ultimii ani, utilizarea compozitelor polimerice pentru consolidarea clădirilor existente a crescut datorită ușurinței de aplicare și a rezistenței la întindere ridicată a materialelor. Considerând proprietățile lor mecanice și în special comportarea lor linear elastică până la rupere iau naștere diverse întrebări privind eficiența acestora în consolidarea elementelor structurale supuse la încărcări seismice.

Într-o structură din beton armat, supusă la încărcări seismice, disiparea energiei induse (introduse) se datorează deformațiilor plastice a armăturii întinse și comprimate, respectiv frecării în fisurile din beton. Acest tip de comportare benefică nu poate fi dezvoltată de compozit, deoarece aceste materiale practic nu au rigiditate la compresiune, iar la întindere se comportă linear elastic. În dreptul fisurilor din beton au fost observate dezlipiri ale compozitului pe îmbele părți a fisurii, de aceea în aceste locuri compozitul nu poate dezvolta eficient rezistența la întindere. În zonele de ancoraj ale elementelor din beton armat, după pierderea coeziunii între armăturile din oțel și beton, mai rămâne totuși o legătură, datorită blocării (prinderii) nervurilor armăturii în betonul înconjurător. În schimb, în zonele de ancoraj ale lamelelor sau a fâșiilor, dezlipirea materialului compozitului de pe suprafața elementului este foarte fragilă, ceea ce duce la un comportament nedorit [4].

Cercetările privind comportarea elementelor din beton armat consolidate cu compozite, în mare parte au fost focalizate pe grinzi și stâlpi. Deși aplicarea compozitelor pe pereți din beton armat este o soluție simplă, a atras mult mai puțină atenție din partea cercetătorilor, în acest domeniu fiind publicate foarte puține lucrări.

În cadrul Departamentului C.C.I.A. al Facultății de Construcții și Arhitectură (UPT) a fost demarat un program de cercetări, care a propus investigarea unor pereți din beton armat consolidați cu materiale compozite polimerice, măbind astfel capacitatea portantă la încovoiere și tăiere a acestor pereți. Pereții experimentali din beton armat au constituit subiectul unei alte teze de doctorat, elaborată de d-l ing. Marius Moșoarcă [71]. După încercările efectuate în cadrul tezei mai sus menționate pereții structurali din beton armat au fost consolidați cu compozite cu fibră de carbon pe o singură față și reîncercați experimental. În acest capitol sunt prezentate rezultatele acestor încercări experimentale.

2. Rezultate din literatura de specialitate privind consolidarea perților din beton armat cu compozite

În continuare sunt prezentate rezultatele experimentale referitoare la consolidarea cu compozite polimerice a perților din beton armat avute la dispoziție de autorul tezei.

2.1. Cercetările efectuate de Lomabard, Lau, Humar, Foo și Cheung [63] (2000)

Obiectivele cercetării le-au constituit studiul eficienței utilizării fâșiilor din fibră de carbon pentru consolidarea și repararea pereților din beton armat. Pentru aceasta au fost încercați experimental patru pereți din beton armat de dimensiune $2.0 \times 1.5 \times 0.1$ m, din care unul a fost peretele martor, un perete reparat și doi consolidați. Elementele au fost încărcate în planul lor până la rupere, într-un mod predeterminat ciclic cvasi-static.

Pentru a mări sau a reface rezistența la încovoiere și rigiditatea pereților din beton armat, au fost aplicate fâșii din fibră de carbon pe ambele fețe ale elementelor, orientate în direcția verticală. Pentru ca sistemul să aibă eficiență, fâșiile s-au ancorat în fundații, asigurând astfel transferul încărcărilor din compozit în elementul structural adiacent. Sistemul de ancoraj este o problemă delicată în cazul consolidărilor cu compozite, acest lucru constituind și cheia succesului unei consolidări.

Pentru a mări sau a reface rezistența la forță tăietoare a pereților din beton armat, fâșiile au fost aplicate pe fața elementului orientate în direcția orizontală.

Primul element încercat a fost elementul martor, care a fost testat până la rupere, după care a fost reparat prin aplicarea unui strat de compozit pe ambele fețe și retestat. În urma testelor a rezultat o creștere a încărcării la limita elastică a peretelui reparat cu 29% față de cea inițială, respectiv o refacere a rigidității inițiale în proporție de 90%. Rezistența ultimă a peretelui reparat a crescut cu cca. 80%.

Al doilea perete a fost consolidat cu fâșii din fibră de carbon, fără să fie avariat. Consolidarea a constat dintr-un strat de compozit aplicat pe ambele fețe doar pe direcție verticală. În urma consolidării rezistența la fisurare a crescut cu 82%, încărcarea la limita elastică a peretelui consolidat a crescut cu 25%, iar rigiditatea secantă a crescut cu 190% față de peretele martor. Rezistența ultimă a peretelui consolidat a crescut doar cu 46%, datorită cedării premature a ancorajului.

Al treilea perete a fost consolidat cu fâșii din fibră de carbon, înainte de a fi supus încercărilor experimentale. Compozitul a fost așezat într-un strat orizontal și în două straturi verticale, aplicate pe ambele fețe. În urma consolidării rezistența la limita elastică a peretelui consolidat a crescut cu 39%, iar rigiditatea a crescut cu 54%. Rezistența ultimă a peretelui consolidat a crescut cu 132%. La ruperea compozitului s-a observat o scădere imediată a capacității portante cu 50-60%, spre deosebire de cedarea prin ruperea armăturilor verticale, când această valoare este de regulă de ordinul 15-30%.

Rezultatele au arătat, că lipirea fâșiilor compozitelor pe suprafața pereților din beton armat este o soluție eficientă de reparare și consolidare antiseismică. În concluzie se poate aprecia, că acest tip de consolidare poate fi aplicată pentru refacerea rigidității elastice, mărirea încărcării elastice și a capacității la încovoiere ultime a pereților avariați. Consolidările pot fi utilizate pentru mărirea rigidității secante la curgere, a încărcării de fisurare și încărcării de curgere, respectiv pentru sporirea capacității ultime la încovoierea pereților neavariați. Sistemul de ancoraj a fâșiilor verticale este un element important al sistemului de consolidare.

2.2. Cercetările efectuate de Antoniadis, Salonikios, Kappos [4] [5] (2003)

Scopul programului experimental a fost studiul comportării antiseismice a pereților din beton armat, care inițial au fost încărcăți până la rupere apoi consolidați cu compozite și retestați. Consolidarea pereților s-a făcut prin înlocuirea zonelor degradate cu un mortar de înaltă rezistență, sudarea armăturilor rupte, iar în final prin înfășurarea cu compozite și adăugarea unor benzi la capete. Scopul urmărit a fost de a mări capacitatea portantă la tăiere și încovoiere a pereților

Elementele încercate au fost la scara 1:2.5, șase din ele având dimensiunea de 1800 x 1200 x 100 mm [4], iar cinci fiind de 1200 x 1200 x 100 mm [5]. Încărcările au fost aplicate ciclic, până la rupere, generând deformații plastice mari.

Modurile de rupere au fost similare pentru toți pereții. Consolidările s-au efectuat prin aplicarea unor benzi cu fibră de carbon la capete în direcție verticală, pentru mărirea rezistenței la încovoiere și prin înfășurarea peretelui pe o înălțime de 1200 mm cu fâșii din fibră de sticlă așezate orizontal. La unii dintre pereți fâșia a fost aplicată doar pe o față. Toți pereții au fost testați în zece zile de la efectuarea consolidărilor.

Concluziile rezultate în urma încercărilor experimentale au fost următoarele:

- rezistența la încovoiere a pereților consolidați cu compozite, față de elementul martor, a crescut cu 2% (în cazul cedării premature a ancorajului) până la 32% (în condiții bune de ancoraj);
- ancorarea fâșiilor verticale este dificilă, iar zonele de ancoraj sunt susceptibile la cedare sub întindere, de aceea trebuie prevăzute lungimi de ancoraje mari, sau corniere, pentru a preveni desprinderile premature;
- utilizând înfășurarea cu compozite rezistența la forță tăietoare a pereților structurali supuși la încărcări orizontale crește;
- comportarea histeretică capacitatea de disipare a energiei a pereților consolidați este în general mai slabă decât a pereților martori, în principiu din cauză că deformațiile plastice se concentrează la o fisură critică, formată la interfața mortarului de reparare și baza peretelui;
- dintre ancorajele testate cele mai eficiente au fost plăcile metalice combinate cu țesături; eficiența ancorajelor lipite au fost în general mai mici;
- în toate cazurile cedarea ancorajului din compozit este fragilă, dar apare numai după ce rezistența maximă a fost atinsă și de regulă este urmată de ruperea armăturii de oțel în zonele critice.

După încercările experimentale autorii prezintă o metodă de evaluare a aportului consolidărilor. Pentru aceasta se impune o rezistență a compozitului (f_j), determinată cu formula

$$f_j \leq \varepsilon_f \cdot E_f \quad (1)$$

unde

$$\varepsilon_f = \min\{5\varepsilon_{sy}; \varepsilon_{fu} / 2; 0.008\} \quad (2)$$

și

$$f_j = 0.004 E_f \leq 0.75 f_{uj} \quad (3)$$

iar E_c este modulul de elasticitate a fâșiei compozit, ε_{s0} este deformația specifică din armătura de oțel, ε_{cu} este deformația specifică ultimă din compozit, f_{uj} rezistența la întindere ultimă din compozit.

Deformația specifică din compozit ε_c corespunde cedării prin dezlipire a compozitului din zona fisurii de încovoiere.

Aportul consolidării la tăiere a compozitului se calculează cu formula:

$$V_{R2} = 2t_f \cdot f_c \cdot l_w \quad (4)$$

din care t_f este grosimea compozitului și l_w lungimea peretelui.

2.3. Alte cercetări din domeniul pereților consolidați cu compozite

Paterson și alții (2003) [76]

Obiectivele studiilor le-au constituit determinarea eficienței utilizării combinate a armăturilor cu ancoraj mecanic (headed reinforcement), a înfășurării cu fibră de carbon și adăugarea unei cămășuri din beton armat pentru consolidarea pereților mai vechi. Scopul consolidării a fost de a îmbunătăți ductilitatea sistemului și capacitatea de absorbție de energie a pereților slab detaiate.

Rezultatele finale au arătat că utilizarea combinațiilor a armăturilor cu ancoraj mecanic (headed reinforcement) și fibră de carbon sunt eficiente în creșterea confinării peretelui și a ancorării armăturilor transversale. Înfășurarea cu fibră de carbon a fost de asemenea eficientă în reducerea numărului de fisuri cauzate de forța tăietoare în elementele testate.

Iso și alții (2000) [47]

Obiectivele cercetării au fost investigarea efectului de consolidare și a performanței structurale a stâlpilor din beton armat, având pereți (wing walls) consolidați cu compozite. Au fost testate 16 specimene sub încărcări seismice simulate. Variabilele principale ale testelor au fost configurațiile pereților aripi, metodele de lipire a compozitelor, respectiv tipul și cantitatea fibrelor dispuse ca și armături pentru preluarea forței tăietoare.

Rezultatele au arătat că metodele de consolidare utilizând fâșii din fibră de carbon și aramidă pot îmbunătăți comportarea seismică a stâlpilor cu pereți, în privința rezistențelor la tăiere. Rezistența la forță tăietoare a crescut proporțional cu cantitatea de fibre, până la o anumită limită a cantității de compozit.

Sugiyama și alții (2000) [96]

Obiectivele lucrării, printre altele au fost de a propune o metodă de consolidare utilizând fibre de carbon pentru controlul modului de cedare a cadrelor din beton armat, cu pereți nestructurali din beton armat monolit.

Concluziile obținute au fost că tehnica de consolidare folosind fâșii din fibră de carbon, a îmbunătățit nivelul de degradare a pereților nestructurali din beton armat din cadrele de beton. În special deformația golurilor de ușă și deschiderea fisurilor sunt cele care se pot controla prin consolidarea cu compozite din fibră de carbon.

McMullin și alții (2003) [67]

Obiectivele lucrării au fost prezentarea programului experimental privind utilizarea compozitelor polimerice armate cu fibră de carbon pentru reabilitarea legăturilor între pereți și diafragme din beton armat prefabricat. Au fost testate, la scară reală, nouă asamblaje de panouri de pereți prefabricați cu conectori din compozite cu fibră de carbon.

Rezultatele încercărilor au arătat, că conexiunile dezvoltate în acest studiu sunt opțiuni viabile pentru reabilitarea legăturilor pereților din beton armat prefabricat și a diaframelor orizontale. Este de subliniat faptul că aceste conexiuni sunt mai economice și mai ușor de aplicat decât altele. Conexiunile pot transfera eficient eforturile de tăiere între elementele din beton prefabricat. Capacitatea conectorilor din compozite poate să varieze în funcție de necesitățile răspunsului structurii, aceasta poate fi realizată prin modificarea lungimii verticale a conectorului.

Ancorajele lipite au un efect semnificativ în capacitatea ultimă a conexiunilor. La aplicarea acestor ancoraje au fost observate creșteri ale deformațiilor specifice din compozit de 50%, în comparație cu conexiunile fără ancoraje. Capacitatea portantă a conexiunilor a crescut proporțional cu deformația specifică din compozit.

Deoarece conexiunile sunt sensibile la erori de construcție de genul ieșiri din plan, la pereți cu fețe nealiniat, se recomandă utilizarea compozitelor mai moi (nu lamele), care se conformează cu neregularitățile suprafeței și dau o legătură mai bună cu betonul.

2.4. Recomandarea privind consolidarea pereților din beton armat cu compozite [N9]

Singura recomandare privind consolidarea pereților din beton armat cu materiale compozite polimerice disponibilă în momentul de față este cea publicată de *Consiliul Internațional de Cod*, sub denumirea de ICC ES AC125, care a fost prezentată și în capitolul 3, fiind valabilă și pentru zidării.

În acest document se găsesc câteva prescripții minime privind modurile de încercări standardizate, anumite criterii minime care trebuie îndeplinite la încercare de materialul sau de elementul încercat. Astfel, pentru un perete, cu secțiune dreptunghiulară, având lungimea H , paralelă cu forța tăietoare aplicată, respectiv cu grosimea fibrei t_f pe ambele fețe a peretelui, înclinată cu unghiul θ față de axa elementului, sporul de rezistență nominală la tăiere este dat de formula:

$$V_s = 2t_f f_j H \sin^2 \theta \quad (5)$$

unde f_j este tensiunea din fibră, determinată cu formula

$$f_j = 0.004E_j \leq 0.75f_{uj} \quad (6)$$

din care E_j este modulul de elasticitate a materialului compozit, iar f_{uj} este efortul de întindere ultimă din compozit.

Dacă peretele este consolidat doar pe o singură față, la un unghi mai mare decât 75° față de axa peretelui și prevăzut cu un ancoraj la capătul peretelui, sporul de rezistență nominală la tăiere se poate obține astfel:

$$V_s = 0.75t_f f_j H \sin^2 \theta \quad (7)$$

3. Cercetări anterioare [71]

Așa cum s-a precizat în introducere, cercetările privind consolidarea pereților structurali din beton armat cu compozite polimerice sunt de fapt o continuare a studiilor efectuate de d-l ing. Marius Moșoarcă [71] în teza de doctorat, elaborată în 2004. În continuare sunt prezentate câteva aspecte legate de problema studiată și principalele rezultate obținute.

3.1. Obiectivele cercetării și rezultatele din literatura de specialitate

Obiectivele cercetării le-au constituit studiul comportării pereților structurali cu goluri decalate dispuse ordonat pe verticală la acțiuni seismice ciclic alternante, respectiv influența pozițiilor acestor golurilor.

Cercetările efectuate de Paulay au demonstrat că mărimea și aranjarea deschiderilor nu au avut un efect semnificativ asupra comportării disipative a pereților. Testele au arătat că atunci când proiectăm pereți cu goluri neregulate, este necesară utilizarea a două modele de bare independente pentru încărcări laterale aplicate în sens pozitiv și negativ.

Cercetările efectuate de Wight au arătat că, pereții cu goluri decalate prezintă un comportament seismic bun, cu mult mai puțină armătură decât cea cerută pentru sisteme de pereți cuplați. Disiparea de energie la toate modelele încercate s-a produs ca urmare a curgerii armăturilor și a deschiderii fisurilor. Pe măsură ce distanța dintre golurile ușilor scade, pereții disipează mai puțină energie.

Pe baza datelor din literatura de specialitate s-a putut trage concluzia că în nici una dintre încercările experimentale nu s-au înregistrat cedări la bază ale extremităților montantului mare. De asemenea, nu s-au înregistrat cedări din forțe tăietoare la baza montantului mic. Cea mai mică valoare a deplasării orizontale la care s-a produs cedarea montantului mic, s-a înregistrat pentru cea mai redusă valoare a unghiului α , deci când golul de ușă a fost situat cel mai aproape de extremitatea peretelui.

O concluzie importantă rezultată în urma încercărilor experimentale este aceea, că deși zona dintre goluri nu s-a armat puternic ca urmare a eforturilor de forfecare medii, nu s-au înregistrat zdrobiri ale betonului, deci aria necesară de armare a acestor pereți este mai redusă, decât cea necesară armării pereților structurali cuplați, solicitați de aceleași forțe.

Din punct de vedere al rigidității, toate studiile subliniază sporul de rigiditate înregistrat de pereții de beton, ca rezultat al decalării pe verticală a golurilor de ușă. Rigiditatea pereților este însă puternic influențată de mărimea golurilor, autorii sugerând faptul că rigiditatea pereților plini este egală cu rigiditatea pereților cu goluri, a căror arie nu depășește 10% din aria peretelui.

Rigiditatea la încovoiere variază și în funcție de poziția golurilor: înregistrează o valoare maximă pentru $\alpha = 62^\circ$ și o valoare minimă pentru $\alpha = 32^\circ$, deci scade simultan cu valoarea unghiului α .

Cantitatea de energie disipată, în pereții structurali cu goluri decalate este influențată de poziția și dimensiunile golurilor de ușă. Din cercetările experimentale a rezultat că pereții structurali cu goluri mici pot disipa o cantitate de energie mai mare decât cei cu goluri mari, mai redusă decât a pereților plini și aproape egală cu cea a pereților cuplați. Din punct de vedere al influenței poziției golurilor, cea mai mare cantitate de energie disipată se înregistrează pentru valori ale unghiului α cuprinse în

intervalul de $32-45^\circ$ și scade progresiv cu reducerea distanței dintre goluri. Disiparea de energie în toate modelele experimentale s-a produs ca urmare a curgerii armăturilor verticale de la extremitățile montanților și a fisurării betonului din pereți.

În funcție de poziția și dimensiunile golurilor, pereții înregistrează valori reduse ale ductilității de deplasare, cuprinse între 2 și 3 pentru o deplasare relativă de 1% și cuprinse între 5 și 6 pentru o deplasare relativă de 2%. Ductilitatea de deplasare este influențată și de direcția de acțiune seismică, ea înregistrând cele mai mici valori când montantul mic este comprimat.

Încercările experimentale au confirmat o bună comportare seismică a pereților structurali cu goluri decalate, dimensionați pe baza procedurii modelelor de bare.

3.2. Studii teoretice asupra comportării seismice a pereților structurali cu goluri decalate

3.2.1. Descrierea modelului

Pentru a stabili corect încărcările care acționează asupra modelelor studiate, s-a considerat peretele cu goluri decalate ce face parte dintr-o clădire administrativă, cu regimul de înălțime P+3E (fig. 4.1). În figura 4.2 este prezentată o secțiune prin casa scării, în zona în care sunt amplasați pereții structurali cu goluri decalate.

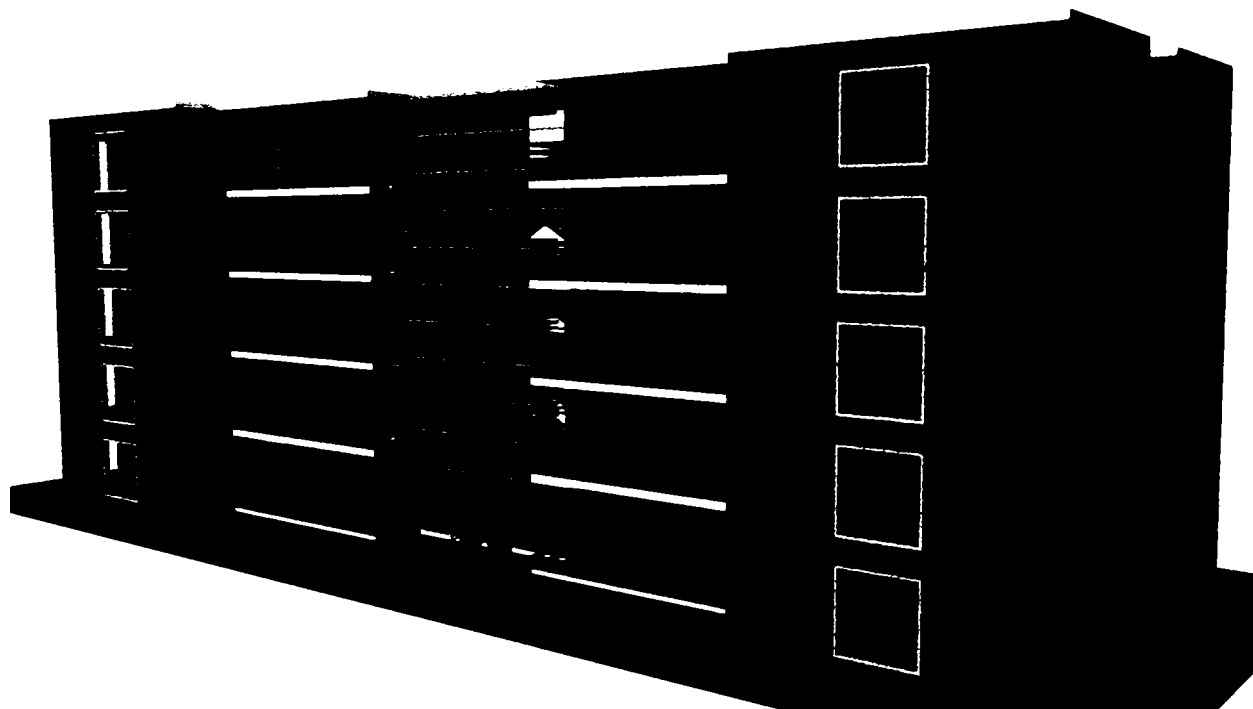


Figura 4.1 – Vedere a clădirii considerate

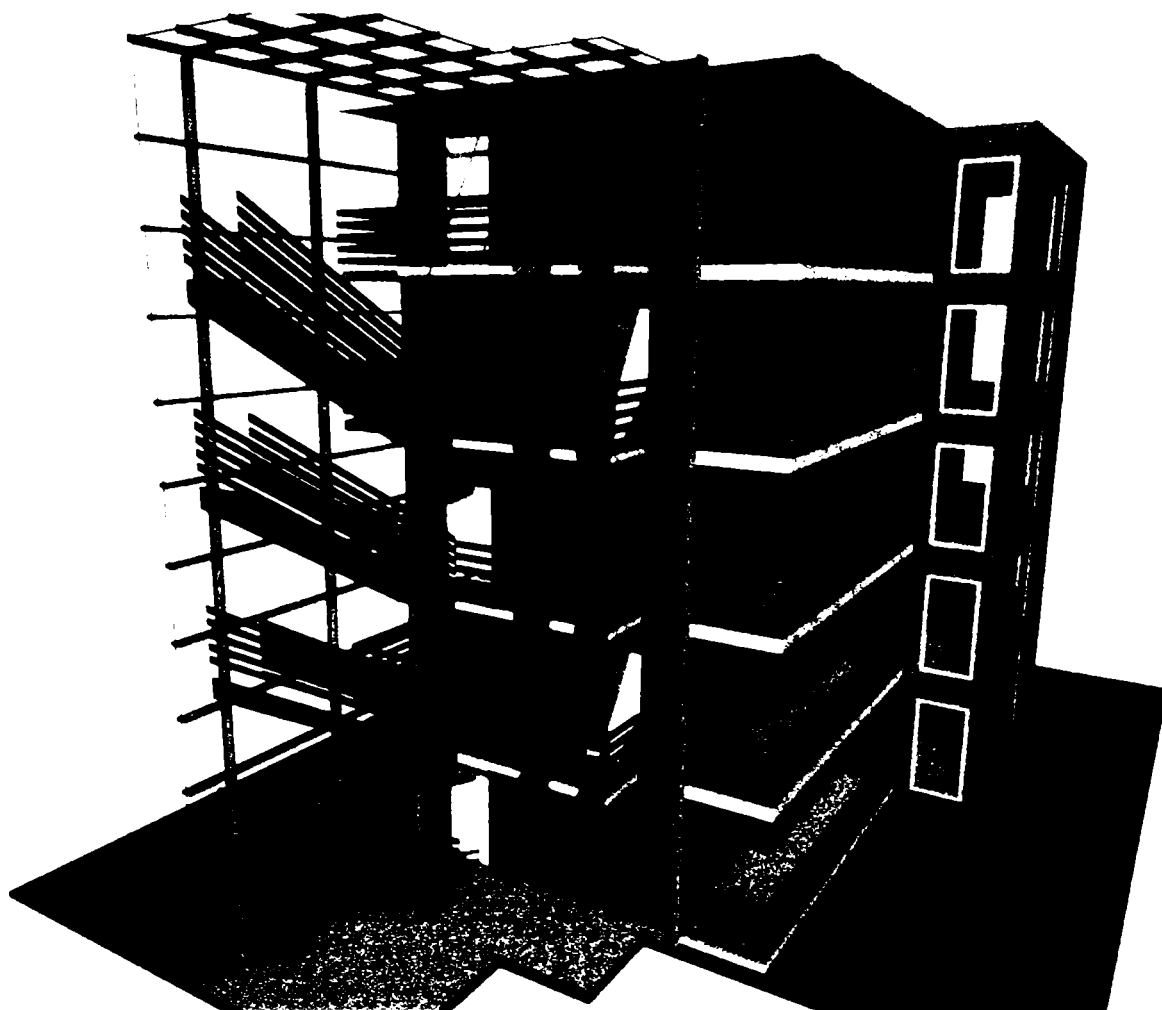


Figura 4.2 – Secțiune transversală prin casa scării

Dimensiunile și forțele ce acționează asupra pereților structurali au fost alese astfel încât:

- să poată fi studiată influența golurilor asupra pereților structurali cu înălțime medie, la care raportul laturilor $h_w / l_w = 2$;
- să permită realizarea și manipularea modelelor experimentale. Dimensiunile modelelor reprezintă $1/4$ din dimensiunile peretelui real;
- să se încadreze în limitările impuse de standul experimental din laboratorul CCIA.

În *tabelul 4.1* sunt prezentate dimensiunile pereților reali, a modelelor experimentale, iar în *figura 4.3* este reprezentat modul de notare a dimensiunilor.

Tabelul 4.1 – Dimensiuni perete structural real și model experimental

Dimensiunea	Notare	Perete structural [cm]	Model experimental [cm]
Înălțime perete	h_w	1040	260
Lățime perete	l_w	500	125
Grosime perete	b_w	25	8
Înălțime etaj	h_s	260	65
Înălțime ușa	h_d	200	50
Lățime ușa	l_d	100	25

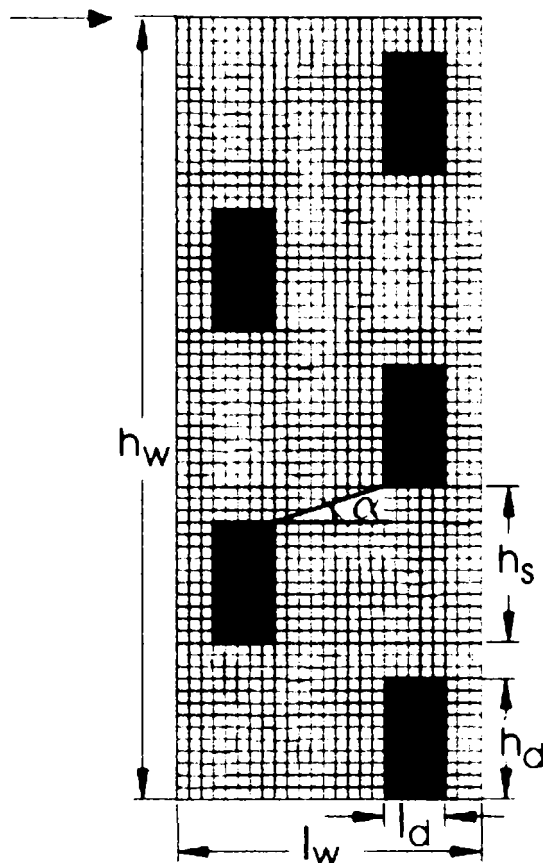


Figura 4.3 – Modul de cotare a dimensiunilor modelelor

S-au studiat cinci tipuri de pereți structurali: trei cu goluri decalate pe verticală, unul plin și unul cu goluri dispuse ordonat pe verticală. Pereții studiați au fost diferențiați prin valorile unghiului α . Modul de notare al pereților, în funcție de poziția golurilor și direcția de acțiune seismică sunt prezentate în tabelul 4.2 și figura 4.4.

Tabelul 4.2 – Modul de notare a modelelor experimentale

Direcția de acțiune seismică	Pereți cu goluri				Perete plin
	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 32^\circ$	$\alpha = 18^\circ$	
Seism stânga	SW 8	SW2	SW4	SW6	SW1
Seism dreapta	SW8	SW3	SW5	SW7	SW1

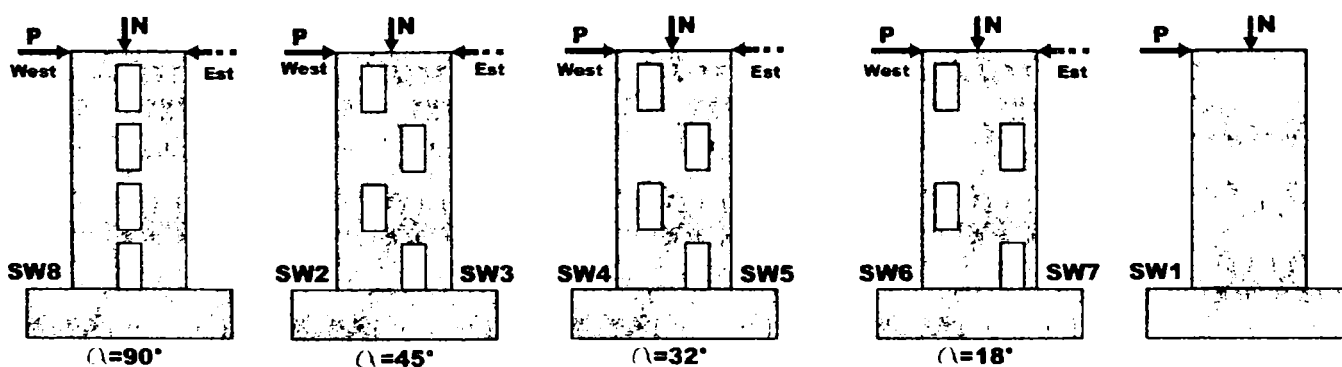


Figura 4.4 – Notarea modelelor experimentale în funcție de direcția de acțiune seismică

Toți pereții au fost solicitați de aceleași forțe orizontale și verticale. Încărcarea utilă normată care a acționat asupra planșeului a avut valoarea de 200 daN m^2 , iar greutatea proprie totală normată valoarea de 500 daN m^2 (figura 4.5).

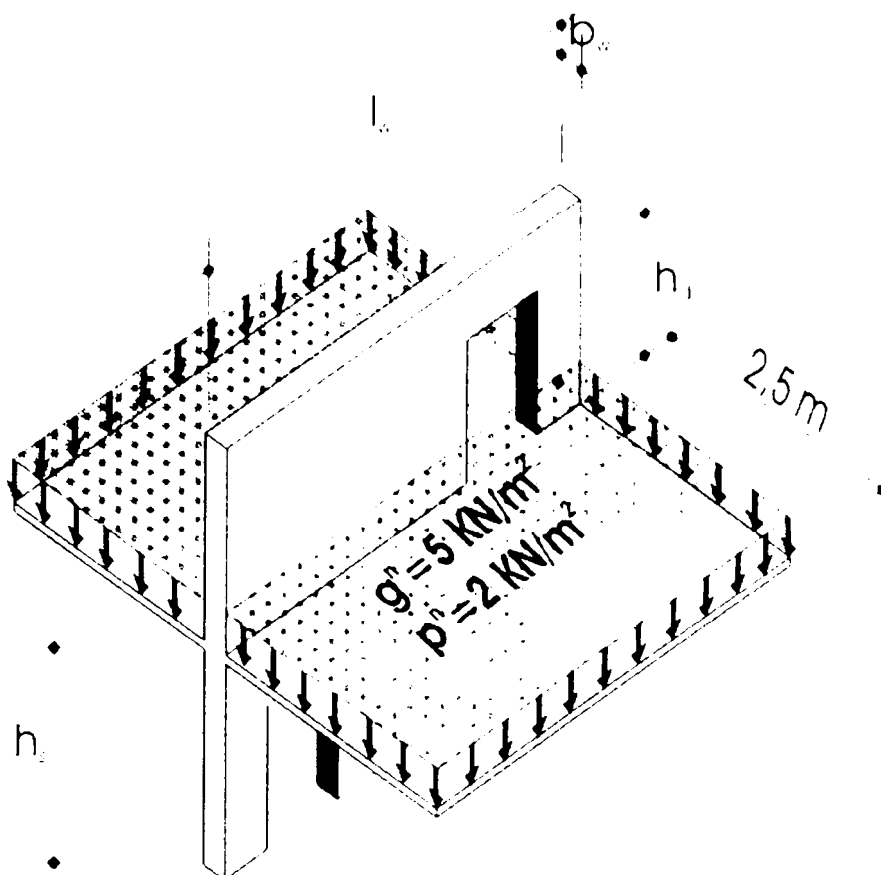


Figura 4.5 – Valorile încărcărilor ce acționează asupra peretelui structural

3.2.2. Analiza comportării în domeniul elastic a pereților

Analiza comportării în domeniul elastic a pereților structurali din beton armat s-a realizat cu ajutorul programului Axis VM, bazat pe metoda cu element finit.

Rezultatele cele mai relevante din acest capitol sunt cele care se referă la distribuția eforturilor unitare principale, deoarece direcțiile eforturilor unitare principale redau cel mai fidel nivelele de solicitare în diversele zone ale tuturor elementelor structurale solicitate static sau dinamic. Prin cunoașterea valorii intensităților acestora și a modului de repartitie a acestora, la diverse nivele de solicitare, se stabilesc măsurile necesare care trebuie fi luate în scopul asigurării tuturor cerințelor stabilite de normativele de proiectare. În figurile 4.6 – 4.10 sunt prezentate distribuțiile și direcțiile eforturilor principale maxime la baza pereților (parter și etajul 1) în funcție de direcția de acțiune seismică. Se observă că:

- valorile unghiurilor, sub care acționează eforturile unitare principale pe secțiunile de beton ale montanților extremi, sunt în general de 0° , 90° , 180° față de axele pereților, deci eforturile unitare principale de compresiune acționează perpendicular pe secțiunea de beton, în timp ce eforturile unitare principale de întindere acționează în lungul axei barelor longitudinale sau transversale ;
- în zona delimitată de goluri, eforturile principale sunt perturbate de prezența acestora și acționează sub diverse unghiuri față de axele pereților. Aceste zone sunt solicitate diferit în funcție de direcția de acțiune seismică: pentru forțe din stânga, legăturile sunt solicitate la eforturi principale de întindere și compresiune, în timp ce pentru cealaltă direcție de acțiune seismică se înregistrează eforturi numai de compresiune după ambele direcții. Deci, în aceste zone trebuie acordată o atenție deosebită modurilor de armare, datorită eforturilor principale de compresiune predominante, care pot produce cedări casante ale legăturilor;

- panourile, delimitate pe verticală de goluri succesive, sunt sollicitate la eforturi principale de întindere sau compresiune în zonele de goluri. Între aceste zone de panouri, eforturile principale acționează înclinat sub diverse unghiuri;
- la extremitățile de la baza montantului mare, eforturile principale acționează în direcții diferite indicând o comportare caracteristică pereților structurali, în timp ce pe întreaga secțiune de beton a montantului mic, eforturile principale au aceeași direcție de acțiune;
- la baza montanților cu goluri decalate se înregistrează valori mai mari ale eforturilor unitare principale de compresiune, în comparație cu valorile înregistrate în zonele similare ale pereților cuplați. În comparație însă cu pereții cu goluri decalate, în pereții cuplați se înregistrează cele mai mari valori ale eforturilor unitare principale de întindere, atât la baza montanților, cât și în zona golurilor;
- valorile eforturilor unitare în pereții cu goluri decalate, variază invers proporțional cu valorile unghiului α .

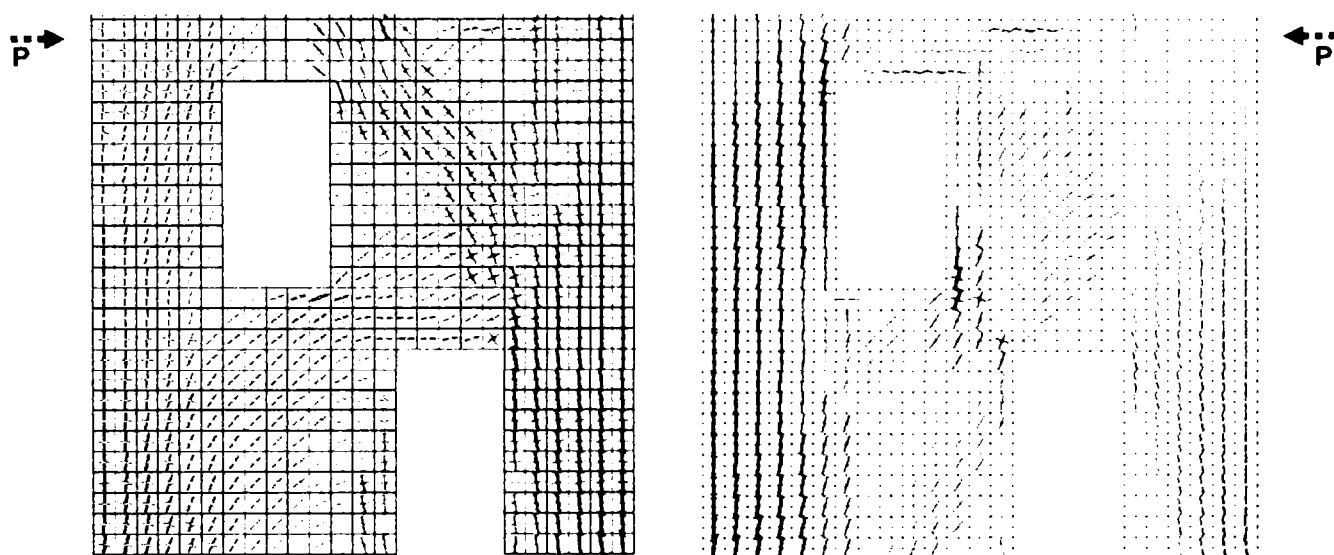


Figura 4.6 – Direcțiile eforturilor principale în peretele SW23

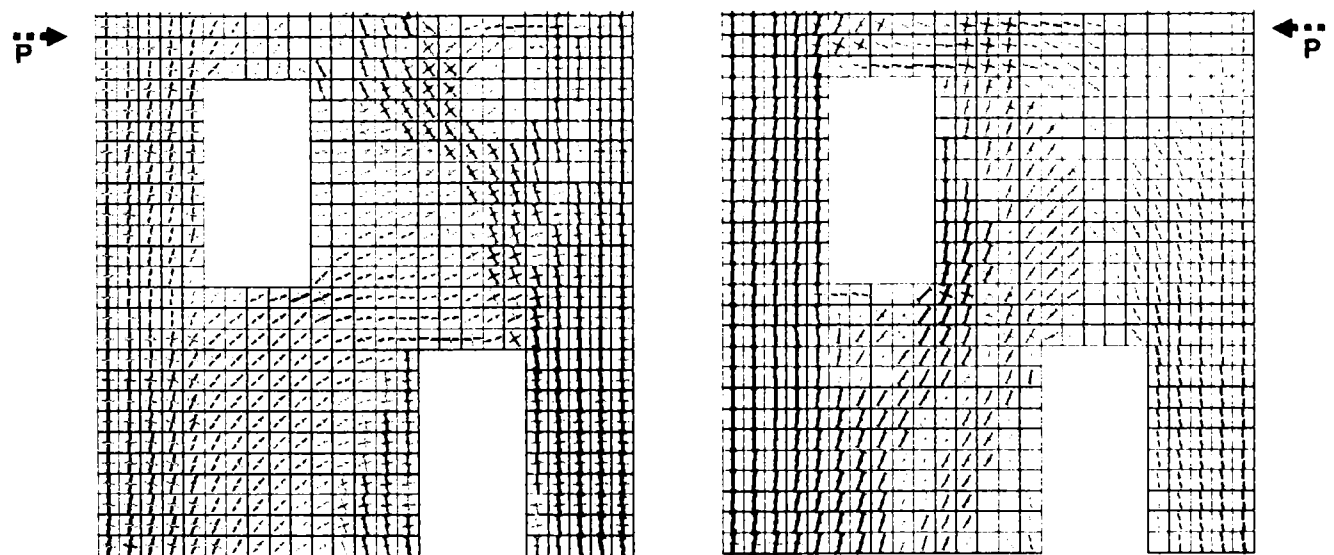


Figura 4.7 – Direcțiile eforturilor principale în peretele SW45

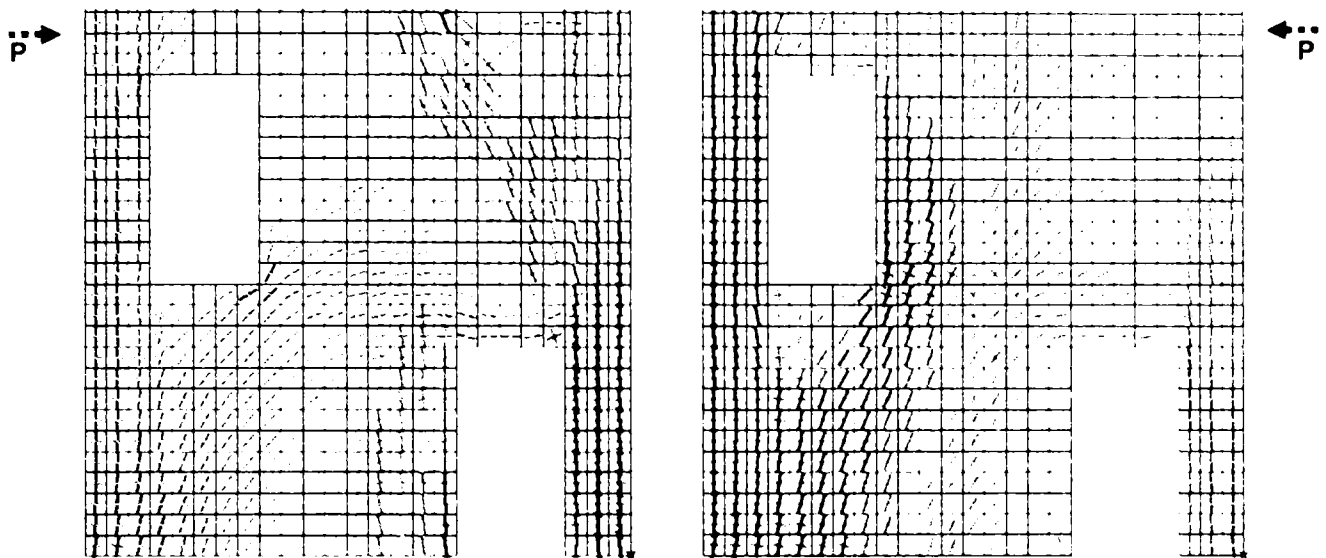


Figura 4.8 – Direcțiile eforturilor principale în peretele SW67

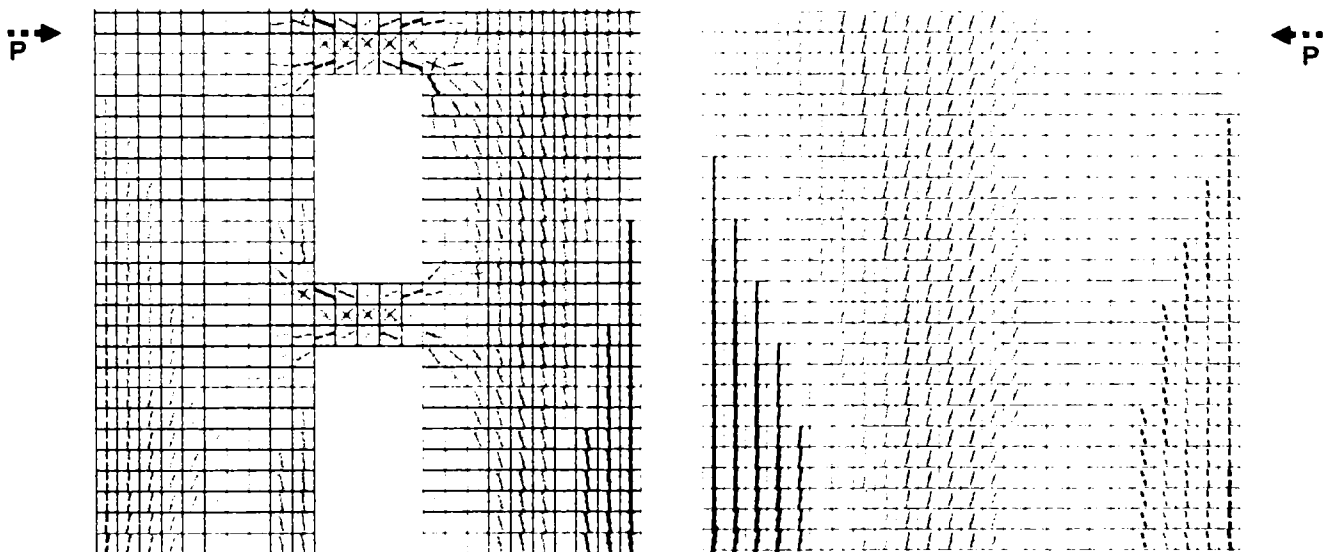


Figura 4.9 – Direcțiile eforturilor principale în peretele SW8

Figura 4.10 – Direcțiile eforturilor principale în peretele SW1

3.2.3. Analiza comportării în domeniul postelastice a pereților

În general, realizarea unei analize în domeniul postelastice a structurilor evidențiază o serie de avantaje economice, structurale și constructive, legate de: identificarea modurilor de cedare a structurilor, determinarea capacității portante reale a structurii, stabilirea exactă a modurilor corecte de armare a zonelor suprasolicitate, obținerea unor valori pentru solicitările de cedare mai apropiate de cele reale, în comparație cu cele determinate de calculul în domeniul elastic, etc. Cercetările experimentale și teoretice efectuate pe pereții structurali din beton armat amplasați în zone seismice au indicat faptul că este total neeconomică proiectarea acestora în scopul obținerii unui răspuns elastic la solicitările seismice. Datorită capacității ridicate de disipare a energiei seismice și a modurilor de cedare ductile, aceștia trebuie proiectați pentru a fi capabili de incursiuni în domeniul postelastice [48].

În momentul de față, analiza neliniară a structurilor din beton armat se realizează cu programe de calcul specializate, bazate pe metoda elementului finit. În

funcție de modul în care se transmite la structură excitația seismică, există două tipuri de programe de analiză neliniară:

- 1) programe de analiză dinamică neliniară, la care excitația seismică este cuantificată sub forma unor accelerograme sau spectre, programul oferind la diverse intervale de timp informații despre starea structurii și a materialelor;
- 2) programe de analiză static neliniară (push-over), la care excitația seismică acționează asupra structurii sub forma unor forțe orizontale crescătoare, direct aplicate în diverse puncte selectate. Programul oferă informații despre structură și materiale la fiecare pas de încărcare.

Deși, analizele dinamice neliniare oferă rezultatele cele mai apropiate de structura reală, datorită numărului mare de parametri care trebuie introduși, analiza este destul de greoaie și necesită un volum de lucru mai ridicat. Din aceste cauze, se utilizează frecvent analiza static neliniară, deși nu oferă date atât de precise și nu solicită structura chiar identic cu excitația seismică, totuși rezultatele obținute pot fi declarate satisfăcătoare și apropiate de rezultatele înregistrate în structura reală, fiind des utilizată în cercetare.

În concluzie, privind comparativ modul de distribuție a fisurilor în stadiul de cedare a pereților, se poate observa că pentru valori ale unghiului $\alpha = 18^\circ$, pereții au un comportament asemănător grinzilor cu zăbrele: se pot distinge clar diagonalele întinse și comprimate, respectiv tălpile întinse și comprimate, în funcție de direcția de acțiune a forțelor seismice. În cazul în care $\alpha = 18^\circ$, fisurile indică o comportare asemănătoare unei structuri în cadre, la care stâlpul central este montantul central foarte puternic și care înregistrează la bază fisuri din încovoire la o extremitate și fisuri din compresiune la cealaltă extremitate. Ceilalți doi montanți marginali sunt mai puțin rigizi și preiau o pondere mai redusă din forțele seismice, fiind solicitați numai la întindere sau numai la compresiune. Conlucrarea dintre cei trei montanți se realizează prin panourile de beton delimitate de aceștia și care preiau în general forțele tăietoare și le distribuie între aceștia. Aceste panouri se comportă ca pene de beton rigide, așa cum se specifică și în normativul P85-2001.

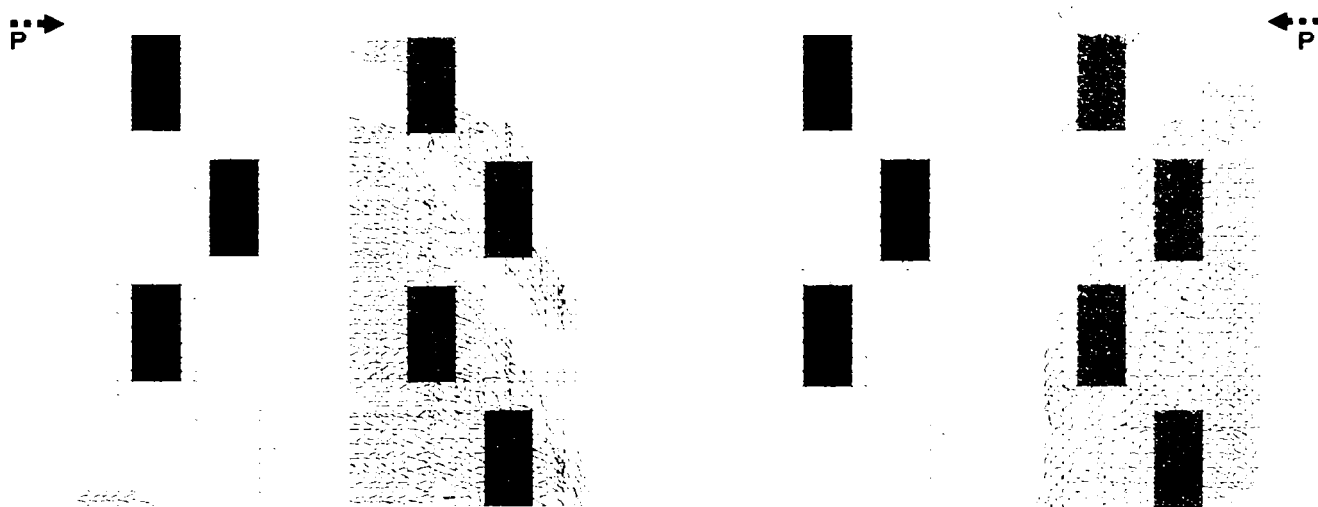


Figura 4.11 – Apariția și dezvoltarea fisurilor la modelul SW23

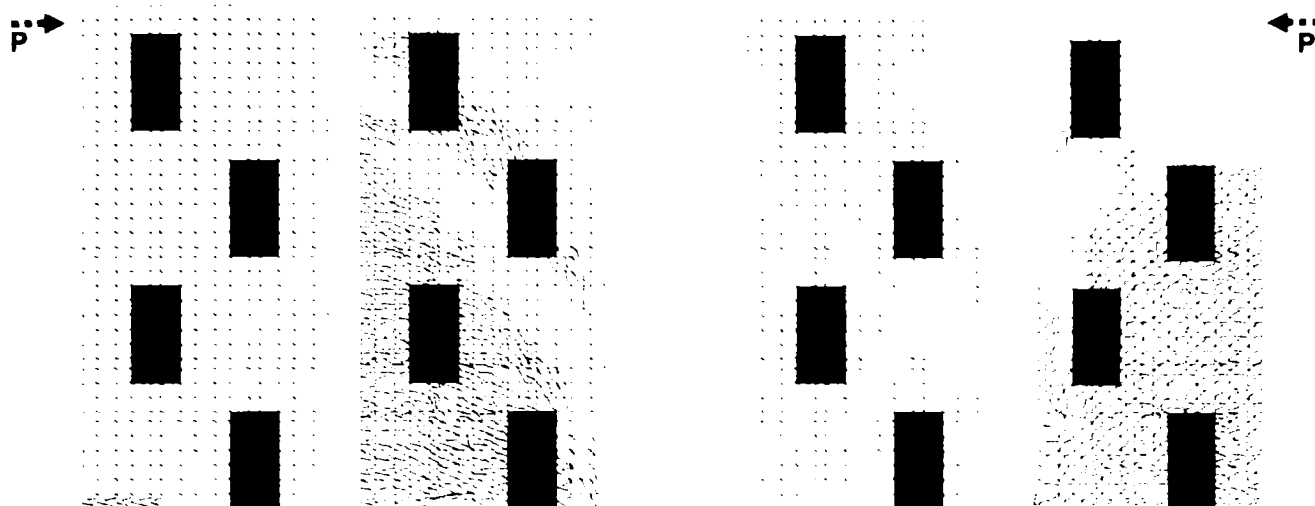


Figura 4.12 – Apariția și dezvoltarea fisurilor la modelul SW45

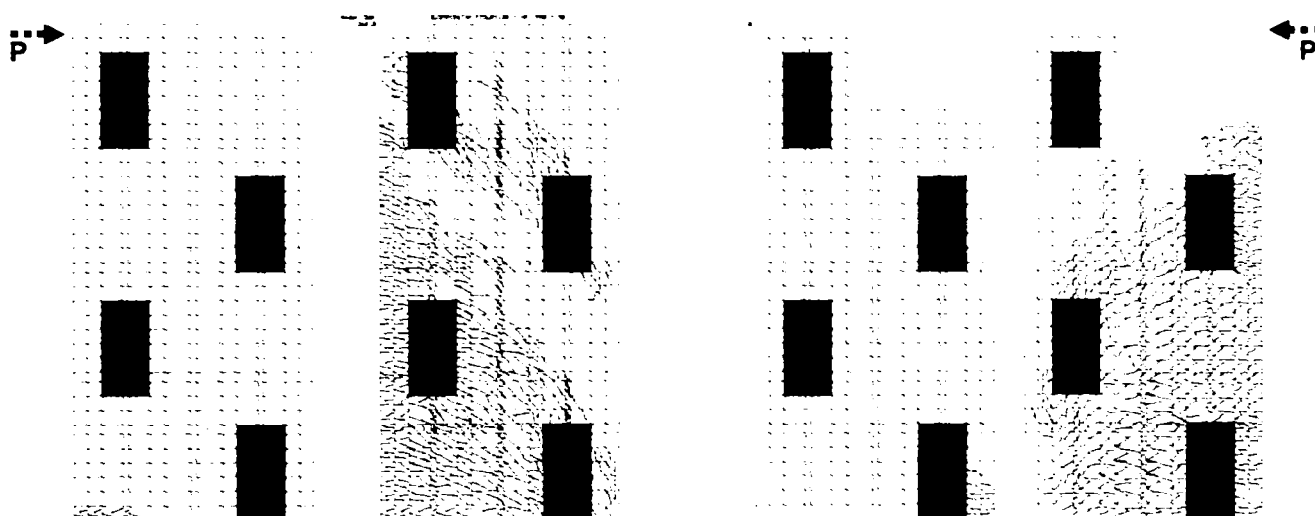


Figura 4.13 – Apariția și dezvoltarea fisurilor la modelul SW67

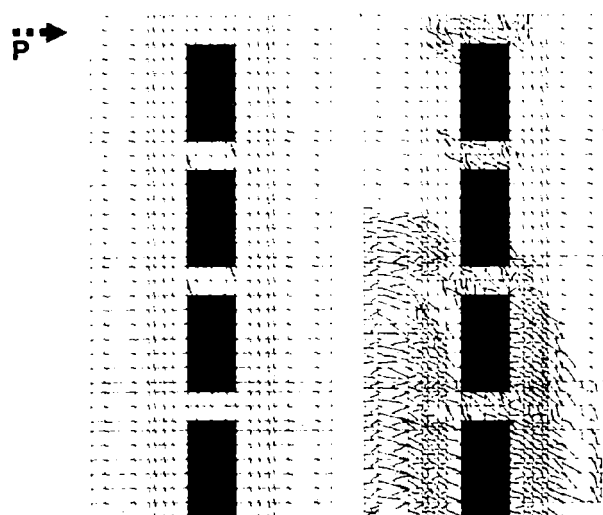


Figura 4.14 – Apariția și dezvoltarea fisurilor la modelul SW8

3.3. Încercări experimentale realizate pe pereții structurali

Scopul principal al încercărilor a fost identificarea comportării unei structuri solicitate static sau dinamic, respectiv stabilirea unor reguli de calcul care să satisfacă toate cerințele impuse de filozofiile de proiectare.

Peretele structural "model" are înălțimea de 260 cm , lățimea de 125 cm , și înălțimea de etaj de 65 cm . În scopul evitării cedării modelului datorită pierderii stabilității laterale, ca urmare a absenței planșeelor și a bulbilor, s-a ales o grosime a peretelui de 8 cm . Golurile au avut dimensiunile de $25 \times 50\text{ cm}$. Modelele experimentale au fost prevăzute cu blocuri de fundații cu înălțimea de 40 cm , lățimea de 35 cm și lungimea de 175 cm . Betonul în fundații a fost turnat simultan cu betonul în pereți.

Dimensiunile finale ale modelului experimental au rezultat în urma unor restricții impuse de gabaritul standului de încercare, a gabaritelor dispozitivelor și utilajelor de transport existente în cadrul laboratorului C.C.I.A și datorită modalității de transport și montaj a modelelor experimentale. Astfel au rezultat următoarele scări de similitudine:

- scara lungimilor: $l_m / l_p = 1/4$
- scara tensiunilor: $\sigma_m / \sigma_p = 1/1$
- scara modulilor de elasticitate: $E_m / E_p = 1/1$
- scara momentelor de inerție: $I_m / I_p = 1/4^4$

Modelele experimentale au fost notate cu SW ca și în *tabelul 4.2*, în cadrul programului experimental încercându-se 5 tipuri de pereți structurali: unul plin, trei cu goluri decalate și unul cuplat.

Modelele experimentale au fost armate cu aceeași cantitate de armatură pe baza prescripțiilor de armare cuprinse în normativul P85/96 și nu pe baza eforturilor unitare.

În scopul asigurării aderenței dintre beton și armatură s-au utilizat bare profilate din PC52 cu diametrul de 6 mm . Armăturile au fost dispuse sub formă de plasă pe ambele fețe ale pereților. În jurul golurilor s-au dispus carcasse de armatură formate din patru bare cu diametrul de 6 mm , prevăzute cu etrieri de același diametru din OB37. În scopul evitării rosturilor de turnare și a realizării unei bune compactări a betonului, pereții model s-au turnat și vibrat pe orizontală în cofraj metalic.

Pentru a asigura transmiterea eforturilor la fundații, barele verticale au fost prelungite în blocul de fundare, având asigurată lungimea de ancoraj. Fundațiile au fost armate foarte puternic cu carcasse din bare longitudinale cu diametrul de 20 mm și etrieri îndesiți din OB37 cu diametrul de 8 mm .

Pentru a evita zdrobirile locale a betonului în zonele de aplicație a forțelor orizontale și verticale, la partea superioară a pereților pe toată lungimea lor au fost dispuse profile metalice U8, iar pe fețele laterale plăcuțe metalice amprentate cu grosimea de 8 mm . Conlucrarea dintre beton și profilele metalice a fost asigurată prin sudarea pe piesele metalice a unor armături cu rol de conectori.

Caracteristicile fizico-mecanice ale betonului și a armăturii sunt prezentate în *tabelul 4.3*. Modul de armare a pereților experimentali se poate urmări pe *figura 4.15*.

Tabelul 4.3 – Proprietățile fizico-mecanice ale pereților structurali

Diometrul tuturor barelor	6 mm
Rezistența caracteristică	$f_{sk} = 355 \text{ N/mm}^2$
Modulul de elasticitate	$E_a = 210 \text{ kN/mm}^2$
Beton	
Rezistența medie la întindere	$f_{ctm} = 3.0 \text{ N/mm}^2$
Rezistența medie la compresiune	$f_{cm} = 50 \text{ N/mm}^2$
Modulul de elasticitate	$E_b = 34 \text{ kN/mm}^2$
Deformația specifică la compresiune	3,5‰

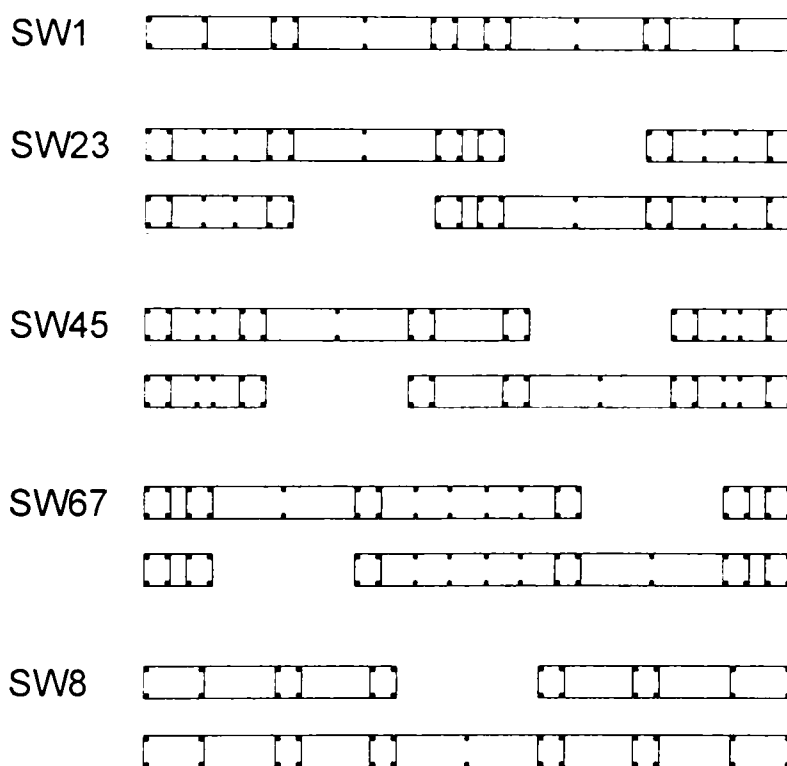


Figura 4.15 – Modurile de armare a pereților structurali

3.3.1. Principiul de încercare

Datorită caracterului ciclic alternant al solicitărilor seismice și al necesității cunoașterii modului în care golurile decalate influențează mecanismele de cedare ale pereților, toate modelele cu goluri au fost solicitate la forțe orizontale ciclic alternante, bazându-se pe controlul deplasărilor orizontale de la partea superioară a modelelor experimentale. Au fost alese șapte valori ale deplasărilor orizontale la care au fost înregistrate aceste date și au fost făcute observații referitoare la modul de fisurare și de distribuție a acestora.

Această metodologie de încărcare s-a repetat până când s-a înregistrat prima zdrobire a betonului de la baza montantului comprimat. La fiecare pas de încărcare, s-au relevat fisurile ca poziție și ca lungime. Deplasările orizontale care au fost impuse pereților pentru fiecare ciclu de încărcare sunt prezentate în figura 4.16.

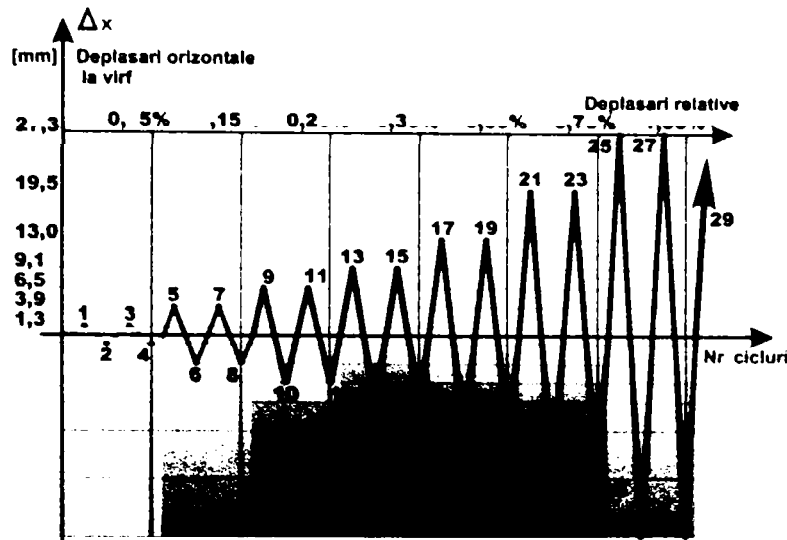


Figura 4.16 – Numărul de cicluri și valorile deplasărilor orizontale impuse

Încercarea celor 5 pereți „model” s-a efectuat după un principiu comun, ele fiind solicitate de încărcări gravitaționale și orizontale (de tip seism).

Din punct de vedere al modului de aplicare a forțelor orizontale, elementele experimentale încercate se situează în două categorii:

- model experimental solicitat de forță monoton-crescătoare: peretele plin SW1;
- modele experimentale solicitate de forțe orizontale ciclic-alternante: pereții cu goluri decalate SW23, SW4, SW67 și peretele cuplat SW8.

Standul de încercare a fost alcătuit din cadre metalice rigide și nedeformabile, ancorate în planșeul laboratorului (figura 4.17) și a permis:

- aplicarea simultană a încărcărilor gravitaționale și a celor orizontale, prin intermediul unor prese hidraulice fixate pe același stand, astfel încât deformațiile elementelor experimentale nu s-au cumulat cu eventualele deformații ale standului;
- montarea unei aparaturi de măsură și control pe elementul experimental, independent de elementele standului, care a fost influențată de deformațiile sau mișcările acestuia în timpul încercării;
- crearea posibilității de urmărire în condiții optime a comportării elementului experimental sub încărcări, de către personalul din laboratorul de încercări.

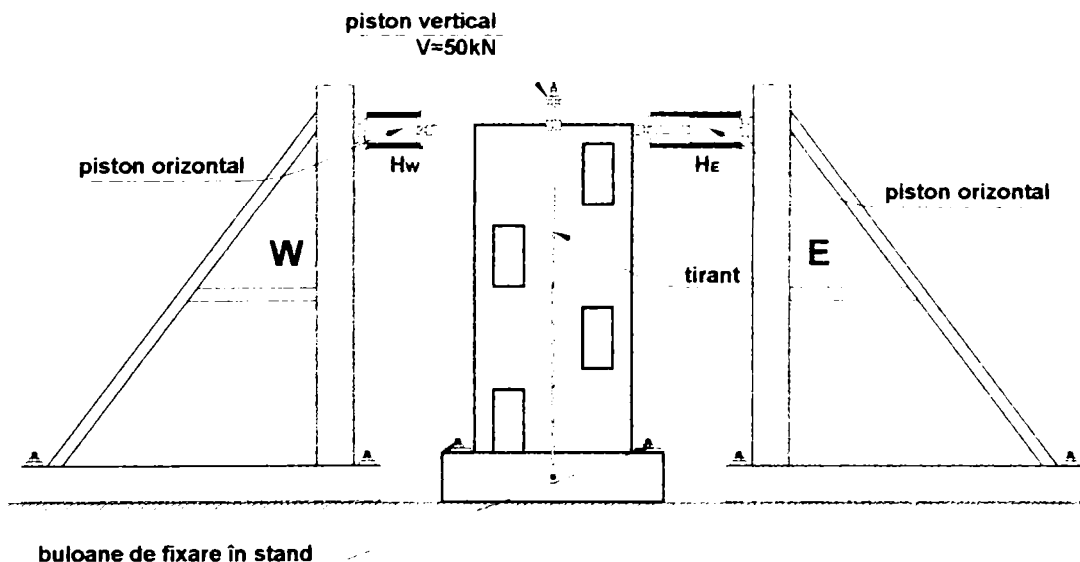


Figura 4.17 – Standul experimental

Asupra elementelor experimentale au fost aplicate două tipuri de încărcări:

- încărcări verticale (gravitaționale) **V**, aplicate cu ajutorul unei prese plasată în centrul elementului. Efortul introdus în element a fost menținut constant pe întreaga durată a încercării elementului. Acționarea presei s-a făcut de la o pompă hidraulică obișnuită. Aceasta forță concentrată a introdus un efort unitar de compresiune de 5 daN/cm^2 care a fost menținut constant pe toată durata încercărilor și pe toată înălțimea modelului;
- încărcări orizontale (laterale) **H**, aplicate sub forma unei forțe concentrate, acționând în axul orizontal al modelului la nivelul superior. Forța orizontală s-a aplicat alternant (din direcția Est sau Vest) prin intermediul a două prese, racordate la două pompe hidraulice.

Pentru o înțelegerea mai bună a comportării pereților consolidați cu compozite, rezultatele încercărilor experimentale pe pereții din beton armat efectuate de d-l ing. Marius Moșoarcă sunt analizate în capitolul următor, împreună cu celelalte încercări efectuate pe pereții consolidați.

4. Încercări experimentale pe pereți consolidați cu compozite

Pereții experimentali din beton armat, studiați în cadrul unui alt doctorat, elaborat de Marius Moșoarcă [71], după încercările efectuate au fost consolidați cu compozite cu fibră de carbon pe o singură față și retestați.

4.1. Descrierea încercărilor

Încercările experimentale efectuate pe pereții din beton armat consolidați cu compozite au decurs în mod identic cu cele ale pereților neconsolidați. După ruperea pereților, fazele încercării pereților consolidați au fost următoarele:

- pregătirea pereților pentru consolidarea cu compozite, prin curățirea suprafețelor de consolidat, umplerea fisurilor existente și repararea zonelor cu betonul zdrobit sau exfoliat
- pregătirea și executarea zonei de ancoraj pentru compozit
- consolidarea cu țesături din fibră de carbon
- prelucrarea și compararea rezultatelor obținuți înainte și după consolidare.

Datele înregistrate pe durata încercărilor au fost:

- încărcarea orizontală la vârf
- deplasările orizontale (conform *figura 4.18*)
- modurile de cedare ale elementelor
- deformațiile specifice din compozit.

Deoarece s-au efectuat foarte puține încercări experimentale pe pereți din beton armat consolidați cu compozite, rezultatele obținute sunt foarte importante și folositoare. Din teste se poate determina: aportul compozitului la preluarea efortului de încovoiere și tăiere, eficiența modului de așezare a materialului compozit, respectiv anumite recomandări privind calculul acestor consolidări.

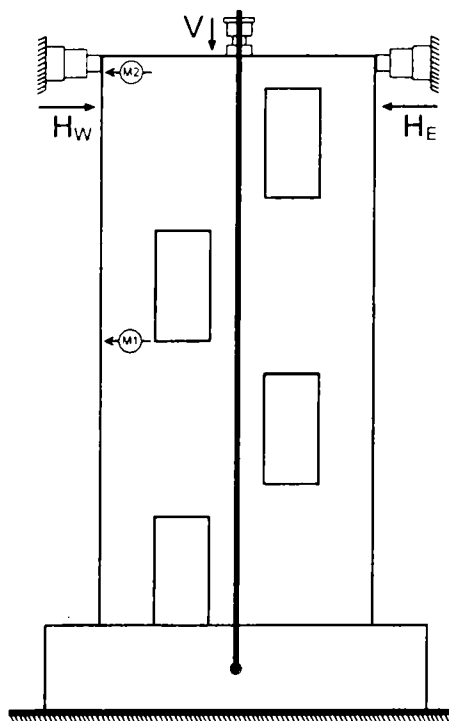


Figura 4.18 – Schema de încercare și poziția deformetrelor

4.2. Procedeele de determinare a rigidității, ductilității și a curbei elasto-plastic echivalente

În continuare este prezentat și descris procedeul de determinare a rigidităților, a ductilității și a curbei elasto-plastic echivalente utilizată la interpretarea rezultatelor încercărilor experimentale.

Încărcarea H_{max} a fost determinată ca fiind încărcarea maximă la care a rezistat un perete, iar Δ_{max} a fost definită ca deplasarea (relativă) corespunzătoare valorii maxime.

Rigiditatea elastică k_e a fost definită ca rigiditatea secantă, luată la 40% din capacitate.

Rezistența la rupere H_u a fost determinată ca fiind încărcarea cea mai mare care a fost suportată de perete înaintea scăderii semnificative a rezistenței. Deplasarea la rupere Δ_u a fost definită corespunzător încărcării ultime.

După fiecare încercare au fost trasate curbele înfășurătoare maxime și cele stabilizate. Pentru fiecare astfel de curbă de comportare a fost definită curba elasto-plastică echivalentă, utilizată cu scopul comparării rezultatelor testelor. Această curbă artificială a descris cum s-ar comporta un perete ideal, perfect elasto-plastic, disipând o cantitate de energie echivalentă ca și peretele testat. Astfel curba elasto-plastic echivalentă a fost definită, încât aria de sub aceasta să fie egală cu aria curbei înfășurătoare (forță-deplasare). Porțiunea elastică a curbei echivalente pornește din origine cu o pantă egală cu rigiditatea elastică k_e . Porțiunea plastică a curbei echivalente este o linie orizontală, poziționată astfel încât ariile curbei echivalente și curbei înfășurătoare să fie egale (de exemplu A_1 și A_2 să fie egale) (figura 4.19). Deplasarea la limita elastică Δ_{el} , respectiv încărcarea elastică H_{el} au fost definite la intersecția porțiunilor elastice și plastice, din curba echivalentă, respectând condiția ca H_{el} să fie mai mare sau egală cu 80% din H_{max} .

Definițiile de mai sus au fost utilizate atât pentru încercările monotone, cât și la cele ciclice. Definițiile utilizate mai sus au la bază recomandările dezvoltate de Joint Technical Coordinating Committee on Masonry Research (TCCMAR) pentru United States – Japan Coordinated Earthquake Research Program [50].

Ductilitatea determinată din curba echivalentă se definește în felul următor:

$$D = \frac{\Delta_u}{\Delta_{el}} \quad (8)$$

unde D este ductilitatea, Δ_u deplasarea relativă la rupere, iar Δ_{el} deplasarea relativă elastică.

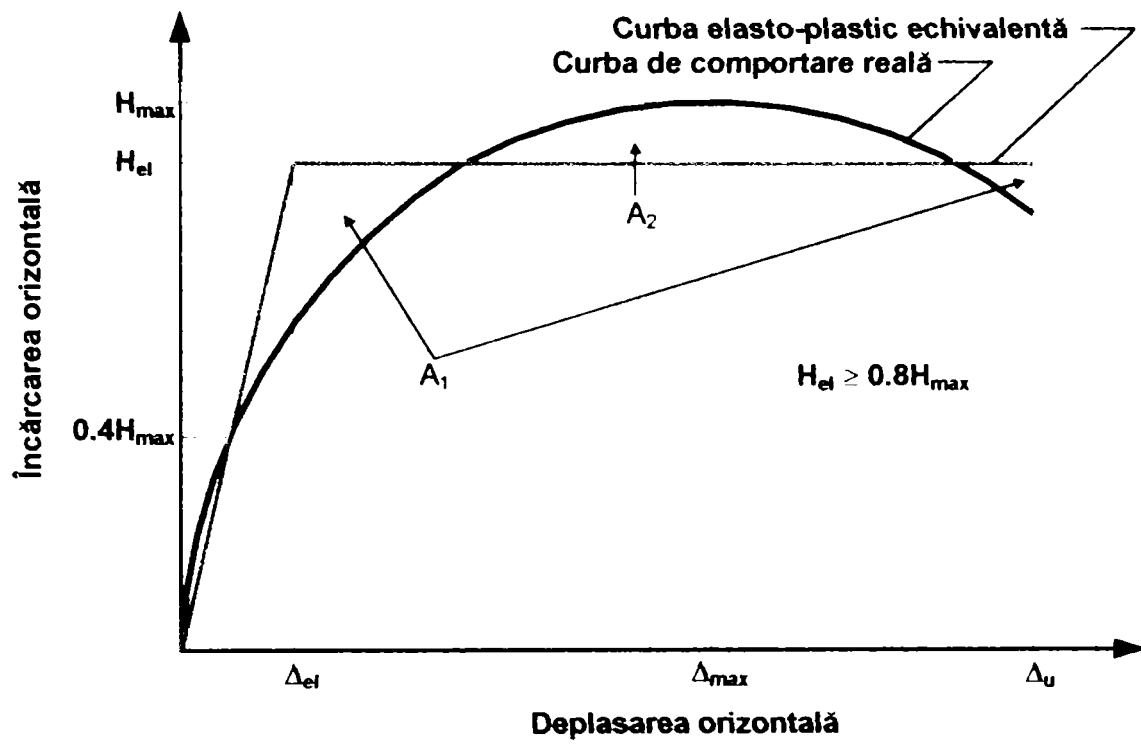


Figura 4.19 – Definierea curbei elasto-plastice echivalente

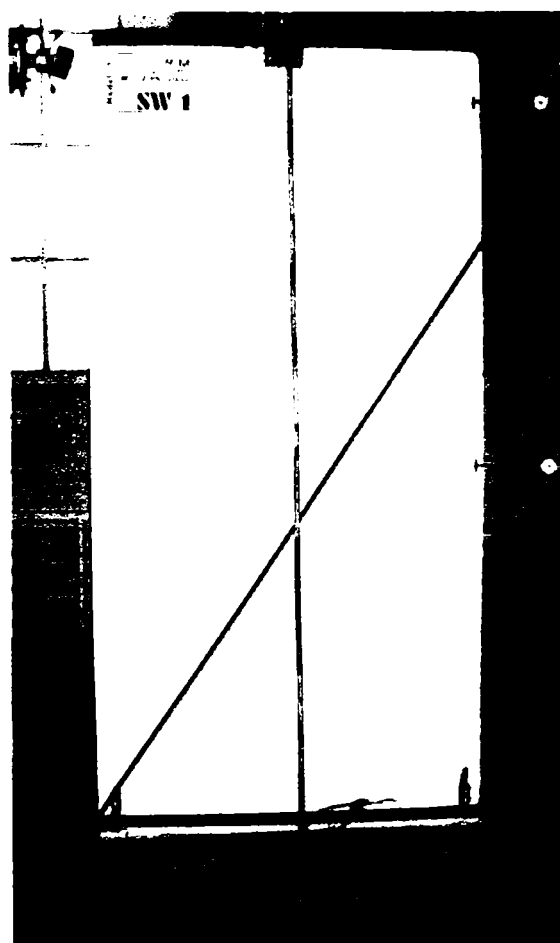
4.3. Încercarea elementelor experimentale SW1 și RW1

4.3.1. Încercarea elementului experimental SW1

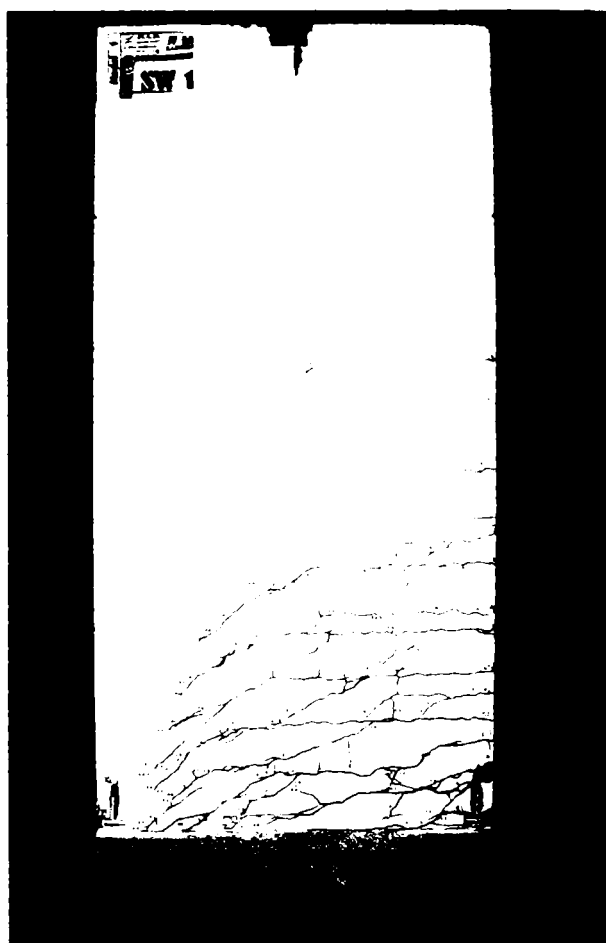
Elementul experimental SW1 a fost un perete structural plin, încărcat la partea superioară cu o forță orizontală monoton crescătoare, în control de deplasare, până la cedare. Forța verticală constantă aplicată a fost de $V = 50 \text{ kN}$. Principiul de încercare a fost descris deja în subcapitolul anterior.

Elementul a fost încărcat din direcția E (est). Prima fisură a apărut la forța orizontală de 3000 daN , iar până la forța 4500 daN au mai apărut 3 fisuri. În continuare au apărut fisuri noi, iar cele existente s-au deschid. La încărcarea 6500 daN elementul avea 9 fisuri, iar la încărcarea de 8500 daN , 17 fisuri. La forța de 9000 daN fisurile se deschid puternic, se extind și apar legături între fisuri. La forța de 9500 daN armăturile de la extremitate intră în curgere. La valoarea forței de 11000 daN armăturile încep să curgă puternic, fisurile se deschid și mai accentuat, nu mai apar fisuri noi, numărul total ale acestora fiind de 24. La încărcarea de 11500 daN apare prima fisură pe direcția verticală în zona comprimată, fisura de la baza peretelui se deschide peste 3 mm , armătura verticală întinsă se rupe la deplasarea de vârf de 33.0 mm , concomitent cu zdrobire betonului din zona comprimată.

Diagramele caracteristice forță-deplasare a peretelui sunt prezentate mai jos. Comportarea peretelui tipic pentru un astfel de element, cedarea producându-se la încovoiere. Forța orizontală maximă atinsă a fost de 11500 daN , iar deplasarea la cedare a fost de 33.0 mm .



Peretele SW1 înainte de încercare



Peretele SW1 după încercare

Figura 4.20 – Încercarea peretelui SW1

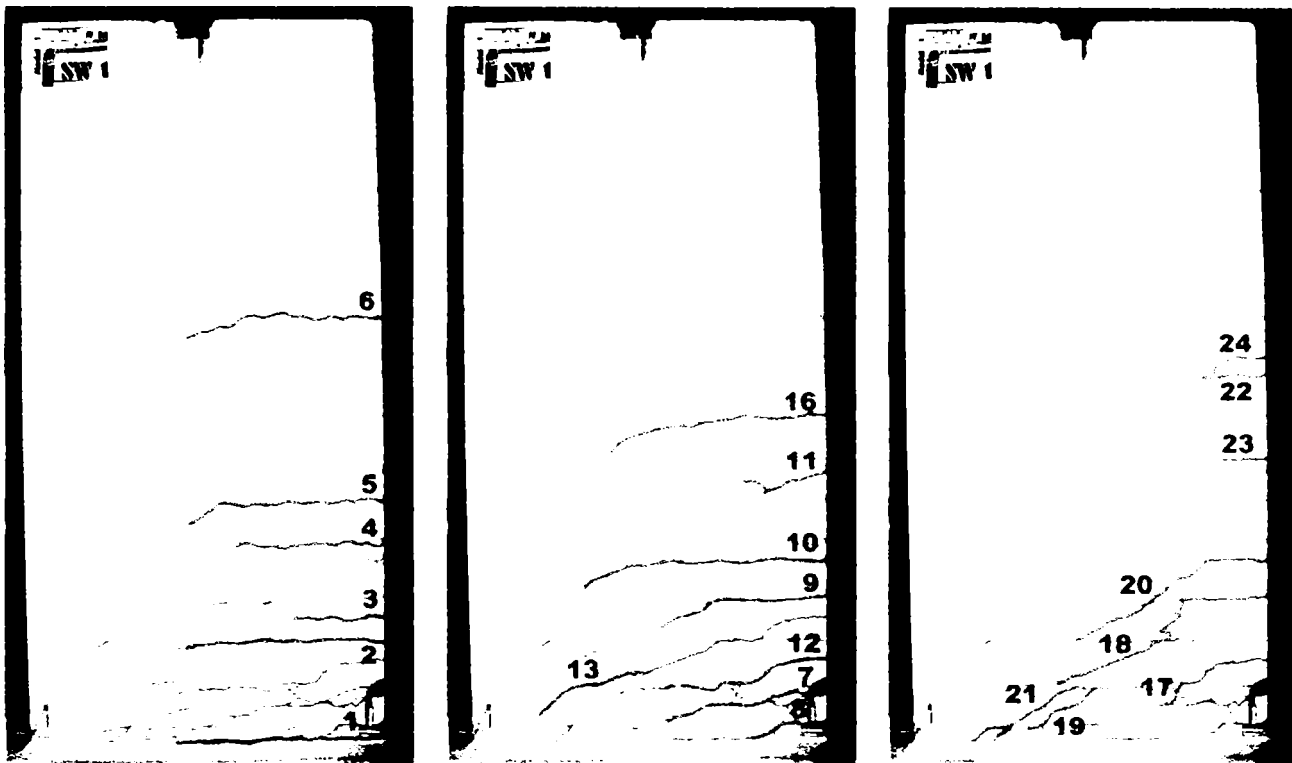


Figura 4.20a – Ordinea de fisurare al elementului experimental SW1 [71]

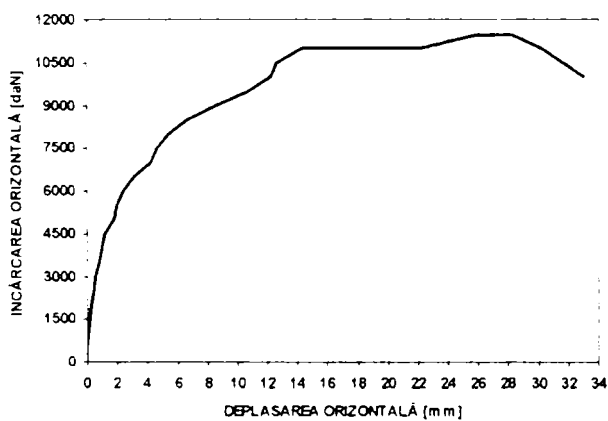


Figura 4.21 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW1

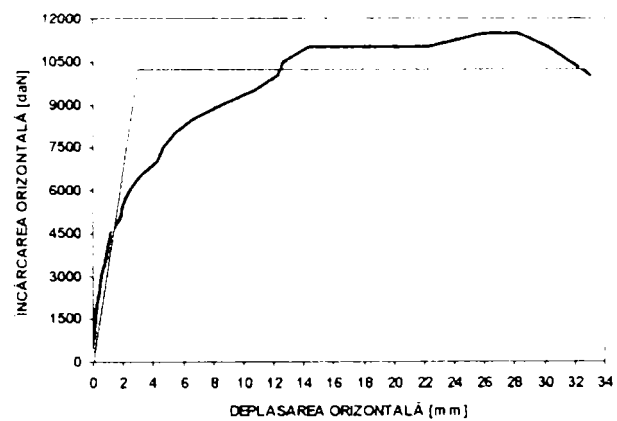
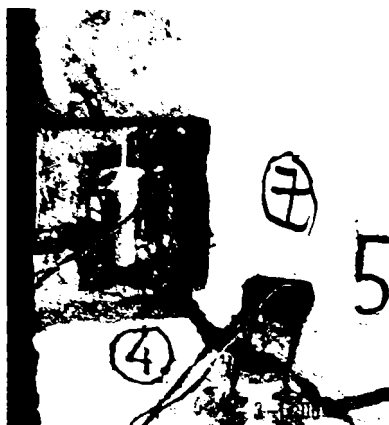


Figura 4.22 – Diagrama forță-deplasare a peretelui cu curba elasto-plastic echivalentă



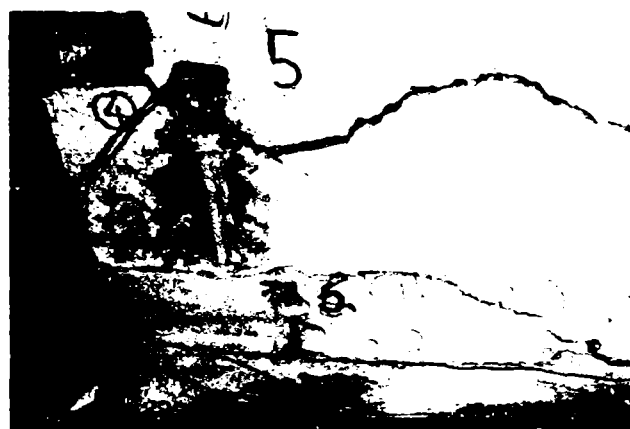
Deschiderea fisurii în timpul încercării



O armătură ecruisată după încercare



Deschiderea fisurii (vedere față)



Deschiderea fisurii (vedere spate)



Deschiderea fisurii (vedere față)

Figura 4.23 – Detalii de cedare

În urma trasării curbei elasto-plastice echivalente, a rezultat la limita elastică H_{el} 10250 daN, deplasarea la limita elastică a Δ_{el} 2.94 mm, iar deplasarea ultimă de Δ_u 33.0 mm. Rigiditatea la limita elastică a elementului, determinată cu metodologia mai sus amintită, a rezultat de k_e 348.5 daN/mm, iar ductilitatea de D 11.2.

4.3.2. Consolidarea elementului experimental SW1

Consolidarea peretelui s-a realizat prin aplicarea a 4 fâșii de câte 15 cm lățime de țesătură din fibră de carbon unidirecțională, așezate pe o singură față a elementului pe direcție verticală. Deoarece încărcarea a fost aplicată doar dintr-o parte, nu era necesară aplicarea fâșiilor pe toată înălțimea peretelui. Astfel prima

fâșie (dinspre încărcarea aplicată) a fost dusă până la partea superioară a peretelui, următoarele două până la nivelul de 195 cm, iar ultima fâșie până la 130 cm.

Sistemul de consolidare utilizată a fost alcătuit din fibre SikaWrap Hex 103C, rășină de impregnare a țesăturii și de amorsare a suprafeței de tip SikaDur 306 și din rășină de corectare a suprafeței de tipul SikaDur 30.

Așezarea țesăturilor pe perețele structural s-a realizat prin aplicare manuală umedă. În prima etapă s-a efectuat pregătirea elementului fisurat, care consta în curățirea suprafeței cu un disc abraziv (flex). Elementul curățat, a fost apoi suflat cu aer comprimat pentru înlăturarea impurităților și a prafului rezultat în urma curățirii.

În etapa următoare s-a realizat sistemul de ancoraj a fibrelor. Ideea sistemului de ancoraj constă în tăierea unor șlițuri în dreptul fâșiilor verticale, șlițuri traversate de țesătură, respectiv în executarea unor găuri verticale, pentru buloane de ancoraj. Apoi aceste șlițuri și găuri se umplu cu o rășină, de preferință epoxidică, iar peste aceasta se pune o comieră care se fixează cu ajutorul buloanelor de ancoraj. Schema de realizare respectiv detalii din timpul execuției se pot vedea în figura 4.24.

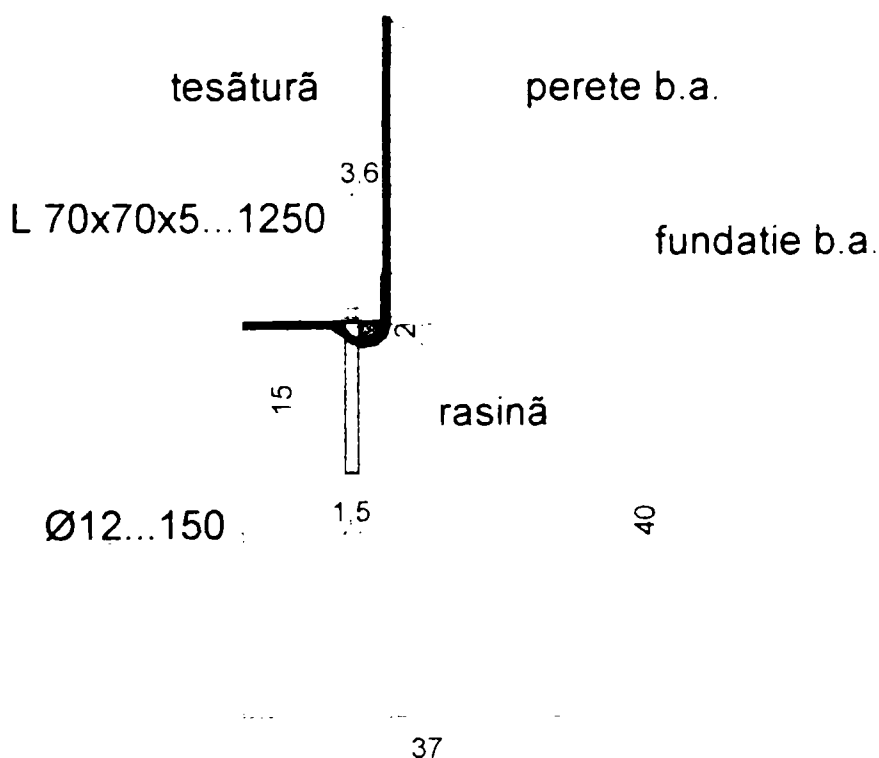


Figura 4.24 – Sistemul de ancoraj



Șlituri în dreptul fășilor verticale



Trecerea țesăturii prin șlit



Umplerea șlitului cu rășină



Fixarea profilului cu buloane de ancoraj

Figura 4.25 – Fazele execuției sistemului de ancoraj

În etapa următoare s-au corectat zonele cu beton exfoliat cu rășină epoxidică, iar fisurile s-au umplut cu o rășină epoxidică mai fluidă.

În continuare s-a aplicat un amorsaj (grund) care avea rolul de a umple porii și de a întări suprafața elementului. Operațiunea a fost urmată de chituirea suprafeței, pentru a asigura o suprafață netedă de lipire pentru compozit. După ce suprafața peretelui a fost pregătită, țesătura din fibră de carbon a fost impregnată cu o rășină epoxidică și apoi aplicată pe suprafața elementului. Consolidarea peretelui a fost astfel terminată iar sistemul compozit a fost lăsat să se întărească până la încercare. Fazele executării consolidării sunt prezentate în *figura 4.26*.

Caracteristicile principale ale componentelor sistemului compozit aplicate sunt prezentate în *tabelul 4.4*. Pentru mai multe detalii legate de sistemul utilizat vezi Anexa1.

Tabelul 4.4 – Caracteristicile principale ale componentelor sistemului compozit aplicat

Componenta sistemului	Țesătură	Rășină de impregnare & Amorsă	Rășină de corectare
Denumirea produsului	SikaWrap Hex 103C	SikaDur 306	SikaDur 30
Modulul de elasticitate [N/mm ²]	231000	3120	12800
Rezistența la întindere [N/mm ²]	3500	72	24
Rezistența la compresiune [N/mm ²]	-	-	85
Deformația specifică ultimă [%]	15	-	-



Curățirea și suflarea peretelui cu aer comprimat



Umplerea fisurilor cu rășină



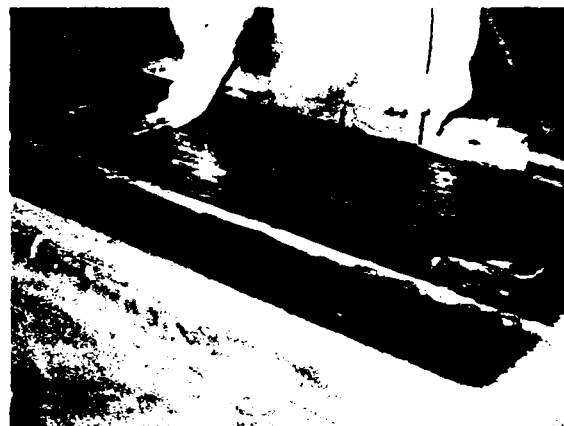
Corectarea suprafeței



Corectat zonele cu beton exfoliat



Suprafața impregnată



Impregnarea țesăturii



Aplicarea țesăturii



Zona de ancoraj



Peretele consolidat

Figura 4.26 – Etapele consolidării

4.3.3. Încercarea elementului consolidat

Elementul consolidat SW1, după consolidare a primit numele de RW1 (Retrofitted Wall 1). Încercarea elementului consolidat s-a efectuat în aceleași condiții cu cel precedent (SW1), singura diferență a fost că elementul a fost consolidat pe fața din spate, astfel încărcarea practic a acționat asupra elementului invers. Pentru înregistrarea deplasărilor s-au folosit captori de deplasare, dispuși și denumiți în mod identic cu cei de la pereții anteriori iar pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse 4 timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniate pe direcția fibrelor (figura 4.27).

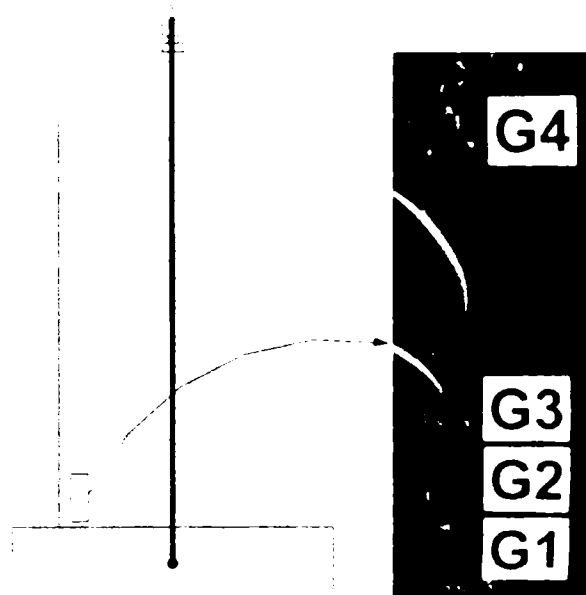


Figura 4.27 – Așezarea aparatelor de măsurare și a timbrei tensometrice pe elementul RW1

Încercarea s-a desfășurat fără evenimente semnificative până la forța orizontală de 4000 daN , când au fost semnalate primele pocnituri, semnalând faptul că compozitul s-a desprins pe o porțiune foarte mică în zona din stânga jos. La încărcarea de 6000 daN apar câteva fisuri noi, în continuarea fisurilor existente, care încetul cu încetul au început să se deschidă. La 7500 daN s-a auzit o pocnitură puternică, fără urme vizibile, iar până la forța 9000 daN apar încă 8 fisuri noi. Peste valoarea forței de 9500 daN fisurile existente se deschid accentuat, iar la 10500 daN compozitul din zona comprimată începe să se desprindă. La valoarea forței de 14500 daN apar fisuri pe direcția verticală în fâșia a doua din stânga. Trebuie menționat, că la această fâșie compozitul a alunecat după consolidare din cauza utilizării în exces a rășinii de impregnare. Spre finalul încercării fisurile s-au deschis accentuat, la forța de 15500 daN a apărut cedarea la întindere la prima și a doua fâșie, însă forța s-a menținut la valoarea de 10500 daN până la o deformație de peste 40 mm , după care a început să scadă.

Forța orizontală maximă atinsă a fost de 15500 daN , deplasările orizontale maxime la rupere fiind de aproape 47 mm . Deformația specifică din compozit a depășit 0.54% care este cca. 36% din capacitatea portantă ultimă a fibrei. Acest lucru demonstrează că compozitul a avut rezerve mari în momentul cedării elementului.

Cedarea elementului consolidat a fost similară cu cedarea elementului neconsolidat, ruperea producându-se prin ruperea compozitului în zona întinsă,

respectiv prin desprinderea compozitului din zona comprimată, datorită cedării la compresiune a betonului.

Diagramele forță-deplasare caracteristice, înregistrările ale deformațiilor specifice din compozit, respectiv detalii de rupere sunt prezentate în figurile de mai jos.

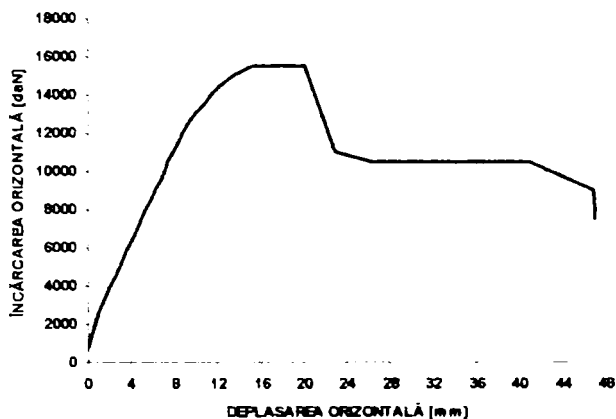


Figura 4.28 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW1

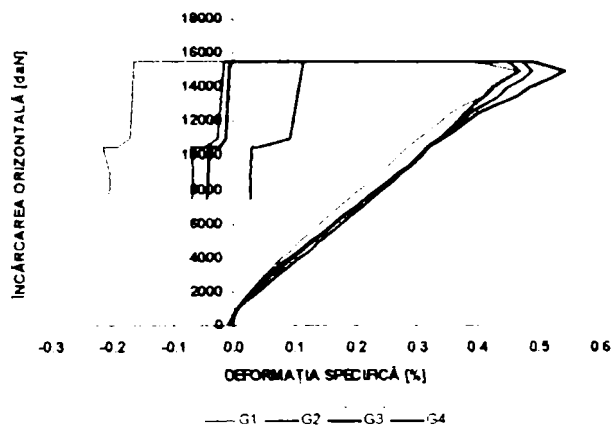


Figura 4.29 – Deformațiile specifice din compozit

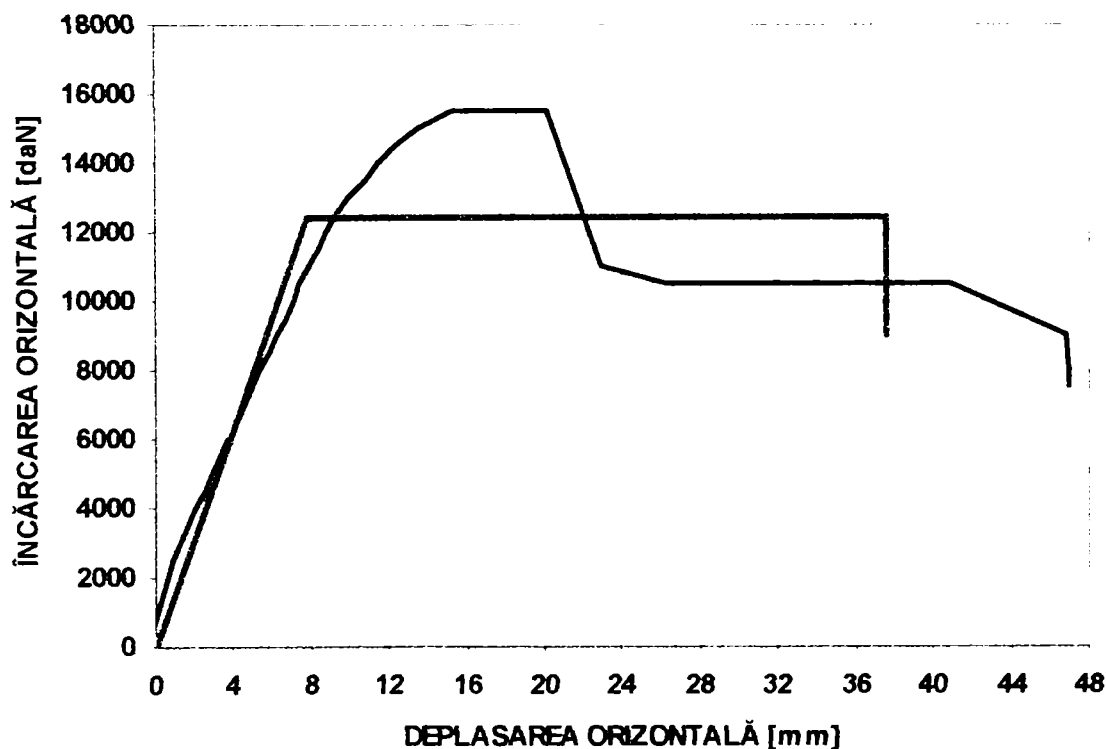
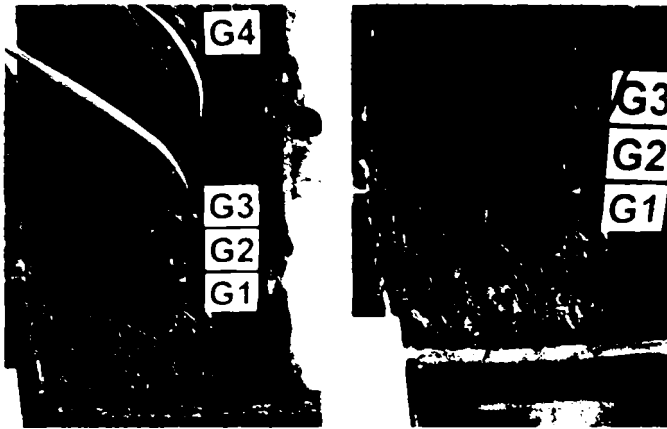


Figura 4.30 – Diagrama forță-deplasare a peretelui cu curba elasto-plastic echivalentă



Dezlipirea și formarea fisurii verticale în compozitului din zona întinsă



Cedarea fâșiei a doua



Cedarea primei fâșii



Dezlipirea compozitului în zona comprimată



Deschiderea fisurii în zona întinsă (vedere spate)



Primele două fâșii după rupere



Exfolierea betonului în zona comprimată



Deschiderea fisurii după încercare

Figura 4.31 – Detalii de cedarea al elementului RW1

În urma trasării curbei elasto-plastice echivalente, a rezultat limita elastică $H_{el}=12400 \text{ daN}$, deplasarea la limita elastică a $\Delta_{el}=7.8 \text{ mm}$, iar deplasarea ultimă de $\Delta_u=37.5 \text{ mm}$. Rigiditatea elastică al elementului a rezultat de $k_e=159.0 \text{ daN/mm}$, iar ductilitatea $D = 4.8$.

4.3.4. Comparare rezultatelor privind comportarea elementelor SW1 și RW1

Analizând rezultatele obținute din încercarea elementelor SW1 și RW1, putem remarca următoarele:

- forța maximă atinsă în elementul SW1 a fost de 11500 daN , în timp ce în elementul RW1 a fost de 15500 daN , aceasta reprezentând o creștere de 35%, față de capacitatea inițială a peretelui neconsolidat;
- deplasarea maximă pe orizontală a peretelui SW1 a fost de 33 mm , iar a peretelui consolidat RW1 a fost de aproape 47 mm , deci creșterea deformațiilor ultime a fost de 14%;
- la cedarea peretelui consolidat, deformația specifică din compozit a atins 0.54%, care corespunde unei valori de cca. 36% din rezistența ultimă a compozitului;
- limita elastică a peretelui SW1 a fost de 10250 daN , în timp ce a peretelui RW1 a fost de 12400 daN . La elementul RW1 limita elastică a înregistrat practic o creștere de 21%;
- rigiditatea elementului SW1 a fost de 348.5 daN/mm , iar a peretelui RW1 de 159.0 daN/mm , aceasta reprezentând mai puțin decât 54% din rigiditatea inițială;
- ductilitatea elementului simplu SW1 a scăzut de la 11.2 la 4.8 după consolidare, aceasta reprezentând o scădere de cca. 57%;
- cedarea elementului martor SW1 s-a produs prin deschiderea accentuată a fisurilor și prin curgerea armăturilor din zona întinsă, concomitent cu zdrobirea betonului din zona comprimată. Cedarea peretelui consolidat s-a produs similar, prin deschiderea accentuată a fisurilor și ruperea compozitului din zona întinsă (deoarece compozitul nu are palier de curgere), concomitent cu dezlipirea compozitului și zdrobirea betonului din zona comprimată.

Este de menționat că după ruperea compozitului din zona întinsă elementul nu a cedat brusc, ci a avut o comportare plastică semnificativă.

Centralizarea rezultatelor încercărilor efectuate pe perețele SW1 și RW1 sunt prezentate în *tabelul 4.5*, iar suprapunerea diagramelor forță-deplasare înregistrate la partea superioară a pereților, respectiv a curbelor de comportare se pot vedea în figurile de mai jos.

Tabelul 4.5 – Compararea rezultatelor încercărilor

Element	SW1	RW1	Diferente
Ciclul	1 (+)	1 (+)	[%]
k_e [daN/mm]	348.5	159.0	- 54
H_{el} [daN]	10250	12400	+ 21
D [-]	11.2	4.8	- 57
H_{max} [daN]	11500	15500	+ 35
Δ_{max} [mm]	28.2	20.1	- 29
H_u [mm]	10000	10500	+ 5
Δ_u [mm]	33.0	37.5	+ 14
H_{el}/H_{max} [-]	0.89	0.80	- 10

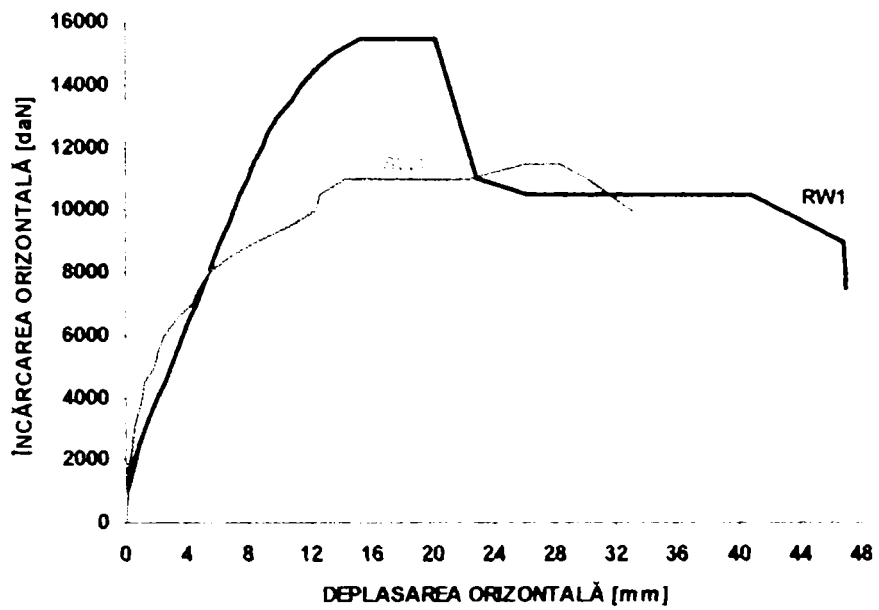


Figura 4.32 – Suprapunerea diagramelor forță-deplasare a pereților SW1 și RW1

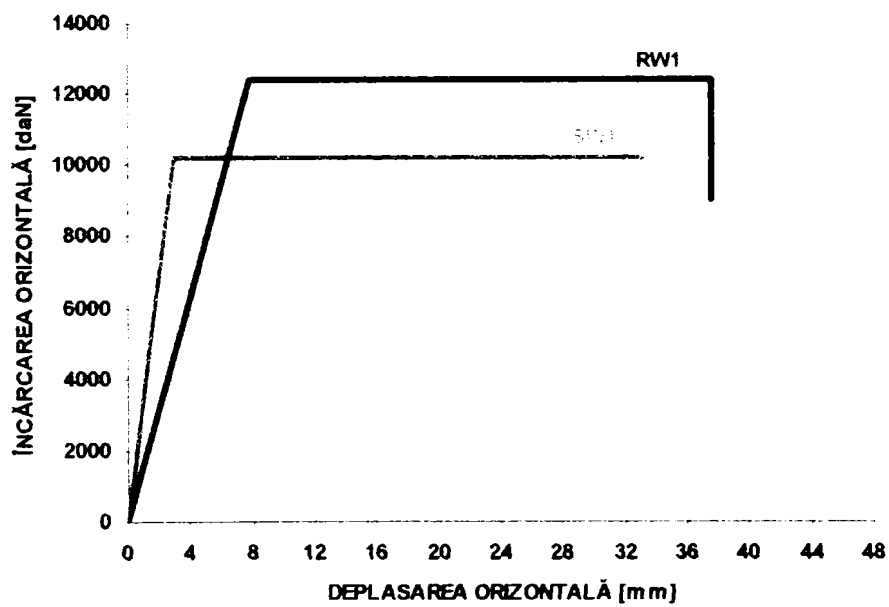


Figura 4.33 – Suprapunerea diagramelor elasto-plastice echivalent a pereților SW1 și RW1

4.4. Încercarea elementelor experimentale SW23 și RW23

4.4.1. Încercarea elementului experimental SW23

Elementul experimental SW23 a fost un perete structural cu goluri decalate, care a fost încărcat ciclic alternant la partea superioară, cu o forță orizontală monoton crescătoare în control de deplasare până la cedare. Forța verticală constantă aplicată a fost $V=50 \text{ kN}$. Principiul de încercare a fost descris în subcapitolul anterior.

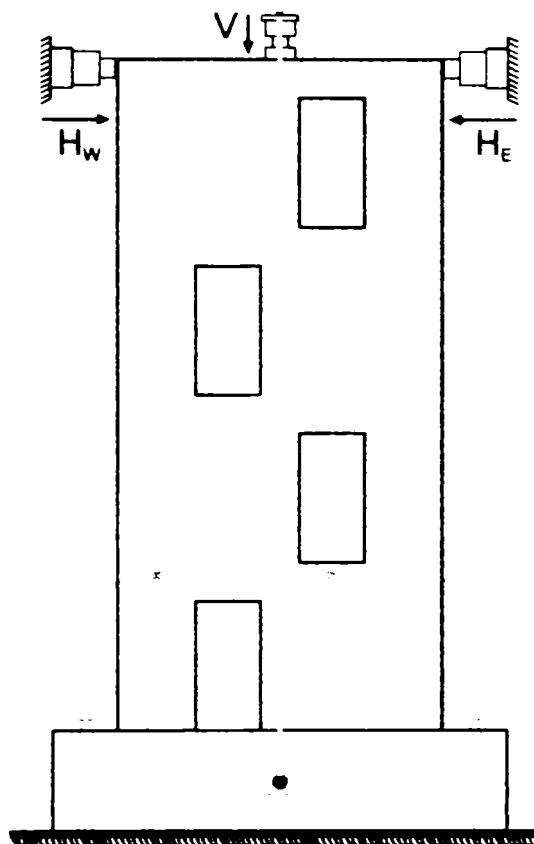
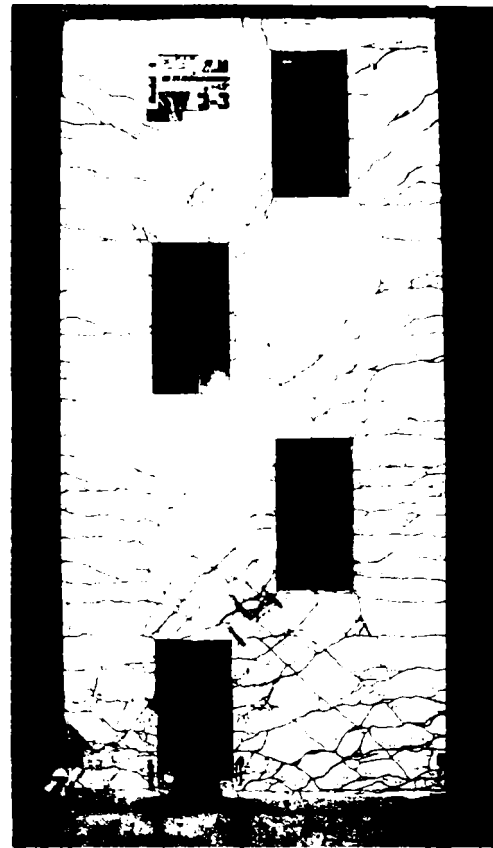


Figura 4.34 – Schema de încercare a peretelui SW23

Încărcarea elementului a fost începută din direcția E (est). În primul ciclu au apărut 5 fisuri, primele două fisuri la baza montantului mare, iar următoarele 3 în montantul mic, forțele maxime atinse la deplasările impuse au fost de -4000 daN și de -3200 daN . În ciclul al doilea peretele fisurează puternic, numărul fisurilor crescând la 28, deformația remanentă ajungând la 0.8 mm . Forțele maxime la deplasările impuse au fost de -5700 daN și de -4800 daN . În ciclul al treilea peretele este fisurat puternic, apar fisuri diagonale între goluri și se înregistrează deformații remanente de 1.3 mm . Forțele maxime atinse la deplasările impuse au fost de -7600 daN și de -7000 daN . În ciclul 4 apar 82 fisuri, săgeata remanentă ajungând la 1.4 mm , forțele maxime atinse la deplasările impuse au fost de -8225 daN și de -8900 daN . În ciclul 5 fisurile se deschid accentuat, numărul fisurilor noi apărute fiind de 8. Deformația remanentă atinge valoarea 1.5 mm iar forțele maxime atinse au fost de -8950 daN și de -9250 daN . În ciclul 6 apar 7 fisuri noi deformația remanentă la vârf fiind de 7.3 mm , iar forțele maxime de -9750 daN și de -8500 daN . În ciclul 7 apare prima zdrobire a betonului montantului mare, cedarea elementului producându-se prin zdrobirea betonului montantului mic și printr-o fisură diagonală dintre golurile de la parter și etaj.



Peretele SW23 înainte de încercare



Peretele SW23 după încercare

Figura 4.35 – Încercarea peretelui SW23

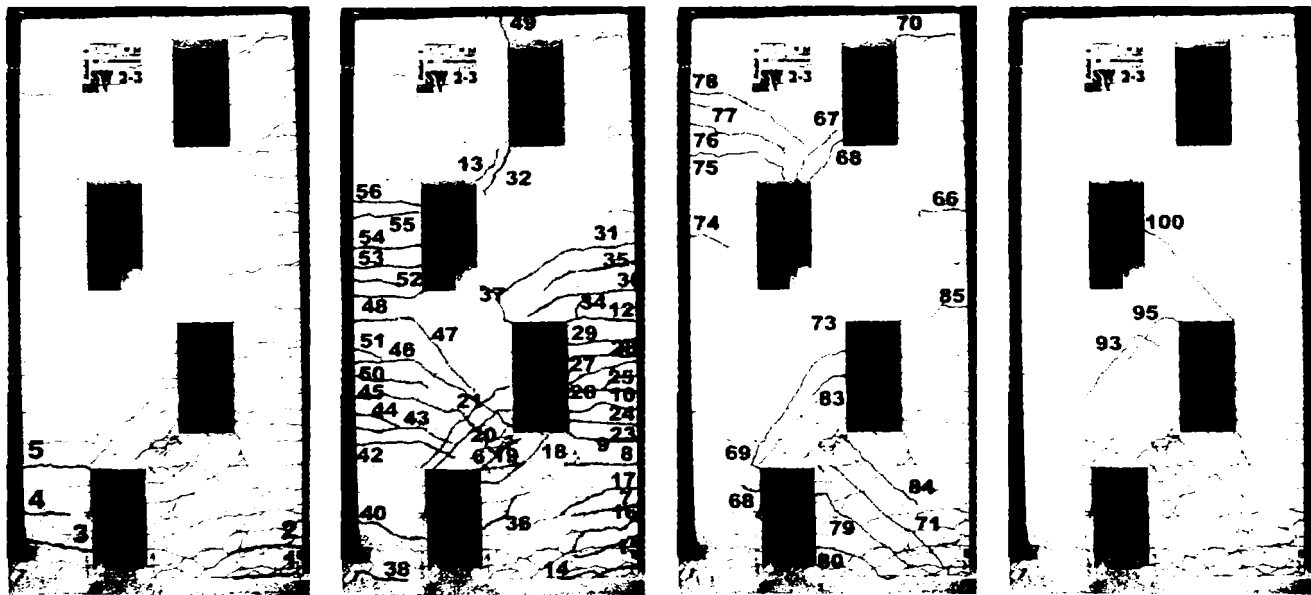
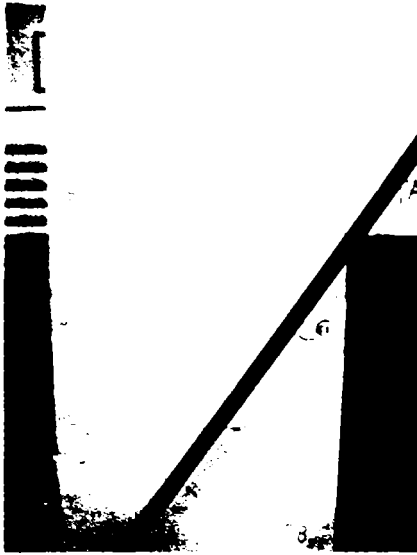
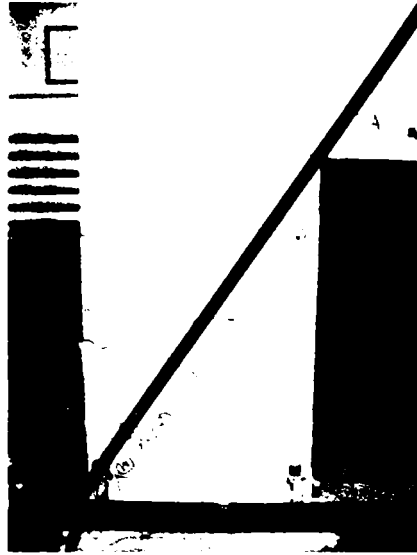


Figura 4.36 – Ordinea de fisurare al elementului experimental SW23 [71]



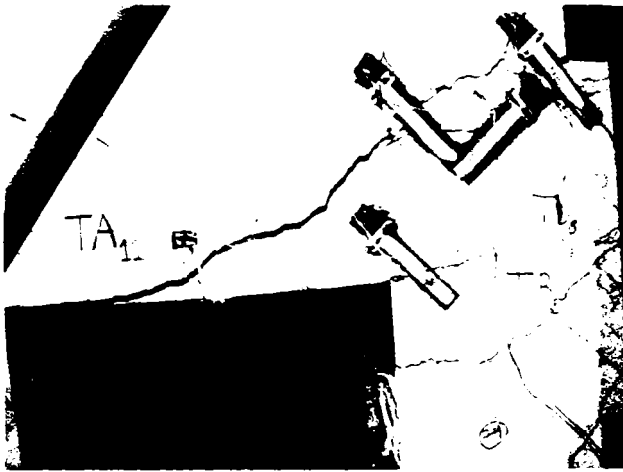
Fisurarea (montant mic)



Deschiderea fisurilor (montant mic)



Deschiderea fisurilor (montant mare)



Fisurare între goluri



Zdrobire beton (montant mare)



Zdrobire beton cu flambarea armăturii (montant mic)



Distribuția fisurilor pe partea inferioară a peretelui după cedare

Figura 4.37 – Detalii de cedare

În continuare, sunt prezentate diagramele caracteristice forță-deplasare ale peretelui SW23 și datele caracteristice de comportare ale acestuia.

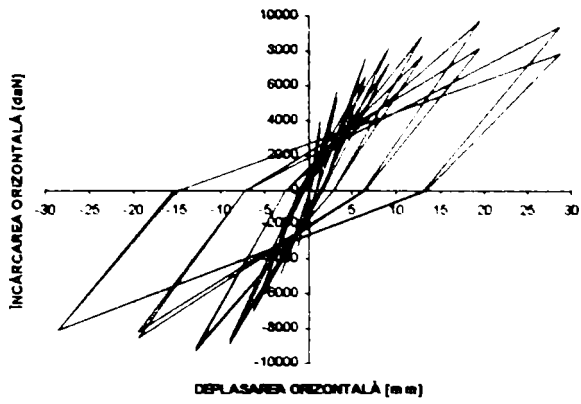


Figura 4.38 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW23

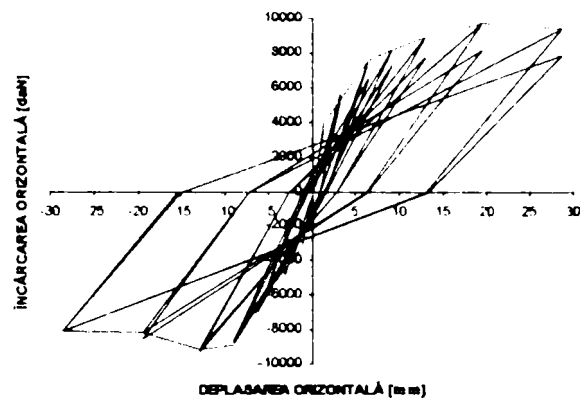


Figura 4.39 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW23 cu înfășurătoarea maximelor

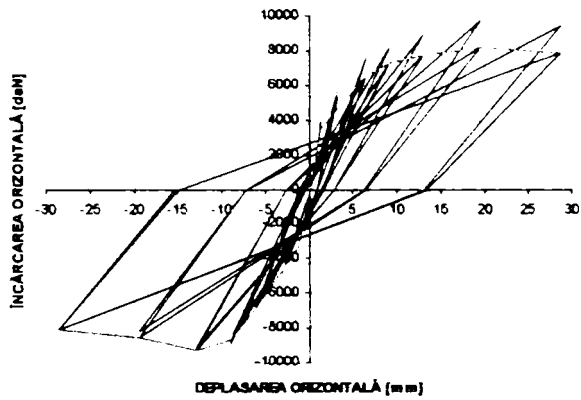


Figura 4.40 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW23 cu înfășurătoarea minimelor

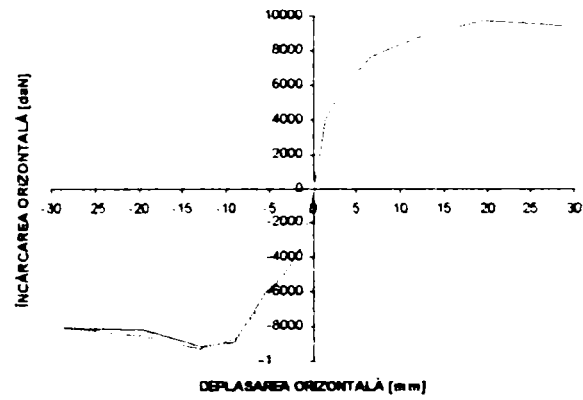


Figura 4.41 – Curbele înfășurătoare a peretelui SW23 suprapuse

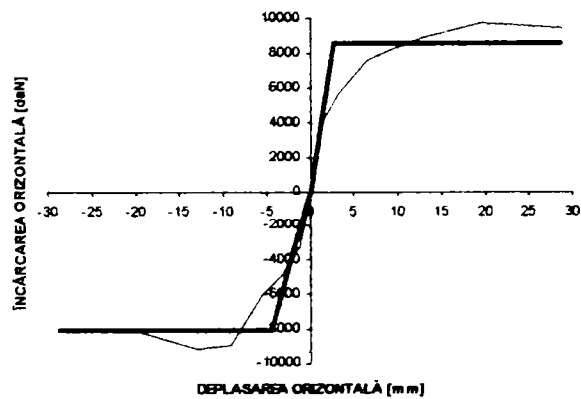


Figura 4.42 – Curba înfășurătoare maximă cu curba elasto-plastic echivalentă

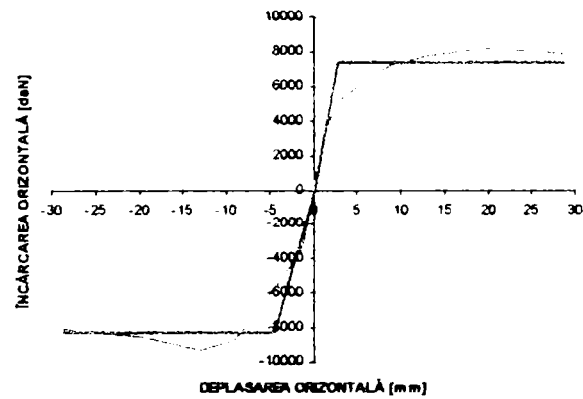


Figura 4.43 – Curba înfășurătoare minimă cu curba elasto-plastic echivalentă

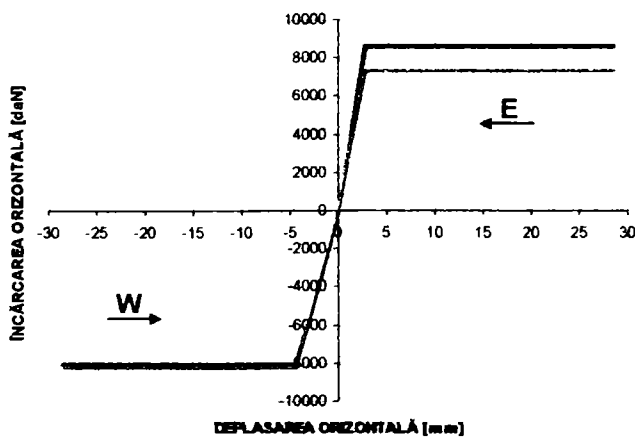
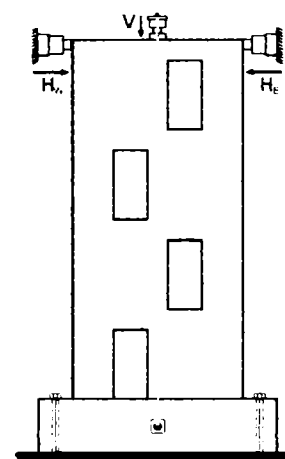


Figura 4.44 – Curbele elasto-plactice echivalente suprapuse



În urma trasării curbelor elasto-plastice echivalente maxime și minime, au rezultat limitele elastice (H_{el}), deplasările la limitele elastice (Δ_{el}), deplasările ultime (Δ_u), rigiditățile elastice (k_e) și ductilitățile (D), care sintetic sunt prezentate în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6 – Compararea rezultatelor

Element	SW23	SW23	SW23	SW23
Ciclul	1 (+)	1 (-)	2 (+)	2 (-)
k_e [daN/cm]	309.5	184.8	270.5	182.3
H_{el} [daN]	8620	-8070	7370	-8200
Δ_{el} [mm]	2.8	-4.36	2.73	-4.46
H_{max} [daN]	9750	-9100	8250	-9250
Δ_{max} [mm]	19.5	-13.0	19.5	-13.0
H_u [mm]	9500	-8100	7900	-8050
Δ_u [mm]	28.6	-28.6	28.6	-28.6
D [-]	10.2	6.6	10.5	6.4
H_{el}/H_{max} [-]	0.88	0.89	0.89	0.89

În urma acestor rezultate se pot trage numeroase concluzii, în funcție de problema studiată. Deoarece în cadrul acestor studii s-a urmărit comportarea pereților structurali din beton armat consolidați cu compozite, am considerat că cele mai importante caracteristici ce trebuie comparate sunt încărcările orizontale maxime (H_{max}), nivelul încărcării elastice (H_{el}), rigiditatea (k_e) și ductilitatea (D).

Pe baza rezultatelor obținute se pot trage următoarele concluzii:

- scăderea rigidității (k_e) pozitive (E) de la un ciclu la altul este de 13%, în timp ce rigiditatea (k_e) negativă (W) se modifică doar cu 1%;
- diferența de rigiditate (k_e) între direcția est (E) și vest (W) este de 33-40%;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) pozitive (E) și a încărcării elastice (H_{el}) pozitive (E) este de 15%;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) negative (W) și încărcării elastice (H_{el}) negative (W) este de 2%, deci practic nu există degradare;
- degradarea ductilității (D) în ambele sensuri este de 2-3%, deci nesemnificativă;
- diferența între încărcarea maximă (H_{max}), respectiv încărcarea elastică (H_{el}), pe direcția est (E) și vest (W) este de 6-12%;
- diferența de ductilitate (D) între direcția est (E) și vest (W) este de 36-39%;

4.4.2. Consolidarea elementului experimental SW23

În urma rezultatelor experimentale anterioare s-a decis, ca următorii pereți să fie consolidați cu 3 fâșii verticale de 15 cm, respectiv 4 fâșii orizontale de asemenea de 15 cm. Fâșiile verticale au fost dispuse la extremitățile pereților și pe mijloc, iar fâșiile orizontale au fost așezate în dreptul planșeelor. Înaintea alegerii acestei soluții au mai fost studiate și alte moduri posibile de așezare, dar dintre care acesta s-a dovedit cel mai ușor de executat și practic, utilizabil în realitate.

Sistemul de consolidare utilizat a fost alcătuit din fibre SikaWrap Hex 103C, rășină de impregnare a țesăturii și de amorsare a suprafeței de tip SikaDur 306, și din rășină de corectare a suprafeței de tipul SikaDur 30.

Așezarea țesăturilor pe perete s-a realizat prin aplicare manuală umedă, în aceeași etapă ca și în cazul precedent (RW1). Ancorajul a fost executat în mod identic.

Deoarece montantul mic a fost aproape distrus la încercarea inițială a fost



Montantul mic înainte corectării



Betonul îndepărtat (montantul mic)



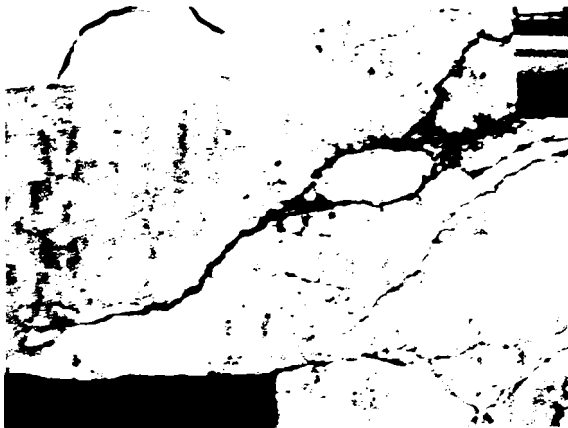
Montantul mic refăcut



Betonul îndepărtat (montantul mare)



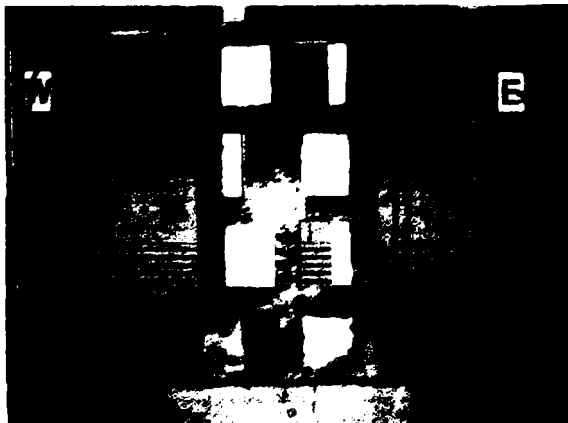
Montantul mare refăcut



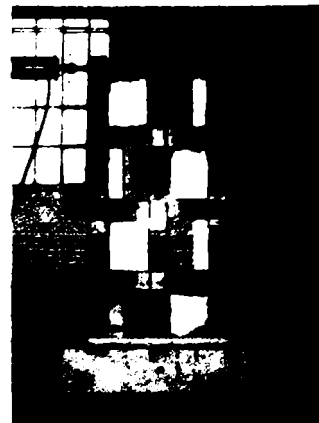
Fisura dintre goluri



Suprafata corectată



Elementul impregnat



Peretele consolidat

Figura 4.45 – Fazele consolidării peretelui SW23

necesară înlocuirea betonului pe înălțimea unei etaj. Pentru ca elementul să poate fi testat într-un timp scurt, zona distrusă a fost înlocuită cu un mortar epoxidic cu adaos de nisip. Este menționat, că armăturile flambate nu au fost îndreptate. În continuare sunt prezentate fazele principale a consolidării peretelui SW23.

4.4.3. Încercarea elementului consolidat

Elementul SW23, după consolidare a primit numele de RW23. Încercarea elementului consolidat s-a efectuat la fel ca și la cel precedent (SW23), însă ciclul s-a început din vest (W). Pentru înregistrarea deplasărilor s-au folosit captori de deplasare, dispuși și denumiți în mod identic cu cei de la pereții anteriori, iar pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse 7 timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniate pe direcția fibrelor (figura 4.46).

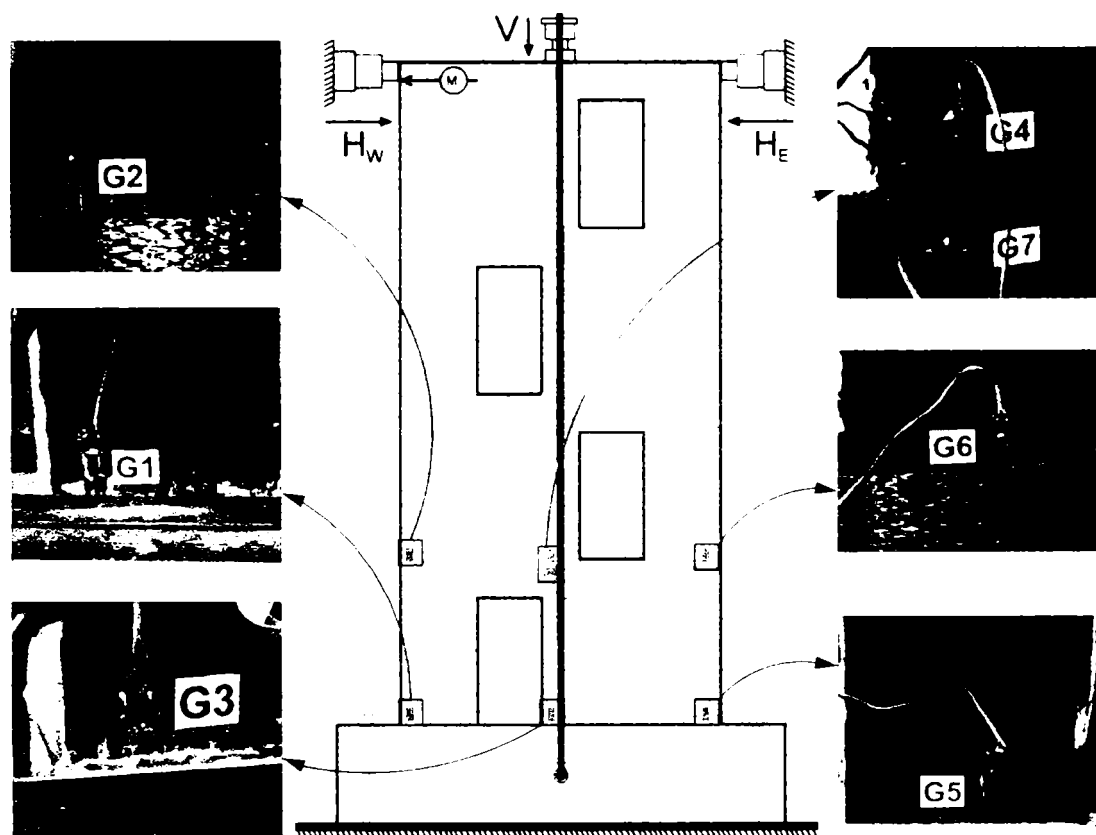
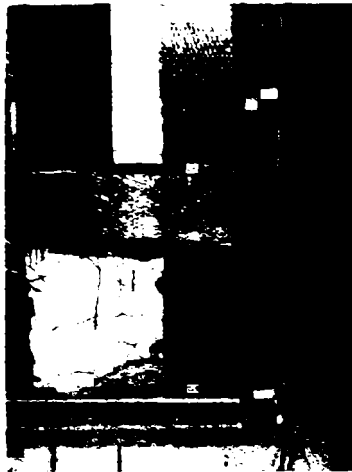


Figura 4.46 – Așezarea aparatelor de măsurare și a timbrilor tensometrice pe elementul RW23

Încercarea s-a desfășurat fără evenimente deosebite până la ciclul 4, când s-au auzit primele pocnituri în compozit. În același ciclu fisurile existente au început să se deschidă ușor. În ciclul 5 (pasul 17) se aud pocnituri în compozit, în partea de jos a montanțului mare, care flambează. Se observă o dezlipire locală a compozitului. Această dezlipire se extinde în pașii următori, iar în pasul 21 apare o fisură orizontală în compozit (lângă timbrul G5), din compresiune. Fisura orizontală se accentuează în pasul 24, când această porțiune de compozit devine de cca. 8 cm. În pasul 26 se aud niște pocnituri în compozitul fisurat orizontal, care este întins, și se vede o rupere la întindere. În pasul 27 peretele începe să iasă din plan, astfel încercarea este oprită.

Cedarea elementului consolidat s-a produs prin deschiderea treptată a fisurilor existente, prin dezlipirea și fisurarea compozitului în zona comprimată a montantului mare iar în final prin ruperea la întindere a compozitului slăbit.

În continuare în figurile de mai jos, se pot urmări detaliile de rupere ale elementului experimental RW23 după care sunt prezentate diagramele de comportare a peretelui.



Prima dezlipire
(montant mare)



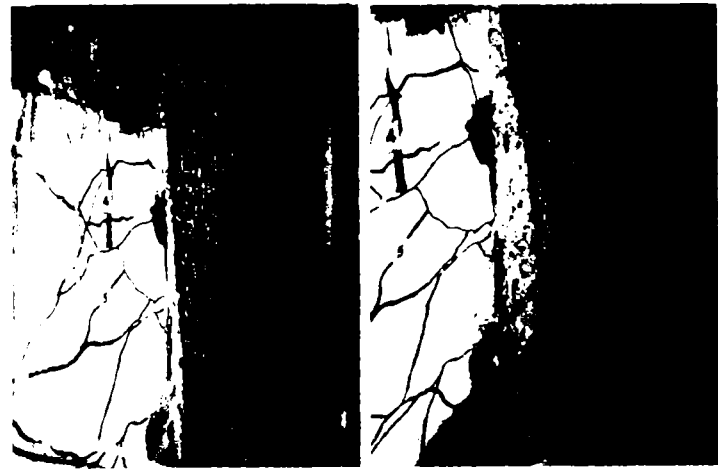
Extinderea dezlipirii



Deschiderea fisurilor



Ruperea unei porțiuni de compozit la
compresiune (montant mare)



Flambarea compozitului (montant mare)



Zona comprimată
(montantul mare)



Montantul mic fără fisuri sau
degradări



leșirea din plan a peretelui

Figura 4.47 – Detalii de cedare

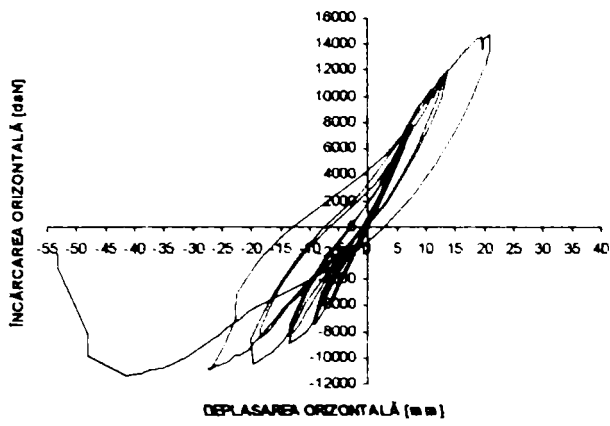


Figura 4.48 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW23

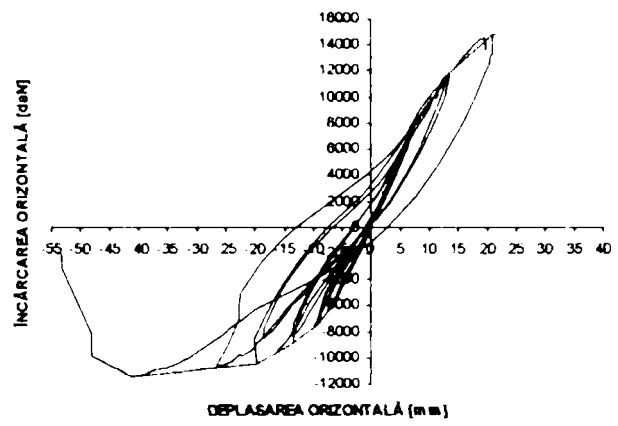


Figura 4.49 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW23 cu înfășurătoarea maximelor

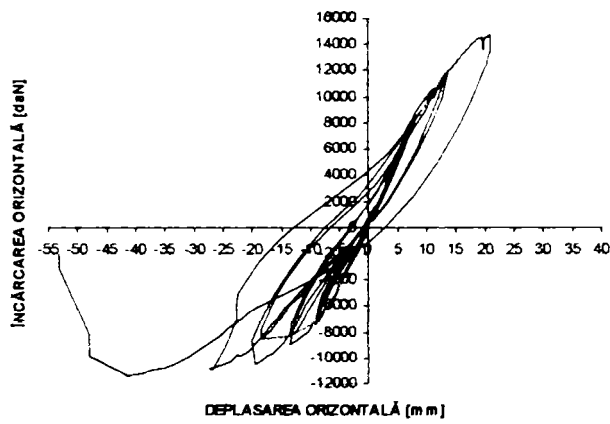


Figura 4.50 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW23 cu înfășurătoarea minimelor

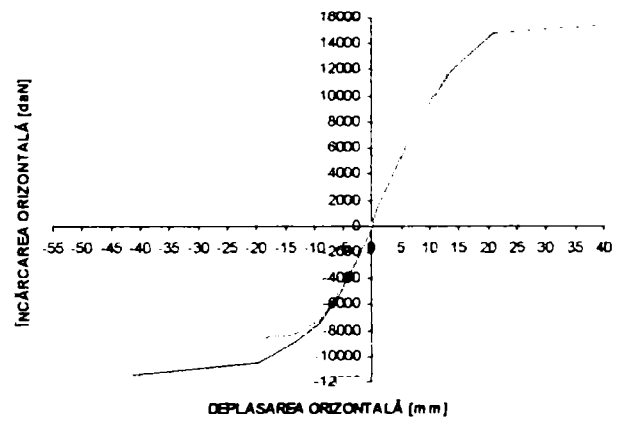


Figura 4.51 – Curbele înfășurătoare a peretelui RW23 suprapuse

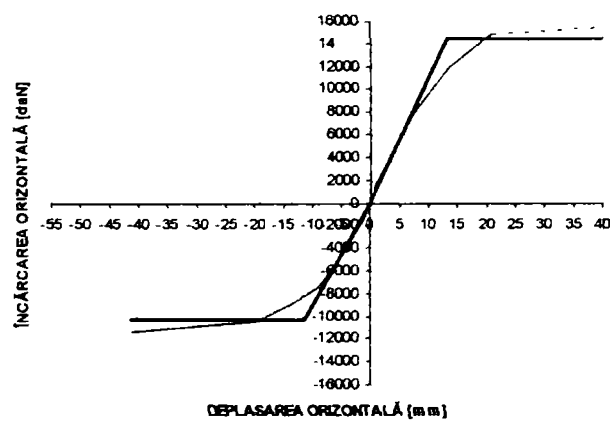


Figura 4.52 – Curba înfășurătoare maximă cu curba elasto-plastic echivalentă

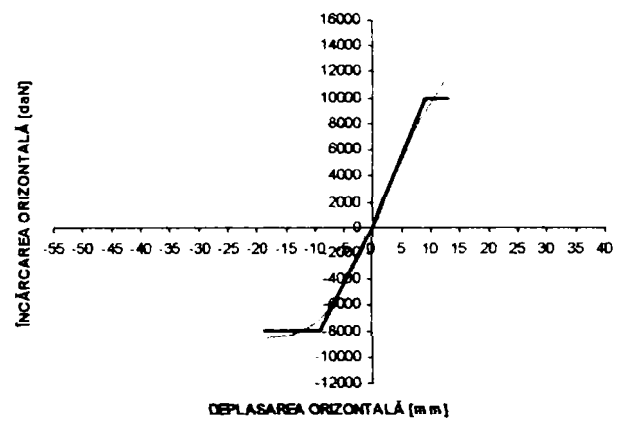


Figura 4.53 – Curba înfășurătoare minimă cu curba elasto-plastic echivalentă

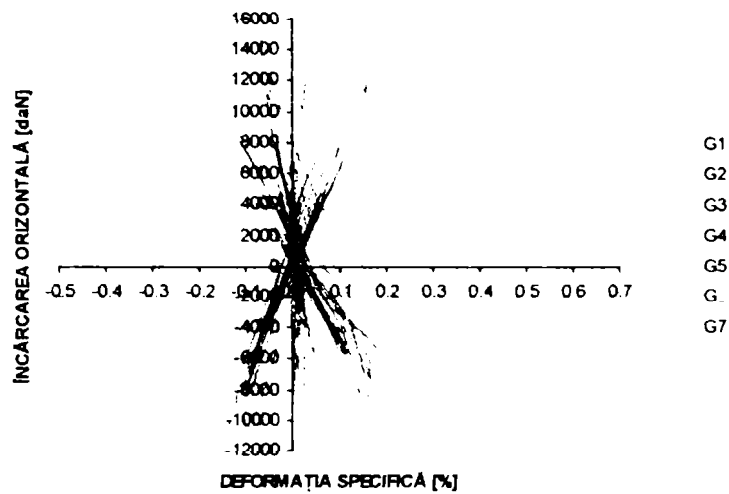


Figura 4.54 – Deformațiile specifice din compozit

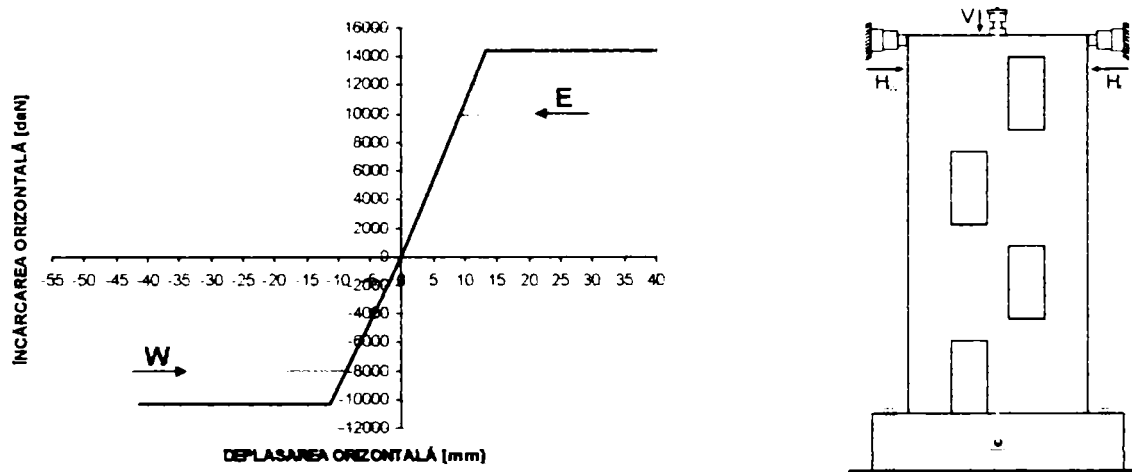


Figura 4.55 – Curbele elasto-plastice echivalente suprapuse

Trebuie menționat faptul că pe curba înfășurătoare a valorilor maxime a fost efectuată o completare (așa cum se vede și în figura 4.49), astfel ca să fie posibil calculul curbei elasto-plastice echivalente într-un mod mai realist. Caracteristicile care merită să fie interpretate și discutate, sunt caracteristicile rezultate din curba elasto-plastică echivalentă maximă, acestea fiind prezentate sintetic în *tabelul 4.7*.

Tabelul 4.7 – Compararea rezultatelor

Element	RW23	RW23
Ciclul	1 (+)	1 (-)
k_e [daN/cm]	109.5	90.3
H_{el} [daN]	14400	-10320
Δ_{el} [mm]	13.2	-11.4
H_{max} [daN]	15500	-11400
Δ_{max} [mm]	40.0	-41.4
H_u [mm]	15500	-11400
Δ_u [mm]	40.0	-41.4
D [-]	3.0	3.6
H_{el}/H_{max} [-]	0.93	0.91

Concluziile rezultate din tabelul de mai sus sunt următoarele:

- diferența de rigiditate (k_e) între direcția est (E) și vest (W) este de 18%
- diferența între încărcarea elastică (H_{el}) pe direcția est (E) și vest (W) este de 28%
- diferența între încărcarea maximă (H_{max}) pe direcția est (E) și vest (W) este de 27%
- diferența de ductilitate (D) între direcția est (E) și vest (W) este de 20%
- deformațiile specifice din compozit au ajuns la valoarea de 0.63%, care reprezintă cca. 42% din rezistența la întindere a compozitului.

4.4.4. Compararea rezultatelor privind comportarea elementelor SW23 și RW23

În urma rezultatelor obținute din încercarea elementelor SW23 și RW23, putem remarca următoarele:

- rigiditatea (k_e) elementului consolidat a scăzut în direcția pozitivă (E) cu 65%, iar în direcția negativă (W) cu 51%, deci practic sub jumătatea rigidității inițiale;
- limita elastică (H_{el}) a elementului consolidat a crescut cu 67% în direcția pozitivă (E), iar cu 28% în direcția negativă (W);
- încărcarea maximă (H_{max}) a elementului consolidat a crescut cu 59% în direcția pozitivă (E) și cu 25% în direcția negativă (W);
- ductilitatea (D) elementului consolidat a scăzut în direcția pozitivă (E) cu 71%, iar în direcția negativă (W) cu 45%.

În continuare observațiile de mai sus sunt prezentate sub formă tabelară și prin diagrame.

Tabelul 4.8 – Compararea rezultatelor SW23 și RW23

Element	SW23	SW23	RW23	RW23
Ciclul	1 (+)	1 (-)	1 (+)	1 (-)
k_e [daN/cm]	309.5	184.8	109.5	90.3
H_{el} [daN]	8620	-8070	14400	-10320
Δ_{el} [mm]	2.8	-4.36	13.2	-11.4
H_{max} [daN]	9750	-9100	15500	-11400
Δ_{max} [mm]	19.5	-13.0	40.0	-41.4
H_u [mm]	9500	-8100	15500	-11400
Δ_u [mm]	28.6	-28.6	40.0	-41.4
D [-]	10.2	6.6	3.0	3.6
H_{el}/H_{max} [-]	0.88	0.89	0.93	0.91

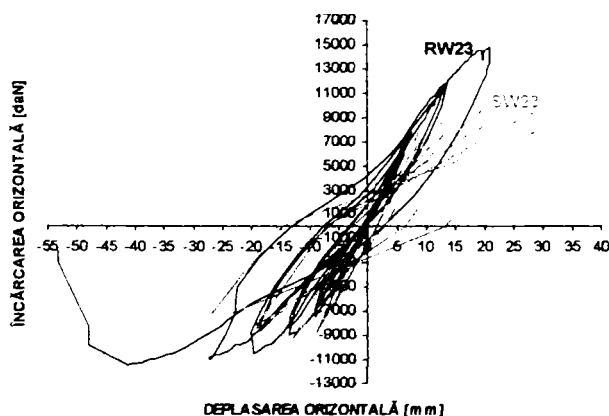


Figura 4.56 – Suprapunerea diagramelor ciclice a pereților SW23 și RW23

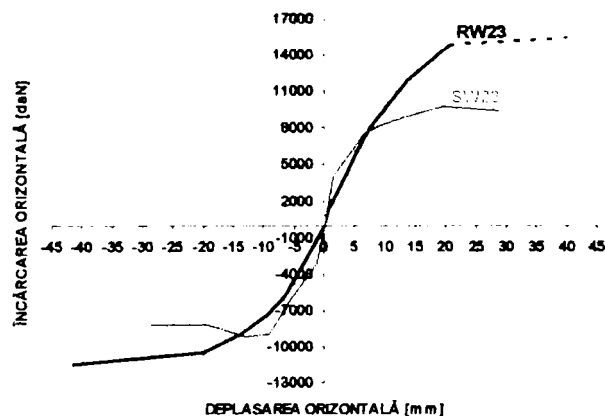


Figura 4.57 – Suprapunerea diagramelor înfășurătoare a pereților SW23 și RW23

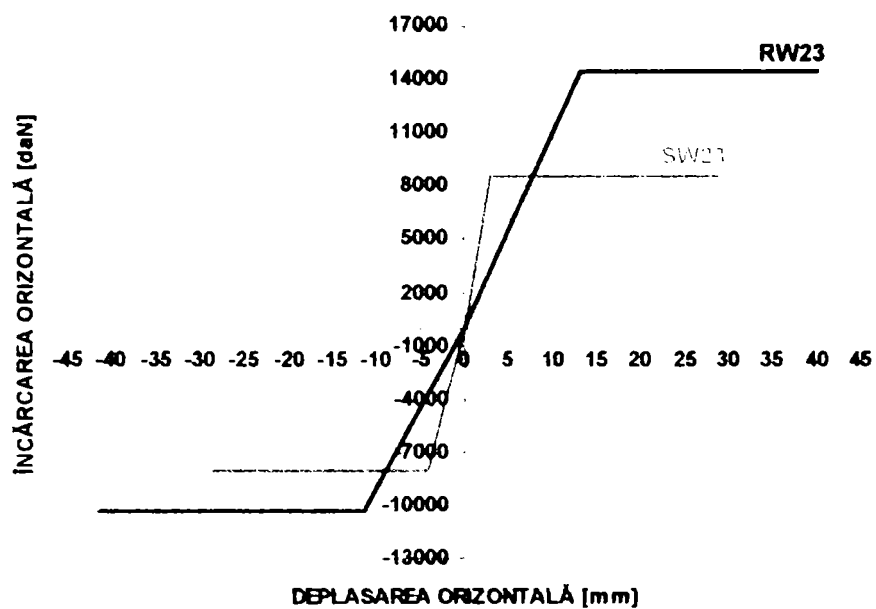


Figura 4.58 – Suprapunerea diagramelor elasto-plastice echivalente ale pereților SW23 și RW23

4.5. Încercarea elementelor experimentale SW45 și RW45

4.5.1. Încercarea elementului experimental SW45

Elementul experimental SW45 a fost un perete structural cu goluri decalate, care a fost încărcat ciclic alternant la partea superioară, cu o forță orizontală monoton crescătoare în control de deplasare, până la cedare. Forța verticală constantă aplicată a fost de $V = 50 \text{ kN}$. Principiul de încercare a fost descris deja în subcapitolele anterioare.

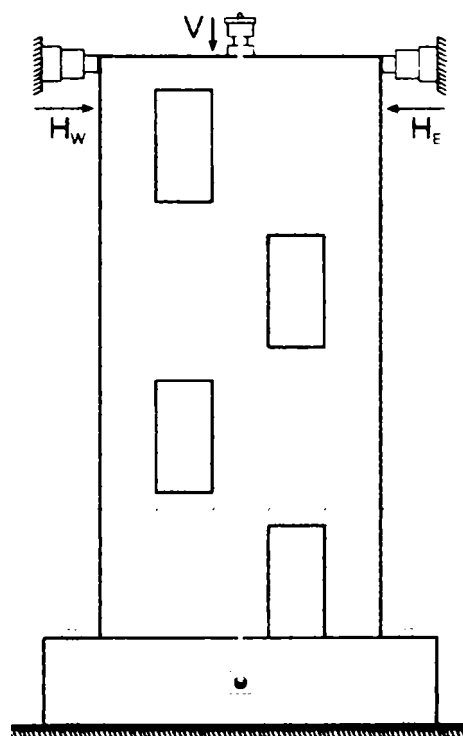
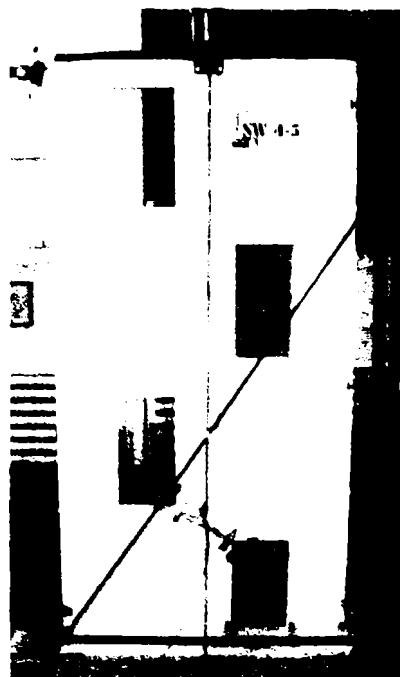


Figura 4.59 – Schema de încercare a peretelui SW45

Încărcarea elementului a fost începută din direcția vest (W). În primul ciclu au apărut 5 fisuri, forțele maxime atinse la deplasările impuse au fost de -3600 daN și de -3025 daN , deformația remanentă fiind de 0.2 mm . În ciclul al doilea peretele fisurează puternic, numărul fisurilor crește cu 30, deformația remanentă a atins 1.1 mm , forțele maxime la deplasările impuse au fost de -5525 daN și de -5000 daN . În ciclul al treilea apar 28 de fisuri noi, deformațiile remanente ajung la 1.3 mm , forțele maxime sunt de -7300 daN și de -6750 daN . În ciclul 4 apar 4 fisuri noi, iar fisurile existente se deschid, săgeata remanentă ajungând la 1.8 mm , forțele maxime atinse au fost de -8375 daN și de -7450 daN . În ciclul 5 fisurile se deschid accentuat, numărul fisurilor noi apărute este de 13, deplasarea remanentă atinge 3.8 mm , forțele maxime înregistrate au fost de -8975 daN și de -7600 daN . În ciclul 6 apar 7 fisuri noi, deformația remanentă la vârf fiind de 17 mm , iar forțele maxime sunt de -9100 daN și de -7200 daN . În ciclul 7 se dezvoltă puternic o fisură pe diagonală, apar fisuri verticale de compresiune în montantul mic, după care apare zdrobirea betonului, deplasarea remanentă fiind de 15 mm .



Peretele SW45 înainte de încercare



Peretele SW45 după încercare

Figura 4.60 – Încercarea peretelui SW45

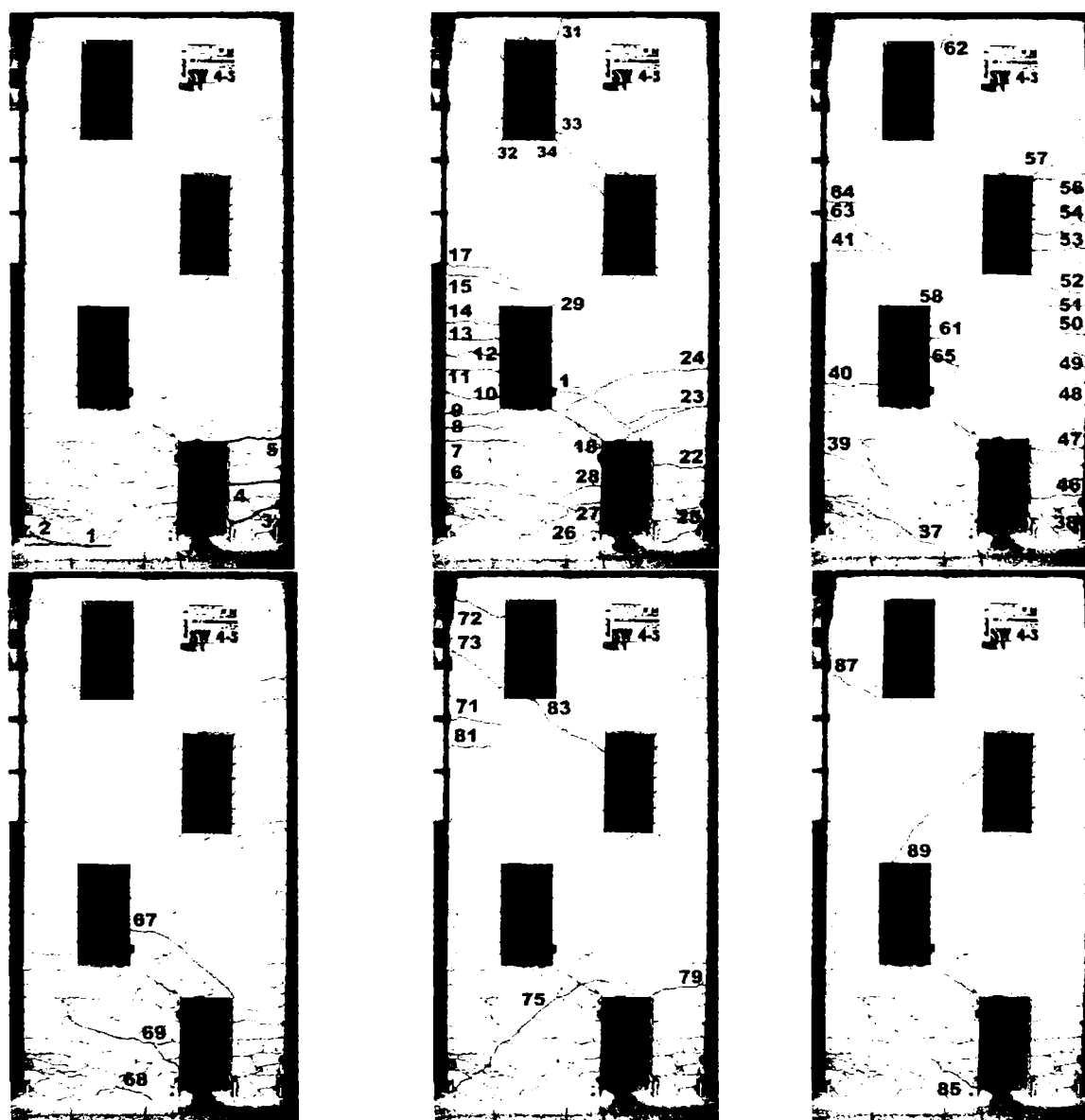


Figura 4.61 – Ordinea de fisurare al elementului experimental SW45 [71]



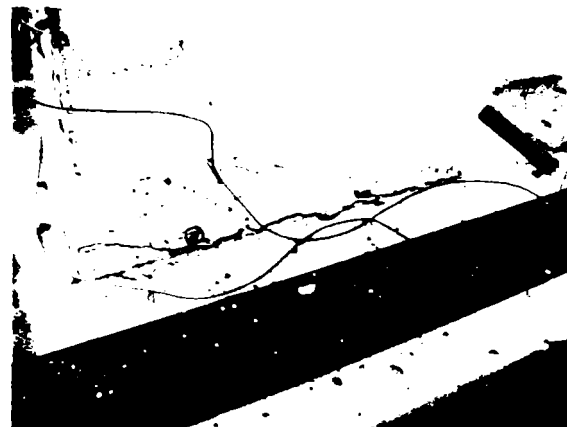
Fisurarea (montant mare)



Fisurarea (montant mic)



Fisurarea pe diagonală (intre goluri)



Deschiderea fisurii la baza montantului mic



Deschiderea fisurilor (montant mare)



Primele zdrobiri (montant mic)



Distribuția fisurilor pe partea inferioară a peretelui după cedare



Distribuția fisurilor după cedare (montant mare)



Distribuția fisurilor după cedare (montant mic)

Figura 4.62 – Detalii de cedare

În continuare, sunt prezentate diagramele caracteristice forță-deplasare a peretelui, după care datele caracteristice de comportare a peretelui.

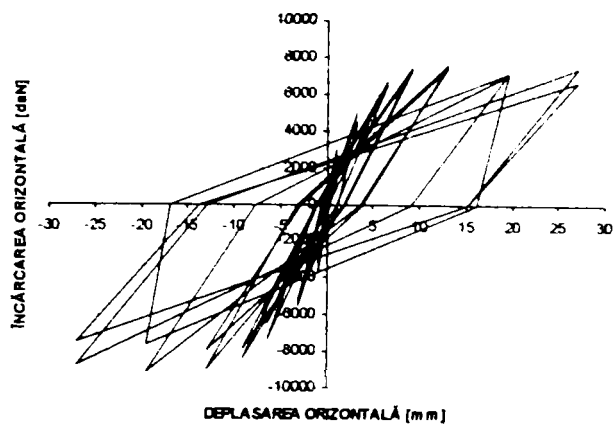


Figura 4.63 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW45

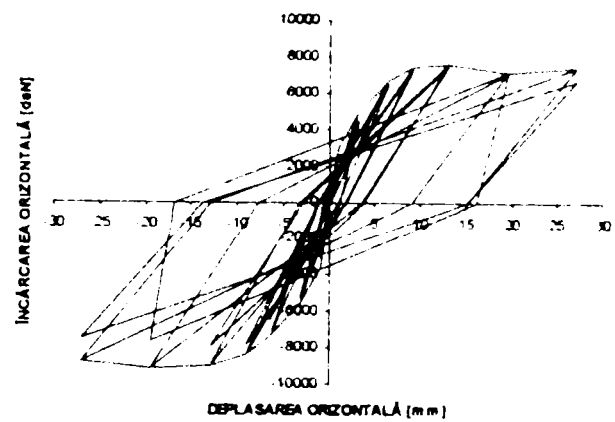


Figura 4.64 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW45 și înfășurătoarea maximelor

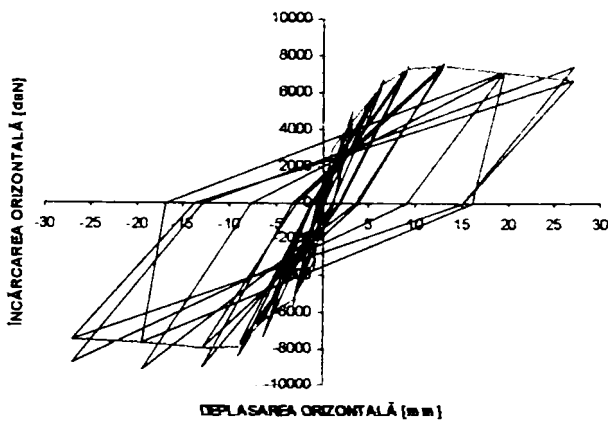


Figura 4.65 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW45 și înfășurătoarea minimelor

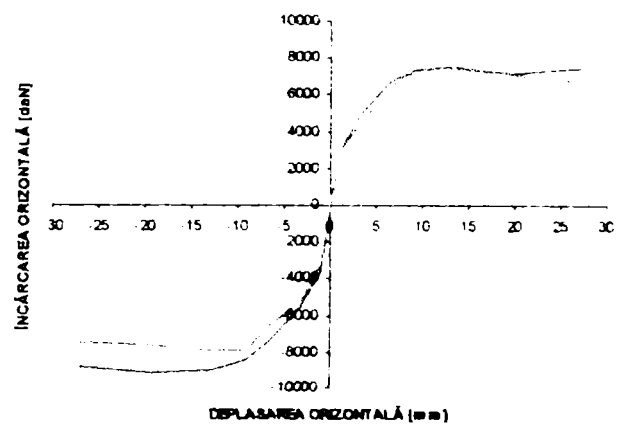


Figura 4.66 – Curbele înfășurătoare ale peretelui SW45 suprapuse

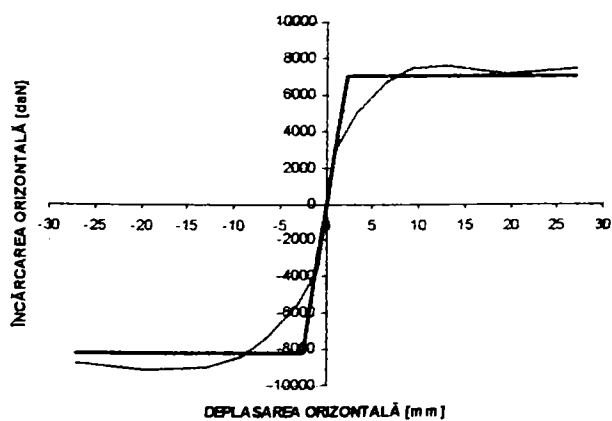


Figura 4.67 – Curba înfășurătoare maximă și curba elasto-plastic echivalentă

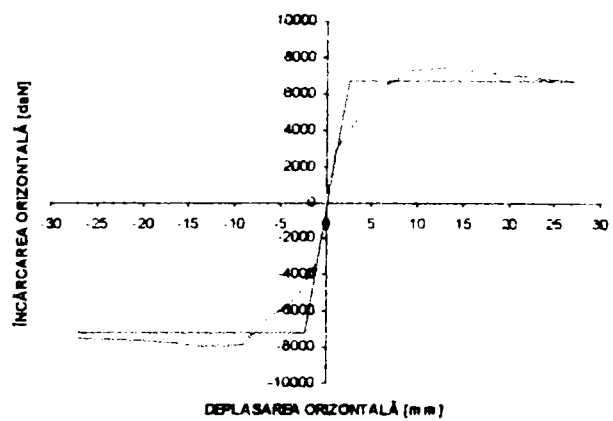


Figura 4.68 – Curba înfășurătoare minimă și curba elasto-plastic echivalentă

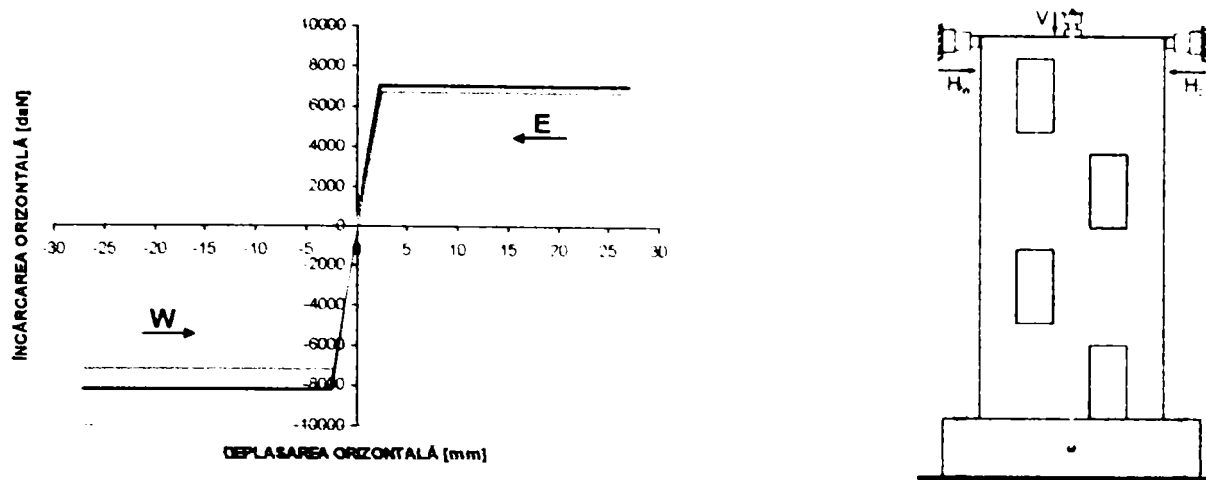


Figura 4.69 – Curbele elasto-plastice echivalente suprapuse

În urma trasării curbelor elasto-plastice echivalente maxime și minime, au rezultat limitele elastice (H_{el}), deplasările la limitele elastice (Δ_{el}), deplasările ultime (Δ_u), rigiditățile elastice (k_e) și ductilitățile (D), care sunt prezentate sintetic în tabelul 4.9.

Tabelul 4.9 – Compararea rezultatelor

Element	SW45	SW45	SW45	SW45
Ciclul	1 (+)	1 (-)	2 (+)	2 (-)
k_e [daN/cm]	298.0	343.4	280.4	312.9
H_{el} [daN]	7000	-8250	6730	-7200
Δ_{el} [mm]	2.3	-2.4	2.4	-2.3
H_{max} [daN]	7600	-9100	7500	-7900
Δ_{max} [mm]	13.0	-19.5	13.0	-13.0
H_u [daN]	7500	-8750	6730	-7450
Δ_u [mm]	27.0	-27.0	27.0	-27.0
D [-]	11.5	11.3	11.2	11.7
H_{el}/H_{max} [-]	0.92	0.91	0.90	0.91

În urma acestor rezultate se pot trage numeroase concluzii dintre acestea s-au ales observațiile referitoare la încărcările orizontale maxime (H_{max}), nivelul încărcării elastice (H_{el}), rigiditatea (k_e) și ductilitatea (D):

- scăderea rigidității (k_e) pozitive (E) de la un ciclu la altul este de 6%, în timp ce rigiditatea (k_e) negativă (W) se modifică cu 9%;
- diferența de rigiditate (k_e) între direcția est (E) și vest (W) este de 10-13%;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) negative (W) și a încărcării elastice (H_{el}) negative (W) este de 13%;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) pozitive (E) este de 1% și a încărcării elastice (H_{el}) pozitive (E) este de 4%, apreciată ca fiind nesemnificativă;
- diferența între încărcarea maximă (H_{max}), respectiv încărcarea elastică (H_{el}), pe direcția est (E) și vest (W) este de 5-16%;
- modificarea ductilității (D) în ambele sensuri este de 3-4%, apreciată ca fiind nesemnificativă;
- diferența de ductilitate (D) între direcția est (E) și vest (W) este de 2-4%.

4.5.2. Consolidarea elementului experimental SW45

Peretele SW45 a fost consolidat la fel ca și peretele SW23, cu 3 fâșii verticale de 15 cm, respectiv 4 fâșii orizontale, de asemenea de 15 cm. Fâșiile verticale au fost dispuse la extremitățile peretilor și pe mijloc, iar fâșiile orizontale au fost așezate în dreptul planșelor.

Sistemul de consolidare utilizat, modul și etapele de aplicare a consolidării, respectiv alcătuirea ancorajului au fost identice cu cel utilizat la peretele SW45.

În continuare sunt prezentate fazele principale ale consolidării peretelui SW45.



Curățirea suprafeței



Realizarea zonelor de ancoraj



Aplicarea amorsei



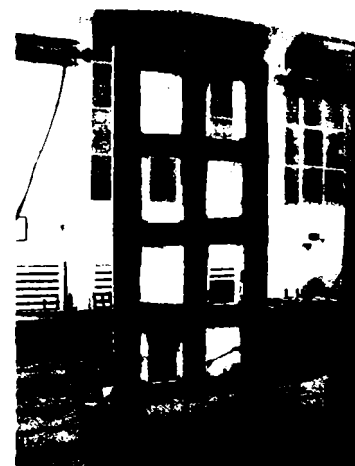
Aplicarea țesăturii



Trecerea fibrei prin zona de ancoraj



Ancorajul realizat



Elementul consolidat

Figura 4.70 – Fazele consolidării peretelui SW45

4.5.3. Încercarea elementului consolidat

Elementul consolidat SW45, după consolidare a primit numele de RW45. Încercarea elementului consolidat s-a efectuat în aceleași condiții cu cel precedent (SW45), ciclul s-a început din est (E), dar fiindcă elementul consolidat a fost întors, aceasta corespunde direcției de încărcare din vest (W). Pentru înregistrarea deplasărilor s-au folosit captori de deplasare, dispuși și denumiți în mod identic cu cei de la pereții anteriori, iar pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse 6 timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniate pe direcția fibrelor (figura 4.70).

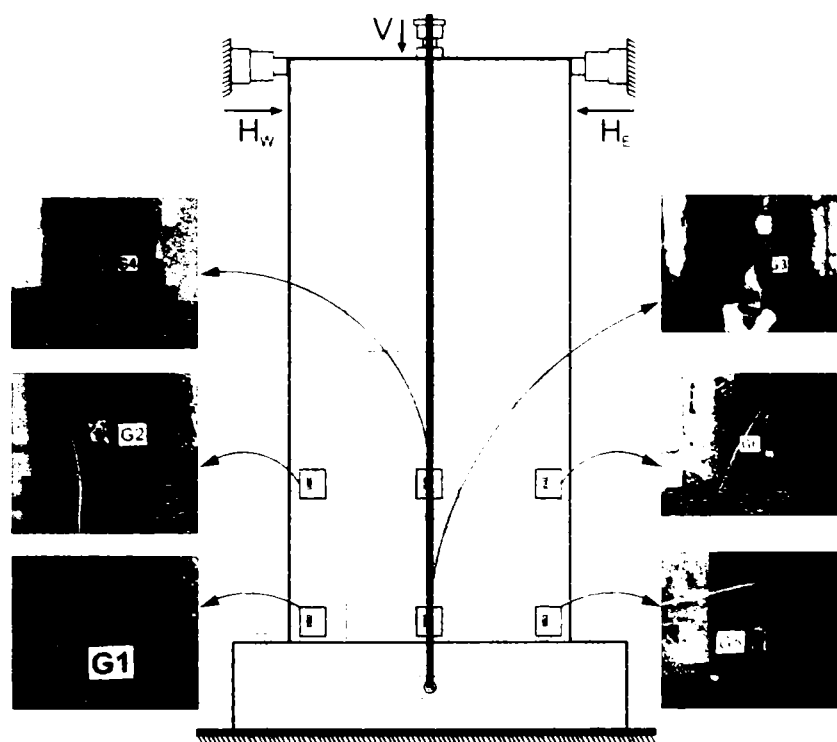


Figura 4.71 – Așezarea aparatelor de măsurare și a timbrei tensometrice pe elementul RW45

Încercarea s-a desfășurat fără evenimente semnificative până la ciclul 2, când au apărut câteva fisuri noi, cu lungimi mai mici, după care singurele evenimente semnificate au fost deschiderea fisurilor existente. În ciclul 6 s-au auzit primele pocnituri în compozit. În pasul 21 mai întâi compozitul se dezlipiște la compresiune în colțul drept al montantului mare, după care în pasul următor (22) se rupe la întindere pe o lățime de cca. 10 cm, concomitent cu dezlipirea compozitului de pe montantul mic. În următorii doi pași deschiderea fisurilor se accentuează, dezlipirea de pe montantul mic se extinde și mai apar niște dezlipiri (pe o suprafață mică) și pe fâșia de mijloc. În ciclul 7, pasul 25 fâșia de pe montantul mic cedează la întindere. În pasul 27 peretele are tendința de ieșire din plan (răsucire) de aceea încercarea se oprește.

Cedarea elementului consolidat s-a produs prin deschiderea treptată a fisurilor existente, prin dezlipirea compozitului în zona comprimată a montantului mare (montant care apoi s-a rupt la întindere) concomitent cu dezlipirea compozitului la compresiune de pe montantul mic.

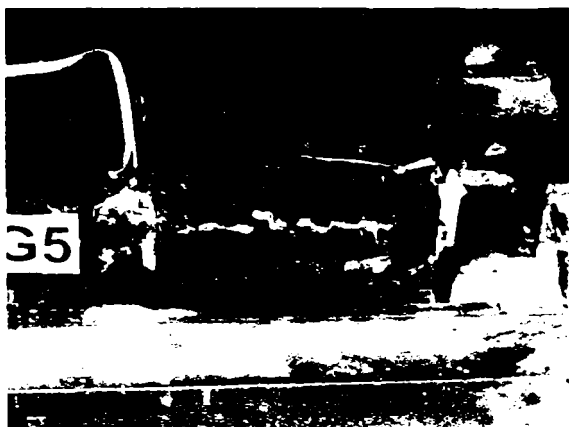
În continuare în figurile de mai jos se pot urmări detaliile de rupere ale elementului experimental RW45 după care sunt prezentate diagramele de comportare ale peretelui.



Apariția unor noi fisuri și deschiderea celor existente



Dezlipirea compozitului la compresiune (montant mare)



Ruperea compozitului la întindere (montant mare)



Dezlipirea compozitului la compresiune (montant mic)



Deschiderea accentuată a fisurilor



Dezlipirea accentuată și flambajul compozitului (montant mic)



Dezlipirea compozitului pe fâșia de mijloc



Zona comprimată (montant mare)



Figura 4.72 – Detalii ale cedării elementului experimental RW45

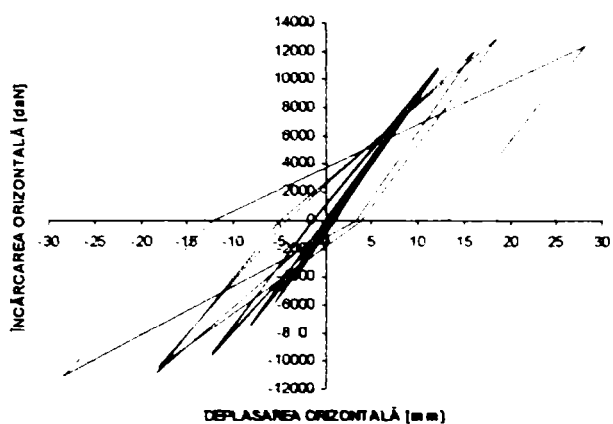


Figura 4.73 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW45

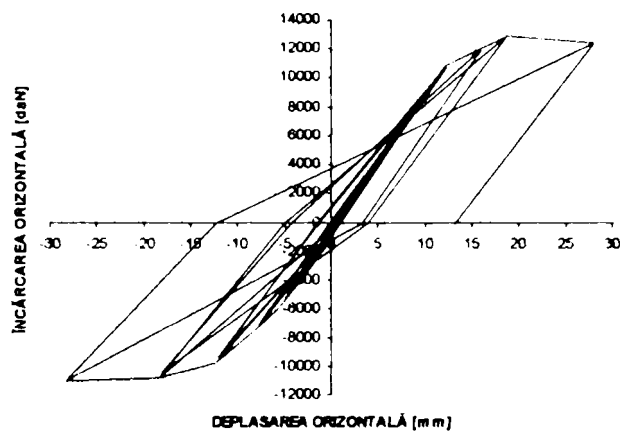


Figura 4.74 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW45 și înfășurătoarea maximelor

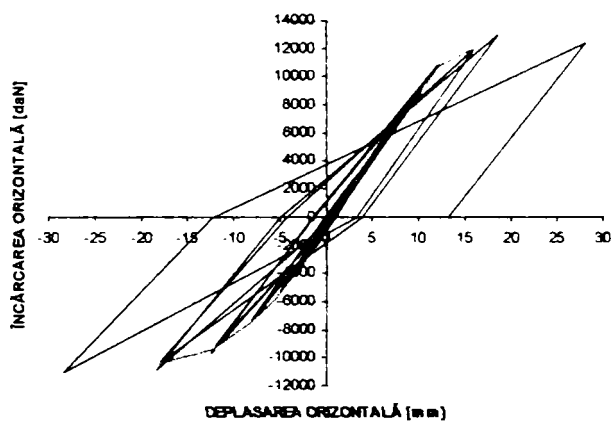


Figura 4.75 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW45 și înfășurătoarea minimelor

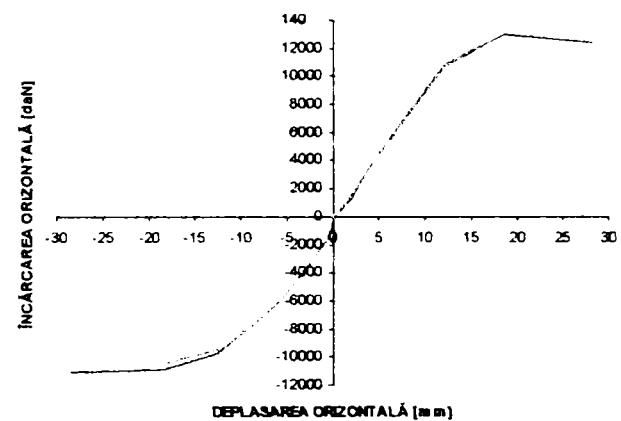


Figura 4.76 – Curbele înfășurătoare a peretelui RW45 suprapuse

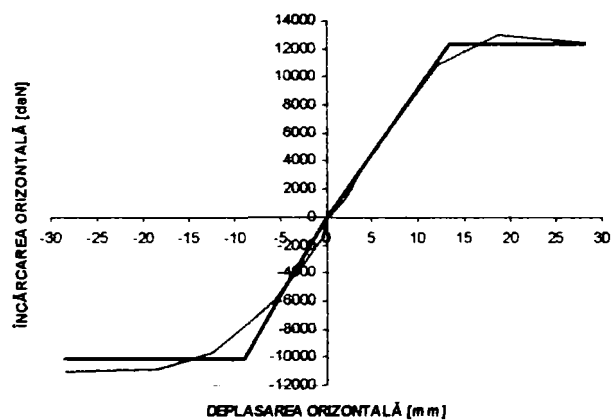


Figura 4.77 – Curba înfășurătoare maximă și curba elasto-plastic echivalentă

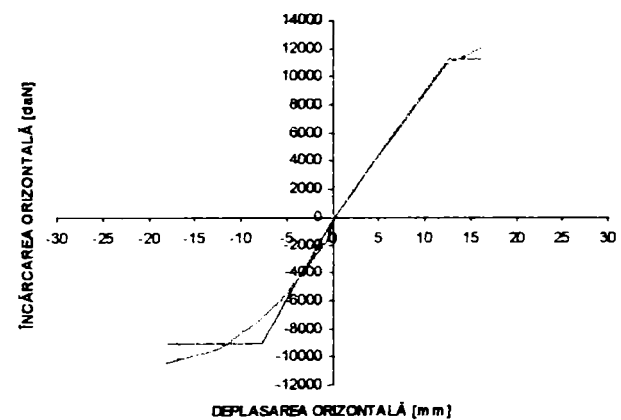


Figura 4.78 – Curba înfășurătoare minimă și curba elasto-plastic echivalentă

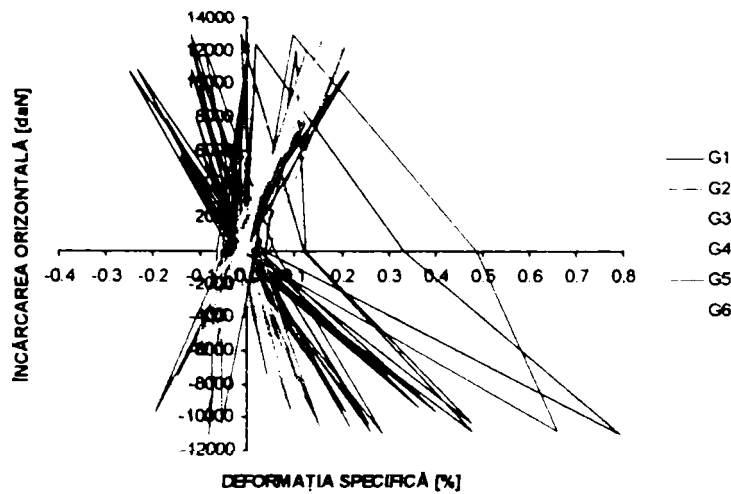


Figura 4.79 – Deformațiile specifice din compozit

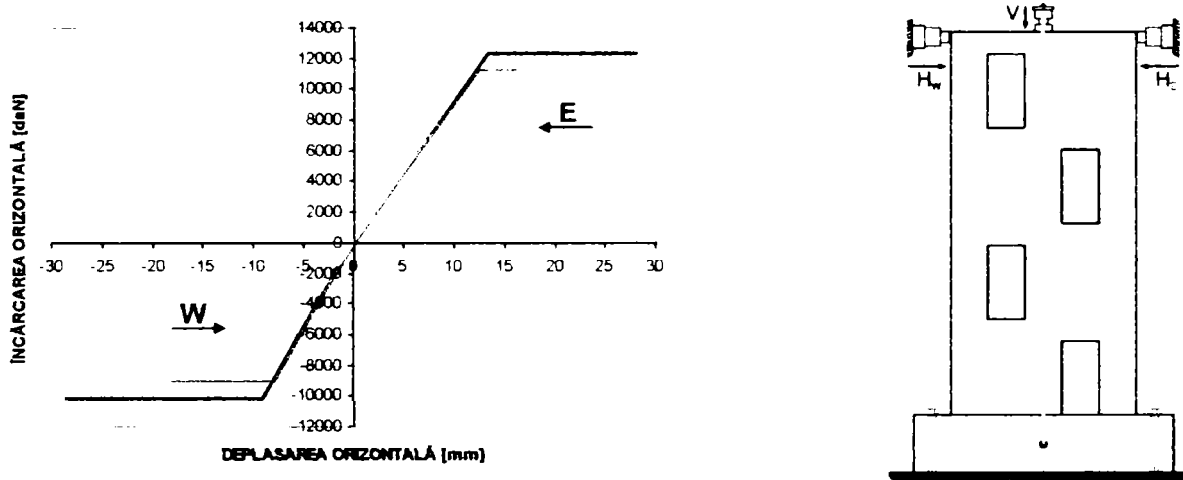


Figura 4.80 – Curbele elasto-plastice echivalente suprapuse

Deoarece încercarea peretelui a fost oprită înaintea ultimilor doi pași (27 și 28), înfășurătoarea minimă este incompletă, de aceea interpretarea relevantă este cea referitoare la înfășurătoarea maximă. Totuși, o comparație a degradării rigidităților s-arată că acestea sunt identice atât pentru curba maximă, cât și pentru curba minimă (figura 4.80).

Prezentarea sintetică a rezultatelor obținute se poate vedea în tabelul 4.10.

Tabelul 4.10 – Compararea rezultatelor

Element	RW45	RW45
Ciclu	1 (+)	1 (-)
k_e [daN/cm]	91.7	112.8
H_{el} [daN]	12360	-10140
Δ_{el} [mm]	13.5	-9.0
H_{max} [daN]	13000	-10800
Δ_{max} [mm]	18.6	-18.5
H_u [mm]	12360	-11000
Δ_u [mm]	28.0	-28.5
D [-]	2.1	3.2
H_{el}/H_{max} [-]	0.95	0.94

Concluziile care se pot trage din tabelul de mai sus sunt următoarele:

- diferența de rigiditate (k_e) între direcția est (E) și vest (W) este de 23%;
- diferența între încărcarea elastică (H_{el}) pe direcția est (E) și vest (W) este de 18%;
- diferența între încărcarea maximă (H_{max}) pe direcția est (E) și vest (W) este de 17%;
- diferența de ductilitate (D) între direcția est (E) și vest (W) este de 52%;
- deformațiile specifice din compozit au ajuns la valoarea de 0.79%, care reprezintă cca. 53% din rezistența la întindere a compozitului.

4.5.4. Compararea rezultatelor privind comportarea elementelor SW45 și RW45

În urma rezultatelor obținute din încercarea elementelor SW45 și RW45, putem remarca următoarele:

- rigiditatea (k_e) elementului consolidat a scăzut în direcția pozitivă (E) cu 70%, iar în direcția negativă (W) cu 67%, deci degradarea rigidității a fost semnificativă;
- valoarea forței la limita elastică (H_{el}) a elementului consolidat a crescut cu 76% în direcția pozitivă (E) și cu 23% în direcția negativă (W);
- încărcarea maximă (H_{max}) a elementului consolidat a crescut cu 71% în direcția pozitivă (E) și cu 19% în direcția negativă (W);
- ductilitatea (D) elementului consolidat a scăzut în direcția pozitivă (E) cu 82% și în direcția negativă (W) cu 72%, deci în medie până sub o treime.

În continuare observațiile de mai sus sunt prezentate sub formă tabelară și prin diagrame.

Tabelul 4.11 – Compararea rezultatelor SW45 și RW45

Element	SW45	SW45	RW45	RW45
Ciclu	1 (+)	1 (-)	1 (+)	1 (-)
k_e [daN/cm]	298.0	343.4	91.7	112.8
H_{el} [daN]	7000	-8250	12360	-10140
Δ_{el} [mm]	2.3	-2.4	13.5	-9.0
H_{max} [daN]	7600	-9100	13000	-10800
Δ_{max} [mm]	13.0	-19.5	18.6	-18.5
H_u [mm]	7500	-8750	12360	-11000
Δ_u [mm]	27.0	-27.0	28.0	-28.5
D [-]	11.5	11.3	2.1	3.2
H_{el}/H_{max} [-]	0.92	0.91	0.95	0.94

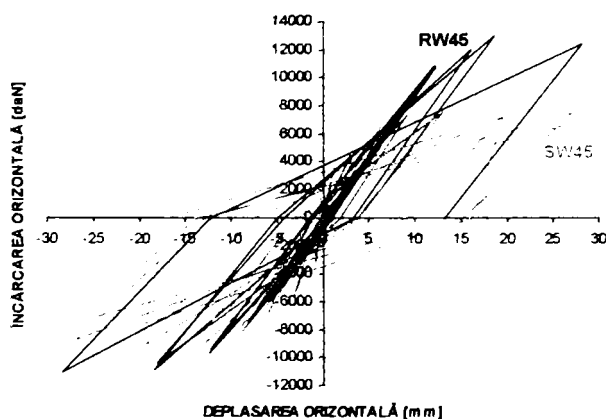


Figura 4.81 – Suprapunerea diagramelor ciclice ale pereților SW45 și RW45

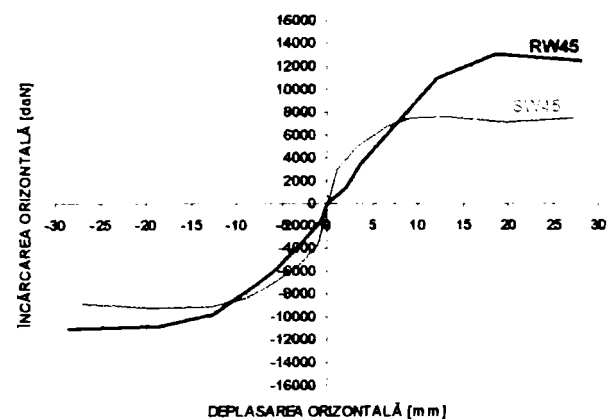


Figura 4.82 – Suprapunerea diagramelor înfășurătoare ale pereților SW45 și RW45

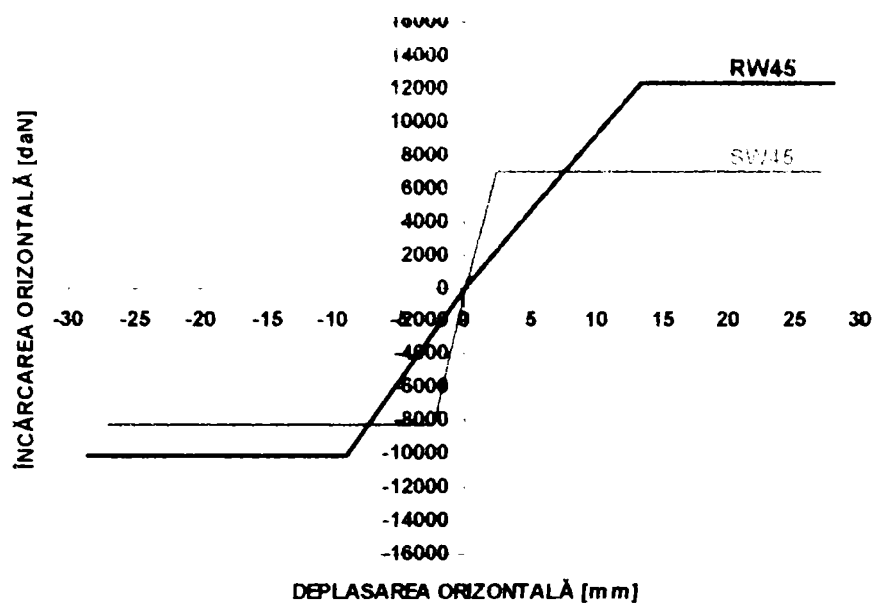


Figura 4.83 – Suprapunerea diagramelor elasto-plastice echivalente ale pereților SW45 și RW45

4.6. Încercarea elementelor experimentale SW67 și RW67

4.6.1. Încercarea elementului experimental SW67

Elementul experimental SW67 a fost un perete structural cu goluri decalate. Acesta a fost încărcat ciclic alternant la partea superioară, cu o forță orizontală monoton crescătoare în control de deplasare, până la cedare. Forța verticală constantă aplicată a avut valoarea $V = 50 \text{ kN}$. Principiul de încercare a fost identic cu cel descris în subcapitolele anterioare.

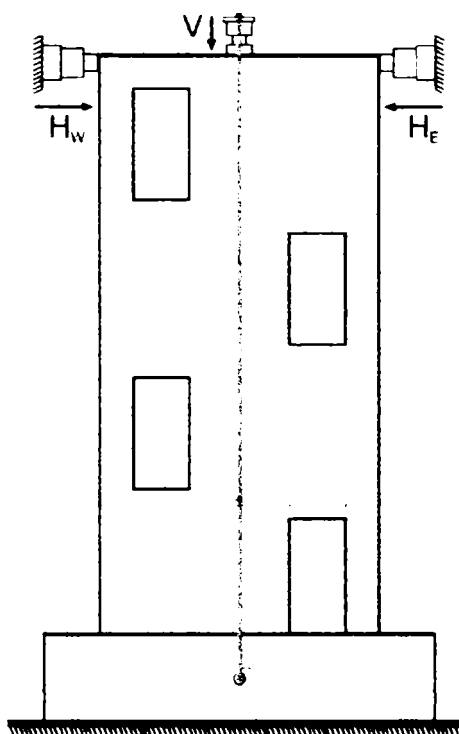


Figura 4.84 – Schema de încercare a peretelui SW67

Încărcarea elementului a fost începută spre montantul mic. În primul ciclu apar 17 fisuri, forțele maxime atinse la deplasările impuse au fost de -2700 daN și de -2650 daN , deformația remanentă fiind de 0.4 mm . În ciclul al doilea peretele fisurează puternic, numărul fisurilor crește la 51, deformația remanentă a atins 0.65 mm iar forțele maxime la deplasările impuse au fost de -5300 daN și de -5100 daN . În ciclul al treilea numărul fisurilor este de 70, deformațiile remanente ajung la 1.6 mm , forțele maxime sunt de -7100 daN și de -6400 daN . În ciclul 4 apar 17 fisuri noi, săgeata remanentă ajungând la 2.1 mm , forțele maxime atinse au fost de -8550 daN și de -7600 daN . În ciclul 5 fisurile se deschid puternic, numărul fisurilor este de 93, deplasarea remanentă atinge 4.0 mm , forțele maxime înregistrate au fost de -9100 daN și de -7800 daN . În ciclul 6 numărul total al fisurilor este de 101, deformația remanentă la vârf fiind de 8.9 mm , iar forțele maxime sunt de -9100 daN și de -7300 daN , apărând și fisuri verticale de compresiune. În ciclul 7 una dintre armăturile marginale intră în curgere, deplasarea remanentă înregistrată fiind de 13.4 mm .

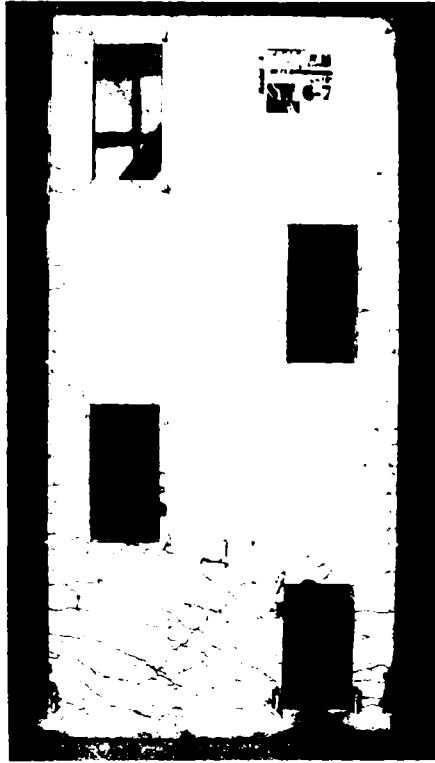


Figura 4.85 – Peretele SW67 după încercare

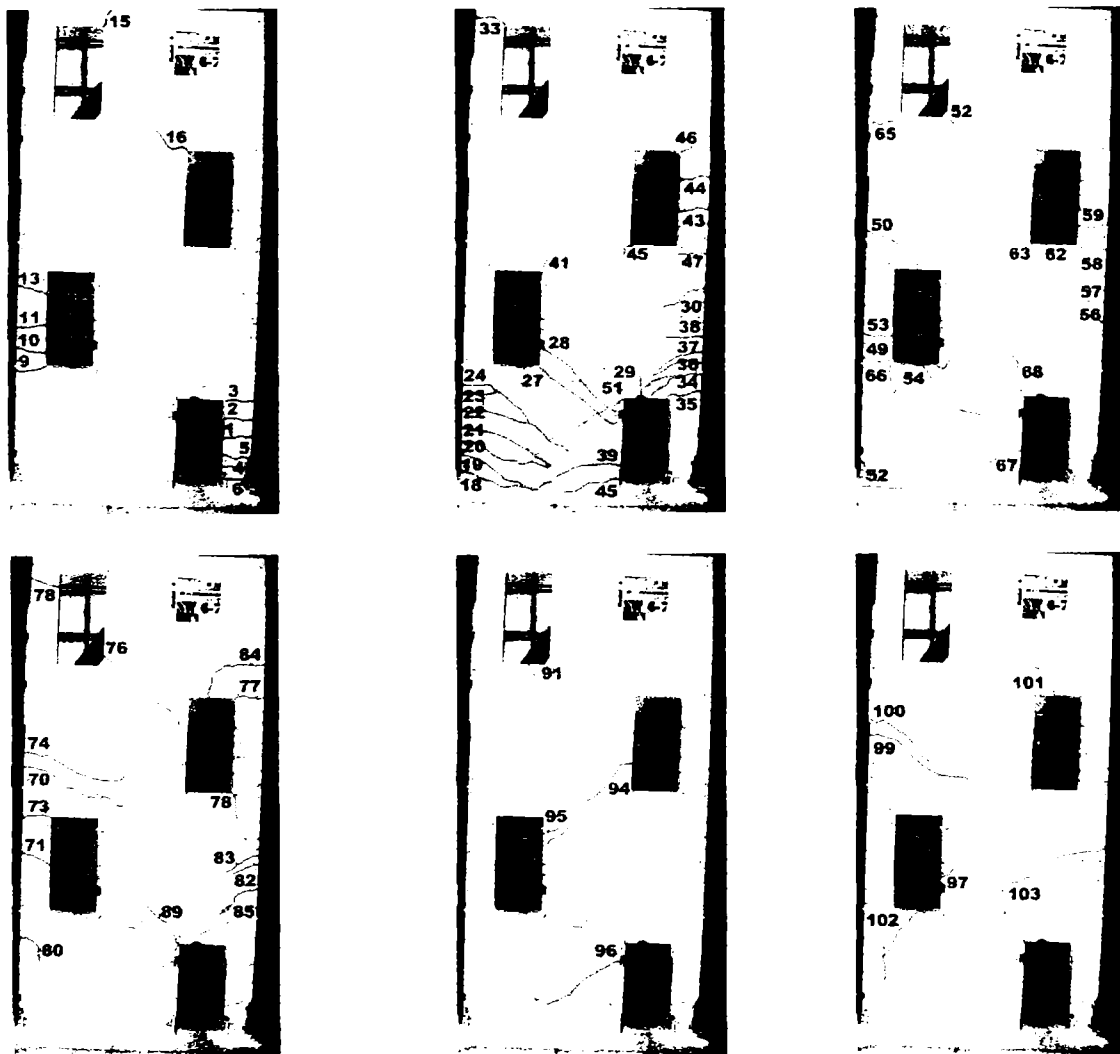
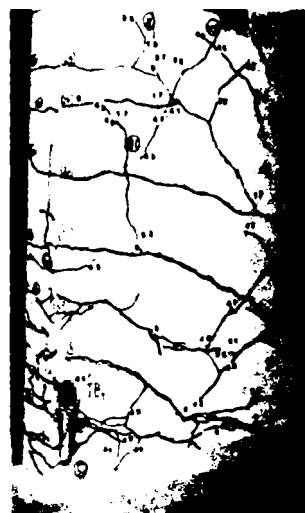


Figura 4.86 – Ordinea de fisurare al elementului experimental SW67 [71]



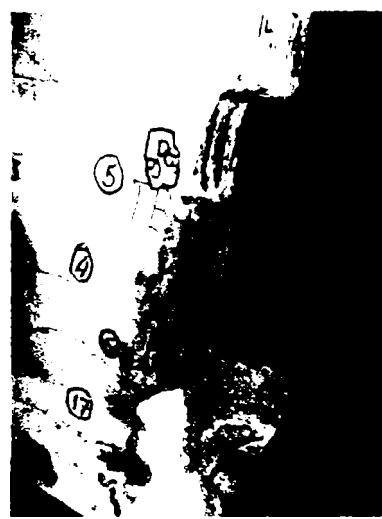
Distribuția fisurilor în zona dintre goluri



Distribuția fisurilor (montant mare)



Distribuția fisurilor (montant mic)



Zdrobirea betonului la baza montantului mic

Figura 4.87 – Detalii de cedare ale elementului experimental SW67

În continuare sunt prezentate diagramele caracteristice forță-deplasare ale peretelui respectiv câteva date caracteristice de comportare a peretelui.

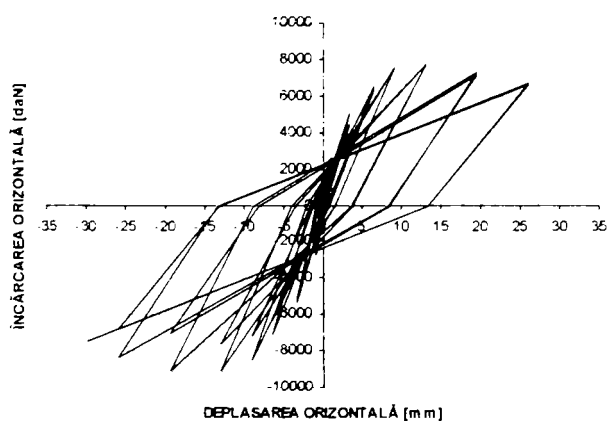


Figura 4.88 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW67

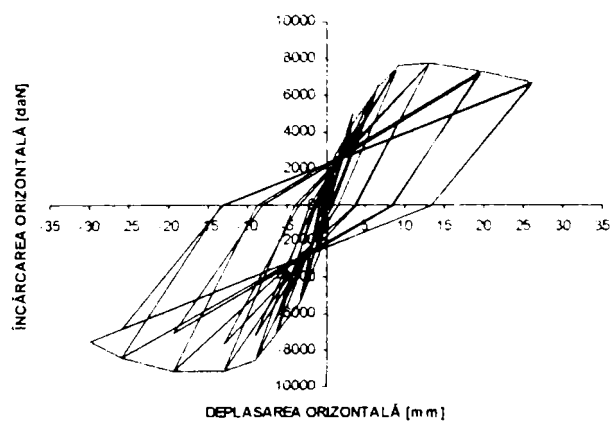


Figura 4.89 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW67 și înfășurătoarea maximelor

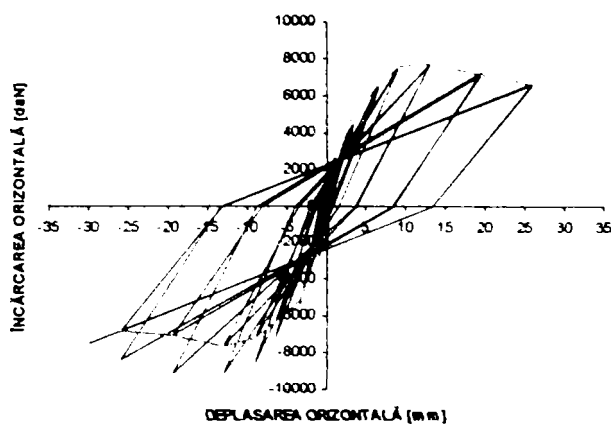


Figura 4.90 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW67 și înfășurătoarea minimelor

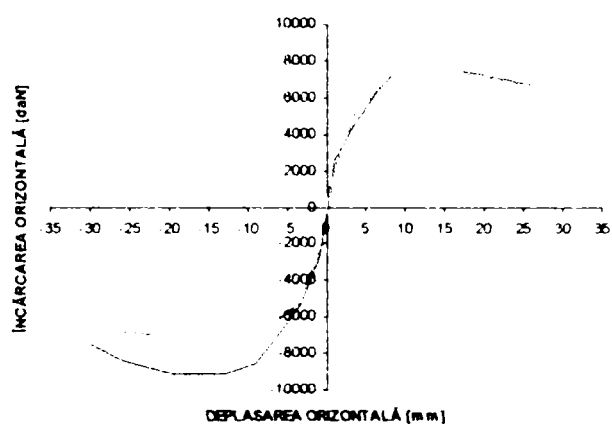


Figura 4.91 – Curbele înfășurătoare ale peretelui SW67 suprapuse

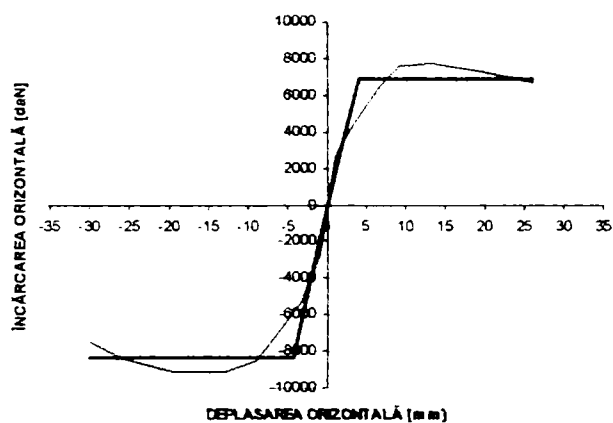


Figura 4.92 – Curba înfășurătoare maximă și curba elasto-plastic echivalentă

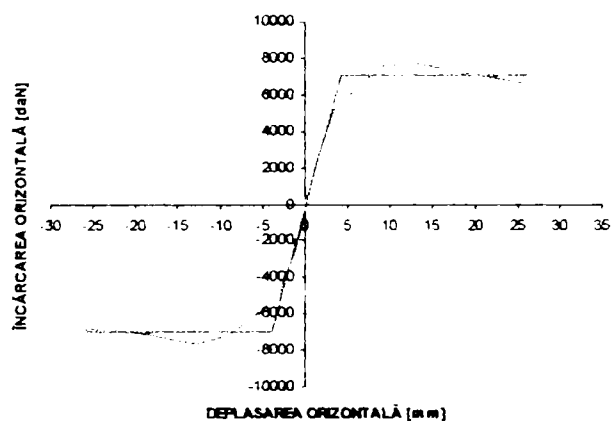


Figura 4.93 – Curba înfășurătoare minimă și curba elasto-plastic echivalentă

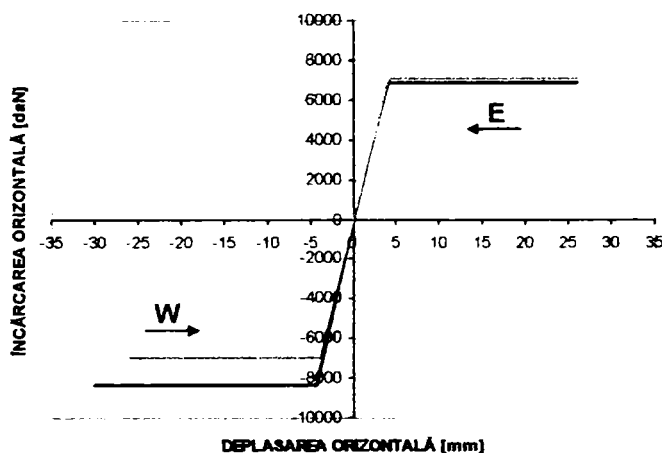
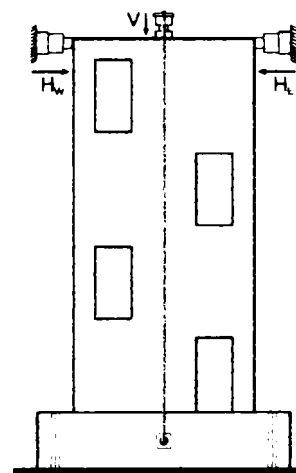


Figura 4.94 – Curbele elasto-plactice echivalente suprapuse



În urma trasării curbelor elasto-plactice echivalente maxime și minime, au rezultat limitele elastice (H_{el}), deplasările la limitele elastice Δ_{el} , deplasările ultime (Δ_u), rigiditățile elastice (k_e) și ductilitățile (D), care sunt prezentate sintetic în tabelul 4.12.

Tabelul 4.12 – Compararea rezultatelor

Element	SW67	SW67	SW67	SW67
Ciclul	1 (+)	1 (-)	2 (+)	2 (-)
k_e [daN/cm]	168.6	-198.9	170.5	176.7
H_{el} [daN]	6900	-8340	7090	-6935
Δ_{el} [mm]	4.1	-4.2	4.2	-3.9
H_{max} [daN]	7800	-9100	7800	-7600
Δ_{max} [mm]	13.0	-19.5	13.0	-13.0
H_u [mm]	6900	-7450	6625	-6935
Δ_u [mm]	26.0	-30.0	26.0	-26.0
D [-]	6.3	7.1	6.3	6.6
H_{el}/H_{max} [-]	0.88	0.92	0.91	0.91

În urma acestor rezultate se pot trage numeroase concluzii, în funcție de problema studiată. Dintre acestea s-au ales observațiile referitoare la încărcările orizontale maxime (H_{max}), nivelul încărcării elastice (H_{el}), rigiditatea (k_e) și ductilitatea (D).

Astfel putem trage următoarele concluzii:

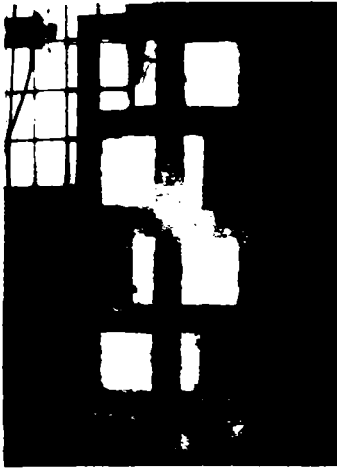
- scăderea rigidității (k_e) pozitive (E) de la un ciclu la altul este doar de 1%, în timp ce rigiditatea (k_e) negativă (W) se modifică cu 11%;
- diferența de rigiditate (k_e) între direcția est (E) și vest (W) este de 4-15%;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) pozitive (E), cât și a încărcării la limita elastică (H_{el}) pozitive (E) este de 0-3%, practic degradarea putând fi considerată nesemnificativă;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) negative (W) și încărcării la limita elastică (H_{el}) negativă (W) este de 16-17%;
- diferența între încărcarea maximă (H_{max}), respectiv încărcarea la limita elastică (H_{el}), pe direcția est (E) și vest (W) este de 14-17%;
- modificarea ductilității (D) în ambele sensuri este de 0-7%, deci nesemnificativă;
- diferența de ductilitate (D) între direcția est (E) și vest (W) este de 5-11%.

4.6.2. Consolidarea elementului experimental SW67

Peretele SW67 a fost consolidat la fel ca și pereții anteriori (SW23, SW45), cu 3 fâșii verticale de 15 cm, respectiv cu 4 fâșii orizontale, de asemenea de 15 cm. Fâșiile verticale au fost dispuse la extremitățile pereților și pe mijloc, iar fâșiile orizontale au fost așezate în dreptul planșeelor.

Sistemul de consolidare utilizat, modul și etapele de aplicare a consolidării, respectiv alcătuirea ancorajului au fost identice cu cele folosite la pereții anteriori.

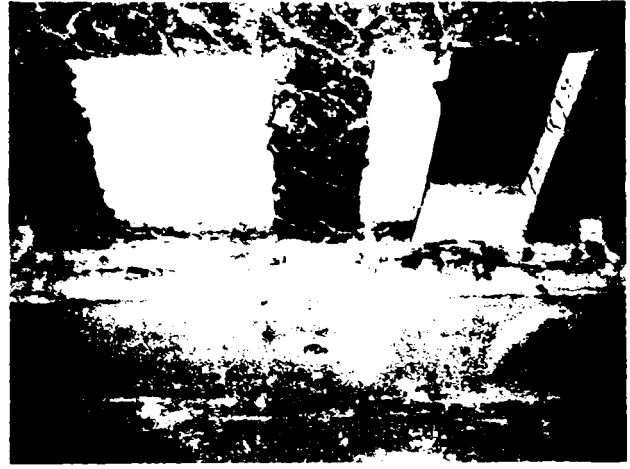
În continuare sunt prezentate fazele principale ale consolidării peretelui SW67.



Curățirea suprafeței



Îndepărtarea betonului sfărâmat



Realizarea zonei de ancoraj



Aplicarea amorsei



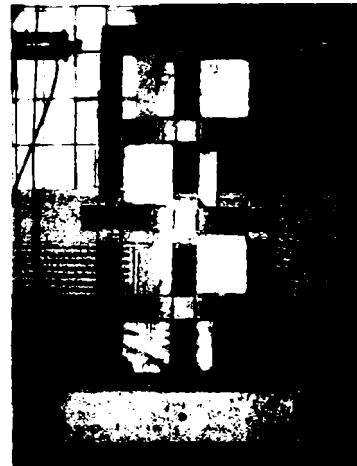
Zona de ancoraj amorsat



Corectarea suprafeței și înlocuirea betonului îndepărtat cu rășină



Ancorajul realizat



Elementul consolidat

Figura 4.95 – Fazele consolidării peretelui SW67

4.6.3. Încercarea elementului consolidat

Elementul consolidat SW67, după consolidare a primit numele de RW67. Încercarea elementului consolidat s-a efectuat în aceleași condiții cu cel precedent (SW67), însă ciclul s-a început din est (E). Pentru înregistrarea deplasărilor s-au folosit captori de deplasare, dispuși și denumiți în mod identic cu cei de la pereții anteriori, iar pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse 6 timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniate pe direcția fibrelor (figura 4.96).

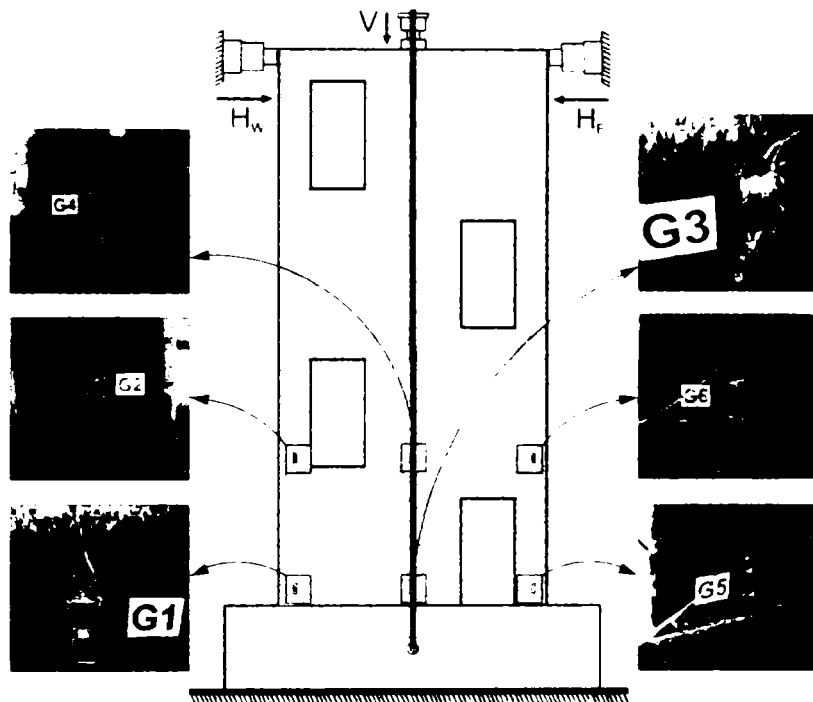


Figura 4.96 – Așezarea aparatelor de măsurare și a timbrelor tensometrice pe elementul RW67

Deja de la începutul încercării, în pasul 2, se aud pocnituri în compozit, însă fără semne vizibile. În ciclul 2, pasul 5 fisura de la baza montantului mic se deschide. În pașii următori nu se întâmplă nimic semnificativ, până în ciclul 3 pasul 10, când apare fisura la baza montantului mare. În ciclul 4, la pasul 13 apare prima dezlipire din compresiune a compozitului în colțul stâng al montantului mare, când apare și o fisură orizontală în compozit de cca. 10 cm. În continuare dezlipirea compozitului de pe montantul mare se extinde, între timp apărând și fisuri de compresiune iar apoi și de întindere și în montantul mic. În ciclul 5, pasul 17, aproximativ 13 cm din fâșia de pe montantul mare se rupe la compresiune iar în pașii următori fisurile se deschid pronunțat. În ciclul 6, pasul 23, jumătate din fâșia de compozit de pe montantul mic se rupe, iar în pasul următor bucata de fâșie de cca. 2 cm se rupe la întindere, în două locuri, aruncând fâșia ruptă. Tot în acest pas jumătatea de fâșie încă întreagă de pe montantul mic se desprinde de pe element și flambează. În ciclul 7, în ultima fază fisurile se deschid puternic, zonele comprimate se zdrobesc, și zona de compozit întreg de pe montantul mic se rupe la întindere.

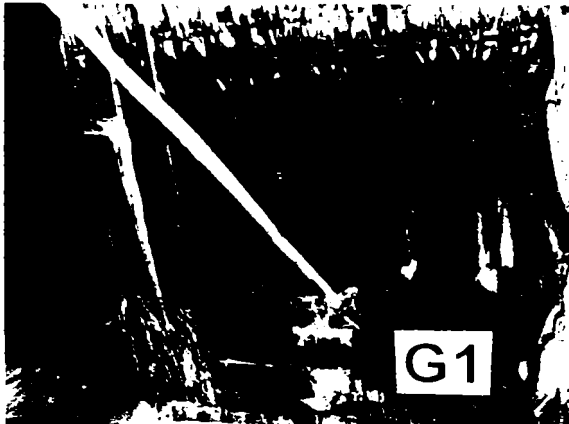
Cedarea elementului consolidat s-a produs prin deschiderea treptată a fisurilor existente, prin dezlipirea compozitului în zona comprimată a montantului mare, care apoi s-a rupt la întindere, respectiv prin dezlipire la compresiune și ruperea la întindere a compozitului de pe montantul mic. În figura 4.97 se pot urmări detaliile de rupere ale elementului experimental RW67, după care sunt prezentate diagramele de comportare ale peretelui.



Dezlipirea compozitului la compresiune
(montant mare)



Apariția fisurii orizontale în compozit
(montant mare)



Ruperea compozitului la întindere
(mai puțin 1 cm) (montant mare)



Ruperea jumătății de fâșie la întindere
(montant mic)



Ruperea compozitului
rămas la întindere
(montant mare)



Desprinderea compozitului întreg și flambajul acestuia
(montant mic)



Ruperea compozitului la
întindere (montant mic)



Betonul zdrobit (montantul mare)



Betonul zdrobit
(montantul mic)

Figura 4.97 – Detalii de cedare ale elementului RW67

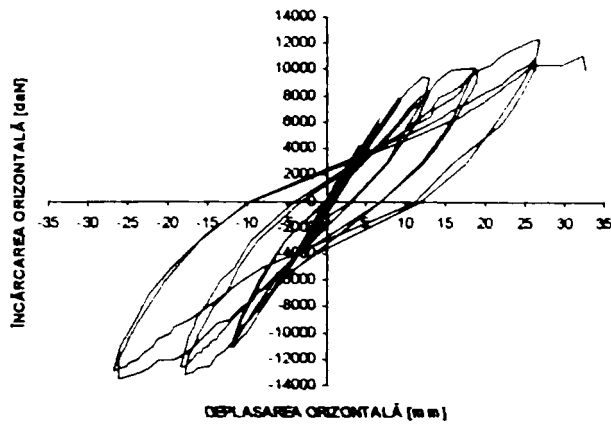


Figura 4.98 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW67

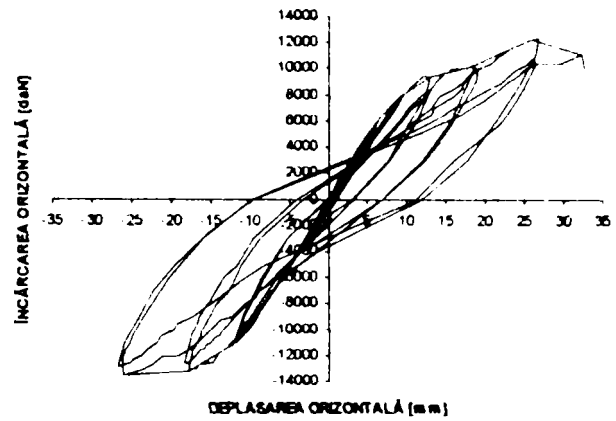


Figura 4.99 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW67 cu înfășurătoarea maximelor

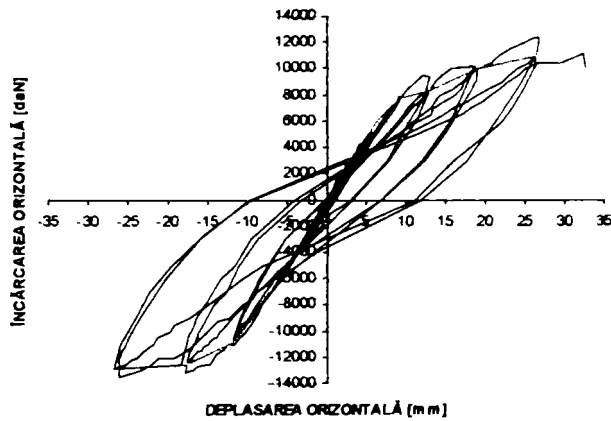


Figura 4.100 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW67 cu înfășurătoarea minimelor

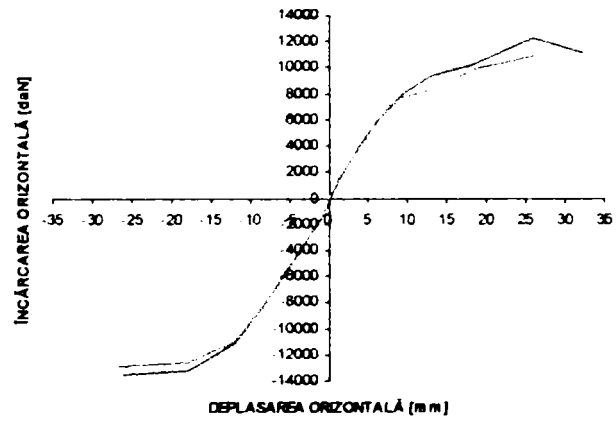


Figura 4.101 – Curbele înfășurătoare ale peretelui RW67 suprapuse

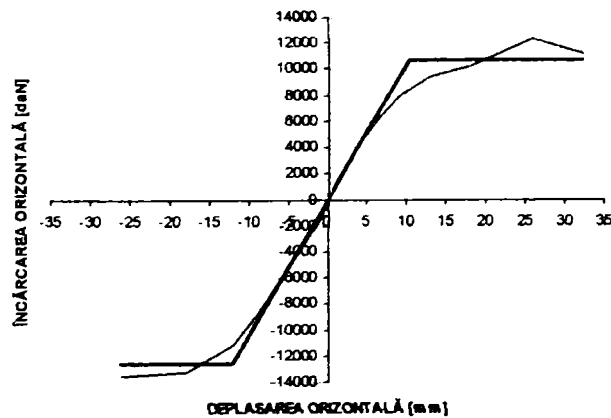


Figura 4.102 – Curba înfășurătoare maximă și curba elasto-plastic echivalentă

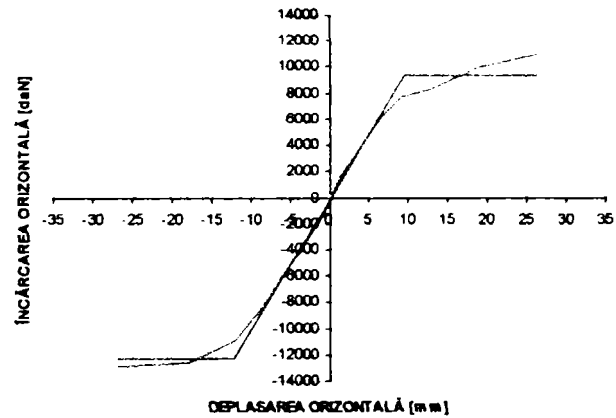


Figura 4.103 – Curba înfășurătoare minimă și curba elasto-plastic echivalentă

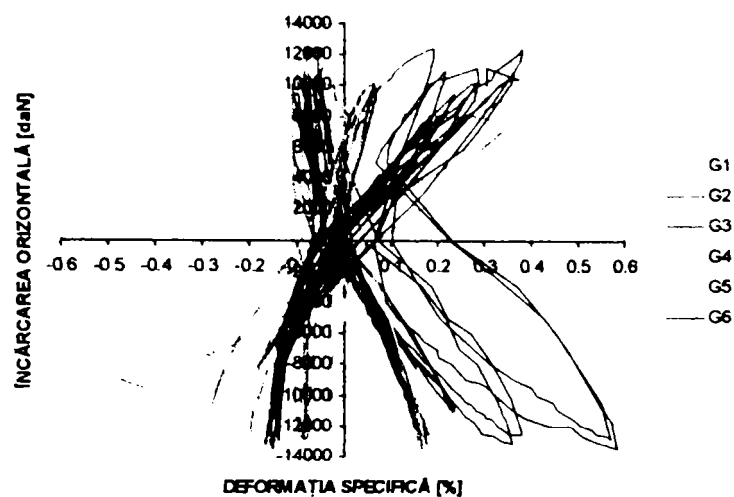


Figura 4.104 – Deformațiile specifice din compozit

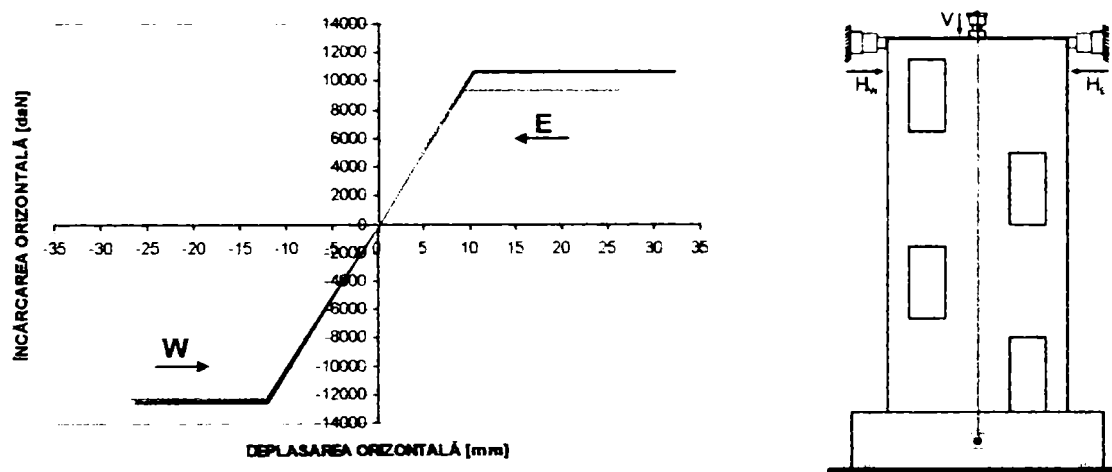


Figura 4.105 – Curbele elasto-plastice echivalente suprapuse

Prezentarea sintetică a rezultatelor obținute este prezentată în tabelul 4.13.

Tabelul 4.13 – Compararea rezultatelor

Element	RW67	RW67	RW67	RW67
Ciclul	1 (+)	1 (-)	2 (+)	2 (-)
k_e [daN/cm]	102.3	105.1	100.9	100.8
H_{el} [daN]	10640	-12540	9423	-12200
Δ_{el} [mm]	10.4	-12.0	9.3	-12.1
H_{max} [daN]	12300	-13500	11000	-12900
Δ_{max} [mm]	25.8	-26.1	26.3	-26.8
H_u [mm]	10640	-13500	11000	-12900
Δ_u [mm]	32.3	-26.1	26.3	-26.8
D [-]	3.1	2.2	2.8	2.2
H_{el}/H_{max} [-]	0.87	0.93	0.86	0.95

Concluziile rezultate din tabelul de mai sus sunt următoarele:

- scăderea rigidității (k_e) în direcția pozitivă (E) de la un ciclu la altul este de 1%, în timp ce rigiditatea (k_e) în direcția negativă (W) se modifică doar cu 4% (degradare practic nesemnificativă);
- diferența de rigiditate (k_e) între direcția est (E) și vest (W) este de 0-3%, considerate nesemnificative;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) pozitive (E), cât și a încărcării la limita elastică (H_{el}) pozitivă (E) este de 11%;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) negative (W), cât și a încărcării la limita elastică elastică (H_{el}) negativă (W) este de 3-4%;
- diferența între încărcarea elastică (H_{el}) pe direcția est (E) și vest (W) este de 15-23%;
- diferența între încărcarea maximă (H_{max}) pe direcția est (E) și vest (W) este de 9-15%;
- modificarea ductilității (D) în ambele sensuri este de 0-10%, deci nesemnificativ
- deformațiile specifice din compozit au ajuns la valoarea de 0.58%, care reprezintă cca. 39% din rezistența la întindere a compozitului.

4.6.4. Compararea rezultatelor privind comportarea elementelor SW67 și RW67

Deoarece degradările între cicluri nu au fost semnificative, în continuare sunt comparate doar rezultatele obținute din înfășurătoarele maxime ale încercărilor efectuate pe elementele SW67 și RW67. În urma acestora putem remarca următoarele:

- rigiditatea (k_e) elementului consolidat a scăzut în direcția pozitivă (E) cu 39%, iar în direcția negativă (W) cu 47%;
- forța la limita elastică (H_{el}) a elementului consolidat a crescut cu 54% în direcția pozitivă (E), iar cu 50% în direcția negativă (W);
- încărcarea maximă (H_{max}) a elementului consolidat a crescut cu 58% în direcția pozitivă (E) și cu 48% în direcția negativă (W);
- ductilitatea (D) elementului consolidat a scăzut în direcția pozitivă (E) cu 51%, iar în direcția negativă (W) cu 69%, deci în medie a scăzut sub jumătatea valorii;

În tabelul 4.24 și figura 4.108 sunt prezentate rezultatele comparative care au dus la concluziile de mai sus.

Tabelul 4.14 – Compararea rezultatelor SW67 și RW67

Element	SW67	SW67	RW67	RW67
Ciclul	1 (+)	1 (-)	1 (+)	1 (-)
k_e [daN/cm]	168.6	-198.9	102.3	105.1
H_{el} [daN]	6900	-8340	10640	-12540
Δ_{el} [mm]	4.1	-4.2	10.4	-12.0
H_{max} [daN]	7800	-9100	12300	-13500
Δ_{max} [mm]	13.0	-19.5	25.8	-26.1
H_u [mm]	6900	-7450	10640	-13500
Δ_u [mm]	26.0	-30.0	32.3	-26.1
D [-]	6.3	7.1	3.1	2.2
H_{el}/H_{max} [-]	0.88	0.92	0.87	0.93

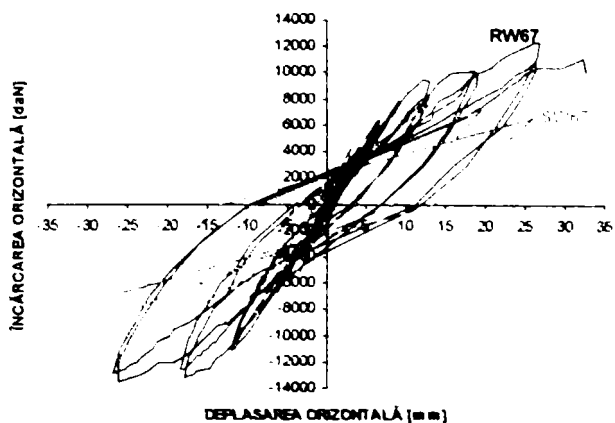


Figura 4.106 – Suprapunerea diagramelor ciclice ale pereților SW67 și RW67

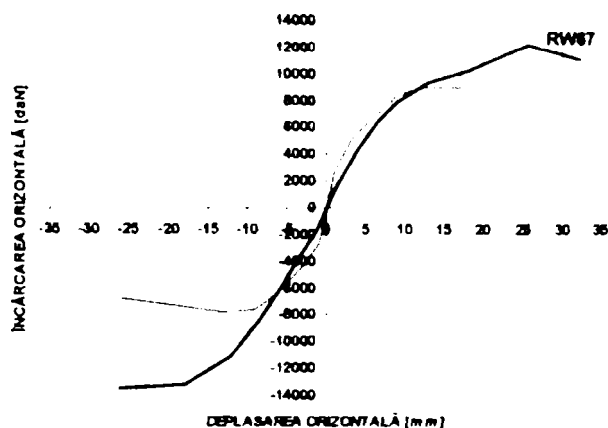


Figura 4.107 – Suprapunerea diagramelor înfășurătoare ale pereților SW67 și RW67

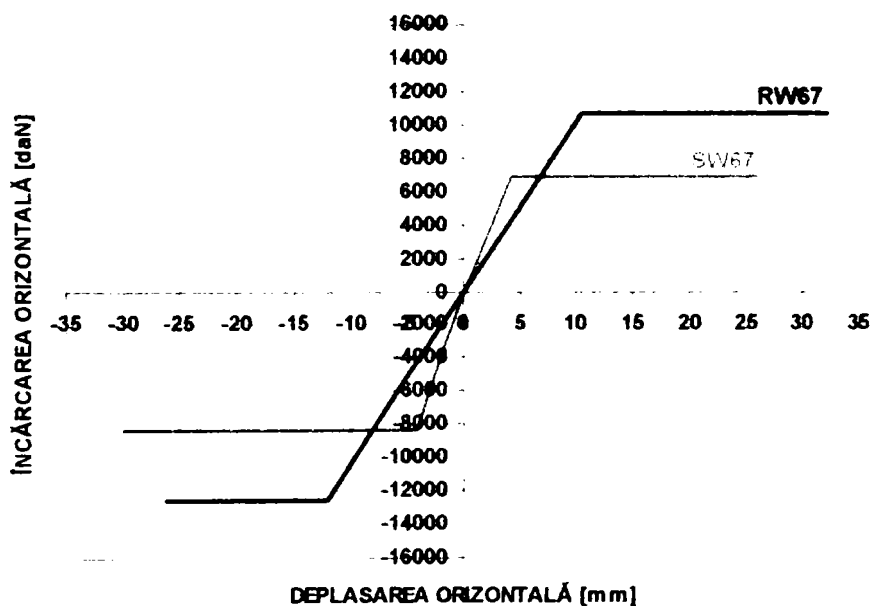


Figura 4.108 – Suprapunerea diagramelor elasto-plastice echivalente ale pereților SW67 și RW67

4.7. Încercarea elementelor experimentale SW8 și RW8

4.7.1. Încercarea elementului experimental SW8

Elementul experimental SW8 a fost un perete cuplat, golurile fiind așezate într-un singur șir pe mijlocul elementului. Încărcarea ciclic alternantă a fost aplicată la partea superioară, cu o forță orizontală monoton crescătoare, în control de deplasare, până la cedare. Forța verticală constantă aplicată a fost de $V=50\text{ kN}$. Principiul de încercare a fost descris deja în subcapitolele anterioare.

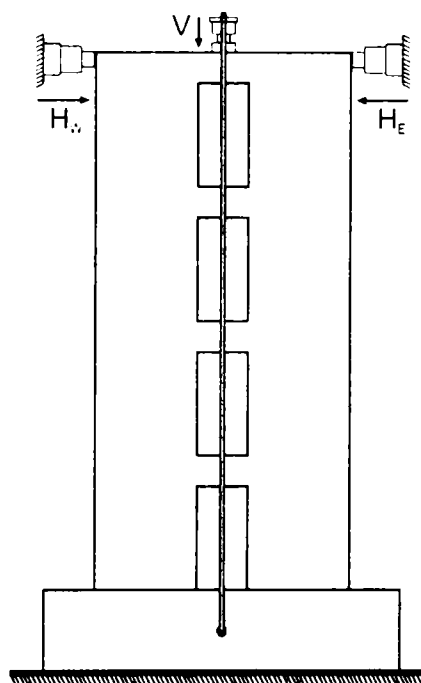


Figura 4.109 – Schema de încercare a peretelui SW8

Încărcarea elementului a fost începută din direcția vest (W). În primul ciclu apar 11 fisuri, toate în riglele de cuplare, forțele maxime atinse la deplasările impuse au fost de $+3000\text{ daN}$ și de -2300 daN , deformația remanentă fiind de 0.3 mm . În ciclul 2 apar primele fisuri în montanți, totalul fisurilor ajungând la numărul de 34, forțele maxime atinse au fost de $+4200\text{ daN}$ și -4050 daN , săgeata remanentă fiind de 0.65 mm . În ciclul 3 apar fisuri la etajul al doilea numărul total al fisurilor ajunge la 57, forțele maxime înregistrate sunt $+5850\text{ daN}$ și -6460 daN , deformația remanentă fiind de 0.9 mm . În ciclul 4 deschiderea fisurilor de la etajele 2 și 3 crește mult, numărul total al fisurilor ajunge la 66, forțele maxime atinse sunt de $+7600\text{ daN}$ și -8300 daN , deformația remanentă fiind de 1.4 mm . În ciclul 5 apar fisuri înclinate la baza montanților, care pleacă din gol, fisurile ajung la 80, iar săgeata maximă înregistrată este de 2.2 mm , forțele maxime fiind de $+8970\text{ daN}$ și la -7100 daN . În ciclul 6 se deschid fisurile din riglele de cuplare, după care peretele nu mai are capacitate portantă, încercarea oprindu-se.

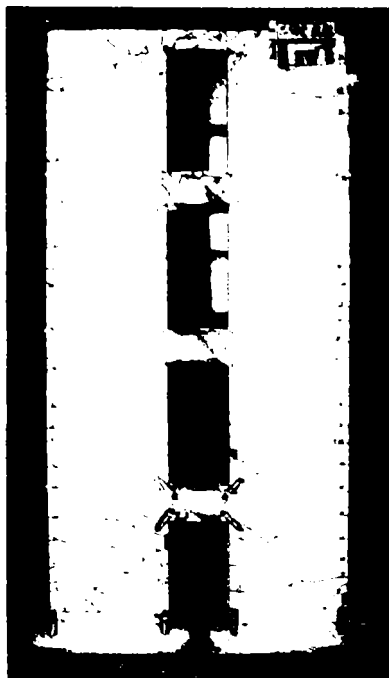


Figura 4.110 – Peretele SW8 după încercare

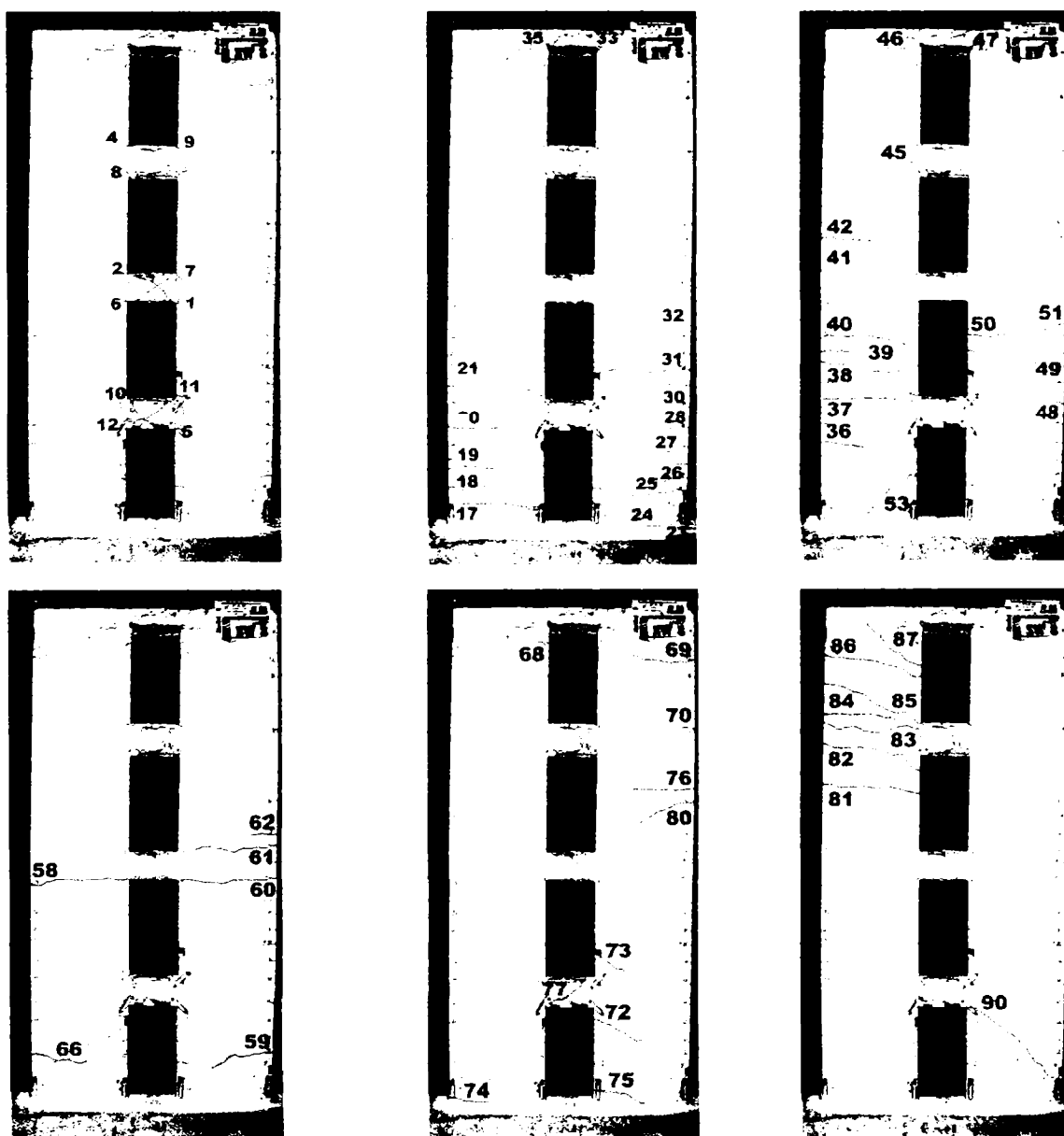
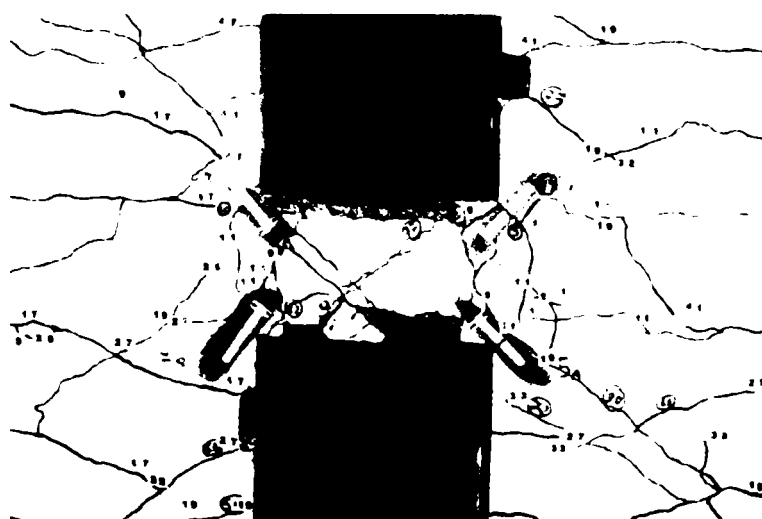
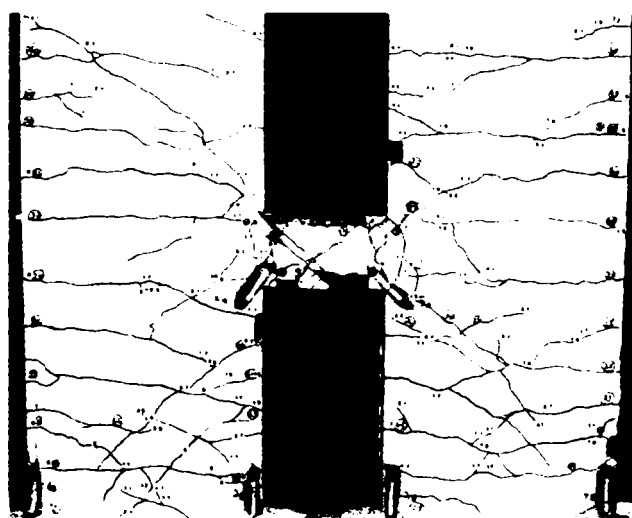


Figura 4.111 – Ordinea de fisurare al elementului experimental SW8 [71]



Distribuția fisurilor în zona dintre goluri



Distribuția fisurilor la baza elementului

Figura 4.112 – Detalii de cedare ale elementului SW8

În continuare, sunt prezentate diagramele caracteristice forță-deplasare ale peretelui, iar apoi câteva date caracteristice de comportare ale peretelui.

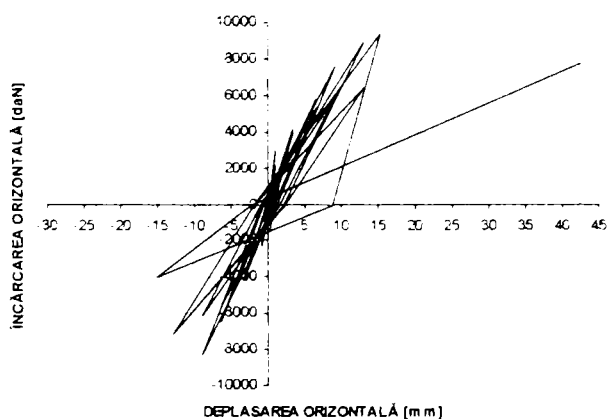


Figura 4.113 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW8

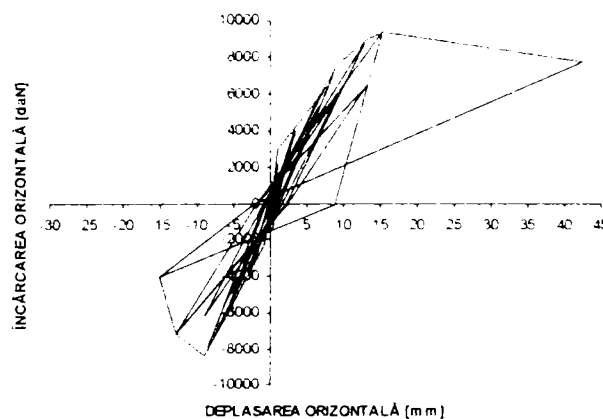


Figura 4.114 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW8 și înfășurătoarea maximelor

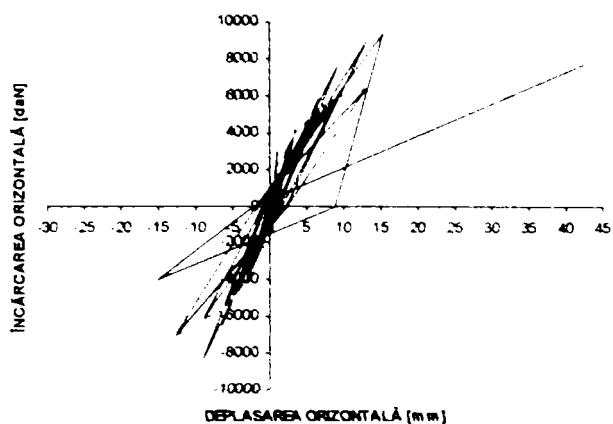


Figura 4.115 – Diagrama forță-deplasare a peretelui SW8 și înfășurătoarea minimelor

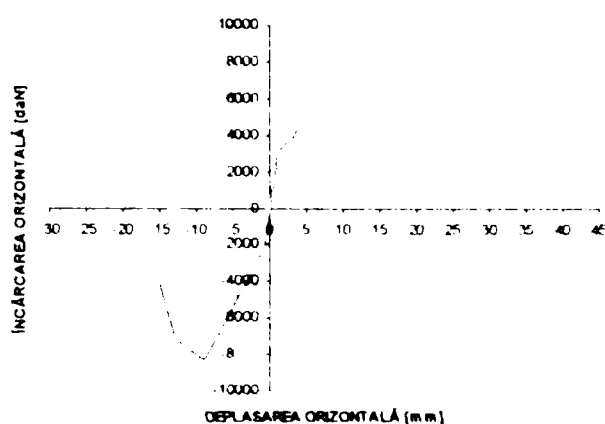


Figura 4.116 – Curbele înfășurătoare a peretelui SW8 suprapuse

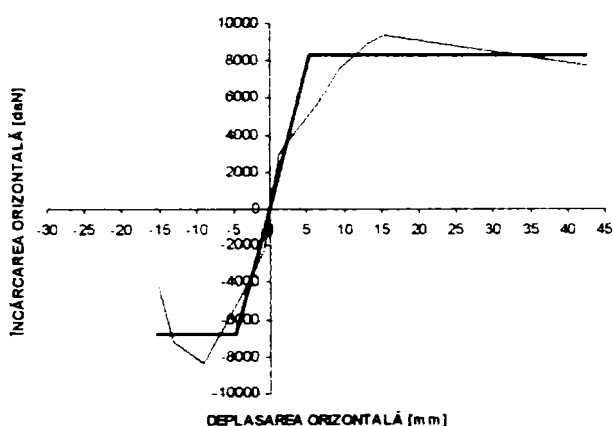


Figura 4.117 – Curba înfășurătoare maximă cu curba elasto-plastic echivalentă

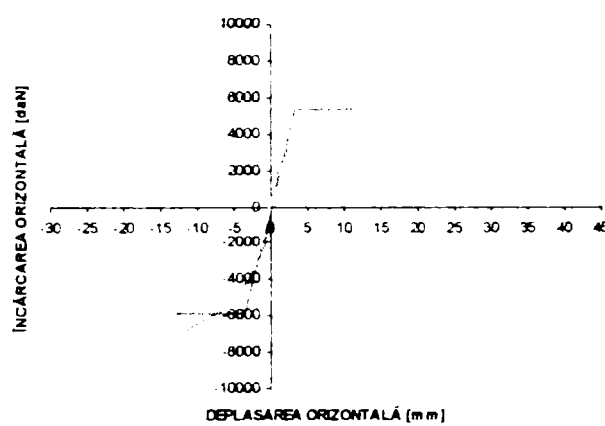


Figura 4.118 – Curba înfășurătoare minimă cu curba elasto-plastic echivalentă

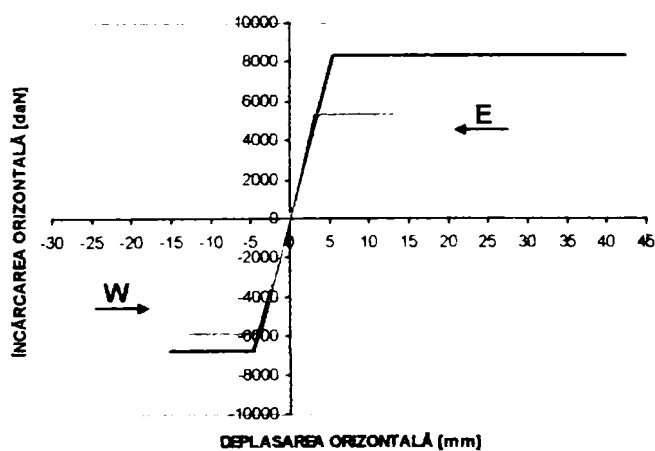
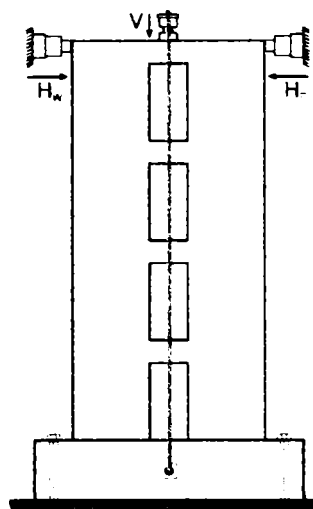


Figura 4.119 – Curbele elasto-plactice echivalente suprapuse



Deoarece încercarea peretelui a fost oprită în mijlocul ciclului 6, înfășurătoarele sunt incomplete, dar totuși, se pot trage anumite concluzii utile, și anume referitoare la modificarea rigidităților, ductilităților și a altor caracteristici de comportare, care sunt prezentate sintetic în *tabelul 4.15*.

Tabelul 4.15 – Valori comparative ale rezultatelor încercării elementului SW8

Element	SW8	SW8	SW8	SW8
Ciclul	1 (+)	1 (-)	2 (+)	2 (-)
k_e [daN/cm]	154.7	143.7	174.3	-156.9
H_{el} [daN]	8300	-6746	5395	-5850
Δ_{el} [mm]	5.4	-4.7	3.1	-3.7
H_{max} [daN]	9400	-8300	6450	-7100
Δ_{max} [mm]	15.2	-9.1	13.0	-13.0
H_u [mm]	7800	-4000	6450	-7100
Δ_u [mm]	42.4	-15.2	13.0	-13.0
D [-]	7.9	3.2	4.2	3.5
H_{el}/H_{max} [-]	0.88	0.81	0.84	0.82

Astfel putem trage următoarele concluzii:

- modificarea rigidității (k_e) pozitive (E) de la un ciclu la altul este de 13%, în timp ce rigiditatea (k_e) negativă (W) se modifică cu 9%;
- diferența de rigiditate (k_e) între direcția est (E) și vest (W) este de 7-10%;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) pozitive (E) și a încărcării la limita elastică (H_{el}) pozitive (E) este de 31-35%;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) negative (W) și încărcării la limita elastică (H_{el}) negative (W) este de 13-14%;
- diferența între încărcarea maximă (H_{max}) pe direcția est (E) și vest (W) este de 12%, iar diferența între încărcarea la limita elastică (H_{el}) este de 19%;
- modificarea ductilității (D) pe direcția de est (E) este de 47%, iar pe direcția de vest (W) este de 9%;
- diferența de ductilitate (D) între direcția est (E) și vest (W) este de 59%.

4.7.2. Consolidarea elementului experimental SW8

La consolidarea elementului SW8 primul pas l-a constituit înlocuirea riglelor de cuplare, deoarece betonul de aici a fost complet sfărâmat, etrierul fiind dispus dintr-o greșeală de execuție incorect. Barele longitudinale nu traversau etrierul, acestea fiind legați sub etrier. În prima fază s-a curățat rigla de cuplare, s-au realizat și s-au montat în fiecare riglă câte 2 etrieri de $\phi 6$, după care s-a realizat cofrajul și s-a turnat un beton cu o clasă mai mică decât betonul din element.

După întărirea riglelor de cuplare s-au efectuat lucrările de consolidare cu compozite, în mod identic ca și la pereții anteriori. În acest caz în loc de 3 fâșii verticale de 15 cm s-au utilizat 2 fâșii de 15 cm la extremități, iar fâșia de mijloc s-a despărțit în două și s-a montat în dreptul golurilor. Fâșiile orizontale au fost așezate în dreptul planșelor, ca și în cazurile anterioare.

Sistemul de consolidare utilizat, modul și etapele de aplicare a consolidării, respectiv alcătuirea ancorajului au fost identice cu cele folosite la pereții anteriori.

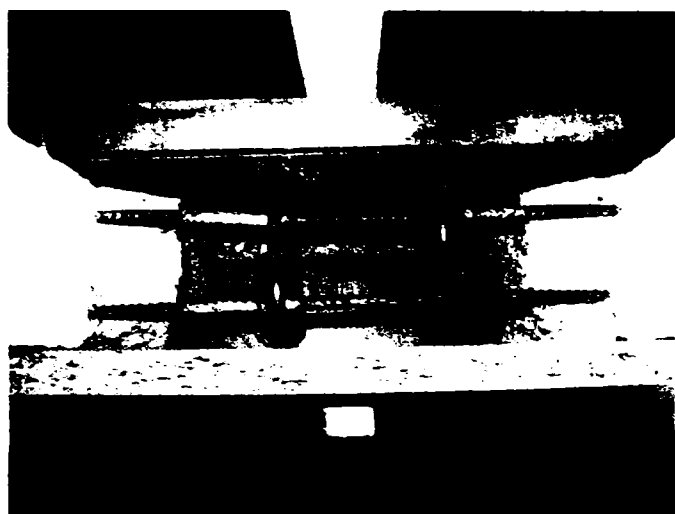
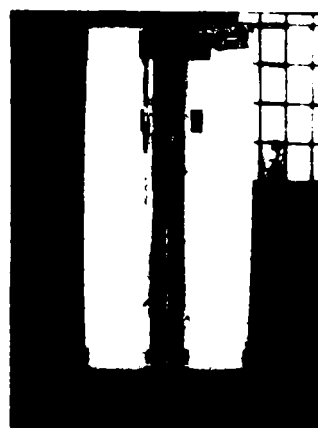
În continuare sunt prezentate fazele principale ale consolidării peretelui SW8.



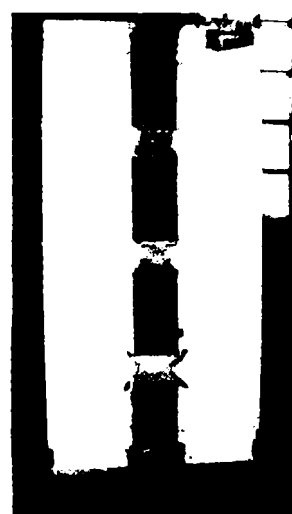
Rigla de cuplare curățată



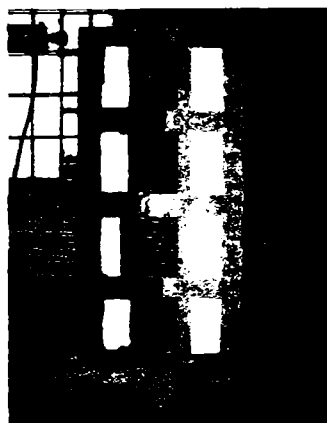
Cofrajul montat



Vedere armături din cofraj



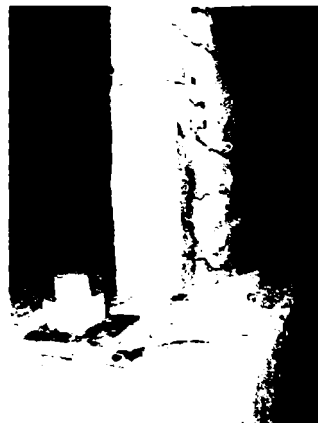
Riglele de cuplare turnate



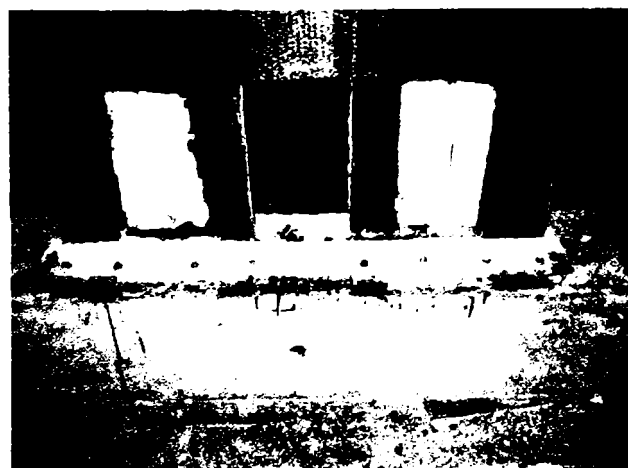
Aplicarea amorsei



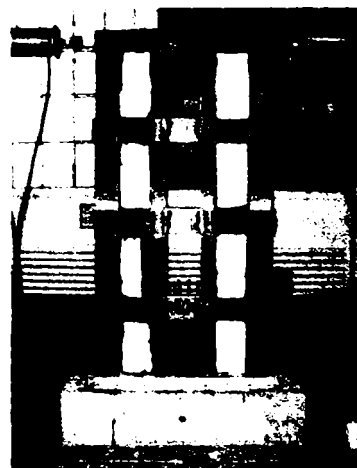
Corectarea suprafeței și rotunjirea zonei de ancoraj



Un colt corectat



Ancorajul realizat



Elementul consolidat

Figura 4.120 – Fazele consolidării peretelui SW8

4.7.3. Încercarea elementului consolidat RW8

Elementul consolidat SW8, după consolidare a primit numele de RW8. Încercarea elementului consolidat s-a efectuat în aceleași condiții cu cel precedent (SW8), însă ciclul s-a început din est (E). Pentru înregistrarea deplasărilor s-au folosit captori de deplasare, dispuși și denumiți în mod identic cu cei de la pereții anteriori, iar pentru înregistrarea comportării compozitului în timpul încercării, au fost dispuse 6 timbre tensometrice în zonele cele mai solicitate, aliniate pe direcția fibrelor (figura 4.121).

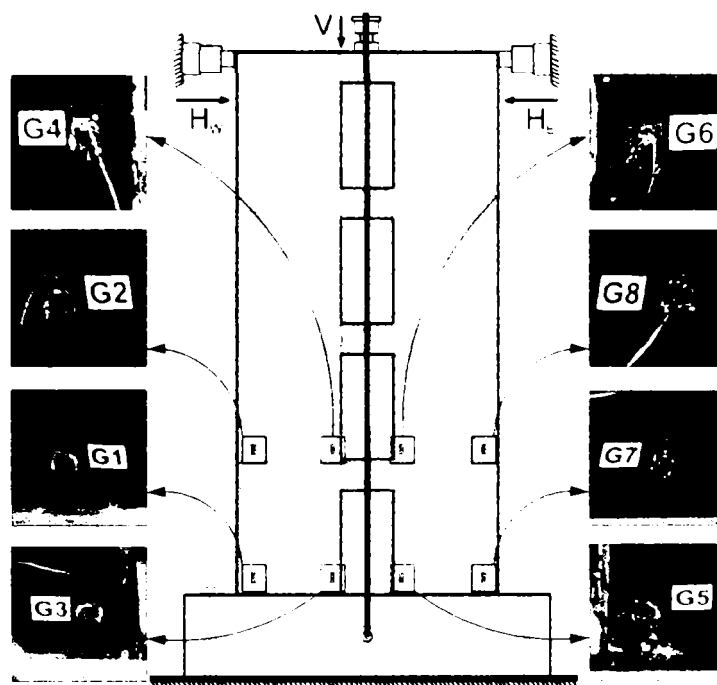


Figura 4.121 – Așezarea aparatelor de măsurare și a timbrei tensometrice pe elementul RW8

Încercarea elementului s-a desfășurat fără evenimente până în ciclul 3, când apar primele deschideri de fisuri. În pasul 14 se aud pocnituri, apare dezlipirea compozitului la compresiune în partea dreapta (E) jos, iar în pasul următor apar fisuri noi. În pasul 16 se aud din nou pocnituri fără a fi vizibile alte degradări. În pasul 17 se aud multe pocnituri în rigla de cuplare de la etajul 1 și 2, semnalându-se pe compozit decolorări în formă de X. În pasul 18 apar dezlipiri accentuate ale compozitului la compresiune în dreapta (E) jos, se aud în continuare pocnituri, iar în pasul 20 riglele de cuplare fisurează puternic. În pasul următor se aud în continuare pocnituri, iar o porțiune de cca. 5 cm se rupe din fâșia din dreapta jos, restul compozitului continuă să se dezlipească ulterior. În ultimii pași apar dezlipiri ale compozitului în dreptul riglelor de cuplare, care sunt puternic fisurate, fiind semnalată chiar și o rupere unei fâșii mai înguste. Fisurile se deschid în continuare, fâșia din dreapta jos rupându-se în final complet.

Cedarea elementului consolidat s-a produs prin deschiderea treptată a fisurilor existente, prin dezlipirea compozitului în zona comprimată a unui montant, urmată de ruperea la întindere acestuia, respectiv prin fisurarea puternică a riglelor de cuplare și cedarea la tăiere ale acestora.

În continuare, în figurile de mai jos, se pot urmări detaliile de rupere al elementului experimental RW8, după care sunt prezentate diagramele de comportare ale peretelui.



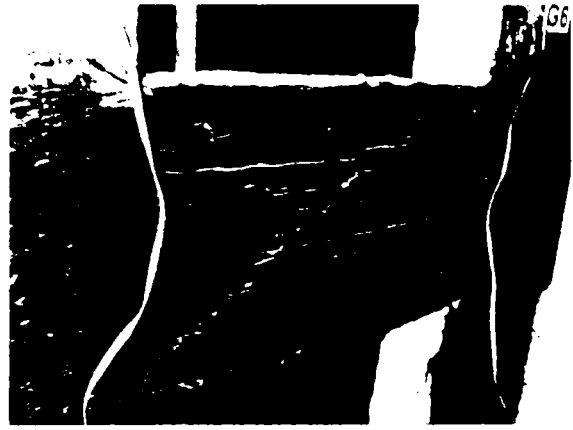
Dezlipirea compozitului la compresiune și dezvoltarea desprinderii (montant E)



Fisurarea riglei de cuplare



Fisurarea riglelor de cuplare (vedere spate)



Accentuarea fisurării riglelor de cuplare



Accentuarea fisurării riglelor de cuplare (vedere spate)



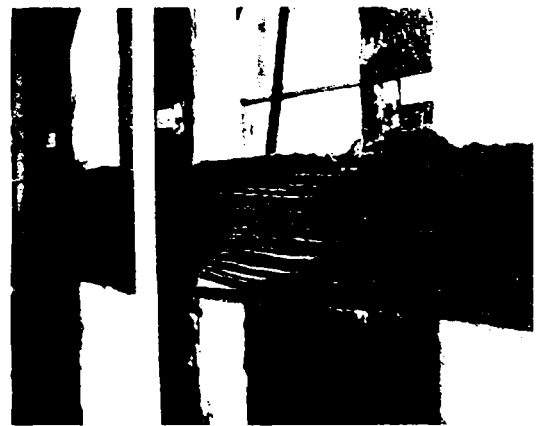
Deschiderea fisurilor la baza elementului



Ruperea compozitului (montant E)



Betonul zdrobit (montant W)



Dezlipiri în dreptul riglelor de cuplare

Figura 4.122 – Detalii de cedare ale pereteului RW8

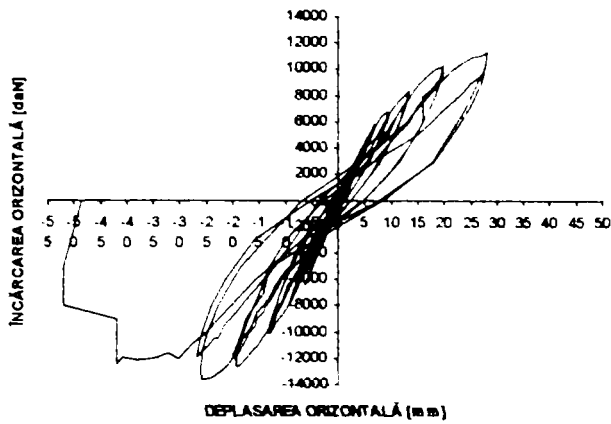


Figura 4.123 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW8

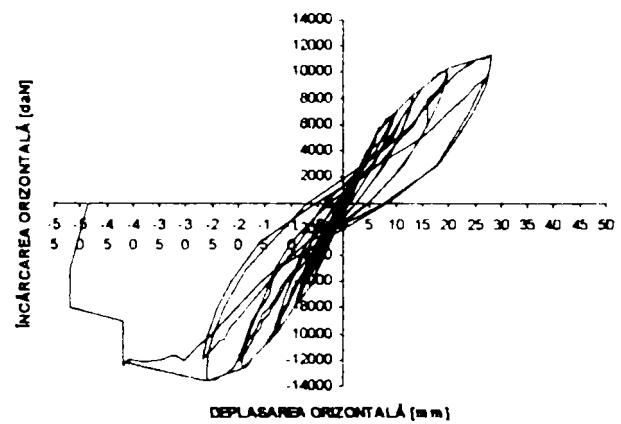


Figura 4.124 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW8 și înfășurătoarea maximelor

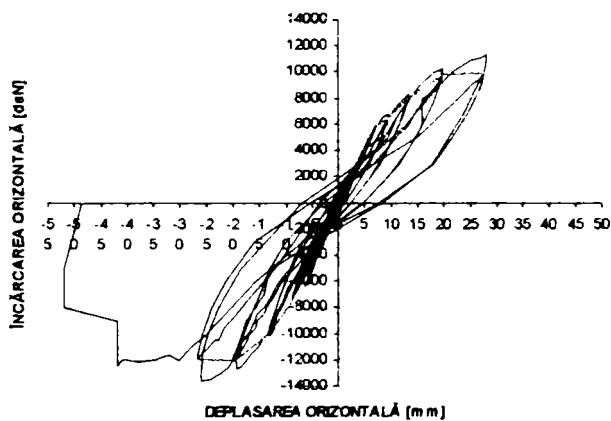


Figura 4.125 – Diagrama forță-deplasare a peretelui RW8 și înfășurătoarea minimelor

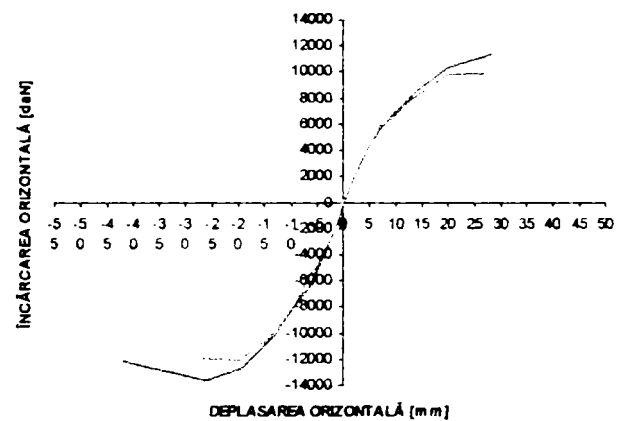


Figura 4.126 – Curbele înfășurătoare a peretelui RW8 suprapuse

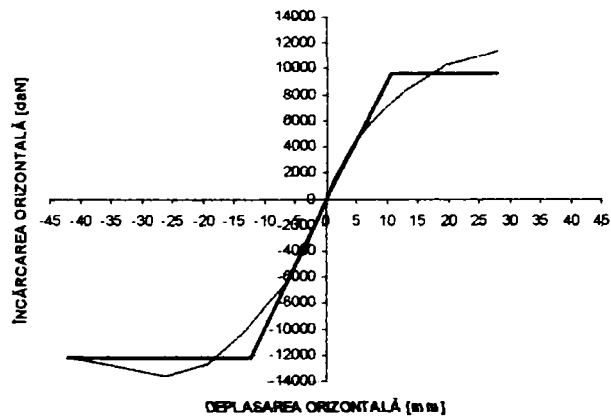


Figura 4.127 – Curba înfășurătoare maximă și curba elasto-plastic echivalentă

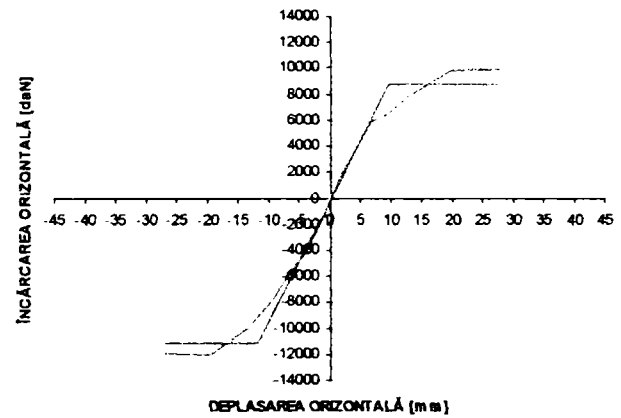


Figura 4.128 – Curba înfășurătoare minimă și curba elasto-plastic echivalentă

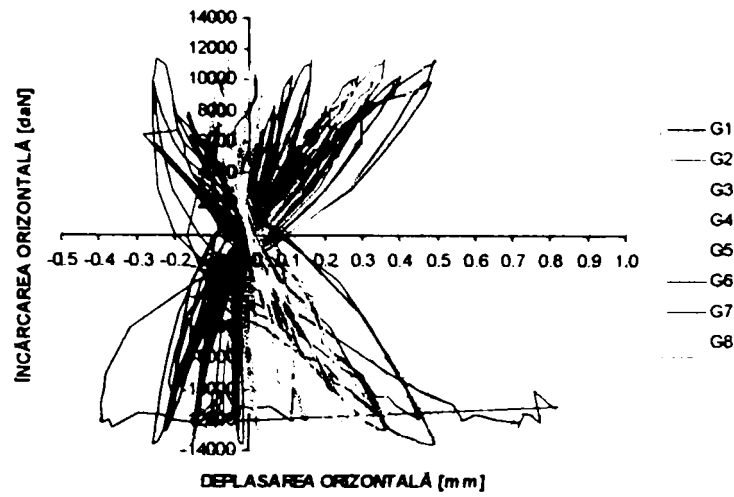


Figura 4.129 – Deformațiile specifice din compozit

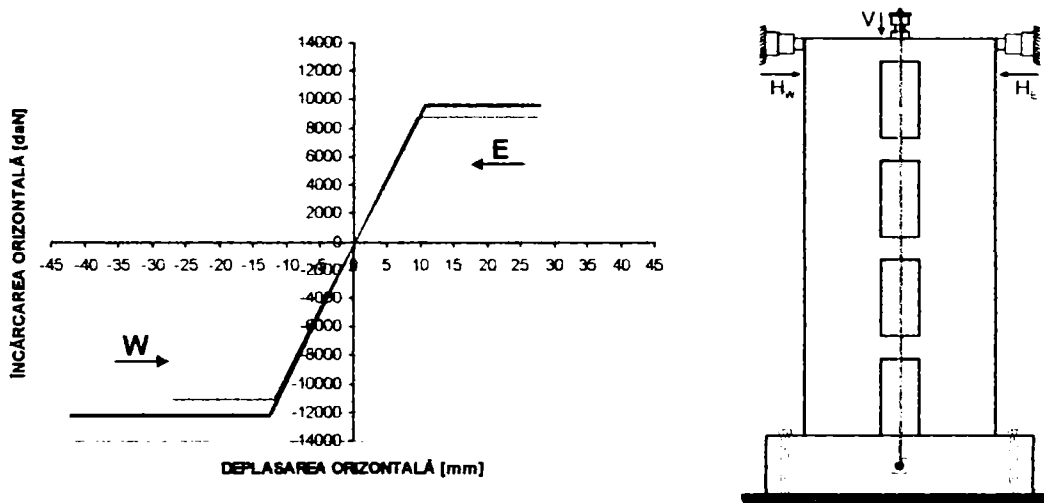


Figura 4.130 – Curbele elasto-plastice echivalente suprapuse

Prezentarea sintetică a rezultatelor obținute se pot vedea în tabelul 4.16.

Tabelul 4.16 – Compararea rezultatelor

Element	RW8	RW8	RW8	RW8
Ciclul	1 (+)	1 (-)	2 (+)	2 (-)
k_e [daN/cm]	88.9	99.5	92.7	92.1
H_{el} [daN]	9660	-12250	8840	-11040
Δ_{el} [mm]	10.9	-12.3	9.5	-12.0
H_{max} [daN]	11400	-13600	9900	-12000
Δ_{max} [mm]	27.9	-26.3	27.6	-19.7
H_u [mm]	11400	-12250	9900	-11900
Δ_u [mm]	27.9	-42.1	27.6	-27.1
D [-]	2.6	3.4	2.9	2.3
H_{el}/H_{max} [-]	0.85	-0.90	0.89	0.92

Concluziile rezultate din tabelul de mai sus sunt următoarele:

- modificarea rigidității (k_e) în direcția pozitivă (E) de la un ciclu la altul este 4%, în timp ce rigiditatea (k_e) în direcția negativă (W) se modifică cu 7% ;
- diferența de rigiditate (k_e) între direcția est (E) și vest (W) este de 1-12% ;
- degradarea încărcării la limita elastică (H_{el}) pozitive (E) și negativă (W) este de 8-10% ;
- degradarea încărcării maxime (H_{max}) pozitive (E) și negative (W) este de 12-13% ;
- diferența între încărcarea la limita elastică (H_{el}) pe direcția est (E) și vest (W) este de 25-27% ;
- diferența între încărcarea maximă (H_{max}) și vest (W) este de 19-21% ;
- modificarea ductilității (D) pe direcția est (E) este de 12%, iar pe direcția vest (W) este de 32% ;
- deformațiile specifice din compozit au ajuns la valoarea de 0.84%, care reprezintă cca. 56% din rezistența la întindere a compozitului.

4.7.4. Compararea rezultatelor privind comportarea elementelor SW67 și RW67

Deoarece peretele SW8 nu a fost testat până la ultimul ciclu, în continuare sunt comparate doar rezultatele obținute din înfășurătoarele maxime ale încercărilor efectuate pe elementele SW8 și RW8. În urma acestora putem remarca următoarele:

- rigiditatea (k_e) elementului consolidat a scăzut în direcția pozitivă (E) cu 43%, iar în direcția negativă (W) cu 31%;
- valoarea forței la limita elastică (H_{el}) a elementului consolidat a crescut cu 16% în direcția pozitivă (E), iar cu 82% în direcția negativă (W);
- încărcarea maximă (H_{max}) a elementului consolidat a crescut cu 21% în direcția pozitivă (E) și cu 64% în direcția negativă (W);
- ductilitatea (D) elementului consolidat a scăzut în direcția pozitivă (E) cu 67%, însă în direcția negativă (W) a crescut cu 6%.

În continuare observațiile de mai sus sunt prezentate în tabelul 4.17 și figura 4.133 sub formă tabelară și prin diagrame.

Tabelul 4.17 – Compararea rezultatelor SW8 și RW8

Element	SW8	SW8	RW8	RW8
Ciclul	1 (+)	1 (-)	1 (+)	1 (-)
k_e [daN/cm]	154.7	143.7	88.9	99.5
H_{el} [daN]	8300	-6746	9660	-12250
Δ_{el} [mm]	5.4	-4.7	10.9	-12.3
H_{max} [daN]	9400	-8300	11400	-13600
Δ_{max} [mm]	15.2	-9.1	27.9	-26.3
H_u [mm]	7800	-4000	11400	-12250
Δ_u [mm]	42.4	-15.2	27.9	-42.1
D [-]	7.9	3.2	2.6	3.4
H_{el}/H_{max} [-]	0.88	0.81	0.85	0.90

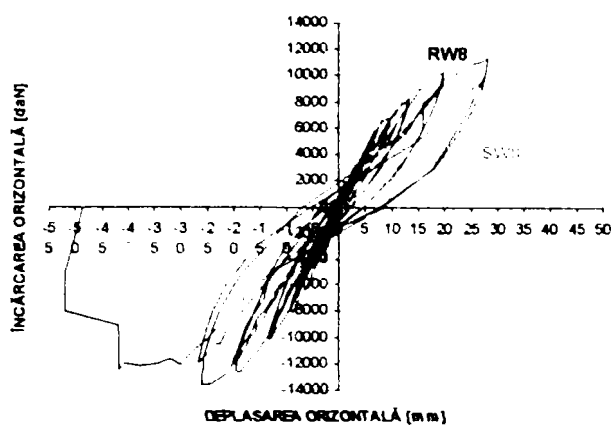


Figura 4.131 – Suprapunerea diagramelor ciclice ale pereților SW8 și RW8

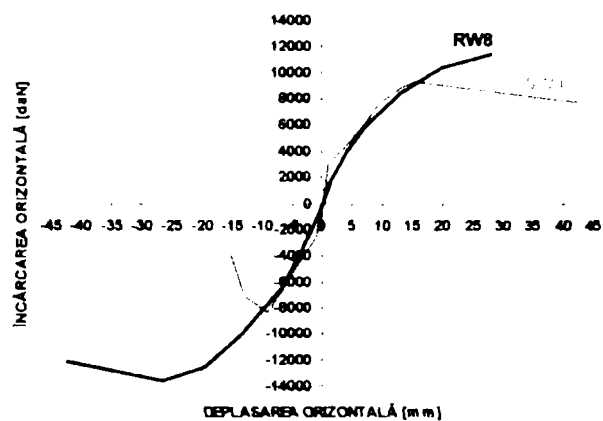


Figura 4.132 – Suprapunerea diagramelor înfășurătoare ale pereților SW8 și RW8

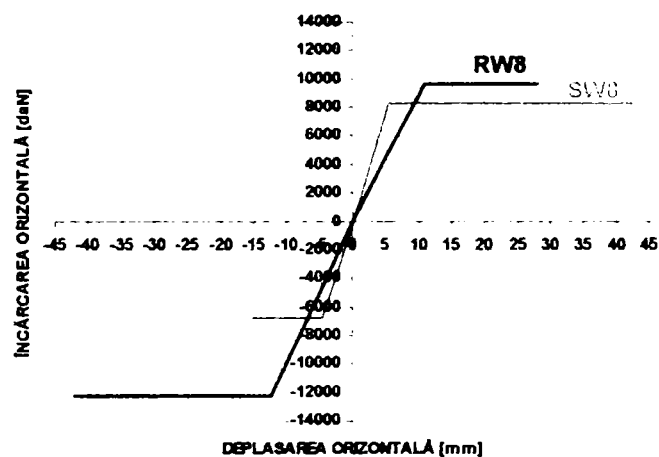


Figura 4.133 – Suprapunerea diagramelor elasto-plastice echivalente ale pereților SW8 și RW8

5. Concluzii finale

Pe baza rezultatelor obținute se pot formula următoarele observații și concluzii:

- consolidarea cu compozite a pereților din beton armat structurali duce la creșterea semnificativă a capacității portante ultime a acestora (practic, capacitatea portantă a pereților pre-testați a fost de 0 tone);
- înregistrările deformațiilor specifice din compozit demonstrează contribuția acestora la comportarea pereților consolidați și conlucrarea compozitului cu elementul din beton armat;
- cedarea elementelor consolidate s-a produs prin deschiderea treptată a fisurilor existente, prin dezlipirea compozitului în zona comprimată la baza montantului (mare), urmată de ruperea la întindere sau compresiune a acestuia;
- deformațiile orizontale maxime ale pereților consolidați au fost de regulă mai mari, sau cel puțin identice cu cele ale pereților martori;
- rigiditatea elementelor a scăzut în medie cu 54% ;
- ductilitatea elementelor a scăzut în medie cu 61%;
- valoarea forței la limita elastică a pereților a crescut în medie cu 48% ;
- încărcarea maximă a pereților a crescut în medie cu 46% ;
- deformațiile specifice din compozit au fost între valorile 0.54 – 0.84% ;
- sistemul de ancoraj s-a comportat excelent, fără degradări sau cedări locale.

Pereții din beton armat supuși forțelor seismice au o comportare ductilă. Consolidând astfel de elemente structurale ductile cu compozite, care sunt materiale cu comportare liniară (fără palier de curgere), neductile, caracteristicile ductile ale elementelor se pot menține.

Rezultatele obținute depind în foarte mare măsură de starea inițială a elementului consolidat (fisurare, metoda și materiale de reabilitare), respectiv de metoda de evaluare utilizată.

Rezultatele încercărilor efectuate sunt prezentate analitic în *tabelul 4.18*, iar câteva rezultate mai importante în *figurile 4.134 – 4.139*.

OBSERVAȚII

Metoda utilizată pentru determinarea rigidităților, a ductilităților și a limitei elastice influențează semnificativ rezultatele obținute. Efectuând un calcul, în care rigiditatea se ia ca secanta curbei la $0.75F_{el}$, conform recomandărilor date de Paulay [78], aceste valori se pot modifica semnificativ. La un calcul rapid rigiditatea elementelor martori a scăzut cu 50%, astfel că diferențele față de elementele consolidate s-au redus la 20%, respectiv ductilitatea elementelor martori a scăzut cu 40-50%, astfel că diferențele față de elementele consolidate a scăzut la 40%.

Tabelul 4.18 – Rezultatele sintetice ale încercărilor experimentale

Element	Ciclul	k_e [daN/cm]	H_{el} [daN]	Δ_{el} [mm]	H_{max} [daN]	Δ_{max} [mm]	H_u [mm]	Δ_u [mm]	D [-]	H_{el} / H_{max}	ϵ_{frp} [%]
SW1	1 (+)	348.5	10250	2.9	11500	28.2	10000	33.0	11.2	0.89	-
RW1	1 (+)	159.0	12400	7.8	15500	20.1	10500	37.5	4.8	0.80	0.54
SW23 (1+)	1 (+)	309.5	8620	2.8	9750	19.5	9500	28.6	10.2	0.88	-
SW23 (1-)	1 (-)	184.8	-8070	-4.4	-9100	-13.0	-8100	-28.6	6.6	0.89	
SW23 (2+)	2 (+)	270.5	7370	2.7	8250	19.5	7900	28.6	10.5	0.89	
SW23 (2-)	2 (-)	182.3	-8200	-4.5	-9250	-13.0	-8050	-28.6	6.4	0.89	
RW23 (1+)	1 (+)	109.5	14400	13.2	15500	40.0	15500	40.0	3.0	0.93	0.63
RW23 (1-)	1 (-)	90.3	-10320	-11.4	-11400	-41.4	-11400	-41.4	3.6	0.91	
RW23 (2+)	2 (+)	111.4	9980	9.0	11700	12.9	11700	12.9	1.4	0.85	
RW23 (2-)	2 (-)	88.5	-7920	-8.9	-8500	-18.6	-8500	-18.6	2.1	0.93	
SW45 (1+)	1 (+)	298.0	7000	2.3	7600	13.0	7500	27.0	11.5	0.92	-
SW45 (1-)	1 (-)	343.4	-8250	-2.4	-9100	-19.5	-8750	-27.0	11.3	0.91	
SW45 (2+)	2 (+)	280.4	6730	2.4	7500	13.0	6730	27.0	11.2	0.90	
SW45 (2-)	2 (-)	312.9	-7200	-2.3	-7900	-13.0	-7450	-27.0	11.7	0.91	
RW45 (1+)	1 (+)	91.7	12360	13.5	13000	18.6	12360	28.0	2.1	0.95	0.79
RW45 (1-)	1 (-)	112.8	-10140	-9.0	-10800	-18.5	-11000	-28.5	3.2	0.94	
RW45 (2+)	2 (+)	90.9	11250	12.5	12100	16.0	12100	16.0	1.3	0.93	
RW45 (2-)	2 (-)	115.2	-8978	-7.8	-10400	-18.2	-10400	-18.2	2.3	0.86	
SW67 (1+)	1 (+)	168.6	6900	4.1	7800	13.0	6900	26.0	6.3	0.88	-
SW67 (1-)	1 (-)	198.9	-8340	-4.2	-9100	-19.5	-7450	-30.0	7.1	0.92	
SW67 (2+)	2 (+)	170.5	7090	4.2	7800	13.0	6625	26.0	6.3	0.91	
SW67 (2-)	2 (-)	176.7	-6935	-3.9	-7600	-13.0	-6935	-26.0	6.6	0.91	
RW67 (1+)	1 (+)	102.3	10640	10.4	12300	25.8	10640	32.3	3.1	0.87	0.58
RW67 (1-)	1 (-)	105.1	-12540	-12.0	-13500	-26.1	-13500	-26.1	2.2	0.93	
RW67 (2+)	2 (+)	100.9	9423	9.3	11000	26.3	11000	26.3	2.8	0.86	
RW67 (2-)	2 (-)	100.8	-12200	-12.1	-12900	-26.8	-12900	-26.8	2.2	0.95	
SW8 (1+)	1 (+)	154.7	8300	5.4	9400	15.2	7800	42.4	7.9	0.88	-
SW8 (1-)	1 (-)	143.7	-6746	-4.7	-8300	-9.1	-4000	-15.2	3.2	0.81	
SW8 (2+)	2 (+)	174.3	5395	3.1	6450	13.0	6450	13.0	4.2	0.84	
SW8 (2-)	2 (-)	156.9	-5850	-3.7	-7100	-13.0	-7100	-13.0	3.5	0.82	
RW8 (1+)	1 (+)	88.9	9660	10.9	11400	27.9	11400	27.9	2.6	0.85	0.84
RW8 (1-)	1 (-)	99.5	-12250	-12.3	-13600	-26.3	-12250	-42.1	3.4	0.90	
RW8 (2+)	2 (+)	92.7	8840	9.5	9900	27.6	9900	27.6	2.9	0.89	
RW8 (2-)	2 (-)	92.1	-11040	-12.0	-12000	-19.7	-11900	-27.1	2.3	0.92	

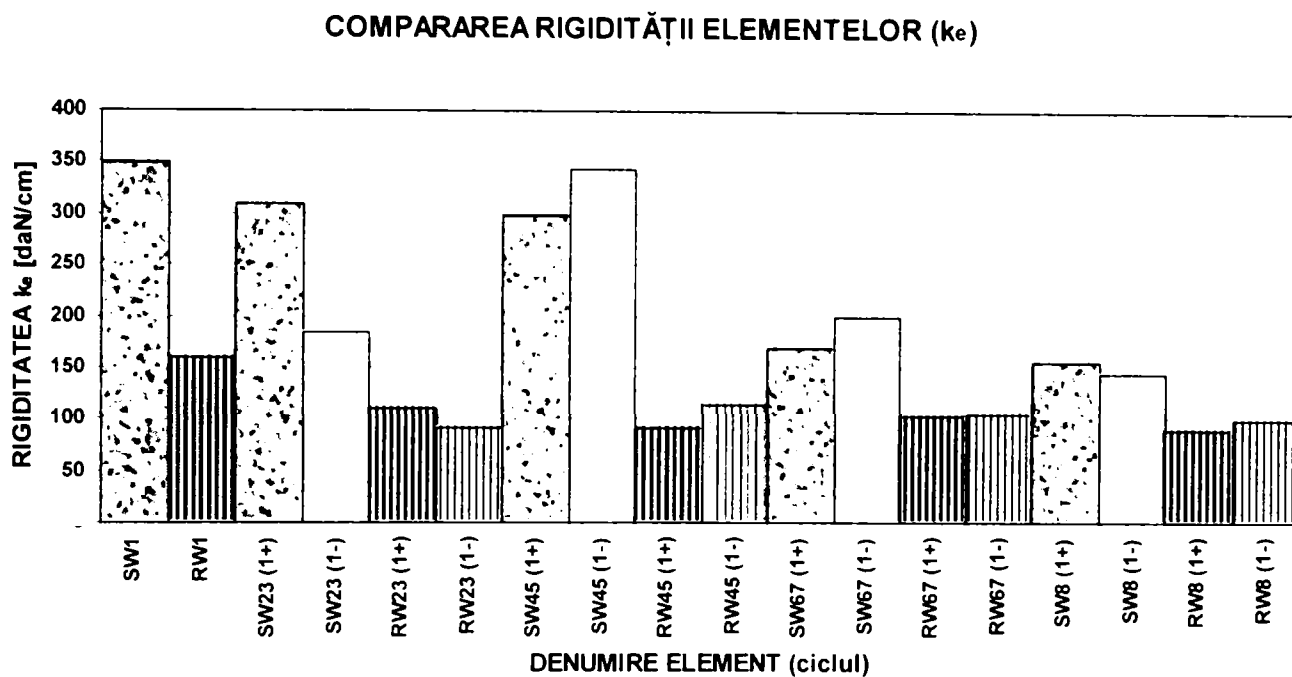


Figura 4.134 – Compararea rigidității elementelor

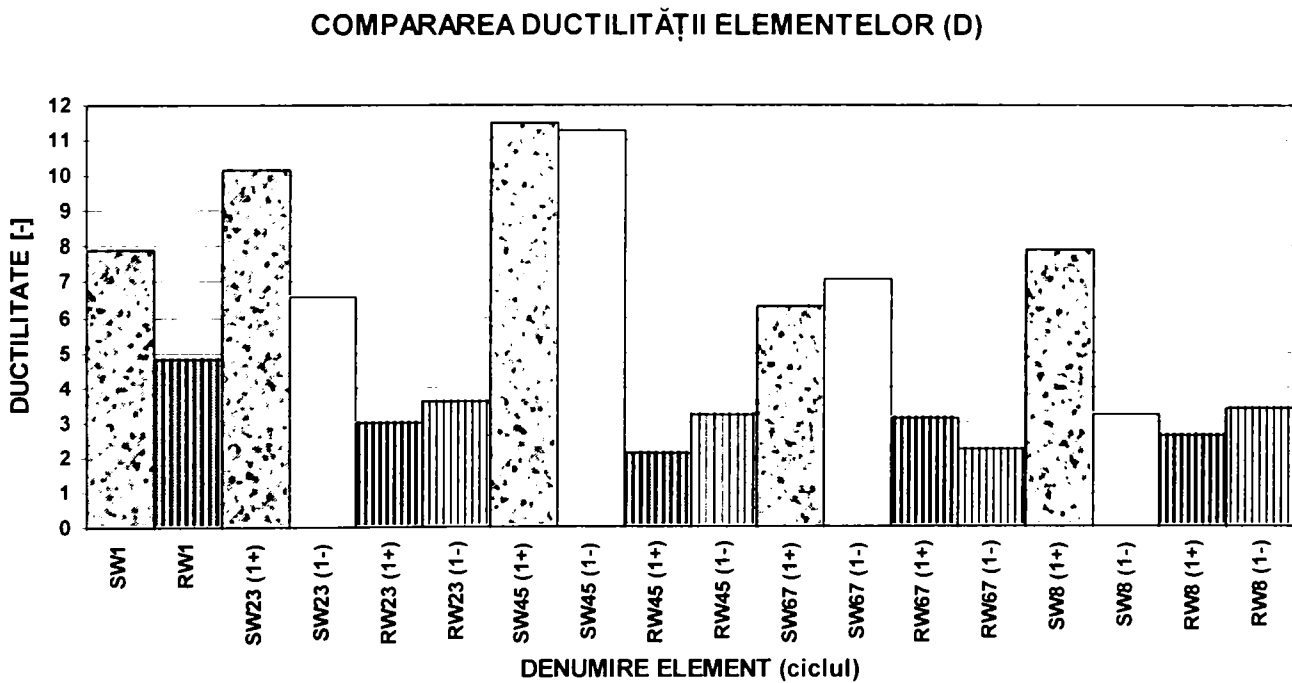


Figura 4.135 – Compararea ductilității elementelor

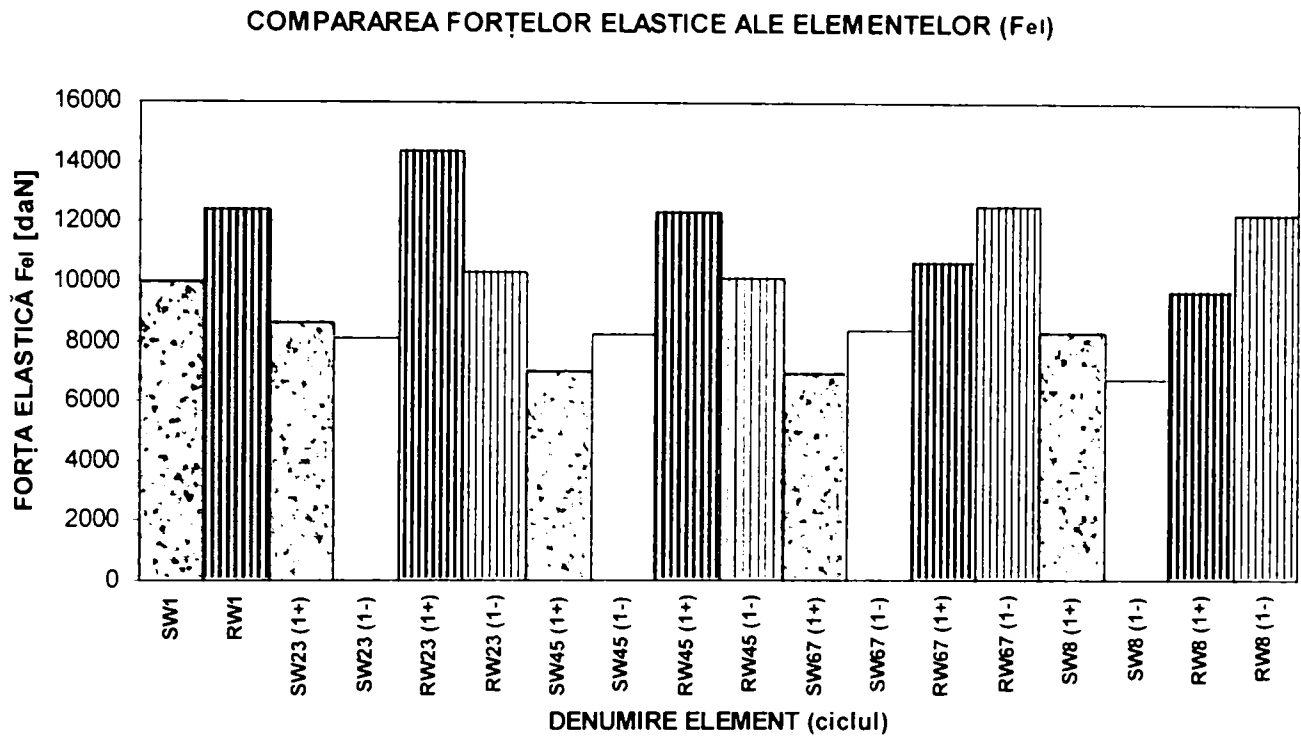


Figura 4.136 – Compararea limitelor elastice ale elementelor

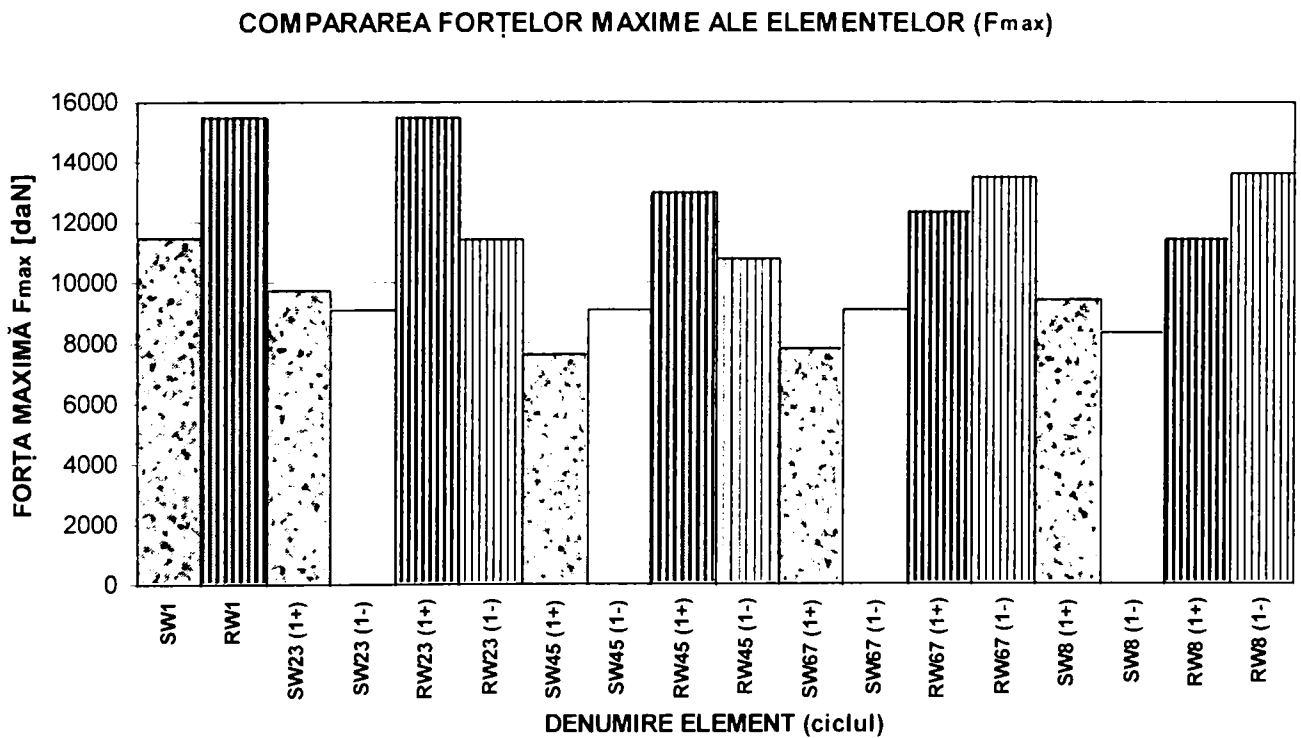


Figura 4.137 – Compararea încărcărilor maxime ale elementelor

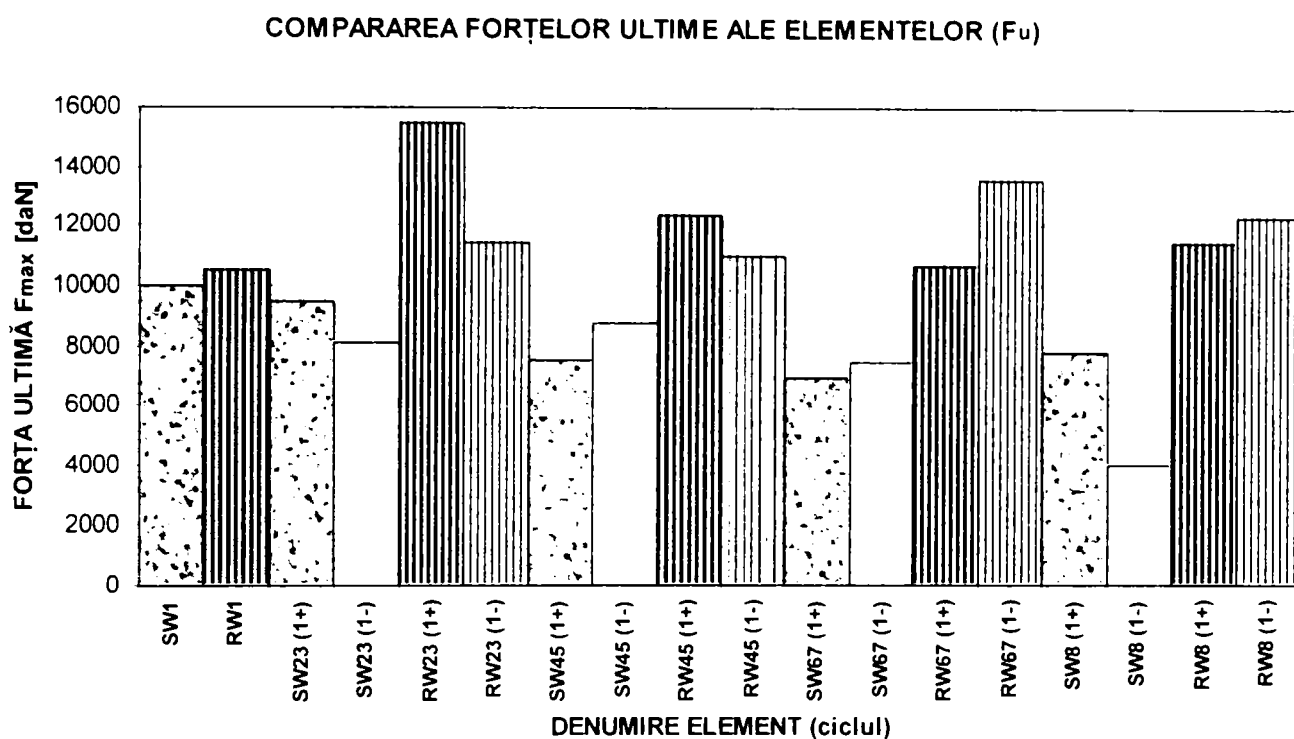


Figura 4.138 – Compararea încărcărilor ultime ale elementelor

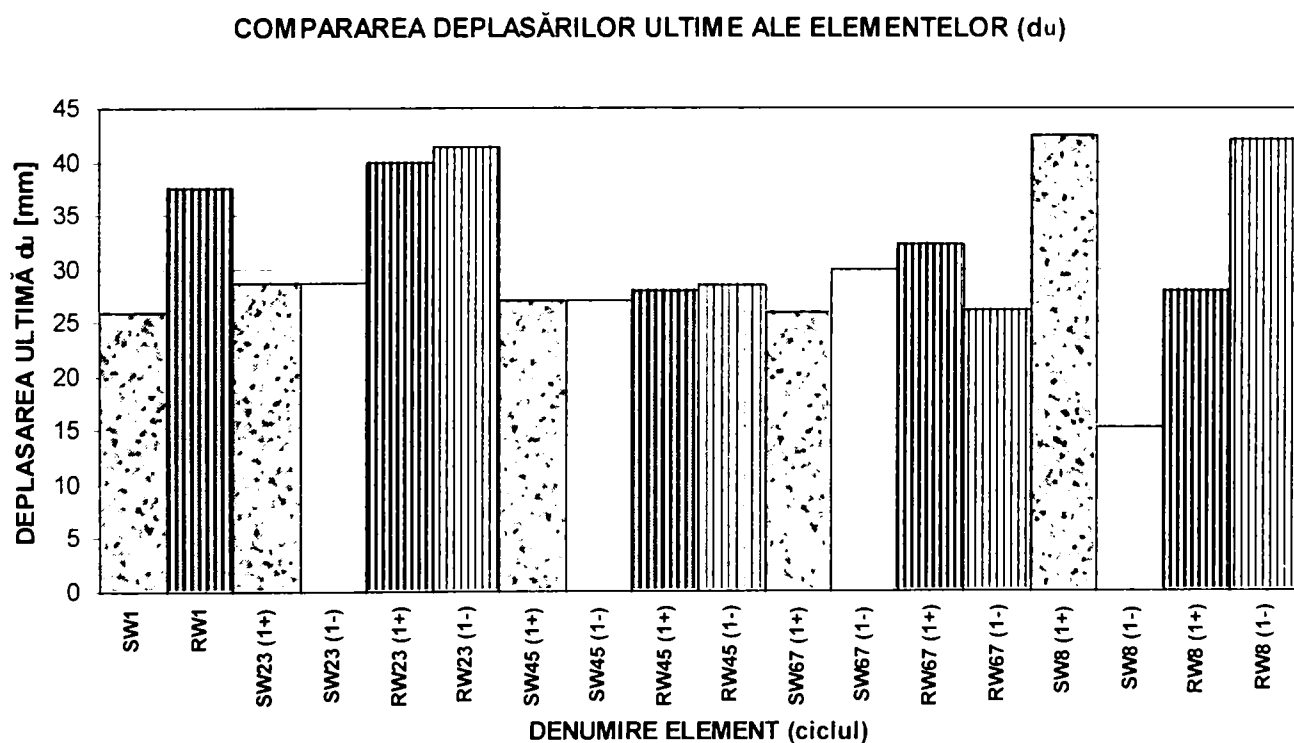


Figura 4.139 – Compararea deplasărilor ultime ale elementelor

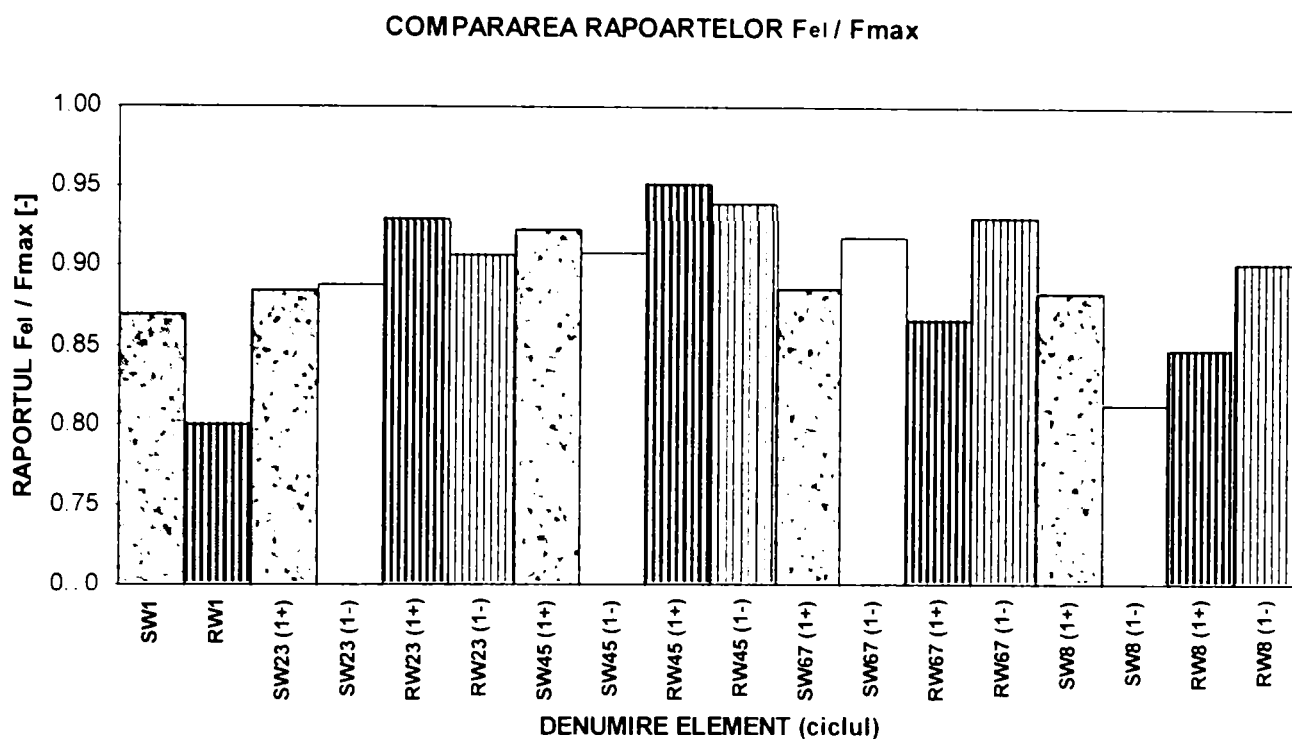


Figura 4.139 – Compararea rapoartelor F_{el} / F_{max}

Tabelul 4.19 – Compararea modificărilor de rigiditate, ductilitate, limita elastică și încărcarea maximă a pereților

Elementele comparate	Ciclul	Modificarea caracteristicilor [%]			
		Rigiditate	Ductilitate	Limita elastică	Încărcarea maximă
		k_e	D	H_{el}	H_{max}
SW1/RW1	1(+)	-54	-57	21	35
SW23/RW23	1(+)	-65	-71	67	59
	1(-)	-51	-45	28	25
SW45/RW45	1(+)	-69	-82	77	71
	1(-)	-67	-72	23	19
SW67/RW67	1(+)	-39	-51	54	58
	1(-)	-47	-69	50	48
SW8/RW8	1(+)	-43	-67	16	21
	1(-)	-31	-6	82	64

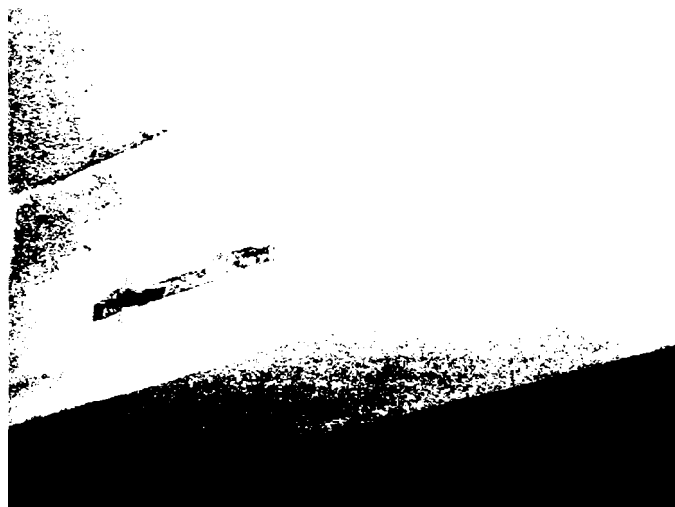
V. APLICAREA REZULTATELOR STUDIILOR EFECTUATE

În continuare sunt prezentate pe scurt câteva studii de caz referitoare la consolidarea elementelor din beton armat și zidărie de cărămidă cu compozite polimerice armate cu fibre.

1. Consolidarea unor grinzi din beton armat la tăiere [80]

Elementele care se doreau a fi consolidate făceau parte dintr-un planșeu de beton armat. Problema principală consta în existența unor grinzi din beton armat care prezentau fisuri înclinate (din forța tăietoare) deschise. Beneficiarul a solicitat expertizarea planșeului, rezultând că fisurile se datorează unor greșeli de proiectare (lipsa armăturilor înclinate și a etrierilor), respectiv nerespectarea condițiilor de execuție prin folosirea unor betoane și oțeluri cu caracteristici mai slabe decât cele prescrise.

S-au propus două soluții de consolidare la forța tăietoare, dintre care beneficiarul a ales soluția cu compozite din fibră de carbon. Această alegere a fost făcută pe de-o parte din considerente economice, pe de alta datorită faptului că pe timpul executării lucrărilor de consolidare nu trebuia să se întrerupă procesele tehnologice. În continuare sunt prezentate imaginile cele mai sugestive din timpul execuției lucrărilor de consolidare în succesiune tehnologică de realizare.

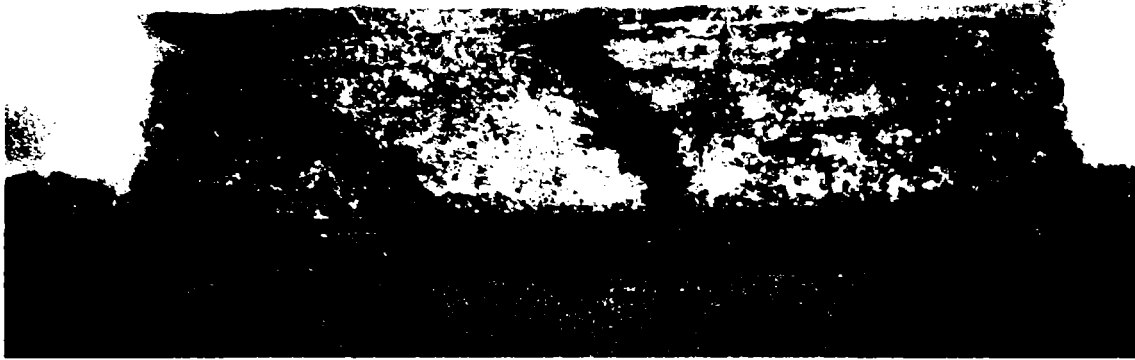


a) Fisuri înclinate la grinda principală



b) Pregătirea suprafeței grinzii pentru consolidare

Figura 5.1A – Consolidarea unor grinzi din beton armat la forță tăietoare



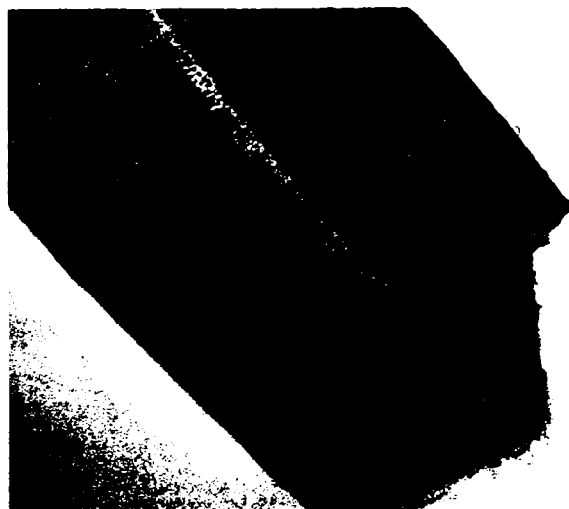
d) Injectarea fisurilor



e) Corectarea suprafeței



f) Grinda cu țesătura aplicată



g) Detaliu de realizare muchie, zonă de ancoraj și pregătirea suprafeței cu nisip

Figura 5.1B – Consolidarea unor grinzi din beton armat la forță tăietoare

2. Consolidarea unui stâlp din beton armat [81]

Datorită unei exploatare inadecvate un stâlp a fost avariat. Avarierea a constat din ruperea a 4 etrieri și a unei armături de colț. Proprietarul clădirii a solicitat întocmirea proiectului de consolidare a acestui stâlp, cerința fiind ca la consolidare să nu se folosească cămășuri cu beton armat.

Singura soluție viabilă în acest caz a fost aplicarea unor fâșii compozite pe direcția verticală (pentru înlocuirea armăturii rupte) și pe orizontală pentru confinarea stâlpului respectiv ancorarea fâșiei verticale. Fazele execuției sunt prezentate în fotografiile următoare.



a) Situația inițială



b) Suprafața corectată de beneficiar

c) Suprafața pregătită pentru consolidare

Figura 5.2A – Consolidarea unui stâlp din beton armat



d) Impregnarea țesăturii



e) Amorsarea și corectarea suprafeței



f) aplicarea fâșiei verticale



g) aplicarea fâșiilor orizontale



Figura 5.2B – Consolidarea unui stâlp din beton armat

3. Consolidarea unor pereți din beton armat și din zidărie de cărămidă [Prof. Bob C.]



Figura 5.3 – Consolidarea unor pereți din beton armat (Timișoara, 2003)

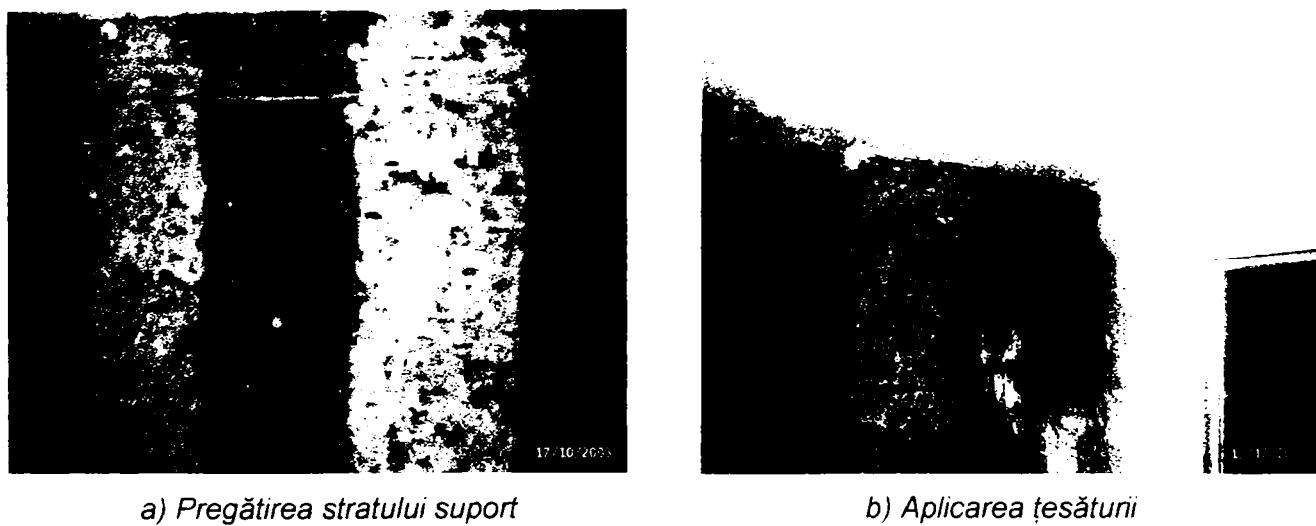


Figura 5.4 – Consolidarea unor pereți din zidărie de cărămidă (Moldova Nouă, 2003)

VI. CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE

Prezenta teză de doctorat, intitulată „UTILIZAREA MATERIALELOR COMPOZITE POLIMERICE LA CONSOLIDAREA ELEMENTELOR DIN ZIDĂRIE DE CĂRĂMIDĂ ȘI BETON ARMAT” a fost elaborată în cadrul Universității Politehnica din Timișoara, Facultatea de Construcții și Arhitectură, Departamentul de Construcții Civile Industriale și Agricole, sub conducerea științifică a domnului Prof. Dr. Ing. Stoian Valeriu.

În cadrul tezei s-au studiat materialele compozite polimerice armate cu fibre, modurile de utilizare ale acestora, respectiv mai detaliat contribuția acestor materiale utilizate la consolidarea pereților structurali din zidărie de cărămidă și beton armat. Pentru a atinge obiectivele dorite s-au realizat o serie de încercări experimentale.

Specimenele experimentale au fost realizate și încercate în cadrul Centrului de Cercetare pentru Materiale Structuri și Tehnologii pentru Construcții – MAST.

1. Considerații asupra temei studiate

Teza abordează o tematică complexă și importantă, încercând să aducă o serie de lămuriri, detalieri și contribuții originale în ceea ce privește utilizarea materialelor compozite polimerice în domeniul construcțiilor.

Originalitatea prezentei teze de doctorat constă în studiul bibliografic detaliat, analizele numerice efectuate, cercetările experimentale realizate, precum și analiza și interpretarea rezultatelor experimentale, care au permis formularea unor concluzii importante referitoare la calculul și comportarea pereților structurali din zidărie de cărămidă și beton armat.

Pentru România, țară cu seismicitate ridicată, problemele speciale legate de proiectarea consolidărilor impun cunoașterea comportării tuturor elementelor componente. În ultimul deceniu, odată cu apariția materialelor compozite cu caracteristici avansate apar și noi metode de calcul privind consolidările.

Aceste materiale, deși sunt materiale cu comportare elastică (fără palier de curgere), pot îmbunătăți comportarea elementelor structurale la acțiuni dinamice (de genul seismelor), prin mărirea capacității portante ale acestora fără modificarea rigidității inițiale a secțiunii, respectiv prin dirijarea formării articulațiilor plastice în zonele dorite.

1.1. Concluzii privind consolidarea pereților structurali din zidărie de cărămidă cu compozite

În urma studiilor teoretice și experimentale efectuate pe pereți din zidărie de cărămidă consolidați cu compozite se pot trage următoarele concluzii:

1. Rezultatele modelărilor efectuate cu programul BIOGRAF și AXIS VM, privind comportarea pereților de zidărie simplă din cărămidă de argilă arsă la acțiunea forței tăietoare, au fost confirmate în ceea ce privește:

- modul de fisurare (apariția și dezvoltarea fisurilor)
- distribuția și direcția fisurilor
- distribuția eforturilor principale
- modul de cedare.

Este de semnalat însă că rezultatele modelărilor numerice nu dau valorile corecte în privința deformațiilor și a încărcărilor ultime de cedare.

2. Pereții din zidărie simplă au cedat la forță tăietoare prin formarea unei fisuri diagonale, fără influența semnificativă a momentului încovoietor, cedarea a fost bruscă (comportarea elementului fragilă), fără deformații plastice, așa cum era de așteptat. Diferența între valorile maxime de cedare ale pereților este de 8%, deci practic putem considera, că pereții s-au rupt la aceleași încărcări.

3. Sistemul de aplicare cel mai potrivit pentru consolidarea pereților s-a dovedit cel cu aplicare umedă cu țesătură uscată, utilizat la primii doi pereți (RM1 și RM2). Acest mod de aplicare are avantajul, că nu necesită aplicarea separată a unei amorse, deoarece rășina de saturare aplicată direct pe perete, servește în același timp ca amorsă. Sistemul are însă și un dezavantaj din cauză că rășina este mai vâscoasă și nu se îmbibă așa de bine în substratul elementului, ca și o amorsă fluidă.

4. Mortarele de corectare au un rol foarte important în refacerea capacității portante. La încercările experimentale s-a urmărit utilizarea unor materiale simple de corectare, astfel pentru umplerea fisurilor s-au utilizat doar mortare bogate în ciment, respectiv lapte de ciment, așa cum s-ar întâmpla și la o lucrare in situ. Pregătirea și corectarea suprafeței s-au efectuat conform cerințelor date de producătorul sistemului, cu mortare epoxidice, pentru a realiza o aderență cât mai bună între element și compozit.

5. Deschiderea fisurii inițiale este hotărâtoare în evoluția capacității finale a elementului. Dacă fisura inițială a avut deschiderea mică și nu era necesară umplerea acesteia (ca și în cazul RM1, RM3), capacitatea creștea semnificativ. Dacă fisura avea deschidere mare (RM4, RM5), după umplere și consolidare valoarea rezistenței de rupere a elementelor a fost cel mult egală cu capacitatea inițială.

6. Sistemul de consolidare cel mai avantajos pentru consolidarea pereților s-a dovedit cel cu țesătură din fibră de sticlă, la care s-a utilizat aproape 50% din capacitatea ultimă a compozitului, în comparație cu compozitele din fibră de carbon, unde valoare maximă a utilizării a fost de maximum 30%. Este de menționat și faptul că prețul fibrelor de sticlă este mult mai mic decât cel al fibrelor de carbon.

7. Consolidarea cu compozite a pereților fisurați din zidărie simplă duce la creșterea semnificativă a capacității portante la tăiere a acestora (practic, capacitatea portantă a pereților fisurați este 0 tone).

8. Înregistrările deformațiilor specifice din compozit demonstrează contribuția acestora la comportarea pereților de zidărie consolidați și conlucrarea compozitului cu zidăria de cărămidă.

9. Cedarea pereților consolidați s-a datorat deschiderilor accentuate ale fisurilor, urmate de desprinderea compozitului în zona fisurii și nu cedării la întindere sau tăiere a compozitului.

10. Deformațiile orizontale maxime ale pereților consolidați au crescut de minimum două ori comparativ cu cele inițiale, fapt ce demonstrează creșterea ductilității și a capacității de absorbție de energie a pereților consolidați.

11. Cheia consolidărilor cu compozite este pregătirea corespunzătoare a suprafețelor pentru asigurarea unei legături cât mai eficiente. Aceste legături se pot îmbunătăți prin utilizarea unor ancoraje.

12. Consolidările cu compozite polimerice, așezate pe o singură față a elementului, folosind țesături unidirecționale, aplicate pe direcție verticală, au un rol important în preluarea eforturilor de tăiere din pereții structurali, în pofida observațiilor unor cercetători internațional recunoscuți, care recomandă neglijarea aportului consolidărilor pe direcția verticală, datorită apariției în compozit așa numitului efect de dorn.

13. Alte observații:

- În general, materialele cu suprafață mai mare, cum sunt țesăturile, aplicate pe întreaga suprafață a peretelui, ancorate corect, pot ajuta la toate cele trei tipuri clasice de cedare a pereților din zidărie (încovoiere, tăiere, alunecare).

- Legăturile pereților la fundație și la planșeu reprezintă legăturile slabe în structura existentă, astfel încât îmbunătățirea performanțelor pereților nu se poate realiza fără aplicarea unor sisteme de ancoraj a legăturilor structurale performante.

- După unii cercetători lamelele puse pe diagonală (X sau XX) au avut cel mai mic succes datorită cedării premature a ancorajului sau a cedării elementului la tăiere-încovoiere.

Concluzia finală

Pereții din zidărie simplă supuși forțelor seismice au o comportare fragilă și cedează fără avertizare. Consolidând astfel de elemente structurale ne-ductile cu compozite, care au de asemenea o comportare fragilă, se pot obține elemente consolidate cu caracteristic de comportare ductilă.

1.2. Concluzii privind consolidarea pereților din beton armat cu compozite

Pe baza studiilor teoretice și cercetărilor experimentale efectuate pe pereți structurali din beton armat se pot trage următoarele concluzii:

1. Consolidarea cu compozite a pereților din beton armat structurali duce la creșterea semnificativă a capacității portante ultime a acestora (practic, capacitatea portantă a pereților pre-testați a fost de 0 tone);

2. Înregistrările deformațiilor specifice din compozit demonstrează contribuția acestora la comportarea pereților consolidați și conlucrarea compozitului cu elementul din beton armat.

3. Cedarea elementelor consolidate s-a produs prin deschiderea treptată a fisurilor existente, prin dezlipirea compozitului în zona comprimată la baza montantului (mare), urmată de ruperea la întindere a acestuia, sau câteodată la compresiune.

4. Deformațiile orizontale maxime ale pereților consolidați sunt de regulă mai mari, sau cel puțin identice cu cele ale pereților martori.

5. Rezultatele obținute depind în **foarte mare măsură** de starea inițială a elementului consolidat (numărul și deschiderea fisurilor, numărul armăturilor ieșite din lucru, metoda și materiale de reabilitare), respectiv de metoda de evaluare utilizată. Astfel, pe baza metodei utilizate pentru determinarea caracteristicilor, cum ar fi rigiditatea, ductilitatea, limita elastică, au rezultat următoarele:

- Rigiditatea elementelor a scăzut în medie cu 53%.
- Ductilitatea elementelor a scăzut în medie cu 60%.
- Limita elastică a pereților a crescut în medie cu 47%.
- Încărcarea maximă a pereților a crescut în medie cu 45%.

9. Deformațiile specifice din compozit variază între valorile 0.54-0.84%.

10. Sistemul de ancoraj s-a comportat excelent, fără degradări.

Concluzia finală

Pereții din beton armat supuși forțelor seismice au o comportare ductilă. Consolidând astfel de elemente structurale ductile cu compozite, care sunt materiale cu comportare liniară (fără palier de curgere), ne-ductile, caracteristicile ductile ale elementelor se pot menține.

1.3. Considerații finale

Avantajele utilizării consolidărilor pereților cu compozite:

- ușurința de aplicare și prețul relativ scăzut face ca această tehnică să fie o alternativă viabilă pentru aplicațiile curente.

- metoda este foarte eficientă în domeniul consolidărilor seismice, economică și ușor de aplicat. Metodele alternative, ca armarea și torcretarea, respectiv înlocuirea peretelui sunt, de regulă, soluții mult mai scumpe.

- schimbarea de la un mod de cedare brusc la forță tăietoare, la un mod de cedare mai ductil, modificând capacitatea de deformare fără o degradare semnificativă a rezistenței.

2. Contribuții personale

Principalele contribuții ale autorului, cuprinse în prezenta lucrare de doctorat, sunt:

- Prezentarea unei sinteze asupra compozitelor polimerice utilizate în domeniul construcțiilor. Sunt prezentate tipuri de fibre utilizate la alcătuirea compozitelor, caracteristicile și metodele de fabricare ale acestora. De asemenea, sunt prezentate tipurile de rășini și proprietățile acestora, iar în final caracteristicile compozitelor, procesele de fabricare ale acestora și domeniile de utilizare și formele în care sunt folosite.
- Efectuarea unei sinteze asupra rezultatelor cercetărilor experimentale și teoretice, publicate în domeniul pereților structurali consolidați cu compozite polimerice.
- Elaborarea unor instrucțiuni de aplicare a materialelor compozite.
- Prezentarea recomandărilor de calcul existente, privind consolidarea cu compozite a pereților structurali din zidărie de cărămidă și beton armat.
- Studiul complet al tehnologiei de aplicare a materialelor compozite utilizate la consolidarea elementelor din zidărie și beton armat.
- Efectuarea unui program de încercări experimentale pe cinci pereți din zidărie de cărămidă. Patru dintre pereți au fost testați inițial, consolidați după rupere și apoi retestați, iar unul dintre pereți a fost consolidat de la început și testat. Încercările au vizat comportarea pereților consolidați supuși la încărcări care generează tăiere pură. S-au urmărit de asemenea modurile de cedare și contribuția compozitelor pentru preluarea eforturilor de tăiere.
- Efectuarea unor analize numerice în scopul evaluării stării de eforturi și de deformare a modelelor experimentale, identificarea modurilor de cedare și a valorilor aproximative a forțelor orizontale maxime la care se produce cedarea acestora.
- Stabilirea stadiilor de comportare pe care le parcurg modelele experimentale.
- Analiza rezultatelor experimentale și elaborarea unui studiu comparativ între pereții simpli și cei consolidați, prin prisma rezultatelor încercărilor experimentale.
- Efectuarea unui program de încercări experimentale pe cinci pereți din beton armat consolidați cu compozite. Încercările pe pereții din beton armat au fost efectuate inițial de d-l ing. Marius Moșoarcă. Rezultatele încercărilor s-au utilizat pentru efectuarea unor comparații privind comportarea pereților din beton armat consolidați cu compozite. Pereții structurali din beton armat testați inițial până la cedare au fost consolidați

și retestați utilizând aceeași procedură ca la încercările inițiale. Încercările au urmărit comportarea pereților consolidați supuși la încărcări ciclice, modurile de cedare și contribuția compozitelor pentru preluarea eforturilor din perete.

- Stabilirea și compararea unor parametri de comportare, cum ar fi rigiditatea elastică, nivelul de încărcare la limita elastică, încărcarea maximă și ductilitatea.
- Studiul și compararea modurilor de cedare și evaluarea eforturilor din compozit pe durata încercărilor.
- Prezentarea unor studii de caz privind consolidarea cu compozite a unor elemente din beton armat și zidărie de cărămidă, cu implicare directă a autorului.
- Elaborarea unei mic dicționar de terminologie din domeniul compozitelor, respectiv a unui mic dicționar de termeni englez-român din același domeniu.
- Dezvoltarea cunoașterii științifice într-un domeniu de mare actualitate și cu perspectivă.
- Elaborarea unor expertize și proiecte tehnice de consolidare cu compozite, respectiv participarea nemijlocită a autorului la efectuarea consolidărilor.

3. Valorificarea rezultatelor obținute

Ca urmare a studiilor efectuate autorul a publicat, ca autor sau coautor, 24 de articole științifice, a participat la elaborarea a 9 contracte de cercetare (la 3 ca și director) și 3 contracte de execuție din domeniu și la peste 20 de lucrări de proiectare, expertizare sau asistență tehnică.

3.1. Publicații științifice

a) Articole în reviste de specialitate

1. Dan D., Stoian V., **Nagy-György T.**, „Etude numerique par elements finis d'un rabouillage par cheville transversal en béton armé”, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Tom 45 (59), 2000
2. **Nagy-György T.**, „Consolidări cu compozite – Tipuri și caracteristici”, Buletinul Institutului Politehnic Iași, Tomul XLVII, Fasc.5, 2001
3. **Nagy-György T.**, Stoian V., Dan D., „Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites for Retrofitting Structural Elements”, Buletinul Științific Al Universității „Politehnica” din Timișoara, Tom 47 (61), 2002 (in editare)

4. Stoian V., **Nagy-György T.**, Dan D., "Consolidarea clădirilor cu materiale compozite din fibră de carbon", Buletin AGIR, 2003 (in editare)
5. Stoian V., **Nagy-György T.**, Dan D., "Pereti din zidărie consolidați cu compozite – Rezultatele încercărilor experimentale", Buletin AICPS, 2004

b) Articole în volumele unor conferințe

1. **Nagy-György T.**, Borosnyói A. , „Strengthening of Concrete Elements Using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Composites”, International Conference in Civil Engineering and Architecture – EPKO 2000, Miercurea-Ciuc, Romania, 2000 (lb. maghiară)
2. **Nagy-György T.**, „Armarea betonului cu armături compozite”, Conferința Tehnico-Științifică Jubiliară „Tehnologii moderne în construcții”, Chișinău, Moldova, 2000
3. **Nagy-György T.**, „Utilizarea materialelor compozite în construcții”, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2001
4. **Nagy-György T.**, Stoian V. , „Elemente din beton consolidate cu compozite – Exemple de calcul”, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2001
5. **Nagy-György T.**, „Design of Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beam with Composites”, International Conference in Civil Engineering and Architecture – EPKO 2001, Miercurea-Ciuc, Romania, 2001 (lb. maghiară)
6. **Nagy-György T.**, “ Consolidara structurilor cu compozite ”, Cursuri de Terminologie, Cluj-Napoca, EMT, 2002, pag. 168-176 (lb. maghiară)
7. **Nagy-György T.**, Stoian V., Dan D., „Compozite – materiale cu mare eficiență în industria construcțiilor”, Sesiunea Științifică Aniversară Construcții-Instalații, Brașov, 2002
8. Dan D., Stoian V., **Nagy-György T.**, „Încercări experimentale privind comportarea nodurilor compuse oțel-beton sub încărcări monotone și ciclice”, Sesiunea Științifică Aniversară Construcții-Instalații, Brașov, 2002
9. **Nagy-György T.**, „Structural strengthening with composites”, IV. RODOSZ Scientific Conference, Cluj-Napoca, 2003 (lb. maghiară)
10. **Nagy-György T.**, Stoian V., Gergely J., Dan D., „Masonry Wall Retrofitted with CFRP Composites - First Results”, Proceeding of the International Conference Constructions 2003, Cluj-Napoca, 2003
11. Dan D., Stoian V., **Nagy-György T.**, „Experimental Test on Steel-Concrete Composite Joint”, Proceeding of the International Conference Constructions 2003, Cluj-Napoca, 2003

12. **Nagy-György T.**, Gergely J., Dan D., „ Shear strengthening of the masonry walls with composites”, International Conference in Civil Engineering and Architecture - EPKO 2003, Miercurea Ciuc, 2003 (lb. maghiară)
13. **Nagy-György T.**, Stoian V., Dan D., Gergely J., „Încercări experimentale pe zidării consolidate cu compozite”, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2003
14. **Nagy-György T.**, Stoian V., Moșoarcă M., Dan D., „Pereți structurali din beton armat consolidați cu compozite – Primele încercări experimentale”, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2003
15. Dan D., Stoian V., **Nagy-György T.**, „Comportarea nodurilor compuse oțel-beton sub încărcări monotone și ciclice”, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2003
16. Dan D., Stoian V., **Nagy-György T.**, „Studiu comparativ privind evaluarea capacității portante a nodurilor compuse oțel-beton”, Zilele Academice Timișene, Timișoara, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2003
17. Stoian V., **Nagy-György T.**, Dan D., Gergely J., „Retrofitting the shear capacity of the masonry walls using CFRP composite overlays”, The SE 40EE International Conference in Earthquake Engineering, Skopje, Macedonia, 2003
18. Stoian V., Dan D., Moșoarcă M., **Nagy-György T.**, „Experimental Studies On Structural Elements”, Recent Advances and New Trends in Structural Design, Victor Gioncu Anniversary Colloquium, Timișoara, 2004
19. **Nagy-György T.**, Gergely J., Dan D., “Reinforced concrete structural walls retrofitted with composites”, International Conference in Civil Engineering and Architecture - EPKO 2004, Miercurea Ciuc, 2004 (lb. maghiară)

c) Cărți de specialitate

Elaborarea a unor capitole în cartea de specialitate despre compozite în construcții, cu titlul :

Stoian V., **Nagy-György T.**, Dan D., Gergely J., Dăescu C., „Materiale compozite pentru construcții”, Ed. Politehnica, 2004 (în editare)

3.2. Contracte de cercetare

1) ANSTI tip T – (2000/2001) - Consolidarea elementelor de beton armat și zidărie de cărămidă utilizând compozite din fibră de carbon

Director grant: **Nagy-György T.**

Etape

6153/B18/2000 – Proiectarea, analiza teoretică și modelarea elementelor experimentale

6153/A24/2001 – Elaborarea unui studiu comparativ între metodele de calcul utilizate pe plan internațional pentru calculul consolidărilor

2) CNCSIS tip A – (2001/2002/2003) - Utilizarea compozitelor din fibră de carbon la consolidarea elementelor din beton armat și din zidărie de cărămidă

Director grant: Prof.dr.ing. Stoian V.

Membrii: **Nagy-György T.** și alții

Etape

- Nr. 34977/2001; cod CNCSIS 849; Nr. tema: 39

39.1/2001 - Studiu comparativ între metodele de calcul utilizate pe plan internațional pentru calculul consolidărilor cu compozite cu fibră de carbon

- Nr. 33501/2002, cod CNCSIS 517; Nr. tema: 44

44.1/2002 - Proiectarea pereților de zidărie de cărămidă pentru încercări experimentale

44.2/2002 - Modelarea încercărilor experimentale cu programe cu elemente finite

- Nr. 33550/2003, cod CNCSIS 28, Nr. Tema 27

27.1/2003 - Încercări experimentale pe elemente de zidărie de cărămidă consolidate cu compozite din fibră de carbon

3) COBASE (Collaboration in Basic Science and Engineering – NSF, USA) (2002) - Seismic Retrofit of Masonry Structures

Directorii grant: **Gergely J., Stoian V., Nagy-Gyorgy T.**

4) CNCSIS tip TD – (2003) - Consolidarea clădirilor monumentale cu structură de zidărie utilizând compozite polimerice

Director grant: **Nagy-György T.**

Etape

- Nr. 39783/2002; cod CNCSIS 215; Nr tema: 4

4.1/2002 : Modelarea unor montanți din zidărie de cărămidă cu elemente finite și execuția primului element experimental

- Nr. 33550/2003, cod CNCSIS 5, Nr, tema 4

4.1./2002 - Efectuarea unor încercări experimentale pe elemente de zidărie consolidate cu compozite

5) CNCSIS tip TD – (2004) - Încercări experimentale pe pereți structurali din beton armat consolidați cu compozite polimerice din fibră de carbon

Director grant: **Nagy-György T.**

3.3. Alte lucrări publicate

1. **Nagy-György T.**, "Consolidarea unui planșeu din beton armat utilizând lamele din fibră de carbon", Conferința Științifică Studentească Maghiară, Timișoara, 1999 (lb. maghiară)

2. **Nagy-György T.**, "Consolidări cu lamele compozite din fibră de carbon" , Proiect de diplomă, capitolul 'Consolidări', UPT, Timișoara, 1999

3. **Nagy-György T.**, "Consolidarea și armarea elementelor din beton cu compozite FRP", Conferința Științifică Studentească Maghiară, Timișoara, 2000 (lb. maghiară)
4. **Nagy-György T.**, "Consolidarea grinzilor de beton armat la încovoiere și tăiere utilizând materiale compozite FRP", Lucrarea de Disertație la Studii Aprofundate Master, Specializarea Reabilitarea Construcțiilor, UPT, 2001

VII. TERMINOLOGIA UTILIZATĂ

A

Accelerator	Material ce acționează pentru a accelera reacția dintre catalizator și rășină.
Accelerator (promotor)	Un produs chimic care reduce energia necesară pentru activarea unui inițiator.
Adeziune	Starea în care două suprafețe sunt legate (lipite) prin intermediul unor efecte de suprafață (forțe moleculare, mecanisme de fixare sau ambele)
Adeziv	Substanță aplicată suprafețelor ce urmează a fi în contact, pentru a fi legate prin lipire. Poate fi sub formă de lichid, peliculă sau pastă.
Aditiv	Orice substanță care este adăugată altei substanțe, de obicei pentru a-i îmbunătăți proprietățile (plasticizanti, inițiatori, stabilizatori la acțiunea ultravioletelor)
Agent de cuplare	Un agent care are rolul de a asigura o aderență mai mare între suprafața fibrei și rășina de laminare.
Agent de întărire	Un agent cu rol catalitic sau de întărire, care generează polimerizarea atunci când este adăugat. Este denumit și întăritor.
Amorsă / Grund	Strat aplicat înainte de aplicarea propriu-zisă a adezivului, pentru a îmbunătăți calitatea aderenței. Acoperirea trebuie să fie cu vâscozitate redusă (fluid)
Anizotrop	Material care are proprietăți diferite pentru diferite direcții de solicitare.
Aplicare (așezare)	Procesul de poziționare a materialului de armare (fibră) în poziție.
Aplicare manuală	Metodă de fabricare prin care straturile de armare, sau preimpregnate, sunt aplicate manual în formă (matriță) și apoi întărite pe element.
Aplicare umedă	Metodă de obținere a unui laminat prin aplicarea rășinii în stare lichidă peste țesătură.
Aramidă	Este un poliamid aromatic puternic orientat. Este folosit ca fibră de înaltă rezistență cu modul de elasticitate ridicat.
Arhitectura fibrei	Reprezintă modul de aranjare a fibrelor într-un material compozit, cu scopul de a obține anumite rezultate.
Armătură	Materiale rezistente legate direct sau printr-o matrice, pentru sporirea proprietăților mecanice a unui element.

B

Bandă (lamelă)	Forme prefabricate, formate din fibre și rășină obținute de regulă prin pultrudare
Bătătură	Firele dintr-o țesătură perpendiculare pe urzeală.
Bidirecțional	O fâșie sau o țesătură cu fibrele orientate în două direcții ale aceluiași plan.

C

Câlți	Un mănunchi de filamente continue de regulă nerăsucite notat cu un număr și litera K, indicând multiplicarea cu 1000. De exemplu un câlt de 120K reprezintă 120000 de filamente.
Catalizator	Substanță care accelerează reacția chimică și îi permite să aibă loc chiar și în condiții improprie. Acceleratorul nu este transformat de reacția propriu-zisă.
Cedere datorată fluajului (curgerii lente)	Reducerea capacității portante în timp sub o încărcare constantă.
Cedarea sub efort	Scăderea capacității portante datorită încărcării de lungă durată.
Chit	Mortar pentru reparație.
Coeficient de dilatare termică	Deformația specifică (pentru lungimi sau volume) datorată unei diferențe de temperatură de un grad.
Compozit	O combinație de două sau mai multe materiale, care diferă între ele ca formă sau compoziție. Materialul format păstrează proprietățile celor două. Componentele nu se dizolvă și nu se absorb complet unul în celălalt, deși acționează împreună. În mod normal, componentii unui compozit pot fi deosebiți (la nivel fizic) și prezintă o interfață între ei.
Compozit polimeric armat cu fibre	O matrice polimerică (termoplastic sau termorigid) armată cu fibre sau alt material cu un raport de lungime-grosime suficientă, care asigură o funcție de consolidare în una sau mai multe direcții.
Conținutul de fibră	Reprezintă cantitatea de fibră dintr-un compozit. De obicei, se exprimă în procente de volum.
Conținutul de rășină	Cantitatea de rășină dintr-un material, exprimată ca procent de masă sau volum.
Coroziune sub efort	Proces de corodare ce se produce datorită solicitărilor.

D

Delaminare	Separarea straturilor în laminat, datorată cedării adezivului. Se produce în adeziv, sau la interfața dintre adeziv și fibră sau suport.
Dezlipire	Separarea la interfața dintre suport și materialul de consolidare.
Direcția fibrei	Orientarea sau alinierea axei longitudinale a fibrei, raportată la o axă de referință.
Durabilitate	Proprietatea unui material de a rezista la îmbătrânire, agresiune chimică, fizică sau alte fenomene.
Durata de depozitare	Durata maximă de depozitare în care un material nu își modifică proprietățile inițiale.
Durata de utilizare	Intervalul în care o rășină, deja amestecată cu catalizator, are vâscozitatea suficient de mică ca să poată fi utilizată.

F

Fâșie	Sinonim cu țesătură.
Fibră	Termen utilizat în general pentru un material filamentar, cea mai mică unitate a unui material fibros. De obicei termenul reprezintă orice material care are lungimea cel puțin egală cu 100 de diametre.
Fibră de carbon	Fibră obținută prin tratamentul termic al unui fibre precursor organic pe bază de PAN, gudron sau rayon, într-un mediu inert.
Fibră de grafit	Fibră ce conține un procent de carbon mai mare de 99%.
Fibră de sticlă	Un filament individual format prin tragerea sticlei topite printr-un orificiu foarte mic. Un filament continuu este o singură fibră de sticlă cu o lungime mare nedefinită. Tipuri: Sticlă AR rezistentă la acțiunea alcaliilor Sticlă E tipul general de fibra de sticlă (electric) Sticlă S tipul de înaltă rezistență (structural)
Filament	Cea mai mică unitate a unui material fibros; o fibră continuă, realizată prin tragere sau centrifugare. Sunt folosite în mănunchiuri, câlți sau împletituri.
Fir răsucit	Un ansamblu de filamente răsucite, care creează un fir continuu, ce poate fi folosit în țesături.
Flambaj	Mod de cedare caracterizat în principal prin deformarea fibrelor (nu prin cedare), datorită unor forțe de compresiune.
Formare prin amestec în foi	Procedeu de formare prin presare la cald
Formare prin compresiune	Tehnică de obținere a materialelor compozite prin presare hidraulică în matrițe, urmată de tratare termică pentru întărirea rășinii.

Formare prin transfer de rășină Este un grup de procese în care fibrele uscate semifabricate sunt infiltrate de o rășină cu viscozitate mică și sunt întărite într-o formă

G

Gudron Produs petrolier rezidual, utilizat ca material de bază (precursor) pentru realizarea fibrei de carbon cu modul de elasticitate ridicat.

H

Hibrid Un compozit laminat constând din două sau mai multe sisteme de materiale compozite. O combinație a două sau mai multe fibre (carbon + sticlă; carbon + aramidă). O combinație de compozite polimerice armate cu fibre și un alt material, cum ar fi betonul sau lemnul.

I

Impregnare Procesul de saturare cu rășini a fibrelor dintr-un strat de armare.

Inhibitor Substanță ce întârzie o reacție chimică (de ex.: întârzierea degradării materialului supus la acțiunea razelor ultraviolete), sau care prelungește durata de depozitare

Inițiator Peroxizi, folosiți ca sursă de radicali liberi. Sunt folosiți în polimerizările cu radicali liberi, pentru tratarea rășinilor termorigide, sau ca agenți de legătură pentru elastomeri și polietilen, și pentru modificarea polimerilor.

Interfață O suprafață limită continuă dintre două medii. Într-un laminat compozit reprezintă aria de contact între rășină și fibră.

Î

Împletitură Material fibros pentru polimeri armați, alcătuit din filamente tăiate și orientate aleator, fibre scurte sau filamente lungi nelegate, sau mănunchi de filamente legate prin înclieiere

Înclieiere Tratament de suprafață sau înveliș aplicat filamentelor pentru a îmbunătăți aderența filamentelor la rășină.

Întărire Procesul prin care se creează o schimbare ireversibilă în proprietățile unei rășini prin intermediul unei reacții chimice. De obicei, întărirea se realizează cu ajutorul unor agenți de întărire, cu sau fără creșterea presiunii sau a temperaturii. Întărirea totală este punctul în care o rășina atinge proprietățile prescrise.

Întăritor Substanță adăugată la rășinile termorigide pentru a porni reacția de întărire

L

Laminat	Unul sau mai multe straturi de fibră, lipite între ele printr-o matrice de rășină întărită.
Laminat anizotrop	Laminat care are proprietăți diferite pentru direcții diferite de încărcare.
Laminat bidirecțional	Compozit armat cu fibre pe două direcții; laminat în cruce.
Laminat unidirecțional	Un laminat format din rășini armate cu fibre orientate în aceeași direcție.
Liant	Substanță chimică folosită pentru a lega fibrele așezate aleator, pentru a realiza unitatea. Există lianți specifici folosiți pentru a crea o compatibilitate chimică cu anumite tipuri de rășini.
Lipici	Sinonim cu adeziv.
Lungime activă	lungimea necesară a fi ancorată pentru a putea realiza transferul eforturilor din compozit, astfel încât acesta să fie folosit la întreaga lui capacitate.

M

Mandrină	Elementul central pe care sunt înfășurate fibrele, fâșiile sau țesăturile impregnate, pentru a forma tuburi, țevi sau elemente structurale.
Matrice	Materialul omogen (rășină sau polimer) în care se află înglobat sistemul compozit de armare.
Mănunchiuri de filamente nerăsucite	Un număr de fire, împletituri, câlți sau capete, strânse într-un mănunchi paralel, aproape nerăsucite.
Microfisuri	Fisurile formate în compozit în momentul când eforturile unitare depășesc eforturile limită ale matricii.

P

PAN	Poliacrilonitril, fibră precursor utilizată pentru producția fibrei de carbon
Poliester	Una dintre cele mai utilizate rășini sintetice.
Polimer	Produsul polimerizării; în sens general o rășină constând din molecule mari formate prin polimerizare.
Polimer armat cu fibră de carbon	Compozit armat cu fibre de carbon (sunt incluse aici și cele armate cu fibre de grafit)
Polimer armat cu fibre	O denumire generică pentru un material compozit, alcătuit dintr-o matrice polimerică armată cu fibre, fire, împletitură sau orice altă formă de fibră.

Polimerizare	Reacția chimică prin care două sau mai multe molecule ale aceleiași substanțe se combină pentru a forma un element conținând aceleași elemente în aceleași proporții, dar având o masă moleculară mai mare.
Preimpregnat	Fibră sau țesătură preimpregnată cu rășină, care de regulă se întărește la temperaturi ridicate și sub presiune
Produs de ignifugare	Substanță chimică folosită pentru a reduce tendința unei rășini de a arde. Pot fi adăugate direct în rășină sau pot să acopere suprafața după aplicarea finală a compozitului.
Pultrudare	Un proces continuu ce combină tragerea și extrudarea, folosit pentru a realiza compozite care au secțiuni constante; procesul constă în tragerea fibrelor printr-o baie de rășină, iar apoi printr-o matrită sau o serie de matrite, având rol de formare și tratare.
Pulverizare	Proces prin care materialul este aplicat prin pulverizare.

R

Răsucire	Rotirile în spirală a filamentelor în jurul axei, raportate la unitatea de lungime.
Rășină	Un material natural sau sintetic, solid sau semisolid, organic sau nedefinit, având, de obicei, o masă moleculară mare. Rășina se referă, de regulă, la componenta polimerică amestecată sau la matricea compozitului.
Rășină epoxidică	un grup de sisteme adezive chimice, folosite la prepararea unor protecții speciale sau la prepararea a unor adezivi pentru beton, ca și lianți în mortarele și betoanele epoxidice.
Reticulare	Legarea chimică a moleculelor în timpul polimerizării, ce are loc în timpul întăririi rășinii (lichidul devine solid).
Rețea (Plasă)	Element cu secțiune semnificativă, pe 2 sau 3 direcții, obținut prin utilizarea filamentelor continue.
Rezistența la compresiune	Capacitatea unui material de a rezista forțelor de compresiune fără zdrobire sau flambaj. Numeric este raportul dintre forța maximă de compresiune și aria secțiunii materialului.
Rezistența la coroziune	Capacitatea unui material de a rezista la acțiunea agenților de mediu (naturali sau artificiali)
Rezistență dielectrică	Proprietatea unui material izolator de a rezista la trecerea curentului electric. Cu cât mai mare este această rezistență dielectrică, cu atât mai bune proprietăți de izolare are acel material.

S

Saltea de fibre scurte	O armare cu fibră de sticlă ce constă din mănunchiuri de filamente continue tăiate în bucăți scurte, aranjate aleator și legate cu un liant.
Saturare	Indică faptul că toate golurile (dintre fibrele țesăturii) au fost umplute cu rășină.

Semifabricat	O armare fibroasă cu formă predefinită, formată prin distribuirea fibrelor tăiate până la atingerea grosimii necesare
Sticlă E	O familie de sticle, care au în compoziție și borosilicat aluminos de calciu și un conținut alcalin de maxim 2%. Este indicată pentru laminatele electrice, datorită bunei rezistențe dielectrice.
Strat	De regulă un singur strat de țesătură sau împletitură, respectiv laminat, când acestea sunt lipite
Substratul de beton	Betonul original și toate materialele de reparație, folosite la corectarea (repararea) sau înlocuirea betonului original, pe care se va aplica sistemul compozit.

T

Tăiere interlamelară	Forța tăietoare ce se dezvoltă la interfața dintre două straturi de material compozit (lipite unul peste altul) și care generează tendința de desprindere a unuia de celălalt.
Temperatura de distorsiune	Temperatura la care un material plastic poate avea deformații arbitrare, atunci când este supus la anumite încărcări, în diferite condiții de testare; este un indicator al temperaturii de tranziție a sticlei.
Temperatura de tranziție sticloasă	Temperatura la care un material amorf trece din faza solidă (casantă) sticloasă într-o stare plastică.
Termoplastic	Rășină (matrice) care poate fi plastifiată prin creșterea temperaturii și întărit prin răcire.
Termorigid	Rășină (matrice) întărit la temperaturi ridicate și sub presiune sau cu un catalizator, după care devine un material nefuzibil și insolubil. Odată întărit nu mai poate reveni în starea neîntărită.
Timul de deschidere	Intervalul dintre finalizarea aplicării adezivului pe suprafață și finalizarea aplicării componentelor de lipit
Tixotropie	Este proprietatea a sistemelor adezivi de a se subția la agitare izotermă și de a se îngroșa în timpul repausului ulterior. Materialele tixotropice au o rezistență statică ridicată la forfecare și în același timp rezistență dinamică la forfecare redusă. Ele își pierd viscozitatea sub efort.
Tratare ulterioară	Tratament termic ce mărește nivelul legăturilor reticulare a polimerilor, astfel proprietățile laminatelor sau ale polimerilor fiind îmbunătățite.

T

Țesătură (pânză)	Aranjament de fibre într-un ansamblu bidimensional. Pot fi țesute, nețesute, împletite. Se poate găsi și sub forma de mai multe straturi cusute între ele. Arhitectura țeserii constituie o descriere a fibrelor, a direcțiilor lor și a modurilor de alcătuire.
-------------------------	--

Țeserea Filamentelor Este un proces de fabricare a unei structuri compozite în care armătură continuă (filament, fibră, fir, bandă) sau un preimpregnat, este aplicată pe o suprafață printr-un proces automat de rotire (bobinare). După realizarea numărului dorit de straturi, se aplică rășina de protecție.

U

Urzeală Firul din lungul țesăturii. Un grup de fire, aproximativ paralele.

V

Vâscozitate Proprietatea internă a unui material de a rezista schimbărilor din structura sa (frecarea internă). Cu creșterea temperaturii vâscozitatea la majoritatea materialelor scade.

Vinil-ester Un tip de rășină termorigidă

1. Mic dicționar de termeni (englez – român)

A

Abrasion	Rugos
Accelerator	Accelerator
Additive	Aditiv
Adhesion	Adeziune
Adhesive	Adeziv
AFRP – Aramid Fiber Reinforced Polymer	Polimer armat cu fibră de aramidă
Anisotropic	Anizotrop
Anisotropic laminate	Laminat anizotrop
Aramid	Aramidă
Aramid fiber	Fibră de aramidă
Aspect ratio	Raport

B

Bidirectional Laminate	Laminat bidirecțional
Bi-directional	Bidirecțional
Binder	Liant
Braiding	Împletitură
Buckling	Flambaj

C

Carbon fiber	Fibră de carbon
Catalyst	Catalizator
CFRP – Carbon Fiber Reinforced Polymer	Polimer armat cu fibră de carbon
Chopped Strand Mat	Saltea de fibre scurte
Coefficient of Thermal Expansion (CTE)	Coeficient de dilatare termică
Composite	Compozit
Composite FRP	Compozit polimeric armat cu fibre
Compression Molding	Formare prin presare
Corrosion resistance	Rezistența la coroziune
Coupling agent	Agent de cuplare
Concrete substrate	Stratul de beton
Creep rupture	Cedare datorită fluajului
Cross-linking	Plasă (rețea)
Cure	Întărire / Tratare
Curing agent	Agent de întărire

D

Debonding	Dezlipire
Delamination	Delaminare
Development length	Lungime activă
Dielectric strength	Rezistență dielectrică
Durability	Durabilitate

E

E-Glass	Sticlă E
Epoxy	Epoxi
Epoxy resin	Rășină epoxidică

F

Fabric	Pânză (țesătură)
Fiber	Fibră
Fiber architecture	Arhitectura fibrei
Fiber content	Conținutul de fibră
Fiber direction	Direcția fibrei
Fiber-Reinforced Polymer (FRP)	Polimer armat cu fibre
Filament	Filament
Filament winding	Țeserea filamentelor
Fiberglass	Fibră de sticlă
Filler	Adaos
Fire retardant	Produs de ignifugare
Flexural strength	Rezistența la încovoiere

G

GFRP	Polimer armat cu fibre de sticlă
Glass fiber-reinforced polymer	
Glass fiber	Fibră de sticlă
Glass transition temperature (T_g)	Temperatura de tranziție sticloasă
Glue	Lipici
Graphite Fiber	Fibră de grafit
Grid	Rețea

H

Hand lay-up	Aplicare (așezare) manuală
Hardener	Întăritor
Heat Distortion Temperature (HDT)	Temperatura de distorsiune
Hybrid	Hibrid

I

Impregnation (Impregnate)	Impregnare
Inhibitor	Inhibitor
Initiator	Inițiator
Interface	Interfață
Interlaminar shear	Tăiere interlamelară

L

Laminate	Laminat
Lay-up	Aplicare (așezare)

M

Mandrel	Mandrină
Mat	Împletitură
Matrix	Matrice
Microcracking	Microfisuri

N

Nonwoven Fabric	Pânză nețesută
------------------------	----------------

O

Open time	Timpul de deschidere
------------------	----------------------

P

PAN	PAN (poliacrilonitril)
Pitch	Gudron
Plastic	Plastic
Ply	Strat
Polyester	Poliester
Polymer	Polimer
Polymerization	Polimerizare
Perform	Semifabricat
Post-curing	Tratare ulterioară
Pot life	Durata de utilizare
Prepreg	Preimpregnat
Primer	Amorsă/grund
Promoter	Accelerator (promotor)
Pultrusion	Pultrudare
Putty	Chit

R

Reinforcement	Armătură
Resin	Rășină
Resin content	Conținut de rășină
Resin Transfer Molding (RTM)	Formare prin transfer de rășină
Roving	Mănunchiuri de filamente nerăsucite

S

Sheet	Fâșie
Shelf life	Durata de depozitare
Stress corrosion	Corodare sub efort
Stress rupture	Ruperea la efort
Sheet Molding Compound (SMC)	Formare prin amestec în foi
Sizing	Încleiere
Spray-up	Pulverizare
Strand	Împletitură
Strip	Bandă/fâșie
Substrate	Substrat

T

Thermoplastic	Termoplastic
Thermosetting	Termorigid
Thixotropy	Tixotropie
Tow	Câlți
Twist	Răsucire

U

Unidirectional laminate	Laminat unidirecțional
--------------------------------	------------------------

V

Vinyl ester	Vinil-ester
Viscosity	Viscozitate

W

Warp	Urzeală
Weft	Bătătură
Wet lay-up	Aplicare umedă
Wet-out	Saturare
Woven Fabric	Pânză țesută

Y

Yarn	Fir răsucit
-------------	-------------

Work: Ph.D. Thesis

Title: USING THE FRP COMPOSITE MATERIALS FOR STRENGTHENING OF BRICK MASONRY AND REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Author: Nagy-György Tamás

Institution: “Politehnica” University of Timișoara
Faculty of Civil Engineering
Department of Civil Engineering

ABSTRACT

The present PhD thesis has 7 chapters and brings new information about the effectiveness and utility of the fiber reinforced polymer (FRP) composite materials for strengthening structural wall elements.

Chapter 1: “Introduction. Objectives of the thesis”

The introduction contain a presentation about the evolution of the composite materials, domains of use, types and some advantages and disadvantages regarding the use as structural strengthening systems.

The objectives of the thesis were the following:

- Study the composite materials, including the constituent fibers and matrices, respectively their types and the modalities of use.
- Study the in-plane behaviour of brick masonry and reinforced concrete structural walls strengthened with FRP composites.
- Prepare a small dictionary of terminology in the domain of composites.

Chapter2: “Polymer composite materials”

Describe the most important type of fibers (carbon, glass and aramide), matrices (thermosets and thermoplastics), properties and characteristics of the composites and modes of fabrication. There is a comprehensive description of the manufacturing processes of composites and some practical examples using such materials in building constructions, as external reinforcement systems (for repair, strengthening and retrofitting), concrete reinforcements (rebars, tendons), profiles and panels.

Chapter 3: “Brick masonry walls strengthened with composite materials”

Starting from the collapse mechanism of the masonry walls on principal stresses (tensions on diagonal direction causing inclined cracks), the author developed an experimental research program to evaluate the in plane load bearing capacity of the masonry walls. In the first phase an analytical study of the wall has been performed, with the goal to create a device in which the load system creates a pure in-plane shear of the wall without influence of the bending moment. Further, by numerical analysis in elastic and post-elastic range, the adequate dimensions of the specimens were determined. The experimental elements have been built and tested in a special device up to failure and then retrofitted on one side with FRP composite layers and

retested. The recorded data was the horizontal load, the horizontal and vertical displacement, the strain in the composite and the failure mode of the specimens. The aim of this procedure was to study and to evaluate the load bearing capacity of the clay brick masonry walls subjected to in-plane shear loads retrofitted with FRP composites applied on one side. A considerable load bearing capacity increase of the retrofitted walls was observed.

Chapter 4: “Reinforced concrete shear walls strengthened with composite materials”

Is dedicated to the behaviour of the reinforced concrete shear walls strengthened with CFRP materials. The RC wall specimens were tested up to collapse using horizontal monotonic alternate loading forces at constant vertical force. After the walls were repaired and strengthened with CFRP wraps placed horizontally and vertically, and retested. The recorded data was the horizontal load, the horizontal displacement, the strain in the composite and the failure modes of the specimens. The test setup and principle of the tests (loading schemes, value of the loads, cycles) were identical with the baseline specimens. The failure loads were compared to the as-built specimens' capacity. Were studied the behaviour of the strengthened elements, the specific details (such the anchorages), the quantity of the materials used to retrofit the elements, the strengthening system, the stiffness and the ductility and the collapse mechanism.

Chapter 5: “Application of the study results”

The author describes a series of personal design studies and technological applications on elements strengthened with CFRP materials (such as beams, columns and walls).

Chapter 6: “Conclusions. Personal contributions”

Contain the final conclusions, recommendations and proposals made by the author, based on the theoretical and experimental studies.

Concerning the strengthening of the brick masonry walls with FRP composite, the following conclusions have been drawn:

- Finite element modelling of the in-plane shear behaviour of the masonry walls was confirmed, regarding the: distribution and direction of the cracks; distribution of the principal stresses; mode of failure. However, the theoretical values of the ultimate load and displacement at failure were just approximation.
- The failure mechanism of the wall was produced through a diagonal crack from the top-right to bottom-left corner, as expected.
- The correction and injection mortars had an important role in restoring the load bearing capacity.
- The width of the initial crack is decisive in the evolution of the final capacity of the strengthened wall. If the crack was tight the capacity increased significantly over the reference value, while if the crack was wide, the ultimate load capacity was approximately equal to the initial value.
- The most advantageous strengthening system seems to be the composite with glass fibers, because it use up to 50% of the load bearing capacity of the fibers.

- A considerable capacity increase was observed for the precracked shear walls retrofitted with FRP composites (practically, the load bearing capacity of the cracked walls was negligible).
- The recorded strain in the composite laminate indicates a considerable contribution of FRP in the load bearing capacity of the walls.
- The failure of the retrofitted walls was caused by extensive cracking followed by FRP delamination and not due to tensile or shear failure of the FRP.
- The maximum horizontal displacements increased two times compared with the displacements of the baseline specimens that demonstrate the increase of the ductility and energy absorbing capacity of the retrofitted walls.
- Strengthening with FRP composites, using unidirectional fabric, placed in vertical direction on one side of the wall, have an important contribution in increasing or restoring the shear capacity of the structural masonry walls, in spite of the opinion of some researchers, who recommend neglecting the contribution of vertical FRP reinforcement, due to the dowel action effect.
- Unreinforced masonry walls subjected to shear forces behave in a very brittle way and fail with or no warning. By strengthening such a non-ductile structural element with composites (a non-ductile material) the characteristic behaviour became rather ductile than brittle.

The following conclusions concerning strengthening of the reinforced concrete walls with CFRP composite have been drawn:

- The load bearing capacity of the damaged wall and then retrofitted on one side with CFRP increased considerably over the baseline value (practically, the load bearing capacity of the pre-tested walls was negligible).
- The strain in the CFRP composite indicates the major contribution in the load bearing capacity of the walls, the average recorded value being 0.54-0.84%.
- The failure of the retrofitted wall was caused by gradually opening of the existing cracks, by debonding of the FRP in compression followed by tension, or in some cases by compression of the FRP.
- The maximum horizontal displacements of the retrofitted walls were generally higher, or at least equal with those of the baseline specimens.
- The results were highly dependent by the initial state of the retrofitted element (width and number of crack, yielded steel reinforcement, rehabilitation method and material), respectively by the evaluation method. Based on the available method for the characteristics evaluation (such as the stiffness, ductility, elastic limit) the following results were obtained:
 - the stiffness of the elements decrease, in average, with 53%
 - the ductility of the elements decrease, in average, with 60%
 - the elastic limit of the walls increase, in average, with 47%
 - the failure load of the walls increase, in average, with 45%
- The anchorage system behaves excellently, without degradations.
- RC walls subjected to seismic forces had a ductile failure. Retrofitting such structural elements with composites maintain the characteristic ductile behaviour, but at the maximum load fails brittle.

The main contributions of the author, from the current PhD work, can be summarised in the followings:

- The realization of a comprehensive synthesis of the fiber reinforced polymer composites used in constructions (probably the first one in Romania).

- The synthetic presentation of the available experimental and theoretical research results, concerning strengthening of the brick masonry and reinforced concrete structural walls with FRP composites.
- Performing an experimental program developed on five brick masonry walls. Four were initially tested to failure, strengthened and retested, and one of the wall was initially strengthened and then tested. The aim was to observe the behaviour of the retrofitted walls subjected to in-plane shear loads, the failure mechanism and to evaluate the contribution of the FRP to shear capacity.
- Analyzing the experimental results and preparing a comparative study between the reference and retrofitted specimens, based on the experimental tests.
- Performing an experimental program on five reinforced concrete walls retrofitted with composites. The walls were loaded up to failure, then retrofitted and retested. The experiments were performed in order to obtain the behaviour of the retrofitted walls subjected to cyclic loads, the failure modes and the FRP contribution to load bearing capacity.
- Analyzing the experimental results and preparing a comparative study between the reference and retrofitted specimens, comparing the stiffness, the ductility, the elastic limit, the maximum load and the ultimate displacement at failure.
- The study and the comparison of the failure mode and the strain in FRP during the tests.
- The enhancement of the scientific knowledge in a field with highly interest and underline the perspective.

As a result of the performed studies, the author published 24 scientific papers, conducted in 8 research grants (in 3 as director) and 3 expert's report in the field of structural strengthening with composites. The author also took part in over 20 design works, expertises or technical assistance.

Chapter7: "Terminology"

Contain the terminology used in the composite materials technology, and a small English - Romanian dictionary in this field.

BIBLIOGRAFIE

1. Publicații

- [1] Al-Chaar G. K., Hasan H. A., "Masonry bearing and shear walls retrofitted with overlay composite materials", USACERL Technical Report, 1998
- [2] Al-Chaar G. K., Hasan H. A., "Seismic testing and dynamic analysis of masonry bearing and shear walls retrofitted with overlay composites", International Composites Expo '99". Proceedings, Cincinnati, Ohio, USA, 1999
- [3] Almakt, M. M., Balazs, L. Gy., "Strengthening of RC Elements by CFRP Plates. Local Failure", Second International PhD Symposium in Civil Engineering", Proceedings, Budapest, Hungary, 1998
- [4] Antoniadis K. K., Salonikios T. N., Kappos A. J., "Inelastic behaviour of frp-strengthened r/c walls with aspect ratio 1.5, subjected to cyclic loading", Concrete Structures in Seismic Regions - fib Symposium, Athens, Greece, 2003
- [5] Antoniadis K. K., Salonikios T. N., Kappos A. J., "Cyclic tests on seismically damaged reinforced concrete walls strengthened using fiber-reinforced polymer reinforcement", ACI Structural Journal, July-Aug., 2003
- [6] Antoniadis, K.K., Salonikios, T.N. and Kappos, A.J. "Cyclic tests on seismically damaged R/C walls strengthened using FRP reinforcement", ACI Struct. Journal, Vol. 100, 2003
- [7] Ascione, L., Feo, L., "Interaction stresses in Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Plates", Advancing with Composites 2000, Milano, Italia, 2000
- [8] Badoux M., ElGawady M. A., Lestuzzi P.: "Earthquake Simulator Tests on Unreinforced Masonry Walls before and after Upgrading with Composites", Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper nr 862, London, England, 2002
- [9] Balazs, L. Gy., Almakt M. M., "Strengthening with CFRP – Hungarian Experiences", Concrete Structures – Annual Technical Journal of Hungarian Group of fib, 2000
- [10] Brosens, K., Van Gement, D., "Anchorage Design for Externally Bonded Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminates", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP-188, 1999
- [11] Clark, J., "The Use of Fiber Composites in Concrete Bridges", Concrete Bridge Development Group, 2000
- [12] Cadar, I., Clipii, T., Tudor, A., "Beton Armat", Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999
- [13] Crawford J. E., Malvar J., Morrill K. B., Ferritto J. M., "Composite retrofits to increase the blast resistance of reinforced concrete buildings", Tenth International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, 2001
- [14] Crăciunescu, C. M., „Materiale compozite”, Ed. Sedona, Timișoara, 1998
- [15] Czaderski, Ch., "Shear Strengthening of Reinforced Concrete with CFRP", 16th Congress of IABSE, Lucerne, 2000
- [16] David, E., Djelal, Ch., Buyle-Bodin, F., "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Composite Materials", Second

- International PhD Symposium in Civil Engineering", Proceedings, Budapest, Hungary, 1998
- [17] De Lorenzis, L., A. Nanni, and A. La Tegola, "Strengthening of Reinforced Concrete Structures with Near Surface Mounted FRP Rods" , bibl. International Meeting on Composite Materials, PLAST 2000, Milan, Italy, May 9-11,2000.
- [18] Ehsani M. R., "Strengthening of earthquake-damaged structures with composite materials", Proceedings of the Second International RILEM Symposium (FRPRCS - 2), Ghent, Belgium, 1995
- [19] Ehsani M. R., Saadatmanesh H., "Seismic retrofitting of UMR walls with composites", The Masonry Society Journal, 1996
- [20] Ehsani M. R., Saadatmanesh H., Al-Saidy A., "Shear behavior of UMR retrofitted with FRP overlays", Journal of Composites for Construction, February, 1997
- [21] ElGawady M. A., Lestuzzi P., Badoux M.: "Seismic Upgrading of URM Walls Using Composite Fibres Laminates", 20th European Regional Earthquake Engineering Seminar, Sion, Switzerland, 2001
- [22] ElGawady M. A., Lestuzzi P., Badoux M.: "Dynamic In-Plane Behavior of URM Wall Upgraded with Composites" , Proceedings of the third International Conference on Composites in Infrastructure, San Francisco, California, USA, , 2002
- [23] ElGawady M. A., Lestuzzi P., Badoux M.: "Rehabilitation of Unreinforced Brick Masonry Walls Using Composites", Architectural and structural design of masonry with focus on retrofitting of masonry structures and earthquake resistant design, International short course, Dresden University of Technology, Dresden, Germany, 2003
- [24] ElGawady M. A., Lestuzzi P., Badoux M.: "In-Plane Lateral Behavior of URM Walls Upgraded with Composites", Proceedings of Response of Structures to Extreme Loading Conference XL2003, Toronto, Canada, 2003
- [25] ElGawady M. A., Lestuzzi P., Badoux M.: "Dynamic In-Plane Tests on URM", Proceedings of Response of Structures to Extreme Loading Conference XL2003, Toronto, Canada, 2003
- [26] Elgawady M. A., Lestuzzi P., Badoux M.: "Dynamic Tests of URM Wall Before And After Upgrading with Composites", Experimental Report. EPFL-ENAC-IS-IMAC, Applied Computing and Mechanics Laboratory. Publication Nr. 1. Lausanne, 2003.
- [27] Frett, E., "Design Philosophy for Strengthening with Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites", Innovative Systems for Seismic Repair and Rehabilitation of Structures – Design and Applications", Proceedings of Second Conference on Seismic Repair and Rehabilitation of Structures (SRRS2), Fullerton, California, USA, 2000
- [28] Fujii, S., Matsuzaki, Y., Nakano, K., Fukuyama, H., "Japanese State of the Art on Seismic Retrofit by Fiber Wrapping for Building Structures: Evaluations", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP-188, 1999
- [29] Fukuyama H., Tumialan J. G., Matsuzaki T., "Outline of the Japanese Guidelines for Seismic Retrofitting of RC Buildings using FRP Materials", Proceedings of FRPRCS-5, Non-metallic reinforcement for Concrete Structures, Cambridge, UK, 2001

- [30] Fukuyama H., "Seismic capacity evaluation and retrofitting of existing reinforced concrete buildings in Japan", Earthquake Hazard and Countermeasures for Existing Fragile Buildings, International Seminar, 2000
- [31] Fyfe, E. R., Gee, D. J., Milligan, P. B., "Composite Materials for Rehabilitation of Civil Structures and Seismic Application" , Materials and Construction, Proceedings of the Fifth ASCE Materials Engineering Congress, Cincinnati, Ohio, USA, 1999
- [32] Ghanem G., Zied M. A., Salama A. E., "Repair and strengthening of masonry assemblages using fiber glass", Proceedings of the Tenth International Brick and Block Masonry Conference, Calgary, 1994
- [33] GangaRao, H. V. S., Vijay, P.V., „Bending Behavior of Concrete Beams Wrapped with Carbon Fabric", Journal of Structural Engineering, vol.124, no. 1, January, 1998
- [34] Gergely, J., Young, D.T., Hooks, J., Alchaar, N., "Composite Retrofit of Unreinforced CMU Walls", Research Report, UNC Charlotte, USA, 2000
- [35] Gergely J., Young D. T., Hooks J., Al-Chaar N., "Composite retrofit of unreinforced CMU Walls", Advancing with Composites 2000, Milano, Italia, 2000
- [36] Gergely J., Young D. T., Hooks J., Al-Chaar N., "Composite retrofit of unreinforced CMU Walls", Innovative Systems for Seismic Repair and Rehabilitation of Structures – Design and Applications", Proceedings of Second Conference on Seismic Repair and Rehabilitation of Structures (SRRS2), Fullerton, California, USA, 2000
- [37] Gergely J., Young D. T., "Masonry wall retrofitted with CFRP materials", Composite in Construction (CCC 2001), International Conference, Porto, Portugal, 2001
- [38] Grace, M. F., Sayed, G. A., Soliman, A. K., Saleh, K. R., "Strengthening Reinforced Concrete Beams Using Fiber Reinforced Polymer (FRP) Laminates", ACI Structural Journal, V. 96, no. 5, September-October, 1999
- [39] Gutowski, T., „Advanced Composites Manufacturing", Ed. John Wiley & Sons Inc., 1997
- [40] Hagio, H., Katsumata, H., Kimura, K., "The Beam Retrofitted by Carbon Fiber - Experiment and Design", 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000
- [41] Halliwell, S. M., "Polimer Composites in Contructions", BRE, 2000
- [42] Haroun M. A., Mosallam A. S., Allam K. H., "In-plane shear behavior of masonry walls strengthened by FRP laminates", The Second International Workshop on Structural Composites for Infrastructure Applications, Cairo, Egypt, 2003
- [43] Hollaway, L.C., Leeming, M.B. , "Strengthening of Reinforced Concrete Structures – Using externally bonded FRP composites in structural and civil engineering", Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 1999
- [44] Hollaway, L., "Design Concepts for Composite Plate Bonding and Column Confinement", Innovative Systems for Seismic Repair and Rehabilitation of Structures – Design and Applications", Proceedings of Second Conference on Seismic Repair and Rehabilitation of Structures (SRRS2), Fullerton, California, USA, 2000
- [45] Horeczko, B. N., "A Crucial Link Between Building Codes and Seismic Strengthening Technologies", Innovative Systems for Seismic Repair and Rehabilitation of Structures – Design and Applications", Proceedings of

- Second Conference on Seismic Repair and Rehabilitation of Structures (SRRS2), Fullerton, California, USA, 2000
- [46] Hyer M., "Stress Analysis of Fiber-Reinforce Composite Materials", McGraw-Hill, 1998
- [47] Iso, M., Matsuzaki, Y., Sonobe, Y., Nakamura, H. & Watanabe, M. Experimental study on reinforced concrete columns having wing walls retrofitted with continuous fiber sheets. CD -ROM Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 2000, Paper No 1865.
- [48] Ianca, S. "Contribuții la studiul ductilității diafragmelor din beton armat, pentru clădiri", Teza de Doctorat, Timișoara, 1987
- [49] Jai J. C., Kiss R. M., Kollár L. P., Krawinkler H., Springer G. S., "The Use Of Composites In Seismic Retrofitting Of Masonry Walls", 12th International Conference in Composite Materials (ICCM – 12). Paris, France, 1999
- [50] Johnson A. C., " Monotonic And Cyclic Performance Of Long Shear Walls With Openings", MSc Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 1997
- [51] Kanakubo T., Aridome Y., Fujita N., Matsui M., "Development of anchorage system for CFRP sheet in strengthening of reinforced concrete structures" CD - ROM Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 2000, paper No 1831
- [52] Karbhari V. M., „Use of Composite Materials in Civil Infrastructure in Japan”, WTEC Mongraph, 1998
- [53] Karbhari V. M., Seible F., "Design consideration for the use of fiber reinforced polymer composites in the rehabilitation of concrete structures", NIST Workshop on standard development for the use of fiber reinforced polymers for rehabilitation of concrete and masonry structures, Tucson, Arizona, 1998
- [54] Katsumata, H., Kobayashi, K., Morita, S., Matsuzaki, Y., "Japanese State of the Art on Seismic Retrofit by Fiber Wrapping for Building Structures: Technologies and Research and Development Activities", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP-188, 1999
- [55] Keller Th., "Use of Fibre Reinforced Polymers in Bridge Construction", Structural Engineering Documents 7, IABSE, 2003
- [56] Khalifa, A., Belarbi, A., Nanni, A., "Shear Performance of RC Members Strengthened with Externally Bonded FRP Wraps", 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000
- [57] Khalifa, A., Nanni, A., "Improving Shear Capacity of Existing RC T-Section Beams Using CFRP Composites", Cement and Concrete Composites, Vol. 22, No.2, July, 2000
- [58] Khalifa, A., Gold W. J., Nanni A.,, Aziz M.I, "Contribution of Externally Bonded FRP to Shear Capacity of Flexural Members" ASCE-Journal of Composites for Construction, Vol. 2, No.4, Nov. 1998, pp. 195- 203
- [59] Khalifa, A. and A. Nanni, "Rehabilitation of Rectangular Simply Supported RC Beams with Shear Deficiencies Using CFRP Composites," Construction and Building Materials, April 1999
- [60] Khalifa, A., T. Alkhrdaji, A. Nanni, and S. Lansburg, "Anchorage of Surface Mounted FRP Reinforcement," Concrete International: Design and Construction, Vol. 21, No.10, Oct. 1999, pp. 49-54.

- [61] Khalifa, A., Tumialan, G., Nanni, A., Belarbi, A., "Shear Strengthening of Continues Reinforced Concrete Beams Using Externally Bonded Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP-188, 1999
- [62] Laursen P. T., Seible F., Hegemier G. A., Innamorato D., "Seismic retrofit and repair of masonry walls with carbon overlays", Proceedings of the Second International RILEM Symposium (FRPRCS - 2), Ghent, Belgium, 1995
- [63] Lombard J., Lau D., Humar J., Foo S., Cheung M., "Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls", CD - ROM Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 2000, paper No 2032.
- [64] Marshall O. S., Sweeney S. C., Trovillion J. C., "Seismic rehabilitation on unreinforced masonry walls", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS - 4), ACI SP-188, 1999
- [65] Matsuzaki, Y., Nakano, K., Fujii, S., Fukuyama, H., "Japanese State of the Art on Seismic Retrofit by Fiber Wrapping for Building Structures: Research", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP-188, 1999
- [66] Mayo, R., Nanni, A., Gold, W., Barker, M., "Strengthening of Bridge G270 with Externally Bonded Carbon Fiber Reinforced Polymer Reinforcement", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP-188, 1999
- [67] McMullin P. W., Pantelides C. P., Reaveley L. D., "CFRP composite connector for concrete Members", Journal of Composites for Construction, February, 2003
- [68] Meier, H., Bleibler, A., "The Latest R&D in Structural Strengthening with Bonded CFRP Plates", Structural Faults & Repair, London, 1999
- [69] Mosallam, A. S., "Seismic Repair and Upgrade of Structural Capacity of Reinforced Concrete Conections: Another Opportunity for polymer Composites", International Composites Expo '99", Proceedings, Cincinnati, Ohio, USA, 1999
- [70] Mosallam, A. S., "Application of Composites in Repair Reinforced Concrete Subassemblies", 12th International Conference on Composite Materials, Proceedings, Paris, France, 1999
- [71] Moșoarcă M., „Contribuții la calculul și alcătuirea pereților structurali din baton armat”, Teză de doctorat, UPT, 2004
- [72] Mullins G., Hartley A., Engerbetson D., Sen R., "Settlement repair of lightly reinforced concrete block walls using CFRP", Innovative Systems for Seismic Repair and Rehabilitation of Structures – Design and Applications", Proceedings of Second Conference on Seismic Repair and Rehabilitation of Structures (SRRS2), Fullerton, California, USA, 2000
- [73] Nagy-György, T., Stoian, V. , "Elemente din beton consolidate cu compozite – Exemple de calcul" , Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2001
- [74] Nagy-György, T., "Design of Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beam with Composites", Conferința de construcții – EPKO 2001, Miercurea-Ciuc, Romania, 2001(lb. maghiară)
- [75] Stoian V., Nagy-György T., Dan D., Gergely J., Daescu C., "Materiale compozite pentru construcții", Ed. Politehnica, Timișoara, 2004

- [76] Paterson J., Mitchell D., " Seismic retrofit of shear walls with headed bars and carbon fiber wrap", Journal of Structural Engineering, may, 2003
- [77] Paulay, T.; Priestley, M.J.N. (1992): Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley&Sons Inc., New York
- [78] Paulay T.; Bachmann H.; Moser ,K.(1997) : Proiectarea structurilor de beton armat la acțiuni seismice, Editura Tehnică, 1997
- [79] Priestley M. J. N., Seible F., "Design of seismic retrofit measures for concrete and masonry structures", Construction and Building Materials, vol. 9, nr. 6, 1995
- [80] Prota A., Parretti R., Nanni A., "Upgrade of RC Silos Using Near Surface Mounted FRP Composites", [A1] Blue Circle Cement Silo Repair and Upgrade, ICRI Awards 2000
- [81] Reinhorn A. M., Madan A., "Evaluation of TYFO-W fiber wrap system for in-plane strengthening of masonry walls", Report, State University of New York at Buffalo, 1995
- [82] Roko K., Boothy T. E., Bakis C. E., "Failure modes of sheet bonded fiber reinforced polymer applied to brick masonry", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS - 4), ACI SP-188, 1999
- [83] Rostasy, F. , State-of-the-Art Report – FRP Materials, FIP Report, Draft, Unpublished, 1996
- [84] Rostasy, F. S., Neubauer, U., "Bond Behaviour of CFRP Laminates for the Strengthening of Concrete Members", Composite Construction – Conventional and Innovative, International Conference, Innsbruck, Austria, 1997
- [85] Schwegler G., Kelterborn P., "Earthquake resistance of masonry structures strengthened with fiber composites", Proceedings of Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Elsevier Science, 1996
- [86] Schwegler, G., "CarboDur Laminates – Design Procedure", Handout, Zurich, Switzerland, 1997
- [87] Schwegler G., "Earthquake resistance of masonry Structures strengthened with CFRP-sheets", Composite Construction – Conventional and Innovative, International Conference, Innsbruck, Austria, 1997
- [88] Secula S., "Contribuții la alcătuirea și calculul structurilor cu diafragme din zidărie", Teză de doctorat, UPT, Timișoara, 2003
- [89] Shimomura, H., Mutsuyoshi, H., Wu, Z., Kobayashi, A., Ishibashi, T., "Verification of Safety and Serviceability of Concrete Structures Retrofitted with Externally Bonded Continuous Fiber Materials", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP-188, 1999
- [90] Steiner, W., "Strengthening of Structures with Carbon Fiber Laminates", Composite Construction – Conventional and Innovative, International Conference, Innsbruck, Austria, 1997
- [91] Stephen, R. S., "Introduction to design and analysis with advanced composite materials", Prentice-Hall, 1997
- [92] Stoian V., Nagy-György T., Dan D., Gergely J., „Retrofitting the shear capacity of the masonry walls using CFRP composite overlays”, The SE 40EE International Conference in Earthquake Engineering, Skopje, Macedonia, 2003
- [93] Stoian V., Nagy-György T., „Expertiză Tehnică și Proiect Tehnic de consolidare la Tipografia Arhidiecezană Timișoara”, Raport de expertiză, 2003

- [94] Stoian V., Nagy-György T., „Expertiză și proiect tehnic de consolidare Baza de producție Divane Baia Mare”, Raport de expertiză, 2003
- [95] Stoian, V., Friedrich, R., "BIOGRAF – Program pentru calculul biografic neliniar al elementelor compuse oțel beton în stare plană de tensiuni, UPT, Departamentul CCIA, Timișoara 1992
- [96] Sugiyama, T. et al., Experimental study on the performance of the RC frame infilled cast-in-place non- structural RC walls retrofitted by using carbon fiber sheets, CD - ROM Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 2000, paper No 2153.
- [97] Tumialan G., H. Fukuyama, and A. Nanni, "Overview of the Japanese Guidelines for Seismic Retrofitting of RC Columns Using FRP Materials," Structures 2001, Washington DC, May 21-23, 2001
- [98] Tumialan G., Micelli F., Nanni A., "Strengthening of Masonry Structures with FRP Composites", Structures 2001, Washington DC, 2001.
- [99] Tumialan, G., P.C. Huang, A. Nanni, and P. Silva, "Strengthening of Masonry Walls with Structural Repointing," Non-Metallic Reinforcement for Concrete Structures - FRPRCS-5, Cambridge, July 16-18, 2001.
- [100] Tumialan J. G., Morbin A., Micelli F., Nanni A., "Flexural Strengthening of URM Walls with FRP Laminates," Third International Conference on Composites in Infrastructure (ICCI 2002), San Francisco, CA, 2002
- [101] Triantafillou T. C., "Innovative strengthening of masonry monuments with composites", Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Quebec, 1996
- [102] Triantafillou T. C., "Behaviour of masonry structures strengthened with composites", Composite Construction – Conventional and Innovative, International Conference, Innsbruck, Austria, 1997
- [103] Triantafillou T. C., "Composites: a new possibility for the shear strengthening of concrete, masonry and wood", Elsevier Science Ltd., Composites Science and Technology 58, 1998
- [104] Triantafillou, T.C., "Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites", ACI Structural Journal, V.95, No. 2, March–April, 1998
- [105] Triantafillou, T.C., Antonopoulos, C.P., "Design of Concrete Members Strengthened in Shear with Fiber Reinforced Polymer Materials", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP-188, 1999
- [106] Meier U., "The Development of Composites and its Utilisation in Switzerland", Proceedings ACIC 2002
- [107] Valluzzi M. R., Tinazzi D., Modena C., "Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates", Elsevier, Construction and Building Materials 16, 2002
- [108] Winistoerfer A., Meier U., " Reliability of Advanced Carbon Fiber Composite Straps", Safety, Risk, Reliability - Trends in Engineering, International Conference, Malta, 2001
- [109] Yang X., Nanni A., Chen G., "Effect of Corner Radius on the Performance of Externally Bonded FRP Reinforcement", Proceedings of FRPRCS-5, Non-metallic reinforcement for Concrete Structures, Cambridge, UK, 2001

2. Norme, Ghiduri, Recomandări

- [N1] "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", ACI 440.2R – 02
- [N2] IBCO ES "Acceptance Criteria for Concrete and Reinforced and Unreinforced Masonry Strengthening Using Fiber Reinforced Polymer (FRP), Composite Systems", AC125, 2001
- [N3] State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, ACI 440R-96
- [N4] Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318
- [N5] Technical Report on Continuous Fiber Reinforced Concrete, JCI TC 952, 1998
- [N6] Guide to the Structural Use of the Adhesives, Institution of Structural Engineers, 1999
- [N7] Technical Report in the Design and Use of Externally Bonded FRP Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, fib TG 9.3, 2001
- [N8] The Innovative Bridge Research & Construction Program (IBRC) – Report, 2001
- [N9] Interim Criteria for concrete and reinforced and unreinforced masonry strengthening using fiber-reinforced polymer (FRP) composite systems, AC125, ICC – ES, 2003
- [N10] EUROCOD 8 – Design of structures for earthquake resistance
- [N11] Normativ P85/96 - Cod pentru proiectarea construcțiilor cu pereți structurali din beton armat
- [N12] STAS 10107/0-90 - Calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton, beton armat și beton precomprimat
- [N13] P100/1992 – Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social – culturale, agrozootehnice și industriale – indicativ P100-92

3. Prospecte, Prezentări, Îndrumătoare

- [P1] Shear strengthening with Sika CarboDur Composite Strengthening Systems – Solutions with Sika Systems, Draft, 2000
- [P2] Technology and Concepts for Sika CarboDur Structural Strengthening Systems, with Product Data Sheets
- [P3] Case Studies - Strengthening of Structures with Sika CarboDur Structural Strengthening Systems
- [P4] Sika CarboDur Composite Strengthening System, Sika Powerpoint presentation, 1998-2002
- [P5] Sika CarboDur Composite Strengthening System - Installation, Sika Powerpoint presentation, 1998-2002
- [P6] Sika Wrap FRP Composite Fabrics - Installation, Sika Powerpoint presentation, 1998-2002
- [P7] Sika CarboDur FRP Composites for repair and strengthening of structures, Design Manual, 2003
- [P8] Tyfo System Design – Computer Program for the Design of Concrete and Masonry Strengthened with the Tyfo Fibrwrap System
- [P9] Fyfe Co - Fibrwrap Construction – Tyfo System – Product Data Sheets and Case Studies
- [P10] MBrace - Composite Strengthening System, Master Builder
- [P11] Design Guide Line for S&P FRP Systems, 2002

- [P12] Xxsys Technologies Inc. – Composite Jacketing with Robo-Wrapper – Product Data Sheets and Case Studies
- [P13] Edge Structural Composites – FiberBond - Product Data Sheets and Case Studies
- [P14] Replark – Product Data Sheets and Case Studies
- [P15] DuraSpan Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bridge Deck – Martin Marietta Composites, 2001
- [P16] „Documentare privind sistemul de reglementări tehnice în țările Europene referitoare la soluțiile de consolidare a structurilor din beton armat afectate de cutremure, cu fibre de carbon”, INCERC București, 2000
- [P17] MDA – Product Selection Guide: FRP Composite Products for Bridge Applications, 2000
- [P18] MIL 17 - Composite Materials Handbook, 1997
- [P19] Sika StressHead - Prestressed CarboDur CFRP Plate System, System Information, Zürich, April 2002
- [P20] Prestressing with Sika CarboDur CFRP plate system, Sika Powerpoint presentation, 2002
- [P21] AXIS V.M. 5.0 – Ghid de utilizare – InterCad Ltd.
- [P22] Biograf – Manual de utilizare

4. Acorduri

- [A1] Acord Tehnic 002-01/079-1999 – Sistem de consolidare a structurilor Sika CarboDur
- [A2] “Verstärkungen von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen durch schubfest aufgeklebte Kohlefaserlaminat Replark 30”, Autorizație generală de eligibilitate, nr. Z-36.12-32, DIB, 2000 (lb. germană)

5. Paginae de web

- | | |
|--------------------------------------|---|
| [W1] ConFibreCrete | http://www.shef.ac.uk/~tmrnet/ |
| [W2] Creative Pultrusions, Inc | http://www.pultrude.com/ |
| [W3] Edge Structural Composites | http://www.edgest.com/index.html |
| [W4] FaberMaunsell | http://www.fabermaunsell.com/ |
| [W5] Fiberline Composites | http://www.fiberline.com |
| [W6] Fibrwrap Construction | http://www.fibrwrapconstruction.com/ |
| [W7] fib | http://fib.epfl.ch/ |
| [W8] Fyfe Co. | http://www.fyfeco.com/ |
| [W9] Glasforms, Inc | http://www.glasforms.com |
| [W10] Hardcore Composites | http://www.hardcorecomposites.com/ |
| [W11] Hexcel | http://www.hexcel.com/ |
| [W12] ISIS Canada | http://www.isiscanada.com/highres.htm |
| [W13] Kajima Co. | http://www.kajima.co.jp/welcome.html |
| [W14] Kansas Structural Composites | http://www.ksci.com/ |
| [W15] Marshall Industries Composites | http://www.fiberglass.com/ |
| [W16] Martin Marietta Composites | http://www.martinmarietta.com/ |
| [W17] Master Builders | http://www.masterbuilders.com/ |
| [W18] S&P | http://www.frp.at/index.htm |
| [W19] Sika | http://www.sika.com/ |
| [W20] StressHead | http://www.stresshead.ch/ |

-
- | | |
|-------------------------------|---|
| [W21] Strongwell | http://www.strongwell.com |
| [W22] Tokyo Rope | http://www.tokyorope.co.jp/english/ |
| [W23] Watson Bowman Acme | http://www.wbacorp.com/ |
| [W24] XXsys Technologies | http://www.xxsys.com/ |
| [W25] AKZO | http://www.akzonobel.com |
| [W26] Teijin Co. | http://www.teijin.co.jp/ |
| [W27] Sumimoto Construction | www.sumiken.co.jp/ |
| [W28] Shinko Wire Co. | www.shinko-wire.co.jp |
| [W29] Mitsubishi Chemical Co. | www.mitsubishichemical.com |
| [W30] Nippon Steel Corp | www.nsc.co.jp/ |
| [W31] Linear Composites | http://www.linearcomposites.co.uk/ |
| [W32] Shimizu Corp. | http://www.shimz.co.jp |
| [W33] Pultrall | www.pultrall.com |
| [W34] 3TEX | http://www.3tex.com/ |

ANEXA 1

A1.1. Detalii de alcătuire a pereților experimentali

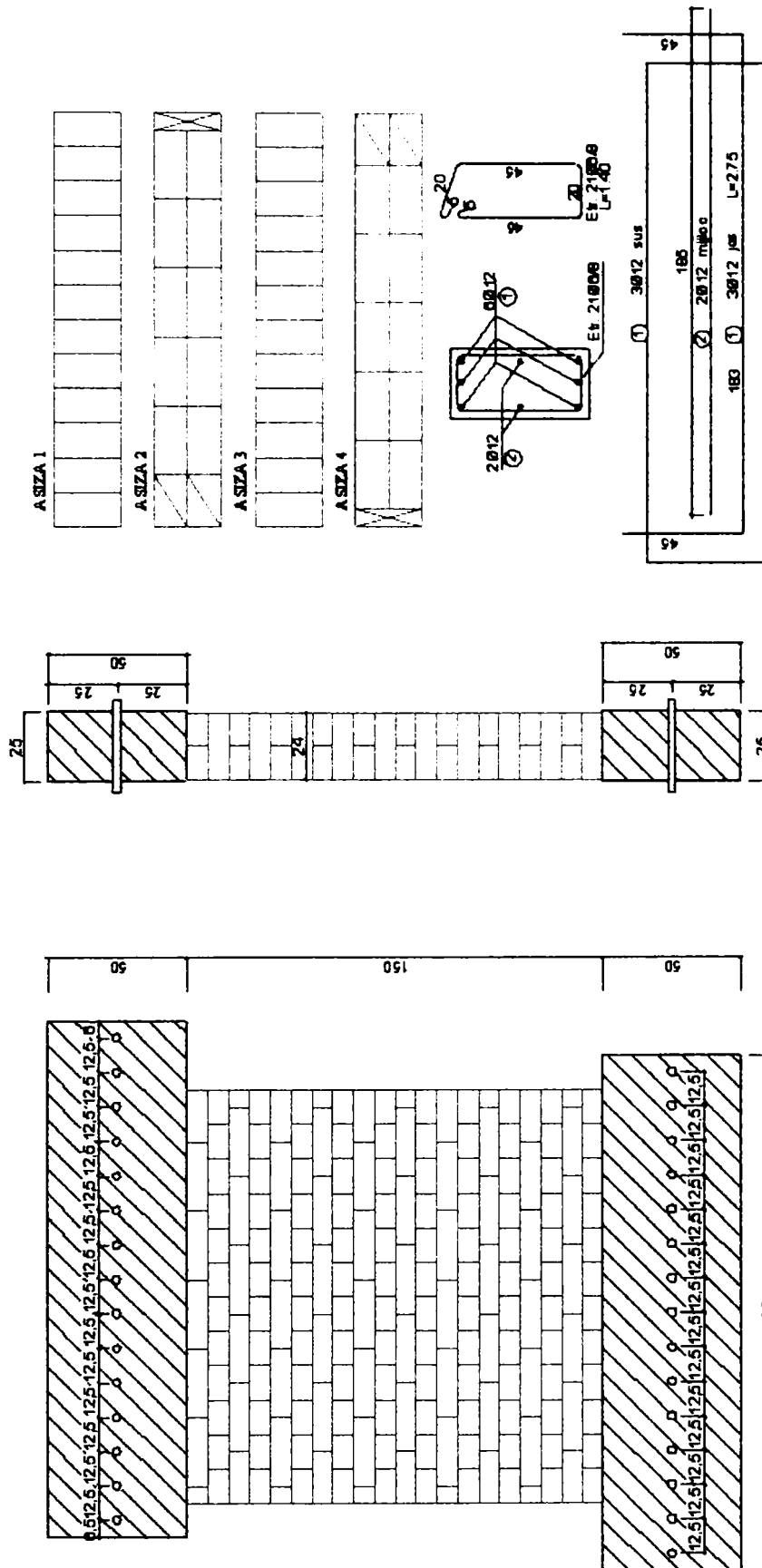


Figura A1 – Alcătuirea pereților

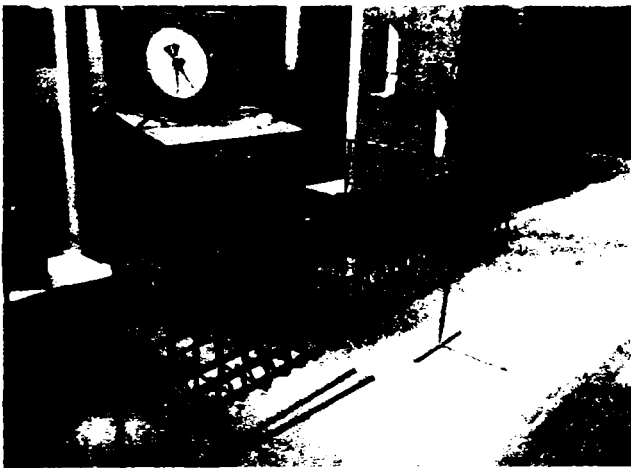
A1.2. Fazele pregătirii pereților



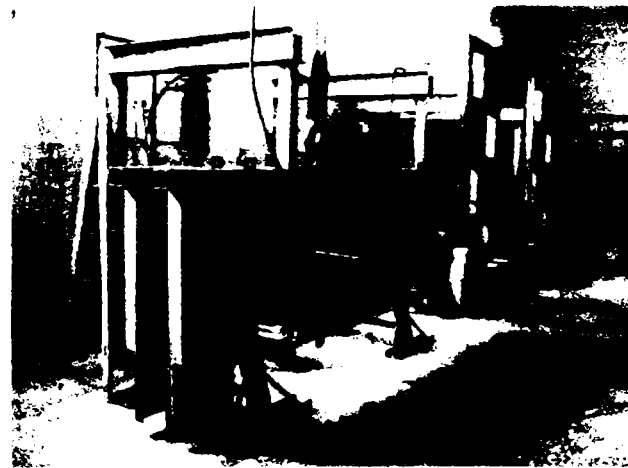
Zidirea



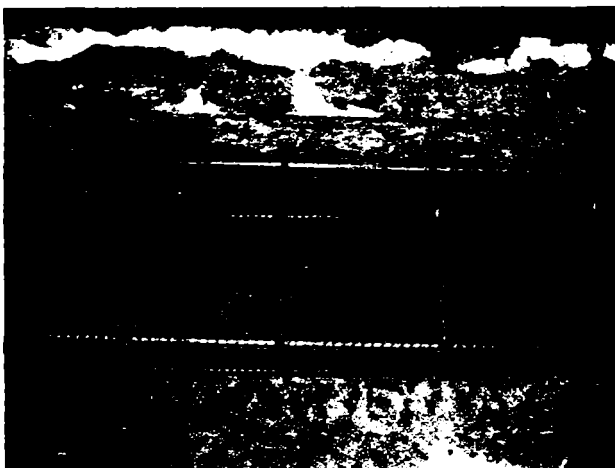
Zidul executat



Realizarea carcasei de armătură



Montarea bulonilor de fixare



Turnarea betonului între profile



Vibrarea betonului

Figura A2 – Fazele executării pereților experimentali

A1.3. Rețeta de mortar și de beton

Rețetă mortar M100 utilizată la toți pereții

Ciment [kg/m ³]	Var [kg/m ³]	Nisip [kg/m ³]	Apă [l/m ³]
275	37.2	1600	360

Rețetă beton (C16/20) utilizată pentru fundație și centură

Ciment [kg/m ³]	Apă [l/m ³]	Agregate [l/m ³]	0 ÷ 3 → 35% 3 ÷ 7 → 20% 7 ÷ 16 → 45% } 55%
435	203	1704	

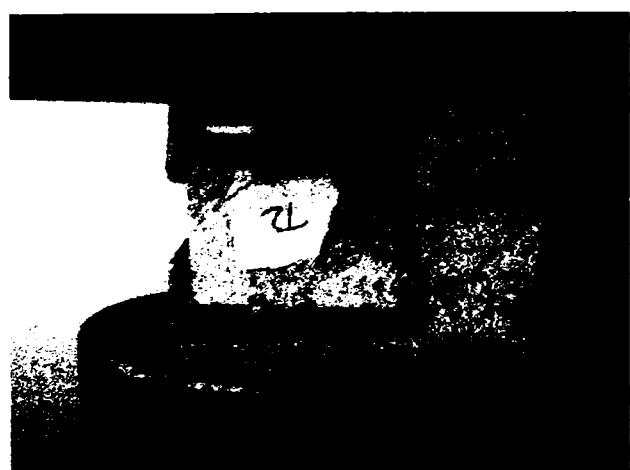
A1.4. Încercarea probelor de mortar



Încercarea la încovoiere a prismelor
40 x 40 x 160 mm



Încercarea la compresiune a jumătății lor de
prisme



Ruperea probei



Prismele după încercare

Figura A3 – Încercări pe prisme de mortar

A1.5. Caracteristicile materialelor componente utilizate la alcătuirea pereților

Specimenul	UM1 RM1	RM2	UM2 RM3	UM3 RM4	UM4 RM5
Rezistența mortarului [N/mm ²]	16,9	13,4	13,1	14,9	13,1
Rezistența medie a cărămizii [N/mm ²]	10,6	10,6	9,5	9,5	9,5
Absorbția de apă [%]	16				

A1.6. Proprietățile materialelor utilizate la pregătirea și consolidarea elementelor

SikaWrap Hex 230C	
Tipul fibrei	Fibră de carbon cu înaltă rezistență
Orientarea fibrei	0° (unidirecțional)
Alcătuire	99% fir de urzeală, 1% fir de bătătură
Greutate specifică	220 g/m ² ±10%
Grosimea de calcul a țesutului	0.12 mm
Rezistența la întindere	4100 N/mm ² (nominal) 3650 N/mm ² (minim)
Modul de elasticitate la întindere	231000 N/mm ² (nominal)
Deformația specifică la rupere	1.7 % (nominal)
Lungime / rolă	≥ 50 m
Lățime	300 / 600 mm
Durata de depozitare	nelimitat

SikaWrap Hex 130C	
Tipul fibrei	Fibră de carbon cu înaltă rezistență
Orientarea fibrei	0° (unidirecțional)
Alcătuire	97% fir de urzeală, 3% fir de bătătură
Greutate specifică	610 g/m ²
Grosimea de calcul a țesutului	0.34 mm
Rezistența la întindere	3900 N/mm ² (nominal) 3700 N/mm ² (minim)
Modul de elasticitate la întindere	231000 N/mm ² (nominal)
Deformația specifică la rupere	1.5 % (nominal)
Lungimea / rolă	≥ 50 m
Lățime	600 mm
Durata de depozitare	nelimitat

SikaWrap Hex 100G	
Tipul fibrei	Fibră de sticlă
Orientarea fibrei	0° (unidirecțional)
Alcătuire	93 % fir de urzeală, 7 % fir de bătătură
Greutate specifică	920 g/m ²
Grosimea de calcul a țesutului	0.36 mm
Densitatea fibrelor de sticlă	2.58 g/cm ³
Rezistența la întindere	2250 N/mm ²
Modul de elasticitate la întindere	72400 N/mm ²
Deformația specifică la rupere	3.7 %
Lungimea / rolă	≥ 50 m
Lățime	600 mm
Durata de depozitare	nelimitat

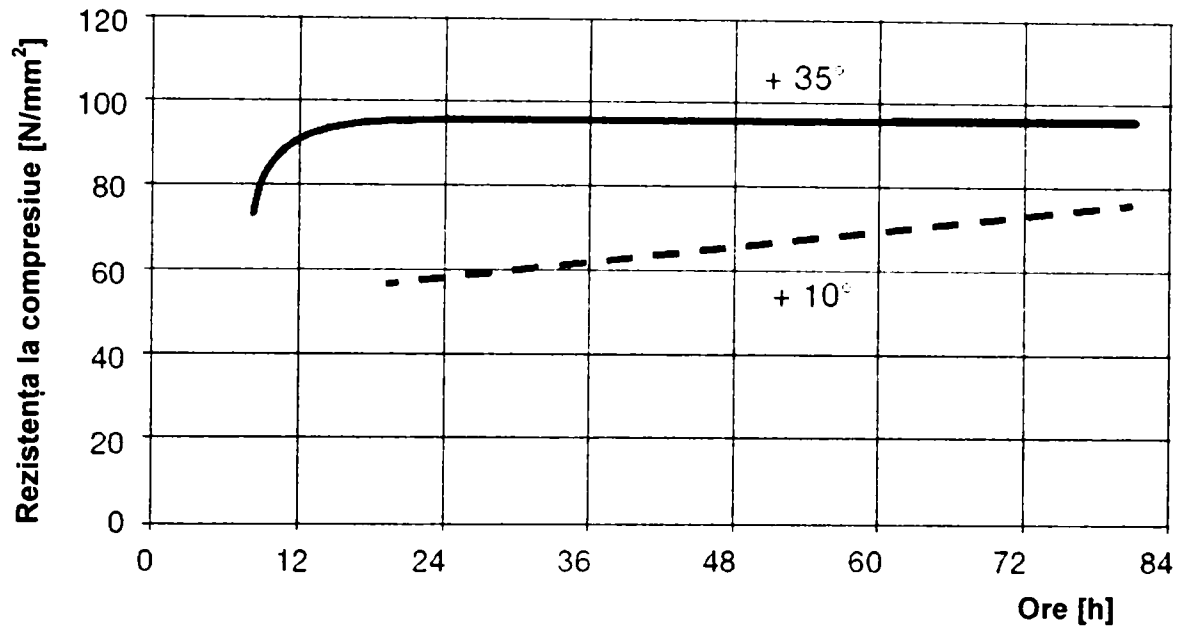
Sikadur 330	
Culoare	Componenta A: albă Componenta B: gri
Raport de amestecare	Componenta A : Componenta B = 4:1 (după greutate)
Consistență	Pastă, nu curge
Condiții și durata de depozitare	Între +5°C și +25°C: 24 luni de la data fabricației în ambalajul original
Temperatura de aplicare	Între +10°C și +35°C
Densitate (+20°C)	1.31 kg/l (componenta A + B amestecată)
Durata de utilizare	90 minute (la +10°C) 30 minute (la +35°C)
Timpul de aplicare	30 minute (la +35°C)
Modul de elasticitate la încovoiere	3800 N/mm ² (după 7 zile la +23°C)
Rezistența la întindere	30 N/mm ² (după 7 zile la +23°C)

Sikadur 306	
Culoare	Transparent, chihlimbar
Raport de amestecare	Componenta A : B = 2.77:1 (după volum) Componenta A : B = 3.28:1 (după greutate)
Condiții și durata de depozitare	Între +5°C și +32°C: 24 luni de la data fabricației în ambalajul original
Temperatura de aplicare	Între -40°C la +60°C
Durata de utilizare	4 h
Temperatura de tranziție sticloasă (T _g)	+79°C după tratament termic de 48h la 60°C +46°C după tratament termic de 120 h la 21°C
Rezistența la întindere	72.4 N/mm ²
Modul de elasticitate la întindere	3200 N/mm ²
Alungire la rupere	4.8%

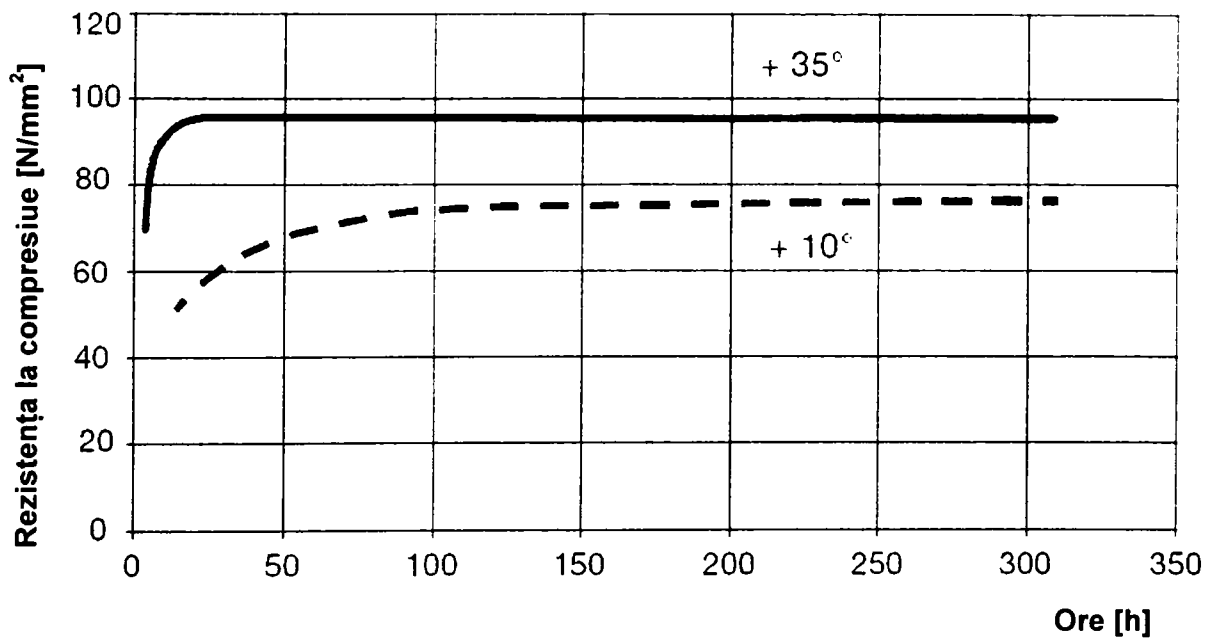
Sikadur 31 (normal/rapid)																			
Culoare	Componenta A: albă Componenta B: gri închis Componenta A+B: gri																		
Raport de amestecare	Componenta A : B = 3:1																		
Condiții și durata de depozitare	24 luni de la data fabricației în ambalajul original, ferit de umezeală, la temperaturi între +5°C și +30°C, în condiții uscate																		
Durata de utilizare	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Normal</th> <th>Rapid</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40°C</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>30°C</td> <td>20 min</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>20°C</td> <td>40 min</td> <td>20 min</td> </tr> <tr> <td>10°C</td> <td>90 min</td> <td>40 min</td> </tr> <tr> <td>5°C</td> <td>-</td> <td>60 min</td> </tr> </tbody> </table>		Normal	Rapid	40°C	-	-	30°C	20 min	-	20°C	40 min	20 min	10°C	90 min	40 min	5°C	-	60 min
	Normal	Rapid																	
40°C	-	-																	
30°C	20 min	-																	
20°C	40 min	20 min																	
10°C	90 min	40 min																	
5°C	-	60 min																	
Densitate (+20°C)	Componenta A: 1.65 kg/l Componenta B: 1.65 kg/l																		
Rezistențe mecanice	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Normal / Rapid (după 10 zile la +10-20°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rezistența la compresiune după 24 ore la +20°C</td> <td>60-70 N/mm² ~ 40-45 N/mm²</td> </tr> <tr> <td>după 24 ore la +30°C</td> <td>~ 35-40 N/mm²</td> </tr> <tr> <td>Rezistența la încovoiere</td> <td>30-40 N/mm²</td> </tr> <tr> <td>Rezistența la întindere</td> <td>15-20 N/mm²</td> </tr> <tr> <td>Rezistența de lipire cu beton</td> <td>3.5 N/mm²</td> </tr> <tr> <td>Rezistența de lipire cu otel</td> <td>~ 15 N/mm²</td> </tr> </tbody> </table>		Normal / Rapid (după 10 zile la +10-20°C)	Rezistența la compresiune după 24 ore la +20°C	60-70 N/mm ² ~ 40-45 N/mm ²	după 24 ore la +30°C	~ 35-40 N/mm ²	Rezistența la încovoiere	30-40 N/mm ²	Rezistența la întindere	15-20 N/mm ²	Rezistența de lipire cu beton	3.5 N/mm ²	Rezistența de lipire cu otel	~ 15 N/mm ²				
	Normal / Rapid (după 10 zile la +10-20°C)																		
Rezistența la compresiune după 24 ore la +20°C	60-70 N/mm ² ~ 40-45 N/mm ²																		
după 24 ore la +30°C	~ 35-40 N/mm ²																		
Rezistența la încovoiere	30-40 N/mm ²																		
Rezistența la întindere	15-20 N/mm ²																		
Rezistența de lipire cu beton	3.5 N/mm ²																		
Rezistența de lipire cu otel	~ 15 N/mm ²																		
Modul de elasticitate	4300 N/mm ²																		
Coeficient de dilatare termică	50 x 10 ⁻⁶ / °C (între -20°C și +40°C)																		

Sikadur 30	
Culoare	Componenta A: albă Componenta B: gri închis Componenta A+B: gri deschis
Raport de amestecare	Componenta A : B = 3:1 (după greutate)
Consistență	Componenta A + B amestecat: cremos, pastă
Condiții și durata de depozitare	12 luni de la data fabricației în ambalajul original, între +5°C la +25°C:
Temperatura de aplicare	între +10°C și +35°C
Densitate	1.65 kg/l (A+B)
Durata de utilizare	120 minute (la +10°C) 40 minute (la +35°C)
Timpul de aplicare	30 minute (la +35°C)
Contractie	0.04 %
Temperatura de tranziție sticloasă	+62°C

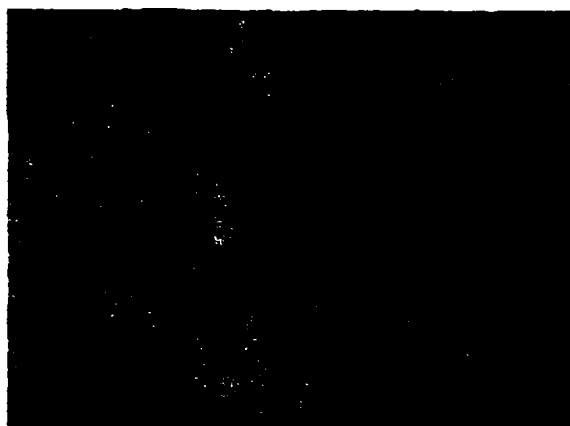
(Tg)	
Modul de elasticitate	12800 N/mm ²
Rezistența de adeziune	Aproximativ 4 N/mm ² (cedează betonul)
Rezistența la tăiere	Aproximativ 15 N/mm ² (cedează betonul)
Coeficient de dilatare termică	$9 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ (între -10°C și $+40^\circ\text{C}$)
Rezistența la compresiune	$> 95 \text{ N/mm}^2$



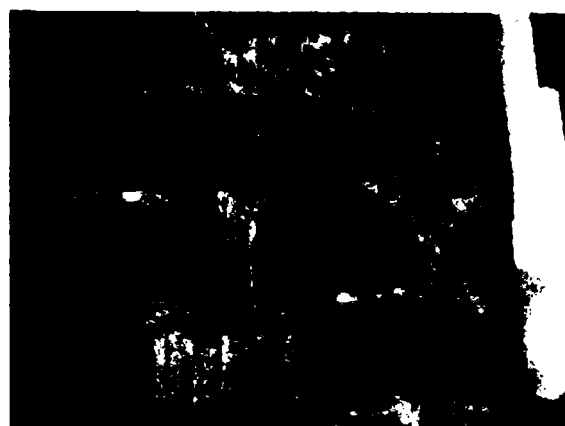
Dezvoltarea rezistenței la compresiune (1)



Dezvoltarea rezistenței la compresiune (1)

A1.7. Detalii legate de încercarea elementelor experimentale UM1 și RM1

Compozitul cu cărămida desprinsă



Compozitul cu cărămida desprinsă în zona fisurii



Compozitul dezlipit și cu cărămida desprinsă



Un colț, în care compozitul a ținut împreună bucățile rupte

Figura A4 - Detalii de rupere a compozitului la peretele RM1

Experimente efectuate pe pereți din zidărie de cărămidă consolidați cu compozite cu țesături pentru mărirea capacității la tăiere

Experimente efectuate	Anul publicării	Nr. pereți încercați	Dimensiunea pereților L x H (cm)	Cărămidă l x h x t (cm)	Materiale de consolidare	Nr. straturi	Modul de așezare	Aplicată pe	Modul de încercare	Concluzii
Laursen și alții	1995	2	183 x 183	blocuri de beton t=15.2	CFRP [0]	2	0	una sau două fețe	Ciclic alternant	- performanțele pereților au fost clar îmbunătățite, modificând comportarea de la un mod cedare la tăiere bruscă și fragilă la un mod cedare ductilă - capacitatea de deformație la cedare a fost aproape dublată - la peretele rupt și apoi consolidat rigiditatea aproape că a fost total restituit
Reinhorn și alții	1995	1	182 x 178	-	GFRP [0]	1	90	două fețe	Ciclic alternant	- consolidare a mărit atât rezistența la tăiere, cât și capacitatea de deformare - rezistența peretelui consolidat a fost cu 120% mai mare față de cea simplă, iar deplasarea a fost cu 150% mai mare față de peretele simplu
Al-Chaar și alții	1998	2	283 x 183	blocuri de beton 20 x 20 x 40	GFRP [0]	1	90	o față	Platformă seismică	- consolidarea pe o față a pereților din zidărie de cărămidă, va crește rezistența seismică ale acestora
Marshall și alții	1999	40	122 x 122	blocuri de beton și cărămidă dublă	GFRP, CFRP [0/90]±45 GFRP [grid]	1 2 3	0 90 ±45 X	o față	compresiune pe diagonală; ciclic alternant dinamic	- compozite au un potențial ridicat și se recomandă la utilizarea de acest gen, dar date concrete privind rezultatele încercării nu sunt prezentate
Mullins și alții	2000	2	610 x 243	blocuri de beton	CFRP [0]	1	0	o față	Static	- s-au înregistrat creșteri de peste 50% în capacitate
Tumialan și alții	2001	2	162 x 162	blocuri de beton 40 x 20 x 15	GFRP [0]	1	0 0/90	o față	Monoton, compresiune pe diagonală	- peretele consolidat pe orizontală a avut o creștere semnificativă de capacitate și a cedat la alunecare în rost orizontal - consolidarea pe verticală nu este eficientă
Gergely și alții	2001	3 3	1219 x 2438 1219 x 610	blocuri de beton t = 19.4	CFRP [0]	2	±45 0 ₂ 0/90	două fețe	Ciclic alternant	- capacitatea portantă la tăiere a crescut cu 1100% pentru raportul L/H=2, iar cu 3100% pentru L/H=0.5
Valluzii și alții	2002	24	51 x 51	argilă arsă 25 x 5.5 x 12	CFRP [0] GFRP [0] PVAFRP [0]	1 2 4 6	0/90 ±45	una sau două fețe	Monoton la compresiune pe diagonală	- la pereții consolidați pe o față degradarea se concentrează pe fața neconsolidată, iar câteodată forța de rupere mai mică decât cea a pereților simpli - mecanismul de cedare identică cu cea a pereților simpli - pereții consolidați pe ambele fețe prezintă o creștere semnificativă în capacitate
Haroun și alții	2003	5	183 x 183	blocuri de beton 40 x 20 x 15	CFRP [0] GFRP [0]	1 2	N/A	una sau două fețe	Ciclic alternant	- s-au înregistrat, față de peretele marlor, creșteri de 20% pentru perete fisurat, consolidat 2 fețe și reîncercat, 130% și 128% pentru pereții consolidați pe ambele fețe, 115% și 118% pentru pereții consolidați pe o față
ElGawady și alții	2003	11	157 x 260 157 x 108	argilă arsă cu goliuri	AFRP [0/90] GFRP [0/90] GFRP [grid] CFRP [lamelă]	1	90 X XX	o față	Platformă seismică	- creșteri de capacitate de 1.4 până la 2.9 ori - consolidarea pe o singură față se comportă bine - Lamaele puse pe diagonală (X sau XX) au avut cele mai puține succese, cedarea în toate cazurile fiind prematură

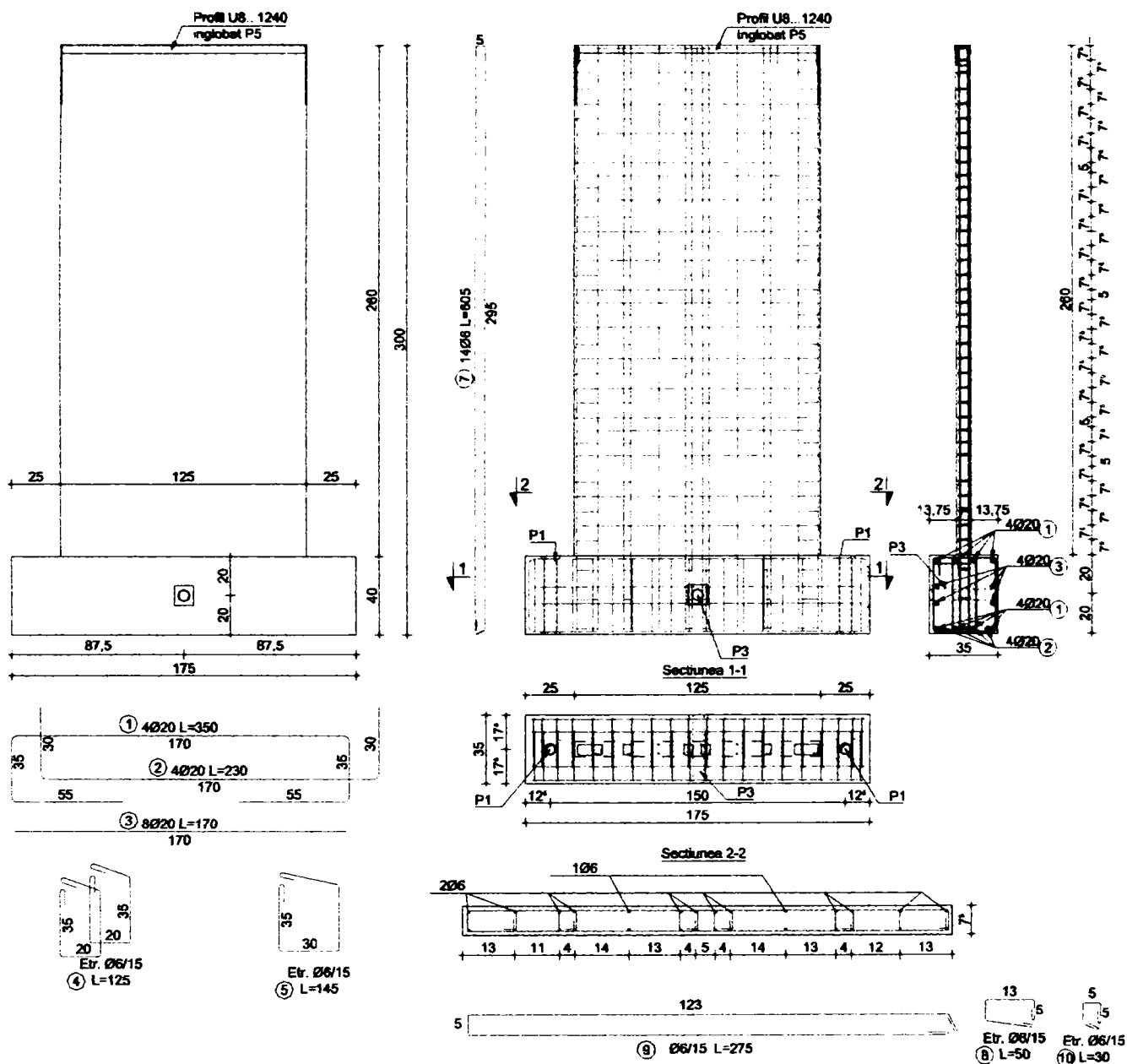
CFRP – compozite polimerice armate cu fibră de carbon // GFRP – compozite polimerice armate cu fibră de sticlă // PVAFRP – compozite polimerice armate cu fibră polivinil-alcool

Metodele (formulele) de calcul utilizate pentru calculul pereților consolidati cu compozite				
Propunerea	Anul publicării	Formule de calcul propuse	Termenii din formulă	Observații
Priestley și Seible	1995	<p>Capacitatea la tăiere a consolidării:</p> $V_o = f_o \cdot t_1 \cdot d$ <p>Cantitatea țesăturii orizontale necesare:</p> $A_{sh} = A_{sh}^{req} \frac{E_s}{E_o}$ <p>Limita inferioară a valorii aportului consolidării la tăiere:</p> $\max V_o = 0.66 \sqrt{f_c'} b_w d$	$f_o = f(E_{frp}, \epsilon_{frp} = 0.004)$ t_1 - grosimea compozitului d - lungimea efectivă a peretelui A_{sh}^{req} - armături orizontale convenționale $E_o = E_{frp}$ - modulul de elasticitate a compozitului E_s - modulul de elasticitate a oțelului f_c' - rezistența nominală a betonului b_w - grosimea peretelui	<p>În recomandările de calcul pentru consolidarea pereților la tăiere compozitul a fost considerat unidirecțional, așezat orizontal, pentru a limita deschiderea fisurilor diagonale, în acest timp permițând dezvoltarea fisurilor orizontale și de încovoiere, astfel mărind ductilitatea și rezistența seismică.</p>
Triantafillou	1998	<p>Contribuția la capacitatea de tăiere a compozitului orizontal:</p> $V_{Rd2} = \frac{0.7}{\gamma_{frp}} \rho_h E_{frp} \epsilon_{frp,e} t$ <p>Unde $\epsilon_{frp,e}$ este dată în funcție de $\rho_h E_{frp}$:</p> <p>Pentru $0 \leq \rho_{frp} E_{frp} \leq 1 \Rightarrow$</p> $\epsilon_{frp} = 0.0119 - 0.0205(\rho_{frp} E_{frp}) + 0.0104(\rho_{frp} E_{frp})^2$ <p>Pentru $\rho_{frp} E_{frp} \geq 1 \Rightarrow$</p> $\epsilon_{frp} = -0.00065(\rho_{frp} E_{frp}) + 0.00245$	γ_{frp} - coeficient de siguranță parțială ρ_h - procentul de armare cu compozit E_{frp} - modulul de elasticitate a compozitului $\epsilon_{frp,e}$ - deformația specifică efectivă a compozitului t - lungimea peretelui t - grosimea peretelui	<p>Presupunerea făcută este, că contribuția consolidării verticale, care procură în principal un efect de dorn, este neglijabil. Aceasta poate fi justificată de flexibilitatea ridicată a compozitelor în combinația cu dezlipirea lor locală în vecinătatea fisurilor de tăiere. Singurul mecanism de rezistență la tăiere rămasă este asociată cu acțiunea compozitului orizontal, care poate fi modelat prin analogia acționării sau a etrierilor, sau a armăturilor compozite de tăiere în grinzele de beton</p>

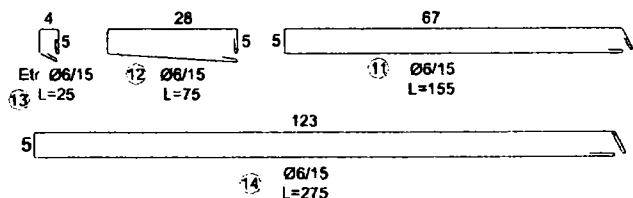
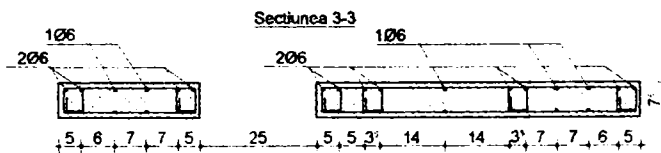
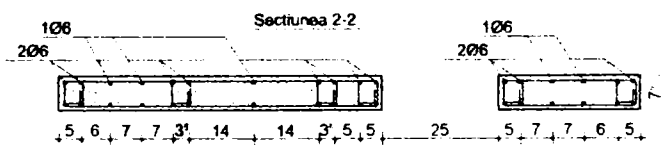
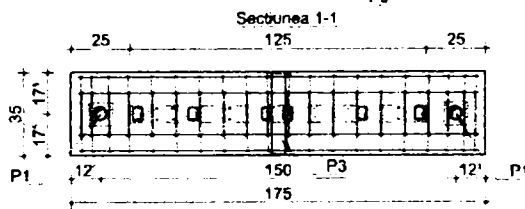
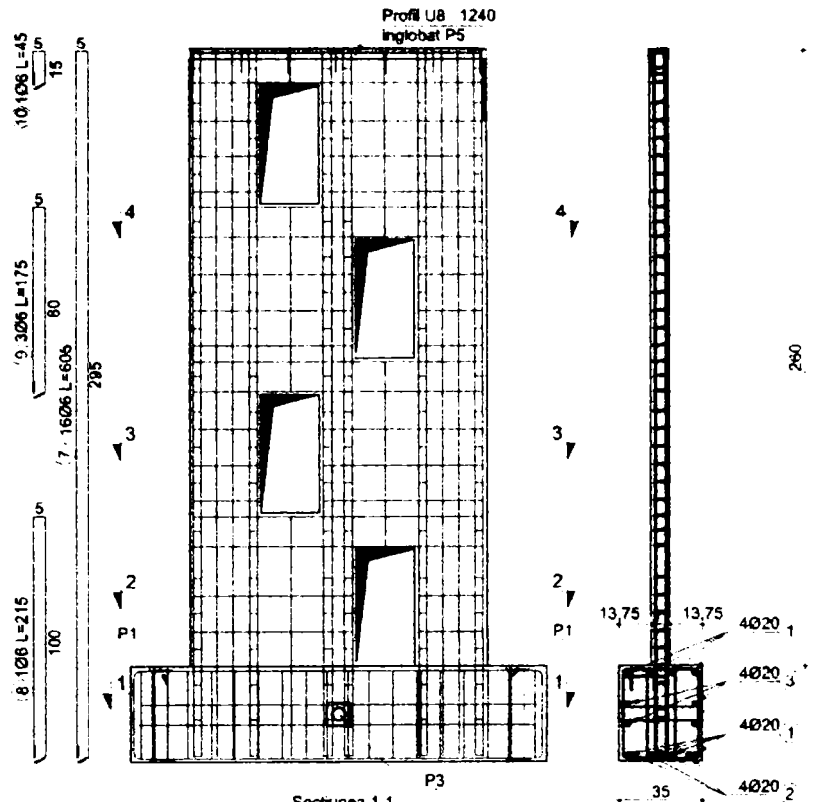
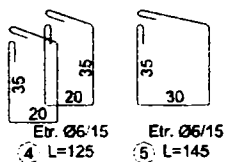
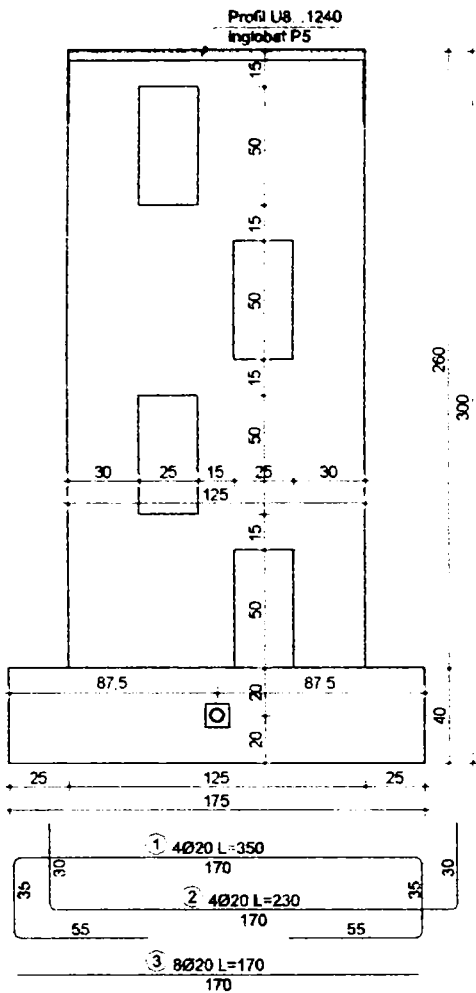
Metodele (formulele) de calcul utilizate pentru calculul pereților consolidați cu compozite				
Propunerea	Anul publicării	Formule de calcul propuse	Termenii din formulă	Observații
Gergely și Young	2001	Contribuția la capacitatea de tăiere a compozitului: $V_f = n_f t_f E_f \varepsilon_f \frac{w_f}{s_f} (\sin^2 \alpha) d_f \varphi$	n_f - numărul de straturi t_f - grosimea stratului de compozit E_f - modulul de elasticitate a compozitului ε_f - deformația specifică a compozitului măsurată sau presupus w_f - lățimea compozitului s_f - spațiul orizontal dintre compozite α - unghiul de orientare a straturilor de fibră d_f - lățimea peretelui (care să nu depășească înălțimea peretelui) φ - un factor de reducere care ia în considerare posibilitatea de aplicare a compozitului pe o singură sau pe două fețe	
ICC ES AC125	2003	Sporul de rezistență nominală la tăiere: $V_{sf} = 2 t_f f_f H \sin^2 \theta$ unde tensiunea din fibră $f_f = 0.004 E_f \leq 0.75 f_{uf}$ Dacă peretele este consolidat doar pe o singură față, la un unghi mai mare decât 75° față de axa peretelui și prevăzut cu un ancoraj la capătul peretelui, sporul de rezistență nominală la tăiere se poate da ca: $V_{sf} = 0.75 t_f f_f H \sin^2 \theta$	t_f - grosimea fibrei pe ambele fețe a peretelui f_f - tensiunea din fibră H - lungimea peretelui, paralelă cu forța tăietoare aplicată θ - înclinația fibrelor față de axa elementului E_f - modulul de elasticitate a compozitului f_{uf} - efortul de întindere ultimă din compozit	

ANEXA 2

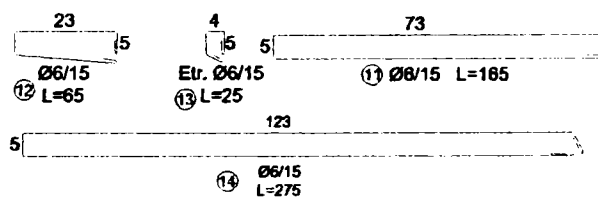
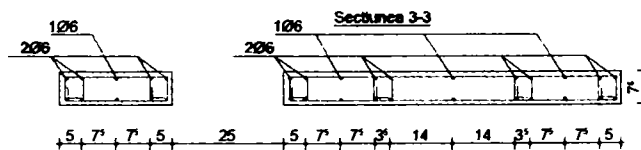
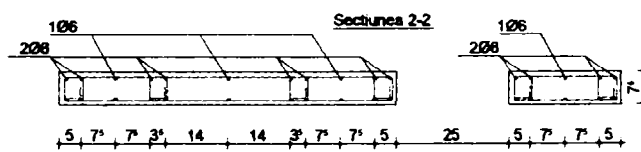
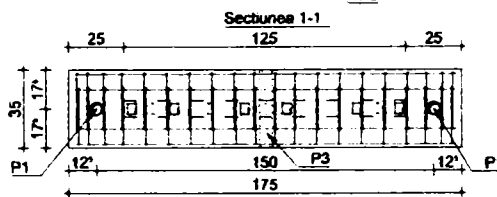
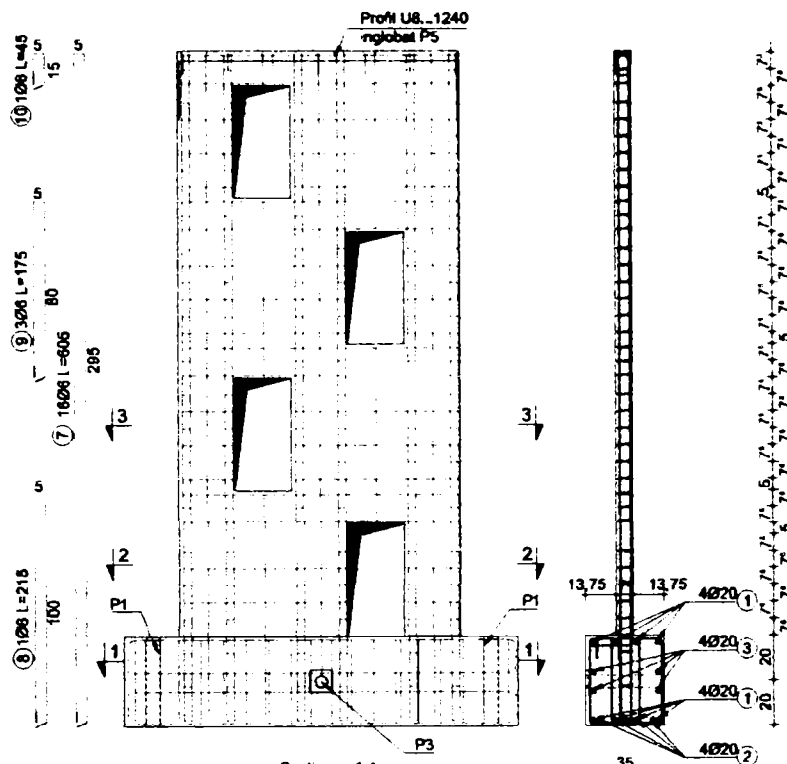
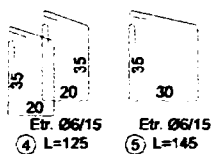
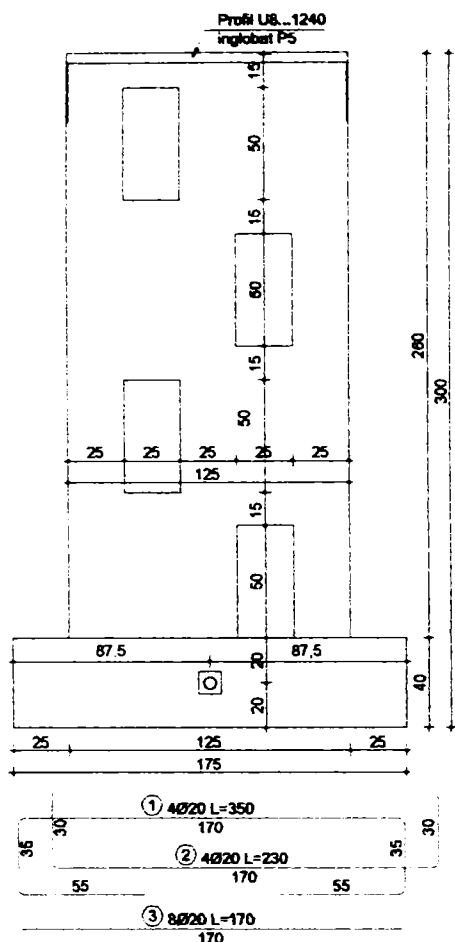
A2.1. Armare perete SW1



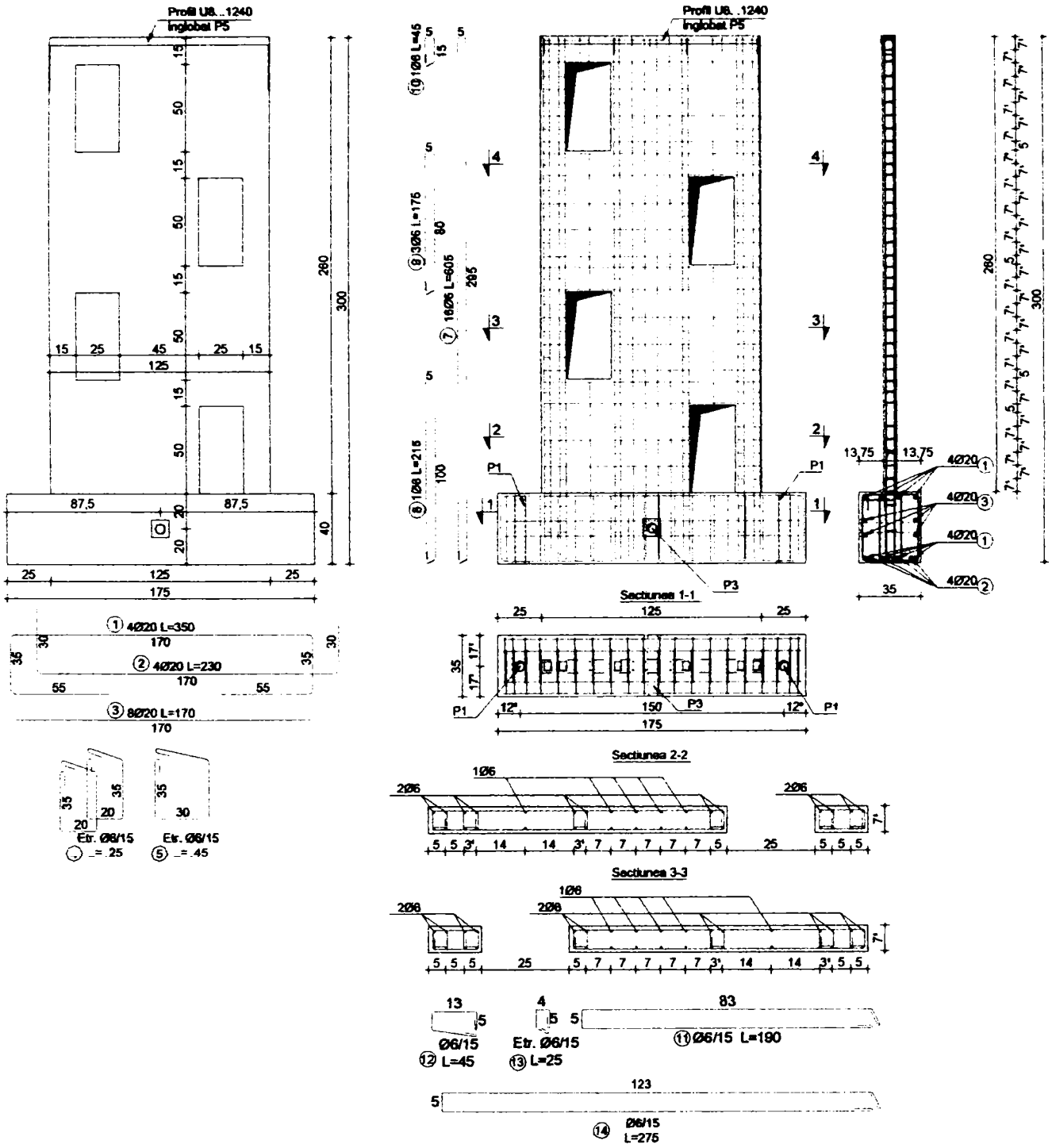
A2.2. Armare perete SW23



A2.3. Armare perete SW45



A2.4. Armare perete SW67



A2.5. Armare perete SW8

