



UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI  
Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole  
Catedra de Construcții Civile, Inginerie Urbană și Tehnologie  
B-dul Lacul Tei nr.124, sector 2, București, România

# **CONTRIBUȚII PRIVIND TEHNOLOGIILE MODERNE DE REABILITARE STRUCTURALĂ A ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT**

**REZUMAT - TEZĂ DE DOCTORAT**

elaborată de  
ing. Cezar CIOCĂNEL

**Conducător științific  
Prof. Univ. Dr. Ing. Mihai VOICULESCU**

---

## Cuprins

### CAPITOL 1

Introducere. Prezentare teză

### CAPITOL 2

Cutremurele, fondul construit din București, România și măsurile de protecție antiseismică

### CAPITOL 3

Cauzele care pot conduce la degradarea construcțiilor și tipurile de avarii la elementele din beton

3.2. Probleme de durabilitate

3.3. Cauze care conduc la apariția deteriorărilor

3.4. Factori de degradare și avarii specifice

### CAPITOL 4

Tehnici și mijloace de investigare a elementelor structurale din beton. Investigarea stării structurilor

4.1. Aspecte generale

4.2. Sisteme de măsurători pentru determinarea caracteristicilor betonului

4.3. Evaluarea rezistenței materialelor în structurile existente

4.4. Investigarea stării structurilor

4.5. Studii de caz

### CAPITOL 5

Utilizarea aditivilor de înaltă performanță pentru realizarea betoanelor utilizate la repararea structurilor clădirilor

5.1. Aditivi pentru betoane

5.2. Elemente privind controlul calității aditivilor

5.3. Utilizarea aditivilor în betoane

5.3.2. Modul de utilizare al aditivilor

5.3.3. Incompatibilitatea aditivilor

5.3.4. Prepararea betoanelor, mortarelor și suspensiilor cu aditivi

5.3.5. Recomandări pentru utilizarea și dozarea aditivilor

5.3.6. Exemple de utilizare a aditivilor în betoane. Tipuri și producători. Recomandări pentru dozare

### CAPITOL 6

Tehnologii pentru repararea și / sau consolidarea elementelor și structurilor din beton armat

6.1. Aspecte generale

6.2. Tehnologia lucrărilor de protecție a elementelor de beton și beton armat

6.2.2. Clasificarea protecțiilor

6.2.3. Tehnologia de realizare a protecțiilor

6.2.4. Controlul, întreținerea și repararea protecțiilor

6.3. Tehnologia lucrărilor de consolidare a elementelor din beton și beton armat

6.3.1. Remedierea fisurilor elementelor de beton și beton armat prin tehnologia lucrărilor de chituire

6.3.2. Remedierea fisurilor elementelor de beton și beton armat prin tehnologia lucrărilor de injectare

6.3.3. Remedierea defectelor de suprafață la elementele de beton și beton armat

6.3.4. Consolidarea elementelor de beton armat prin tehnologia betonării golurilor

6.3.5. Consolidarea elementelor de beton armat prin tehnologia cămășuirilor

6.3.6. Alte tehnologii de consolidare a elementelor din beton armat

6.3.7. Consolidarea elementelor de beton armat prin utilizarea materialelor compozite din fibra de carbon

### CAPITOL 7

Reabilitarea elementelor / structurilor de beton armat prin folosirea materialelor compozite FRP

7.1. Aspecte generale

7.2. Prezentarea programului experimental. Realizarea elementelor experimentale și rezultate experimentale obținute

7.2.1. Consolidarea pe două direcții la plăci prin utilizarea materialelor compozite (FRP)

7.2.2. Repararea grinzilor din beton armat, după cedarea la forța tăietoare prin aplicarea de materiale compozite (FRP)

7.2.3. Armarea stâlpilor din beton armat cu materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP)

7.2.4. Consolidarea cadrelor din beton armat cu materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP)

7.3. Aplicații practice a consolidărilor cu materiale compozite pe bază de fibre de carbon (CFRP)

### Capitol 8

Concluzii. Contribuții personale

Bibliografie selectivă

## CAPITOL I - Introducere

Romania este o țară cu activitate seismică importantă. Se află pe locul 24 dintre cele 80 de țări care au înregistrat victime la seisme, în perioada 1900-1990.

Din acest motiv, se impune necesitatea reabilitării structurale (consolidări) a tuturor imobilelor / clădirilor proiectate și realizate înainte de anul 1977, an care datorită cutremurului devastator a obligat statul roman să impună cerințe superioare în proiectarea clădirilor.

Normele de proiectare mai vechi nu au avut incluse măsuri antiseismice sau au avut specificate nivele reduse ale acțiunii seismice.

Normele recente, pe plan național și internațional, au început să pună accentul pe detaliile de alcătuire și armare a elementelor structurale în scopul comportării ductile generale, în paralel cu asigurarea cerințelor de rezistență, fapt ce conduce automat la necesitatea reabilitării structurale (consolidări) a acestora pe elemente dar și pe ansamblu clădire, pentru clădirile realizate înainte de apariția acestor norme.

Această lucrare abordează un domeniu de cercetare de interes major, de mare actualitate în contextul actual, în care se pune un accent tot mai mare pe protecția mediului înconjurător, economia de resurse materiale și umane prin dezvoltarea și crearea unor noi tehnologii de fabricație și execuție, care să fie folosite atât în cadrul noilor construcții ingineresti cât și la reabilitarea și reconsolidarea structurilor existente.

Teza de doctorat, intitulată "**Contribuții privind tehnologiile moderne de reabilitare structurală a elementelor din beton armat**", este structurată în 8 capitole, cuprinde: 395 pagini, 26 tabele, 21 grafice, 179 figuri, o schemă logică, încheindu-se cu lista celor 232 titluri bibliografice.

Rezumatul lucrării de doctorat păstrează structura acesteia în ceea ce privește numerotarea capitolelor, figurilor, tabelelor, relațiilor de calcul și a referințelor bibliografice.

În **capitolul 1** intitulat "*Introducere. Prezentare teză*" au fost prezentate principalele obiective ale tezei de doctorat, prin descrierea succintă a studiilor / cercetărilor tratate în fiecare capitol ce a urmat.

În **capitolul 2** intitulat "*Cutremurele, fondul construit din București, România și măsurile de protecție antiseismică*" se prezintă:

- un scurt istoric al cutremurelor produse în lume dar și pe teritoriul României și efectele acestuia,
- factori care contribuie la protecția antiseismică,
- fondul construit și aspecte specifice privind protecția antiseismică,
- măsuri de protecție antiseismică și direcții de efort pentru viitor.

În **capitolul 3** intitulat "*Cauzele care pot conduce la degradarea construcțiilor și tipurile de avarii la elementele din beton*" sunt descrise problemele de durabilitate ale construcțiilor, cauzele care conduc la apariția deteriorărilor elementelor de beton și beton armat și sunt enumerați factorii de degradare și avarii specifice întâlnite la elementele structurale din beton.

În **capitolul 4** intitulat "*Tehnici și mijloace de investigare a elementelor structurale din beton. Investigarea stării structurilor*" sunt detaliate cercetări și studii cu aplicabilitate practică. Dintre acestea se enumeră:

- conceptul de calitate cât și organizarea generală a verificărilor calității;
- sistemele de măsurători pentru determinarea caracteristicilor betonului prin metode diferite (nedistructive, semidistructive, distructive) prin care se determină: rezistența la compresiune / întindere a betonului; localizarea și tipurile de defecte din beton, etc.,
- evaluarea rezistenței materialelor în structurile existente (metode de investigare, alegerea tipurilor de metode și a zonelor de investigare, identificarea degradărilor pre-seism),
- metode de investigarea stării structurilor sintetizate sub forma unei scheme logice,
- studii de caz prin care se verifică practic metodele de determinare a caracteristicilor de rezistență pentru betonul ce intră în alcătuirea structurii de rezistență a unui imobil (grinzi, stâlpi, etc.).

În **capitolul 5** intitulat "*Aditivi pentru betoane*" se prezintă aditivii necesari în lucrările de construcții în ceea ce privește realizarea unor structuri noi din beton armat dar și pentru folosirea betonului ca material de consolidare / reabilitare a elementelor structurale din beton și beton armat (aditivi modificatori de priză și întărire a betoanelor, aditivi antigel, aditivi impermeabilizatori, etc.). Se prezintă câțiva furnizorii importanți de aditivi și se dau recomandări privind utilizarea aditivilor în betoane.

În **capitolul 6** intitulat *"Tehnologii pentru repararea și / sau consolidarea elementelor și structurilor din beton armat"* sunt prezentate detaliat tehnologii moderne de consolidare / reabilitare a elementelor structurale din beton folosind materialele clasice dar și materiale moderne și anume materiale compozite pe bază de fibră de carbon CFRP<sup>1</sup>.

În **capitolul 7** intitulat *"Reabilitarea elementelor / structurilor de beton armat prin folosirea materialelor compozite FRP"* sunt descrise cercetări experimentale care probează aportul adus la consolidarea / reabilitarea elementelor sau structurilor de beton armat prin folosirea materialelor compozite (FRP<sup>2</sup>). În încheierea capitolului sunt prezentate două aplicații practice care descriu în detaliu tehnologia de consolidare.

---

<sup>1</sup> **CFRP** este abrevierea pentru materialele compozite cu fibră de carbon (**CFRP** = **C**arbon **F**iber **R**einforced **P**olymer). În normativul românesc, abrevierea este **PAFC** (**P**olimer **A**rmat cu **F**ibră de **C**arbon).

<sup>2</sup> **FRP** este abrevierea internațională pentru materialele compozite armate cu fibră (**FRP** = **F**iber **R**einforced **P**olymer). În normativul românesc, abrevierea este **PAF** (**P**olimer **A**rmat cu **F**ibră).

## CAPITOL 2 - CUTREMURELE, FONDUL CONSTRUIT DIN BUCUREȘTI / ROMÂNIA ȘI MĂSURILE DE PROTECȚIE ANTISEISMICĂ

În perioada 1900-1990 în lume s-au produs cca. 1.100 cutremure cu urmări grave în privința pierderilor de vieți cauzând peste 1.530.000 morți. România se află pe locul 24 dintre cele 80 de țări care au înregistrat victime la seisme.

Pe teritoriul României, în acest secol, dintre cele 109 cutremure cu magnitudine  $M > 5.0$ , înregistrate în teritoriu, 100 de seisme s-au produs în zona Vrancea. În privința cutremurelor puternice, intermediare, unele studii seismologice iau în considerare o relativă ciclicitate de cca. 100 ani, cu trei intervale de timp în care activitatea seismică este mai intensă (anii  $5 \pm$ ;  $35 \pm$ ;  $80 \pm$  din fiecare secol); următorul cutremur puternic ( $M > 7.0$ ), în România, este prognozat statistic de unii specialiști pentru primul deceniu al secolului XXI.

Ca urmare a studiilor, rezultă că teritoriul României este afectat în cazul cutremurelor de Vrancea cu magnitudine  $M > 7.0$  de intensități  $I > VII$  MSK pe mai mult de 50% din suprafață, o zonă dens populată (cca. 60% din populația de cca. 23 milioane, incluzând Bucureștiul, capitala țării cu peste 2 milioane locuitori), cu o suprafață de cca. 100.000 km<sup>2</sup>, caz unic în lume, din punct de vedere al ariei expuse riscului seismic.

Orașul București, propriu-zis, are o suprafață de 227 km<sup>2</sup> și o populație de circa 2.073.900 locuitori, repartizați în 6 sectoare, cu peste 110.000 clădiri, incluzând 866.000 locuințe sau apartamente, dintre care o mare parte sunt situate în clădiri înalte.

Specificul urban al Municipiului București (construcții, rețele și dotări industriale existente) este reprezentat de următoarele caracteristici:

- în perioada 1925-1940 au fost executate în zona centrală câteva sute clădiri înalte (7-12 niveluri) cu schelet din beton armat, fără a fi proiectate să reziste la cutremure; aceste tipuri de clădiri sunt situate pe axele principale ale așezării și în interiorul primului inel de circulație;
- după 1950, în zonele periferice, s-au construit peste 30 de ansambluri (cartiere noi sau sistematizări de-a lungul unor artere principale și centuri interioare), în intersecții au fost amplasate structuri cu 8-18 niveluri, iar în interiorul cartierelor clădiri cu 5-11 niveluri;
- toate structurile de construcții, executate după 1950, au fost proiectate să reziste la cutremur potrivit cunoștințelor existente la data respectivă. Până în 1977 a existat o hartă de microzonare a teritoriului orașului, dar aceasta a fost infirmată de analiza efectelor reale și scoasă din uz;
- construcțiile proiectate antiseismic după 1940-1950 au avut o comportare satisfăcătoare în 1977, dar anumite categorii de structuri au suferit avarii și necesită consolidări;
- specificul vulnerabilității construcțiilor din București este în consecință dominat de lipsa de rezistență antiseismică a unui număr mare de clădiri dinaintea de 1940, în special cele înalte din beton armat, precum și prin unele sensibilități la mișcări seismice de Vrancea ale unor structuri flexibile proiectate între anii 1950-1977. În aceste clădiri înalte locuiește o pondere importantă din populația capitalei;
- privit ca un sistem funcțional, din punct de vedere urban, Municipiul București poate reprezenta caracteristici de vulnerabilitate din cauza concentrării de clădiri înalte vulnerabile construite înainte de 1940 în zona centrală și a efectelor negative care se pot produce prin avarierea unor construcții industriale, rețele de utilități, lucrări inginerești, al căror potențial de a suferi avarii la seism nu a fost cuantificat încă. La acest fapt contribuie și efectele seismelor anterioare (1940, 1977, 1986, 1990, 2004 și 2009) reparațiile și consolidările precedente, în cazul în care s-au efectuat, precum și lucrările de întreținere curente.

### 2.4. Măsuri de protecție antiseismică

2.4.2. Elaborarea și aprobarea de urgență a unei ordonanțe guvernamentale prin care să se dispună trecerea la expertizare și, în caz de nevoie, la intervenții imediate, asupra construcțiilor de interes public deținute de diferitele organe centrale, asupra construcțiilor cu funcțiuni vitale și de urgență în caz de dezastru (unități din rețeaua medico-sanitară, unități de pompieri, construcții din rețeaua de învățământ) și asupra lucrărilor care includ surse de mare risc.

2.4.3. Identificarea de urgență a construcțiilor de locuințe cu risc ridicat de prăbușire în cazul incidenței unui cutremur comparabil cu cele din 1940 și 1977 și intervenții efective la termen de maxim 3-4 ani asupra acestora.

2.4.8. Program de reacție de urgență în condițiile incidenței unui cutremur puternic și anume:

- investigarea construcțiilor afectate,
- stabilirea priorităților de intervenție,
- măsuri de punere în siguranță provizorie, etc.

## CAPITOL 3 - CAUZELE CARE POT CONDUCE LA DEGRADAREA CONSTRUCȚIILOR ȘI TIPURILE DE AVARII LA ELEMENTELE DIN BETON

### 3.1. Aspecte generale

Conform unor date unanim acceptate după un număr mare de teste efectuate în lume și prezentate cu diverse prilejuri, cauzele ce influențează negativ durabilitatea betonului sunt:

- coroziunea armăturilor;
- agresivități chimice (sulfatice, magneziene, carbonice, etc.);
- umezirea alternantă;
- agresivități fizice (temperaturi înalte, îngheț - dezgheț, etc.);
- acțiunea de levigare;
- agresivități mecanice (șocuri, vibrații, încărcări verticale orizontale, etc.);
- calitatea betonului (compoziția betonului, porozitate, fisuri, zone degradate, goluri mari, etc.);
- fluajul;
- cristalizarea sărurilor;
- reacția agregatelor cu cimentul;
- abraziunea.

### 3.2. Probleme de durabilitate

Durabilitatea betonului este influențată de mai mulți factori:

- permeabilitate,
- gelivitate,
- carbonatare,
- coroziunea chimică,
- reacțiile alcali-agregate.

#### 3.2.1. Influența permeabilității asupra durabilității betonului

Factori care influențează permeabilitatea betonului:

- finețea de măcinare a cimentului. Cu cât cimentul este mai fin, cu atât scade permeabilitatea;
- dozajul de ciment: creșterea dozajului de ciment reduce permeabilitatea;
- tipul de ciment: cimenturile cu adaosuri necesită o cantitate mai mare de apă, ce poate mări permeabilitatea;
- finețea agregatului fin (nisip): creșterea fineței nisipului mărește permeabilitatea; se preferă agregate calcaroase;
- tratarea betonului după punerea în lucrare: păstrarea cât mai mult timp a betonului proaspăt în mediu umed, scade permeabilitatea;
- utilizarea aditivilor în compozițiile betoanelor: utilizați corect, reduc considerabil permeabilitatea;
- existența unor solicitări de întindere și a unor eforturi de compresiune peste limita de fisurare: cresc permeabilitatea.

#### 3.2.2. Influența gelivității asupra durabilității betonului

În timpul exploatării anumitor construcții, pe perioadele de iarnă, betonul din elementele de construcții este supus, în general, la cicluri alternante de îngheț-dezgheț. Dacă masa de beton întărit, expusă acestui fenomen se găsește în stare umedă și saturată cu apă, deteriorarea se va finaliza printr-o distrugere rapidă a betonului.

Factorii cei mai importanți în îmbunătățirea comportării betonului la îngheț-dezgheț sunt:

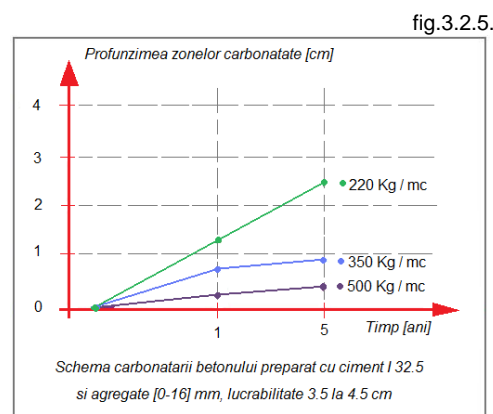
- tratarea betonului după punerea în lucrare, prin menținerea umidității;
- menținerea raportului A/C în limitele admise,
- existența în masa betonului a unui volum corespunzător de aer antrenat (aditivi antrenori de aer), etc.

### 3.2.3. Influența carbonatării asupra durabilității betonului

Fenomenul de carbonatare asupra betoanelor are influențe contradictorii, în funcție de puterea de agresivitate și de viteza de reacție.

În general, carbonatarea are o influență negativă asupra protecției armăturilor din beton și o influență pozitivă asupra rezistenței la ape agresive și a permeabilității betonului.

Viteza fenomenului de carbonatare este accelerată de prezența adaosurilor active din ciment și micșorată de creșterea dozajului de ciment (fig.3.2.5.).



### 3.2.5. Influența acțiunii corozive a acizilor asupra durabilității betonului

Acțiunea corozivă a acizilor are loc în medii cu  $\text{pH} < 6,5$ . Acizii se găsesc în general în ape (naturale, reziduale, industriale).

În zonele carbonifere poate acționa chiar  $\text{CO}_2$  liber și apele minerale. Pericolul apare atunci când masa de beton are în volumul său o suficientă rețea de microfisuri, care va permite infiltrarea acestor acizi până la armătură. Corodarea armăturii va conduce și la dislocări în straturile de acoperire cu beton

### 3.2.6. Influența reacțiilor alcali-agregate asupra durabilității betonului

Agregatele care conțin bioxid de siliciu activ, reacționează cu alcaliile din ciment. Producții de reacție sunt geluri care au proprietatea de a se umfla considerabil în prezența umidității. Deci deteriorarea betonului se realizează prin expansiune.

## 3.3. Cauze care conduc la apariția deteriorărilor

3.3.1. Cauze datorate calității necorespunzătoare a proiectării

3.3.2. Cauze datorate calității necorespunzătoare a executării lucrărilor

3.3.3. Cauze datorate condițiilor de exploatare necorespunzătoare.

3.3.4. Cauze datorate efectelor extraordinare externe

### 3.3.1. Cauze datorate calității necorespunzătoare a proiectării

- datele inițiale incomplete sau inexacte asupra caracteristicilor geologice și geotehnice ale terenului de fundare (sondaje geotehnice insuficiente sau lipsa lor);
- necunoașterea, cunoașterea incorectă sau cunoașterea insuficientă a condițiilor de exploatare;
- stabilirea incorectă sau parțială a solicitărilor fizico-mecanice;
- combinații de solicitări incorecte sau insuficiente;
- stabilirea incorectă a schemelor statice de calcul, a evaluării încărcărilor și modului de acțiune și distribuție a lor;
- calcule greșite, incorecte sau incomplete;
- utilizarea unor sisteme constructive noi și a unor materiale recente, insuficient experimentate și studiate;
- modificarea unor aspecte în proiectul de execuție / consolidare, în timpul executării lucrărilor;
- nerespectarea prescripțiilor tehnice prevăzute în actele normative specifice;
- slaba corelare dintre proiectele de specialitate ale proiectului de execuție;
- neverificarea calității lucrărilor executate de către proiectant, etc.

### 3.3.2. Cauze datorate calității necorespunzătoare a executării lucrărilor

- utilizarea unor materiale necorespunzătoare din punct de vedere al tipului și al calității;
- utilizarea unei tehnologii neconforme cu ceea ce impune proiectul de execuție;
- nerespectarea parțială sau integrală a proiectului de execuție;
- aplicarea incorectă a tehnologiilor;



- nerespectarea tuturor instrucțiunilor și recomandărilor tehnice, începând cu alegerea materialelor, prepararea, transportul, manipularea, punerea în lucrare și tratarea ulterioară a materialelor;
- lipsa competenței în timpul execuției sau lipsa sistemului de verificare a calității lucrărilor executate;
- lucrări realizate defectuos ce devin ascunse, neverificate înainte de execuție;
- deficiențe mari la recepționarea lucrărilor, etc.

### 3.3.3. Cauze datorate condițiilor de exploatare necorespunzătoare

- modificarea destinației construcțiilor (ceea ce conduce la modificarea solicitărilor fizice, chimice, mecanice);
- modificarea condițiilor de exploatare;
- exploatarea nerațională a instalațiilor și mașinilor generatoare de vibrații sau șocuri;
- întreținerea necorespunzătoare a construcțiilor;
- neglijarea măsurilor de observare și control;
- ne-repararea la timp a eventualelor degradări;
- neeliminarea cauzelor ce pot provoca degradări, etc.

### 3.3.4. Cauze datorate efectelor extraordinare externe

- catastrofe naturale (seisme, inundații, incendii, furtuni foarte puternice, bombardamente, etc.);
- calamități locale (explozii);
- modificări ale terenului de fundare (tasări importante, alunecări de teren);
- acțiunea puternică a unor agresivități chimice (datorate unor cauze excepționale) și a unor agresivități biologice;
- influența factorilor climatici;
- cauze datorate modificărilor fizico-chimico-mecanice sau funcționale, din cauza îmbătrânirii materialelor, etc.

## 3.4. Factori de degradare și avarii specifice

### 3.4.1. Generalități

Principalele forme de degradare a elementelor din beton armat se regăsesc într-unul din aspectele:

- fisurare,
- strivire,
- dislocare-dezagregare,
- segregare.
- zone de beton degradate, goluri, cu sau fără obiecte nedorite înglobate.

### 3.4.2. Solicitări mecanice și avarii specifice

Avariile cele mai frecvent întâlnite sunt:

- fisuri cu:
  - deschideri mici  $\leq 0,5$  mm (fig.3.4.1);
  - deschideri medii 0,5–2 mm (fig.3.4.2);
  - deschideri mari  $>2$  mm (fig.3.4.3).
- beton zdrobit (fig. 3.4.12; fig. 3.4.14);
- armătură ajunsă la curgere (fig. 3.4.14);
- flambarea armăturii (fig.3.4.14);
- smulgerea armăturii (fig.3.4.14);
- defecte de execuție, inclusiv rosturi de turnare, puse în evidență prin efectul acțiunii seismice (fig.3.4.5);
- desprinderea stratului de acoperire cu beton a armăturilor;
- rosturi deschise între elementele prefabricate, etc.



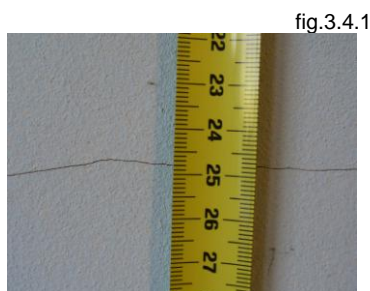


Fig. 3.4.1  
Fisură cu deschidere mică ( $\leq 0,5$  mm),  
perete din beton



Fig. 3.4.2  
Fisură cu deschidere medie (0,5–2 mm),  
placă balcon



Fig. 3.4.3  
Fisură cu deschidere mare ( $>2$  mm),  
stâlp din beton armat

În funcție de tipul elementului de beton armat și felul avariilor suferite, putem realiza o clasificare a celor mai importante tipuri de avarii existente:

#### 3.4.2.1. Avarii ale stâlpilor din beton armat

- fisuri înclinate la intersecția grinzilor cu stâlpii (zonele nodale);
- fisuri transversale, una sau mai multe pe nivel, datorate solicitării de încovoiere alternantă; aceste fisuri apar, de regulă, în zonele extreme ale stâlpilor (fig. 3.4.12);
- fisuri înclinate, una sau mai multe pe nivel, datorate efectului forțelor tăietoare și încovoierii (fig. 3.4.12);
- zone (articulații) plastice, cu ruperea betonului și eventual deformarea (flambarea) armăturilor, cauzate de eforturile axiale și de încovoiere alternativă (fig. 3.4.8, fig. 3.4.12, fig. 3.4.14);
- ruperea (desprinderea) stratului de acoperire a armăturilor de colț (fig. 3.4.8);
- rupere locală datorită unei execuții defectuoase rezultată în urma segregării betonului;
- fisuri longitudinale datorită eforturilor de întindere în stratul de acoperire a barelor intermediare: fisurile pot fi superficiale sau pot ajunge până la armătură (fig. 3.4.6, fig. 3.4.7, fig. 3.4.8);
- ruperea betonului, cu sau fără flambarea armăturii, datorită eforturilor axiale de compresiune (fig. 3.4.8, fig. 3.4.17). În general, o astfel de rupere este asociată cu un rost de turnare a betonului.



Fig. 3.4.6



Fig. 3.4.7

Defecte de execuție. Stâlp prefabricat,  
din beton armat

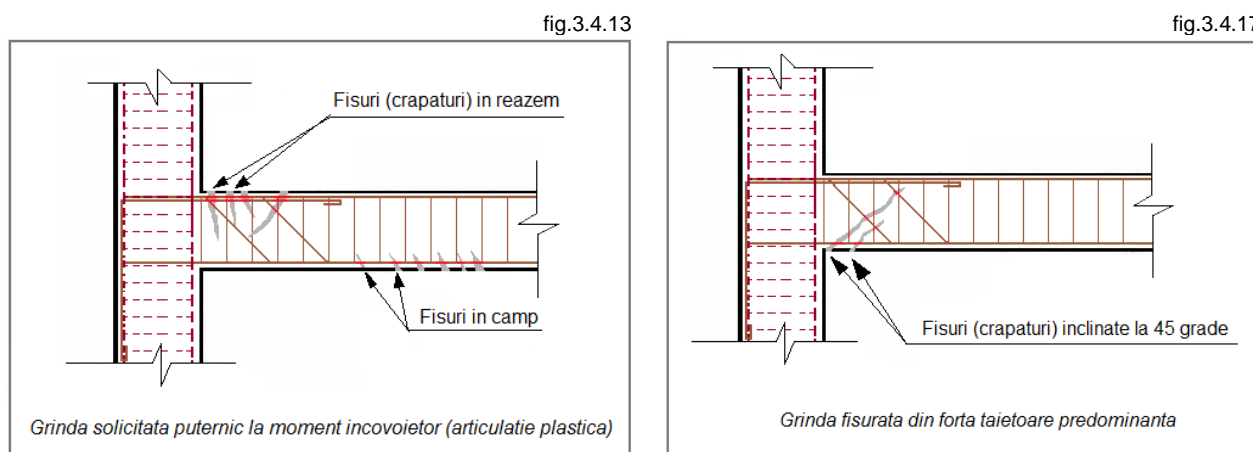


Fig. 3.4.8

Fisuri longitudinale la un stâlp din beton  
armat

#### 3.4.2.2. Avarii ale grinzilor din beton armat

- fisuri verticale cauzate de eforturile de întindere provenind din rețeaua triunghiulară formată de stâlpi, grinzi și zidărie de umplutură (fig. 3.4.13);
- fisuri înclinate datorate efectelor forțelor tăietoare și solicitărilor de încovoiere;
- fisuri verticale cauzate de smulgerea armăturilor ancorate în stâlpi sub efectul eforturilor de întindere din solicitările de încovoiere;
- zone (articulații) plastice, cu ruperea betonului și flambarea eventuală a armăturilor, datorită eforturilor axiale și ale încovoierii alternante.



### 3.4.2.3. Avarii ale planșeelor din beton armat

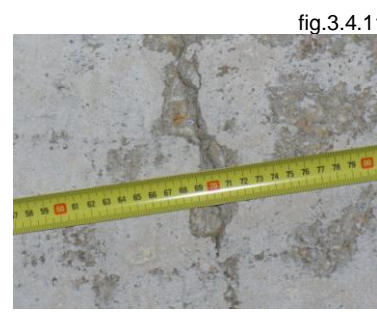
- fisuri paralele sau înclinate în raport cu laturile de reazem ale plăcii, cauzate de efectul forțelor tăietoare și ale încovoierii care solicită diafragma (șabă) orizontală în planul său (fig.3.4.10);
- fisuri paralele cu grinzi prefabricate (de exemplu pentru planșee cu grinzi prefabricate și corpuri de umplură sau fâșii prefabricate); asemenea fisuri pot exista chiar înainte de un cutremur, efectul acestuia punându-se și mai mult în evidență.



Defecte de execuție. Planșeu peste o grindă segregată din beton armat



Planșeu fără centură, peste pereți din zidărie portantă



Fisură în planșeu executat fără centură, peste pereți din zidărie portantă

### 3.4.2.4. Avarii ale pereților portanți din beton armat

- fisuri înclinate cauzate de efectele forțelor tăietoare, ale solicitării de încovoiere și eforturilor axiale (fig. 3.4.15);
- fisuri verticale în stratul de acoperire a barelor de armătură;
- fisuri orizontale la marginea (capătul) liberă a peretelui, datorate eforturilor din solicitarea de încovoiere;
- ruperea betonului în rostul tehnologic de turnare;
- rupere locală evidentă prin segregarea betonului.

### 3.4.2.5. Avarii datorate solicitărilor predominante din momente încovoietoare

La stâlpi cu zveltețe mare, din momente încovoietoare predominante, apar fisuri orizontale normale pe axul stâlpilor. Fisurile se dezvoltă în zonele de la capetele stâlpilor unde apar momente maxime ce pot duce și la articulații plastice cu intrarea în curgere a armăturilor. În aceste zone apar deteriorări ale stratului de acoperire<sup>1</sup> (fig.3.4.12). La grinzi, din efortul de încovoiere, apar fisuri în zona întinsă, perpendiculară pe axa grinzilor. Fisurile pot apărea fie numai pe reazem, fie numai la mijlocul grinzii, ori în ambele zone. Betonul din zona comprimată poate fi zdrobit. (fig.3.4.13)

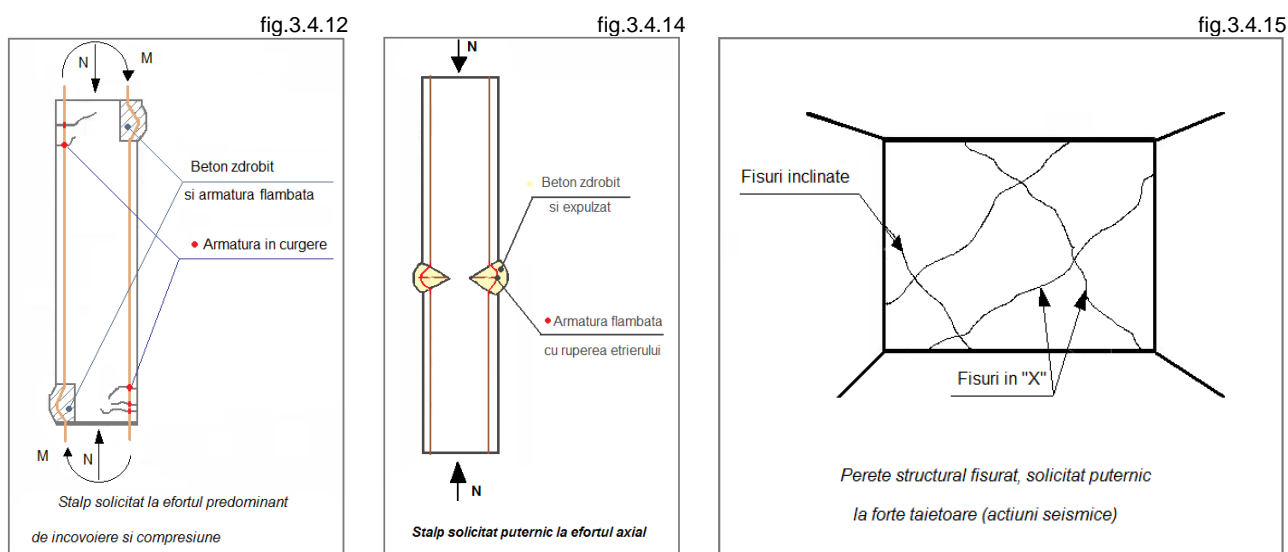
### 3.4.2.6. Avarii datorate solicitărilor din eforturi axiale

La stâlpi și grinzi, eforturile axiale puternice pot provoca efecte de strivire, cu deosebire în zonele slăbite (segregate). Strivirea betonului se produce cu fenomene de expulzare laterală, iar armăturile longitudinale flambând, pot uneori desface sau rupe etrierii (fig.3.4.14).

<sup>1</sup> Betonul se zdrobește

### 3.4.2.7 Avarii datorate solicitărilor predominante din forțe tăietoare

La pereții structurali pot apărea frecvent fisuri înclinate uneori pe două direcții, sub formă de X, din eforturi importante de forță tăietoare (fig.3.4.15).



La grinzi se pot întâlni cazurile:

- în cazul rezemării grinzilor secundare pe grinzile principale, în special în timpul cutremurelor, apar fisuri verticale în dreptul lor;
- prezența unor ziduri bine împănate care reduc deschiderile grinzilor;
- efecte de tirant din pricina panourilor de zidărie înrămată, ceea ce conduce la combinarea solicitărilor de întindere, încovoiere, forță tăietoare, acestea fisurând grinda;
- la pereții structurali insuficient dimensionați la forță tăietoare, primele elemente afectate sunt buiandrugii, care pot avea și cedări casante, în special la pereții structurali cu goluri.

### 3.4.2.8 Avarii datorate efectelor combinate dintre solicitările axiale, de încovoiere și forță tăietoare

- La fundații, solicitările combinate (în special încovoierea și forță tăietoare), conduc la fisurări și ruperi totale ale cuzineților.
- La nodurile de cadre, apar degradări generalizate ale betonului în miezul nodurilor sau în tot volumul lor, precum și flambarea barelor longitudinale cu ruperea sau desfacerea etrierilor. Fenomenul este foarte casant. Se întâlnește rar, la structurile vechi, în urma seismelor;
- La structurile în cadre, combinarea eforturilor la valori ridicate se întâlnește în general în timpul seismelor. Apariția articulațiilor plastice este însoțită de fisurări normale pe axele elementelor, ce nu constituie un pericol dacă betonul nu are zone în care s-a zdrobit.
- La pereții structurali, eforturile combinate din încovoiere, forță axială și forță tăietoare pot produce ruperi casante ale bazei pereților, datorită existenței zonelor defectuos executate (beton, armături, etc.). La zonele de legătură între pereții structurali longitudinali cu cei transversali, pot apărea fisuri verticale. La fel, în zonele de legătură între planșee și pereți, întreruperile betonării (rosturi de turnare) sau petreceri și legături defectuoase ale armăturilor elementelor, pot conduce la dezvoltarea unor fisuri orizontale.
- La stâlpi pot apărea uneori din această combinație de eforturi, plasticități la capete, în general la structuri cu variație bruscă de rigiditate pe înălțime (exemplu: parter flexibil).

### 3.4.2.9. Avarii produse de acțiunea șocurilor

Accidental, în viața construcțiilor pot să apară fenomene care acționează sub forme de șoc:

- cutremure,
- explozii,
- vibrații foarte mari,
- șocuri din izbituri sau lovituri.

### 3.4.3. Factori fizici și avarii specifice

#### 3.4.3.3. Avarii produse de fenomenul de îngheț - dezgheț

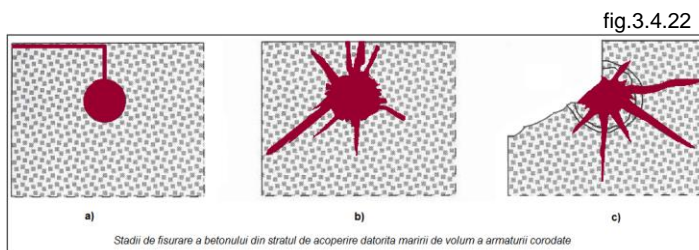
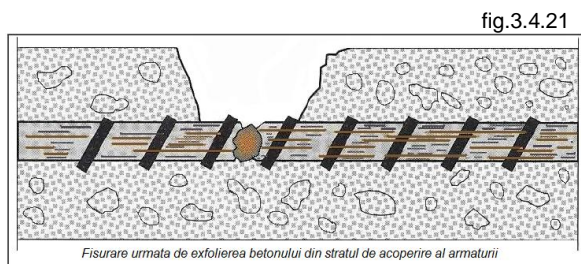
Fenomenul de îngheț-dezgheț, constituie un factor esențial în durabilitatea betonului.

Acțiunea fenomenului de îngheț-dezgheț este importantă în producerea unor avarii, de tipul exfolierii fețelor expuse ale elementelor de beton și dezagregării locale a betonului din elemente. Este de menționat faptul că gradul deteriorării este dependent de caracteristicile betonului (structura porilor) și de intensitatea acțiunii îngheț-dezghețului (numărul de cicluri de îngheț-dezgheț și duratele de acțiune).

### 3.4.4. Factori chimico-biologici și avarii specifice

#### 3.4.4.1. Avarii produse de coroziunea armăturilor

Definiția coroziunii poate fi dată ținând seama de schimbarea prin care trece metalul, de la condiția sa elementară la cea combinată complexă. Coroziunea metalelor se realizează prin formarea oxidului în contact cu aerul sau a ruginii (oxidului hidros) în contact cu apa sau atmosfera umedă. Procesul de coroziune a oțelului este însoțit, în general de o mărire a volumului acestuia (volumul oxidului, provenit din coroziune este de circa 2 ori mai mare decât cel al metalului din care provine) fapt care conduce la exercitarea unor presiuni asupra betonului adiacent armăturii și respectiv la apariția unor eforturi de întindere în masa acestuia. Atunci când aceasta depășește valoarea rezistenței la întindere a betonului se declanșează procesele de fisurare a betonului din stratul de acoperire, fenomen care favorizează accelerarea procesului de coroziune. În cele mai multe din cazuri, stratul de acoperire a betonului poate fi îndepărtat, armătura ajungând să fie lipsită de protecție (fig. 3.4.21, fig. 3.4.22)



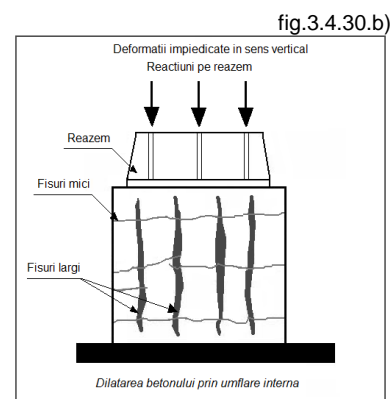
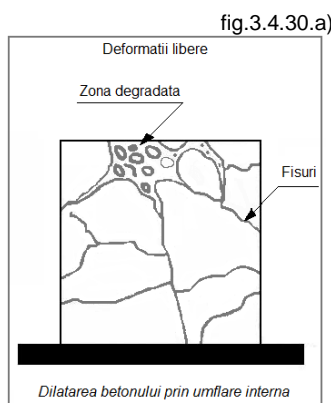
#### 3.4.4.2. Avarii produse de reacții chimice

Cauzele apariției degradărilor elementelor aflate în medii agresive sunt:

- dizolvarea unor produși de hidratare ai cimentului (hidroxid de calciu);
- formarea produșilor de reacție ușor solubili;
- formarea unor compuși care măresc volumul și pot distruge betonul prin expansiune

Semnele unui atac chimic constau în dezagregările suprafețelor elementelor, mărirea fisurilor și a rosturilor, dislocările generale ale maselor de beton, umflări etc.

Când dilatațiile sunt libere, fisurile se produc haotic. Dacă dilatația se produce de-a lungul unei direcții, fisurile se dezvoltă în deschideri paralele, perpendiculare pe axa pe care acționează sarcinile (fig.3.4.30).



#### 3.4.4.3. Avarii ale betonului datorită agresiunii biologice

Pot apărea deteriorări ale elementelor din beton determinate de atacul biologic (de exemplu la sistemele de canalizare), sau de substanțe de natura organică (licheni, alge) sau rădăcini de plante ce pătrund în beton prin fisuri sau zone cu rezistență scăzută.



Aceste agresiuni de natură biologică cauzează degradări datorate presiunii interne și/sau reținerii apei la suprafața betonului, care conduce astfel la creșterea riscului de deteriorare prin îngheț, la coroziunea armăturii din beton, etc.

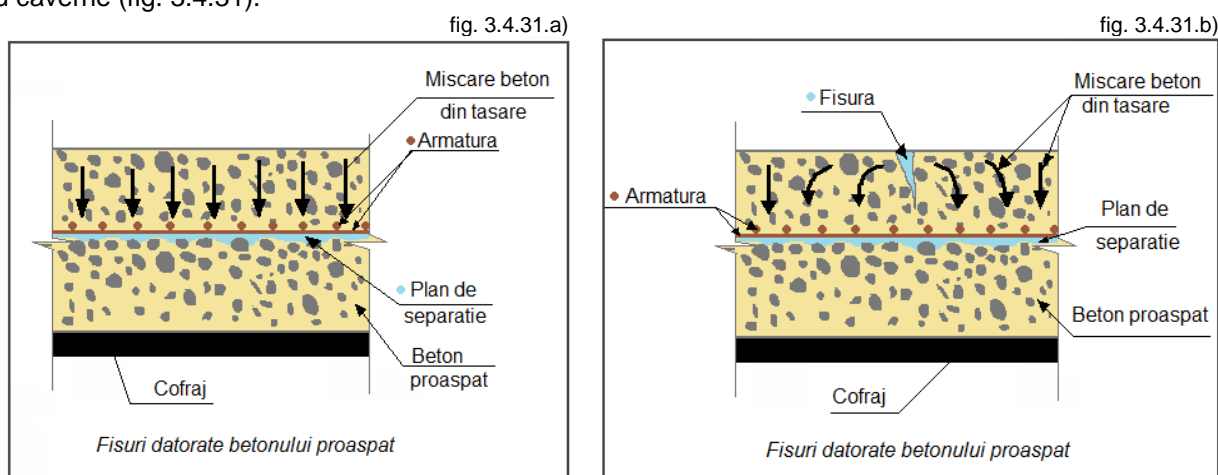
### 3.4.5. Executarea necorespunzătoare a lucrărilor și avarii specifice

#### 3.4.5.1. Avarii datorate fenomenului de segregare a betonului

Cauzele principale care favorizează segregarea sunt:

- compoziție necorespunzătoare;
- transportul betonului care poate duce la apariția segregărilor interioare și exterioare;
- căderea betonului de la înălțimi mari, descărcări în fața unui obstacol, frecări mari;
- compactarea necorespunzătoare (utilizarea unei tehnologii necorespunzătoare sau aplicare necorespunzătoare a acesteia);
- depășirea timpului maxim de amestecare .

Trebuie acordată atenție faptului că uneori armăturile groase sau cele rigide, împiedică așezarea omogenă a betonului. Sub aceste obstacole, betonul nu pătrunde suficient și se pot forma zone segregate sau caverne (fig. 3.4.31).



#### 3.4.5.2. Avarii datorate erorilor de executare a lucrărilor

La executarea lucrărilor trebuie respectate toate regulile impuse de proiectul de execuție / tehnologic.

Nu de puține ori, apar o serie de degradări sau chiar avarii mai însemnate, vizibile după decofrare. În alte cazuri, executarea necorespunzătoare provoacă degradări greu de observat, acestea fiind ascunse în interiorul elementelor (fig.3.4.31). Deosebit de periculoase, acestea se remarcă în timp, pe parcursul exploatării.

Degradările apărute frecvent în urma executării necorespunzătoare sunt următoarele:

- insuficientă grosime a stratului de acoperire cu beton a armăturilor datorită lipsei sau numărului insuficient al distanțierelor, deplasării (dezaxării) armăturilor sau cofrajelor, etc.;
- deformații mari și fisuri - produse în urma deplasării cofrajelor, a decofrărilor premature sau a depășirii încărcărilor admise;
- segregări superficiale sau de profunzime și caverne în masa betonului - datorită unei compactări insuficiente sau în exces;
- fasonări incorecte a armăturilor;
- deschiderile rosturilor de turnare - datorate unor poziționări, executări incorecte, sau / și reluării betonării incorecte;
- fisurări și ruperi ale elementelor din încărcări excesive, greșeli de armare, folosirea unor materiale necorespunzătoare calitativ, șocuri etc.

## CAPITOL 4 - TEHNICI ȘI MIJLOACE DE INVESTIGARE A ELEMENTELOR STRUCTURALE DIN BETON

### 4.1.1. Conceptul de calitate lucrărilor

Elaborarea și aplicarea în construcții a conceptului de calitate presupune stabilirea caracteristicilor tehnice și de calitate atât pentru întreaga construcție cât și pentru subansamblele acesteia (divizate până la nivel de element sau material), a limitelor admisibile în care trebuie să se încadreze acestea, a metodelor și tehnologiilor de realizare a lor și respectiv a modalităților de verificare și a frecvenței acestora, astfel încât construcția să răspundă corect tuturor exigențelor stabilite pentru utilizarea ei.

Un factor deosebit de important în obținerea calității îl reprezintă lucrările de verificare a ei.

### 4.1.2. Organizarea generală a verificărilor calității

Verificarea calității lucrărilor este absolut obligatorie și se face în scopul prevenirii, depistării sau îndepărtării unor defecte sau greșeli de execuție care se pot transmite sau s-au transmis construcției în curs de realizare. Ea constă în stabilirea corespondenței lucrărilor cu proiectul și cu prescripțiile tehnice specifice, în limitele indicatorilor de calitate și a abaterilor admisibile prevăzute în actele normative în vigoare.

Verificarea calității construcțiilor este necesar să fie continuată și după darea în exploatare a acestora, în vederea prevenirii și depistării din timp a unor eventuale avarii sau deteriorări, în scopul remedierii acestora pentru asigurarea durabilității corespunzătoare.

De asemenea, verificarea calității este necesară și în cazul expertizării tehnice a construcției respective, atunci când acesteia i se schimbă destinația, condițiile de exploatare sau i se mărește capacitatea portantă.

Verificarea calității lucrărilor, în sensul respectării condițiilor tehnice de calitate, se execută permanent de către șefii formațiilor de lucru și de către personalul tehnic însărcinat cu conducerea acestor lucrări.

Suplimentar, se mai efectuează verificări în următoarele faze de realizare a construcției:

- a) pe parcursul execuției, pentru toate categoriile de lucrări care condiționează rezistența, stabilitatea, durabilitatea și funcționalitatea construcției, înainte ca ele să devină ascunse prin înglobare sau prin acoperire.
- b) la terminarea unei faze de lucru (lucrări de terasamente, infrastructură, suprastructură, etc.).
- c) la recepția preliminară (la predarea construcției către beneficiar).

Pentru a asigura integritatea și funcționalitatea unei structuri este necesar să se facă inspecții periodice având ca scop depistarea eventualelor avarii și defecțiuni structurale. Inspecțiile se pot face aplicând diferite metode de control nedistructiv.

Controlul nedistructiv constă în aplicarea unor metode de testare pentru a examina un obiect, un material sau un sistem fără a-i periclita funcționalitatea ulterioară.

Obiectivul unei metode complete de control nedistructiv, este să furnizeze informații despre următorii parametri ai materialului testat:

- Discontinuități și detalii despre acestea. Exemple: fisuri, goluri, delaminări la care trebuie să determinăm anumite caracteristici fizice cum ar fi: grosimea, diametrul sau mărimea discontinuității;
- Structura materialului, incluzând structura cristalină, dimensiunea granulelor;
- Gradul de segregare;
- Proprietățile fizice și mecanice cum sunt: coeficientul de reflexie, conductivitatea, modulul de elasticitate, viteza de propagare a undelor sonore, etc.

## 4.2. Sisteme de măsurători pentru determinarea caracteristicilor betonului

Dintre toate caracteristicile care dau informații despre elementele de beton, se vor detalia:

- rezistența la compresiune;
- rezistența la întindere;
- defecte ale elementelor din beton;
- determinarea poziției / grosimii armăturilor și a grosimii stratului de acoperire;

- vizualizarea suprafețelor elementelor de rezistență în zone greu accesibile;
- măsurarea transmitanței termice a betonului.

#### **4.2.1. Determinarea rezistenței la compresiune a betonului**

Metode de determinarea rezistenței la compresiune:

- 4.2.1.1. Metoda amprentei;
- 4.2.1.2. Metoda reculului;
- 4.2.1.3. Metoda acustică;
- 4.2.1.4. Metoda microcarotelor.

#### **4.2.2. Determinarea rezistenței la întindere și la compresiune a betonului**

Determinarea rezistenței la întindere și la compresiune a betonului se poate realiza uzual utilizând metoda microcarotelor.

#### **4.2.3. Determinarea defectelor betonului**

Prin defecte în beton, se înțeleg: goluri, fisuri, rosturi de turnare, cuiburi de segregare, betoane poroase, straturi de beton degradat datorită înghețului, incendiilor sau acțiunilor agresive.

Pentru identificarea acestora s-a ales descrierea următoarelor metode:

- 4.2.3.1. Metoda ultrasunetelor;
- 4.2.3.2. Metoda radiometriei;
- 4.2.3.3. Metoda radiografiei;
- 4.2.3.4. Metoda radioscopiei;
- 4.2.3.5. Metoda impact-echo.

#### **4.2.4. Determinarea poziției armăturilor, a diametrului acestora și grosimea stratului de acoperire cu beton**

Pentru a afla poziția armăturii, a diametrului acesteia, se pot folosi următoarele metode:

- 4.2.4.1. Metoda radiografiei;
- 4.2.4.2. Metoda radioscopiei;
- 4.2.4.3. Metoda închiderii liniilor de forță ale unui circuit magnetic deschis prin armatura din beton.

#### **4.2.5. Verificarea stării armăturilor înglobate în beton – determinarea gradului de coroziune al armăturii prin măsurarea potențialului de electrod al armăturii, comparat cu al unui electrod de referință**

#### **4.2.6. Verificarea locurilor greu accesibile**

### **4.3. Evaluarea rezistenței materialelor în structurile existente**

Capitolul sintetizează metodele de investigare (în situ și în laborator) a materialelor elementelor componente structurilor din beton armat, inclusiv a elementelor și structurilor prefabricate.



Metodele care se aplică și zonele în care se fac încercările în situ și / sau se prelevează probe pentru încercările de laborator sunt de regulă stabilite de către experți tehnici în colaborare cu ingineri cu experiență în efectuarea investigațiilor în situ și în laborator.

#### 4.3.1. Metode de investigare

Metodele de investigare ale construcțiilor existente (pentru determinarea caracteristicilor materialelor) trebuie să urmărească etapele:

- Colectarea datelor privind desenele de execuție, informații privind execuția și istoria construcției;
- Corelarea vârstei construcției (inclusiv prin datele din proiect dacă acestea există) cu reglementările și standardele existente în perioada realizării structurilor;
- Identificarea materialelor și a caracteristicilor acestora prin examinare vizuală și efectuarea de teste nedistructive;
- Prelevarea de probe reprezentative și efectuarea de încercări de laborator (mecanice, fizico-chimice, etc.) pentru a determina caracteristicile materialelor din lucrare;
- Determinarea adâncimii de carbonatare și a conținutului de ioni agresivi pentru beton (în cazuri speciale) și a stării armăturii.

#### 4.3.2. Alegerea tipurilor de metode și a zonelor de investigare

Alegerea tipurilor de metode și a zonelor de investigare depind de o serie de factori cum ar fi:

A. Informațiile privind:

- proiectul de execuție,
- calitatea materialelor utilizate,
- execuția construcției,
- modificări suferite în timpul duratei de serviciu,
- evenimente deosebite suferite de construcție (acțiuni excepționale) și orice alte date referitoare la istoria construcției.

În cazul în care aceste informații sunt numeroase și cu grad ridicat de încredere (documente scrise) numărul necesar de metode de investigare se poate reduce.

B. Natura și extinderea avariilor. Cu cât gradul de avariere al construcțiilor este mai mare, este necesară aplicarea mai multor metode de investigare. De asemenea construcțiile care au suferit degradări și din alte cauze față de cele legate de acțiunea seismică trebuie investigate cu atenție pentru a face o distincție între avariile produse din diverse alte cauze.

C. Calitatea execuției. În cazul în care se constată diferențe între calitatea materialelor definite prin proiectare și cele efectiv puse în operă, sunt necesare investigații suplimentare.

D. Corelarea între informațiile obținute analitic și observațiile pe teren. Dacă prin calcul nu se confirmă degradările observate, este necesară extinderea investigațiilor.

E. Posibilitățile de acces pentru inspecția vizuală.

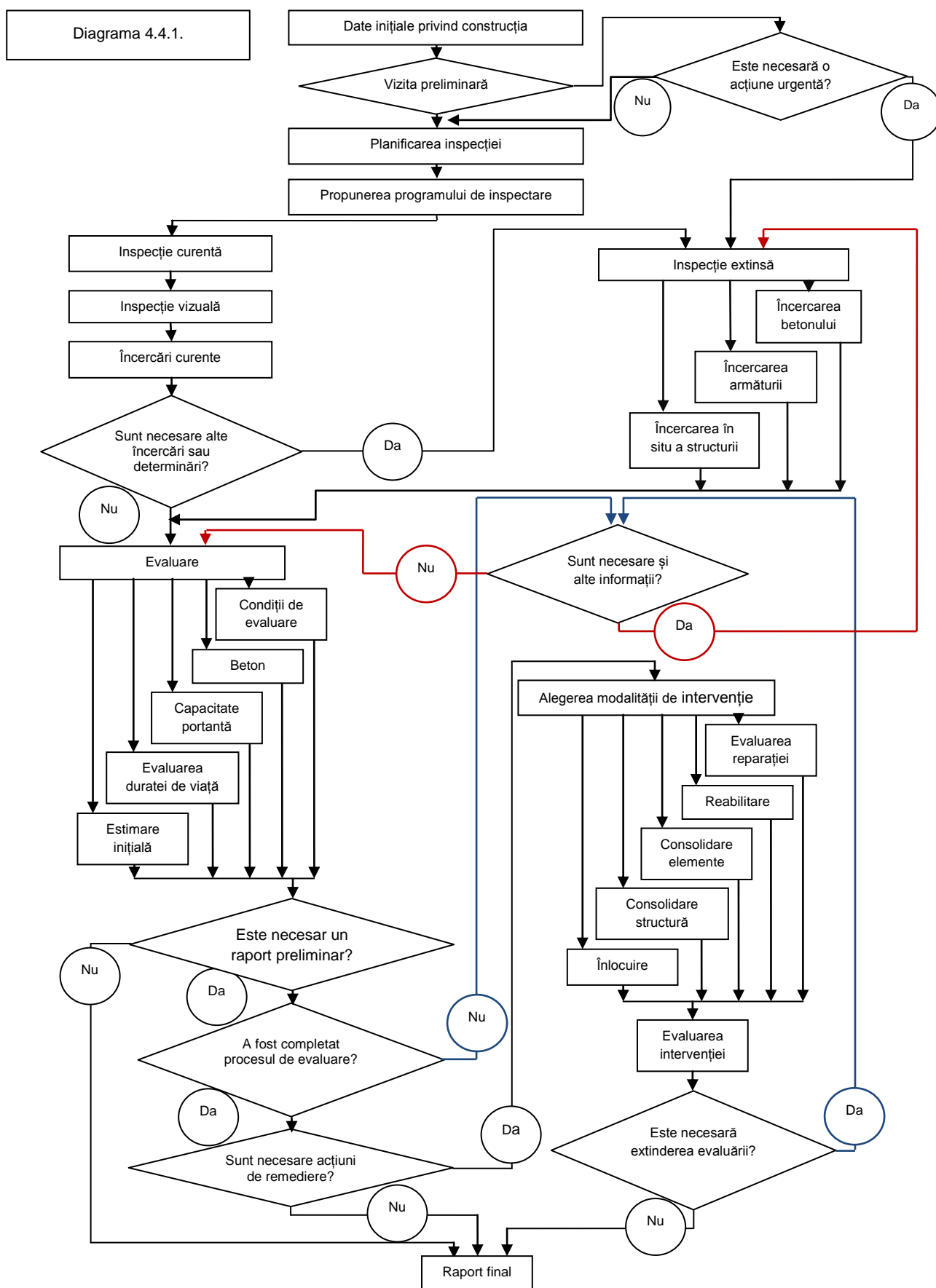
#### 4.4. Investigarea stării structurilor

Investigarea stării structurilor are ca obiect identificarea stării tuturor tipurilor de elemente care alcătuiesc construcțiile ce se doresc a fi examinate.

Un asemenea proces presupune planificarea în detaliu a fiecărui pași ce trebuie urmați (diagrama 4.4.1.)

Etapele logice ce trebuiesc făcute pentru o investigație:

- 4.4.1. Examinarea vizuală a construcției
- 4.4.2. Determinarea caracteristicilor terenului de fundare
- 4.4.3. Determinarea caracteristicilor betonului și armăturii.



## CAPITOL 5 - UTILIZAREA ADITIVILOR DE ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ PENTRU REALIZAREA BETOANELOR UTILIZATE LA REPARAREA STRUCTURILOR CLĂDIRILOR

### 5.3 Utilizarea aditivilor în betoane

Succesul folosirii unui aditiv impune respectarea tuturor condițiilor de transport, depozitare, manipulare în funcție de natura acestuia și de starea lui de agregare: lichidă, pastă, solid.

Aditivii lichizi sunt cei mai utilizați pentru că ei sunt dizolvați (sau dispersați fin) și se dozează ușor.

Sunt livrați și depozitați în recipiente, bidoane, flacoane din material plastic și metalice sau în cisterne pentru cantități mari. Se livrează la concentrații mai mari decât cele necesare utilizării și de aceea s-ar putea ca, în timp, să precipite și să sedimenteze substanțe solide, mai ales în cazul temperaturilor scăzute; de aceea, în astfel de cazuri trebuie omogenizați înainte de dozare.

#### 5.3.2. Modul de utilizare al aditivilor

Condițiile de pregătire a aditivilor pentru dozarea și utilizarea lor corectă sunt hotărâtoare asupra proprietăților betonului. Indiferent de metoda de dozare, precizia în măsurare nu trebuie să admită abateri mai mari de  $\pm 3\%$ . Aditivul bine dozat trebuie să fie bine omogenizat în amestecul preparat.

#### 5.3.3. Incompatibilitatea aditivilor

Folosirea a doi sau mai multor aditivi cu acțiuni diferite în același amestec de beton, trebuie să fie precedată de cercetări prealabile sistematice. Aditivii pot avea acțiuni separate favorabile asupra betonului și să fie incompatibili în aceeași soluție. În acest caz nu se vor amesteca aprioric ci se vor introduce în beton în etape diferite ale amestecării. Aditivii diferiți pot fi amestecați numai dacă există o astfel de indicație.

Sistemul de dozare se alege în funcție de starea de agregare a aditivului folosind mijloace de dozare volumetric sau gravimetrice, manuale, semiautomate sau automate. Pulberile minerale se dozează în greutate, iar aditivii sub formă de pastă sau lichizi se dozează gravimetric sau volumetric.

#### 5.3.4. Prepararea betoanelor cu aditivi

#### 5.3.5. Recomandări pentru utilizarea și dozarea aditivilor

Pentru aceasta se va proceda astfel :

**5.3.5.1.** Se va pleca de la rețeta etalon (fără aditiv), determinându-se tasarea și apoi se vor preleva cuburi pentru încercări (7, 28 zile);

**5.3.5.2.** În aceleași condiții cu rețeta etalon (tip ciment, agregate) se va calcula rețeta cu aditiv și se vor face următoarele determinări :

**5.3.5.2.a)** Inițial se va reduce numai cantitatea de apă din rețeta etalon, funcție de dozajul de aditiv (vezi recomandările pt. dozare). Se va face tasarea probei după omogenizare.

**5.3.5.2.b)** Funcție de dozajul de aditiv se poate reduce cantitatea de ciment (unde este permis), păstrându-se constant raportul A/C obținut la proba de la pct. **5.3.5.2.a)**

**ATENȚIE.** Cantitatea de aditiv se va calcula funcție de cantitatea de ciment, prin reducerea cimentului, implicit, se va reduce și cantitatea de aditiv. După determinarea lucrabilității (tasarea) se vor preleva cuburi de beton pentru stabilirea rezistenței la compresiune ( $R_c$ ) la 7 și 28 zile. Interpretarea rezultatelor se va face prin comparație cu cele obținute la proba etalon .

Se vor face determinări, pentru fiecare șarjă, pentru beton proaspăt (tasare, densitate). Se vor preleva probe (cuburi) de beton în vederea determinării rezistenței la compresiune ( $R_c$ ) la 7 și 28 zile.

Se propune acest lucru deoarece există astfel un controlul cât mai real al umidității agregatelor din stația de betoane. În cazul în care se reduce apa și cimentul, cantitățile rezultate se vor distribui agregatelor - procentual pe sorturi (fără a depăși încadrarea în curba granulometrică impusă de gradul de omogenizare).

În final se compară rezultatele.

---

## **CAPITOL 6 - TEHNOLOGII PENTRU REPARAREA ȘI / SAU CONSOLIDAREA ELEMENTELOR ȘI STRUCTURILOR DIN BETON ARMAT**

Consolidările sunt lucrări foarte costisitoare care presupun un consum de forță de muncă foarte calificată și specializată, ele necesitând o atenție sporită atât din partea beneficiarilor, cât și a personalului tehnic de specialitate.

Realizarea unei consolidări presupune patru etape:

- 6.1.1 - Evaluarea gradului de asigurare (diagnosticarea);
- 6.1.2 - Stabilirea deciziei de intervenție (tratamentul);
- 6.1.3 - Elaborarea proiectului tehnologic de intervenție;
- 6.1.4 - Executarea lucrării.

### **6.2. Tehnologia lucrărilor de protecție a elementelor de beton și beton armat**

Alegerea materialului de protecție cât și a tehnologiei de aplicare a acestuia trebuie să aibă la bază pe de o parte cunoașterea teoretică a fenomenelor care pot produce degradarea, a proprietăților materialului ales pentru protecție, a comportării sale în mediul agresiv și a influenței protecției asupra elementului protejat, iar pe de altă parte experiența dobândită pe baza practicii în ceea ce privește tehnologia de aplicare a materialului de protecție și comportarea în timp a acestuia.

Pentru realizarea unei alegeri optime a tipului de protecție și a tehnologiei de realizare a ei este necesar să se cunoască:

- cauzele care pot să producă degradarea;
- fenomenele fizico-chimice care se dezvoltă în materialul din care este realizat elementul de construcție și ce modificări fizico-chimice-mecanice se pot produce în acesta;
- factorii care influențează procesul de degradare - natura și intensitatea agresivității, temperatura, umiditatea și presiunea mediului înconjurător, razele solare, șocurile termice, natura, structura, dimensiunile, forma și natura suprafeței elementului de construcție, timpul de acționare a agentului agresiv, etc.

Realizarea unei protecții trebuie să satisfacă minimum, următoarele cerințe:

- să protejeze elementul de construcție de agresivitatea respectivă;
- să nu afecteze (în sens negativ) funcționalitatea acestuia;
- să prezinte un aspect estetic corespunzător (dacă este cazul).

#### **6.2.2. Clasificarea protecțiilor**

- 6.2.2.1. Tratamente de suprafață
- 6.2.2.2. Pelicule de protecție
- 6.2.2.3. Mase de șpaclu
- 6.2.2.4. Folii
- 6.2.2.5. Înzidiri și placări

### **6.3. Tehnologia lucrărilor de consolidare a elementelor din beton și beton armat**

Materiale de reparații

A. Materiale de reparații pe bază de ciment

- A.1. Materiale primare
  - (a). ciment;
  - (b). apă;
  - (c). nisip;
  - (d). pietriș;
  - (e). aditivi.

## A.2. Materiale pentru reparații

- Pasta de ciment este compusă din materialele primare: (a)+(b);
- Mortarul de ciment este compus din materialele primare: (a)+(b)+(c);
- Betonul de ciment este compus din materialele primare: (a)+(b)+(c)+(d)+(e);

## B. Materiale de reparații pe bază de rășină epoxidică

### B.1. Materiale primare

- (a). rășină epoxidică;
- (b). întăritor rășină;
- (c). parte solidă inertă (ciment, filer de cuarț);
- (d). nisip;
- (e). pietriș.

### B.2. Materiale pentru reparații

- Rășina epoxidică este compusă din materialele primare: (a)+(b);
- Chitul epoxidic este compus din materialele primare: (a)+(b)+(c);
- Mortarul epoxidic este compus din materialele primare: (a)+(b)+(d);
- Betonul epoxidic este compus din materialele primare: (a)+(b)+(d)+(e);

### 6.3.1. Remedierea fisurilor elementelor de beton și beton armat prin tehnologia lucrărilor de chituire

Fisurile din elementele de beton și beton armat se pot remedia folosind amestecuri pe baza de:

- ciment;
- rășini epoxidice.

### 6.3.2. Remedierea fisurilor elementelor de beton și beton armat prin tehnologia lucrărilor de injectare

Materialele utilizate pentru injectare sunt:

- pasta de ciment,
- rășină epoxidică,
- chit epoxidic.

### 6.3.3. Remedierea defectelor de suprafață a elementelor de beton și beton armat

6.3.3.1.A. Remedierea defectelor de suprafață. Segregări sau pori la suprafața elementelor de beton remediate cu pastă de ciment

6.3.3.1.B. Remedierea defectelor de suprafață. Segregări sau pori la suprafața elementelor de beton remediate cu chit epoxidic

Aceste tehnologii se aplică pentru segregările de suprafață care au maxim 10 mm adâncime.

6.3.3.2.A. Remedierea defectelor în stratul de acoperire a armăturilor în elementele de beton cu ajutorul mortarului de ciment

6.3.3.2.B. Remedierea defectelor în stratul de acoperire a armăturilor în elementele de beton cu ajutorul mortarului epoxidic

Aceste tehnologii se aplică pentru remedierea defectelor în stratul de acoperire a armăturilor (segregări sau desprinderi de beton) care au o adâncime între 10 și 40 mm.

### 6.3.4. Consolidarea elementelor de beton armat prin tehnologia betonării golurilor

6.3.4.A. Consolidarea elementelor de beton armat prin tehnologia betonării defectelor (segregări, goluri) cu beton de ciment

6.3.4.B. Consolidarea elementelor de beton armat prin tehnologia betonării defectelor (segregări, goluri) cu beton epoxidic

În unele cazuri, la punerea în lucrare a betonului fără respectarea regulilor specifice, vibrare insuficientă, granulozitate greșită, fenomene de segregări, rezultă caverne și goluri în elemente. Ele pot fi vizibile sau se pot depista cu metode nedistructive. Aceste goluri se rezolvă în general prin umplerea lor cu materiale de reparații pe bază de ciment sau de rășini epoxidice

### 6.3.5. Consolidarea elementelor de beton armat prin tehnologia cămășuirii

Consolidarea reprezintă un procedeu de remediere prin refacerea și/sau creșterea capacității portante a elementelor. În funcție de scopul aplicării procedurii și de tipul de element, cămășuirea cu beton armat se poate realiza pe o latură sau pe mai multe, pe toată înălțimea construcției sau local la unele niveluri, acest procedeu putând fi asociat și cu alte tehnologii precum injectarea fisurilor și/sau completări cu beton a golurilor.

6.3.5.1. Consolidarea stâlpilor de beton armat prin tehnologia cămășuirii;

6.3.5.2. Consolidarea grinzilor de beton armat prin tehnologia cămășuirii;

6.3.5.2.1. Consolidarea grinzilor de beton armat prin tehnologia cămășuirii grinzilor pe trei laturi;

6.3.5.2.2. Consolidarea grinzilor de beton armat prin tehnologia cămășuirii grinzilor pe patru laturi;

6.3.5.3. Consolidarea pereților structurali de beton armat prin tehnologia cămășuirii.

### 6.3.6. Alte tehnologii de consolidare a elementelor din beton armat

6.3.6.1. Consolidarea plăcilor din beton armat prin suplimentarea armăturilor la partea inferioară;

6.3.6.2. Consolidarea plăcilor din beton armat prin suplimentarea armăturilor și suprabetonare la plăci;

6.3.6.3. Consolidarea plăcilor din beton armat prin utilizarea profilelor metalice la partea inferioară a plăcilor;

6.3.6.4. Consolidarea plăcilor din beton armat prin utilizarea tiranților la panourile de planșeu prefabricate;

6.3.6.5. Consolidarea chesoanelor prefabricate de beton armat prin suplimentarea reazemelor;

6.3.6.6. Consolidarea grinzilor din beton armat prin suplimentarea armăturilor la partea inferioară;

6.3.6.7. Consolidarea grinzilor din beton armat prin utilizarea tiranților metalici la grinzi;

6.3.6.8. Consolidarea grinzilor din beton armat prin utilizarea cornierelor metalice.

### 6.3.7. Consolidarea elementelor de beton armat prin utilizarea materialelor compozite din fibra de carbon (CFRP<sup>1</sup>)

Pentru consolidarea elementelor de beton armat prin utilizarea materialelor compozite din fibra de carbon (CFRP) se pot alege materiale de la diverși producători. S-au ales materialele de la ISOMAT Grecia datorită colaborării cu aceștia în cadrul unui proiect de consolidare. Nu pot de asemenea să nu amintesc de unul dintre cei mai mari producători din lume și furnizori de soluții și anume Sika<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> CFRP este abrevierea pentru materialele compozite cu fibră de carbon (CFRP = Carbon Fiber Reinforced Polymer). În normativul românesc, abrevierea este PAFC (Polimer Armat cu Fibră de Carbon).

<sup>2</sup> Sika este prezentă pe piața din România sub denumire de Sika România cu sediul în Brașov pe str. Ioan Clopoțel Nr. 4.

### 6.3.7.1. Consolidarea stâlpilor de beton armat prin materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP)

Este posibil ca, în anumite condiții, stâlpii unei construcții să prezinte insuficientă rezistență sau / și ductilitate, impunându-se consolidarea lor urgentă.

Consolidarea stâlpilor se face în următoarele situații:

- adaptarea unor construcții vechi la noi reglementari.
- îmbătrânirea materialelor de construcție și coroziunea armăturii.
- defecțiuni de construcție (de exemplu număr, repartizare și plasament insuficient al etrierilor).
- creșterea sarcinilor sau schimbarea destinației spațiului.
- remediere după seism, etc.

Materiale necesare:

Megawrap-200:	Țesătură din fibre de carbon orientate pe o direcție. Dimensiuni uzuale: (l*h-L) 600*0,11 mm - 50m;
Epomax-Ld:	Rășină epoxidică bi-componentă pentru impregnare;
Epomax-Ek (dacă este cazul):	Pastă epoxidică;
Megacret-40(dacă este cazul):	Mortar cu rășină pentru reparații, armat cu fibre disperse.
Nisip cuarțos:	Conform proiect;
Acetonă tehnică:	Pentru curățarea echipamentelor de lucru, conform proiect tehnologic.

Utilaje / echipamente minime necesare:

Termometru:	1 bucată
Higrometru:	1 bucată
Daltă, șpiț, ciocan:	minim 2, 3 seturi
Perie de sârmă:	minim 2 bucăți
Aparatul Pull-off (după caz):	1 bucată
Compresor:	1 bucată
Popi / elemente de susținere (după caz):	Conform proiect tehnologic
Echipament de protecție:	mănuși, ochelari, etc.

Lucrările de remediere nu pot începe decât după îndeplinirea următoarelor condiții:

- temperatura mediului ambiant și a elementului care se remediază trebuie să fie de minimum +10 grade C în perioada execuției remedierii și de minimum 7 zile după executarea acesteia;
- umiditatea relativă a aerului să fie de maximum 60% în perioada execuției remedierii;
- temperatura materialelor utilizate să fie de minimum +10 grade C și de maximum +30 grade C;
- suprafețele de beton care vin în contact amestecurile pe bază de rășini epoxidice să fie uscate;
- nisipul cuarțos cât și uneltele cu care se lucrează să fie perfect uscat/uscate;

Vasele și celelalte unelte de lucru se vor curăța imediat după terminarea lucrului.

Operațiile tehnologice sunt următoarele:

- 6.3.7.1.1. Se realizează lucrările de sprijinire (dacă este cazul);
- 6.3.7.1.2. Se curăță bine suportul de părțile slabe (tencuieli, vopsele, grăsimi) de pe toate suprafețele laterale ale stâlpului; Suprafețele de beton decoperțate se curăță cu peria de sârmă (de sus în jos), se suflă cu aer comprimat.
- 6.3.7.1.3. Fisurile existente (dacă există) se repară prin injectarea de rășină.
- 6.3.7.1.4. Colțurile exterioare se rotunjesc cu o rază de 10-30 mm.
- 6.3.7.1.5. Suprafețele pe care urmează să se facă aplicarea trebuie să fie netede. Eventualele reparații ale netezimii suportului se fac cu mortarul de ciment armat cu fibre Megacret-40 sau cu pastă epoxidică Epomax-EK.



- 6.3.7.1.6. Suprafața pregătită corect se acoperă cu rășina epoxidică Epomax-LD. Țesătura Megawrap-200 se taie cu foarfeca la dimensiunile necesare, se aplică cu atenție, bine întinsă, pe stratul proaspăt de rășină și se presează meticolos cu un rulu de plastic, pentru un contact bun cu suportul, pentru impregnarea sa și eliminarea bulelor de aer. Dacă, în ciuda presării minuțioase, pe țesătură rămân puncte uscate, aceste puncte vor fi acoperite și pe deasupra cu Epomax-LD, pentru ca toată țesătura să fie impregnată perfect. La înfășurarea stâlpilor este necesară suprapunerea capetelor fâșiei pe 15-20 cm.
- 6.3.7.1.7. Dacă proiectul prevede mai multe straturi, procedura de aplicare de mai sus se repetă. În acest caz va trebui ca stratul precedent de Epomax-LD să nu se fi uscat total, altfel se impune frecarea temeinică a suprafeței înaintea unei noi aplicări.
- 6.3.7.1.8. Ultimul strat se acoperă, de asemenea, cu Epomax-LD și pe stratul încă proaspăt se presară nisip cuarțos, urmând ca mai târziu să se acopere cu un strat protector de mortar.

#### NOTĂ

- Eficiența consolidării se stabilește din raportul laturilor secțiunii stâlpului (un raport mai mare al laturilor înseamnă un coeficient mai mic de eficiență), ca și din raza de curbură a colțurilor (o curbură mai mare înseamnă o eficiență mai mare a consolidării).
- Dacă se cere verificarea rezistenței suportului, aceasta se face cu aparatul Pull-off.
- În multe cazuri, consolidările prin utilizarea materialelor compozite presupun o pregătire înaltă în acest domeniu de cunoaștere. Din acest motiv, atât experiența aplicatorilor cât și supravegherea atentă sunt considerate absolut necesare pentru asigurarea unor intervenții corecte.
- O atenție deosebită se va acorda la tăierea țesăturii, pentru a nu produce îndoituri și rupturi în țesătură. De asemenea, suprafața țesăturii trebuie să fie curată atunci când se aplică, fără praf, grăsimi, etc.
- La înfășurarea stâlpilor nu este necesară suprapunerea a două fâșii succesive între ele pe înălțime. Distanța dintre acestea însă nu trebuie să fie mai mare de 10 mm.
- Timpul de aplicare a sistemelor epoxidice se reduce o dată cu creșterea temperaturii mediului.
- Dat fiind faptul că pe timpul dezvoltării unor temperaturi înalte în construcție (de exemplu în caz de incendiu) eficiența consolidării se reduce semnificativ, este necesară protejarea exterioară a confinării de materiale compozite (tencuieli speciale, gips carton, etc.). De asemenea, suprafața finală reparată trebuie protejată și de expunerea la radiația solară.
- Pe timpul aplicării este necesară utilizarea echipamentului de protecție (mănuși, ochelari, etc.).

#### **6.3.7.2. Consolidarea grinzilor de beton armat cu materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP) la creșterea rezistenței la forța tăietoare**

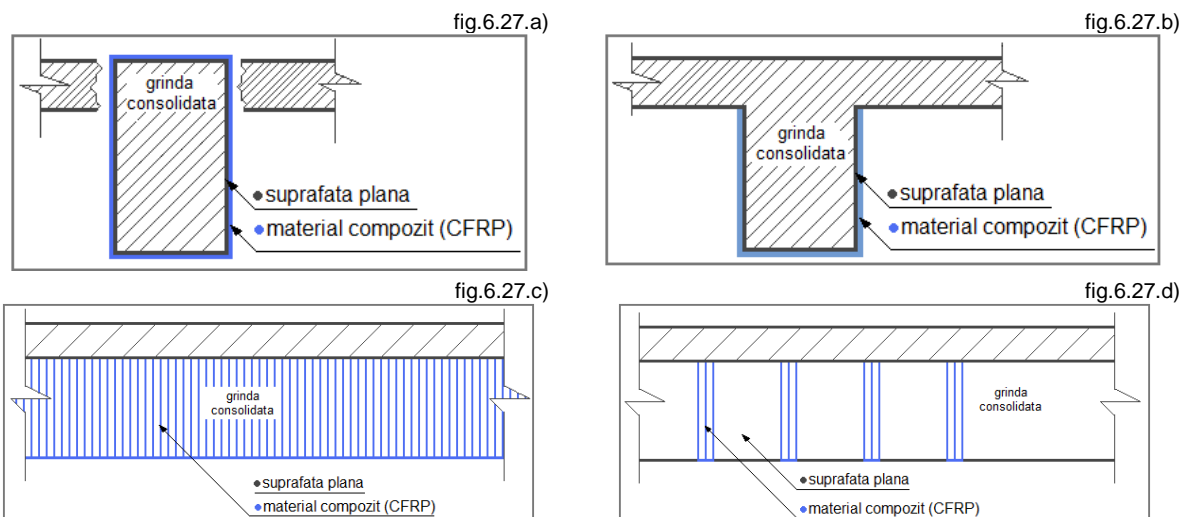
Necesitatea creșterii rezistenței grinzilor din beton armat la forța tăietoare poate să apară în următoarele situații:

- Creșterea sarcinilor sau schimbarea destinației spațiului.
- Necesitatea adaptării unor construcții vechi la noi reglementări.
- Îmbătrânirea materialelor de construcție, coroziunea armaturii sau/și defecțiuni de construcție.
- Necesitatea remedierii după seism.

Consolidarea poate fi realizată prin:

- Confinări închise, care îmbracă grinda total (fig.6.27.a) sau confinări deschise (fig.6.27.b);
- Confinări continue (fig.6.27.c) sau fâșii pe segmente (fig.6.27.d).

Deși confinările închise constituie soluția optimă din punct de vedere al comportării mecanice (fig.6.27.a), lucrul acesta nu este realizabil la cele mai multe grinzi, din cauza existenței plăcilor sau altor elemente sprijinite pe acestea, care nu permit înfășurarea țesăturii pe fața superioară a grinzii. În felul acesta, în cazul grinzilor de placă, modul obișnuit de consolidare este cel cu material compozit aplicat în forma de "U", pe laturile laterale și inferioară a elementului (fig.6.27.b).



Operațiile tehnologice sunt următoarele

- 6.3.7.2.1. Se realizează lucrările de sprijinire (dacă este cazul);
- 6.3.7.2.2. Se curăță bine suportul de părțile slabe, tencuieli, vopsele, grăsimi, etc., și în continuare se freacă bine cu o perie tare.
- 6.3.7.2.3. Fisurile existente se repară prin injectarea de rășini.
- 6.3.7.2.4. Suprafețele pe care se face aplicarea trebuie să fie absolut netede. Eventualele reparații ale netezimii suportului se fac cu mortar de ciment armat cu fibre MEGACRET-40 sau cu pastă epoxidică EPOMAX-EK.
- 6.3.7.2.5. Suprafața pregătită corect se acoperă cu rășina epoxidică EPOMAX-LD. Țesătura MEGAWRAP-200 se taie cu foarfeca la dimensiunile necesare, se aplică cu atenție, bine întinsă, pe stratul proaspăt de rășină și se presează meticolos cu un rulu de plastic, pentru un contact bun cu suportul, pentru impregnarea sa și eliminarea bulelor de aer. Dacă, în ciuda presării minuțioase, pe țesătură rămân puncte uscate, aceste puncte vor fi acoperite și pe deasupra cu EPOMAX-LD (pentru ca toată țesătura să fie impregnată perfect).
- 6.3.7.2.6. Dacă proiectul prevede mai multe straturi, procedura de aplicare de mai sus se repetă. În acest caz va trebui ca stratul precedent de EPOMAX-LD să nu se fi uscat total, altfel se impune frecarea temeinică a suprafeței înaintea unei noi aplicări.
- 6.3.7.2.7. Ultimul strat se acoperă, de asemenea, cu EPOMAX-LD și pe stratul încă proaspăt se presară nisip cuarțos, pentru ca mai târziu să se poată aplica tencuiala (stratul de finisaj).

#### NOTĂ

- În orice situație, lipirea optimă a confinării (pregătirea perfectă a suportului), ca și ancorarea temeinică (la capete) este condiția esențială pentru realizarea eficienței consolidării.
- Dacă se cere controlul rezistenței suportului, acesta se face cu aparatul Pull-off.
- În multe cazuri, consolidările prin utilizarea materialelor compozite presupun o pregătire înaltă în acest domeniu de cunoaștere. Din acest motiv, atât experiența aplicatorilor cât și supravegherea atentă sunt considerate absolut necesare pentru asigurarea unor intervenții corecte.
- O atenție deosebită se va acorda la tăierea țesăturii, pentru a nu produce îndoituri și rupturi în țesătură. De asemenea, suprafața țesăturii trebuie să fie curată atunci când se aplică.
- Timpul de aplicare a sistemelor epoxidice se reduce o dată cu creșterea temperaturii mediului.
- Pentru motive de "respirație" a elementelor de construcție (pentru evacuarea umezelii ocluse), se recomandă întreruperea continuității mantalei în lungul elementului de construcție, la fiecare circa 600 mm.
- Dat fiind faptul că pe timpul dezvoltării unor temperaturi înalte în construcție (de exemplu în caz de incendiu) eficiența consolidării se reduce semnificativ, este necesară protejarea exterioară a confinării de materiale compozite (tencuieli speciale, gips carton, etc.). Protecția este necesară și în cazul expunerii la radiația solară.
- Pe timpul aplicării este necesară utilizarea echipamentului de protecție (mănuși, ochelari, etc.).

### 6.3.7.3. Consolidarea grinzilor și plăcilor cu materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP) pentru creșterea rezistenței la încovoiere

Necesitatea creșterii rezistenței la încovoiere a grinzilor sau plăcilor din beton armat poate să apară în următoarele situații:

- Creșterea sarcinilor sau schimbarea destinației spațiului.
- Necesitatea adaptării unor construcții vechi la noi reglementări.
- Îmbătrânirea materialelor de construcție, coroziunea armaturii sau/și defecțiuni de construcție.
- Necesitatea remedierii după seism.

Consolidarea rezistenței la încovoiere a elementelor de construcție din beton armat (grinzi, plăci, ziduri mici, etc.) se realizează prin lipirea exterioară a materialelor compozite pe talpa elementelor de construcție supuse tensiunii. Pentru aceasta se folosesc în principal lamele industriale din fibre de carbon (Ex: Megaplate), ca și țesături din fire de carbon orientate pe o direcție (Ex: Megawrap-200), care se aplică cu fibrele pe direcția armăturii elementului.

Materiale necesare:

Megaplate (dacă este cazul):	Lamele din fibre de carbon. Dimensiuni uzuale: (l*h) 50*1,2 mm sau 100*1,2 mm. Lungimi: 50, 100, 250m;
Epomax-PI :	Pastă epoxidică bi-componentă pentru lipit;
Megawrap-200:	Țesătură din fibre de carbon orientate pe o direcție;
Epomax-Ld :	Rășină epoxidică bi-componentă pentru impregnare;
Epomax-Ek (dacă este cazul):	Pastă epoxidică;
Megacret-40 (dacă este cazul):	Mortar cu rășină pentru reparații, armat cu fibre disperse;
Nisip cuarțos:	Conform proiect;

Utilaje / echipamente minime necesare:

Termometru:	1 bucată
Higrometru:	1 bucată
Daltă, șpiț, ciocan:	minim 2, 3 seturi
Perie de sârmă:	minim 2 bucăți
Aparatul Pull-off (după caz):	1 bucată
Compresor:	1 bucată
Popi / elemente de susținere (după caz):	Conform proiect tehnologic
Echipament de protecție:	mănuși, ochelari, etc.

Lucrările de remediere nu pot începe decât după îndeplinirea următoarelor condiții:

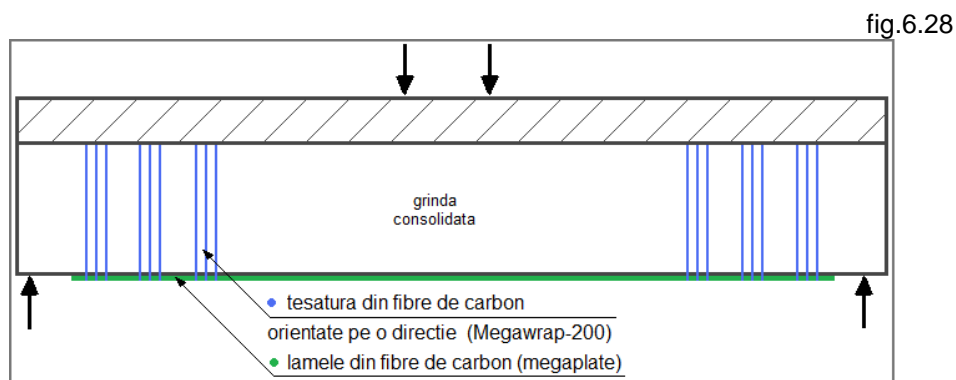
- temperatura mediului ambiant și a elementului care se remediază trebuie să fie de minimum +10 grade C în perioada execuției remedierii și de minimum 7 zile după executarea acesteia;
- umiditatea relativă a aerului să fie de maximum 60% în perioada execuției remedierii;
- temperatura materialelor utilizate să fie de minimum +10 grade C și de maximum +30 grade C;
- temperatura maximă pe parcursul exploatării să fie de maximum +50 grade C;
- suprafețele de beton care vin în contact amestecurile pe bază de rășini epoxidice să fie uscate;
- nisipul cuarțos cât și uneltele cu care se lucrează să fie perfect uscate;

Vasele și celelalte unelte de lucru se vor curăța imediat după terminarea lucrului.

Operațiile tehnologice sunt următoarele

- 6.3.7.3.1. Se curăță bine suportul de părțile slabe, tencuieli, vopsele, grăsimi, etc., și în continuare se freacă bine cu o perie tare.
- 6.3.7.3.2. Suprafața pe care urmează să se facă aplicarea trebuie să fie netedă. Eventualele reparații ale netezimii suportului se fac cu mortarul de ciment armat cu fibre MEGACRET-40 sau cu pasta epoxidică EPOMAX-EK.

- 6.3.7.3.3. În continuare se scoate banda protectoare de pe una din suprafețele lamelei de MEGAPLATE, pe care, cu un șpaclu, se aplică pastă epoxidică EPOMAX-PL. Pasta se aplică de așa natură încât surplusul de material să se concentreze spre mijlocul lamelei, nu spre margini.
- 6.3.7.3.4. În continuare, lamela se montează pe suprafața curată și se presează temeinic cu un rulu de plastic, pentru ca surplusul de pastă să iasă pe margini și să nu rămână aer oclus între pastă și beton. Grosimea totală a pastei EPOMAX-PL după efectuarea presării trebuie să fie de 0,5-2mm.
- 6.3.7.3.5. După montarea lamelei pe suprafața de aplicare se face și un control acustic, cu bătăi ușoare pe profil, pentru descoperirea eventualului aer oclus.
- 6.3.7.3.6. În cazul în care este prevăzută îmbunătățirea ancorării lamelor la capete, lucrul acesta poate fi realizat prin utilizarea unor fâșii de materiale compozite (MEGAWRAP-200), care funcționează și ca armătură contra forfecării (fig.6.28).



#### NOTĂ

- Elementele de construcție care urmează a fi consolidate trebuie să fie pe cât posibil libere de sarcini, dat fiind faptul că materialele compozite încep să lucreze o dată cu creșterea deformării existente.
- Sudarea optimă a lamelei (pregătirea perfectă a suportului), ca și ancorarea sa temeinică (dincolo de zona supusă consolidării rezistenței la încovoiere) este condiția esențială pentru realizarea eficienței consolidării.
- Se recomandă evitarea fragmentării lamelor, care oricum nu este necesară, dată fiind disponibilitatea materialelor de lungimi mari. Sunt însă permise intersecțiile lamelor sau țesăturilor (cu lipirea suprafețelor de contact).
- Dacă se cere verificarea rezistenței suportului, aceasta se face cu aparatul Pull-off.
- În multe cazuri, consolidările prin utilizarea materialelor compozite presupun o pregătire înaltă în acest domeniu de cunoaștere. Din acest motiv, atât experiența aplicatorilor cât și supravegherea atentă sunt considerate absolut necesare pentru asigurarea unor intervenții corecte.
- Lamelele MEGAPLATE sunt prevăzute cu o bandă specială pe ambele fețe, care se detașează cu puțin timp înaintea aplicării, ea asigurând o suprafață rugoasă, perfect curată, pentru o mai bună aderență atât a rășinii, cât și a acoperirii finale cu mortar.
- Pentru verificarea eficienței aplicării, ar putea fi aplicate 1-2 lamele în plus față de proiectul de structură, care vor fi controlate după metoda Pull-off imediat după uscarea sistemului sau periodic, pe durata de viață a consolidării.
- Timpul de aplicare a sistemelor epoxidice se reduce o dată cu creșterea temperaturii mediului.
- Dat fiind faptul că pe timpul dezvoltării unor temperaturi înalte în construcție (de exemplu în caz de incendiu) eficiența consolidării se reduce semnificativ, este necesară protejarea exterioară a sistemului de materiale compozite (tencuieli speciale, gips carton, etc.). Protecția este necesară și în cazul expunerii la radiația solară.

## Capitol 7 – REABILITAREA STRUCTURILOR DE BETON ARMAT PRIN FOLOSIREA COMPOZITELOR PE BAZĂ DE FIBRE DE CARBON

### 7.1. Aspecte generale

Structurile de beton armat existente în număr mare sunt, multe dintre ele, proiectate corespunzător la acțiuni gravitaționale dar având o capacitate portantă insuficientă la acțiuni orizontale de tip seism. Aceste structuri au fost proiectate conform standardelor în vigoare la data execuției lor, standarde care s-au modificat și îmbunătățit de-a lungul anilor. Multe construcții existente au depășit durata de exploatare proiectată fiind încă în exploatare datorită costurilor mari de înlocuire. Normele de proiectare mai vechi nu au inclus măsuri antisismice sau au specificat nivele reduse ale acțiunii seismice. Comportarea structurilor proiectate la acțiuni gravitaționale este neductilă și implicit prezintă moduri de distrugere inacceptabile. Proiectarea s-a făcut în scopul realizării unei rezistențe adecvate la acțiuni orizontale. Normele recente, pe plan național și internațional, au început să pună accentul pe detaliile de alcătuire și armare ale elementelor structurale în scopul comportării ductile generale în paralel cu asigurarea cerințelor de rezistență.

De asemenea structurile ductile existente, având o alcătuire și armare bună, se pot comporta deficitar la încărcări orizontale datorită acțiunilor seismice reale mai mari decât cele de proiectare, modificărilor destinației clădirilor, factorului de importanță, deteriorărilor de durabilitate în timp. S-a observat recent, la cutremurele din Hanshin-Awaji (Kobe, Japonia - 1995) și Kocaeli (Turcia - 1999), că structurile de beton armat existente, proiectate conform normelor mai vechi la încărcări gravitaționale sau forțe seismice reduse, s-au comportat nesatisfăcător.

În prezent, proiectarea antisismică structurală a atins un nivel ridicat, oferind o imagine reală asupra performanțelor de comportare structurală. Pe de altă parte, simularea și evaluarea comportării structurilor existente este în stadiul de dezvoltare prezentând limitări de siguranță în folosirea și aplicarea la un număr larg de tipuri de structuri.

Evaluarea comportării structurilor existente la acțiuni seismice a fost recent luată în considerare. La ora actuală, cu excepția Normelor japoneze pentru evaluarea capacității seismice a clădirilor existente de beton armat și a unor îndrumătoare de proiectare, există puține specificații în normative cu privire la determinarea rezistenței la acțiuni seismice a construcțiilor existente. Câteva normative, cum ar fi EUROCODE 8, au început să cuprindă indicații pentru reabilitarea și consolidarea structurilor existente.

### 7.2. Prezentarea programului experimental. Realizarea elementelor experimentale și rezultate experimentale obținute

În cele ce urmează, se prezintă programul experimental în care s-au folosit materiale FRP<sup>1</sup> pentru consolidarea anumitor tipuri structurale de elemente din beton armat:

- 7.2.1. Consolidarea pe două direcții la plăci prin utilizarea materialelor compozite (FRP);
- 7.2.2. Repararea grinzilor din beton armat, după cedarea la forța tăietoare prin aplicarea de materiale FRP;
- 7.2.3. Armarea stâlpilor din beton armat cu CFRP<sup>2</sup>;
- 7.2.4. Consolidare cu CFRP a cadrelor din beton armat.

#### 7.2.1. Consolidarea pe două direcții la plăci prin utilizarea materialelor compozite (FRP)

Soluția de consolidare cu materiale FRP a plăcilor armate pe două direcții la încovoiere are :

- avantajul unui montaj rapid ;
- dezavantajul unui cost ridicat dar și a unei flexibilități / rigiditate scăzută a materialului care poate cauza o scădere a ductilității plăcilor.

<sup>1</sup> **FRP** este abrevierea internațională pentru materialele compozite armate cu fibră (**FRP** = **Fiber Reinforced Polymer**). În normativul românesc, abrevierea este **PAF** (**Polimer Armat cu Fibră**).

<sup>2</sup> **CFRP** este abrevierea pentru materialele compozite armate cu fibră de carbon (**CFRP** = **Carbon Fiber Reinforced Polymer**). În normativul românesc abrevierea este **PAFC** (**Polimer Armat cu Fibră de Carbon**).

### 7.2.1.1. Program experimental

Betonul preparat a fost conceput pentru a atinge o rezistență medie la compresiune de 34 N/mm<sup>2</sup> după 28 de zile C25/30 (Bc30). Armăturile de oțel sunt Ø 10 mm din PC 52.

Lamele de GFRP<sup>1</sup> și CFRP au fost principalele două materiale utilizate în acest experiment.

GFRP: Lamele din fibră de sticlă (GFRP) de grosime 1,0 mm / strat.

CFRP: Lamele din fibră de carbon (CFRP) de grosime 1,2 mm / strat.

S-a folosit rășină epoxidică bi-component pentru amândouă tipurile de materiale (GFRP și CFRP) conform specificațiilor producătorului.

Proprietățile materialelor sunt enumerate în:

- tabel 7.2.1.1 (rețetă beton),
- tabel 7.2.1.2 (proprietăți oțel beton),
- tabel 7.2.1.3 (proprietățile materialelor de consolidare FRP)

Tabel 7.2.1.1

Nr. crt	Materiale pentru 1 mc de beton C25/30	UM	Cantitate
1.	Pietris	Kg	1.160
2.	Nisip	Kg	690
3.	Ciment	Kg	382
4.	Raport A/C	-	0,5
5.	Superfluidizant	ml	440
6.	Aer agent de antrenare	ml	68,3

Tabel 7.2.1.2

Nr. crt.	Marca de oțel	Diametrul nominal	Limita de curgere	Rezistența de calcul	Rezistența minimă la tracțiune	Alungirea la rupere	Încercarea la îndoire la rece	
		[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		Unghiul de îndoire	Diametrul dornului
						[%]	grade	
1.	PC 52	10	355	300	510	20	180	3 d

Tabel 7.2.1.3.

Tip	Grosime [mm]	Rezistența la tracțiune [N/mm <sup>2</sup> ]	Modulul elastic [N/mm <sup>2</sup> ]
Banda CFRP	1,2	2.800	163.000,0
Banda GFRP	1,0	600	26.130,0

### Plăci din beton armat pentru test

Plăcile testate au avut forma unui pătrat de latură 1.900 mm și 150 mm grosime. Au fost realizate șase (6) plăci din care două au fost folosite ca exemplare de control (neconsolidate) și anume:

- Ref-0,35% cu raportul de armare de 0,35%;
- Ref-0,50% cu raportul de armare de 0,50%.

Cele patru (4) plăci consolidate folosind benzi FRP au fost numite după materialul folosit și procentul de armare astfel:

#### CFRP

- CFRP-0,35% având raportul de armare de 0,35%;
- CFRP-0,50% având raportul de armare de 0,50%.

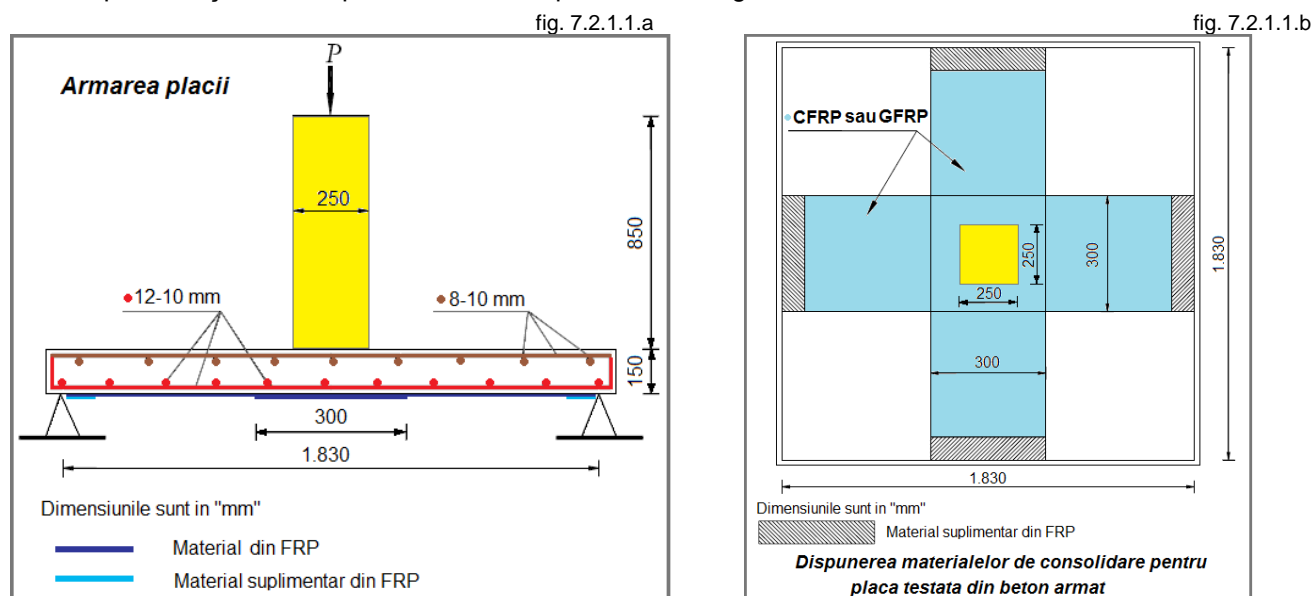
#### GFRP

- GFRP-0,35% având raportul de armare de 0,35%;
- GFRP-0,50% având raportul de armare de 0,50%.

<sup>1</sup> GFRP este abrevierea internațională pentru materialele compozite armate cu fibră de sticlă (GFRP = Glas Fiber Reinforced Polymer). În normativul românesc abrevierea este PAFS (Polimer Armat cu Fibră de Sticlă).



Plăcile testate au fost simplu sprijinite de-a lungul celor patru margini având colțurile libere pentru a se putea ridica. Au fost încărcate axial, prin intermediul unui stâlp pătrat, de latura 250 mm și înălțimea de 850 mm. Dispunerea și armarea plăcii testate este prezentată în fig. 7.2.1.1.



### 7.2.1.2. Procedura de consolidare

Exemplarele de control, Ref-0,35% și Ref-0,5%, au fost testate pentru a estima capacitatea și caracteristicile tipice ale mostrelor neconsolidate. Mostrele au fost încărcate la jumătate din sarcina finală corespunzătoare plăcii de referință.

### Modul de realizare a consolidării

Suprafețele plăcilor care s-au consolidat, cât și cea a materialelor de consolidare (FRP) s-au curățat cu grijă prin eliminarea prafului și a materialelor fine, conform specificațiilor producătorului. A fost aplicată o rășină epoxidică compusă din două părți (EPOMAX-PL), după ce-a fost bine omogenizată prin malaxare, pe suprafața betonului precum și pe suprafața materialului FRP. Apoi, materialele FRP s-au așezat pe suprafața cu rășină epoxidică a plăcii de beton. Materiale de consolidare (FRP) au fost dublate la ambele capete chiar înainte de zona de sprijin și numai la partea de jos (întinsă) a plăcii pe o lungime de 60 mm (fig. 7.2.1.1). Aceste straturi transversale de benzi (FRP) s-au legat la sfârșitul materialului (FRP) ca o încercare de a reduce dezlipirea materialelor.

### 7.2.1.3. Rezultate experimentale

Rezultatele testelor includ măsurători ale capacității sarcinii finale, caracteristicile de deformare și deformarea armăturilor. De un interes deosebit în studiul curent este capacitatea finală a fiecărei plăci testate. Consolidarea plăcilor a arătat o creștere a capacității de încărcare, comparativ cu elementele de referință. Plăcile CFRP-0,35% și GFRP-0,35% au arătat o creștere de circa 31% și respectiv circa 28%, la capacitatea de încărcare maximă în comparație cu cea a elementelor neconsolidate REF-0,35%. În plus, plăcile CFRP-0,50% și GFRP-0,50% au arătat o creștere de circa 27% și respectiv 20,48%, din capacitatea maximă de încărcare în comparație cu cea a elementului neconsolidat, REF-0,5%.

Se prezintă capacitatea maximă a fiecărei plăci testate (Tabelul 7.2.1.4)

Nr. Crt.	Denumire mostra	P <sub>max</sub>	creștere
		(kN)	%
1.	REF - 0,35%	250	0
2.	CFRP - 0,35%	361	30,75
3.	GFRP - 0,35%	345	27,54
4.	REF - 0,50%	330	0
5.	CFRP - 0,50%	450	26,67
6.	GFRP - 0,50%	415	20,48

### 7.2.1.4. Rezumat și concluzii

Plăcile consolidate cu benzi de CFRP au demonstrat o creștere medie de sarcină, ducând la o creștere a capacității maxime de aproximativ 31% peste cea a plăcii de control. Consolidarea plăcilor cu materiale GFRP au demonstrat o creștere medie a capacității maxime de încărcare de aproximativ 28% față de cea a plăcii de control neconsolidată.



## 7.2.2. Consolidarea / repararea grinzilor din beton armat, după cedarea la forța tăietoare prin aplicarea de materiale compozite (FRP)

Scopul acestei cercetări este de a observa experimental modul de lucru al materialelor compozite la grinzile din beton armat deteriorate și comportarea acestora după reparare.

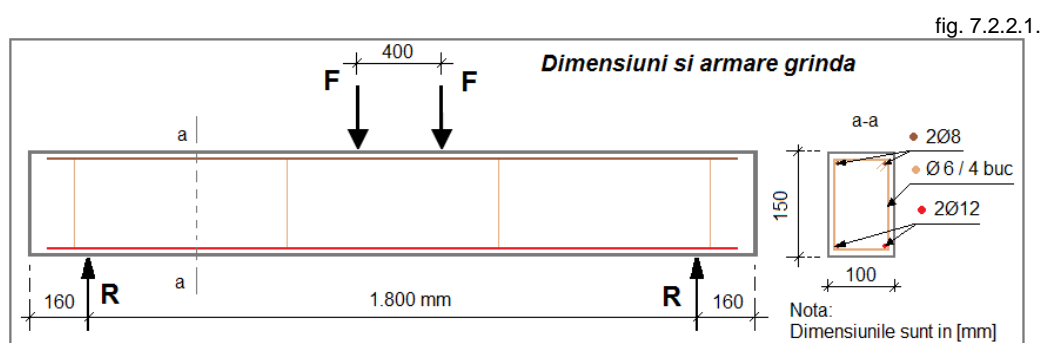
### 7.2.2.1. Realizarea experimentală

#### Specificații grinzi

Patru grinzi cu dimensiuni identice (2.440x150x100 mm), din aceeași marcă de beton și având același tip de armare, au fost realizate conform figurii 7.2.2.1.

S-a folosit o armare insuficientă la forța de forfecare astfel încât să avem daune semnificative, din forfecare, atunci când sunt supraîncărcate.

Grinzile au fost încărcate treptat până la distrugere, care a corespuns unei forțe în medie de 39 kN, ca sarcină totală. Daune din forța de forfecare au apărut la un capăt al grinzii, cealaltă parte a rămas relativ intactă. Deschiderea fisurilor de forfecare au fost, în medie, de aproximativ 25 mm și a fost observată o pierdere semnificativă de beton. Acest lucru este normal pentru distrugerea la forța de forfecare observate după solicitarea din cutremurele de pământ.



### 7.2.2.2. Procedura de consolidare a grinzilor la forța tăietoare.

Patru metode diferite pentru reparare se aplică după cum urmează:

- Grinda 1 este reparată prin metoda elementelor metalice, jug din oțel. Trei (3) juguri din oțel constând din tije filetate (2 bucăți) având diametrul de 10 mm dispuse pe ambele laturi ale grinzii sunt prinse cu ajutorul a două plăci din oțel dispuse deasupra, respectiv dedesubtul grinzii, prin care trec tijele care se strâng de plăcile metalice cu ajutorul unor piulițe.
- Grinda 2 este reparată prin metoda benzilor CFRP. Benzile CFRP au o lățime de 80 mm și grosime de 1,2 mm și sunt lipite la 45 grade înclinare în zona predispusă la fisurare din forța de forfecare pe ambele laturi ale grinzii. Distanța dintre benzile CFRP pe direcția orizontală: 110 mm.
- Grinda 3 este reparată prin confinare cu țesătură GFRP. Se aplică cinci (5) straturi peste zona fisurată din forța de forfecare cu orientare pe verticală a fibrelor. Lățimea acestei țesături: 600 mm.
- Grinda 4 este reparată prin confinare cu țesătură. Se aplică cinci (5) straturi peste zona fisurată din forța de forfecare cu orientare pe verticală a fibrelor. Lățimea fiecărei țesături: 300 mm. Pentru a acoperi întreaga zonă de deteriorare au fost aplicate două seturi de țesături, care acoperă o lățime totală de 600 mm.

Procedura de pregătire a grinzilor este următoarea:

- Pentru a aduce grinda la forma inițială s-a aplicat o forță opusă ca direcție cu cea de încercare, din partea deteriorată a grinzii, cu scopul de a o îndrepta, după încercarea inițială la forfecare. Forța aplicată a fost de 40 kN și a condus la scăderea semnificativă a deschiderii fisurii din forța tăietoare la mai puțin de 10 mm pentru fiecare caz. Forma grinzii inițiale a fost aproape complet recuperată.
- S-a aplicat EPOMAX-EK (pastă epoxidică) pentru a umple fisurile.
- Datorită deteriorării substanțiale a grinzilor din timpul testării inițiale, părțile lipsă din beton au trebuit să fie adăugate. Reparațiile s-au executat cu ciment rapid folosind agregate de dimensiuni mici (max. 7 mm diametru).
- Numai pentru cazurile de confinare, grinzile solicitate au fost pregătite prin rotunjirea colțurilor de margine și aplicare de grund epoxidic cu viscozitate scăzută. Două tipuri de adezivi de rezistență au

fost utilizați - EPOMAX-EK pentru umplerea fisurilor și pentru recuperarea formei inițiale a grinzii, EPOMAX-LD pentru a atașa benzile și pentru lipirea țesăturii.

Echipe de testare și de poziționare a mijloacelor de măsurare

Toate grinzile au fost testate folosind patru puncte de încărcare (două puncte de acțiune și două reazeme), cu aceleași echipamente utilizate pentru încercarea inițială la forță tăietoare, pentru a asigura poziționarea aceleași sarcini punctuale și reazeme. Patru plăci metalice din oțel de 9 mm grosime au fost poziționate sub forțele de încărcare și la dispozitivele de reazem, pentru a reduce concentrația solicitării și pentru a preveni zdrobirea locală a betonului. Dimensiunile plăcilor din reazeme: 160x100x9 mm ( $L \cdot l \cdot h$ ).

Șapte indicatori, cu cadran, de măsurare a deformațiilor au fost folosiți pentru a măsura săgeata / deformația grinzii la încărcare și anume: două instrumente de măsură la fiecare capăt, unul la jumătatea deschiderii și două la punctul de mijloc dintre centru și reazemele din stânga, respectiv dreapta (fig.7.2.2.10).

Zece perechi de aparate de măsură au fost amplasate în centrul grinzii, de-a lungul liniei verticale de fiecare latură a grinzii, cinci la fața anterioară și cinci la spate. Acestea au fost necesare pentru măsurarea eforturilor orizontale în beton, în funcție de poziția verticală în timpul încărcării.

Procedura experimentală a implicat o aplicare a sarcinii în trepte de câte 2kN. Sarcina a fost menținută timp de 20 de minute, la fiecare încărcare și au fost luate în acest interval de timp trei citiri din toate aparatele de măsură.

### 7.2.2.3. Rezultate experimentale

Grinda cu jugul de oțel s-a deteriorat la o încărcare de 32 kN, din cauza fisurării intensive la forfecare și a daunelor în zona de consolidare. Un posibil motiv pentru eficacitatea insuficientă a acestei metode este rigiditatea relativ scăzută a plăcilor aplicate pe fețele de sus și de jos a grinzii.

Deplasările măsurate pentru toate metodele sunt prezentate în figurile 7.2.2.6 – 7.2.2.9.

**GRINDA 1** consolidată cu jug din oțel a cedat la 32kN din cauza fisurilor din forță tăietoare pe partea consolidată a grinzii. Sarcina este semnificativ mai mică decât sarcina inițială pentru încercarea grinzii. Deformarea maximă la partea consolidată a grinzii a fost de 19,91 mm și la mijlocul deschiderii grinzii a fost de 19,87 mm.

**GRINDA 2** consolidată cu benzi din CFRP a cedat la 38kN din cauza fisurilor din forță tăietoare pe partea fără avarii a grinzii (fig. 7.2.2.10). Sarcina finală este aproximativ la fel ca și în timpul sarcinii inițiale de distrugere a grinzii așa cum a fost de așteptat. Deformarea maximă la partea consolidată a grinzii a fost de 11,19 mm și la jumătatea deschiderii grinzii a fost de 16,05 mm.

**GRINDA 3** consolidată prin confinare cu țesătură de GFRP a cedat la 38kN din cauza fisurilor din forță tăietoare pe partea fără avarii a grinzii (fig.7.2.2.12). Deformarea maximă la partea consolidată a grinzii a fost de 16,60 mm și la jumătatea deschiderii grinzii a fost de 19,10 mm.

**GRINDA 4** consolidată prin confinare cu țesătură de CFRP a cedat din cauza fisurilor din forță tăietoare pe partea fără avarii a grinzii (fig.7.2.2.11). Deformarea maximă la partea consolidată a grinzii a fost de 9,93 mm și la jumătatea deschiderii grinzii a fost de 13,98 mm.

fig. 7.2.2.6.

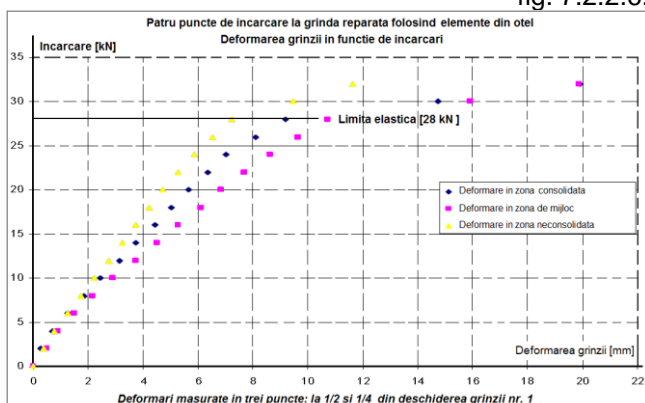
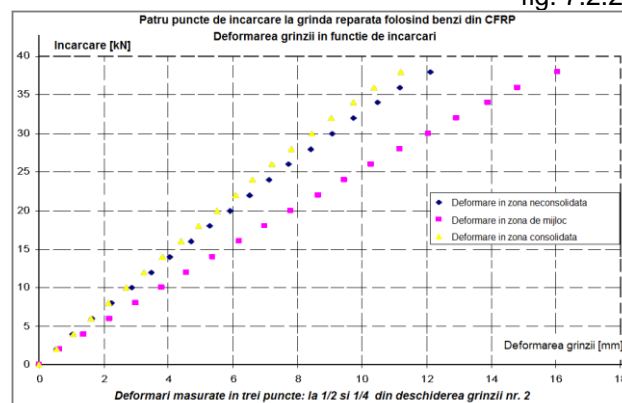
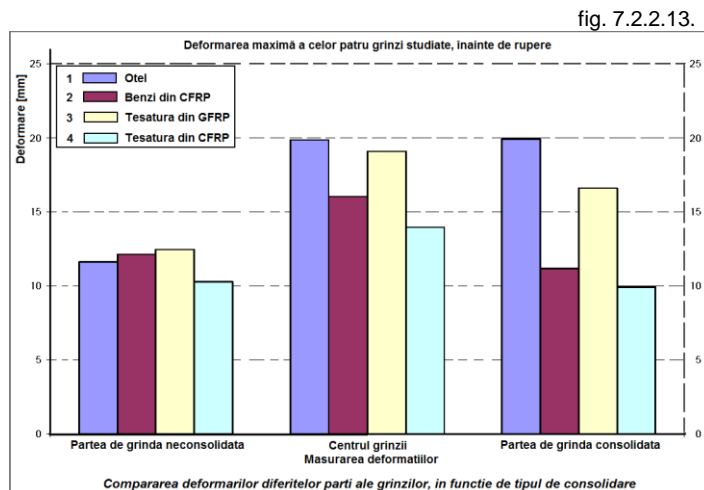
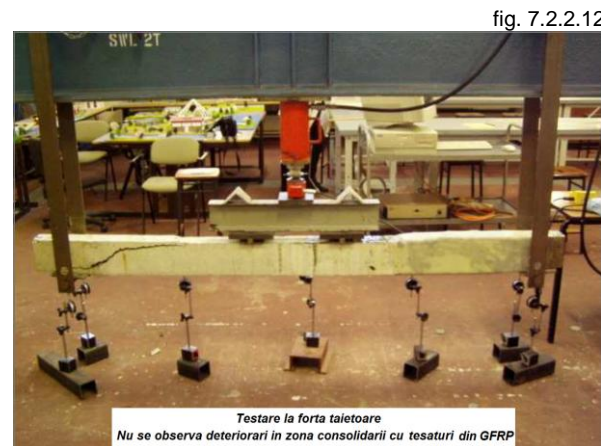
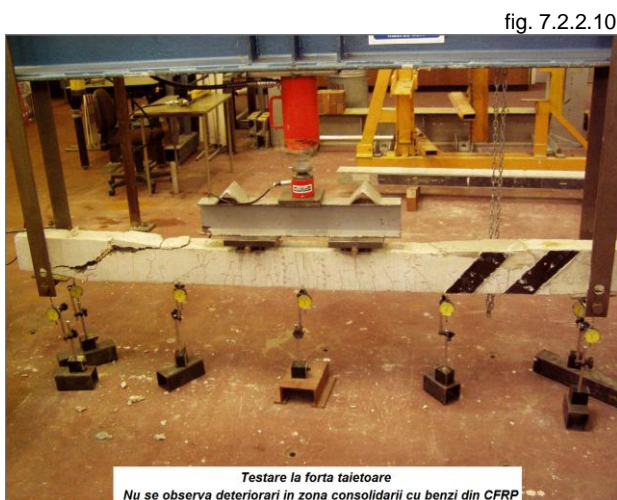
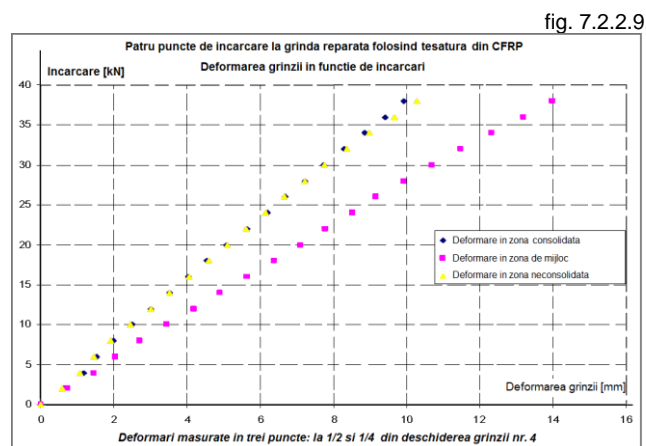
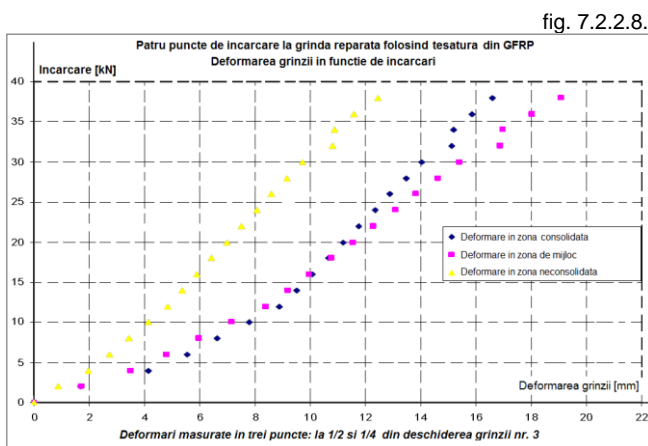


fig. 7.2.2.7.





#### 7.2.2.4. Concluzii

Următoarele concluzii au fost trase din studiul de față:

- confinarea cu țesătură de CFRP este metoda cu deformarea minimă înregistrată, care indică faptul că rigiditatea la forfecare, în acest caz, este cea mai ridicată.
- repararea cu lamele CFRP a fost cea mai simplă metodă aplicată, este mai puțin costisitoare decât confinarea cu țesătura de CFRP și are deformări relativ mici ale grinzii.
- confinarea cu țesătura de GFRP a răspuns bine ca metodă de consolidare, cu un cost relativ scăzut. Rigiditatea acestui tip de reparare este mai redusă în comparație cu alte metode de FRP.
- metoda reparării grinzii cu jug de oțel a fost mai puțin eficace în comparație cu metodele FRP și a eșuat din cauza rigidității insuficiente ale ambelor plăci de oțel (de sus și de jos).

Eficacitatea metodelor aplicate este estimată calitativ și a dovedit că tipurile analizate de FRP, la consolidarea din forfecare sunt eficiente pentru repararea grinzilor din beton armat deteriorate.

### 7.2.3. Armarea stâlpilor din beton armat cu materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP)

Metodele utilizate pentru consolidarea stâlpilor din beton armat pot fi diferențiate în funcție de modul lor de aplicare, prin:

- creșterea ariei secțiunii transversale a stâlpului,
- modificarea schemei statice structurale.

Tehnica convențională folosită pentru creșterea ariei secțiunii transversale a unui stâlp cuprinde următoarele:

- suplimentarea longitudinală și transversală a armăturii și creșterea secțiunii transversale a betonului armat,
- secțiuni suplimentare din oțel,
- prinderea prin sudură sau cu șuruburi a profilelor din oțel sau a foilor de tablă.

Modificarea schemei statice structurale se realizează prin intermediul unor stâlpi suplimentari din oțel sau cu ajutorul unor dispozitive care preiau încărcările și le transmit direct la fundație.

Ipotezele pentru consolidarea elementelor structurale comprimate folosind armarea cu materiale compozite pe bază de carbon se bazează în principal pe tehnici care implică o creștere a secțiunii transversale prin intermediul prinderii prin sudură sau cu șuruburi a profilelor din oțel sau a foilor de tablă sau gusee.

#### 7.2.3.1. Realizarea experimentală

Obiectivul studiului a fost de a determina interdependența intensității armării externe și capacitatea la încărcare a elementului. Au fost testați stâlpi din beton armat la scara 1:5, având secțiunea transversală de 80x150 mm și înălțimea de 600 mm (fig. 7.2.3.2).

#### 7.2.3.2. Procedura de consolidare

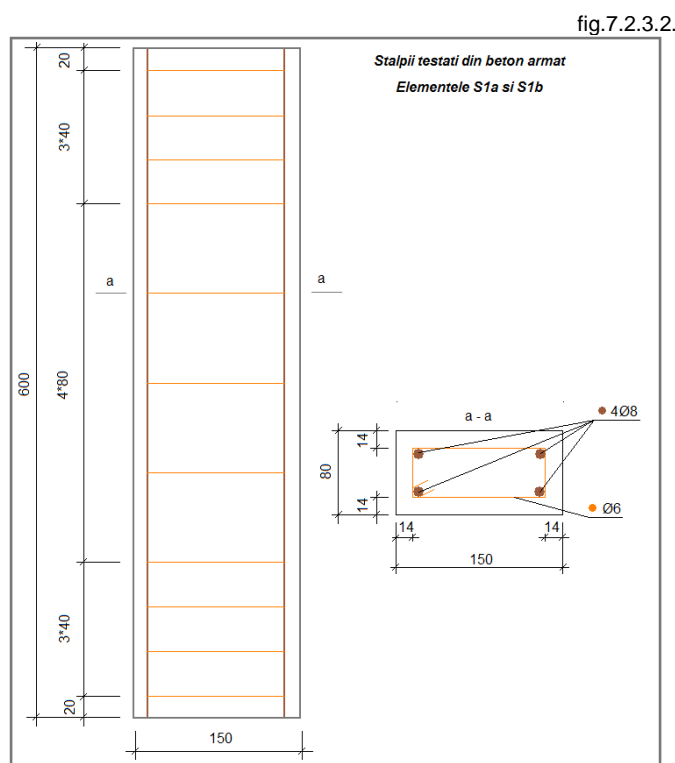
Armătură longitudinală a constat din patru bare de oțel PC 52 cu diametrul  $\varnothing 8$ , în timp ce armarea transversală a fost formată din etrieri de oțel OB37 cu diametrul  $\varnothing 6$ . Spațierea între etrieri la capetele elementului a fost de aproximativ 40 mm (fig. 7.2.3.2). Stâlpii au calculați pentru o rezistență medie la compresiune de min 30 [N/mm<sup>2</sup>], adică clasa C25/30.

Pentru realizarea obiectivelor proiectate au fost examinate două serii de elemente. Prima serie marcată cu "a", compusă din 5 elemente cu raportul de armare diferit, prin folosirea de benzi CFRP longitudinale de diferite dimensiuni (tabelul 7.2.3.1). A doua serie marcată cu "b", compusă din 5 elemente cu raportul de armare diferit, folosind benzi longitudinale CFRP de diferite dimensiuni (identice ca la seria "a") și benzi transversale din CFRP (tabelul 7.2.3.1). Benzile transversale din CFRP au fost montate pe același nivel ca și etrierii din oțel.

Raportul de armare ( $\rho_w$ ) poate fi exprimat prin relația dintre zona de benzi CFRP ( $A_L$ ) și aria secțiunii transversale a elementului ( $A_b$ ) de beton.

În plus, au fost examinate două mostre de control, stâlpi fără armare cu CFRP (S1a și S1b), pentru a determina capacitatea lor efectivă de încărcare și să descrie mecanismul de distrugere.

Următoarele materiale, de la ISOMAT Grecia, au fost folosite pentru consolidarea elementelor: lamele MEGAPLATE de lățime 120 mm, având grosimea de  $h=1,4$  mm, iar lățimea a fost ajustată în funcție de raportul dorit de armare, lipite cu rășina EPOMAX-PL; țesătură MEGAWRAP-200 de 0,11 mm, lipită cu rășina EPOMAX-PL. Au fost aplicate întărituri în conformitate cu cerințele stricte tehnologice.





Tabel 7.2.3.1

	S6a	S5a	S4a	S3a	S2a
Media elementelor	1	1	1	1	1
Secțiunea armării FRP [mm]	120*1,4-2 buc 60*1,4-2 buc	90*1,4-2 buc 60*1,4-2 buc	60*1,4-4 buc	60*1,4-2 buc 30*1,4-2 buc	30*1,4-4 buc
Secțiunea armaturii FRP [cm <sup>2</sup> ]	5,04	4,20	3,36	2,52	1,68
Procentul de armare FRP fata de beton [%]	4,20	3,50	2,80	2,10	1,40
	S6b	S5b	S4b	S3b	S2b
Media elementelor	1	1	1	1	1
Secțiunea lamei de țesătură FRP [cm <sup>2</sup> ]	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52

Valorile caracteristicilor materialelor folosite (beton, armătură de oțel și compozite CFRP) sunt prezentate în tabelul 7.2.3.2.

Tabel 7.2.3.2.

Nr. crt.	Caracteristici	Valoare
		[N/mm <sup>2</sup> ]
<b>Beton C25/30</b>		
1	Rezistența la compresiune	35,7
2	Rezistența la tracțiune	2,79
<b>Armătura de oțel PC 52</b>		
1	Limita de curgere	378
2	Rezistența la tracțiune	535
3	Modulul de elasticitate	210.000
<b>Banda CFRP</b>		
1	Rezistența la tracțiune	2.866,60
2	Modul de tracțiune	170.000
<b>Țesătură CFRP</b>		
1	Rezistența la tracțiune	3.895
2	Modul de tracțiune	235.000

Elementele de testare au fost supuse la compresiune axială. Același program de testare a fost aplicat pentru ambele serii. Acesta a constat din 6 cicluri de încărcare inițială (până la aproximativ 1/3 ÷ 1/2 din limita capacității portante). Al șaptelea ciclu de încărcare a fost introdus pentru a observa mecanismul de distrugere. Sarcinile au fost aplicate în etape logice. Tensiunile longitudinale au fost măsurate cu ajutorul senzorilor cu o precizie de citire de 0,01 mm. În plus în zona de sprijin a elementelor, s-au folosit juguri din oțel pentru a elimina posibilele daune ale elementelor cauzate de presiunea pistonului de presă.

### 7.2.3.3. Rezultate experimentale

S-a constatat că probele marcate cu S2a și S3A având raportul de armare 1,43% și respectiv 2,14%, nu s-au comportat satisfăcător la încărcarea maximă, astfel încât acestea nu au fost luate în considerare în analiză.

Figura 7.2.3.5 și fig. 7.2.3.6 arată diagrame cu compararea valori medii ale sarcinilor longitudinale  $\epsilon_{vm}$  în funcție de relația de încărcare N aplicate la limita capacității portante maxime a elementelor narmate  $N_{na,S1}$  (stâlpii de referință/control).

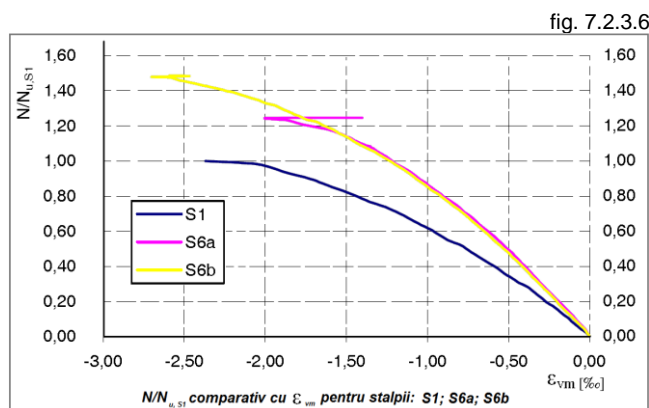
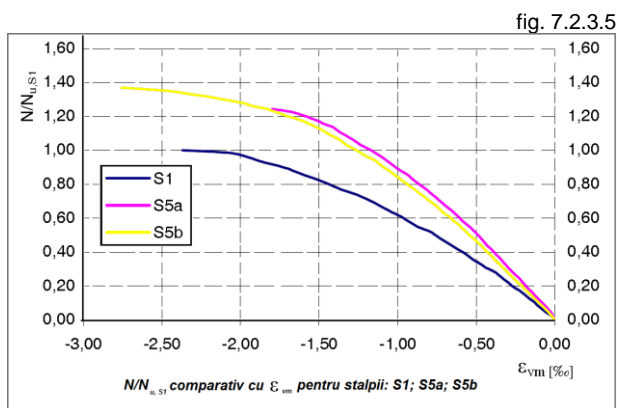


Figura 7.2.3.5 descrie diagramele pentru grupul de elemente tip S5, în timp ce fig.7.2.3.6 arată diagramele pentru grupul de elemente tip S6. În ambele cazuri, acestea au fost comparate cu diagrama de valori medii ale deformațiilor longitudinale  $\epsilon_{vm}$  obținute pentru stâlpii de control. Ar putea fi observat în fig. 7.2.3.5 și fig. 7.2.3.6 faptul că folosirea armării cu benzi longitudinale CFRP îmbunătățește abilitățile deformațiilor și a capacității maxime de încărcare cu 24%, în comparație cu elementele de control, pentru elementele S5a și respectiv S6a.

Utilizarea de armături suplimentare transversale prin intermediul benzilor CFRP previne dezlipirea rapidă a benzii și crește capacitatea de încărcare cu 32% și respectiv 37% pentru elementele S5b și S6b, în comparație cu stâlpii de control (tabelul 7.2.3.3.).

Denaturările diagramei S6a arătate în figura 7.2.3.6 sunt cauzate de dezlipirea CFRP de stâlp.

Tabel 7.2.3.3 a

Nr. crt	Denumire	UM	S1a	S4a	S5a	S6a
1.	Numărul de elemente	buc	1	1	1	1
2.	Capacitatea portanta maxima	[kN]	436,56	460,75	577,15	578,12
3.	Efortul vertical maxim [ε <sub>vm</sub> ]	[0/00]	2,46	2,10	1,87	2,07
4.	Creșterea capacității de încărcare	[%]	-	-	24	24

Tabel 7.2.3.3 b

Nr. crt	Denumire	UM	S1b	S4b	S5b	S6b
1.	Numărul de elemente	buc	1,00	1,00	1,00	1,00
2.	Capacitatea portanta maxima	[kN]	433,14	571,20	637,29	690,64
3.	Efortul vertical maxim [ε <sub>vm</sub> ]	[%]	2,37	2,82	2,80	2,69
4.	Creșterea capacității de încărcare	[%]	-	24	32	37

Observarea mecanismului de distrugere și evaluarea eșantioanelor de analiză a permis autorilor de a trage următoarea concluzie.

Eșecul elementelor din seria "A" a fost cauzat de:

- dezlipirea unei anumite părți a CFRP,
- daune instantanee în beton
- ductilitatea oțelului (figura 7.2.3.7).

Trei tipuri de dezlipire ar putea fi observate:

- dezlipirea de benzi cu adeziv și beton,
- dezlipirea de benzi cu adeziv,
- dezlipirea numai a benzilor.

Eșecul elementelor din seria "b" a fost cauzat de:

- ruperea unor benzi și dezlipirea instantanee a benzilor;
- daune ale betonului;
- ductilitatea oțelului.

Ruperea benzilor a fost întotdeauna precedată de fisurarea fibrelor de carbon. Similar au fost observate efecte acustice și în timpul testului cu țesătură CFRP.

### 7.2.3.4. Concluzii

Rezultatele studiilor au confirmat faptul că aplicarea de benzi CFRP pentru a consolida elementele comprimate, mărește capacitatea lor portantă. Utilizarea benzii suplimentare externe CFRP previne dezlipirea până la momentul de rupere al țesăturii și distrugerea elementului.

Rezultatele inițiale ale studiilor experimentale, menite să descrie mecanismul de deteriorare a elementelor din beton armat, în compresie, consolidate cu CFRP arată că, în cazul elementelor consolidate numai cu secțiuni longitudinale de CFRP benzi, distrugerea a fost cauzată ca urmare a rupei legăturii între compozit și adeziv.

Un alt motiv a fost separarea benzii de pe elementul de testare din beton. Dezlipirea benzii de pe beton, au fost observate în timpul inspecției vizuale. Ele au fost de 5-10 mm grosime.

Rezultatele cercetărilor au fost influențate de scara elementelor testate. Pentru evidențierea aportului adus de materiale compozite, raportate la elementul de beton (clasă / aport al armăturii din oțel), se impune reluarea cercetărilor pe elemente în scară naturală. Parametrul cele mai important care trebuie luat în considerare este raportul de armare ( $\rho_w$ ).

### 7.2.4. Consolidarea cadrelor din beton armat cu materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP)

Unele construcții existente cu structura în cadre din beton armat sau cu parter flexibil necesită consolidarea zonelor flexibile și/sau sensibile structural, fapt care prezintă o importanță structurală capitală pentru comportarea întregii clădiri la acțiuni seismice.

#### 7.2.4.1 Realizarea experimentală<sup>1</sup>

Programul experimental se concentrează pe posibilitatea aplicării compozitelor pe bază de fibre de carbon la cadre de beton armat.

În acest scop s-au proiectat și executat cadre portal dublu încastrate din beton armat având caracteristicile din figura 7.2.4.1. Aceste elemente experimentale s-au alcătuit conform normelor de proiectare din anii 1970 pentru a se modela comportarea unei structuri presupuse existentă.

Din motive de siguranță la transport și montaj, cadrele din beton armat au fost realizate prefabricat în cofraj orizontal. Cadrele (fig.7.2.4.2) au fost montate în poziția pentru încercarea experimentală iar în final au fost realizate fundațiile stâlpilor.

fig. 7.2.4.1.a

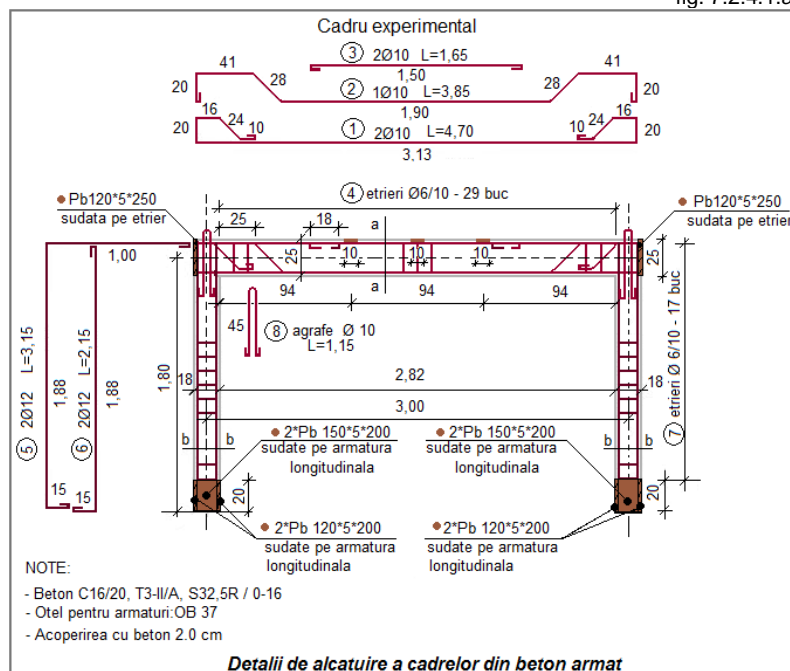
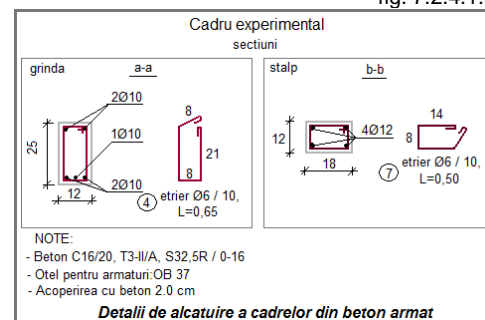


fig. 7.2.4.1.b



<sup>1</sup> Experimentul a fost realizat în cadrul Facultății de Construcții de la Universitatea "Politehnica" din Timișoara.

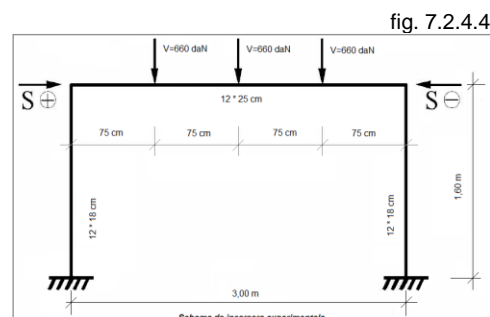
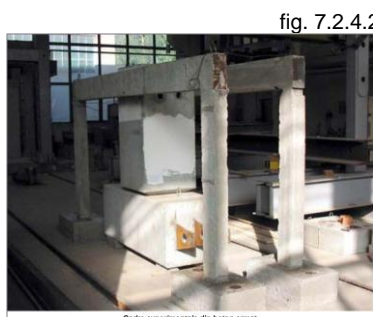


### 7.2.4.2. Procedura de consolidare

S-a realizat consolidarea stâlpilor (figura 7.2.4.3) din beton armat cu materiale compozite pe bază de fibre de carbon (CFRP) Sika:

- lamele longitudinale Sika Carbodur ancorate în fundații și nodurile superioare;
- țesături Sika wrap pentru confinarea transversală la ambele capete ale stâlpilor.

Încercarea cadrelor s-a făcut conform figurii 7.2.4.4.



Pe rigla cadrului s-a simulat o încărcare gravitațională uniform distribuită. Forța orizontală aplicată a simulat acțiunea seismică.

Pe timpul încercării s-au măsurat (stație de achiziție a datelor) treptele de încărcare (captoare de forță) și deformațiile: săgeți (captoare de deplasări); deformații specifice în armături și beton (timbre tensometrice).

Calculul, proiectarea și alcătuirea cadrelor s-a realizat astfel încât să apară articulații plastice în rigle și în special în stâlpi.

Raportul între încărcarea verticală „V” și orizontală „H” s-a ales pentru a se obține lanțul cinematic de rupere de cadru prin apariția articulațiilor plastice la capete de stâlpi.

În acest scop încărcarea verticală „V” a fost menținută constantă iar încărcarea orizontală „H” a crescut până la rupere (formarea articulațiilor plastice).

Modul de cedare a cadrelor din beton armat a fost prin formarea articulațiilor plastice la capete de stâlpi.

Două tipuri de încercări experimentale au fost realizate:

- pe cadre neconsolidate testate inițial până la limita de curgere a armăturii, apoi consolidate cu CFRP și re-testate în final până la rupere;
- pe cadre neconsolidate testate inițial până în stadiul ultim, apoi consolidate cu CFRP și re-testate în final până la rupere.

Valorile teoretice pentru analiza cadrelor din beton armat neconsolidate s-au determinat conform normativului european EUROCODE 2, iar pentru cadrele consolidate cu CFRP s-au folosit prevederile fib bulletin “Externally bonded FRP reinforcement for RC structures”.

### 7.2.4.3 Rezultate experimentale

Date obținute din încercările experimentale asupra cadrelor din beton armat neconsolidate și consolidate sunt prezentate în tabelul 7.2.4.1.

Tabel 7.2.4.1

Model	Starea structurii	Încărcare orizontală „S” [daN]	Deplasare orizontală maximă [mm]	Raport	Consolidat / neconsolidat
				Încărcări	Deplasări
Cadrul 1	Neconsolidat	1.600 <sup>(1)</sup>	5,44	-	0,71 <sup>(1)</sup> / -
	Consolidat cu CFRP	1.600 <sup>(1)</sup>	3,87		
		4.000 <sup>(2)</sup>	30,20		
Cadrul 2	Neconsolidat	1.600 <sup>(1)</sup>	4,60	1,06	0,98 <sup>(1)</sup> / 2,00 <sup>(2)</sup>
		3.600 <sup>(2)</sup>	15,27		
	Consolidat cu CFRP	1.600 <sup>(1)</sup>	4,50		
		3.800 <sup>(2)</sup>	30,70		

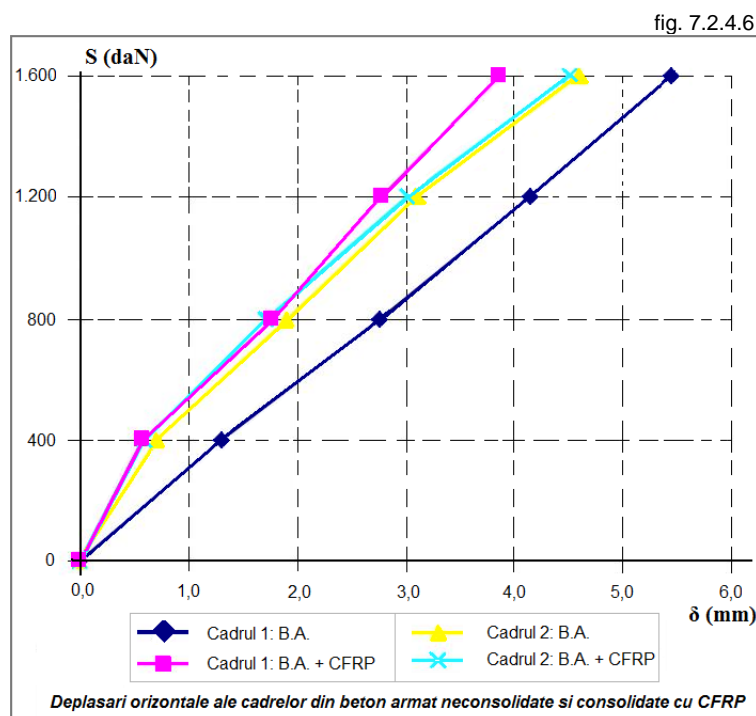
Note:

(1) starea limita de curgere a armăturii

(2) starea limita ultima

Din datele prezentate în tabelul 7.2.4.1 se poate observa:

- valorile încărcărilor orizontale maxime au fost alese diferit pentru cadrele din beton armat neconsolidate în scopul modificării stadiului de aplicare a consolidării: 1.600 daN (starea limită de curgere a armăturii) pentru Cadrul 1 respectiv 3.600 daN (starea limită ultimă) pentru Cadrul 2;
- creșterea forței orizontale maxime cu 6 % s-a obținut la Cadrul 2 consolidat chiar dacă inițial a fost încercat neconsolidat până la stadiul ultim;
- creșterea de rigiditate a structurii consolidate implică deplasări orizontale mai mici la starea limită de curgere a armăturii (figura 7.2.4.6).



#### 7.2.4.4. Concluzii

Programul experimental a scos în evidență câteva aspecte foarte importante:

- desprinderea lamelor verticale CFRP de pe plăcile metalice la nod (Cadrul1) datorită eforturilor de întindere;
- desprinderea lamelor verticale CFRP de pe fața interioară a stâlpilor (Cadrul2) datorită eforturilor de compresiune ceea ce indică necesitatea prevederii unor etrieri suplimentari pentru împiedicarea flambajului;
- tendința de smulgere a betonului din jurul mortarului epoxidic folosit pentru ancorarea lamelor verticale CFRP în fundații.

## Capitol 8 – Concluzii. Contribuții personale

Prezentul studiu a urmărit să răspundă unor necesități actuale de perfecționare a activității de proiectare tehnologică privind executarea lucrărilor de întreținere, reparații și consolidare a elementelor din beton.

Toate aspectele au fost abordate ținând cont de ultimele cercetări la nivel mondial, căutându-se date pentru îmbunătățirea în ansamblu a problematicii privind consolidarea prin metode clasice și moderne a elementelor din beton, ținând cont și de prevederile normativului P100-3/2010 – “Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic. Vol. 2 – Consolidare” care a intrat în vigoare la începutul anului 2010.

România dispune astăzi de specialiști de excepție în acest domeniu, cu precădere în sectoarele expertizării, alegerii de soluții și proiectării lucrărilor de consolidări.

Sectorul proiectării tehnologice a soluțiilor stabilite de proiectanți rămâne însă destul de puțin acoperit, pe de o parte prin numărul mic de specialiști tehnologi existenți, datorită absenței metodelor de sistematizare a cunoștințelor în domeniu, iar pe de altă parte, din lipsa documentațiilor, în general tehnologia consolidărilor fiind o disciplină încă nouă.

Având în vedere faptul că România este o țară cu risc seismic important și că dispune de un volum foarte mare de construcții vechi, se caută în permanență dezvoltarea și perfecționarea tehnicilor de proiectare și executare a lucrărilor de consolidări.

Acest gen de lucrări este fundamentat din proiectare și până la terminarea lucrărilor pe conceptul de calitate. Pentru respectarea conceptului de calitate, lucrarea elaborată prezintă:

- o inventariere a cauzelor care pot conduce la degradarea construcțiilor și tipurile cele mai frecvente de avarii întâlnite la elementele din beton;
- prezentarea unui model general de investigare a unei clădiri, prezentat sub formă logică [diagrama (4.4.1.)];
- prezentarea, într-un mod mai general, a aditivilor, a unor furnizori cât și modul de folosire (rețete);
- prezentarea unor tehnologii de consolidare tradiționale dar și tehnologii moderne de reabilitare structurală a elementelor din beton, alegând materialele compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP);
- prezentarea încercărilor efectuate în laborator pentru tehnologiile moderne de reabilitare structurală a elementelor din beton cu materiale compozite.

Ideea de menținere în actualitate a unor soluții de consolidare clasice pentru elementele din beton, este aceea de a beneficia de o bogată experiență de proiectare și execuție acumulată până în prezent, dar mai ales de utilizarea unor materiale în procesul executării consolidării, ce garantează calitatea dorită, sub toate aspectele:

- durabilitate,
- ușurință în preparare și utilizare,
- eficiență economică.

Astfel, s-a urmărit în lucrare:

- studierea betonului ca material de reparație, însă având o compoziție modernă, cu caracteristici de lucrabilitate excelente, ce nu vor influența negativ calitățile sale după întărire.
- prezentarea unor tehnologii moderne de reabilitare structurală a elementelor din beton, alegând materialele compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP), susținută de cercetări de laborator;

### Aspecte privind durabilitatea betonului și betonului armat

În lucrare se abordează, în ansamblu, problema durabilității betonului, ca un aspect de bază pentru proiectanții acestui gen de lucrări, dar și pentru tehnologi și executanți.

Factorii globali de care depinde durabilitatea a unei construcții sunt:

- calitatea materialelor utilizate;
- calitatea executării lucrărilor;
- întreținerea construcțiilor ;
- acțiunile fizico-chimico-mecanice care solicită construcția.

Pornind de la aceste idei, se pot desprinde în continuare unele concluzii:

- durabilitatea betonului permite înțelegerea mecanismelor ce conduc la degradarea acestui material, disciplină indispensabilă inginerilor proiectanți de construcții în general, dar și inginerilor tehnologi ce stabilesc metodele de preparare și utilizare a materialelor și de aplicare a soluțiilor proiectate;
- studierea durabilității betonului trebuie să implice atât o analiză a conglomeratului, dar și a componentelor săi separat; de aceea, în cazul acestui material se iau în considerare atât cauzele externe (din mediul de expunere), dar și cauzele interne (din interiorul masei compozite),
- evoluția betonului ca material, precum și conservarea durabilității pe toată durata vieții construcțiilor, depind de evoluțiile separate ale componentelor și de influențarea lor reciprocă în acest proces;
- îmbunătățirea fiecărui component din beton, atât ca material de bază la preparare, cât și stabilirea fenomenelor de reacție la preparare pe baza unor metode simple, care ușurează munca tehnologilor și executanților în optimizarea aplicării proiectelor de consolidare;
- îndeplinirea cerințelor de durabilitate este legată direct, de stabilirea compoziției betonului considerând toate datele de ordin tehnic, economic și mai ales, de mediu.
- pentru problema durabilității betonului, asigurarea unei compactități ridicate, reprezintă cea mai importantă condiție; deci utilizarea unor compoziții de betoane preparate cu ajutorul aditivilor specifici (dispersanți, antrenori de aer, superplastifianți) devine obligatorie, aceștia conferind betonului întărit o permeabilitate redusă.

### **Aspecte privind condițiile de mediu,**

Cunoscând faptul că analizarea corectă a mediului ne permite descoperirea și îndepărtarea cauzelor care conduc la degradarea betonului, se pot sublinia unele aspecte legate de interacțiune, factori de degradare - diagnosticare:

- dacă primele semne ale degradării sunt depistate la timp, atunci cauzele pot fi stopate cu eforturi materiale și umane minime;
- factorii de mediu, prin mecanismele lor de formare și de acțiune distructivă, ne conduc la diagnostice ulterioare asupra elementelor deteriorate;
- factorii de mediu pot acționa permanent sau ocazional, cu intensități diferite și în combinații oarecare. Modalitatea de interpretare a cauzelor, separat și împreună, conduce la rezultate de apreciere corectă sau parțial corectă;
- practica de a ierarhiza factorii de degradare și de a ignora la momentul cercetării pe aceia cu intensitate slabă este periculoasă. Intensitatea acțiunilor se poate modifica sau poate perturba echilibrul fizico-chimic al betonului întărit;
- cauzele care pot acționa asupra betonului sunt multiple și uneori accidentale. Ignorarea lor conduce în general la rezultate negative, începând cu avarii neînsemnate și terminând cu adevărate catastrofe;
- deteriorarea elementelor din beton nu este niciodată provocată de o singură cauză. Fenomenele de degradare sunt influențate în general de permeabilitatea betonului;
- betoanele cu structură interioară cât mai compactă, exclud o eventuală degradare dinspre interior spre exterior. Elementele degradate dinspre interior, complică procedurile de reparații și au șanse mai reduse de a recăpăta capacitățile de rezistență inițiale;
- evaluarea gradului de asigurare (diagnosticarea) este esențială și formează împreună cu alegerea corectă a soluției de consolidare, baza de plecare în cazul lucrărilor de reparații și consolidări.

Ținând cont de faptul că în România volumul construcțiilor este considerabil și construcțiile de locuințe reprezintă o mare parte din acest volum, este necesar să se impună programe de observare permanentă, organizată și competentă a stării lor.

### **Aspecte privind tehnologia de execuție**

În urma diagnosticării stabilite de specialiști după studierea rezultatelor testelor, inginerii proiectanți propun soluțiile adecvate de reparații sau consolidări, consultând, dacă este cazul, inginerii tehnologi.

Inginerii tehnologi stabilesc proiectele tehnologice, menite unei desfășurări corecte și raționale a lucrărilor.

Pentru elaborarea proiectului tehnologic, rezultă următoarele precizări :

- proiectul tehnologic de intervenție trebuie să conțină un volum de date suficient, pentru a permite executanților cunoașterea tuturor aspectelor realizării lucrărilor (factorii de mediu, caracteristici fizice ale elementelor, informații despre degradări, materiale, scule, dispozitive și utilaje, forță de muncă specializată, succesiunea și descrierea proceselor de muncă, măsuri obișnuite și speciale, verificări inițiale, pe parcurs și la finalul lucrărilor, norme NTS și PSI, ș.a.);
- în cazul lucrărilor de întreținere, reparații și consolidări, orice modificare în cadrul proiectului de consolidare sau din proiectul tehnologic este interzisă, ca perturbând scopul inițial al lucrării și calitatea propriu-zisă :
- orice situație dificilă sau imposibilă din punct de vedere tehnologic se va aduce la cunoștința proiectanților și a tehnologilor, numai aceștia având dreptul de a opera modificări în proiecte; legătura proiectant - executant - beneficiar fiind obligatorie și permanentă;
- pentru o abordare clară și sistematică a tuturor aspectelor cuprinse în proiectul tehnologic, este recomandată elaborarea acestui proiect sub forma fișelor tehnologice simple și/sau complexe;
- orice lucrare de reparație sau consolidare, indiferent de amploarea sa, nu trebuie să afecteze rezistența, stabilitatea, durabilitatea sau funcționalitatea construcțiilor;
- în paralel cu utilizarea metodelor clasice de reparații și consolidări, este necesar și obligatoriu, ca metodele și materialele să se îmbunătățească prin cercetări continue.

### **Aspecte privind compoziția betonului lucrărilor de reparații și consolidări**

În lucrare este abordată problematica îmbunătățirii calității betonului proaspăt, vizând atât caracteristicile necesare la punerea în lucrare, cât și obținerea unor proprietăți ale betonului în stare întărită.

Betonul proaspăt utilizat ca material de reparare sau consolidare a elementelor degradate, este necesar să îndeplinească la rândul său o serie de condiții, care în general nu pot fi satisfăcute în totalitate de către un amestec obișnuit.

Compozițiile moderne de beton, presupun în afară de componenții clasici (agregat, ciment, apă) și alte materiale, în măsură să confere amestecurilor preparate calitățile dorite în stare proaspătă și întărită.

În afara adaosurilor de diferite tipuri, de care beneficiază în general betonul în stare întărită, se accentuează în lucrare importanța aditivilor, ca materiale cu rol benefic pentru beton, de la preparare până la întărire și exploatare.

De asemenea efectele aditivilor superplastifianți, moderni, îmbunătățesc aderența betonului aditivat în contact cu un beton întărit. Acest avantaj este important în cazul lucrărilor de reparații și consolidări, adăugat la faptul că lucrabilitatea excelentă a amestecului permite penetrarea betonului proaspăt în spațiile intime ale elementelor degradate și în zonele cu armături dese.

### **Aspecte privind folosirea materialelor compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP) în reabilitarea structurală a elementelor din beton armat**

În urma testelor efectuate în laborator s-a constatat că folosirea materialelor compozite pe bază de fibră de carbon se impune pentru reabilitarea și consolidarea tuturor elementelor din beton armat.

Se rețin următoarele aspecte pentru:

- plăci din beton armat consolidate cu benzi de CFRP; s-a demonstrat o creștere medie de sarcină, ducând la o creștere a capacității maxime de aproximativ 31% peste cea a plăcii de control.
- grinzi din beton armat deteriorate; s-a dovedit că folosirea materialelor compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP), la consolidarea din forfecare, este eficientă, capetele grinzilor consolidate rămânând intacte după repararea cu aceste materiale compozite, comparativ cu zonele inițial nedeteriorate.
- stâlpii din beton armat consolidați cu materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP); s-a demonstrat că utilizarea acestor materiale compozite mărește capacitatea lor portantă, cu minim 24%, funcție de soluția aleasă de consolidare.
- cadrele din beton armat, consolidate cu materiale compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP); s-a demonstrat că utilizarea acestor materiale compozite mărește capacitatea lor portantă, la acțiunea forței orizontale, cu maxim 6%, chiar dacă inițial cadrul a fost încercat neconsolidat până la stadiul ultim.

## CONTRIBUȚII PROPRII ALE AUTORULUI

- Efectuarea unei sinteze asupra rezultatelor cercetărilor experimentale și teoretice publicate în domeniul:
  - cutremurelor;
  - cauzelor care pot conduce la degradarea construcțiilor,
  - tipurilor de avarii întâlnite la elementele din beton,
  - tehnicile și mijloacele de investigare a elementelor structurale din beton,
  - utilizarea aditivilor pentru realizarea betoanelor,
  - tehnologii pentru repararea și / sau consolidarea elementelor și structurilor din beton armat,
  - reabilitarea elementelor / structurilor de beton armat prin folosirea materialelor compozite FRP
- În lucrare au fost analizate aspecte particulare: ale problematicii durabilității, în contextul utilizării betonului ca material de reparație și consolidare a elementelor degradate; a folosirii materialelor de reparații atât pe bază de ciment dar și de rășini epoxidice; a folosirii materialelor de reparații compozite, pe bază de fibră de carbon (CFRP). De aceea, studiul este conceput ca bază de înțelegere a fenomenelor de deteriorare a betonului din elemente, dar și pentru proiectarea corectă și modernă a compoziției sale, ca material de reparație sau consolidare.
- Interpretarea sistematizată a cauzelor care conduc la apariția degradării betonului și betonului armat, analizând interacțiunea factor de degradare-diagnosticare.
- Prezentarea în detaliu a unor tehnici și mijloace de investigare a elementelor structurale din beton cât și prezentarea unei metodologii de investigarea a stării structurilor, urmate de prezentarea studiilor de caz pentru determinarea caracteristicilor betonului, la care autorul lucrării a contribuit;
- Analizarea în detaliu a aspectelor privind compoziția betonului la lucrările de reparații și consolidări, utilizând aditivi dar și prezentarea anumitor tipuri de furnizori, aditivi și rețete cu aplicabilitate practică, utilizate de autor în timpul lucrărilor de consolidări;
- Prezentarea în detaliu a unor tehnologii ale lucrărilor de reparații și consolidări la elemente din beton și beton armat, care să ajute inginerii constructori (proiectanți sau executanți) în reabilitarea structurală a acestora.
- Efectuarea unui program de încercări experimentale pe plăci, grinzi, stâlpi din beton armat, consolidate / reabilite prin folosirea materialelor compozite FRP;
- Studiul și compararea modurilor de cedare a materialelor compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP) pe durata încercărilor;
- Studiul complet al tehnologiei de aplicare a materialelor compozite utilizate la consolidarea elementelor din beton armat;
- Elaborarea unor instrucțiuni de aplicare a materialelor compozite pe bază de fibră de carbon (CFRP);
- Dezvoltarea cunoașterii științifice într-un domeniu de mare actualitate și cu perspectivă.
- Elaborarea unor proiecte tehnice de consolidare atât cu materiale pe bază de ciment, cu materiale pe bază de rășini epoxidice dar și cu materiale compozite, respectiv participarea nemijlocită a autorului la efectuarea consolidărilor.



**BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ**

- 1 Academia României: Cutremurul de pământ de la 4 martie 1977 (1982);
- 5 Agent R.: Expertizarea și punerea în siguranță a clădirilor existente afectate de cutremure. Ed. Fast Print, București, 1997;
- 13 Arsenie G., Voiculescu M., Ionașcu M.: Soluții de consolidare a construcțiilor avariate de cutremure. Ed. Tehnică, București, 1997;
- 24 Budan C.: Contribuții în managementul și ingineria proceselor de construcții pentru realizarea lucrărilor de reparații și consolidări a elementelor din beton, beton armat și beton precomprimat, UTCB, 1998, Teză de doctorat;
- 32 Chaallal, O., Nollet, M., and Perraton, D.: Strengthening Of Reinforced Concrete Beams With Externally Bonded Reinforced Plastic Plates. Design Guidelines For Shear And Flexure Canadian Journal of Civil Engineering, 25, 692-704, (1998);
- 40 Dan Sorin: Reabilitarea structurilor de beton armat prin folosirea compozitelor pe bază de fibre de carbon, Universitatea Politehnică din Timișoara - Revista de Politică Științei și Șcientometrie;
- 47 Dias S. and J. Barros : Shear Strengthening of RC Beams with Near-Surface- Mounted CFRP Laminates. Proc 7th int symp FRP reinforcement for concrete structures, vol I, p807- 823, (2005);
- 51 Dumitrescu G.: Asigurarea calității în construcții. Ed. UTCB, 1996;
- 52 E. Grande, M. Imbimbo and A. Rasulo: Experimental behaviour of RC beams strengthened in shear by FRP sheets. Proc 8th int symp FRP reinforcement for concrete structures, Patras, Greece, 2007;
- 53 Ebead, U. and Marzouk, H: Strengthening of two-way slabs using steel plates, ACI Structural Journal, 198(1), p.16-23, (2002);
- 56 Emil-Sever Georgescu: Zonarea seismică a României;
- 62 G. Zhang, N. Kishi and H. Mikami: Effects of bonding configurations on shear behaviour of RC beams reinforced with aramid FRP sheets. Proc 8th int symp FRP reinforcement for concrete structures, Patras, Greece, 2007;
- 73 Horea Sandi, Emil-Sever Georgescu: Cutremurele secolului XX și direcțiile de efort pentru protecția antiseismică a populației capitalei în viitor;
- 79 J. Jayaprakash, A. A. Abdul Samad, A. A. Abbasvoch and A. A. Abang Ali: Externally bonded bidirectional CFRP shear reinforcement for reinforced concrete T-beams with steel reinforcement. Proc 8th int symp FRP reinforcement for concrete structures, Patras, Greece, 2007;
- 86 Kikukawa, K, Mutoh, K., Ohya, H., Ohyama, Y., and Tanaka, H.: Flexural Reinforcement of concrete floor slabs by carbon fiber textiles. Composite interfaces, 1998;
- 92 Li, J. and Hadi M. N. S.: Behaviour of externally confined high-strength concrete columns under eccentric loading. Composite structures, Vol 62, Issue 2, p.145–153, 2003.
- 98 Malek, M. A., Saadatmanesh, H., and Ehsani, M. R.: Prediction of failure load of R/C beams strengthened with FRP plate due to stress concentration at the plate end. ACI Structural Journal, (1998);
- 99 Malgonov A, ș.a.: Procedes de reinforcement des constructions, Institute de genie Civil Tomsok, 1990;
- 103 Meier, U., Deuring, M., Meier, H., and Schwegler, G.: CFRP bonded sheets. In proceedings, A. Nanni (Ed.), Fiber- Reinforced-Plastic (FRP) reinforcement for concrete structures. Properties and applications (p.423-434). CH-8600 Duebendorf, Switzerland. Elsevier Science Publishers B.V., (1993);
- 105 Mihai Teodorescu, George Ilinoiu: Protecția anticorozivă a armăturilor. Fenomenul de coroziune a armăturilor din oțel, Revista Antreprenorul, nr. 3, 4, 5 din 2000;
- 112 N. Robertson, G. P. Johnson and B. Sharma: Shear retrofit of concrete T-beams using CFRP. Proc 8th int symp FRP reinforcement for concrete structures, Patras, Greece, 2007;
- 116 Nistor C. Troia L, ș.a.: Consolidarea și întreținerea construcțiilor, București, Ed. Tehnică, 1991;
- 117 Nitereka, C. and Neale, K. W.: Analysis of reinforced concrete beams strengthened in flexure with composite laminates. Canadian Journal of Civil Engineering, 26, p.646- 654, (1999);
- 118 Norris, T. and Saadatmanesh: Shear and flexural-strengthening of R/C beams with carbon fiber sheets. Journal of structural engineering, 123(7), p.903-911, (1997);
- 119 Octavian Ilinoiu: Controlul calității betoanelor;
- 120 Pascu Raluca Ioana: Investigarea prin metoda impact-echo a avariilor și defecțiunilor structurale din construcții (teza doctorat, UTCB, 2006);
- 125 Pestișanu C., Voiculescu M., ș.a.: Construcții. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1995.
- 130 Popa E., Popa R.: Tehnologia lucrărilor de construcții. Prepararea betonului. Aplicații. București , Edit. I.C.B., 1986;
- 131 Popa R, Teodorescu M., ș.a.: Utilajul și tehnologia structurilor de construcții. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1981;
- 132 Popa R, Teodorescu M.: Montarea elementelor prefabricate de beton armat, beton precomprimat și metalice. Ed. ICB, București, 1992;
- 133 Popa R, Teodorescu M.: Tehnologia lucrărilor de construcții. Ed. ICB, București, 1984;
- 141 Pruteanu N.: Tehnologia efectuării construcțiilor. Partea a doua UTM Chișinău, 1997;
- 145 Rochette, P. and Labossière, P.: Axial testing of rectangular column models confined with composites. Journal of Composites for Construction, Vol 4, Issue 3, p.129–136, (2000);
- 146 S. Hassan Dirar, C. Morley and J. Lees: Effect of effective depth and longitudinal steel ratio on the behaviour of precracked reinforced concrete T-beams strengthened in shear with CFRP fabrics Proc 8th int symp FRP reinforcement for concrete structures, Patras, Greece, 2007;



- 155 Ștefănescu Goanga A.: Determinarea rezistenței betonului prin metode nedistructive, Ed. Tehnică, 1981;
- 157 Teodorescu M., Budan C.: Tehnologia lucrărilor de întreținere, reparații și consolidări, Ed. UTCB, 1997;
- 158 Teodorescu M., Budan C.: Tehnologia lucrărilor de întreținere, reparații și consolidare, Fișe tehnologice, București, Ed. UTCB, 1997;
- 159 Teodorescu M., Ilinoiu G.: Gradul de maturizare al betonului. Ed. UTCB, București, 1997;
- 160 Teodorescu M., Țsicura A., Ilinoiu G.: Compoziția betonului. Ed. UTCB, București, 1997;
- 161 Teodorescu M.: Tehnologia lucrărilor de zidărie, izolații și finisaje, vol. I. Ed. UTCB, 1996;
- 169 Traian Oneț: Durabilitatea betonului armat;
- 178 Valer Sim, J., G.Kim, C.Park and M.Ju.: Shear strengthening effects with varying types of FRP materials and strengthening methods. Proc 7th int symp FRP reinforcement for concrete structures, vol II, p.1665-1679, (2005);
- 179 Valerio P., T.J.Ibell and A.P.Darby: Shear assessment and strengthening of continuous-beam concrete bridge using FRP bars, proc 7th int symp FRP reinforcement for concrete structures, vol I, p.825- 847, (2005);
- 183 Wang, Y. Ch.: Retrofit of reinforced concrete members using advanced composite materials. Research report 2000-3, Dept of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 2000;

## Normative

- 184 XXX: C008/75-Normativ pentru folosirea aditivilor la prepararea betoanelor și mortarelor;
- 185 XXX: C017/82-Instrucțiuni tehnice privind compoziția și prepararea mortarelor de zidărie și tencuieli;
- 186 XXX: C026/85-Normativul pentru încercarea construcțiilor prin metode nedistructive;
- 189 XXX: C056/1985-Normativ pentru verificarea calității și recepția lucrărilor de construcții și construcțiilor;
- 190 XXX: C056/2002-Normativ pentru verificarea calității și recepția lucrărilor de instalații aferente;
- 192 XXX: C149/1987-Instrucțiuni tehnice privind procedeele de remediere a defectelor pentru elementele din beton și beton armat;
- 193 XXX: C156/89-Elemente prefabricate din beton armat și beton prefabricat. Procedee și dispozitive de verificare a caracteristicilor geometrice;
- 194 XXX: C244/93-Îndrumător pentru inspectarea și diagnosticarea privind durabilitatea construcțiilor din beton armat și beton precomprimat;
- 195 XXX: CR006/2006-Cod de proiectare pentru structuri din zidărie;
- 196 XXX: Fișe tehnice materiale și mod de punere a lor în operă (FRP);
- 197 XXX: GE040/2001-Ghid privind utilizarea metodei electromagnetice la determinarea parametrilor de armare a elementelor existente din beton armat;
- 198 XXX: GT002/1996-Ghid practic pentru determinarea degradărilor și rezistențelor betoanelor;
- 199 XXX: ICCPDC-Indicații privind consolidarea structurilor de beton avariate, 1977;
- 200 XXX: Îndrumător pentru calculul și alcătuirea elementelor structurale de beton armat;
- 201 XXX: ICCPDC - Indicații privind consolidarea stâlpilor prin cămășuire, 1977;
- 202 XXX: ME003/1999 - Manual privind investigarea de urgență post-seism și stabilirea soluțiilor cadru de intervenție imediată pentru punerea în siguranță provizorie a construcțiilor avariate;
- 203 XXX: NE012/1999 - Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat;
- 204 XXX: Normativ privind consolidarea cu fibre a elementelor structurale de beton;
- 205 XXX: NP093/03 - Normativ de proiectare a elementelor compuse din betoane de vârste diferite și a conectorilor pentru lucrări de cămășuiri și suprabetonări;
- 206 XXX: P059/86 - Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și folosirea armării cu plase sudate a elementelor de beton;
- 208.1 XXX: P100-1/2006 - Cod de proiectare seismică. Prevederi de proiectare pentru clădiri;
- 208.2 XXX: P100-3/2010 - Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic. Vol. 2 – Consolidare;
- 210 XXX: SR EN 12504/2002- Încercări pe beton în structuri;
- 211 XXX: STAS 438 /1-89 – Produse din oțel pentru armarea betonului. Oțel beton laminat la cald. Mărci și condiții tehnice de calitate;
- 212 XXX: STAS 6652/82- Încercări nedistructive ale betonului. Clasificări și indicații generale;

## Surse internet

- 219 <http://www.impact-echo.com;>
- 228 <http://www.sika.ro;>

## Alte surse

- 229 Georgescu Dan - Metode de investigare specifice elementelor și structurilor prefabricate; INCERC, 2007
- 230 U. Ebead, H. Marzouk, and L. M. Lye: Strengthening of two-way slabs using FRP materials, faculty of engineering and applied science, memorial University of Newfoundland, St. John's, NF, Canada Alb 3X5;
- 231 T.Donchev, G.Thomopoulos, and C.Bradsell: Application of FRP materials for retrofitting of RC beams after shear failure. Faculty of Engineering, Kingston University, Kingston upon Thames, UK;
- 232 Mieczyslaw Kamiński, Tomasz Trapko: Experimental behaviour of reinforced concrete column models strengthened by CFRP materials. Institute of Building Engineering, Wrocław University of Technology, Pl. Grunwaldzki 11, 50-370 Wrocław, Poland.