

11 39.655

UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" GALAȚI
FACULTATEA DE METALURGIE ȘI ȘTIINȚA MATERIALELOR
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN MOLDOVA
FACULTATEA DE URBANISM ȘI ARHITECTURĂ

**STUDII ȘI CERCETĂRI ASUPRA PROTECȚIEI ANTICOROSIVE
ÎN INDUSTRIA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII**

**STUDIES AND RESEARCH ON CORROSION PROTECTION IN
BUILDING MATERIALS INDUSTRY**

REZUMAT - TEZĂ DE DOCTORAT

elaborată de
ing. COLESNIC IGOR

CONDUCĂTORI ȘTIINȚIFICI:

Prof.Dr.Chim. OLGA MITOȘERIU
Universitatea "Dunărea de Jos" Galați
Facultatea de Metalurgie
și Știința Materialelor

Prof.Dr.habilitat în tehnică ION RUSU
Universitatea Tehnică din Moldova
Facultatea de Urbanism și Arhitectură

GALAȚI
2011

691.7
C62

ROMANIA
MINISTERUL EDUCATIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI
UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI

Strada Domnească nr. 47, cod poștal 800008
Galați, România
E-mail: rectorat@ugal.ro



Tel. (+4) 0374-100.100-0374-130.100.330/130.000
Fax: (+4) 0236-481.355
www.ugal.ro

01549/16.02.2011

Către

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați vă face cunoscut că în data de _____ ora _____
în _____, va avea loc susținerea
publică a tezei de doctorat intitulată: "Studii și cercetări asupra protecției anticorozive în industria
materialelor de construcții", elaborată de domnul/doaamna Ing. COLESNIC IGOR, în vederea conferirii
titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - Știința și Ingineria materialelor.

Comisia de doctorat are următoarea componență:

- Președinte:** Prof.dr.ing. Nicolae CĂNĂNĂU
Decan – Facultatea de Metalurgie și Știința Materialelor
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
- Conducător de doctorat:** Prof.dr.chim. Olga MITOSERIU
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
- Conducător de doctorat în cotutelă:** Prof.dr. habilitat în tehnică Ion RUSU
Universitatea Tehnică a Moldovei
- Referent 1:** Prof.dr.chim. Gheorghe NEMTOI
Universitatea "A.I. Cuza" din Iași
- Referent 2:** Prof.dr.ing. Ion CARCEA
Universitatea "Gheorghe Asachi" din Iași
- Referent 3:** Prof.dr.ing. Maria VLAD
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat și vă invităm să participați la susținerea
publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm
să le transmiteți în scris pe adresa Universității, str. Domnească nr. 47, 800008 - Galați, Fax - 0236 / 461353.

RECTOR
Prof.dr.ing. Virgil MÎNZU



SECRETAR DOCTORAT,
Ing. Lutză AXINTE

L. Axinte

II 39 65J

UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" GALAȚI
FACULTATEA DE METALURGIE ȘI ȘTIINȚA MATERIALELOR
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN MOLDOVA
FACULTATEA DE URBANISM ȘI ARHITECTURĂ

**STUDII ȘI CERCETĂRI ASUPRA PROTECȚIEI ANTICOROSIVE
ÎN INDUSTRIA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII**

**STUDIES AND RESEARCH ON CORROSION PROTECTION IN
BUILDING MATERIALS INDUSTRY**

REZUMAT - TEZĂ DE DOCTORAT

elaborată de
ing. COLESNIC IGOR



26J 828

CONDUCĂTORI ȘTIINȚIFICI:

Prof.Dr.Chim. OLGA MITOȘERIU
Universitatea "Dunărea de Jos" Galați
Facultatea de Metalurgie
și Știința Materialelor

Prof.Dr.habilitat în tehnică ION RUSU
Universitatea Tehnică din Moldova
Facultatea de Urbanism și Arhitectură

**GALAȚI
2011**

CUPRINS

INTRODUCERE

STADIUL CUNOAȘTERII

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL PRIVIND SINTEZA, STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII

1.1	<i>Aspecte generale</i>	4
1.2	<i>Importanța studiului materialelor de construcții</i>	5
1.3	<i>Clasificarea materialelor de construcții</i>	5
1.4	<i>Clasificarea betoanelor folosite în construcții</i>	6
1.5	<i>Considerații generale privind durabilitatea structurilor din beton</i>	6
1.6	<i>Durata de viață a construcțiilor</i>	7
1.7	<i>Mecanismele de transport a agenților care afectează durabilitatea</i>	8
1.8	<i>Mecanismele de degradare a betonului și a armăturii de oțel</i>	8

CAPITOLUL 2. MĂSURI ACTUALE DE PROTECȚIE ANTICOROSIVĂ A ELEMENTELOR DE BETON ȘI BETON ARMAT

2.1	<i>Măsuri pentru asigurarea durabilității elementelor de beton armat</i>	10
2.2	<i>Măsuri specifice pentru diferite tipuri de mecanisme de degradare</i>	11
2.3	<i>Măsuri pentru îmbunătățirea durabilității în condiții speciale de mediu</i>	11
2.4	<i>Conceptul de clasă de durabilitate</i>	12
2.5	<i>Concluzii</i>	13

PARTEA EXPERIMENTALĂ

CAPITOLUL 3. METODOLOGIA CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

3.1	<i>Tehnici și mijloace de investigare a elementelor din beton și beton armat</i>	13
3.2	<i>Sisteme de măsurători pentru determinarea caracteristicilor betonului</i>	14
3.3	<i>Aparatura, echipamentele și dispozitivele utilizate în scopul determinării structurii și proprietăților betonului</i>	14

CONTRIBUȚII PROPRII

CAPITOLUL 4. EXPERIMENTĂRI PRIVIND STABILIREA COMPOZIȚIEI OPTIME A BETONULUI DE CIMENT CU POLIMER, ARMAT DISPERS CU FIBRE

4.1	Stabilirea tipului de ciment, agregate, adaosului de polimer și a fibrelor de armare	18
4.2	Stabilirea compoziției optime a betonului cu adaos de fibre și aditiv de polimer	18
4.2.1	Stabilirea compoziției betonului simplu de clasa C20/25 fără adaos de fibre și aditiv de polimer pentru 1 m ³ - (proba martor)	18
4.2.2.1.1	Încercări la compresiune prin metoda reculului	21
4.2.2.1.2	Încercări la compresiune prin metoda acustică	21
4.2.3	Determinări experimentale privind cantitatea optimă de adaos de fibre pentru armarea dispersă a betonului	21
4.2.3.1	Stabilirea cantității optime de fibre din polipropilenă tip Multi 190 și High Grade 380	22
4.2.3.1.1	Încercări la compresiune la presa hidraulică	22
4.2.3.3	Încercări la întindere din încovoiere a prismelor armate cu fibre	23
4.2.4	Determinări experimentale privind cantitatea optimă de adaos de polimer acrilic	23
4.2.4.2	Determinări la întindere din încovoiere	24
4.3	Determinarea caracteristicilor betonului cu adaos de fibre și aditiv acrilic	25
4.3.1.1	Verificarea la starea limită de fisurare	26
4.4	Calculul numeric al stadiului limită de serviciu în vederea determinării capacității portante	28
4.4.1	Stadiul I	28
4.4.1.1	Determinarea eforturilor și deformațiilor pe baza secțiunii omogene echivalente	28
4.4.2	Momentul de fisurare	29
4.4.4	Stadiul II	29
4.4.4.1	Determinarea eforturilor și deformațiilor pe baza secțiunii omogene echivalente	29
4.4.4.3	Efectul „tension-stiffening”	29
4.4.5	Stadiul III	29
4.4.5.1	Momentul de curgere	29
4.4.6	Construirea relației moment-curbură	30
4.4.7	Calcul numeric	30
4.4.8	Rezumat și concluzii	30

CAPITOLUL 5. CONTRIBUȚII PRIVIND INFLUENȚA ADAOSULUI DE POLIMER ȘI FIBRE ASUPRA CARACTERISTICILOR BETONULUI STUDIAT

5.1	<i>Determinarea permeabilității betonului la agenți agresivi</i>	31
5.1.1	Determinarea gradului de impermeabilitate la soluții apoase	31
5.1.2	Determinarea permitivității la aer a suprafeței de beton	34
5.2	<i>Determinarea defectelor betonului cu ajutorul ultrasunetelor</i>	35
5.3	<i>Aprecierea rezistenței betonului la îngheț-dezgeț</i>	36
5.3.1	Condiții și proceduri experimentale	36
5.3.2	Rezultate. Interpretări	36
5.3.3	Concluzii	37

CAPITOLUL 6. CERCETĂRI PRIVIND COROZIUNEA ȘI REZISTENȚA LA COROZIUNE A ARMĂTURILOR, BETONULUI ȘI BETONULUI CU POLIMER ARMAT CU FIBRE

6.1	<i>Contribuții proprii privind mecanismul și cinetica coroziunii armăturilor din elementele de beton armat</i>	38
6.1.1	Metoda de cercetare a proceselor electrochimice pe suprafața armăturilor în zona fisurilor	38
6.1.2	Procesele electrochimice pe suprafața armăturii în zona fisurilor	39
6.1.3	Distribuția potențialelor și sectoarelor electrodice pe suprafața armăturii	39
6.1.4	Eficiența perechilor galvanice pe suprafața oțelului în beton	40
6.1.5	Influența stării tensionate a armăturii asupra coroziunii ei	40
6.2	<i>Procesele de coroziune a armăturilor în medii gazoase</i>	41
6.2.1	Influența umidității aerului asupra vitezei de coroziune a oțelului în fisuri	41
6.2.2	Coroziunea oțelului în atmosfera industrială	42
6.3	<i>Coroziunea armăturii din fisuri la interacțiunea cu mediul lichid</i>	43
6.4	<i>Metoda nedistructivă de determinare a gradului de coroziune a armăturii în beton</i>	44
6.5	<i>Metoda grafo-analitică de calcul a vitezei de coroziune a armăturilor din fisurile betonului</i>	45
6.6	<i>Calculul deschiderii admisibile a fisurilor în elementele din beton armat, exploatate în medii agresive și determinarea termenului de acțiune de protecție a betonului</i>	47

CAPITOLUL 7. PRINCIPALELE METODE ȘI TEHNICI DE ANALIZĂ STRUCTURALĂ ȘI MICROSTRUCTURALĂ A COMPONENTELOR BETONULUI STUDIAT

7.1	<i>Microscopie electronică</i>	48
7.1.1	Microscopia optică	48
7.2	<i>Analiza structurală a betonului</i>	48
7.2.1	Analiza structurii betonului de referință	49
7.2.2	Analiza microstructurală a betonului cu aditiv acrilic și fibre din polipropilenă	50
7.3	<i>Analiza structurală a betonului supus atacului corosiv</i>	53
7.3.1	Coroziunea sulfatică	53
7.3.2	Carbonatarea betonului	53
7.3.3	Coroziune prin dizolvare-levigare	54
7.3.4	Degradarea prin îngheț-dezghet repetat	54
7.3.5	Coroziunea acidă	55
7.4	<i>Coroziunea armăturilor în fisuri</i>	56
7.4.1	Microscopia electronică	56

CAPITOLUL 8. IMPLEMENTAREA REZULTATELOR OBTINUTE. CONCLUZII

8.1	<i>Aplicarea rezultatelor experimentale privind caracteristicile betonului cu aditiv de polimer armat dispers cu fibre</i>	57
8.1.1	Confecționarea grinzilor din beton armat	57
8.1.2	Încercarea grinzilor din beton armat	58
8.1.3	Depunerea acoperirilor acrilice de protecție pe suprafața betonului	59
8.1.4	Măsurarea forței de aderență a acoperirii de protecție	60
8.2	<i>Concluzii</i>	62
8.2.1	Aspecte privind durabilitatea betonului și betonului armat	62
8.2.2	Aspecte privind condițiile de mediu	63
8.2.3	Aspecte privind compoziția betonului	64
8.2.4	Aspecte privind folosirea materialelor pe bază de fibră de polipropilenă și aditiv acrilic la execuția elementelor din beton armat	64
8.3	<i>Contribuții proprii ale autorului</i>	65

BIBLIOGRAFIE	67
---------------------	-----------

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

Elaborarea acestei teze de doctorat a fost posibilă prin permanenta îndrumare a conducătorilor științifici: **doamna Prof. Dr. Chim. Olga MITOȘERIU de la Universitatea „Dunărea de Jos” Galați și domnului Prof. Dr. habilitat în tehnică ION RUSU, de la Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Urbanism și Arhitectură**, cărora doresc să le mulțumesc pentru exigența, dar în același timp, căldura și persuasiunea cu care au coordonat întreaga activitate de cercetare până la finalizarea lucrării.

Această lucrare s-a concretizat în cadrul colaborării mele cu laboratorul de studiu materialelor de la Universitatea de Urbanism și Arhitectură din Kiev, unde au fost efectuate încercări de rezistență și coroziune sub îndrumarea atentă a doamnei Prof. Dr. Chim. Vera Grechanyuk; laboratorul Universității Tehnice din Moldova și laboratorul de încercări al ICȘC „INCERCOM” Chișinău prin coordonarea domnului Dr. ing. Gheorghe Croitoru, unde au fost testate compozițiile de beton; laboratoarele de analiză microstructurală de la Academia de Științe a Moldovei.

Țin să mulțumesc din suflet profesorilor cu care am colaborat pentru soluționarea unor probleme ce au intervenit în decursul studiului protecțiilor materialelor de construcții, în special a betoanelor din construcții.

Doresc să folosesc acest prilej pentru a mulțumi tuturor celor care m-au susținut la întocmirea acestei lucrări. Aș dori să mulțumesc numeroaselor persoane din diferitele instituții pentru aprecierile și ideile utile de pe durata conceperii acestei lucrări.

INTRODUCERE

SCOPUL LUCRĂRII

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 inginerești cât și la reabilitarea și re consolidarea structurilor existente.

În această lucrare se abordează **studiul asupra obținerii unor caracteristici performante ale materialelor folosite în construcții, în special a caracteristicilor anticorozive ale betonului**. Structurile din beton armat vor rămâne în continuare o soluție pentru realizarea construcțiilor având diferite funcționalități. Avantajele pe care le conferă această soluție sunt legate de faptul că materialele din care se produce betonul sunt răspândite pe tot globul, comportarea în timp a betonului bine proiectat este corespunzătoare și că acest material de construcție este relativ ieftin raportat la performanțele sale.

Având în vedere necesitatea înțelegerii de ansamblu a fenomenului durabilității betonului în contextul aplicării metodei de proiectare a acestuia pe baza conceptului claselor de durabilitate și expunere (în funcție de mecanismele de degradare a betonului), în lucrare se aprofundează o serie de aspecte cu caracter general și particular tratate de autor privind în special principiile generale de abordare a studiului durabilității la nivel mondial și influențele pe care le au adaosurile și aditivii asupra comportării în timp a betonului.

Înscrierea în linia exigențelor ridicate ale tehnicii impune ingineriei materialelor obținerea de materiale avansate, care să corespundă unor cerințe stricte privind calitatea produselor realizate, concretizate în inventivitate tehnologică și progrese teoretice permanente.

Scopul lucrării este de a obține materiale compozite care să realizeze îmbunătățirea proprietăților anticorozive a matricelor de beton, reliefată prin creșteri ale rezistenței la: coroziune în diferite medii, compresiune, microfisurare etc., având ca finalitate diversitatea utilizărilor derivate din noile caracteristici.

OBIECTIVELE LUCRĂRII:

Obiectul concret al tezei de doctorat îl constituie:

1. Studiul stării de degradare corosivă a betonului și betonului armat folosit în construcții civile și industriale la realizarea elementelor structurale, care se găsesc în condiții agresive de expunere și solicitare, sub acțiunea cărora, se pot dezvolta efecte distructive generate de cauze interne și externe, de natură fizică (cu specific preponderent mecanic) și chimică.

2. Obținerea și studiul structurii betonului cu aditiv acrilic, armat dispers cu fibre de polipropilenă, ca mediu alcalin de protecție pentru armături, rezistent

la fisurare la starea limită de rezistență, folosit la producerea elementelor supuse acțiunilor statice și ciclice de încovoiere prin întindere.

Teza de doctorat, intitulată "**Studiul și cercetări asupra protecției anticorozive în industria materialelor de construcții**", este structurată în 8 capitole, cuprinde: 195 pagini, 42 tabele, 241 grafice și figuri, încheindu-se cu lista celor 183 titluri bibliografice.

CAPITOLELE 1+2 din cadrul "**STADIUL CUNOAȘTERII**". **CAPITOLUL 1, STADIUL ACTUAL PRIVIND SINTEZA, STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII** conține o prezentare succintă: asupra unor aspecte generale în ceea ce privește clasificarea materialelor de construcții și betoanelor, importanța studiului acestora; a durabilității structurilor din beton și beton armat abordând concepte moderne de proiectare, criteriile de performanță și durata de serviciu a acestora; a caracterizării agresivității mediului și modelarea mecanismelor de deteriorare a structurilor de beton și beton armat; a duratei de viață a construcțiilor și mecanismelor de transport a agenților în aer umed și în condiții de ploaie și stropire, care afectează durabilitatea prin structura sistemului de pori și legarea fizică a apei în aceștia; a mecanismelor de degradare a betonului și a armăturii de oțel ca urmare a degradării fizice a betonului, oboselii acestuia, precum și în urma eroziunii, curgerii lente și efectului de îngheț al betonului; a degradării chimice prin coroziune acidă, sulfatică, alcalină și biologică a betonului; a coroziunii oțelului în fisurile din beton și mecanismele acesteia; a îmbătrânirii și decolorării fațadelor de beton ca urmare a efectelor de poluare, eflorescenței varului și atacului biologic.

CAPITOLUL 2, MĂSURI ACTUALE DE PROTECȚIE ANTICOROSIVĂ A ELEMENTELOR DE BETON ȘI BETON ARMAT prezintă: tendințe moderne de asigurare a durabilității elementelor de beton armat prin măsuri specifice, prevăzute la proiectare și la execuție; măsuri specifice împotriva diferitor tipuri de mecanisme de degradare prin protecția betonului și oțelului față de acțiunile fizice, mecanice și împotriva atacului chimic; măsuri pentru îmbunătățirea durabilității în condiții speciale de mediu prin protecție a structurii în ansamblu, măsuri speciale de protecție a betonului și a oțelului utilizat în construcții prin diferite metode, utilizarea unui beton de înaltă performanță; conceptul de clasă de durabilitate nou, original care va putea avea o contribuție importantă la realizarea obiectivului privind asigurarea durabilității construcțiilor din beton armat în toate fazele de realizare a acestora.

CAPITOLELE 3+7 conțin „**PARTEA EXPERIMENTALĂ**”. În **CAPITOLUL 3, METODOLOGIA CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE**, se evidențiază aparatura și dispozitivele cu care s-a realizat studiul structurii și proprietăților elementelor de beton și beton armat prin metode de analiză **destructive** (rezistența la compresiune și la întindere din încovoiere, rezistența la fisurare, impermeabilitatea la lichide, rezistența la îngheț și coroziune în ceață salină și atmosferă artificială, teste la coroziune accelerată în medii agresive gazoase și

lichide, aderență, microstructuri cu microscopul optic Neophot și Olympus), și **nedistructive** (microstructuri SEM și TEM, rezistența la compresiune prin metoda reculului și propagarea undelor acustice în corpul betonului, determinarea deschiderii fisurilor, permitivitatea la aer, porozitatea prin metoda vitezei de impuls, detectarea poziției armăturilor și determinarea gradului de coroziune a acestora).

CAPITOLUL 4 cuprinde **EXPERIMENTĂRI PRIVIND STABILIREA COMPOZIȚIEI OPTIME A BETONULUI DE CIMENT CU POLIMER ARMAT DISPERS CU FIBRE**: stabilirea tipului de ciment, agregate, adaosului de polimer și a fibrelor de armare; stabilirea compoziției optime a betonului cu adaos de fibre și aditiv; determinarea compoziției optime a betonului cu adaos de fibre și aditiv acrilic; calculul numeric al stadiului limită de serviciu în vederea determinării capacității portante.

Originalitatea a constat în testarea unor cantități diferite de fibre de polipropilenă scurte și lungi, precum și de aditiv acrilic, introduse în beton, în vederea îmbunătățirii caracteristicilor de rezistență mecanică și la coroziune.

În **CAPITOLUL 5, CONTRIBUȚII PRIVIND INFLUENȚA ADAOSULUI DE POLIMER ȘI FIBRE ASUPRA CARACTERISTICILOR BETONULUI STUDIAT** se prezintă determinarea gradului de impermeabilitate la soluții apoase și permitivității la aer a suprafeței de beton; determinarea defectelor betonului cu ajutorul ultrasunetelor; aprecierea rezistenței betonului la îngheț-dezgheț.

În **CAPITOLUL 6, CERCETĂRI PRIVIND COROZIUNEA ȘI REZISTENȚA LA COROZIUNE A ARMĂTURILOR ȘI BETONULUI CU POLIMER**, sunt prezentate contribuții proprii privind studierea mecanismului și cineticii coroziunii armăturilor din elementele de beton armat, care cuprind metode de cercetare a proceselor electrochimice pe suprafața armăturilor în zona fisurilor și procesele electrochimice pe suprafața armăturii. S-a analizat distribuția și eficiența potențialelor și sectoarelor electrodice pe suprafața armăturii precum și influența stării tensionate a armăturii asupra coroziunii ei. S-au studiat procesele de coroziune a armăturilor în medii agresive gazoase și lichide, care simulează atmosfera industrială, urbană și marină. În studiul betonului s-a utilizat metoda nedistructivă de determinare a gradului de coroziune a armăturii în beton dublată prin metoda grafo-analitică de calcul a vitezei de coroziune a armăturilor din fisurile betonului.

În final s-a făcut un calcul al deschiderii admisibile a fisurilor în elementele din beton armat, exploatate în medii agresive și determinarea termenului de acțiune a stratului de beton de protecție.

În **CAPITOLUL 7, PRINCIPALELE METODE ȘI TEHNICI DE ANALIZĂ STRUCTURALĂ ȘI MICROSTRUCTURALĂ A COMPONENTELOR BETONULUI STUDIAT**, se prezintă determinările realizate pe probe martor și probe din beton cu aditiv acrilic, armat cu fibre în scopul reliefării aspectelor: microstructurii adaosurilor (fibrelor), certitudinii înglobării în matrice prin analize microstructurale SEM,

TEM, și observate cu ajutorul microscopului optic Neophot; de aderență între polimer și ciment, agregate și fibre în amestecul de beton; de modificare a microstructurii betonului la interfața pasta de ciment-polimer; determinarea existenței degradărilor datorate coroziunii armăturilor, reacțiilor alcalii-agregate, coroziunii sulfatice, săruri de amoniu etc. în fisurile stratului de protecție din beton.

CAPITOLUL 8, IMPLEMENTAREA REZULTATELOR OBȚINUTE. CONCLUZII, prezintă aplicarea rezultatelor experimentale privind caracteristicile betonului cu aditiv de polimer armat dispers cu fibre; încercarea grinzilor executate la solicitări la trepte de încărcare superioare sarcinilor de exploatare, având o flexibilitate accentuată; verificarea rezistenței de aderență a stratului de protecție din vopsea acrilică, depusă pe fața întinsă a grinzii.

Rezultatele proprii prezentate în capitolele 6, 7 și 8 au fost parțial publicate în reviste de specialitate și prezentate la conferințe internaționale.

De asemenea, în acest capitol se prezintă concluziile finale și contribuțiile proprii a autorului.

STADIUL CUNOAȘTERII

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL PRIVIND SINTEZA, STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII

1.1 ASPECTE GENERALE

Multe tehnologii moderne necesită materiale având combinații deosebite de proprietăți care nu pot fi întâlnite la materialele convenționale. Experiența a demonstrat că proprietățile și fenomenele asociate materialului sunt intim corelate cu structura și compoziția, incluzând atomii prezenți și modul cum sunt ei aranjați în material și că această structură este rezultatul sintezei și prelucrării. În final, materialul trebuie să corespundă cerințelor impuse: economice și sociale.

Există o relație indestructibilă între patru elemente ce definesc domeniul științei și ingineriei materialelor: proprietățile, structura/compoziția, prelucrarea/sinteza și performanța. În dezvoltarea materialelor noi, este dificil de anticipat care este finalul cognoscibilității și unde începe aplicabilitatea. În prezent această corelație dintre elemente se aplică la toate categoriile de materiale. Ingineria materialelor moderne implică exploatarea corelațiilor dintre cele patru elemente, bazele științei, cerințele industriale și cele ale pieții.

Materialele compozite sunt amestecuri de două sau mai multe componente ale căror proprietăți se completează reciproc, rezultând un material cu proprietăți superioare celor specifice fiecărei componente în parte [1].

Materialele compozite se dovedesc a fi competitive atât sub aspectul prețului cât și al posibilităților de înlocuire și/sau completare cu succes a materialelor tradiționale. Cercetările în vederea utilizării materialelor compozite au ca scop nu numai înlocuirea materialelor tradiționale, dar și aplicații specifice datorate proprietăților particulare pe care le prezintă.

Din punct de vedere tehnic, noțiunea de materiale compozite se referă la materiale care posedă următoarele proprietăți [1]:

- sunt create artificial prin combinarea impusă, rațională a diferitelor componente (sunt excluse compozitele naturale sau apărute fără intenția de a crea un material compozit);

- reprezintă o combinație a cel puțin două materiale deosebite din punct de vedere chimic, între care există o suprafață de separație distinctă;

- prezintă proprietăți pe care nici o componentă luată separat nu le poate avea.

Multe materiale compozite sunt compuse din două faze distincte: una este *matricea*, care este continuă și înfășoară cealaltă fază, numită *faza dispersă (complementară)*. Matricea are rolul de a menține distribuția geometrică a fazei complementare și a-i transmite solicitările la care este supus materialul.

Se urmărește îmbunătățirea următoarelor proprietăți: rezistența la compresiune, rezistența la încovoire, rezistența la producerea fisurilor, stabilitatea dimensiunilor și rezistența la coroziune.

1.2 IMPORTANȚA STUDIULUI MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII

La fabricarea materialelor de construcții, în procesele care au loc la punerea lor în lucrare, precum și în cazul acțiunilor agresive se produc o serie de fenomene fizice și chimice, care determină ulterior durabilitatea construcțiilor. Aceste fenomene nu sunt încadrate în chimia clasică a sistemelor omogene, ci în ramurile mai noi ale chimiei mai puțin cunoscute de ingineri și tehnicieni.

Protecțiile anticorozive prezintă o importanță deosebită și pentru construcțiile civile și în special pentru construcțiile industriale.

Intemperile, atmosfera poluantă și, în cazul construcțiilor industriale, mediile agresiv-corozive provoacă efecte corozive cu urmări uneori deosebit de grave. De aici, necesitatea atât a măsurilor constructive (indirecte) cât și, în special, a măsurilor directe de protecție [2].

1.3 CLASIFICAREA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII

Materialele de construcții din punct de vedere al alcătuirii lor sunt sisteme eterogene multicomponente – *compozite*, ale căror proprietăți fizico-mecanice și de durabilitate depind de caracteristicile specifice ale componentelor și de particularitățile legăturilor dintre aceștia [4]. Din punct de vedere al structurii, naturii legăturilor dintre componente, tehnologiei de obținere etc. materialele de construcție pot fi:

1. Materiale unitare;

2. Materiale compozite;

3. Materiale asociate.

Materialele unitare - sunt acele materiale care se caracterizează prin existența de legături chimice de același fel între toate particulele constituente (atomi, molecule, ioni). Materialele unitare în funcție de structura lor pot fi de mai multe feluri:

- solide cristaline omogene – metale, roci etc.
- solide cristaline eterogene – roci, clincher de ciment, ceramica etc.
- solide amorfe – sticle.

Materialele compozite – sunt materialele alcătuite din mai multe componente compatibile, cu proprietăți complementare, astfel încât produsul rezultat să aibă proprietăți superioare oricăruia dintre componenți.

Materialele asociate – sunt materiale de construcții formate din două sau mai multe materiale unitare sau compozite și îndeplinesc funcții diferite în produsul finit.

Prin asociere se urmărește o armonizare a proprietăților materialelor componente în concordanță cu cerințele impuse elementului sau structurii de construcție respective. Astfel se pot asocia betonul armat, structurile termo-, fono- sau hidro-izolatoare, materiale hidroizolatoare stratificate etc.

1.4 CLASIFICAREA BETOANELOR FOLOSITE ÎN CONSTRUCȚII

Betoanele sunt materiale de construcție compozite obținute prin întărirea amestecurilor omogene de agregate, liant și apă.

Betoanele sunt materiale foarte variate în ceea ce privește proprietățile lor tehnice, modul de fabricare și punere în lucru, tipul construcției la care sunt folosite. De aceea, pot fi utilizate mai multe criterii pentru a le clasifica, și anume după [6]:

- caracteristicile fizice și mecanice;
- condițiile de preparare a betonului;
- modul de punere în operă a betonului.

Betoanele se clasifică:

- după destinație;
- după densitatea aparentă a betonului întărit la 28 de zile în stare uscată;
- după armare;
- după precomprimare.

1.5 CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND DURABILITATEA STRUCTURILOR DIN BETON

Durabilitatea construcțiilor reprezintă o parte componentă a conceptului de calitate [7], exprimând intervalul de timp în care construcția își păstrează toate caracteristicile necesare funcționării ei la nivelul exigențelor stabilite prin proiect. Componentele principale ale noțiunii de calitate sunt:

1. Componentele intrinseci: rezistențe mecanice, dimensiuni geometrice, etc.;

2. Performanțele funcționale: suprafața unei clădiri, capacitatea unui rezervor, etc.;

3. Factorii senzoriali, de care depinde confortul utilizatorilor;

4. Durabilitatea;

5. Siguranța structurală.

În locul termenului de durabilitate se mai utilizează și alții împrumutați din alte domenii cum sunt „fiabilitatea” sau „mentenabilitatea”.

Problema asigurării durabilității se pune cu deosebită acuitate pentru construcțiile din beton armat ca urmare a unor condiții particulare de exploatare cum sunt:

- durata foarte mare, în multe cazuri, a duratei necesare de exploatare,
- condițiile severe de expunere în unele cazuri. Acestea pot decurge, de exemplu, din împrejurarea îngropării în pământ (în medii cu agresivitate chimică, cu umiditate exterioară mare sau din condiții tehnologice grele, etc.).

1.6 DURATA DE VIAȚĂ A CONSTRUCȚIILOR

Structurile de beton armat, pentru orice domeniu de utilizare, se proiectează și se realizează pentru a satisface un set de exigențe funcționale (performanțe) pentru o anumită perioadă de timp, cu intenția de a evita costuri neprevăzute de întreținere și de reparare [16].

Cauzele care produc degradarea construcțiilor de beton armat sunt următoarele:

- exploatarea neadecvată a construcției: încărcarea accidentală a construcției peste nivelul avut în vedere la proiectare, impactul dinamic al unor încărcări neprevăzute, uzura incluzând modificarea dimensiunilor și/sau a pozițiilor relative a unor elemente din ansamblu produsă de încărcările cu caracter monoton sau cu caracter ciclic;

- procesele fizice care se produc în exploatare datorate unor cauze interne sau externe (în funcție de mediul ambiant): fisurarea betonului, înghețul și agenții degivranti, focul, radiațiile, eroziunea (de exemplu, cea produsă de unele materiale stocate în silozuri), deformațiile de durată;

- procesele chimice în urma atacului acizilor, sărurilor și a bazelor asupra betonului;

- procesele electrochimice care produc coroziunea oțelului;

- procesele biologice.

Rezultă astfel că măsurile care trebuie luate împotriva degradării premature a structurilor de beton armat trebuie să se refere la aspectele specifice proiectării, la procesul de execuție, la condițiile de exploatare și tehnicile de protecție [13].

Estimarea duratei de viață a structurii necesită, pe lângă considerarea mecanismelor de degradare, o modelare adecvată a acțiunii încărcărilor asupra structurii, precum și o descriere rezonabilă a comportării la rupere a structurii sau a componentelor acesteia prin criterii adecvate de rupere. Apoi, dezvoltarea unui model convenabil pentru descrierea degradării structurale. În plus, din rațiuni economice, sunt necesare procedee de inspecție și întreținere

a structurii în vederea obținerii costului minim pentru durata de viață a structurii.

1.7 MECANISMELE DE TRANSPORT A AGENȚILOR CARE AFECTEAZĂ DURABILITATEA

Fenomenele de transport în beton ale gazelor, apei și agenților dizolvați reprezintă procese de bază pentru durabilitate. Aceste fenomene depind de mecanismele de legătură ale diferiților compuși chimici și apei, de structura porilor, de condițiile de mediu (microclimatul) și de mecanismul de transport [2], așa cum se arată în schema din figura 1.7.

În procesele chimice și fizice care influențează durabilitatea, doi factori sunt esențiali: conținutul de pori și fisuri și prezența apei.

Structura porilor și umplerea lor cu apă determină permeabilitatea betonului, care controlează la rândul ei penetrarea în masa acestuia a gazelor și a substanțelor dizolvate în apă. Viteza proceselor de transport depinde considerabil de mecanismul de transport (difuzie, sucțiune capilară, penetrare cauzată de presiunea hidraulică).

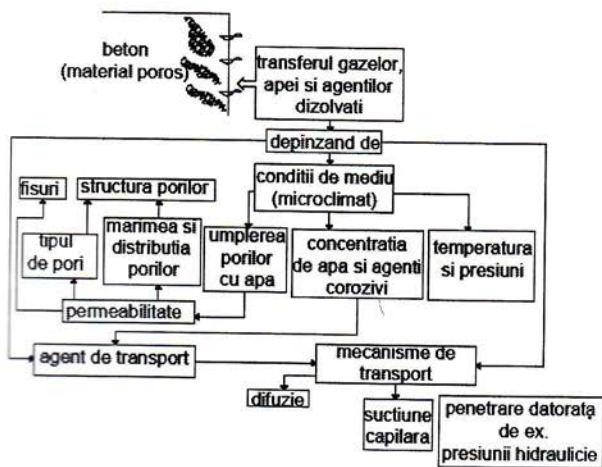
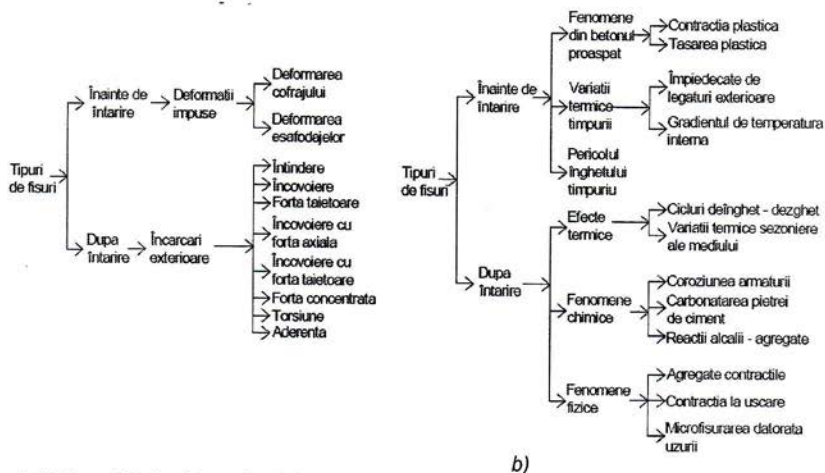


Fig. 1.7 Fenomene de transport în beton

1.8 MECANISMELE DE DEGRADARE A BETONULUI ȘI A ARMĂTURII DE OȚEL

Orice acțiune care reduce durata de viață a structurii în ansamblu sau a unei părți din aceasta implică transformarea energiei mecanice, termice sau chimice dintr-o formă de energie în alta [23]. Aceste acțiuni determină o serie de mecanisme de degradare, care pot fi clasificate în raport cu acțiunile mecanice (forțe și deplasări), acțiunile fizice (de exemplu, temperatura și radiațiile), acțiunile chimice (în cazul acizilor, bazelor sau sărurilor) și acțiunile biologice.



a) Fig. 1.14 Tipuri de fisuri: a – fisuri datorate încărcărilor exterioare; b – fisuri datorate tensiunilor interioare.

Fisurile orientate perpendicular pe armătură sunt mai puțin periculoase decât fisurile longitudinale. Aceasta este datorată faptului că în cazul fisurilor transversale, coroziunea este limitată la o suprafață mică, astfel încât nu apare un risc de despicare a betonului de acoperire.

Fisurarea betonului intervine atunci când deformațiile de întindere la care este supus materialul depășesc alungirile maxime pe care acesta le poate suporta. Cauzele care pot produce fisurarea betonului sunt multiple, așa cum se arată în figura 1.14 [24].

Alcalinitatea betonului (caracterizată printr-o valoare $\text{pH} > 12,5$ a apei din pori) favorizează formarea la suprafața armăturii a unui strat microscopic de oxid, numit și film pasiv. Acest film împiedică dizolvarea fierului și coroziunea oțelului este imposibilă, chiar dacă sunt întrunite celelalte condiții de producere a coroziunii (în special prezența umezelii și a oxigenului) [40].

Alcalinitatea oțelului poate fi redusă local datorită:

- carbonatării (în cazul betoanelor de compactitate redusă, poroase), rezultat al reacției dintre hidroxidul de calciu și bioxidul de carbon (fig. 1.31);
- acțiunii ionilor de clor (Cl^-);
- dizolvarea și antrenarea alcaliilor de către apa care străbate betonul, de regulă în punctele slabe ale structurii (rosturi de construcție neetanșe, fisuri excesiv deschise) sau în betoanele de calitate slabă.

Din examinarea principalelor teorii descrise în literatura de specialitate [47], rezultă că fisurarea unui oțel sub tensiune prin coroziune se poate produce prin două mecanisme, bazate pe:

- dizolvarea chimică selectivă a zonelor anodice, fisura progresând printr-un mecanism anodic în vârful fisurii;
- efectul fragilizant al hidrogenului rezultat din procesul catodic, care difuzează în rețeaua metalică.

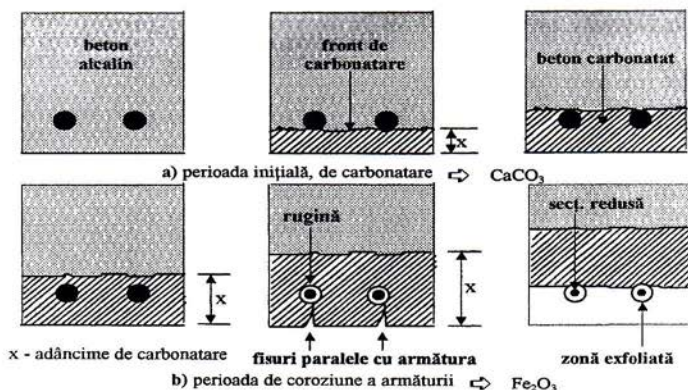


Fig. 1.31 Mecanismul de coroziune a armăturii

În cazul în care armătura este supusă acțiunii simultane a mediului agresiv și a solicitărilor dinamice (la cicluri de încărcare-descărcare sau alternante), ruperea elementului se produce prin fenomenul de oboseală la coroziune.

CAPITOLUL 2

MĂSURI ACTUALE DE PROTECȚIE ANTICOROSIVĂ A ELEMENTELOR DE BETON ȘI BETON ARMAT

2.1 MĂSURI PENTRU ASIGURAREA DURABILITĂȚII ELEMENTELOR DE BETON ARMAT

Conservarea unui aspect plăcut al fațadelor reclamă o proiectare foarte atentă a acestora. Măsurile care trebuie avute în vedere sunt de tipul celor indicate în continuare [51]:

(a) Fațadele trebuie protejate de ploaie de cornișe largi sau prin console distribuite pe înălțimea clădirii.

(b) Betonul întunecat asupra căruia efectul poluării este mai puțin vizibil poate fi utilizat acolo unde este justificat din punct de vedere arhitectural.

(c) Textura betonului trebuie să aibă creștături adânci și apreciate.

(d) Suprafața trebuie curățată la intervale regulate. Această măsură trebuie luată în considerare încă în faza de proiectare în relația cu distribuția elementelor structurale, echipamentul tehnic necesar și costurile implicate. Această opțiune influențează, de asemenea, și alegerea texturii betonului.

(e) Introducerea în amestec a unor substanțe care să elibereze încet biocidul (substanță de atac asupra microorganismelor) fără decolorare sau altă afectare a aspectului betonului. Efectele mediului trebuie foarte atent analizate înainte de a recurge la asemenea procedee.

Pe lângă măsurile de asigurare a calității betonului, este necesar să se considere și alte aspecte care pot afecta durabilitatea construcțiilor de beton [55].

2.2 MĂSURI SPECIFICE PENTRU DIFERITE TIPURI DE MECANISME DE DEGRADARE

Primul și cel mai important obiectiv al proiectării de durabilitate este identificarea și cuantificarea extinderii posibile a tipului și severității agresivității mediului. Strategia proiectării este să realizeze o structură cu suficientă rezistență la mediul identificat și efectele lui de degradare.

Sunt recunoscute două strategii de bază:

Strategia I urmărește eliminarea riscului reacțiilor de degradare considerate. Alegerea compozițiilor de materiale optime și a detaliilor structurale astfel încât structura să reziste reacțiilor cu efect de degradare.

Strategia II este reprezentată de diferite categorii de prevederi de proiectare. De exemplu, protecția față de coroziune poate fi obținută prin prevederea unei grosimi suficiente a acoperirii cu beton și printr-o rețetă adecvată care să asigure un beton compact. Structura poate fi făcută mai puțin vulnerabilă la atacul agresiv printr-o detaliere adecvată a formei elementelor, cu o suprafață expusă minimă cu colțuri rotunjite, prin prevederea de drenaje etc.

2.3 MĂSURI PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA DURABILITĂȚII ÎN CONDIȚII SPECIALE DE MEDIU

Pentru elementele de beton armat situate în condiții de mediu cu agresivitate moderată, măsurile curente luate la proiectare (alegerea adecvată a cimentului, o rețetă judicioasă, acoperirea cu beton, măsurile posturnare pentru controlul umidității și temperaturii, geometria suprafeței expuse a elementului) toate adaptate tipului de agresivitate identificat pe amplasament, sunt suficiente pentru a obține o comportare satisfăcătoare în exploatare.

Există și situații în care structura sau o parte a acesteia este expusă în mod prematur deteriorării [56].

Betonul de ciment cu polimer este un material cu diferite adaosuri de combinații organice macromoleculare sub forma de soluții apoase de polimeri (produși ai polimerizării de emulsie a diferitor polimeri: vinilacetat, clorură de vinil, latexuri etc.) sau coloide solubile în apă (alcool polivinilic și furfurilic, rășini epoxidice solubile în apă, rășini poliamidice și ureoformaldehidice). Adaosurile se introduc în amestecul de beton în timpul preparării acestuia.

Adaosul unei mici cantități de fibre de polipropilenă în amestecul de beton reduce riscul fisurării contracției plastice. Adăugând fibre de oțel, se reduce riscul de fisurare atât la contracția plastică, cât și ulterior, la contracția din uscare. Adaosul de fibre de oțel permite astfel să se realizeze tronsoane lungi de construcție fără rosturi de dilatație.

Betonul de ciment cu polimer se caracterizează prin prezența a două componente active – liantului mineral și celui organic [69]. Liantul în combinație cu apa formează piatra de ciment, care lipește particulele de agregate într-un monolit.

2.4 CONCEPTUL DE CLASĂ DE DURABILITATE

Clasa de durabilitate reprezintă un concept nou, original care va putea avea o contribuție importantă la realizarea obiectivului privind asigurarea durabilității construcțiilor din beton armat în toate fazele de realizare a acestora (concepție, proiectare, execuție) [35]. De asemenea se va realiza o legătură mai strânsă între cerințele de rezistență și de durabilitate ale betonului în abordarea tuturor etapelor de viață a construcțiilor din beton armat.

Clasele de durabilitate reprezintă în fond un concept nou bazat pe aplicarea ultimelor reglementări europene de proiectare (SR EN 1992 - Eurocodul 2, Calculul structurilor din beton armat), de producere a betonului (SR EN 206-1), sau de execuție a structurilor din beton SR EN 13670-1.

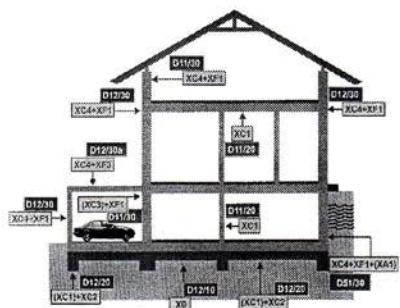


Fig. 2.10 a - Exemple de clase de durabilitate / combinații clase de expunere (construcții civile)

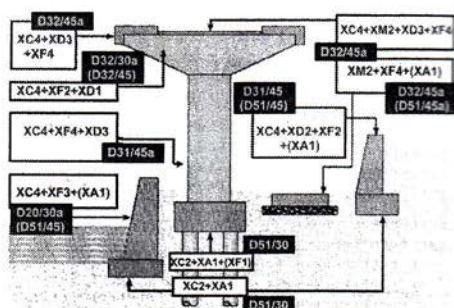


Fig. 2.10 b - Exemple de clase de durabilitate / combinații clase de expunere (construcții de drumuri, poduri, hidrotehnice)

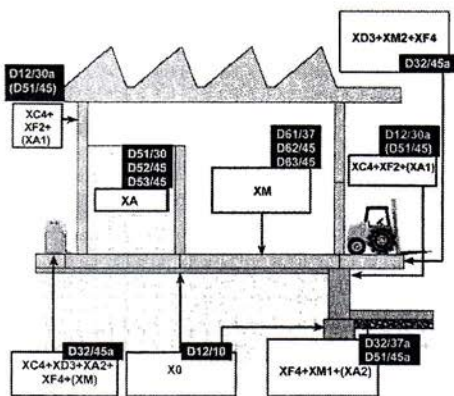


Fig. 2.10 c - Exemple de clase de durabilitate / combinații clase de expunere (construcții industriale)

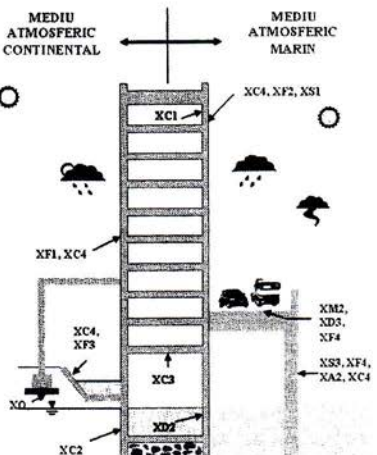


Fig. 2.10 d - Exemple de combinații de clase de expunere pentru diferite tipuri de construcții și medii de expunere

Combinarea claselor de expunere este un aspect deosebit de important pentru definirea cerințelor de durabilitate.

Se poate observa că în cele mai multe cazuri, elementele de construcții sunt supuse concomitent la mai multe tipuri de medii, fiind astfel necesară combinarea claselor de expunere. Diferitele combinații de medii de expunere au fost prezentate pentru toate tipurile reprezentative de construcții civile (figura 2.10 a), drumuri, poduri, hidrotehnice (figura 3.3 b) și industriale (figura 2.10 c).

2.5 CONLUZII

- Coroziunea armăturilor în beton depinde de mai mulți factori și în primul rând de proprietățile de protecție a betonului;

- În cazul exploatării construcțiilor de beton în condiții aeriene ce nu conțin gaze agresive starea corosivă a armaturii depinde de gradul de carbonatare a stratului de protecție din beton. Dacă pH-ul stratului de protecție din beton devine mai mic de 9, atunci betonul își pierde proprietățile de protecție;

- Protecția anticorosivă a armaturii betonului poate fi asigurată numai prin folosirea calculată în complex a metodelor noi, inclusiv prin aplicarea pe suprafețele de beton a acoperirilor polimerice, rezistente la fisurare și acțiunea chimică în condiții de exploatare date.

PARTEA EXPERIMENTALĂ

CAPITOLUL 3

METODOLOGIA CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

3.1 TEHNICI ȘI MIJLOACE DE INVESTIGARE A ELEMENTELOR DIN BETON ȘI BETON ARMAT

Proprietățile mecanice, fizice și chimice ale materialelor compozite sunt inerent corelate cu studiul structurii acestora.

În mecanică, fizică, chimie și inginerie, în studiul materialelor compozite, al proprietăților macroscopice ale structurilor cristaline sau polimerice, suntem adesea conduși către studiul problemelor la limită în medii cu structură periodică. Astfel de medii pot avea însă o structură microscopică eterogenă foarte complicată. În mod tipic, în astfel de structuri, parametri fizici sunt discontinui și oscilează foarte rapid. De exemplu, într-un material compozit, material constituit din amestecul fin a două sau mai multe componente, parametri fizici sunt evident discontinui și oscilează între diferite valori care caracterizează fiecare componentă în parte. Când aceste componente sunt foarte fin amestecate, acești parametri oscilează foarte rapid și structura microscopică devine extrem de complicată. Dacă perioada structurii este mică în comparație cu regiunea în care studiem sistemul dat sau, altfel spus, dacă neomogenitățile sunt mici, raportate la dimensiunea globală a structurii, atunci este necesară o analiză

asimptotică. În descrierea structurii date prezintă importanță două scări: o scară comparabilă cu dimensiunea perioadei, numită scara microscopică și o scară comparabilă cu dimensiunea globală a sistemului, numită scara macroscopică.

Scopul metodelor de omogenizare este reprezentat de trecerea de la scara microscopică la cea macroscopică; mai precis, se încearcă să se descrie proprietățile macroscopice ale sistemului neomogen, în funcție de proprietățile structurii sale microscopice. Intuitiv, sistemul neomogen este înlocuit de un sistem fictiv, omogen, ale cărui caracteristici globale reprezintă o buna aproximație a sistemului inițial.

În lucrare, s-a urmărit descrierea proprietăților efective a materialului compozit – beton de ciment cu polimer, armat dispers cu fibre – în funcție de: geometria fibrelor, concentrația lor volumică în matricea de beton cu polimer, proprietățile matricei și ale fibrelor. Proprietățile unor materiale compozite ce conțin fibre sunt adesea superioare celor ale materialelor convenționale. Analiza corelației proprietăților mecanice și chimice ale materialelor compozite constituie o preocupare de reală importanță, putând astfel controla și obține proprietăți mecanice și chimice superioare ale materialelor utilizate.

3.2 SISTEME DE MĂSURĂTORI PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR BETONULUI

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

3.2.1 Rezistența la compresiune;

3.2.2 Rezistența la întindere din încovoiere;

3.2.3 Defecte ale elementelor din beton;

3.2.4 Determinarea poziției / grosimii armăturilor și a grosimii stratului de acoperire;

3.2.5 Aprecierea durabilității betonului;

3.2.6 Încercarea la aderență a straturilor de acoperiri protectoare, depuse pe suprafața betonului;

3.2.7 Analiza microstructurală a materialelor betonului.

3.3 APARATURA, ECHIPAMENTELE ȘI DISPOZITIVELE UTILIZATE ÎN SCOPUL DETERMINĂRII STRUCTURII ȘI PROPRIETĂȚILOR BETONULUI

Pentru evaluarea structurii, compoziției și proprietăților materialelor compozite s-au utilizat diverse metode: microscopia optică, microscopia electronică, analiza röntgeno-structurală, teste la compresiune, de încovoiere, teste de determinare a aderenței, porozității, permeabilității la apă, rezistenței la coroziune (metoda statică în apă de mare, camera de ceață salină, căldură umedă, metode electrochimice, etc.).

Încercările de rezistență pot fi clasificate, în mare, în încercări mecanice distructive și încercări nedistructive, acestea din urmă permițând repetarea testului pe aceeași epruvetă, și deci, făcând posibilă studiarea variației proprietăților în timp. Verificarea calității betonului întărit comportă

determinarea proprietăților fizice, a proprietăților de deformație, a rezistențelor mecanice și a proprietăților de durabilitate și compararea caracteristicilor obținute cu cele prescrise.

Epruvetele necesare efectuării încercărilor sunt de formă cubică, cilindrică și prismatică (funcție de tipul de încercări), care se confecționează din beton proaspăt. Dimensiunile epruvetelor cubice sunt de 150 × 150 × 150 mm, cilindrice - Ø 150 × 300 mm și prismatice - 150 × 150 × 550 mm; 200 × 200 × 700 mm cu o abatere de maximum ± 0,5%. Epruvetele se confecționează prin vibrare, pe o masă vibrantă de laborator.

Epruvetele se păstrează în camere speciale (fig. 3.3) și în cuve (fig. 3.4) în următoarele condiții tabelul 3.1.

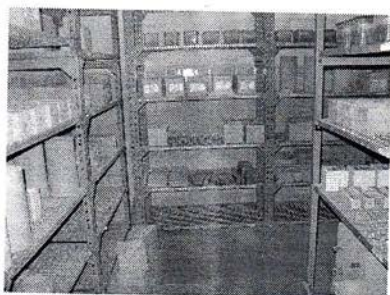


Fig. 3.3 Camera de păstrare a probelor în aer (mediu controlat)

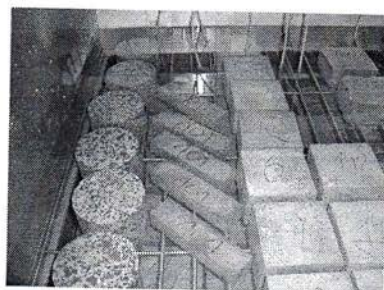


Fig. 3.4 Cuvă de păstrare a probelor în apă

Determinarea **rezistenței la compresiune** s-a efectuat pe epruvete cubice și cilindrice cu ajutorul preseii hidraulice [78], Cybertronic cu 4 coloane (fig. 3.5), ce are o capacitate de 2000 kN.

Metodele mecanice (denumite și metode de duritate superficială) se bazează pe măsurarea proprietăților mecanice ale stratului de suprafață al betonului, respectiv a relației existente între duritatea betonului și rezistența sa la compresiune.

Metoda nedistructivă de recul (sclerometru tip "Digi-Schmidt" - fig. 3.6) este bazată pe principiul măsurării reculului [79], pe care o masă mobilă a aparatului îl suferă în urma impactului normal pe suprafața betonului. Aparatul înregistrează automat indicele de recul liniar sau unghiular. Reculul este folosit ca un indicator al durității superficiale a betonului, utilizat pentru evaluarea rezistenței betonului „in situ”. Determinarea rezistenței la compresiune se realizează în baza datelor afișate pe ecran.

Determinarea rezistenței la compresiune a betonului prin metoda acustică

Prin încercări acustice se înțeleg acele încercări în care se măsoară caracteristicile de propagare ale unor impulsuri constituite din vibrații de frecvențe variabile, cuprinse de obicei în domeniul ultrasonor (frecvența oscilațiilor elastice depășește limita de audibilitate de 15 - 20 kHz). Caracteristicile măsurate pot fi: timpul sau viteza de propagare a undelor

longitudinale, a undelor de dilatare, a undelor placă, a undelor transversale sau a undelor de suprafață și atenuarea ultrasunetelor [80].

Aparatul de măsură cu ultrasunete Pundit Lab (fig. 3.9), principiul de funcționare al căruia se bazează pe emiterea și recepția undelor acustice, ale căror parcurgere prin obiectul supus controlului caracterizează calitățile lui fizico-mecanice. Aparatul permite măsurarea timpului de propagare a oscilațiilor ultrasonice în materiale, amplitudinii de alternanță a impulsurilor recepționate, detectarea defectelor de tip discontinuitate (stratificări și inaderențe de adeziune) în obiectele din beton prin măsurarea duratei frontului înaintării primare a semnalului recepționat.

Determinarea rezistenței la întindere din încovoiere a betonului s-a realizat cu ajutorul preseii hidraulice Cybertronic (fig. 3.10) prin aplicarea unei sarcini epruvetelor prismatice prin două fălci semicirculare cu o creștere constantă a sarcinilor. Grinzile armate s-au încercat pe o instalație cu două dispozitive acționate hidraulic și servocontrolate de tip MTS 204.72 de 350 kN (fig. 3.11).

Determinarea defectelor betonului, în special a fisurilor, s-a realizat prin procedee tradiționale: prin metode cu citire directă (mecanice sau optice), cu ajutorul fisurometrului (fig. 3.12) și a lupei micrometrie (fig. 3.13), care permit măsurarea deschiderii fisurilor pe o direcție normală pe lungimea (traseul) acestora.

Impermeabilitatea la apă a betonului întărit s-a măsurat la o masă de impermeabilitate tip PROETI (fig. 3.14) la care pragul de presiune reprezintă presiunea maximă a apei până la care aceasta pătrunde în epruvete, fără a depăși adâncimea limită prescrisă, în condițiile când epruvetele sunt supuse unor regimuri de aplicare și creștere a presiunii apei convențional stabilite.

Permitivitatea la aer a probelor de beton s-a măsurat cu ajutorul aparatului Torrent (fig. 3.15), care permite o măsurare rapidă și nedistructivă a calității stratului de protecție din beton (porozității) în vederea determinării durabilității lui. Permitivitatea la aer și umezeală este un indicator excelent pentru durabilitatea potențială a betonului și rezistenței lui la permeabilitatea substanțelor agresive [86].

Mașină de tăiat și șlefuit probe (fig. 3.16) se folosește pentru debitarea din epruvete de beton a unor plăci (fig. 3.17) în vederea studierii structurii la microscop.

Pentru **determinarea nedistructivă a calității betonului** prin diferite metode de propagare a ultrasunetelor s-a folosit un aparat de măsură cu ultrasunete tip TICO (fig. 3.18), care folosește metoda vitezei de impuls pentru a oferi informații cu privire la uniformitatea structurii din beton, cavitații, fisuri și defecte.

Pentru **determinarea poziției și diametrelor armăturilor** și a grosimii straturilor de acoperire cu beton s-a utilizat metoda câmpului magnetic. În acest sens se folosește Pahometrul tip PROCEQ PROFOMETER 5⁺. Principiul de funcționare este bazat pe impulsuri de inducție fig. 3.24. Aparatul

este compus din doi transformatori din care unul cu circuit magnetic deschis (sonda de palpăre – fig. 3.25).

Analizorul de coroziune tip CANIN se utilizează pentru **detectarea rapidă a coroziunii incipiente** de pe suprafața armăturilor din corpul betonului – metoda capacitivă [90]. Măsoară și rezistența electrică specifică a betonului – metoda rezistivă (fig. 3.26). Exactitatea măsurărilor potențialelor pe un sector ajută la detectarea pe armături a sectoarelor corodate. Coroziunea elementelor de oțel în stratul de beton reprezintă un proces electrochimic. Sectorul cu pericol potențial, de pe suprafața de beton, este cercetat cu ajutorul unui electrod, denumit pereche microgalvanică și voltmetru cu rezistență înaltă.

Rezistența la îngheț-dezghet s-a determinat în camera climatică tip PROETI. Rezistența la îngheț-dezghet a unui beton este definită prin numărul maxim de cicluri de îngheț-dezghet succesive pe care epruvetele le pot suporta [91], după o vârstă de cel puțin 28 zile de la confecționare, fără ca reducerea de rezistență să fie mai mare de 25%, respectiv fără ca reducerea modulului de elasticitate dinamic să fie mai mare de 15%.

Instalația pentru **determinarea rezistenței la coroziune** – celulă electrolitică cu potențostat-galvanostat tip P-30S se folosește pentru inducerea coroziunii accelerate în betonul armat [92]. Testele de coroziune accelerată: în soluția de Na_2SO_4 la atac chimic este una din cele mai reprezentative, simulând destul de bine condițiile de depozitare, transport și exploatare a reperelor. Instalația pentru determinarea coroziunii în condiții de testare la atac chimic este prezentată în figura 3.30.

Instalația de **încercări în ceață salină** (fig. 3.31) este destinată determinării rezistenței diferitelor produse industriale, la degradările produse de aerosoli salini [93]. Prin această încercare se urmărește stabilirea calității și uniformității acoperirilor de protecție, existând două posibilități de realizare a încercării în ceață salină: continuă și discontinuă.

Încercarea la coroziune în atmosferă artificială s-a realizat într-o cameră de coroziune. În apă distilată, la $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ se dizolvă o cantitate suficientă de clorură de sodiu, pentru obținerea unei concentrații a clorurii de sodiu în soluția pulverizată colectată de 50g/l \pm 5g/l. S-a reglat pH-ul soluției saline, astfel încât pH-ul soluției colectate în camera de pulverizare să fie cuprins între 6,5 și 7,2. S-au efectuat corecțiile necesare prin adăugare de soluție de acid clorhidric sau de hidroxid de sodiu de calitate analitică recunoscută.

Este prevăzută posibilitatea de testare a probelor sub acțiunea agresivă a bioxidului de carbon.

Încercarea la aderență a straturilor de acoperiri s-a făcut cu ajutorul aparatului DYNAMETER (fig. 3.33), care măsoară forța de aderență a straturilor de acoperiri, depuse pe suprafața betonului, prin smulgere [95].

Analiza structurală și microstructurală s-a realizat cu ajutorul microscopului optic OLYMPUS, la mărimi de $\times 100$, $\times 500$, $\times 1000$; Microscopul – NEOPHOT, la mărimi de $\times 500$, $\times 1000$; Microscopul electronic prin transmisie –

TEM - la mărimi de $\times 200\ 000$; Microscopul electronic de baleaj - SEM - la mărimi de $\times 100, \times 400, \times 800, \times 1600, \times 3200, \times 6400$.

CONTRIBUȚII PROPRII

CAPITOLUL 4

EXPERIMENTĂRI PRIVIND STABILIREA COMPOZIȚIEI OPTIME A BETONULUI DE CIMENT CU POLIMER ARMAT DISPERS CU FIBRE

4.1 STABILIREA TIPULUI DE CIMENT, AGREGATE, ADAOSULUI DE POLIMER ȘI A FIBRELOR DE ARMARE

Betonul este un material compozit tip conglomerat obținut prin întărirea unui amestec bine omogenizat de ciment, agregat, apă și eventual adaos și aditivi.

La stabilirea compoziției betonului se urmărește determinarea cantităților de materiale necesare pentru prepararea unui m^3 de beton proaspăt. Compoziția betonului trebuie astfel stabilită încât să asigure obținerea lucrabilității, durabilității și rezistențelor necesare, în condițiile utilizării unui dozaj minim de ciment.

Stabilirea compoziției betonului de ciment, cu importanță tehnică și economică, trebuie să se efectueze conform normativelor în vigoare [99].

Pentru stabilirea compoziției betonului trebuie cunoscute:

- caracteristicile fizico-mecanice și chimice ale betonului de preparat și-n special rezistența caracteristică;
- caracteristicile materialelor utilizate la preparare (ciment, agregat, apă, aditivi);
- condițiile de punere în operă, de întărire și de exploatare ulterioară;
- dimensiunea minimă a secțiunii elementului de construcție și gradul de armare în funcție de care se alege d_{max} agregat.

La elaborarea compoziției cercetate a betonului pentru elemente de construcții s-au folosit următoarele tipuri de materiale: liant (ciment Portland); agregate (granit); adaosuri (fibre); aditivi (polimer) și apă, acoperiri de protecție ale căror caracteristici sunt prezentate în tabelul 4.1.

4.2 STABILIREA COMPOZIȚIEI OPTIME A BETONULUI CU ADAOS DE FIBRE ȘI ADITIV DE POLIMER

4.2.1 Stabilirea compoziției betonului simplu de clasa C20/25 fără adaos de fibre și aditiv de polimer pentru $1 m^3$ - (proba martor)

Stabilirea raportului apă/ciment (A/C), conform [105] pentru betonul simplu exploatat în condiții normale raportul este $A/C = 0,60$;

Cantitatea orientativă de apă de amestecare (A) se determină în funcție de clasa betonului [105] – $224 l/m^3$;

Cantitatea de ciment se evaluează, aplicând relația: $C = A : A/C = 224 : 0,60 \approx 380 \text{ kg/m}^3$;

Cantitatea de agregate în stare uscată se determină din [106] în funcție de tipul agregatului și granulozitate:

- granit fracția 5-20 mm – 1104 kg/m^3 ;
- nisip cuarțos fracția 0-4 mm – 595 kg/m^3 .

Tabelul 4.2 Compoziția betonului de clasa C20/25

Componente	Cantitatea
Ciment Portland CEM I 32,5R	380 kg/m^3
Granit fracția 5-20 mm	1104 kg/m^3
Nisip cuarțos fracția 0-4 mm	595 kg/m^3
Apă	224 l/m^3
Apă/ciment	0,60

Din acest amestec s-au confecționat 12 epruvete cubice, păstrarea cărora s-a făcut conform [77].

Încercările la compresiune se efectuează la vârsta de 2, 3, 7 și 28 de zile, pe 3 epruvete, calculându-se valoarea medie pentru fiecare vârstă.

Pe lângă cunoașterea rezistenței betonului într-un element de construcție executat, adesea este necesară stabilirea proprietăților elastodinamice, a defectelor interne ale betonului, grosimea diferitelor straturi de protecție, densitatea betonului, poziția rosturilor de lucru etc.

Aceste mărimi pot fi determinate utilizând metode nedistructive de încercare a construcțiilor, conform 3.2.1. Încercări nedistructive sunt acelea cu ajutorul cărora se obțin date asupra proprietăților unui material fără a-i perturba structura internă.

Rezistențele betonului sunt mărimi convenționale, stabilite prin încercări de scurtă durată. Rezistența la compresiune reprezintă principalul criteriu de calitate al betonului [108]. Determinările cele mai frecvent utilizate sunt prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3 Încercări (distructive) uzuale pentru beton

Tipul rezistenței	Tipul solicitării	Forma probei	Denumire	Simbol
Rezistența la compresiune	Compresiune monoaxială	cub	Rezistența cubică (încercare standardizată)	R_b
		cilindru	Rezistența cilindrică	R_{bc}
	Încovoiere	grindă armată	Rezistența la compresiune din încovoiere	R_i
Rezistența la întindere	Întindere prin încovoiere	grindă	Rezistența la întindere din încovoiere (încercare standardizată)	R_t

Rezistența la compresiune pe cuburi R_b și cilindri R_{bc} este principalul criteriu de calitate al betonului [108]. Ea este o valoare convențională, folosită pentru definirea calității betonului prin clasa de beton.

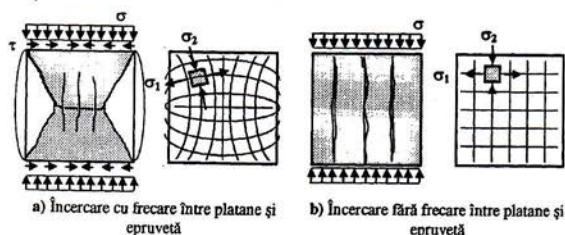


Fig. 4.2 Rezistența la compresiune pe cuburi

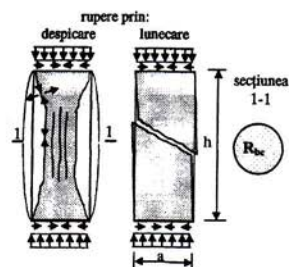


Fig. 4.3 Rezistența prismatică și cilindrică

Rezistența la compresiune din încovoiere R_i se determină pe grinzi din beton armat, astfel alcătuite, încât ruperea să se producă în zona comprimată prin zdrobirea betonului, fără ca în armătură să se atingă limita de curgere (fig. 4.4 a) [82].

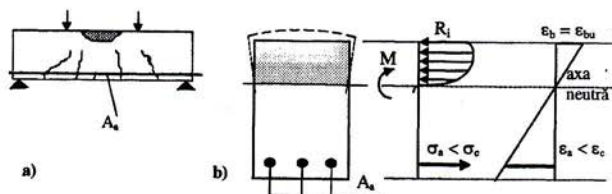


Fig. 4.4 Rezistența la compresiune din încovoiere

Rezistența la întindere din încovoiere se determină conform normelor românești [82] pe prisme având $h = 100$ mm, admitând plasticizarea integrală:

$$R_i = \frac{M_p}{W_{pl}} = \frac{3,5 M_p}{bh^2} = 0,875 \frac{Pl}{bh^2} \quad (2.24)$$

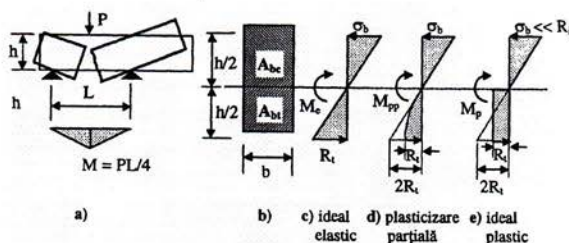


Fig. 4.5 Rezistența la întindere din încovoiere

4.2.2.1.1 Încercări la compresiune prin metoda reculului

Pentru comparația datelor obținute în urma testării la presa hidraulică probele cu vârsta de 28 zile, înainte de încercări distructive, au fost testate prin metoda reculului cu sclerometru tip "Digi-Schmidt" (fig. 4.6) [79]. Rezultatele se afișează automat pe ecran (fig. 4.7) și se înregistrează pe calculator (fig. 4.8 și 4.9).



Fig. 4.6 Încercarea probelor

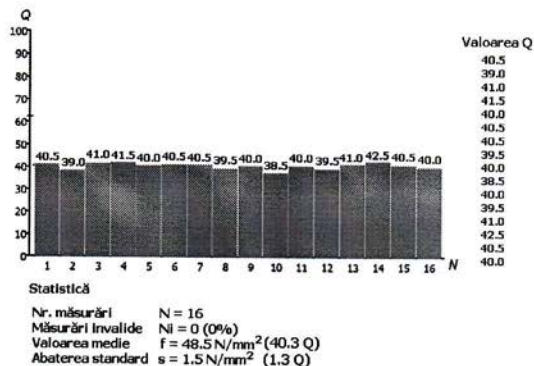


Fig. 4.8 Rezultate de duritate superficială cu Digi-Schmidt pe probă martor din beton la vârsta de 28 zile

4.2.2.1.2 Încercări la compresiune prin metoda acustică

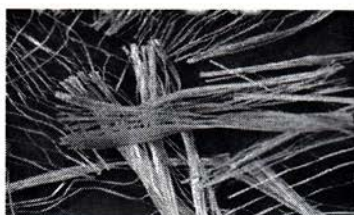
Pentru comparația datelor obținute în urma testării la presa hidraulică probele cu vârsta de 28 zile, înainte de încercări distructive, au fost testate prin metoda acustică cu ajutorul aparatului de măsură cu ultrasunete Pundit Lab (fig. 4.11), având un traductor special (fig. 4.12) pentru înregistrarea datelor la calculator.

Încercările s-au făcut pe toate fețele cubului din beton simplu C20/25.

4.2.3 Determinări experimentale privind cantitatea optimă de adaos de fibre pentru armarea dispersă a betonului

Fisurile în beton se formează la etapa inițială de tasare (în stare plastică) și pot diminua integritatea și rezistența betonului. Aceste fisuri se formează în primele 24 h după turnarea betonului. Cauzele apariției fisurilor se datorează faptului că tensiunea existentă depășește rezistența betonului. Acest lucru poate fi evitat prin adăugarea unei cantități optime de fibră de polipropilenă în amestecul de beton.

Fibre din polipropilenă inertă – homopolimer, de culoare albă și bej (fig. 4.15 a și b), se prezintă ca niște fire lenticulare, fibrilate longitudinal, apoi răsucite, care lucrează în masa amestecurilor ca o puzderie de holzşuruburi, asigurând ca o punte potențialele porțiuni cu fisuri. Având o tenacitate și o rezistență la rupere mare, plus marginile tip lamă de fierăstrău și forma elicoidală a fibrei, aceasta face imposibilă extragerea lor din masa betonului.



a)

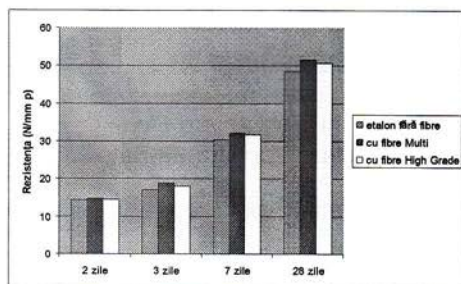
b)

Fig. 4.15 Fibre din polipropilenă pentru armarea betoanelor și mortarelor
a) Multi 190 și b) High Grade 380

4.2.3.1 Stabilirea cantității optime de fibre din polipropilenă tip Multi 190 și High Grade 380

4.2.3.1.1 Încercări la compresiune la presa hidraulică

În vederea stabilirii unei compoziții optime cu adaos de aceste fibre s-au preparat câte cinci amestecuri de beton cu conținut diferit de fibră tip Multi 190 și High Grade 380 corespunzător (tab. 4.4). Dozarea de fibre s-a început de la 250 g/m cub de beton, crescând gradual la fiecare șarjă, până la 1250 g/m cub. La prepararea fiecărui amestec, de fiecare dată s-a adăugat o cantitate mai mare de apă pentru o mai bună umectare a fibrelor și lucrabilității betonului, restul componentelor variind foarte puțin.



Din fiecare amestec s-au confecționat câte 9 epruvete cubice (cilindrice) și 9 epruvete prismatice (fig. 4.16 a, b, c), păstrându-se la temperatura mediului ambiant. Încercările la compresiune și la încovoiere s-au efectuat la vârsta de 2, 3, 7 și 28 de zile pe 3 epruvete, calculându-se valoarea medie pentru fiecare vârstă.

Tipul de încercare	Rezistența la compresiune în medie (N/mm ²)				
	la 2 zile	la 3 zile	la 7 zile	la 28 zile	
Proba martor (fără adaos de fibre)	14,3	17,3	30,4	48,6	100 %
Beton armat cu Multi	14,8	18,9	32,2	51,6	106 %
Beton armat cu High Grade	14,5	18,0	31,7	50,7	104 %

Fig. 4.17 Încercări la compresiune a probelor armate cu fibre Multi și High Grade, conform șarjii respectiv IV și IX

Concluzii:

1. Încercările nedestructive, pe probe martor, cu ajutorul sclerometrului (4.2.2.1.1) confirmă rezultatele obținute prin rezistența la compresiune - 48,5 MPa \approx 48,6 N/mm².

2. Încercările nedistructive, pe probe martor, cu ajutorul metodei acustice cu ajutorul aparatului de măsură cu ultrasunete Pundit Lab (4.2.2.1.2) confirmă rezultatele obținute prin rezistența la compresiune - $48,3 \text{ MPa} \approx 48,6 \text{ N/mm}^2$.

3. Adăugarea fibrelor nu crește semnificativ rezistența la compresiune.

4.2.3.3 Încercări la întindere din încovoiere a prismelor armate cu fibre

Rezistența la întindere din încovoiere s-a determinat prin aplicarea unei forțe concentrate la jumătatea deschiderii prisme încercate de $150 \times 150 \times 550 \text{ mm}$. Prisma din beton fără fibre de armare a avut o ruptură casantă (fig. 4.21), iar cea armată cu fibre a dat doar câteva fisuri la aceeași valoare a forței aplicate (fig. 4.22).

Tabelul 4.6 Rezultatele încercărilor epruvetelor de beton la întindere din încovoiere armate cu fibre Multi și High Grade

Nr. șarjă	Rezistența la întindere din încovoiere fibre Multi, N/mm^2			Nr. șarjă	Rezistența la întindere din încovoiere fibre High Grade, N/mm^2		
	3 zile	7 zile	28 zile		3 zile	7 zile	28 zile
I	2,5	3,8	4,5	VI	2,6	4,0	5,1
II	2,6	3,9	4,5	VII	2,7	4,1	5,3
III	2,7	3,9	4,6	VIII	2,8	4,2	5,4
IV	2,8	4,0	4,6	IX	2,9	4,3	5,5
V	2,5	3,8	4,5	X	2,7	4,1	5,3

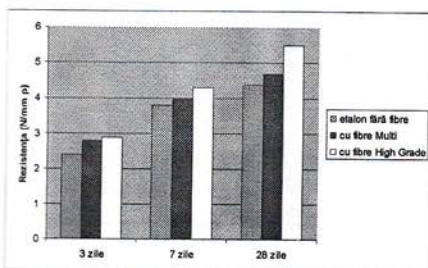


Fig. 4.23 Încercări la întindere din încovoiere a probelor armate cu fibre Multi și High Grade, conform șarjei respectiv IV și IX

Din tabelul 4.6 rezultă, că șarja IX corespunde cantității optime de fibre tip High Grade, iar șarja IV – fibrelor Multi, constituind aproximativ 1 kg/m^3 , deoarece mărirea cantității de fibre nu îmbunătățește caracteristicile betonului la întindere din încovoiere.

Ca urmare a încercărilor la întindere din încovoiere a probelor armate cu fibre Multi și High Grade, conform șarjei respectiv IV și IX, s-a observat creșterea cu 5 și 25 % corespunzător (fig. 4.23).

4.2.4 Determinări experimentale privind cantitatea optimă de adaos de polimer acrilic

Dozarea de aditiv acrilic s-a făcut în raport cu componenții betonului inițial (de referință) prezentate în tabelul 4.3. Adaosul acrilic a fost adăugat după ceilalți componenți ai amestecului (ciment, agregate mici și mari) reducând gradual conținutul din apa de amestec. Dozarea volumetrică de aditiv s-a făcut procentual, conținutul agregatelor uscate crescând nesemnificativ, iar al cimentului rămânând constant (tab. 4.7). Probele cubice (cilindrice) s-au testat la compresiune la 2, 3, 7 și 28 zile după confecționare (fig. 4.26 și 4.27).

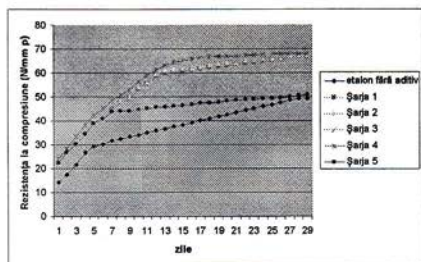


Fig. 4.27 Rezistența la compresiune a probelor din beton cu aditiv acrilic

Concluzie: Adaosul de aditiv acrilic mărește rezistența la compresiune a betonului aproximativ cu 30 %.

Din figura 4.27 se observă, că adăugarea peste 1,0 % de aditiv acrilic în beton diminuează rezistența la compresiune. În afară de aceasta, în timpul preparării betonului cu adaos de 1,25 % aditiv acrilic, acesta avea o consistență mică (beton vârtos) și lucrabilitate joasă.

Tipul de încercare	Rezistența la compresiune în medie (N/mm ²)				
	la 2 zile	la 3 zile	la 7 zile	la 28 zile	
Proba maror (fără adaos de aditiv) – etalon	14,3	17,3	30,4	48,6	100 %
Beton cu 0,25 % de aditiv – șarja 1	22,24	26,58	40,89	61,72	127 %
Beton cu 0,5 % de aditiv – șarja 2	22,36	26,79	41,05	62,21	128 %
Beton cu 0,75 % de aditiv – șarja 3	23,12	27,15	42,89	62,69	129 %
Beton cu 1,0 % de aditiv – șarja 4	24,09	28,35	45,27	63,18	130 %
Beton cu 1,25 % de aditiv – șarja 5	22,31	26,62	40,95	53,46	110 %

4.2.4.2 Determinări la întindere din încovoiere

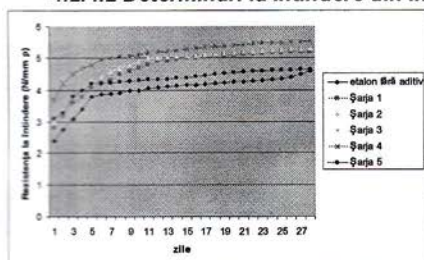


Fig. 4.28 Rezistența la întindere din încovoiere a prismelor din beton cu aditiv acrilic

Din amestecul, din care s-au preparat probele cubice și cilindrice (tab. 4.6) s-au confecționat prisme pentru testarea la întindere din încovoiere a betonului cu aditiv polimeric. Probele prismatice s-au testat la întindere din încovoiere la 3, 7 și 28 zile după confecționare (fig. 4.28).

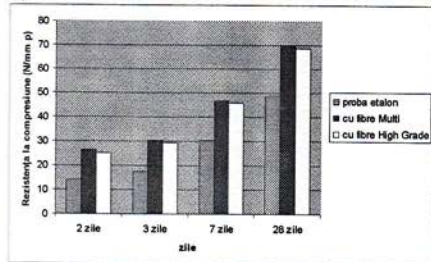
Concluzie: Adaosul de aditiv acrilic mărește puțin rezistența la întindere din încovoiere a betonului.

Adaosul de polimer acrilic peste 1,0 % în beton diminuează rezistența la întindere din încovoiere.

Tipul de încercare	Rezistența la întindere din încovoiere în medie, (N/mm ²)			
	la 3 zile	la 7 zile	la 28 zile	
Proba martor (fără adaos acrilic) – etalon	2,4	3,8	4,4	100 %
Beton cu 0,25 % de aditiv – șarja 1	2,8	4,1	4,75	108 %
Beton cu 0,5 % de aditiv – șarja 2	3,0	4,3	4,84	110 %
Beton cu 0,75 % de aditiv – șarja 3	3,5	4,6	5,06	115 %
Beton cu 1,0 % de aditiv – șarja 4	3,7	4,8	5,10	116 %
Beton cu 1,25 % de aditiv – șarja 5	3,1	4,2	4,62	105 %

4.3 DETERMINAREA CARACTERISTICILOR BETONULUI CU ADAOS DE FIBRE ȘI ADITIV ACRILIC

Cunoscând compozițiile optime ale betonului cu adaos de fibre (cap. 4.2.2) și aditiv acrilic (cap. 4.2.3), precum și caracteristicile mecanice (compresiune și întindere din încovoiere) vom încerca să stabilim compoziția optimă a betonului cu adaos de fibre și aditiv acrilic.



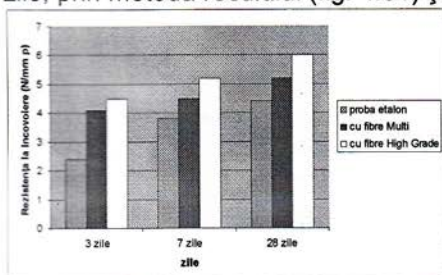
Pentru aceasta s-au confecționat probe cubice (cilindrice) și prismatice, care au fost testate la compresiune (fig. 4.29 și 4.30), cu următoarea compoziție a amestecului de beton (tab. 4.8 și 4.9):

Fig. 4.29 Rezistența la compresiune a probelor din beton cu aditiv acrilic, armate dispers cu fibre

Tipul de încercare	Rezistența la compresiune în medie (N/mm ²)				
	la 2 zile	la 3 zile	la 7 zile	la 28 zile	
Proba martor (fără aditiv acrilic și adaos de fibre)	14,3	17,3	30,4	48,6	100 %
Beton cu aditiv acrilic armat cu fibre Multi	26,35	30,43	46,68	69,98	144 %
Beton cu aditiv acrilic armat cu fibre High Grade	25,12	29,25	45,78	65,61	135 %

Concluzii: Combinația optimă de adaos de fibre și aditiv acrilic sporește considerabil rezistența la compresiune a probelor de beton, în special a celor cu aditiv acrilic armate cu fibre Multi.

Înainte de testarea distructivă la presa hidraulică încercările s-au făcut pe toate fețele cubului din beton cu aditiv acrilic armat cu fibre, cu vârsta de 28 zile, prin metoda reculului (fig. 4.31) și metoda sonoră (fig. 4.32).



Concluzii: Combinația optimă de adaos de fibre și aditiv acrilic sporește considerabil rezistența la întindere din încovoiere a probelor de beton, în special a celor cu aditiv acrilic armate cu fibre High Grade.

Fig. 4.33 Rezistența la întindere din încovoiere a probelor de beton cu aditiv acrilic și armat cu fibre

4.3.1.1 Verificarea la starea limită de fisurare

Efortul unitar de compresiune în beton trebuie limitat pentru a evita fisurile longitudinale, microfisurile sau nivelurile ridicate de curgere lentă, când acestea ar putea avea efecte inacceptabile pentru funcționarea structurii [31]. Fisurarea trebuie limitată astfel încât să nu aducă prejudicii bunei funcționări sau durabilității structurii sau să aducă la un aspect inacceptabil al acesteia.

Pentru încercarea la fisurare s-au luat grinzile confecționate din beton simplu, care au fost încărcate treptat, la o instalație specială (fig. 4.38), până la apariția primelor fisuri, înregistrându-se valoarea efortului și măsurându-se mărimea fisurilor. Starea limită de serviciu a fost înregistrată și încărcarea a fost oprită la o deschidere medie de fisură de 0,2 mm. După descărcare (relaxare), fisurile s-au închis la o deschidere remanentă de 0,03 – 0,04 mm. Distribuția fisurilor la starea limită de serviciu poate fi observată în figura 4.37 pentru grinzile din beton simplu (a) și din beton cu aditiv acrilic, armat cu fibre High Grade (b), cu strat de acoperire cu beton de 50 mm.

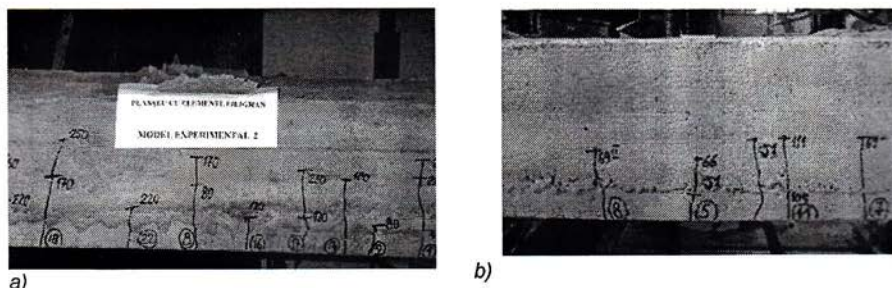


Fig. 4.37 Grinzi din beton simplu (a) și cu aditiv acrilic armat cu fibre High Grade (b), încercate la fisurare la SLS cu strat de acoperire cu beton de 50 mm

După descărcare (relaxare), fisurile s-au închis la o deschidere remanentă de 0,03 – 0,04 mm. Distribuția fisurilor la starea limită de serviciu poate fi observată în figura 4.37 pentru grinzile din beton simplu (a) și din beton cu

aditiv acrilic, armat cu fibre High Grade (b), cu strat de acoperire cu beton de 50 mm.

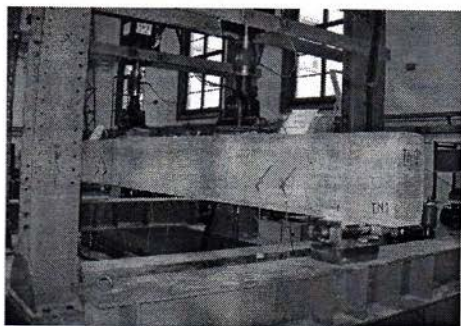


Fig. 4.38 Instalație de încercări „in-situ” a grinzilor din beton armat

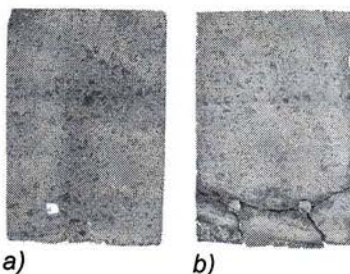


Fig. 4.39 Secțiuni de grindă debitate în zona formării primilor fisuri (a) și în zona de distrugere a stratului de beton (b).

În continuare grinzile din ambele compoziții au fost încărcate până la valorile efortului de apariție a fisurilor, după care s-au studiat cu ajutorul fisurometrului și șublerului în vederea existenței fisurilor (fig. 4.40). În urma studiului fisuri nu s-au observat.

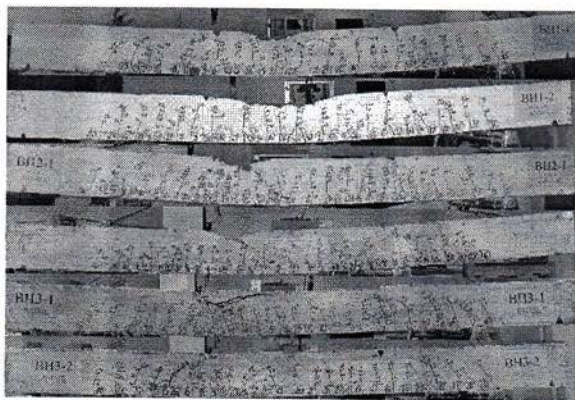


Fig. 4.41 Modul de fisurare și cedare al grinzilor în stadiul limită ultim (SLU)

După aceasta grinzile au fost încărcate până la distrugere, în stadiul limită ultim (SLU) figura 4.41, din care au fost debitate secțiuni în zonele de formare a fisurilor (fig. 4.39 a) și distrugere a stratului de protecție din beton (fig. 4.39 b) pentru studiu.

Tabelul 4.10 Rezistența la întindere din încovoiere a grinzilor din beton armat

Tipul de încercare	Rezistența la întindere din încovoiere în medie, (kN)				
	fisurare	sarcina utilă	sarcina la limita de curgere	sarcina la limita de rupere	distrugere
Proba martor armată (fără aditiv acrilic și adaos de fibre)	21,17	52,29	122,34	135,69	140,38
Beton armat, cu aditiv acrilic și fibre High Grade	30,79	82,32	174,80	190,48	196,57

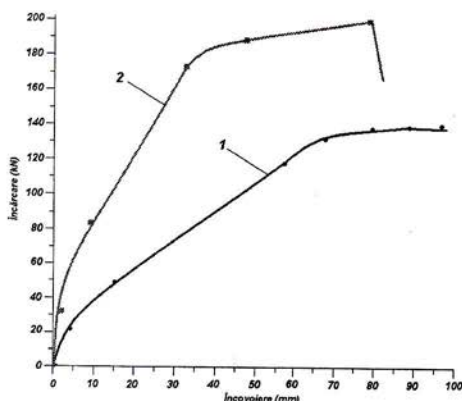


Fig. 4.42 Graficul de încărcare-încovoiere pentru grinzile din beton armat studiate:
1 - de referință;
2 - cu aditiv acrilic și fibre High Grade.

După cum se observă din tabelul 4.10 și figura 4.42 rezistența la întindere din încovoiere a grinzilor din beton armat, cu aditiv acrilic și fibre High Grade, este aproximativ de 1,4 ori mai mare decât a grinzilor de referință, fără aditiv acrilic și adaos de fibre.

4.4 CALCULUL NUMERIC AL STADIULUI LIMITĂ DE SERVICIU ÎN VEDEREA DETERMINĂRII CAPACITĂȚII PORTANTE

4.4.1 Stadiul I

4.4.1.1 Determinarea eforturilor și deformațiilor pe baza secțiunii omogene echivalente

Pentru verificarea rezultatelor experimentale vom încerca să calculăm rezistența grinzilor de beton la starea limită de serviciu.

Conlucrarea beton-armatură este considerată perfectă (în dreptul armaturii $\varepsilon_c = \varepsilon_s$) și comportarea materialelor linear-elastică ($\sigma_c = \varepsilon_c E_c$ și $\sigma_s = \varepsilon_s E_s$). Rezolvarea problemei se poate face pe baza secțiunii omogene echivalente (fig. 4.43 d).

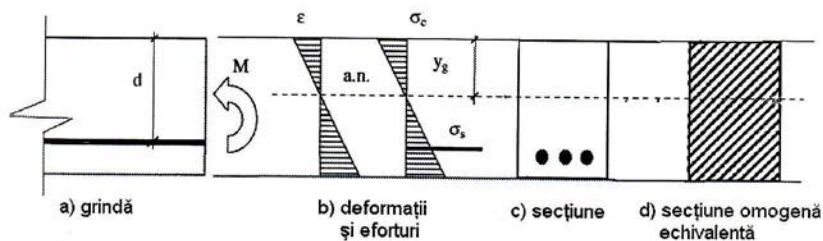


Fig. 4.43 Grinda în stadiul I

4.4.2 Momentul de fisurare

4.4.2.1 Rezistența la întindere

În cazul încovoierii, rezistența la întindere din încovoiere, obținută din încercări la încovoiere pe prisme cu secțiunea dreptunghiulară și cu relația din Rezistența Materialelor:

$$f_{ct,fl} = M_u/W = M_u/(bh^2/6) \quad (4.8)$$

4.4.3 Armarea minimă: condiția de non-fragilitate

Determinarea armării minime se face din condiția că $\sigma_y < f_y$ la apariția primei fisuri, într-un mod asemănător cu cazul elementelor întinse centric.

De exemplu, pentru o secțiune dreptunghiulară, aproximând $y_g \cong h/2$, rezultă:

$$T_c = \frac{bh}{2} \cdot \frac{f_{ct,fl}}{2} = 0,25 bhf_{ct,fl}$$

4.4.4 Stadiul II

4.4.4.1 Determinarea eforturilor și deformațiilor pe baza secțiunii omogene echivalente

Înălțimea zonei comprimate este obținută din relația:

$$S_c = \alpha_e \cdot A_s(d-x) \Leftrightarrow \int_0^x b_x y dy = \alpha_e A_s (d-x) \Rightarrow x \quad (4.12)$$

4.4.5 Stadiul III

4.4.5.1 Momentul de curgere

Momentul de curgere se calculează folosind ecuațiile de la stadiul II, punând suplimentar condiția $\sigma_s = f_y$.

Rezultă:
$$M_y = \frac{f_y I_2}{\alpha_e (d-x)} \quad (4.32)$$

și
$$\varphi_y = \frac{f_y}{E_s (d-x)} \quad (4.33)$$

Observație: Curbura de curgere depinde de geometria secțiunii, de coeficientul de armare și de limita de curgere a armăturii.

4.4.6 Construirea relației moment-curbură

Cu elementele calculate la paragrafele precedente se poate construi relația moment-curbură din figura 4.34 grinzi fisurate (vezi mai sus).

Pentru o secțiune dreptunghiulară și valori uzuale ale coeficienților de armare:

$$M_r \approx (0,2 \dots 0,30)M_u$$

$$M_y \approx 0,9M_u$$

$$K_{II} \approx (0,2 \dots 0,4)K_I$$

$$K_{III} \approx (2 \dots 5) \cdot 10^{-2}K_I$$

4.4.7 Calcul numeric

Pentru determinarea capacității portante s-a luat secțiunea de beton armat dreptunghiulară simplu armată $b \times h = 200 \times 500$ mm cu $a = 50$ mm strat de acoperire cu beton, confecționată conform compoziției din tabelul 4.2 (fig. 4.47).

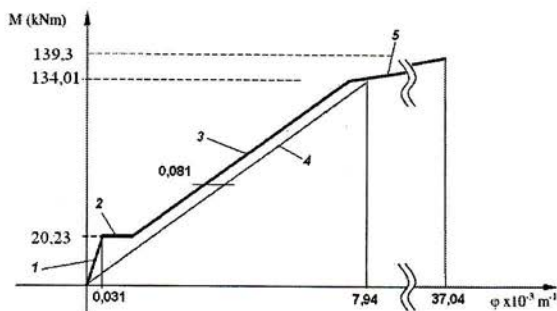


Fig. 4.49 Relația moment-curbură

1 – beton nefisurat; 2 – faza de formare a fisurilor; 3 – fisurare stabilizată;
4 – bară din oțel beton; 5 – curgerea armăturii.

4.4.8 Rezumat și concluzii

O grindă din beton armat solicitată până la rupere trece prin următoarele stadii de lucru:

- stadiul I: beton nefisurat;
- stadiul II: betonul întins fisurat; se deosebesc aici o fază de formare a fisurilor și o fază de fisurare stabilizată;
- stadiul III: curgerea armăturilor și ruperea.

Prezența betonului (și conlucrarea sa cu armătura) are efect în stadiile I și II, afectând rigiditatea elementului. Astfel, în stadiul I, rigiditatea grinzii este mult mai mare decât în stadiul II.

Prezența armăturii în zona întinsă mărește sensibil capacitatea la încovoiere a unui element de beton (de la M_r la M_u).

Deformațiile cresc într-o proporție și mai mare (de la φ_r la φ_u). Deformația ultimă este invers proporțională cu coeficientul mecanic de armare.

Conclucrarea beton-armatură produce o scădere a deformațiilor în stadiul II.

Tabelul 4.11 Comparația rezistenței la întindere din încovoiere a grinzilor din beton armat

Tipul de încercare	Rezistența la întindere din încovoiere în medie, (kN)				
	fisurare	sarcina utilă	sarcina la limita de curgere	sarcina la limita de rupere	distrugere
Proba martor armată (fără aditiv acrilic și adaos de fibre)	21,17	52,29	122,34	135,69	140,38
Rezultatele calculului numeric	20,23	50,00	120,00	134,01	139,30

Din tabelul 4.10 se observă, că rezultatele calcului numeric sunt apropiate de cele obținute la încercarea grinzii martor fără aditiv acrilic și adaos de fibre (fig. 4.42).

CAPITOLUL 5

CONTRIBUȚII PRIVIND INFLUENȚA ADAOSULUI DE POLIMER ȘI FIBRE ASUPRA CARACTERISTICILOR BETONULUI STUDIAT

5.1 DETERMINAREA PERMEABILITĂȚII BETONULUI LA AGENȚI AGRESIVI

5.1.1 Determinarea gradului de impermeabilitate la soluții apoase

Continuitatea structurii capilar-poroase a betonului este dovedită prin permeabilitatea lui, întrucât la presiuni ridicate fluidele pot pătrunde în betonul de ciment de cea mai bună calitate. Datorită structurii eterogene și caracterului evolutiv al structurii, determinarea permeabilității betonului este una din cele mai complexe încercări [85]. Caracterul hidrofil îi determină o comportare diferită la difuzia soluțiilor apoase sau a gazelor, iar pentru același fluid, capilare cu diametre diferite se comportă diferit.

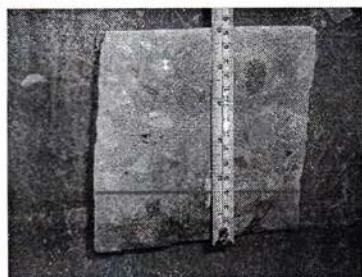
Atacul coroziunii sulfatice are loc sub acțiunea ionilor de sulfati și este diferită de coroziunea acidă provocată de acidul sulfuric [117]. Între ionii sulfatici și constituenții pietrei de ciment se produc reacții chimice, iar produșii de reacție rezultați cristalizează cu creșteri mari de volum. Acumularea produșilor formați, în stare solidă, în porii pietrei de ciment, generează apariția unor forțe distructive în masa betonului, ceea ce determină fisurarea și ulterior expansiunea acestuia. Un aspect particular al atacului sulfatic asupra betonului este acela că evoluția în timp a procesului presupune trei etape: I - etapa de formare a produșilor de reacție sulfatici (sulfat aluminatul tricalcic) în

porii betonului, a II-a - în care are loc creșterea rezistențelor mecanice ale betonului ca urmare a acumulării produșilor sulfatici de reacție în masa acestuia și a III-a etapă, de umflare, fisurare și expulzare a betonului sub acțiunea forțelor interioare dezvoltate prin acumularea de sulfat aluminat tricalcic în masa betonului. Ca urmare a acestui mecanism particular, atacul sulfatic asupra betonului este remarcat, în general, abia în etapa a III-a, în care betonul este deja infestat cu ioni sulfat și fisurat [118].

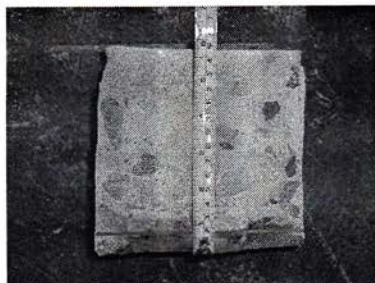
Determinarea gradului de impermeabilitate a betonului studiat s-a făcut pe epruvete-cuburi cu latura 150 mm, pe serii de 3 cuburi din beton cu compoziția conform tabelului 4.2 și 3 cuburi conform compoziției din tabelul 4.8, la vârste de 28, 180 și 365 de zile la masa de impermeabilitate beton tip PROETI (cu 6 posturi) în bazinul căreia s-a turnat soluția de SO_4^{2-} (3000+6000 mg/l) în vederea studierii atacului chimic sub presiune. Fața expusă presiunii soluției corosive s-a ales în raport cu direcția de turnare a betonului în așa fel încât să corespundă situației în care funcționează elementul de construcție.

Încercarea se începe la presiunea de $0,2 \text{ N/mm}^2$ (2 bari), care se menține constantă timp de 48 h, după care s-a ridicat la intervale de 24 h în trepte, reprezentând dublul valorii treptei anterioare. Încercarea se consideră încheiată după scurgerea duratei de 24 h corespunzătoare presiunii finale, fără a depăși momentul în care pe fața superioară a epruvetei apar primele semne de exfiltrație a apei. După valoarea acestei presiuni, betoanele se clasifică în grade de permeabilitate: p_2 , p_4 , p_6 , p_8 , p_{10} și pentru lucrări speciale p_{12} .

Pentru verificarea înălțimii de pătrundere a soluției în masa betonului, epruvetele se scot din dispozitivul de încercare din care se debitează fâșii subțiri, cu ajutorul mașinii de tăiat tip Manta, pentru a măsura adâncimea de pătrundere a soluției (fig. 5.2).



a)



b)

Fig. 5.2 Adâncimea de pătrundere a soluției în betonul simplu (a) și cel cu aditiv și fibre (b).

Ca rezultat se consideră media măsurătorilor efectuate în secțiunile debitate ale epruvetelor unei serii. Cercetările experimentale desfășurate în această fază au putut identifica influențele compoziției betonului asupra caracteristicilor de porozitate și permeabilitate a betonului.

Tabelul 5.1 Rezultate obținute la 365 de zile pentru valorile adâncimii de pătrundere a soluției la $P = 4, 8$ și 12 barr, pe serii de probe cu compozițiile studiate din beton C20/25

Probe	Grad de permeabilitate, P_n	Adâncimea de pătrundere a soluției, h (mm)
Proba-etalon	4	46
	8	42
	12	40
Proba cu aditiv și fibre	4	29
	8	27
	12	14

Din tabelul 5.1 și fig. 5.2 se observă, că betonul cu fibre și adaos de polimer are o porozitate mai mică ceea ce micșorează permeabilitatea betonului la agenți corosivi. Acest lucru este posibil datorită prezenței celor două componente: liantului mineral și substanței organice. Liantul formează cu apa piatra de ciment, care lipește particulele de agregat în monolit. Pe măsura îndepărtării apei din ciment polimerul formează pe suprafața porilor, capilarelor, grăunților de ciment și agregatului o peliculă subțire, care are o aderență bună și ajută la coeziunea dintre agregat și piatra de ciment, îmbunătățește permeabilitatea betonului și funcționalitatea scheletului mineral sub sarcină.

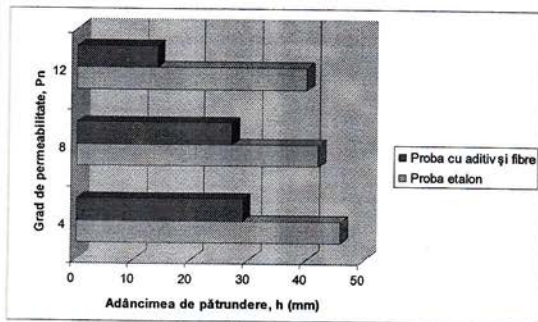


Fig. 5.2 Adâncimea de pătrundere a soluției agresive în probele de beton

Pentru a investiga structura betonului au fost analizate la microscopul electronic cu baleaj Leica Stereoscan 440 suprafețe debitate din mijlocul cubului (fig. 5.3).

Imaginile mărite de 700 ori (fig. 5.3 a) arată, că microstructura betonului simplu este destul de poroasă și se observă pori de diferite lungimi.

Imaginile betonului cu polimer din contra, arată o suprafață mai densă având mai puțini pori, în comparație cu betonul simplu (fig. 5.3 b).

În figura 5.3 c se observă formarea firelor de cristale de polimer. Rezistența împotriva penetrării soluției în beton s-a îmbunătățit semnificativ cu ajutorul polimerului lichid adăugat în beton în procesul de amestecare.

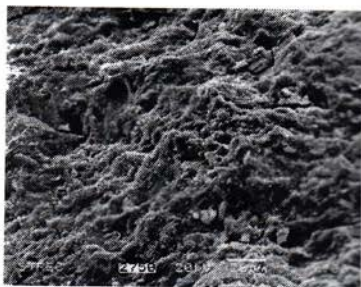
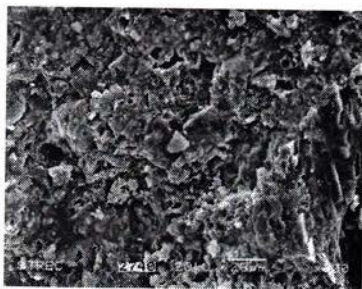


Fig. 5.3 Imagini SEM a betonului simplu (a) și celui cu aditiv și fibre (b) și (c), după încercările la permeabilitate cu soluție de $\text{SO}_4^{2-} \times 700$

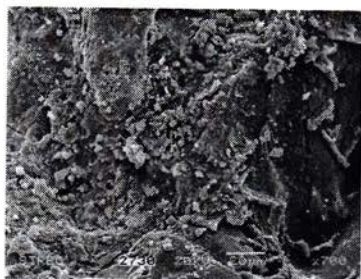


Fig. 5.3 c Formarea rețelei de fire din polimer în interiorul porilor structurii betonului, $\times 700$.

Într-o condiție specifică, firele și rețeaua de polimer formate în interiorul porilor și structurii betonului, au fost în stare să micșoreze la jumătate adâncimea de penetrare a soluției.

Imagini obținute cu ajutorul microscopului au demonstrat, de asemenea, că betonul cu aditiv de polimer are o microstructură mai densă în comparație cu cel simplu.

5.1.2 Determinarea permitivității la aer a suprafeței de beton

Studiul prezintă o metodă și aparatura necesară pentru determinarea „in situ” a permitivității la aer sub presiune a suprafețelor elementelor de construcții din beton. Aparatul de măsurare a permitivității Torrent permite o măsurare rapidă și nedistructivă a calității stratului de protecție din beton în vederea determinării durabilității lui (fig. 5.4). Particularitatea specifică a acestui aparat este celula cu vid cu două camere și un regulator de presiune (fig. 5.5), care asigură afluxul de aer sub un unghi drept spre camera interioară. Acest lucru permite calcularea coeficientului de permitivitate kT pe baza unui model teoretic simplu.

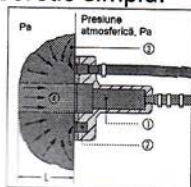


Fig. 5.4 Prezentarea schematică a fluxului de aer spre cele două camere de la unitatea de vid: 1 – camera interioară, presiunea P_i ; 2 – camera exterioră, presiunea P_o . $P_o = P_i$; 3 – jet de aer spre camera interioară; 4 – jet de aer spre camera exterioră; L – adâncimea de pătrundere a vidului.



Fig. 5.5 Celulă cu două camere pentru crearea vidului

Tabelul 5.2 Rezultate obținute la 365 de zile pentru valorile coeficientului de permeabilitate la aer kT , a adâncimii de scurgere a aerului, pe serii de probe cu compozițiile studiate din beton C20/25

Probe	$kT (10^{-6} \cdot m^2)$	Adâncimea de scurgere a aerului, L (mm)	Aprecierea calității betonului*
Proba-etalon	0,300	28,14	normală
	0,280	22,03	normală
	0,200	20,44	normală
Proba cu aditiv și fibre	0,014	12,56	bună
	0,012	10,00	bună
	0,008	6,18	foarte bună

*Aprecierea calității betonului în funcție de coeficientul de permeabilitate la aer:

- foarte bună ($kT < 0,01$);
- bună ($0,01 < kT < 0,1$);
- normală ($0,1 < kT < 1,0$).

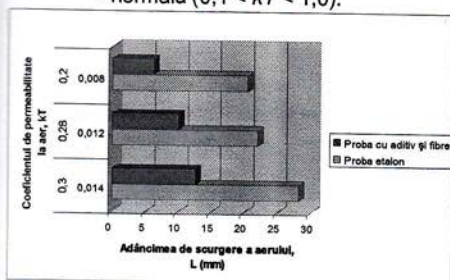


Fig. 5.7 Variația coeficientului de permeabilitate la aer kT și adâncimea de scurgere a aerului L .

Din tabelul 5.2 și figura 5.7 se observă, că permeabilitatea la aer a probelor cu aditiv acrilic și fibre este aproximativ de două ori mai mică, decât la probele etalon.

Determinarea experimentală a permeabilității la aer/apă permite cuantificarea unor valori ai acestor parametri în funcție de o anumită utilizare.

Principala concluzie, care se desprinde din aceste cercetări, este aceea că rezultatele care se obțin pentru valorile caracteristicilor de absorbție, permeabilitate și porozitate pot fi utilizate într-o abordare de performanță pentru stabilirea domeniilor de utilizare a acestor tipuri de beton în aplicații specifice.

5.2 DETERMINAREA DEFECTELOR BETONULUI CU AJUTORUL ULTRASUNETELOR

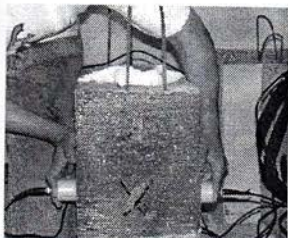


Fig. 5.8 Testarea grinzilor din beton prin metoda directă

Într-un element din beton, viteza de propagare longitudinală a ultrasunetelor V_L se determină prin măsurarea timpului parcurs t de impulsul ultrasonic pe lungimea de propagare d , astfel încât există relația:

$$V_L = d/t;$$

Din grafic (fig. 5.10) se observă, că betonul cu aditiv și fibre are o porozitate mai mică și o structură mai uniformă, în comparație cu proba martor.

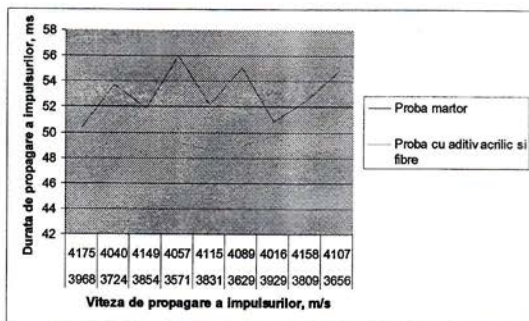


Fig. 5.10 Propagarea impulsurilor prin corpul grinzilor de beton de 200 mm

5.3 APRECIEREA REZISTENȚEI BETONULUI LA ÎNGHEȚ-DEZGHEȚ

Rezistența la îngheț-dezghet este o problemă actuală, datorită efectelor complexe induse de apariția eforturilor interne de întindere (exercitate în urma înghețării apei) și de contracție termică (exercitate în urma dezghetării apei) [121]. Deteriorarea se produce în momentul în care eforturile interioare depășesc rezistența la întindere a betonului și se agravează până la distrugere, pe măsura amplificării și generalizării în masa betonului a acestui proces.

5.3.1 Condiții și proceduri experimentale

La prepararea betonului proaspăt, probelor cubice din beton s-a utilizat compoziția conform tabelului 4.2, precum și 4.8.

Determinările s-au efectuat respectând standardele în vigoare la data efectuării încercărilor.

Mentținerea probelor 7 zile în apă și restul perioadei, până la vârsta de încercare, în aer, a condus la valori puțin crescute ale rezistențelor față de valorile obținute pentru rezistențele betoanelor menținute în condiții specifice (fig. 5.14).

Se poate afirma că păstrarea în condiții diferite nu a influențat mult rezistența la compresiune a betonului, după 28-60 zile. Desigur, tratarea betonului (menținerea în stare umedă a betonului după turnare) are însă un rol decisiv în comportarea în timp a betonului și se efectuează o perioadă care se determină în funcție de valorile rapoartelor rezistențelor la compresiune la 2 și 28 de zile și de temperatura mediului exterior.

5.3.2 Rezultate. Interpretări

În tabelul 5.5 se prezintă unele caracteristici compoziționale și valorile tasării și ale densității obținute pentru betoanele proaspete, preparate conform tabelelor 4.2 și 4.8.

Mentținerea probelor 7 zile în apă și restul perioadei, până la vârsta de încercare, în aer, a condus la valori puțin crescute ale rezistențelor față de

valorile obținute pentru rezistențele betoanelor menținute în condiții specifice (fig. 5.14).

Tabelul 5.5 Caracteristicile betoanelor proaspete cu același raport de A/C

Betoanele studiate	Tasare (mm)	Densitate, (kg/m ³)
Beton fără aditiv acrilic și fibre	100	2364
Beton cu aditiv acrilic și fibre	65	2458

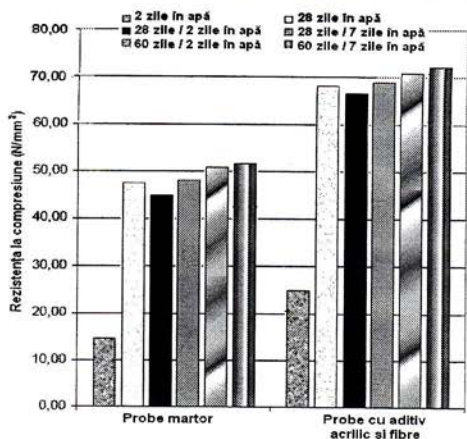


Fig. 5.14 Rezistențele la compresiune ale betoanelor preparate conform tabelor 4.2 și 4.8, păstrate în condiții diferite

Se poate afirma că păstrarea în condiții diferite nu a influențat mult rezistența la compresiune a betonului, după 28-60 zile. În tabelul 5.7 se prezintă valorile obținute pentru reducerile de rezistență la îngheț-dezgeț, după 50 de cicluri conform metodei SR 3518.

Reducerea de rezistență după 50 cicluri de îngheț-dezgeț pentru betonul de clasă C20/25 este relativ mare (chiar dacă se încadrează în limita de maximum 15% indicată în standardul românesc).

Tabelul 5.7 Reducerea rezistenței la compresiune a betonului după 50 de cicluri de îngheț-dezgeț

Betoanele studiate	R _c martor, (N/mm ²)	R _c după 50 de cicluri de îngheț-dezgeț, (N/mm ²)	Reducerea rezistenței la compresiune, (%)
Beton fără aditiv acrilic și fibre	48,48	42,74	11,84
Beton cu aditiv acrilic și fibre	68,56	63,05	8,03

5.3.3 Concluzii

Rezultatele obținute pentru rezistența la compresiune și pentru evaluarea rezistenței la îngheț-dezgeț prin aplicarea diferitelor metode de încercare și a unor criterii de evaluare specifice, pentru betoanele preparate cu aditiv acrilic și fibre conduc la următoarele concluzii:

- betoanele preparate cu aditiv acrilic și fibre pot atinge nivele corespunzătoare ale rezistențelor la compresiune în cazul respectării cerințelor privind compoziția betonului în conformitate cu CP 012-1/2007;

- sensibilitatea la solicitări de îngheț-dezghet, respectiv oportunitatea utilizării betoanelor în anumite medii, corespunzătoare claselor de expunere XF, sunt dificil de evaluat prin aplicarea criteriilor indicate în actualele standarde românești.

CAPITOLUL 6

CERCETĂRI PRIVIND COROZIUNEA ȘI REZISTENȚA LA COROZIUNE A ARMĂTURILOR, BETONULUI ȘI BETONULUI CU POLIMER ARMAT CU FIBRE

6.1 CONTRIBUȚII PROPRII PRIVIND MECANISMUL ȘI CINETICA COROZIUNII ARMĂTURILOR DIN ELEMENTELE DE BETON ARMAT

6.1.1 Metoda de cercetare a proceselor electrochimice pe suprafața armăturilor în zona fisurilor

Viteza desfășurării procesului corosiv al armăturii în fisurile betonului este determinată, în mare măsură, de caracterul acțiunii mediului înconjurător și agresivitatea lui. Condițiile în care, cel mai des, se află construcțiile din beton armat, pot fi clasificate în următorul mod [132]:

- a) atmosfera industrială cu umiditate relativă a aerului diferită (până la 100 %) și temperatura până la 80-100°C;
- b) atmosfera industrială cu umiditatea relativă a aerului diferită, poluată cu dioxid de sulf, bioxid de carbon, acid sulfuric, clor, amoniac, hidrogen sulfurat, etc.;
- c) condiții atmosferice naturale specifice unei anumite zone climaterice;
- d) condițiile de umezire periodică cu apă sau electroliți;
- e) aflarea constantă în apă sau sol;
- f) exploatarea în medii cu curenți vagabonzi, care duce la distrugerea electrocorosivă.

Studiul rezistenței la coroziune a fost condus în 3 direcții:

- Grinzi nefisurate, dar expuse la coroziune accelerată pe o perioadă diferită de timp;
- Grinzi expuse la coroziune accelerată fără fisuri în stadiul limită de serviciu (SLS);
- Grinzi preîncărcate la stadiul limită de serviciu (SLS), fisurate și apoi expuse la coroziune accelerată pe o perioadă diferită de timp.

Echipamentul și principiul pentru inducerea coroziunii accelerate în betonul armat sunt prezentate în figura 6.1 și figura 6.2.

Ca acceleratori ai procesului corosiv s-au folosit: apa distilată-H₂O, sulfatul de sodiu-Na₂SO₄, clorura de sodiu-NaCl, bioxidul de carbon-CO₂, dioxidul de sulf-SO₂, clorul-Cl₂ și acidul clorhidric-HCl, variația temperaturii 20-55 °C.

Alegerea regimurilor verificărilor corosive rapide s-a făcut cu evidența mecanismului proceselor, care au loc pe suprafața armăturii în condiții naturale.

Deschiderea fisurilor de mărimi de la 0,05 până la 1mm și mai mult s-a realizat prin încovoierea grinzilor la presa Cybertronic pentru grinzi de beton și s-au menținut pe toată durata studiului asupra rezistenței la coroziune (fig. 6.5).

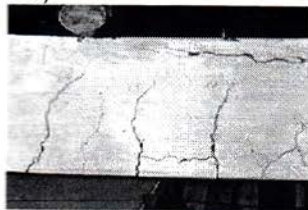


Fig. 6.5 Distribuția fisurilor în zona tensionată a grinzii

Raportul mărimii deschiderii fisurilor la suprafața oțelului cu profilul periodic și la suprafața betonului a fost egală cu:

- 0,50 mm - la tensiunea armăturii 1270 kgf/cm²;
- 0,39 mm - la tensiunea armăturii 2540 kgf/cm²;
- 0,88 mm - la tensiunea armăturii 5700 kgf/cm²;
- 1,00 mm - la tensiunea armăturii 6480 kgf/cm².

Menținerea probelor din beton armat în stare tensionată constantă, corespunzătoare fisurilor formate, apropie condițiile experimentului de condițiile reale ale funcționării elementelor de construcții sub sarcină. Această condiție prezintă o deosebită importanță, deoarece conform teoriei coroziunii oțelului în fisurile betonului armat [136], variația tensiunii de întindere în armătura, pe sectorul fisurii, favorizează procesul de coroziune.

Mărimea deschiderii fisurilor s-a măsurat cu ajutorul lupei micrometrice cu o precizie de 50 μ.

6.1.2 Procesele electrochimice pe suprafața armăturii în zona fisurilor

Prezența fisurilor în stratul de protecție din beton favorizează apariția și dezvoltarea procesului de coroziune al oțelului. În majoritatea construcțiilor din beton armat, la perceperea sarcinilor de exploatare apar fisurile, acolo unde betonul suportă eforturi de întindere, care depășesc limitele de rezistență a lui.

În construcțiile și elementele fără pretensionarea armăturii, atingerea rezistenței la fisurare se poate obține prin mărirea de cinci ori a consumului de oțel, fapt care provoacă și mărirea secțiunii elementelor din beton armat [137].

6.1.3 Distribuția potențialelor și sectoarelor electrolice pe suprafața armăturii

Starea electrochimică a suprafeței armăturii, la prezența fisurilor în beton, este determinată de neomogenitatea parametrilor mediului și mărirea variației elasticității oțelului. Acest fapt duce la formarea diferenței de potențiale între diferitele sectoare ale armăturii, adică la apariția perechii galvanice corosive.

Pentru distrugerea stării pasive a oțelului în fisuri, după deschiderea lor, probele timp de șase luni au fost supuse umezirii periodice cu apă și uscării (150 de cicluri).

După fiecare lună s-au făcut măsurări ai potențialelor oțelului. S-a stabilit, că depasivarea oțelului în fisurile cu diferite deschideri, nu are loc concomitent (fig. 6.9).

După deplasarea potențialului spre partea valorilor negative, mărirea lui s-a stabilit la nivelul 400-500 mV. Potențialul oțelului în betonul compact fără fisuri, practic nu s-a schimbat.

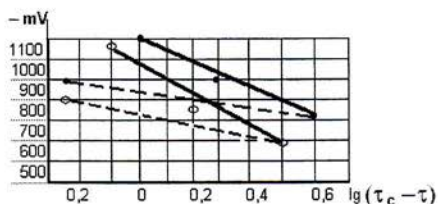
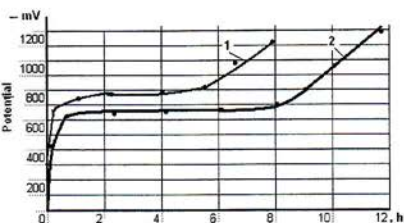
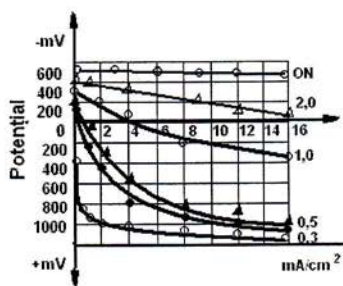
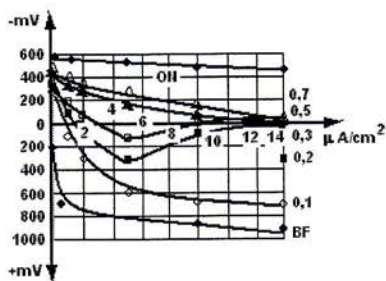


Fig. 6.9 Polarizarea oțelului în betonul umezit: 1- umiditatea betonului 7%;
2- umiditatea betonului 3%. Linia punctată - curbele teoretice corespunzătoare.

Curbele de polarizare s-au obținut prin metoda galvanostatică. La polarizarea anodică, timpul de menținere sub curent, până la stabilirea potențialului constant, a constituit 20-30 min pentru o densitate mică de curent ($5-10 \text{ mA/cm}^2$) și 2-3 minute pentru densități mai mari de curent.

Cum arată curbele de polarizare anodică a acestor probe, măsurate după 6 luni de stabilizare a potențialelor (fig. 6.10), și curbele de dependență, construite pe baza lor, de polarizare a oțelului de mărimea deschiderii fisurii (fig. 6.11), polarizarea crește concomitent cu micșorarea fisurii și are o valoare mai mare în electrolitul care conține ioni de sulf, în comparație cu electrolitul care conține ioni de clor.



a)

b)

Fig. 6.10 Polarizarea anodică a oțelului în betonul cu fisuri: a - electrolit, soluție Na_2SO_4 0,1n; b - electrolit, soluție NaCl ; ON - oțel neacoperit. Cifrele de lângă curbe indică mărimea fisurilor, mm.

6.1.4 Eficiența perechilor galvanice pe suprafața oțelului în beton

Continuitatea perechilor galvanice, în elementele din betonul armat cu fisuri, poate fi diferită. Ea este determinată de distanța între fisuri, rezistența chimică a betonului și de condițiile mediului ambiant [141].

6.1.5 Influența stării tensionate a armăturii asupra coroziunii ei

Conform [144, 145], deformația ajută ionul de metal să rupă legătura metalică și să iasă din rețea. În conformitate cu aceasta, se poate presupune, că sub influența deformațiilor trebuie să aibă loc deplasarea potențialului spre valori mai electronegative. Este cunoscut faptul [146], că acțiunea tensiunilor statice accelerează uneori coroziunea generală a metalului. În medii acide, când procesul electrochimic al coroziunii se desfășoară cu degajarea de

hidrogen, se observă o dependență liniară a vitezei de coroziune de mărimea tensiunii. Probele fisurate au fost supuse umezirii și uscării periodice, menținerii în medii cu SO₂ și Cl₂, în sol umed. După o verificare timp de 12 luni betonul a fost spart, iar barele de oțel studiate. Rezultatele verificărilor sunt prezentate în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2

Condițiile de verificare a probelor cu fisuri timp de 12 luni	Adâncimea coroziunii, μ	Micșorarea rezistenței la rupere, %
Umezire - uscare	20-100	4-7
Mediul cu SO ₂	40-70	2-8
Mediul cu SO ₂	120-150	9-10
Mediul cu Cl ₂	20-100	4-8
În sol umed	220-250	10-12
În sol umed	400	20
În sol umed	700	47
În sol umed	1070	74

După cum rezultă din tabel, atacurile sub formă de ciupituri separate, cu adâncimea în limitele 100 μ, pentru oțelul beton BST500 Ø12 mm, micșorează puțin forța de rupere (ruperea barelor are loc adeseori în afara ciupiturilor) și numai la adâncimea atacului mai mare de 200 μ, rezistența scade simțitor, iar ruperea barelor are loc în zona ciupiturilor.

6.2. PROCESELE DE COROZIUNE A ARMĂTURILOR ÎN MEDII GAZOASE

6.2.1 Influența umidității aerului asupra vitezei de coroziune a oțelului în fisuri

Este cunoscut faptul, că la coroziunea atmosferică a metalelor, viteza procesului, în mare măsură, este determinată de umiditatea aerului [147]. Însă aerul umed curat acționează slab asupra suprafeței oțelului. Coroziunea oțelului crește liniar la creșterea umidității relative a aerului, rămânând, în general, neînsemnată [148]. La o umiditate ridicată a aerului (70 - 90%) și la umezirea periodică, suplimentară, a betonului, timp de 12 luni, coroziunea oțelului capătă o dezvoltare considerabilă (tab. 6. 4) și o carbonatare mai mică a betonului (4-5 mm).

Tabelul 6.4 Rezultatele verificării probelor în mediu ce simulează atmosfera industrială la umiditatea relativă a aerului

Mărimea fisurilor, mm	Numărul cazurilor de apariție a coroziunii, %	Distribuția coroziunii de-a lungul barei, mm		Adâncimea atacului corosiv, μ	
		Maximă	Medie	Maximă	Medie
0,05	25	12	9	115	80
0,1	35	14	12	145	85
0,2	85	14	10	185	125
0,4	95	17	12	225	165
0,6	100	22	16	225	185
0,8	100	24	18	230	190

Tabelul 6.5 Coroziunea oțelului beton din probele aflate în condiții atmosferice simulate urbane și marine

Mărimea fisurilor, mm	Distribuția coroziunii de-a lungul barei în mm, în condiții atmosferice				Adâncimea atacului corosiv în μ , în condiții atmosferice			
	Urbană		Marină		Urbană		Marină	
	Maximă	Medie	Maximă	Medie	Maximă	Medie	Maximă	Medie
0,1	7	6	18	9	35	20	88	66
0,2	8	7	21	15	75	45	147	110
0,3	—	—	26	17	45	25	159	126
0,4	19	17	—	—	80	50	—	—
0,5	—	—	31	19	—	—	—	—
0,6	10	8	—	—	85	45	—	—
0,7	17	13	33	23	75	40	188	156
0,8	20	16	34	26	90	55	192	173

Din tabel se observă, că în condițiile unei clime mai uscate a orașului mărimile atacului corosiv sunt aproximativ de 2 ori mai mici, decât în condițiile climatice marine.

O deosebire caracteristică este și micșorarea vitezei de coroziune a oțelului (fig. 6.18) în condițiile atmosferice pe parcursul timpului.

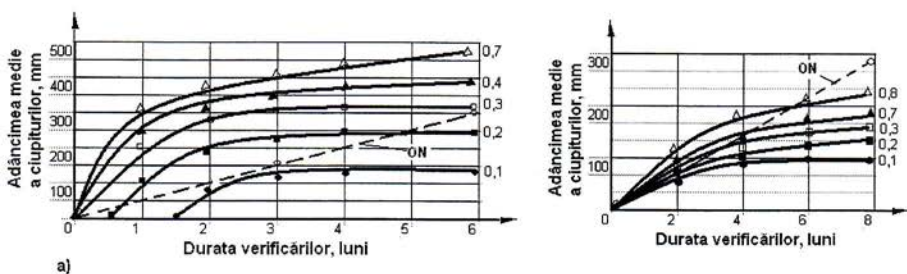


Fig. 6.18 Cinetica coroziunii oțelului beton în zona fisurilor: a – în condiții de umezire periodică cu apă (1h pe zi); b – în condiții atmosferice marine. Cifrele de lângă curbe indică mărimea fisurilor, mm. ON - oțel neacoperit cu beton

Aceasta poate fi explicat prin tasarea fisurilor cu produși ai interacțiunii chimice și electrochimice, fapt ce împiedică difuzia agenților agresivi prin fisuri spre suprafața oțelului.

6.2.2 Coroziunea oțelului în atmosfera industrială

Influența agresivă a mediului se intensifică în prezența gazelor, ca: HCl, Cl₂, SO₂, H₂S, etc. Dacă în atmosfera industrială sunt prezenți acidul clorhidric și clorul molecular, procesul de coroziune al oțelului începe în fisurile de orice mărime [150].

Numărul de cazuri de apariție a coroziunii crește odată cu mărimea deschiderii fisurilor și duratei de menținere (tab. 6.6).

Tabelul 6.6 Rezultatele verificărilor grinzilor din beton armat în atmosfera industrială

Mărimea fisurilor, mm	Numărul de cazuri de apariție a coroziunii, %		Distribuția coroziunii de-a lungul barei de oțel, mm				Adâncimea ciupiturilor, μ			
	6 luni	12 luni	6 luni		12 luni		6 luni		12 luni	
			maxi-mă	medie	maxi-mă	medie	maxi-mă	medie	maxi-mă	medie
0,05	4	25	10	—	20	12	65	—	60	35
0,1	20	45	15	12	24	17	80	68	70	60
0,2	40	50	20	18	30	26	105	88	108	75
0,3	63	70	33	20	38	37	100	110	118	80
0,4	77	82	38	23	43	40	120	118	127	100
0,5	80	88	41	31	47	42	133	122	140	110
0,6	83	92	45	38	53	48	150	135	160	122
0,7	90	95	52	40	60	53	168	155	173	160
0,8	95	100	55	48	68	60	173	170	200	180
0,9	100	100	58	50	75	63	200	180	220	198

1. Concentrația HCl în aer a variat de la 0,005 până la 0,07 mg/l; de Cl₂ - de la 0,001 până la 0,07 mg/l; dioxid de sulf SO₂ - de la 0,015 până la 0,2;

2. Temperatura aerului a variat de la 14 până la 50 °C;

3. Umiditatea aerului a variat de la 40% până la 80%.

6.3 COROZIUNEA ARMĂTURII DIN FISURI LA INTERACȚIUNEA CU MEDIUL LICHID

Pentru cercetarea cineticii de coroziune a armăturii, în fisurile din beton, în funcție de mărimea deschiderii lor și condițiile de interacțiune a construcțiilor cu mediul lichid au fost efectuate un șir de experimente pe probe din beton armat (125 × 150 × 1100 mm), folosind metoda trasării curbelor de polarizare, adică curbelor funcției potențialului de electrod de densitatea curentului, valorile cărora au fost măsurate în ziua 1 și 60.

În figura 6.20 sunt prezentate rezultatele verificării seriei de probe, care s-au aflat în condiții de umezire cu apă și uscure periodică, cu o frecvență de 100 cicluri pe an. Pe axa ordonatelor este pus procentul de cazuri de detectare a coroziunii armăturii în fisuri, mărimea cărora este indicată lângă curbe. În figura 6.20 a, acest proces poate fi privit ca o posibilitate de apariție a coroziunii, în general, inclusiv și petele mici de rugină, iar în figura 6.20 b - ca posibilitatea unei forme mai grave a coroziunii sub formă de ciupituri.

Din figura 6.20 rezultă, că în condițiile date de verificare, coroziunea armăturii în fisurile betonului, cu deschiderea până la 0,7mm, cu timpul se oprește și după valorile absolute este mică.

Odată cu creșterea frecvenței ciclurilor de umezire periodică, în anumite intervale intensitatea coroziunii crește.

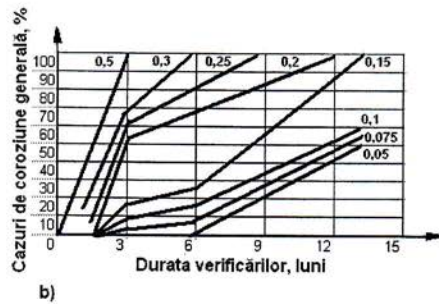
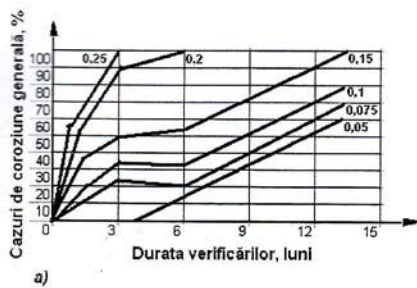


Fig. 6.20 Rezultatele încercărilor în condiții de umezire cu apă și uscare periodică

De exemplu, în fisurile cu deschiderea de 0,5 mm după 3 luni de verificare, la frecvența ciclurilor 100, adâncimea medie a atacului corosiv a constituit 0,18 mm, iar la frecvența ciclurilor 300 a constituit 0,45 mm. Are importanță și raportul duratei de umezire și de uscare (fig. 6.21).

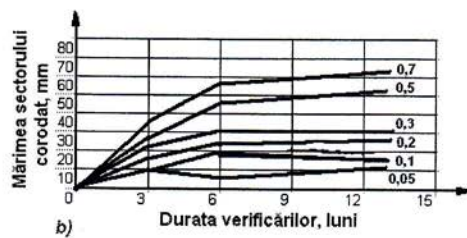
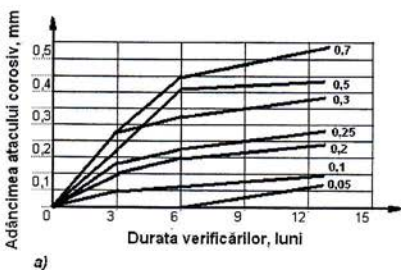


Fig. 6.21 Cinetica coroziunii armăturii în fisurile betonului, în adâncime (a) și de-a lungul barelor de oțel (b) la umezirea periodică cu apă (100 cicluri pe an). Cifrele de lângă curbe - mărimea deschiderii fisurilor în mm

Pe baza analizei făcute se poate trage concluzia, că drept criteriu pentru determinarea mărimii critice (periculoase) de deschidere a fisurilor, poate servi trecerea de la mecanismul coroziunii, de la funcționarea perechii galvanice cu anodul în interiorul fisurii spre mecanismul de coroziune a oțelului neacoperit sau coroziunii fisurante cu catodul în interiorul fisurii.

6.4 METODA NEDISTRUCTIVĂ DE DETERMINARE A GRADULUI DE COROZIUNE A ARMĂTURII ÎN BETON

Grinzile supuse testelor de coroziune timp de 12 luni au fost studiate cu ajutorul pahometrului tip PROCEQ PROFOMETER 5⁺ în vederea detectării poziției armăturii în beton, diametrului acestora și grosimii de acoperire cu beton. Datele măsurătorilor se afișează pe ecranul aparatului (fig. 6.24).

Pe suprafața stratului de protecție din beton s-a trasat cu ajutorul markerului poziția armăturii din beton pentru a studia gradul degradării

corosive pe lungimea acesteia. Aceasta s-a realizat cu ajutorul analizorului de coroziune tip CANIN.

Analog s-a procedat și cu grinzile confecționate din beton cu aditiv acrilic și fibre de armare supuse testelor de coroziune timp de 12 luni. Rezultatele au fost prelucrate cu ajutorul programului ProVista PC, care generează harta de potențiale, diagramele de frecvență relativă și cumulativă și prezintă un grafic fracturat (fig. 6.26).

Pe graficul fracturat nu se observă pete de culoare roșie, ce corespund potențialelor de coroziune $-250 \div -400$ mV, ceea ce ar însemna un început al procesului de coroziune pe suprafața armăturii. Petele galbene, distribuite neuniform în corpul betonului, indică asupra prezenței unor micropori.

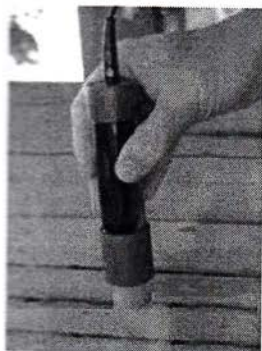


Fig. 6.25 Detectarea zonelor corodate sub stratul de protecție din beton a grinzilor fără aditiv acrilic și fibre de armare.

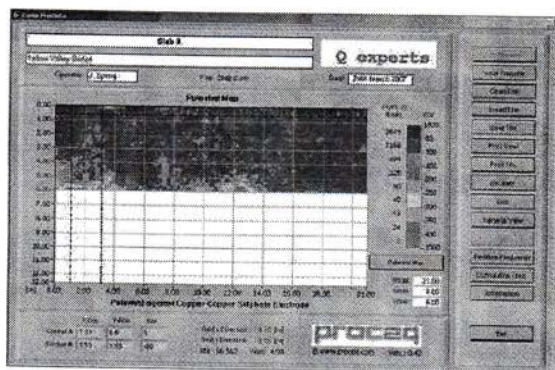


Fig. 6.26 Harta potențialelor și graficul fracturat de investigare a armăturii.

6.5 METODA GRAFO-ANALITICĂ DE CALCUL A VITEZEI DE COROZIUNE A ARMĂTURILOR DIN FISURILE BETONULUI

În construcțiile din beton armat fisurile se formează concomitent și sunt de diferite mărimi. O parte din ele apar din cauza deteriorării stării pasive a oțelului, unde apar focare locale de coroziune, iar suprafața striată a armăturii poate fi studiată ca un sistem cu mulți electrozi [151]. Însă, influența fisurilor învecinate asupra coroziunii oțelului nu întotdeauna este considerabilă. Aceasta se observă la o distanță mare între fisuri sau în cazul rezistenței ohmice considerabile a betonului [152].

Cercetarea polarizării catodice a oțelului în beton nu creează probleme, însă separarea unui sector mic de oțel în zona fisurilor și modelarea lui este foarte complicată. De aceea, pentru cercetările electrochimice s-au folosit grinzile din beton armat ($125 \times 150 \times 1100$ mm), pe parcursul cărora s-au luat în considerație următoarele:

1. Potențialul măsurat inițial reprezintă suma potențialelor (deoarece sistemul este polarizat);

2. Curentul de la sursa exterioară, la polarizarea anodică, la început se intensifică pe sectoarele anodice, datorită curentului de coroziune propriu de dizolvare;

3. Densitatea curentului nu s-a calculat pe toată suprafața oțelului; mărimea lui s-a determinat în raport cu fisura de dimensiuni cunoscute. Suprafața oțelului, care este catod în raport cu anodul, care se formează în fiecare fisură, depinde de distanța între ele, diametrul armăturii și rezistența ohmică a betonului; ea poate depăși de 100-1000 ori suprafața anodului. De toate acestea s-a ținut cont la trasarea diagramei de coroziune (fig. 6.27).

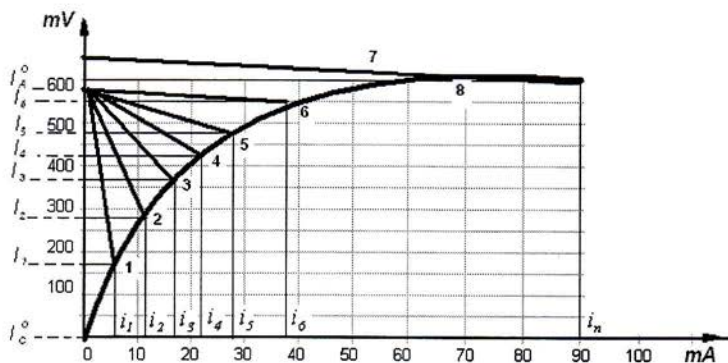


Fig. 6.27 Diagrama coroziunii a perechilor galvanice în funcție de mărimea diferită a fisurilor. Polarizarea anodică a oțelului în zona fisurilor: 1-0,05mm; 2-0,1mm; 3-0,2mm; 4-0,4mm; 5-0,6mm; 6-1,0mm; 7- oțel neacoperit; 8-polarizarea catodică a oțelului sub betonul compact (suprafața catodului 10 cm²)

S-a adoptat convențional, că potențialele inițiale ale oțelului, în zona fisurilor, sunt apropiate ca valoare (de la -550 până la -570 mV).

Din punctele de intersecție ale curbelor catodice și anodice sunt trasate perpendiculare pe axă, pentru determinarea curentului de coroziune maxim și potențialului total. Gradul controlului catodic și anodic la $C_R \rightarrow \infty$ a fost determinat conform ecuațiilor:

$$C_c = \frac{\Delta V_c}{\Delta V_c + \Delta V_a}; \quad (6.11)$$

$$C_a = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_c + \Delta V_a}. \quad (6.12)$$

unde C_c - gradul controlului catodic; C_a - gradul controlului anodic; ΔV_c - polarizarea catodului; ΔV_a - polarizarea anodului; C_R - gradul controlului ohmic.

Rezultatele calculului sunt prezentate în tabelul 6.7.

Tabelul 6.7 Factorii care controlează coroziunea oțelului în zona fisurilor

Mărimea fisurilor, mm	Potențialul total, mV	Curentul maxim de coroziune, mA	Gradul de control	
			Anodic	Catodic
0,05	-155	5	0,78	0,28
0,1	-305	11	0,80	0,80
0,2	-355	15	0,41	0,65
0,4	-430	21	0,28	0,78
0,6	-480	28	0,19	0,87
1,0	-525	39	0,11	0,95
Oțel neacoperit*	-585	81	0,06	0,99

*Electrolit NaCl 0,1n.

De exemplu, adâncimea medie a atacului corosiv pe oțel, la mărimea curentului corosiv $i = 0,00003$ A și $D = 0,5$ este egală cu:

$$B = \frac{0,00003 \cdot 55,85 \cdot 3268,7}{15,4 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,3} = 0,76 \text{ mm/an.}$$

ce corespunde cu rezultatele cercetărilor experimentale, de exemplu, în condițiile de umezire intensivă periodică la mărimea fisurii egală cu 0,4 mm.

6.6 CALCULUL DESCHIDERII ADMISIBILE A FISURILOR ÎN ELEMENTELE DIN BETON ARMAT, EXPLOATATE ÎN MEDII AGRESIVE ȘI DETERMINAREA TERMENULUI DE ACȚIUNE DE PROTECȚIE A BETONULUI

În baza cercetărilor proprii și analizei rezultatelor obținute de alți cercetători [155], s-a evidențiat o serie de factori principali de intensificare a coroziunii oțelului în fisurile betonului armat și s-au stabilit limitele de variație a valorilor acestora: a - mărimea deschiderii fisurilor la nivelul axei armăturii - 0,05-1,2 mm; t - durata verificărilor - 2, 4, 6, 10, 14 luni; $[Cl^-]$ - concentrația în apă a ionilor de clor - 0-4755 mg/l; $[SO_4^{2-}]$ - concentrația în apă a ionilor de sulf - 0-1500 mg/l; $[HCO_3^-]$ - concentrația ionilor de bicarbonat în apă - 0,2-4,8 ech-mg/l; A/C - raportul dintre apă și ciment în beton, care caracterizează convențional densitatea lui - 1,35-2,6.

Rezultatele cercetărilor au fost studiate după metoda prelucrării statistice a datelor experimentale sub formă de regresie [156], care leagă adâncimea stratului corodat δ cu factorii studiați. Regresia polifactorială, de obicei se obține sub forma unui polinom cu grad mai mare decât unu, care conține în afară de termenii principali ai produsului, factorii ce exprimă interacțiunea lor în diferite combinații.

De exemplu, pentru cazul studiat în lucrare, trebuie de determinat a_{adm} pentru condițiile: $d = 12$ mm; $[Cl^-] = 750$ mg/l; $[SO_4^{2-}] = 1000$ mg/l; $(C = 750 + 250 = 1000$ mg/l); $HCO_3^- = 2$ ech-mg/l; $A/C = 0,6$; termenul de exploatare a

construcției din beton armat $t = 50$ ani. Pentru regimul II, conform formulei (6.21) vom avea:

$$a_{0IIcr} = \frac{-0,619 + 1,3 - 0,27 \cdot 3 \cdot 0,477 - 0,21 \cdot 0,3 + 0,24 \cdot 0,255}{0,51 \cdot 1,699 + 0,431} = 0,26;$$

$$a_{IIcr} = a_{0IIcr} \cdot 1 \text{ mm} = 0,26 \text{ mm}; \quad a_{IIadm} = K_1 \cdot a_{IIcr} = 0,5 \cdot 0,26 = 0,13 \text{ mm}.$$

CAPITOLUL 7

PRINCIPALELE METODE ȘI TEHNICI DE ANALIZĂ STRUCTURALĂ ȘI MICROSTRUCTURALĂ A COMPONENTELOR BETONULUI STUDIAT

7.1 MICROSCOPIE ELECTRONICĂ

7.1.1 Microscopia optică

În "Microscopia optică" cea mai fină structură poate fi redată exact cu ajutorul microscopului optic numai în cazurile când dimensiunile elementelor structurale nu depășesc mărimea $k\lambda/A$, unde λ - lungimea de undă a radiației utilizate pentru iluminarea obiectului; k - constantă; A - apertura numerică a obiectivului [161]. Din expresia pentru rezoluția limită rezultă cele două căi de îmbunătățire a acesteia: *sau se micșorează lungimea de undă a radiației utilizate, sau se mărește apertura numerică*. În microscopul optic rezoluția limită este de ordinul 2000 Å, deoarece lungimea de undă minimă pentru lumina vizibilă constituie aproximativ 4000 Å, iar apertura numerică maximă atinge valoarea 1,4.

7.2 ANALIZA STRUCTURALĂ A BETONULUI

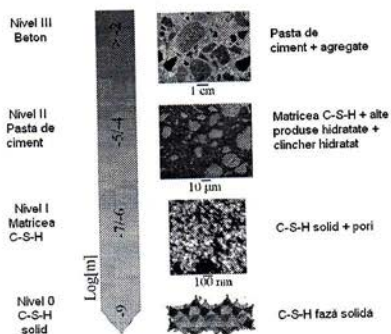


Fig. 7.5 Structură multiscalară propusă a modelului de beton (adaptată de [169])

Această divizare este schițată în figura 7.5 sub forma unei microstructuri de patru niveluri [170].

Multe din caracteristicile betonului, precum rezistența și durabilitatea, depind de dezvoltarea în timp a legăturilor chimice și fizice dintre particulele de ciment și agregate. Astfel, în urma întăririi se formează matricea (piatră de ciment) care înglobează particule nehidratate de ciment, aer și apă.

O analiză a microstructurii se face prin luarea în considerare corespunzătoare a baremelor de caracteristici și a eterogenității și, prin urmare, microstructura complexă trebuie să fie studiată la scări diferite.

7.2.1 Analiza structurii betonului de referință

Din probele de beton de referință s-au realizat suprafețe corespunzătoare de control, fiind pregătite în prealabil prin aplicarea (într-o incintă vidată) a unei pelicule de crom în grosime de 10...20 μm.

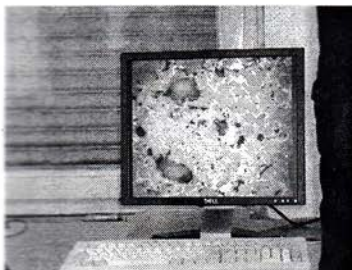


Fig. 7.6 Microstructura betonului studiat, obținută la microscopul optic OLYMPUS



Fig. 7.7 Suprafața betonului cu macroporozități. Macroporul de 2 mm în diametru este marcat cu săgeata – nivel III

Urmărind microscopic desfășurarea procesului de hidratare a particulelor de ciment (fig. 7.9), s-a observat că, atunci când granulele de ciment intră în contact cu apa reacționează întâi aluminatul tricalcic (C_3A), care se dizolvă și se cristalizează în stare hidratată, formând etringit ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) (fig. 7.10). În același timp, reacționează și silicatul tricalcic (C_3S), care formează o peliculă în jurul granulelor de ciment (fig. 7.11).

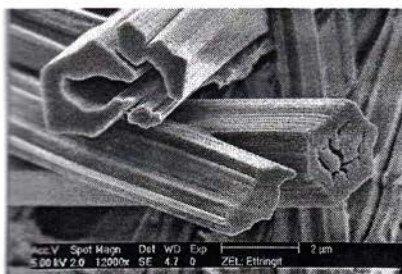


Fig. 7.10 Cristale de etringit ($\times 12\ 000$)

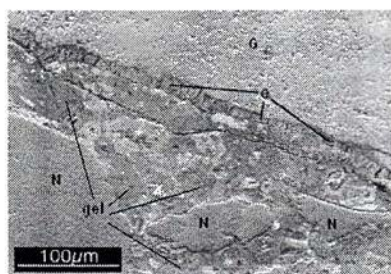


Fig. 7.11 Formarea mineralului etringit (e) la limita agregatului de granit (G). Pelicula de gel în jurul granulelor de nisip (N) și ciment, $\times 5000$ – nivel II

S-a constatat că, pelicula de geluri are o grosime de două ori mai mare decât particulele de ciment din care provine. Astfel, s-a format un sistem de granule de ciment învelite în pelicule de geluri aflate într-o soluție de aluminat tricalcic (C_3A).

În micrografia din figura 7.12 se observă faze predominante în cimentul Portland de C_3S faza (1 - $3CaO \cdot SiO_2$) și faza C_2S (2 - $2CaO \cdot SiO_2$) responsabile pentru rezistența betonului, detectate prin difracție de raze X.

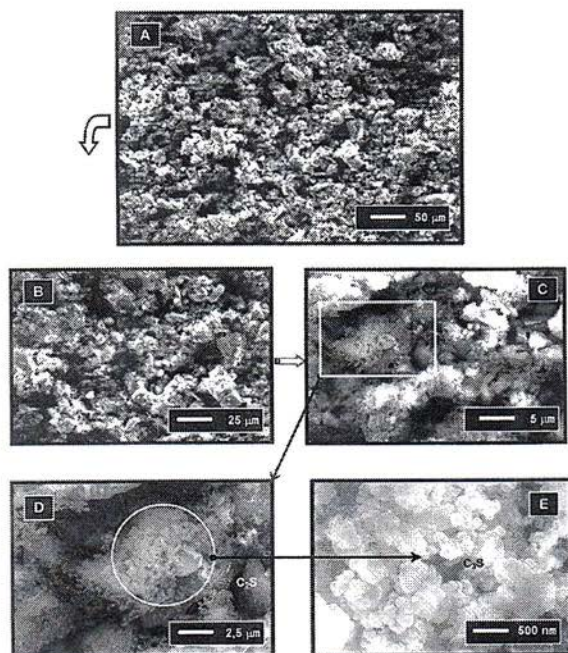
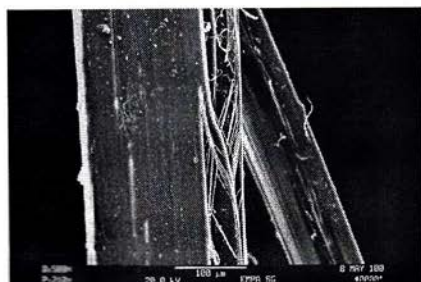


Fig. 7.12 Micrografie obținută cu microscopie prin scanare cu electroni a cimentului Portland CEM I 32,5R a fazelor principale C_3S și C_2S : A – aspect general (500 \times); B – detaliu (1 000 \times); C – detaliu (5 000 \times); D – imagine cristale (10 000 \times); E – detaliu cristale (50 000 \times) – nivel I

7.2.2 Analiza microstructurală a betonului cu aditiv acrilic și fibre din polipropilenă

În figura 7.17 se prezintă fibrele din polipropilenă (neînglobate în matricea de beton) vizualizate la microscopul electronic OLYMPUS BX61, la diferite mărimi și câmpuri, utilizate la producerea betoanelor dispers armate.



a)



b)



Fig. 7.17 Vizualizare la microscop optic OLYMPUS BX61, mărire $\times 1000$, câmpuri diferite a fibrelor High Grade 380

c)

Fibrele tip High Grade pot fi surprinse ca fiind înglobate în matrice în diverse moduri: transversal având secțiunile circulare, longitudinal fiind vizualizate sub forma unor baghete curbate, dispuse oblic sau regăsite ca aglomerări (fig. 7.18 și 7.20).

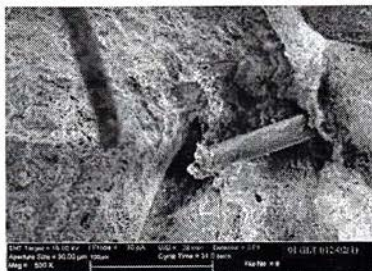


Fig. 7.19 Microstructura probelor de beton armat cu fibre, obținută la microscopul cu rastru, menținute în laborator la 20 °C și umiditate normala $65 \pm 5\%$ timp de 28 zile. $\times 600$

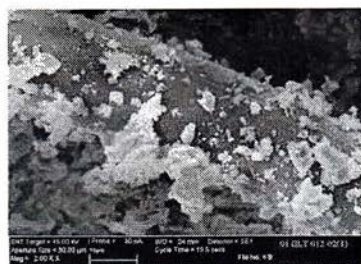
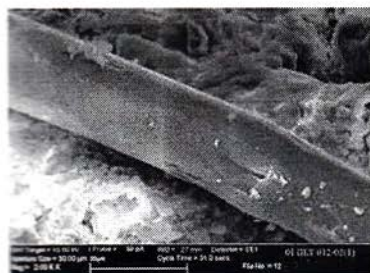
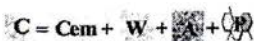


Fig. 7.20 Microstructura probelor de beton armat cu fibre, obținută la microscopul cu rastru, menținute în laborator la 20 °C și umiditate normala $65 \pm 5\%$ timp de 28 zile. $\times 1200$

Caracteristica betonului cu aditiv acrilic. Aditivii sunt produse chimice care introduse la prepararea betonului, în cantități mici 0,15...5% substanță uscată față de masa cimentului, îmbunătățesc sau modifică proprietățile betonului în stare proaspătă sau întărită (lucrabilitatea, gradul de impermeabilitate, gelivitate și rezistențele mecanice) [176]. Efectul principal și secundar al aditivului utilizat, precum și influența acestuia asupra caracteristicilor betonului în stare proaspătă și întărită este caracteristica de impermeabilizare și inhibitor de coroziune.

De asemenea polimerul influențează asupra zonei de tranziție între pasta de ciment și agregat. Filmul de polimer servește ca o „punte” între microfisuri în matricea de ciment și zona de tranziție (fig. 7.22).

Proprietățile
betonului
(mecanismul de
aditivare)



Modificarea
microstructurii
betonului (efectul
sinergetic)

Orientarea
particulelor de
polimer



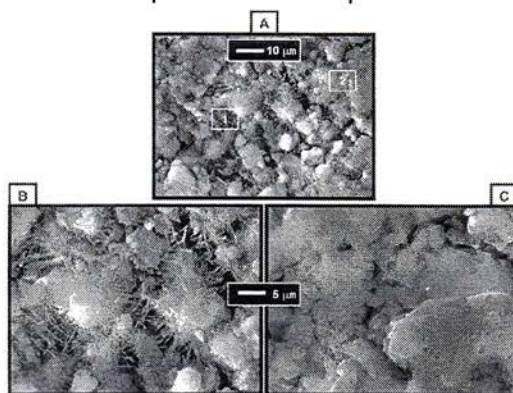
Fig. 7.21 Influența adaosului de polimer asupra proprietăților betonului



Fig. 7.22 Reducerea micro-fisurilor cu ajutorul polimerului în compozitul din ciment, SEM 800x

În figura 7.27 se observă, că materialul are o structură fină, parțial omogenă. În timp ce unele zone sunt poroase (fig. 7.27 a-1), altele sunt extrem de dense (fig. 7.27 a-2). În zonele poroase e posibil să existe faze hidratate separat datorită reacției cu polimerul, ceea ce se observă la o mărire mai mare (fig. 7.27 b). De exemplu, se pot vedea cristale mari de hidroxid de calciu, ace lungi și subțiri de etringit și agregări de cristale mici fibroase de hidrat de silicat de calciu, cristalele de C-S-H ($\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$) au o morfologie fibroasă.

Aparent, mecanismul de dizolvare-precipitare este dominant în stadiile incipiente de hidratare a cimentului. În stadiile mai târzii, când mobilitatea ionilor în soluție devine mai restrânsă, hidratarea reziduală a particulelor de ciment se poate produce printr-o reacție în stare solidă. Prin urmare, mecanismul de dizolvare-precipitare vizează o reorganizare completă a elementelor constitutive ale componentelor în timpul de hidratare a cimentului.



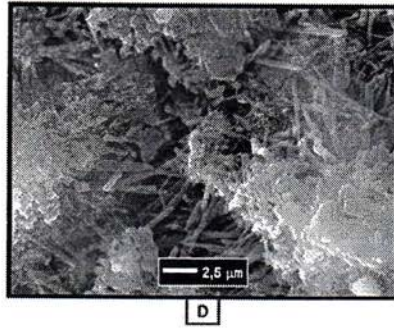


Fig. 7.27 Micrografie obținută cu microscopie prin scanare cu electroni a betonului cu 1% de aditiv acrilic A – aspect general (5 000×); B – detaliu (10 000×); C – detaliu (10 000×); D – imagine cristale (20 000×) – nivel 0.

7.3 ANALIZA STRUCTURALĂ A BETONULUI SUPUS ATACULUI COROSIV

Coroziunea betonului reprezintă un caz de alterare a proprietăților fizico-chimico-mecanice ale acestora, datorită unor *agenții chimici* (din mediul înconjurător sau dizolvați în apele sau soluțiile care ajung în contact cu elementele de construcții) și/sau *factorii* care favorizează degradarea pietrei de ciment și a betonului în ansamblu [178].

7.3.1 Coroziunea sulfatică (sub acțiunea ionilor SO_4^{2-}). S-au studiat probele după testarea la permeabilitate conform 5.1.1. În figura 7.32 se prezintă microstructura betonului degradat în urma coroziunii sulfatice.

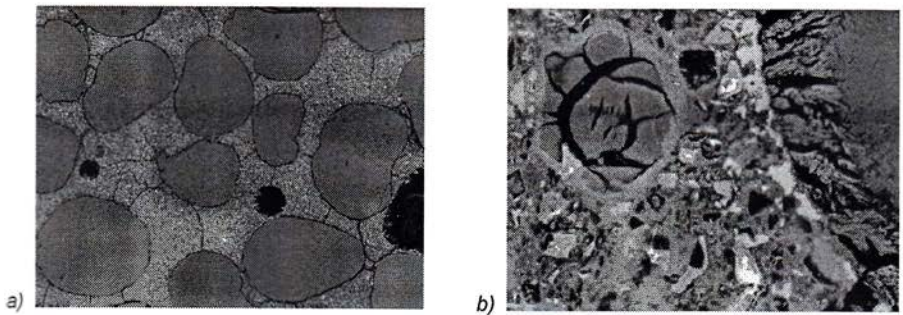


Fig. 7.32 Microscopie electronică a betonului degradat în urma coroziunii sulfatice a - $\times 100$; b - $\times 600$.

7.3.2 Carbonatarea betonului (sub acțiunea agresivă a bioxidului de carbon din mediul atmosferic). Încercările s-au realizat în camera climatică, iar probele s-au studiat la microscopul electronic.

Determinarea alcalinității s-a realizat pe un extract apos a probei de beton cu ajutorul pH-metrului HI 991001, care a scăzut sub $\text{pH}=9$. În figura 7.34 se

prezintă micrografia betonului cu aditiv acrilic înainte de testare la carbonatare, iar în fig. 7.35 același beton după 50 de cicluri de testare.

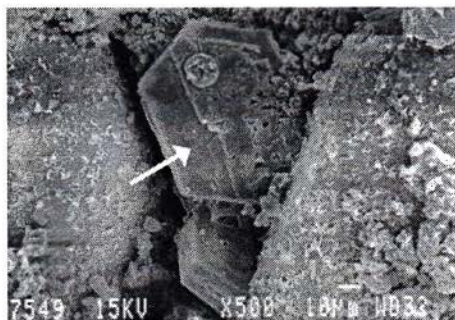


Fig. 7.34 Cristal de portlandit necarbonat. Microscopie electronică cu baleaj cuplată cu analiza spectrometrică, $\times 500$

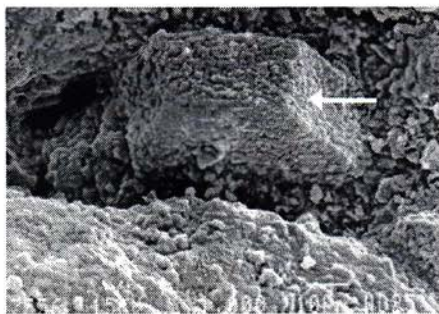
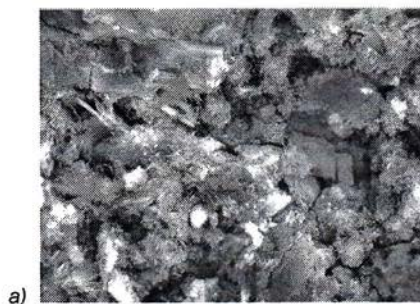


Fig. 7.35 Cristal de portlandit în curs de carbonatare. Microscopie electronică cu baleaj cuplată cu analiza spectrometrică, $\times 1000$

7.3.3 Coroziune prin dizolvare-levigare (sub acțiunea apelor meteorice, cu duritate scăzută).

Încercările s-au realizat în camera climatică, iar probele s-au studiat la microscopul electronic.

Probele de beton cu fibre și aditiv acrilic (cu vârsta de 28 zile), testate la dizolvare-levigare au o structură mai densă cu cristale mari de Ca(OH)_2 atacate nesemnificativ (fig. 7.38 a). În figura 7.38 b se observă o structură uniformă datorită punților de ciment-polimer, ce au provocat o creștere a cristalelor, ceea ce sporește compactitatea și rezistența betonului la diferite solicitări.



a)



b)

Fig. 7.38 Micrografie SEM a probei de beton cu fibre și aditiv acrilic, la vârsta de 28 zile, mărire: a) $\times 2000$ și b) $\times 2500$

7.3.4 Degradarea prin îngheț-dezgheț repetat

Probele de beton (cu vârsta de 28 de zile), de ambele compoziții, au fost supuse la 56 de cicluri îngheț-dezgheț.

În figura 7.42 a se prezintă interfața dintre agregatul de granit și piatra de ciment, unde se observă pori de diferite dimensiuni apărute după ciclurile de îngheț-dezgeț, iar în figura 7.42 b structura relativ uniformă a stratului superficial de beton cu aditiv acrilic și fibre.

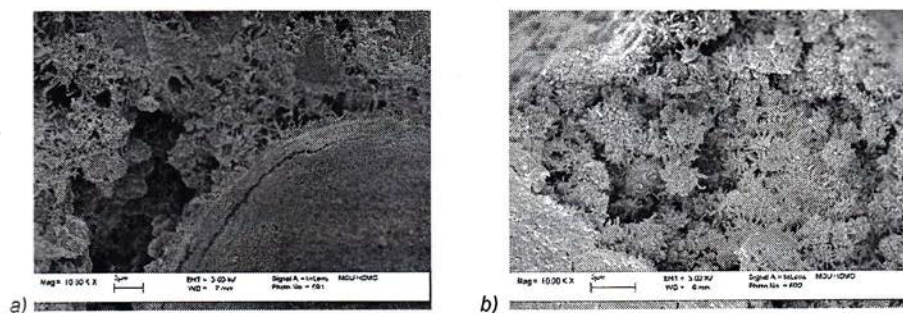


Fig. 7.42 Microstructura betonului de referință (a) și a betonului cu aditiv acrilic și fibre (b) după ciclurile de îngheț-dezgeț, $\times 2000$

7.3.5 Coroziunea acidă (sub acțiunea directă a ionilor H^+ - la concentrații mari). Aceasta este produsă de gazele, vaporii și soluțiile cu caracter acid (clor, acid clorhidric, acid sulfuric, acid cloros, acid cloric, acid percloric etc.), constând în interacțiunea chimică dintre constituenții mediului agresiv și cei ai pietrei de ciment, rezultatul final fiind dezalcalinizarea (până la dezagregare) și distrugerea liantului (a pietrei de ciment).

Acțiunea corozivă a acizilor are loc în medii cu $pH < 6,5$ [179]. 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.

În figura 7.43 a și b se prezintă o imagine mărită a unei secțiuni superficiale a unei probe de beton corodate (proba martor și proba cu aditiv acrilic), expusă timp de 60 de zile la atac cu acid sulfuric cu $pH=1$.

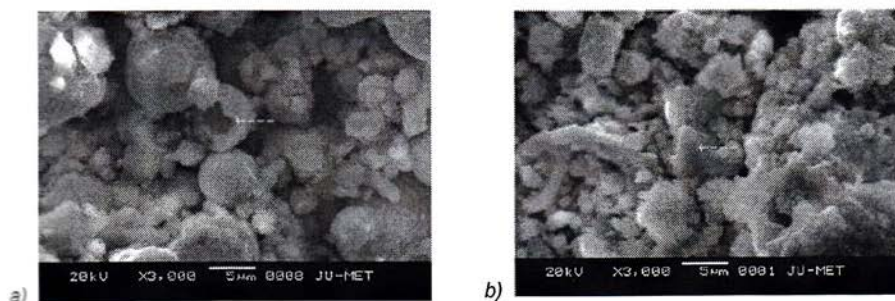


Fig. 7.43 Micrografie SEM a unui strat corodat de pastă de ciment, expus timp de 60 de zile la atac cu acid sulfuric cu $pH=1$: a) proba martor; b) beton cu aditiv acrilic și fibre, $\times 3000$

7.4 COROZIUNEA ARMĂTURILOR ÎN FISURI

Fisurile din beton, reprezentând căile disponibile pentru mecanismele de transport respectiv punctele de inițiere a deteriorării progresive, influențează considerabil durabilitatea betonului. Fisurile orientate în lungul armăturii (fisuri de aderență) sau fisuri din cauza coroziunii armăturii) sunt mult mai periculoase decât fisurile transversale, deoarece în cazul fisurilor transversale coroziunea este limitată la o suprafață redusă și pericolul de decojire a stratului de acoperire cu beton practic nu există [180].

7.4.1 Microscopia electronică de analiză cantitativă petrografică a calității probelor de beton. Scopul controlului a fost determinarea existenței degradărilor datorate coroziunii armăturilor, reacțiilor alcalii-agregate, coroziunii sulfatice, săruri de amoniu etc. în fisurile stratului de protecție din beton. Cu ajutorul microscopiei, în diferite spectre de lumină (filtre), s-a studiat armătura corodată din fisuri (fig. 7.46-7.47).

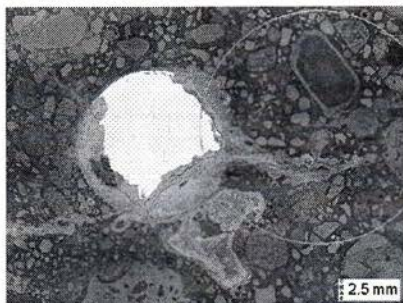


Fig. 7.46 Microscopia armăturii corodate înglobată în beton.

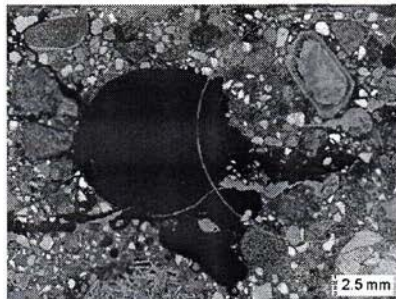


Fig. 7.47 Aceeași imagine vizualizată cu lumină emergentă (transmisă).

Oțelul neoxidat reflectă puternic lumina, iar produșii de coroziune reflectă mai atenuat lumina decât oțelul, cu o intensitate mai puternică decât agregatele și piatra de ciment. Armătura de oțel și produșii de coroziune sunt opaci în transmisia luminii. Agregatele sunt în general transparente în transmisia luminii. La baza imaginii, partea stângă, se observă o particulă de agregat compus din cristale lamelare.

Particula de agregat din porțiunea superioară mediană a imaginii este supusă reacțiilor alcalii-agregate. Porii și fisurile învecinate sunt umplut cu alcalii-silica gel.

Particula de agregat este mai poroasă în interior și mai densă la suprafața de contact cu piatra de ciment.

Straturi alternante de alcalii-silica gel și produși de coroziune depuși pe fețele laterale ale fisurii din zona mediană a imaginii.

CAPITOLUL 8

IMPLEMENTAREA REZULTATELOR OBTINUTE. CONCLUZII

8.1 APLICAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE PRIVIND CARACTERISTICILE BETONULUI CU ADITIV DE POLIMER ARMAT DISPERS CU FIBRE

8.1.1 Confecționarea grinzilor din beton armat

Cunoscând compozițiile optime ale betonului cu adaos de fibre (cap. 4.2.2) și aditiv acrilic (cap. 4.2.3), precum și caracteristicile mecanice (compresiune și întindere din încovoiere) s-au confecționat grinzi (3 buc.) armate din beton cu adaos de fibre și aditiv acrilic cu dimensiunile: $b \times h \times l = 200 \times 500 \times 4000$ mm cu $a = 50$ mm strat de acoperire cu beton.

Grinzile s-au turnat în tipare de oțel. Armăturile s-au poziționat în tipare pe distanțiere din plastic pentru a obține un strat de protecție din beton de 50 mm. Cunoscând sarcinile aplicate grinzilor din 4.4.7 s-a stabilit poziția axei neutre dintre zona întinsă și cea comprimată a secțiunii.

Pentru început s-a preparat betonul cu aditiv acrilic și fibre High Grade, conform compoziției din tab. 4.8, care s-a turnat peste armăturile din tipar, până la nivelul axei neutre și s-a vibrat timp de 60 s la o frecvență de 20 Hz. După o menținere a betonului vibrat timp de aproximativ 1,5 h s-a turnat a doua parte de beton, preparat cu aditiv acrilic și fibre Multi, conform compoziției din tab. 4.8 și s-a făcut o vibrație repetată timp de 40 s la o frecvență de 50 Hz (fig. 8.1).

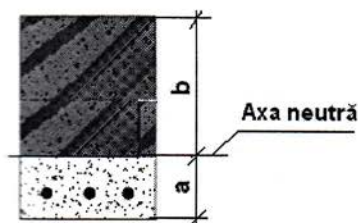


Fig. 8.1 Secțiunea grinzii de 200×500 mm: a – zona întinsă; b – zona comprimată

Conform [181] la o vibrație repetată, când s-a format structura de coagulare a pasteii de ciment, moleculele de apă capătă o orientare haotică și în legătură cu acest fapt are loc redistribuirea apei, peliculele de ciment de acoperire devin mai subțiri, iar intensitatea forțelor de aderență dintre particule crește. Ca rezultat al intervenției în procesul de coagulare a pasteii de ciment, care se dezvoltă independent, se formează o structură mai compactă a pietrei de ciment.

La începutul prizei cimentului se formează cristale (fig. 8.2 a), care după vibrația repetată se fărâmițează contribuind la formarea unei structuri mai fine și uniforme (fig. 8.2 b).

Vibrația repetată nu a modificat structura produșilor hidratați, însă grăbește procesul de hidratare și solidificare a masei.

Grinzile s-au menținut timp de 28 de zile, după care au fost studiate și încercate la încovoiere în vederea deschiderii admisibile a fisurilor (fig. 8.3).

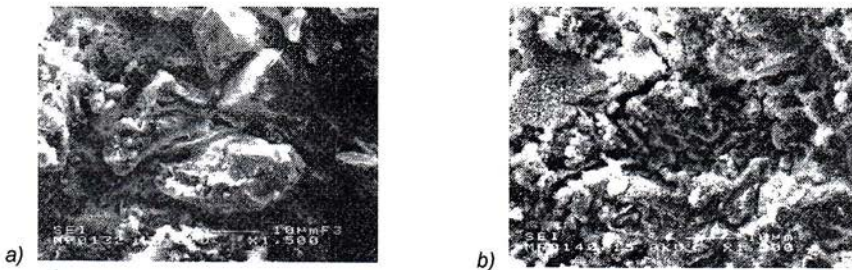


Fig. 8.2 Micrografia SEM a structurii pietrei de ciment, a stratului de beton cu aditiv acrilic și fibre High Grade: *a* – după prima vibrare; *b* – după vibrarea repetată, $\times 1500$

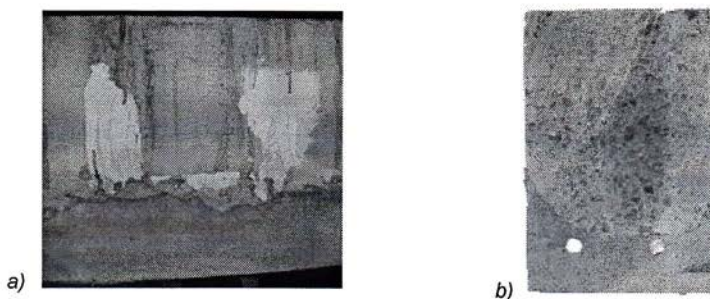


Fig. 8.3 Aspectul grinzii compuse din beton cu aditiv acrilic, armate cu fibre High Grade în partea inferioară și Multi în partea superioară (*a*) și secțiunea acesteia (*b*)

8.1.2 Încercarea grinzilor din beton armat

Experimentările din această serie au avut ca obiect evoluția stării de fisurare sub încărcări de exploatare pe elemente experimentale cu diferite compoziții a betonului pe secțiune și influența încărcărilor repetate.

Solicitarea statică a grinzilor s-a făcut prin încărcarea lor până la rupere în trepte reprezentând 1/10 din încărcarea de rupere de calcul, utilizând o schemă de grindă simplu rezemată, încărcată cu două forțe concentrate (P) aplicate la treimea deschiderii (fig. 8.4).

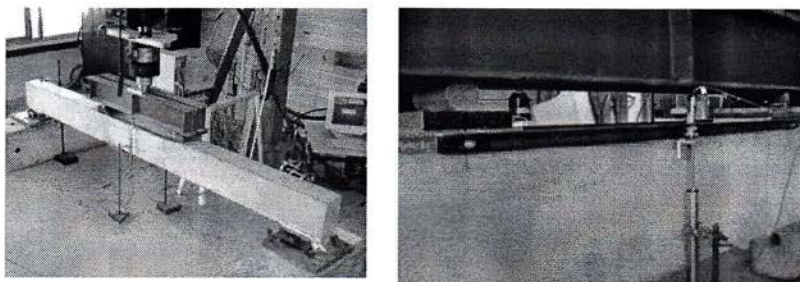


Fig. 8.4 Solicitarea statică și repetată a grinzilor cu fixarea curbării de încovoiere

Datele testului au fost înregistrate în mod continuu folosindu-se un sistem de achiziție de date și de prelucrare controlat de un computer (ANSYS) [182]. Toate testele au fost efectuate în aceleași condiții, utilizând o procedură avansată în controlul deplasării, cu o creștere a valorii de deplasare a punctelor de control. Software-ul cu elemente finite ANSYS (2010) a fost adoptat ca o platformă pentru analiza neliniară în cazul în care corpuri tridimensionale au fost folosite pentru modelul de beton. Armarea este uniform dispersată în direcțiile X, Y și Z. Rezultatele înregistrate în material au fost comparate cu rezultatele experimentale (fig. 8.5).

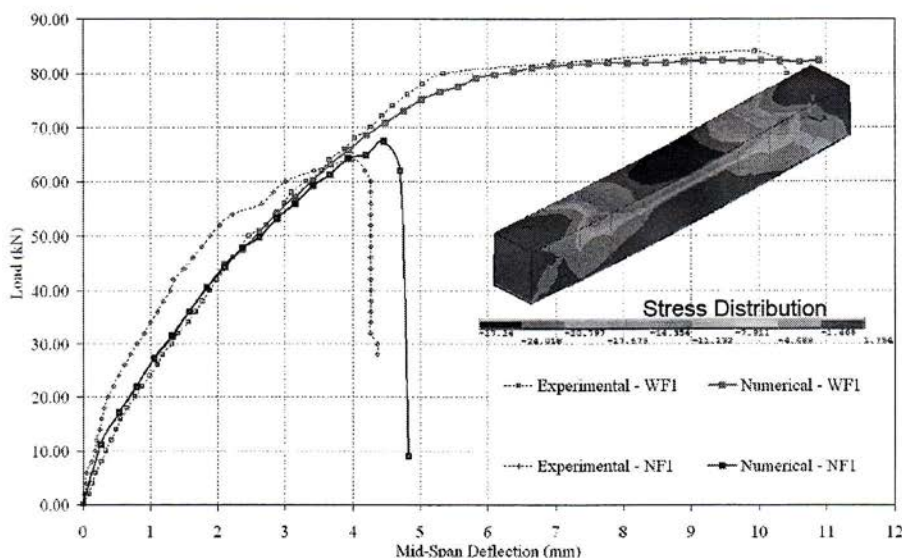


Fig. 8.5 Comparația curbelor de deformare a grinzilor simplu armate (NF1) și celor armate cu fibre (WF1).

În urma solicitării grinzilor se pot evidenția următoarele concluzii:

Capacitatea portantă la încovoiere a elementelor din beton cu aditiv acrilic, armate dispers cu fibre, depinde de procentul volumetric de armare, suprafața specifică a armăturii, tipul și orientarea fibrelor în matricea de beton. Ruperea grinzilor a fost avertizată înregistrându-se la rupere creșteri accentuate ale săgeților atât în cazul solicitării statice cât și în cazul solicitării în regim repetat.

8.1.3 Depunerea acoperirilor acrilice de protecție pe suprafața betonului

Pentru testări s-au folosit probe din beton cu aditiv acrilic armat cu fibre High Grade sub formă de grinzi cu dimensiuni 125 × 125 × 1100 mm pe partea inferioară a căreia a fost depusă acoperirea din vopsea acrilică cu o grosime de aproximativ ~ 3 mm. Compoziția acestei grinzi reproduce compoziția stratului inferior de protecție a grinzii armate din figura 8.3.

Asupra grinzii s-a aplicat o sarcină în vederea verificării rezistenței de aderență a stratului de protecție din vopsea acrilică (fig. 8.7).

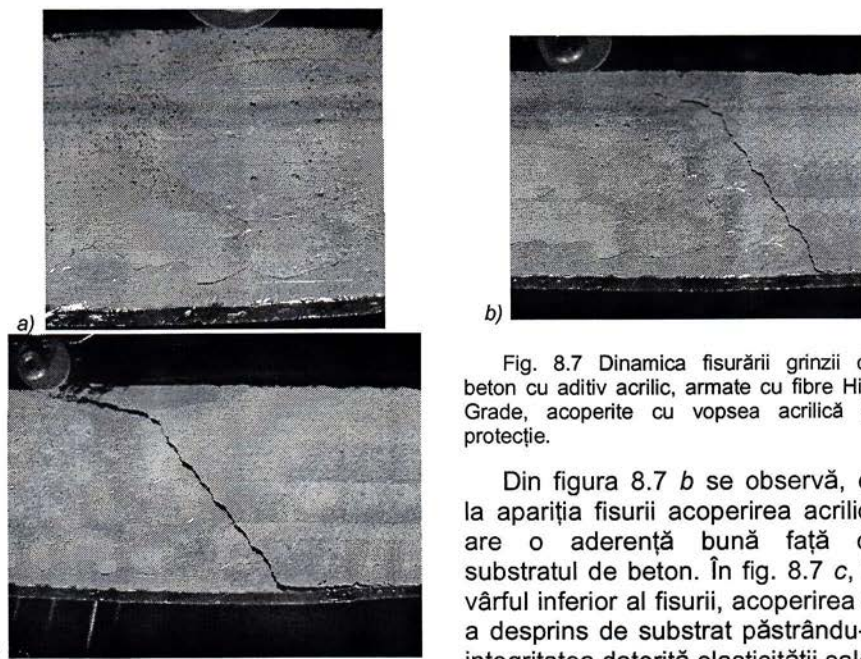


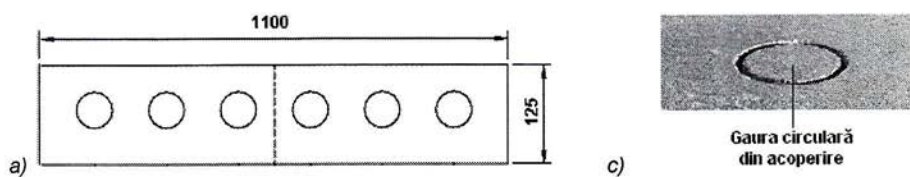
Fig. 8.7 Dinamica fisurării grinzii din beton cu aditiv acrilic, armate cu fibre High Grade, acoperite cu vopsea acrilică de protecție.

Din figura 8.7 b se observă, că la apariția fisurii acoperirea acrilică are o aderență bună față de substratul de beton. În fig. 8.7 c, în vârful inferior al fisurii, acoperirea s-a desprins de substrat păstrându-și integritatea datorită elasticității sale.

După distrugerea grinzii s-a studiat suprafața interioară a stratului desprins de vopsea pe care a rămas un strat subțire și neuniform de beton, ceea ce denotă o aderență bună a acoperirii acrilice față de betonul cu aditiv acrilic.

8.1.4 Măsurarea forței de aderență a acoperirii de protecție

Verificarea aderenței prin smulgere – este o testare a rezistenței acoperirii la separare de la substrat la aplicarea unei forțe de întindere perpendiculare [183]. Pentru aceasta se folosește aparatul DYNAMETER, unde se selectează zonele de testare (fig. 8.8 a), de pe suprafața acoperită a grinzii cu strat uniform de acoperire și cu o carotă diamantată specială se fac găuri în acoperire peste grosimea acesteia (fig. 8.8 b, c), după care se iau 6 discuri pentru testare.



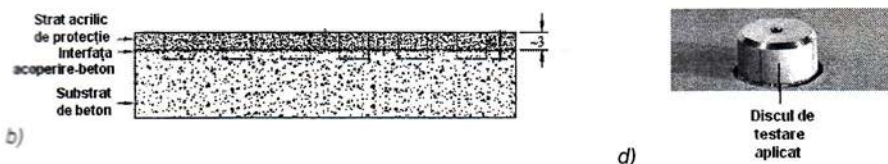


Fig. 8.8 Schema de testare a aderenței prin smulgere a acoperirii acrilice de protecție, depuse pe suprafața de beton

În figura 8.10 a se prezintă schematic succesiunea desprinderii acoperirii acrilice de protecție de la substratul de beton, iar în figura 8.10 b secțiunea pastilei de vopsea acrilică, unde se observă pe partea inferioară urme de beton, desprinse de la suprafața grinzii testate.

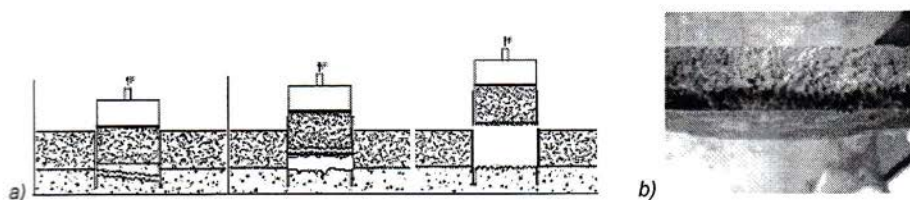


Fig. 8.10 Schema desprinderii acoperirii acrilice de protecție de la substratul de beton (a) și secțiunea pastilei desprinse (b).

În figura 8.11 se prezintă rezultatele testărilor de aderență a acoperirii acrilice, depuse pe suprafața betonului, în scopul închiderii fisurilor ce se formează la sarcini ciclice.

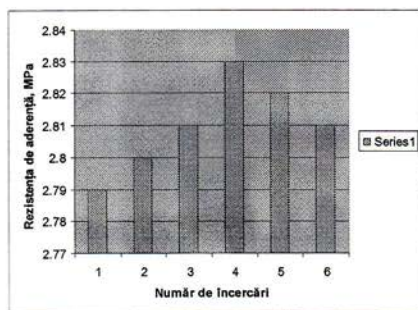


Fig. 8.11 Rezultatele încercărilor rezistenței de aderență a acoperirii acrilice de substratul de beton



Fig. 8.12 Aspectul cuponului de vopsea acrilică extras de pe suprafața de beton

Pe baza considerațiilor teoretice și a studiilor de caz prezentate în lucrare se pot trage următoarele concluzii.

8.2 CONCLUZII

8.2.1 Aspecte privind durabilitatea betonului și betonului armat

Prezentul studiu a urmărit să răspundă unor necesități actuale de perfecționare a tehnologiei de execuție a elementelor din beton și beton armat, care să reziste solicitărilor statice și dinamice în condiții de agresivitate a mediului. Toate aspectele au fost abordate ținând cont de ultimele cercetări la nivel mondial, căutându-se date pentru îmbunătățirea în ansamblu a problematicei privind protecția anticorrosivă, prin metode clasice și moderne, a elementelor din beton.

Sectorul proiectării tehnologice a soluțiilor de protecție, 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 corespunzătoare.

Având în vedere faptul că România și Rep. Moldova sunt țări cu risc seismic important și că dispun de un volum foarte mare de construcții vechi, se caută în permanență dezvoltarea și perfecționarea tehnicilor de proiectare și executare a lucrărilor de protecții anticorrosive.

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 corosivă a construcțiilor și tipurile cele mai frecvente de avarii întâlnite la elementele din beton;

- prezentarea unor tehnologii de execuție tradiționale dar și tehnologii moderne de protecție anticorrosivă a elementelor din beton, alegând materiale eficiente (aditivi acrilici și fibre de armare din polipropilenă);

- prezentarea încercărilor efectuate în laborator pentru tehnologiile moderne de protecții anticorrosive a elementelor din beton cu materiale compozite.

Ideea de menținere în actualitate a unor soluții de protecții anticorrosive 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 lucrărilor, 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 protecție pentru armături, însă având o compoziție modernă, cu caracteristici de lucrabilitate excelente, ce nu vor influența negativ calitățile sale după întărire;

- prezentarea unei soluții moderne de execuție a elementelor din beton, alegând materialele pe bază de fibră de polipropilenă și aditiv acrilic, susținută de cercetări de laborator.

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. Studiul degradărilor, plecând de la identificarea mediilor agresive, alegerea proprietăților materialelor componente, la punerea lor în operă în condiții optime, la asigurarea unor protecții secundare, până la exploatarea rațională și urmărirea comportării acestora în timp, a devenit o componentă din ce în ce mai importantă a asigurării la parametrii la care au fost proiectate elementele din beton și beton armat. Proiectarea la durabilitate, în principiu, are la bază identificarea cât mai corectă a condițiilor agresive de mediu în care vor funcționa elementele din beton armat și alegerea acestora în mod corespunzător, precum și a protecțiilor secundare. S-a stabilit un consens în ceea ce privește condițiile de asigurare a durabilității elementelor din beton și beton armat, raportat la unele proprietăți cum sunt: compactitatea, omogenitatea, continuitatea, asigurarea unei grosimi corespunzătoare a stratului de acoperire cu beton a armăturilor, limitarea deschiderii fisurilor.

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

- durabilitatea betonului permite înțelegerea mecanismelor ce conduc la degradarea corosivă a 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;

- îndeplinirea cerințelor de durabilitate și rezistență anticorrosivă 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 devine obligatorie, aceștia conferind betonului întărit o permeabilitate redusă.

8.2.2 Aspecte privind condițiile de mediu

Cunoscând faptul că analizarea corectă a mediului ne permite descoperirea și îndepărtarea cauzelor care conduc la degradarea corosivă a 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, nu 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;

- evaluarea gradului de asigurare (diagnosticarea) este esențială și formează împreună cu alegerea corectă a soluției de execuție, baza de plecare în cazul lucrărilor de protecții anticorrosive.

8.2.3 Aspecte privind compoziția betonului

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 trebuie 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 aditivului acrilic și fibrelor de polipropilenă, ca materiale cu rol benefic pentru beton, de la preparare până la întărire și exploatare.

8.2.4 Aspecte privind folosirea materialelor pe bază de fibră de polipropilenă și aditiv acrilic la execuția elementelor din beton armat

În urma testelor efectuate în laborator s-a constatat că folosirea materialelor pe bază de fibră de polipropilenă și aditiv acrilic se impune pentru execuția elementelor din beton armat supuse solicitărilor de compresiune și încovoiere.

Se rețin următoarele aspecte pentru:

- cuburi din beton: s-a demonstrat că folosirea materialelor pe bază de fibră de polipropilenă tip Multi și aditiv acrilic mărește rezistența la compresiune a betonului cu 44%;

- grinzii din beton și beton armat: s-a demonstrat că folosirea materialelor pe bază de fibră de polipropilenă tip High Grade și aditiv acrilic este eficientă în zona supusă întinderii măbind rezistența cu 36%, comparativ cu grinzile de referință;

- prezența fibrelor de polipropilenă în beton reduce propagarea fisurilor influențând benefic structura betonului armat;

- pe baza rezultatelor analizei de laborator, datelor hidratării cimentului, observațiilor SEM și TEM a pastelor de ciment s-a observat că pelicula polimerică poate fi formată în porii capilari și la interfața agregat-pastă, punctele cele mai slabe în beton, unde pelicula polimerică joacă un rol important în ceea ce privește aderența, și are, prin urmare, un efect pozitiv asupra rezistenței. Astfel, are loc îmbunătățirea proprietăților mecanice ale betonului;

- în cadrul tezei s-au efectuat cercetări privind mecanismul și cinetica coroziunii armăturilor din construcții, în diferite medii agresive;

- s-a evidențiat experimental, că procesele electrochimice pe suprafața armăturilor au loc la orice mărime de deschidere a fisurilor din beton, care depind direct de concentrația agentului corosiv din mediul ambiant;

- s-a constatat o îmbunătățire considerabilă a rezistenței anticorosive a elementelor executate din beton cu aditiv acrilic și fibre;

- prin metoda grafo-analitică s-a calculat viteza de coroziune a armăturilor din fisurile betonului armat, fapt ce permite să prognozăm avansarea procesului de coroziune în timp;

- s-a propus un model matematic de calcul al mărimii deschiderii admisibile a fisurilor în construcțiile din beton armat, exploatate în medii agresive și durata acțiunii stratului de protecție din beton;

- stratul de protecție din beton, cu aditiv acrilic și fibre, are bune proprietăți anticorosive la acțiunea gazelor și lichidelor agresive. Acest strat se situează, din acest punct de vedere, în domeniul stabil și foarte stabil;

- cercetările teoretice și experimentale deschid un câmp larg de cercetări viitoare.

În parte, rezultatele cercetărilor au fost comunicate la Sesiuni Naționale și Internaționale.

8.3 CONTRIBUȚII PROPRII ALE AUTORULUI

• Efectuarea unei sinteze asupra rezultatelor cercetărilor experimentale și teoretice publicate în domeniul:

- durabilității și degradării corosive a elementelor din beton și beton armat;

- cauzelor care pot conduce la degradarea corosivă a construcțiilor;

- utilizarea aditivului acrilic și fibrelor de polipropilenă pentru realizarea betoanelor.

- În lucrare au fost analizate aspecte particulare ale problematicii durabilității, în contextul utilizării betonului ca material de protecție pentru armături. De aceea, studiul este conceput ca bază de înțelegere a fenomenelor de deteriorare corosivă a betonului din elemente, dar și pentru proiectarea corectă și modernă a compoziției sale, ca material de protecție pentru armături;

- Interpretarea sistematizată a cauzelor care conduc la apariția degradării betonului și betonului armat prin fisurare, analizând interacțiunea factor de degradare-diagnosticare;

- Analizarea în detaliu a aspectelor privind compoziția betonului utilizând aditiv acrilic și fibre din polipropilenă;

- Efectuarea unui program de încercări experimentale pe cuburi, cilindri, prisme din beton și grinzi din beton armat, consolidate cu fibre și aditivate cu material acrilic;

- Studiul și compararea modurilor de cedare a probelor pe bază de fibră de polipropilenă și aditiv acrilic pe durata încercărilor;

- Prezentarea unei tehnologii de execuție a elementelor din beton și beton armat, care să ajute inginerii constructori (proiectanți sau executanți) în execuția structurilor importante, aflate în medii corosive;

- Dezvoltarea cunoașterii științifice într-un domeniu de mare actualitate și cu perspectivă.

BIBLIOGRAFIE

1. Callister, W. Materials Science and Engineering- An introduction University of Utah, 1994, p. 552.
2. Răpișca, P., Florea, N., Aspecte ale degradării betonului armat, Editura Cermi, Iași, 2002
4. Ioniță, Gh. ș.a. Bazele ingineriei și tehnologiei materialelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1995.
6. Neville, A.M. Proprietatile betonului, Editura Tehnica, Bucuresti 2003
7. Georgescu, D. Indrumator de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu anexa națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate, Tipografia Everest, 2001, București.
13. EN 1992-1 Design of Concrete Structures
16. Florea, N., Petru, M., Verificarea siguranței elementelor din beton armat, Editura Societății Academice „Matei – Teiu Botez”, Iași, 2006,155pag., I.S.B.N: 973-8955-00-9.
23. Ionescu S., Abordarea proceselor de degradare în construcții hidrotehnice, Revista Hidrotehnica, Vol. 49, Nr. 7/2004.
24. Zamfirescu, D., Postelnicu, T., Durabilitatea betonului armat, Editura Matrix Rom, București, 2003. ISBN 973-685-666-6.
31. Oneț T., Durabilitatea betonului armat, Editura Tehnică, București, 1994, 154 pag.
35. SR EN 206-1 Beton – Partea I: Specificatie, performanta, productie si conformitate.
39. Rusu, I., Biohimiceskaia korrozia jelezobetonah rezervuarov i konstruktii. NIITEI, Min.Economiki Resp. Moldova, Chisinau, 1998. 11 s.
40. Akimova, K.M., ș. a. O zascite armaturâ jelezobetonâh construcții ot korrozii - Transportnoe stroitelstvo, 1992. Nr. 8.
45. Rusu I., Proaspat E., Croitoru Gh., Optimizatia sostava betona dlia stroitelstva biogazovah ustanovoc. Proceedings of the 37th International Seminar on Modelling and Optimization of Composites, "Modelling in materials science", Ucraina, Odessa, 5-6 mai 1998, MOK'37, pag.129.
46. Croitoru Gh., Cercetari asupra rezistentei la coroziune a otelului beton de tip PC 52 si PC 60. Analele Universitatii "Dunarea de Jos" Galati, Fascicula IX, 1998. Lucrarile conferintei nationale "Realizari si perspective in metalurgie", pag.174.
47. Gonzalez A., Algaba S., Andrade C. Corrosion of reinforcing bars in carbonated concrete. Br. Corros. J.,15, 2008, p. 135-139.
51. Lemay, L., Obla, K., Lobo, C., Performance Based Specifications for Concrete', STRUCTURE, April 2005, pag. 22-25.
55. Ilinoiu O.G., Asigurarea si controlul calității lucrărilor de construcții.

- Construcții Civile și Industriale. Anul IV, Nr. 48 Decembrie 2003, pag. 10-14.
56. CEB Durable Concrete Structures. Design Guide. Bulletin d'Information, Nr. 183. 1992.
69. Bartashevici, A.A., Dalevski, A.K., Yuhnevski P.I., Novaia complexnaia dobavka dlia betonov v konstruktiiah i soorujeniah. Stroitelinae materole. Nr. 12, 1985.
72. Croitoru, Gh., Studii și cercetări privind comportarea și protecția armăturilor metalice. Teză de doctorat. 1997. Universitatea „Dunărea de Jos” Galați.
77. SR EN 12390-2 Încercare pe beton întărit. Partea 2: Pregătirea și conservarea epruvetelor pentru încercări de rezistență.
78. SR EN 12390-4 Încercare pe beton întărit. Partea 4: Rezistența la compresiune. Caracteristicile mașinilor de încercare.
79. SR EN 12504-2 Încercări pe beton în structuri. Partea 2: Încercări nedistructive. Determinarea indicelui de recul
80. Terteza, I., Onet, T. Verificarea calitatii constructiilor de beton si beton precomprimat. Ed. Dacia. Cluj-Napoca 1979.
82. SR EN 12390-5 Încercare pe beton întărit. Partea 5: Rezistența la încovoiere a epruvetelor.
85. SR EN 12390-8 Încercare pe beton întărit. Partea 8: Adâncimea de pătrundere a apei sub presiune.
86. RILEM Report 40, "Non-Destructive Evaluation of the Penetrability and Thickness of the Concrete Cover", (eds. R. Torrent and L. Fernández Luco), May 2007, 223 p.
92. STB 1168-99 Gosudarstvennai standard Respubliki Belarusi. Metod kontrolea korrozionnogo ispatania stalnoy armatura v betone i zscitnah svoistv betona.
93. SR ISO 9227 Încercări la coroziune în atmosfere artificiale. Încercări în ceață salină.
95. ASTM D4541 Standard test method for pull-off strength of coating using portable adhesion testers, American Society for Testing and Materials, 1995.
98. Goldstein J., Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. ASTM. T. 4. 1987.
99. SR EN 206-1 Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate.
105. Shihnenko I.V. Kratkii spravocinik injinera-tehnologa po proizvodstvu jelezobetona. Kiev. „Budivelnik” 1989, 296 s.
106. Iakobson Y.M. Spravocinik molodogo rabocegopo izgotovleniu sbornogo jelezobetona. Izdatelistvo „Viscaia scola” 1981, 238 s.
108. SR EN 12390-3 Încercare pe beton întărit. Partea 3: Rezistența la compresiune a epruvetelor
117. Georgescu D., Apostu A. Performanța betoanelor preparate cu cimenturi având conținut ridicat de zgură, fabricate în România. Revista

- România de Materiale, ISSN 1583-3186, 2009, vol. 39, nr. 2, pp. 119-134.
118. I. Rusu, I. Colesnic, I. Constantinescu Coroziunea și protecția construcțiilor rufiere de beton armat. Al XIII-lea Congres Național de Drumuri și Poduri. Vol. II, Poiana Brașov, 15-17 septembrie 2010.
121. CEN/TR 15177 European Committee for Standardization, - Testing the freeze-thaw resistance of concrete - Internal structural damage, 2006.
132. Stan, D., ș.a. Construcții și mediu. Editura MATRIX.ROM, București, 2004. 143 pag.
136. S.N. Alekseev Korrozia jelezobetonă și metoda zăscită. Gosstroizdat. 2003. 235 s.
137. C. Nutiu Fisurabilitatea elementelor din beton parțial precomprimat, 1998, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca.
144. G.V. Akimov Teoria și metodă isledovania corozii metallov.- AN SSSR. 1990.
145. V.M. Moskvina, ș. a. O mehanizme corozii stalinoi armatură v betone s trescinami. - Corrozia, metodă zăscită și povășenia dolgovecinosti betona și jelezobetonă. - M.: Stroizdat, 1992. - S. 28 - 34
146. F.M. Ivanov Zăscita jelezobetonăh transportăh soorujenii ot corozii. - Izd-vo Transport, 2004. 23-24 s.
147. D. Knotkova-Cermakova Corrosion aggressivity of atmosphere. - Derivation and classification // Atmospheric corrosion of Metals. Philadelphia, 2005. P. 225-249.
148. I. Jirovsk'ý Measuring Time of surface wetness to determine atmospheric corrosion // Atmospheric corrosion. N.Y., 2002. P. 69-82.
150. I.L. Rozenfeld Atmosfernaia corozia. - AN SSSR, 1991.
151. V.V. Petrov ș. a. Rasciot elementov construcții vzaimodeistvuiuscih s agresivnoi sredoi. - Sverdlovsk.: 2006, S. 24-29.
152. V.I. Murașev Trescinoustoicivosti, jestcosti și procinosti jelezobetonă. - Masstroizdat, 2000. 324 s.
154. Gh. Croitoru, I. Rusu Prognozirovanie atmosferno corozii armatură v trescinăh jelezobetonăh construcții na osnove rezulitatov mesiacinăh corozionăh ispătanii. - Modelirovanie v materialovedenii//Materială mejgosudarstvennogo seminara, 17-20 aprilă 1997, Odessa. Ukraina.
156. I.I. Ioseli, ș. a. Matematicheschie metodă rasciota electrohimicescoi corozii și zăscita metallov. - Metallurgia, 1994. S. 23-54.
161. J. Abate and P. P. Valko Multi-precision laplace transform inversion. International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2004, 60(5): 979-993.
169. C. Avram, I. Făcăoaru, Rezistențele și deformațiile betonului. Editura Tehnică,

- I. Filimon , O. Mîrșu, I. Tertea 1971.
170. R.F. Feldman, P.J. Sereda A model for hydrated Portland cement paste as deduced from sorption-length change and mechanical properties. *Matériaux et Construct.* 1998, 1, 509–520.
176. Y. Malier Foreword to High-performance concrete, PC Aitcin, E&FN Spon, (2005).
178. G.B. Muravin, L. M. Lezvinskaya Diagnostic of Reinforced Concrete Structures, Proceeding of the International Symposium Held by RILEM State University of Gent, Belgium, Gent, Linem12-14, 2001, pp. 357-365 .
179. J. Hill An experimental study of combined acid and sulfate attack of concrete. *Cement and Concrete Composites.* Vol 25, Issue 8, December, 2003. pp. 997-1003.
180. L. Bertolini, M. Carsana, P. Pedferri Corrosion behaviour of steel in concrete in the presence of stray current. *Corrosion Science* 49 (2007) 1056–1068.
181. O.I. Berg Necotorae voprosa terorii deformatii i pricinisti betona. *Izvestia vuzov. „Stroitelstvo i Arhitectura”.* 2000, Nr. 6.
182. Hsuan-Teh Hu, Fu-Ming Lin, Yih-Yuan Jan Nonlinear finite element analysis of reinforced concrete beams strengthened by fiber-reinforced, ANSYS program *Composite Structures* 63, pp 271–281, doi:10.1016/S0263-8223(03)000174-0.
183. I. Rusu, I. Colesnic, I. Constantinescu Uscorennai metod opredelenia kislotopronitaemosti polimernah pocratii dlia zascita betona constructii. *Visnik Odesskoia Akademii Stroitelstva i Arhitectura. Vapusc Nr. 39. Ciasti 2. Odessa 2010. s. 206-208.*



265828