

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Ing. BUCHMAN IOSIF - CASMIR

BETOANE ARMATE CU FIBRE DE OTEL

- Teză de doctorat -

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific:

Prof. em. ing. C-tin AVRAM

M.c. al Academiei R.S.R.

- 1 9 8 3 -

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA	
Volume	472-249
Grup	345 G

C U P R I N S

1. INTRODUCERE	5
1.1. Scurt istoric al dezvoltării betoanelor armate cu fibre	5
1.1.1. Dezvoltarea betoanelor armate cu fibre	5
1.1.2. Tipuri de betoane armate cu fibre	8
1.2. Stadiul actual al problemei betonului armat cu fibre de oțel	12
1.2.1. Studii și cercetări pe plan mondial	12
1.2.2. Studii și cercetări în țară	16
1.3. Subiectul tezei de doctorat	16
2. TEHNOLOGIA BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OTEL	18
2.1. Materiale componente	18
2.1.1. Betonul de ciment	18
2.1.2. Fibrele de oțel	22
2.2. Prepararea betonului armat cu fibre de oțel	26
2.3. Punerea în operă a betonului armat cu fibre de oțel	29
3. ASPECTE TEORETICE PRIVIND BETONUL ARMAT CU FIBRE DE OTEL	31
3.1. Considerații privind armarea cu fibre	31
3.2. Comportarea sub acțiunea încărcărilor	32
3.3. Capacitatea portantă	36
3.4. Factori care influențează comportarea și capacitatea portantă	43
3.4.1. Intervalul dintre fibre	43
3.4.2. Lungimea minimă a fibrelor	51
4. CARACTERISTICI FIZICO-MECANICE ALE BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OTEL	56
4.1. Caracteristici ale betonului proaspăt	56
4.1.1. Lucrabilitatea (consistența)	56
4.1.2. Segregarea	58
4.2. Caracteristici ale betonului întărit	59
4.2.1. Aderența dintre fibre și beton	59
4.2.2. Rezistențele betonului cu fibre de oțel	64
4.2.2.1. Rezistența la întindere	64
4.2.2.2. Rezistența la compresiune	72
4.2.2.3. Rezistența la tăiere	73
4.2.2.4. Rezistența la șoc (impact)	73
4.2.2.5. Rezistența la acțiuni ciclice (oboseală)	75
4.2.2.6. Rezistența la uzură	76
4.2.2.7. Rezistența la îngheț-dezghet	76
4.2.3. Deformațiile betonului cu fibre de oțel	76
4.2.3.1. Contractia și curgerea lentă	76
4.2.3.2. Deformații sub încărcări	77
4.2.4. Ductilitatea	79
4.2.5. Durabilitatea	81
5. DOMENII DE FOLOSIRE ALE BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OTEL	82
5.1. Domenii de folosire ale betonului armat cu fibre de oțel, monolit	83
5.2. Domenii de folosire ale betonului armat cu fibre de oțel, prefabricat	96

6. STUDII SI CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND BETONUL ARMAT CU FIBRE DE OTEL. COMPARATIE CU CERCETARILE EXISTENTE PE PLAN MONDIAL	105
6.1. Condiții de realizare a cercetărilor	105
6.2. Cercetări privind tehnologia betonului cu fibre de oțel	106
6.2.1. Materiale componente și utilaje folosite	106
6.2.2. Tehnologia betonului cu fibre de oțel	110
6.3. Cercetări privind proprietățile betonului cu fibre de oțel	114
6.3.1. Lucrabilitatea	114
6.3.2. Rezistența la întindere prin încovoiere	116
6.3.3. Rezistența la compresiune	128
6.3.4. Rezistența la șoc	130
6.3.5. Rezistența la uzură	134
6.3.6. Rezistența la îngheț-dezghet	135
6.3.7. Ductilitatea	136
6.3.8. Durabilitatea	137
6.4. Contribuții la teoria betonului armat cu fibre de oțel	137
6.5. Cercetări privind betonul de granolit armat cu fibre de oțel	143
6.5.1. Program experimental	144
6.5.1.1. Tehnologia de obținere a betonului	144
6.5.1.2. Tipul epruvetelor experimentale și compoziția betonului utilizat la confecționarea lor	145
6.5.1.3. Incercarea epruvetelor	148
6.5.2. Rezultate și interpretarea lor	149
6.5.3. Concluzii și recomandări	153
7. VALORIFICAREA CERCETARILOR INTREPRINSE	155
7.1. Aplicarea betonului armat cu fibre de oțel la dale prefabricate pentru pavaje	155
7.1.1. Tehnologia de fabricare a dalelor	155
7.1.2. Realizarea tronsonului carosabil	156
7.1.3. Incercarea elementelor experimentale	157
7.1.4. Concluzii	164
7.2. Aplicarea betonului armat cu fibre de oțel la repararea îmbrăcăminților rutiere rigide	164
7.2.1. Cercetări de laborator	165
7.2.2. Executarea și urmărirea tronsoanelor experimentale	166
7.2.3. Concluzii	177
7.3. Normative elaborate	178
8. SINTEZA SI CONCLUZII	179
8.1. Dezvoltarea betonului armat cu fibre de oțel	180
8.2. Tehnologia betonului armat cu fibre de oțel	180
8.3. Aspecte teoretice ale betonului armat cu fibre de oțel	183
8.4. Caracteristicile fizico-mecanice ale betonului armat cu fibre de oțel	185
8.5. Domeniile de folosire ale betonului armat cu fibre de oțel	188
8.6. Concluzii generale și contribuții	189
BIBLIOGRAFIE	191
ANEXE	199
Anexa 1. Indrumător pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel, 1977	

1. INTRODUCERE

Etapa actuală de edificare a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintare a țării spre comunism, cere și realizarea unor materiale noi, cu caracteristici deosebite, capabile să fie utilizate în cele mai diverse condiții de exploatare. Folosirea pe scară largă a betonului, betonului armat și precomprimat extinderea prefabricatelor din beton, datorită avantajelor pe care acest material le prezintă, fac ca atenția constructorilor să fie îndreptată înspre găsirea mijloacelor și căilor care să îmbunătățească tot mai mult caracteristicile tehnice ale acestui important material de construcții. Una din posibilitățile de îmbunătățire a proprietăților fizico-mecanice ale betonului o constituie armarea cu fibre.

Betoanele armate cu fibre, numite și betoane cu armare dispersă, rezultă prin înglobarea în masa betonului a unei anumite cantități de fibre discontinue de oțel, sticlă, polimeri sau altele. La obținerea betonului se utilizează lianți hidraulici (în special cimentul portland unitar sau cu adaosuri), agregate grele sau ușoare, apă și eventuali aditivi. În unele situații nu se folosesc agregate, astfel încât se obțin cimenturi cu fibre, așa cum este cazul azbocimentului și a cimentului armat cu fibre de sticlă. În categoria de betoane armate cu fibre nu sînt incluse cele armate cu fibre continue, plase și țesături de fibre.

1.1. Scurt istoric al dezvoltării betoanelor armate cu fibre

1.1.1. Dezvoltarea betoanelor armate cu fibre

Ideea armării disperse a materialelor de construcții, în scopul îmbunătățirii caracteristicilor fizico-mecanice și a durabilității acestora, este cunoscută din cele mai vechi timpuri; paiele tocate s-au utilizat la armarea cărămizii nearse și a pereților, iar părul de cal și fibrele de sisal au fost folosite pentru obținerea de ipsos armat. De dată mai recentă și cu o utilizare foarte largă în domeniul construcțiilor și al instalațiilor este azbocimentul, obținut dintr-un amestec de ciment, apă și fibre de azbest. Avînd în vedere consumul mereu crescînd al acestui material /56/, se apreciază că pînă la sfîrșitul secolului rezervele de azbest ar putea fi epuizate. Se pune astfel cu acuitate problema

găsirii altor fibre pentru armarea dispersă a betonului.

Conform datelor bibliografice se poate aprecia că apariția betoanelor cu armare dispersă a avut loc la începutul secolului. Astfel în SUA, în anul 1910 au fost publicate studiile lui Porter, privind caracteristicile fizico-mecanice ale betonului în masa căruia au fost introduse cuie tăiate /75/. Tot în SUA, în anul 1914, a fost înregistrat primul brevet, de către Ficklin, care s-a referit la un beton cu o mare rezistență la uzură și șoc, obținut prin înglobarea în masa betonului a unor piese metalice de "formă întortochiată" /35/. Prin anii 1920 s-a propus de către Kleinlogel folosirea de materiale din pastă de ciment armată cu fibre de oțel; idei similare au existat și în Franța privind folosirea deșeurilor metalice pentru armarea betonului. În 1938 Žitkevic a brevetat un beton întărit cu bucăți de sîrmă moale /105/. Betonul armat cu fibre de oțel a fost folosit, pentru prima dată, de inginerul italian L.Nervi la cupola Palatului Sporturilor de la Roma /106/. El a înglobat în beton bucăți scurte de sîrmă de oțel, constatînd concomitent cu creșterea rezistențelor la întindere și la încovoiere, o reducere substanțială a contracției betonului. Trebuie remarcat, că printre primii cercetători care s-au ocupat de betonul cu fibre de oțel a fost și cunoscutul inginer român Gogu Constantinescu, care în 1954 a înregistrat patentul american Nr.2677955 privind acest nou material de construcții. Cercetări sistematice și intense privind betonul armat cu fibre de oțel au început să fie întreprinse în mai multe țări în deceniul al șaptelea al secolului nostru. Se poate spune că bazele teoretice și tehnologice privind acest nou material au fost asigurate de studiul publicat în 1963, în SUA, de către Romualdi și Batson /84/. Primul patent pentru fabricarea fibrei de oțel apare în 1965 și aparține companiei "Battelle Development Corporation" din Statele Unite, inventatorul fiind prof.Romualdi iar denunțarea comercială în țările capitaliste fiind "Wirand". În Anglia pentru cercetarea și aplicarea betonului cu fibre de oțel colaborează National Standard Company cu Richard Johnson & Newpew Ltd, iar în URSS au fost elaborate instrucțiuni privind tehnologia de fabricare a acestui material. Începînd cu deceniul al șaptelea s-au făcut eforturi serioase pentru producerea pe scară largă a materialului și aplicarea sa în țările amintite mai sus, precum și în Canada, Japonia, Australia și Europa occidentală /59/. La noi în țară acest material se studiază din anul 1972 și pe baza studiilor efectuate la laboratorul de beton armat al

Institutului politehnic din Timișoara s-au elaborat în 1977 "Indrumătorul pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" iar în 1980 "Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel", indicativ C.201-80.

La armarea dispersă a betonului, în afară de utilizarea fibrelor de azbest și de oțel, s-a încercat și folosirea unor fibre de altă natură. În URSS dezvoltarea procedeeilor de utilizare a fibrelor de sticlă ca armătură pentru beton a început din anul 1941, studiile fiind bazate, în special, pe cimenturi aluminoase și nu pe cimenturi portland, care crează un mediu bazic la hidratare. Din deceniul al șaselea al acestui secol a început să fie experimentată folosirea fibrelor de sticlă ca material de armare dispersă și în SUA /3/, Anglia /62/, URSS /15/ și Japonia. Problema studiată la început a fost stabilitatea fibrelor de sticlă în mediul bazic, rezultat la hidratarea cimentului portland; sticla obișnuită (E), expusă în mediu alcalin, este atacată chimic și i se diminuează repede rezistența. Din acest motiv se studiază în numeroase țări fibre de sticlă rezistente în mediu alcalin cât și protejarea fibrelor obișnuite cu materiale alcalo-rezistente (ancolanți). Astfel de fibre se produc astăzi în SUA, Anglia, Japonia. Alături de betonul cu fibre de sticlă a apărut și cimentul armat cu fibre de sticlă, care s-a produs pentru aplicare industrială, pentru prima dată, în Anglia în 1970 /86/.

În ultima vreme au început să fie studiate pentru armarea dispersă a betonului fibrele de polimeri, singure sau în combinație cu fibrele de oțel. Cele mai indicate sînt fibrele de polipropilenă. Astfel de cercetări au fost făcute în Anglia, dar domeniile de aplicare sînt încă limitate.

Importanța acordată betoanelor armate cu fibre a crescut mult în ultimii zece ani. Astfel în această perioadă au apărut numeroase articole, au fost publicate norme și instrucțiuni tehnice, s-au ținut trei conferințe internaționale (octombrie 1973 - Ottawa, septembrie 1975 - Londra și aprilie 1978 - Sheffield - Anglia).

În țara noastră primele cercetări în acest domeniu au fost întreprinse la Catedra de beton armat și clădiri a Institutului politehnic "Traian Vuia" din Timișoara. Începînd cu anul 1972 au fost studiate betoanele armate cu fibre de oțel și fibre de sticlă. În urma cercetărilor efectuate la Timișoara s-au elaborat "Indrumătorul pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" /7/ și "Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" /8/, iar în domeniul betonului armat cu fibre de sticlă teza de doc-

torat "Mortare și betoane armate cu fibre de sticlă" /25/. Rezultatele cercetărilor au fost introduse și în cartea "Noi tipuri de betoane speciale" /9/. În acest domeniu s-au mai efectuat cercetări la Institutul politehnic din Cluj-Napoca, Institutul politehnic din Iași și la ICPMC - București, principalele rezultate fiind comunicate la Conferința a VIII-a de Betoane de la Cluj-Napoca /27/.

1.1.2. Tipuri de betoane armate cu fibre

La armarea dispersă a betonului se poate utiliza o gamă foarte variată de fibre. După proveniență fibrele pot fi anorganice sau organice. Fibrele anorganice naturale sînt fibrele de azbest, iar cele artificiale sînt fibrele de oțel, sticlă, carbon. Dintre fibrele organice naturale se pot folosi fibrele de bumbac, in sisal, cânepă iar dintre cele artificiale fibrele de polipropilenă, poliamide, poliesteri. Cîteva din proprietățile fizico-mecanice ale fibrelor sînt arătate în tabelul 1.1. /107/.

Cercetările efectuate asupra compușilor de ciment armați cu fibre arată că, la ora actuală, fibrele de oțel și fibrele de sticlă alcalină sînt singurele fibre artificiale care merită să fie luate în considerare. Fibrele naturale de azbest sînt folosite curent, dar utilizarea azbestului este limitată de resursele existente. Fibrele vegetale și polimerice au un modul de elasticitate prea scăzut și deci nu pot avea o importanță practică semnificativă.

Fibrele de azbest sînt utilizate la fabricarea azbocimentului. Azbocimentul se obține dintr-un amestec de ciment, apă și fibre de azbest, fiind un produs foarte mult utilizat în construcții. Cea mai utilizată varietate de azbest este crisotilul (circa 80% din producția mondială) a cărui formulă oxidică este $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. În produsele de azbociment fibrele de azbest au lungimea cuprinsă între 1 și 6 mm (procentul preponderent de fibre) și diametrele mai mici decît $1\mu/l$. Cimentul este, de obicei, fără adăsurii, cu următoarea compoziție mineralogică: C_3S - aproximativ 60%, C_2S - max.20%, C_3A - max.7%. La fabricarea produselor de azbociment azbestul este în proporție de 10 - 20% în masă, iar cimentul 80-90%. Cantitatea de apă folosită la prepararea pastei de azbest-ciment este de circa 25 de ori mai mare decît masa liantului, în final produsele de azbociment conținînd aproximativ 20% apă /1/. Proprietățile azbocimentului importante datorită aportului fibrelor de azbest sînt rezistența la întindere, stabilitatea termică și capaci

Tabelul 1.1.

Proprietăți fizico-mecanice ale fibrelor

Tipul fibrei	Diame- trul (μm)	Lung. max. de obținere a fibrei (m/m^2)	Densi- tatea (g/cm^3)	Aderen- ta σ ($\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$)	Rezist. la întind. (N/mm^2)	Alungirea la rupere (%)	Modul de elasticit. (KN/mm^2)	Coefic. lui Poisson
<u>Fibre de azbest</u>								
-alb	0,02-20	100	2,55	0,88	3150	>3	168	—
-albastru	0,1 - 20	100	3,37	3,17	3500	2-3	196	—
<u>Fibre de sticlă</u>								
-sticlă E	9-15	C	2,56	6,4-10	2100-3500	2-3,5	77	0,22
-sticlă BRS	10-20		2,71	—	2100-2800	2-3	70-84	0,22
<u>Fibre ceramice</u>								
-silicat de aluminiu	2,75	254	2,75	—	—	—	—	—
-carbon -tip 1	7,5	C	1,99	—	1400-2100	0,4	385-455	0,2-0,4
-carbon -tip 2	7,5	C	1,74	—	2450-3150	1,0	245-315	0,2-0,4 (teoretic)
<u>Fibre de oțel</u>								
-oțel de mare rezistență -contin. ridicat de carbon					3150	3	196-210	
-contin. mic de carbon	5-500	C	7,84	5-11	1050	4	210	0,30-0,33
-oțel rezistent la coroz.					2100	3	154-168	
<u>Fibre din plante naturale</u>								
-bumbac	10-20	63	1,35		280-839	5-10	5,6-11,2	
-sisal	7,5-47,5	1200	1,48	—	839	2,9	—	—
-cizepă	15-50	1800	1,48		385	1,8	—	
<u>Fibre din polimeri</u>								
-Polipropilenă -filamente	>4		0,91		650	18	4,9	
-fibre	>4	C	0,91		399	8	7,7	
-Poliamide (tip 242)	>4		1,14		869	13,5	4,2	
-Poliesteri (tip C-Terylon)	>4		1,38		1030	10,6	1,2	

C = fibre continue

tatea de absorbție /64/. Azbocimentul se utilizează sub formă de foile și tuburi. Foile de azbociment se utilizează ca plăci de învelitoare, plăci de fațadă, plăci pentru lucrări tehnico-sanitare, căptușirea pereților, panouri, tavane, pereți despărțitori, diverse cabine, cornișe, tăblii de uși și de mobile. Tuburile din azbociment se folosesc pentru canale de ventilație și canale de fum, conducte de apă sub presiune, ape industriale, produse petroliere și gaze naturale, tuburi pentru canalizări.

Betoanele armate cu fibre de sticlă rezultă dintr-un amestec de fibre de sticlă, liant, nisip,^{apa} și eventual aditivi. Fibrele de sticlă se folosesc sub formă de fascicule (200 sau 400 filamente individuale cu diametrul $5 - 15 \mu$) sau rovinguri (cordoane de 20-60 de fascicule) cu lungimi de 12 - 50 mm. Ca lianți se pot utiliza: cimentul portland cu și fără adaosuri, cimentul cu întărire rapidă (la noi în țară P 50 și P 55), cimenturi albe și colorate, cimentul aluminos, ipsosul, cimentul magnezian și argila. În cazul utilizării lianților pe bază de ciment portland, fibrele de sticlă trebuie să fie rezistente în mediu alcalin, folosindu-se sticla A.R. Când se folosește cimentul aluminos sau lianții nehidraulici se pot utiliza și fibre din sticlă obișnuită tip B. Dimensiunea maximă de nisip nu trebuie să depășească 7 mm, întrucât acestea distrug fibrele de sticlă și micșorează lucrabilitatea /70/. Cercetările de până acum au arătat că procentul optim de fibre de sticlă înglobate în beton este de 5-6 % în masă, respectiv de 4 - 4,5 % în volum. Din betoane armate cu fibre de sticlă se pot realiza: panouri de fațadă, conducte de apă, tuburi de canal și drenaj, jgheaburi, cofraje, elemente de protecție antifoc, elemente arhitecturale, garaje, cabine telefonice, pontoane, balize ș.a. /25/. Utilizarea unor astfel de produse, în locul celor clasice, conduce la avantaje ca: reducerea greutateii elementelor, conducând la elemente mai ușoare, cu manipulare și transport mai economic; dimensiuni geometrice exacte; posibilități de proiectare în diverse forme; rezistențe mecanice (întindere, șoc) ridicate; rezistențe apreciabile la coroziune și foc; economie de oțel /9/.

Betoanele armate cu fibre de oțel, obținute prin înglobarea în masa betonului a unei anumite cantități de fibre de oțel de diametru care nu depășește 1 mm și cu lungimi, în general, sub 50 mm, constituie subiectul tezei de doctorat și sînt tratate în detaliu în capitolele ce urmează.

Cercetările întreprinse în Anglia /63/, /87/, /101/ asupra betoanelor armate cu fibre de carbon arată că procentul volumetric maxim de fibre este de 13%, iar cel optim de 10%. Fibrele carbon au fost înglobate într-o pastă de ciment portland obișnuit cu un raport A/C = 0,5 ... 0,6 (straturi alternante de pastă de ciment și benzi de fibre de carbon). Pentru îmbunătățirea lucrabilității s-au folosit aditivi. Incercarea produselor armate cu fibre continue de carbon /87/, /101/ arată o creștere a rezistențelor (la întindere și la încovoiere) și a modului de elasticitate, odată cu creșterea procentului de fibre. Alte cercetări arată că fibrele de carbon sporesc rezistența la impact /63/ și că reduc sensibil curgerea lentă la încovoiere /96/. Investigațiile făcute cu fibre scurte de carbon au arătat că, la proprietățile tehnice obținute, acestea nu sînt competitive din punct de vedere economic cu fibrele de sticlă /101/. De asemenea, intervin unele greutăți în ceea ce privește obținerea produselor armate, astfel încît procedeul nu s-a extins. Betoanele armate cu fibre continue se pot utiliza pentru: profile subțiri pentru planșee, plăci subțiri cu simplă și dublă curbură pentru diverse structuri, conducte, elemente c rezistență mare la foc.

La armarea betoanelor cu fibre din polimeri cele mai indicate sînt fibrele de polipropilenă și cele de poliesteri, întrucît au un modul de elasticitate mai ridicat. Cercetările efectuate /28/, /81/ asupra betoanelor armate cu fibre de polipropilenă arată că rezistențele acestora la acțiuni statice sînt mici, în schimb rezistențele la acțiuni dinamice sînt cu mult mai mari decît ale elementelor nearmate. Aceasta se datorește faptului că în condițiile solicitării la impact modulul de elasticitate al fibrelor de polipropilenă poate deveni dublu sau chiar triplu, atîngînd astfel valoarea modulului de elasticitate al betonului. Comportarea bună la șoc a făcut ca "West's Piling and Construction Co Ltd" să utilizeze betoanele cu polipropilenă, începînd din 1969, la construcția cămășilor pentru turnarea piloților. Pentru armarea betonului s-au utilizat și fibre de rășini poliamidice (nylon). Aceste fibre nu pot fi însă obținute decît ca monofilamente și au un cost mai ridicat ca cele din polipropilenă, ceea ce a făcut ca ele să nu aibă o mare dezvoltare.

Investigațiile efectuate în Anglia asupra betoanelor armate cu fibre vegetale nu au dat rezultate satisfăcătoare. Pentru armare s-a utilizat un procent de 5% (în masă) de fibre de sisal.

Cantitatea de apă a fost ridicată datorită absorbției fibrelor, impuritățile introduse cu fibrele au fost numeroase, astfel că nu au rezultat sporuri de rezistență /9/.

1.2. Stadiul actual al problemei betonului armat cu fibre de oțel

1.2.1. Studii și cercetări pe plan mondial

Primele lucrări /35/, /75/ care atestă apariția betoanelor cu armare dispersă, publicate în SUA la începutul secolului, se referă la introducerea în masa betonului a unor cuie tăiate, respectiv a unor piese metalice de "formă întortochiată". Începând cu deceniul al șaselea al secolului nostru au început să fie întreprinse, în mai multe țări, cercetări sistematice și inten-se privind betoanele armate cu fibre. Aceste cercetări au debutat în domeniul betonului armat cu fibre de oțel prin studiul publicat în 1963, în SUA, de către Romualdi și Batson /84/. În literatura de specialitate se apreciază că acest studiu a asigurat bazele teoretice și tehnologice ale acestui nou material.

Caracteristicile mecanice îmbunătățite ale betonului armat cu fibre de oțel (rezistența la întindere prin încovoiere și despicare; rezistența la șoc; rezistența la oboseală; capacitatea de absorbție de energie; rezistența la uzură; rezistența la gelivitate) au făcut ca acest material să fie studiat în ultimele trei decenii într-o serie de țări. Conform datelor bibliografice, cele mai multe studii teoretice, cercetări experimentale și aplicații în acest domeniu au fost întreprinse în SUA, Anglia și Canada. Cercetări multiple au fost efectuate și în Belgia, URSS, Danemarca și Noua Zeelandă. Investigații mai puține, dar de o importanță deosebită, privind betonul cu fibre de oțel s-au făcut în RFG, Japonia, Ungaria, Italia, India și Tailanda.

Importanța acordată betoanelor armate cu fibre a determinat înființarea în SUA, în anul 1966, a comitetului "ACI Committee 544" pentru a corela cercetările în domeniul betoanelor armate cu fibre și a întocmi un raport al situației acestora. Atenția acordată acestor betoane a crescut și mai mult în ultimii zece ani, astfel că în această perioadă au apărut numeroase articole, au fost publicate norme și instrucțiuni tehnice, s-au ținut trei conferințe internaționale: octombrie 1973 - Ottawa, septembrie 1975 - Londra și aprilie 1978 - Sheffield - Anglia.

Mulți cercetători din domeniul betonului armat cu fibre de oțel au fost preocupați de aspectele teoretice pe care le ridică acest material nou. Studiile teoretice întreprinse se referă în principal la comportarea sub acțiunea încărcărilor, capacitatea portantă și factorii care le influențează. Pornind de la acestea s-au studiat diferite aspecte teoretice:

- Mecanismul armării și comportarea betonului armat cu fibre de oțel /66/, /92/;

- Intervalul dintre fibre /55/, /72/, /92/, /96/;

- Dispersia fibrelor și fenomenul de segregare /91/, /96/;

- Aderența fibre-matrice /92/;

- Lungimea critică a fibrei /66/, /92/;

- Evaluarea rezistenței la încovoiere /9/, /71/, /92/;

- Eforturile și deformațiile la fisurare și la rupere ale betonului armat cu fibre de oțel /66/, /96/;

- Influența parametrilor fibrei (procent de armare, raportul aspectului, forma secțiunii) asupra proprietăților betonului /48/, /55/, /60/;

- Eficiența fibrelor orientate întâmplător și eficiența orientării fibrelor /72/, /92/, /96/;

Referirile care se fac asupra tehnologiei betonului cu fibre de oțel includ materialele componente (betonul de ciment și fibrele), prepararea betonului și punerea lui în operă. Betonul de ciment frecvent utilizat a constat dintr-un beton greu obișnuit, preparat cu un ciment portland cu și fără adaosuri, agregate naturale grele și apă. Există însă cercetători care au utilizat un beton cu agregate ușoare și un ciment cu rezistențe inițiale mari /42/ sau care au înlocuit o parte din masa cimentului cu cenușă de termocentrală /95/. Alții au înglobat fibrele de oțel numai în pasta de ciment /60/. Pentru îmbunătățirea lucrabilității betonului s-au folosit aditivi /42/, /95/. Pe baza datelor bibliografice rezultă că cele mai multe cercetări experimentale s-au făcut cu fibre de oțel de calitate tare, cu secțiune circulară, drepte și netede. În vederea îmbunătățirii aderenței s-a încercat utilizarea de fibre ondulate, amprentate, cu capete încîrligite sau îngroșate /30/, /33/, /47/, /91/, a unor fibre cu capete deformate legate în mănunchiuri prin lipire cu un adeziv solubil în apă /76/ sau chiar a unor fibre sub formă de "bucă închisă" /99/. În una din lucrări se menționează că s-a folosit un tip nou de fibre din oțel inoxidabil /42/.

În ceea ce privește prepararea betonului cu fibre de oțel în cercetările experimentale efectuate sînt prinse două aspecte mari și anume înglobarea fibrelor în beton și amestecarea betonului proaspăt. Pentru repartizarea cît mai uniformă a fibrelor în beton și evitarea aglomerării lor, unii cercetători au găsit favorabilă introducerea fibrelor înainte de introducerea apei /14/, /45/, /82/ iar alții introducerea fibrelor după introducerea parțială sau totală a apei /26/, /42/, /54/, /99/, /102/. Cercetările evidențiază că amestecarea betonului cu fibre de oțel se poate face cu utilajele de amestecare care se folosesc la betonul obișnuit /14/, fiind preferate utilajele cu amestecare forțată /26/, /30/, /54/, /82/, /102/. Se arată însă /12/ că funcție de tipul malaxorului utilizat sînt necesare încercări preliminare privind ordinea operațiilor de amestecare precum și duratele de malaxare. În laborator, la prepararea unor cantități mici de beton, este indicată o amestecare manuală. Aproape în toate cazurile punerea în operă a betonului s-a făcut prin vibrare. La unele aplicații s-a experimentat posibilitatea punerii în operă a betonului cu fibre de oțel prin centrifugare /23/, /24/, pompare /51/ sau torcretare /14/.

Tematica celor mai multe cercetări experimentale include caracteristicile betonului armat cu fibre de oțel. Unele dintre aceste cercetări investighează caracteristicile betonului proaspăt. Marea majoritate a cercetărilor sînt însă axate pe caracteristicile betonului întărit. Caracteristicile betonului proaspăt cercetate sînt: consistența /30/, /31/, /77/; lucrabilitatea /33/, /76/, /82/, /95/; tendința de segregare /82/; presiunea laterală dezvoltată pe cofraj /82/. Încercările experimentale privind caracteristicile betonului întărit se referă la aderența fibră-beton, rezistențele și deformațiile betonului și la comportarea betonului armat cu fibre de oțel.

Aderența fibră-beton este tratată extins în lucrările /31/, /47/, /61/, /65/.

Cei mai mulți cercetători au urmărit performanțele betonului armat cu fibre de oțel prin prisma rezistențelor mecanice îmbunătățite ale acestui nou material, fiind cercetate următoarele:

- rezistența la întindere prin încovoiere /24/, /30/, /31/, /33/, /48/, /54/, /60/, /74/, /90/, /92/, /96/, /103/;
- rezistența la întindere prin despicare /30/, /48/;

- rezistența la întindere directă /31/, /33/, /49/, /66/
- rezistența la compresiune /24/, /30/, /31/, /48/, /74/, /76/, /96/, /99/, /102/;
- rezistența la tăiere /103/;
- rezistența la șoc /33/, /48/, /54/, /76/, /96/;
- rezistența la uzură /12/, /31/;
- rezistența la îngheț-dezghet /31/.

Deformațiile betonului armat cu fibre de oțel constituie obiectul unui număr mai redus de cercetări. Unele lucrări prezintă date restrânse privind influența fibrelor asupra contracției /31/, /33/, /34/, /96/ și asupra curgerii lente /31/, /33/ ale acestui beton. Alte lucrări cuprind date privind deformațiile sub încărcări ale acestui material, fiind prezentate curbe caracteristice pentru diferite solicitări /49/, /96/ sau valori pentru modulul de elasticitate /33/, /100/, /102/ și coeficientul lui Poisson /102/.

Cu ocazia încercării diferitelor elemente experimentale și a urmăririi acestora în timp s-au efectuat o serie de observații privind comportarea betonului cu fibre de oțel. Există astfel unele date privind fisurarea și evoluția procesului de fisurare /42/, /54/, /96/, /100/, ruperea betonului cu fibre de oțel /42/, /96/ și foarte multe date privind ductilitatea acestui material, apreciată pe baza capacității de absorbție de energie /26/, /33/, /48/, /49/, /54/, /72/, /76/, /96/, /99/. Pornind de la ideea unei capacități sporite de absorbție de energie, mulți cercetători au încercat betonul cu fibre de oțel la șoseală, concluziile lor menționând o comportare deosebită la sarcini dinamice /30/, /31/, /74/, /76/, /91/, /96/. Pentru îmbunătățirea comportării la încovoiere sau la tăiere, unii cercetători au înglobat fibre de oțel în grinzi de beton armate convenționale /91/, /94/, /103/. Durabilitatea betonului cu fibre de oțel s-a studiat în lucrările /30/, /31/, /33/, /44/, /74/, /96/.

Pe baza cercetărilor privind tehnologia și caracteristicile fizico-mecanice ale betonului armat cu fibre de oțel au fost întreprinse în ultimul timp cercetări privind domeniile de aplicare ale acestui beton. Aplicarea noului material în industria construcțiilor datează din anul 1971, când în S.U.A. s-au realizat primele tronșoane experimentale în domeniul reparării și ranforsării îmbrăcămintelor rutiere rigide. În prezent, se desfășoară vaste programe de cercetări și se extinde tot mai mult folosirea betoanelor armate cu fibre de oțel, într-o serie de țări din toate continentele. Utilizările de până acum au permis clasificarea domeniilor de aplicare ale betonului

elementele prefabricate /59/, /98/.

1.2.2. Studii și cercetări în țară

Primele cercetări în domeniul betoanelor cu armare dispersă au fost întreprinse în România la Catedra de beton armat și clădiri a Institutului politehnic "Traian Vuia" din Timișoara. Studiile și cercetările privind betonul armat cu fibre de oțel au început în anul 1972 la inițiativa prof.em.ing.C-tin Avram, M.C. al Academiei R.S.R.

La baza cercetărilor efectuate stau în general o serie de contracte cuprinse în planurile de cercetare ale catedrei din ultimii ani. Astfel betonul armat cu fibre de oțel a constituit obiectul unui contract în 4 faze încheiat cu M.C.Ind., a 4 contracte încheiate cu D.D.P.Timișoara și al unui contract încheiat cu ICCPDC-Filiala Cluj-Napoca.

Studiile și cercetările efectuate la Timișoara se referă în principal la tehnologia, teoria și proprietățile fizico-mecanice ale betonului armat cu fibre de oțel. Totodată au fost experimentate și aplicații ale acestui material la dale prefabricate pentru pavaje și la repararea sistemelor rutiere rigide. Prezentarea extinsă a rezultatelor obținute este făcută în prezenta lucrare de doctorat. Multe din rezultatele cercetărilor au fost introduse și în cartea "Noi tipuri de betoane speciale" /9/. În vederea utilizării pe plan național a noului material au fost elaborate normativele: "Indrumător pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" /7/ și "Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" /8/.

Cercetări în acest domeniu s-au mai efectuat la Institutul politehnic din Cluj-Napoca, Institutul politehnic din Iași principalele rezultate fiind comunicate la Conferința a VIII-a de Betoane de la Cluj-Napoca /27/.

1.3. Subiectul tezei de doctorat

Betonul, sub formă betonului simplu, armat sau pre-comprimat, constituie și va constitui pentru mult timp, cu puține excepții, principalul material de construcție, datorită marilor sale avantaje tehnice și economice. În studiul de prognoză /108/ se arată că "betonul a devenit un material de construcție indispensabil, care se utilizează în prezent într-un volum mai mare decât oricare alt material de construcție realizat de omul".

crărilor de beton, în volumul total al lucrărilor de construcții, a crescut continuu, depășind 20% din acest volum.

Mentținerea competitivității betonului ca principal material de construcție a condus la două căi de dezvoltare:

- îmbunătățirea performanțelor betonului greu (obișnuit), pentru domenii specifice de folosire;

- creșterea de noi tipuri de betoane, cu unele proprietăți fizico-mecanice sau chimice îmbunătățite.

Cea de a doua cale a dus la studierea și realizarea betoanelor ușoare, a betoanelor cu armare dispersă și a betoanelor cu polimeri.

Betoanele cu armare dispersă sînt materiale relativ noi (cu excepția asbecimentului) și se obțin prin înglobarea în masa betonului (a mortarului sau a pastei de ciment) a unei anumite cantități de fibre discontinue. Cea mai mare utilizare au căpătat-o pînă în prezent betoanele armate cu fibre de oțel și betoanele armate cu fibre de sticlă.

Subiectul prezentei lucrări de doctorat îl constituie betonul armat cu fibre de oțel, material care a început să fie studiat pentru prima dată la noi în țară la Catedra de beton armat și clădiri a Institutului politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, cu începere din 1972.

Autorul a încercat să cu rindă în teză studiile teoretice și experimentale, privind acest nou material, existente pe plan mondial și prezintă studiile și cercetările teoretice și experimentale proprii efectuate în acest domeniu din anul 1973 și pînă în prezent.

Capitolul 1 cuprinde un istoric al betoanelor cu armare dispersă, alături de dezvoltarea acestora fiind prezentate și principalele tipuri de betoane armate cu fibre. În esența sînt arătate, foarte succint, studiile și cercetările efectuate în acest domeniu pe plan mondial și în țară în vederea precizării stadiului actual al problemei betonului armat cu fibre de oțel.

În capitolele 2, 3, 4 și 5 sînt date principalele studii teoretice și cercetări experimentale, efectuate pe plan mondial în domeniul betonului armat cu fibre de oțel. Sînt prezentate, astfel, rezultatele și concluziile diversilor cercetători privind tehnologia (capit.2), teoria (capit.3), caracteristicile fizico-mecanice (capit.4) și domeniile de folosire (capit.5) ale betonului armat cu fibre de oțel.

Studiile și cercetările experimentale ale autorului privind betonul armat cu fibre de oțel sînt incluse în capitolele 6 și 7. În capitolul 6 se arată condițiile de realizare a cercetărilor și se prezintă, comparativ cu cercetările existente pe plan mondial, rezultatele cercetărilor referitoare la tehnologia și proprietățile betonului obișnuit armat cu fibre de oțel și ale cercetărilor efectuate pe beton de granulat armat cu fibre de oțel. Acest capitol include, de asemenea, câteva contribuții originale la teoria acestui nou material. Capitolul 7 pune în evidență modul de valorificare al cercetărilor între sine. În acest scop sînt prezentate condițiile de realizare și rezultatele a două aplicații efectuate în județul Iași, la care s-a utilizat betonul armat cu fibre de oțel precum și următoarele: "Instrucțiuni pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" și "Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" - indicativ C.201-80", elaborate în vederea cunoașterii performanțelor și aplicării pe scară largă a acestui material la noi în țară.

Capitolul 8 cuprinde concluziile desprinse pe baza cercetărilor efectuate pe plan mondial și de autor, care atestă posibilitatea aplicării cu succes a betonului armat cu fibre de oțel într-o serie de domenii în care caracteristicile sale îmbunătățite îl fac competitiv.

2. TEHNOLOGIA BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OȚEL

2.1. Materiale componente

Compozenții de bază ai betoanelor armate cu fibre de oțel sînt betonul de ciment și fibrele de oțel. Intrucît în literatura de specialitate sistemul ciment-apă sau ciment-apă-nisip fin este denumit matrice, de multe ori referirile la compoziția unui beton cu fibre includ matricea de ciment, agregatele și fibrele.

Cei doi compozenți de bază ai unui beton cu fibre de oțel se observă în fig.2.1, în care este prezentată o suprafață de rupere prin acest material.

2.1.1. Betonul de ciment

În majoritatea cercetărilor privind betonul armat cu fibre de oțel, fibrele au fost înglobate într-un beton greu



Fig.2.1. Suprafață de rupere prin beton armat cu fibre de oțel.

obișnuit, preparat cu un ciment portland cu și fără adaosuri, agregate naturale grele și apă.

Procedeeul indicat /12/ pentru calculul compoziției betonului în care urmează să fie introduse fibre de oțel este similar cu cel de la betonul obișnuit. Trebuie acordată însă o atenție deosebită la alegerea agregatelor și anume:

- partea fină de agregat, care conduce la o lucrabilitate mai bună și la creșterea aderenței mortarului față de fibre, trebuie să reprezinte cel puțin 50% din agregatul total;

- dimensiunea maximă a agregatelor nu va depăși 10 mm. Este absolut necesar să se țină seama de aceste recomandări întrucât segregarea și aglomerarea de fibre este influențată, în afară de parametrii fibrelor, și de cantitatea de fracțiune mare din agregat. S-a stabilit că procentul maxim de fibre scade proporțional cu creșterea cantității de fracțiune mare (pietriș) /96/. Astfel, pentru 10% pietriș din volumul betonului, procentul maxim de fibre, în volume, este de aproximativ 2%, iar la 30% volume pietriș în beton, volumul maxim de fibre este de 1,4%. Sporirea cantității de agregat mare duce însă și la scăderea efectului de sporire a rezistenței la întindere și încovoiere pe care îl au fibrele. Pe de altă parte, creșterea dimensiunii maxime a agregatului de la 10 mm la 20 mm, cât și înrăutățirea formei și mărirea rugozității suprafeței, conduc la scăderea rezistențelor la încovoiere cu aproximativ 25%

1971.

Pentru îmbunătățirea lucrabilității betonului, în special în aplicațiile din domeniul drumurilor s-au utilizat aditivi plastifianți sau antrenori de aer.

Definitivarea compoziției betonului se face după încercarea unor epruvete de probă, cărora li se determină caracteristicile fizico-mecanice care interesează. În cazul în care aceste caracteristici sînt inferioare sau depășesc pe cele propuse a se realiza, se vor face corecții corespunzătoare ale dozajelor de materiale componente și se vor confecționa noi epruvete de probă.

Datele mai multor cercetători au permis Comitetului ACI-544 să stabilească limitele dozajelor materialelor componente pentru un beton normal, armat cu fibre de oțel. Aceste limite, în conformitate cu Raportul Comitetului ACI-544 /12/, sînt prezentate în tab.2.1.

Tabelul 2.1

Limitele dozajelor de materiale componente ale betoanelor cu fibre de oțel

Materiale componente	Unit. măsur.	Rețeta	
		normală	cu cenușă
Ciment	Kg/m ³	325 - 600	290
Cenușă zburătoare de termocentrală	Kg/m ³	—	135
Raport A/C	—	0,4 - 0,6	0,54
Agregate	Dimens. max. mm	10	10
	Procent de parte fină	%	50 - 100
Conținutul de aer	%	6 - 9	—
Procent de armare volum	%	0,5 - 2,5	1,5

Unii cercetători au înlocuit o parte din masa cimentului cu cenușă zburătoare de termocentrală. În tab.2.1 este dată și rețeta unui astfel de beton. S-a constatat că prin utilizarea cenușii de termocentrală se îmbunătățește lucrabilitatea betonului, fără ca rezistențele la încovoiere sau la compresiune să fie modificate. În același timp, s-a constatat că adaosul de cenușă reduce sensibil deformațiile din contracție. Determinările experimentale din lucrarea /95/ arată că adaosul optim de cenușă de termocentrală este de 30%, în masă, din cantitatea de ciment, adică mai puțin decât în tab.2.1.

Epuizarea rapidă a surselor de agregate naturale, cuplată cu necesitatea refolosirii deșeurilor, a determinat pe unii

Tabelul 2.2.

Compoziții de betoane cu fibre de oțel, realizate cu cenușă de termocentrală

Materiale componente	Compoziție masică		
	Rețeta 1	Rețeta 2	Rețeta 3
Ciment cu priză și întărire rapidă (RSC)	28,5%	27,8%	26,6%
„Free lite” * $\phi_{max.} = 4mm$	46,1%	45%	42,9%
	$\phi_{max.} = 5mm$	6%	5,9%
Cenușă zburătoare de termocentr.	7,3%	7,1%	6,8%
Apă **	9,7%	9,5%	9%
Fibre de oțel	2,4%	4,7%	9%

* Agregat ușor din cenușă zburătoare de termocentrală
 ** În apă s-a introdus „Pozzolith 300 N” (adaos de reducere a apei), Derez (agent antrenor de aer) și un întăritor pentru ciment.

cercetători /42/ să experimenteze un beton ușor cu fibre de oțel

realizat cu un ciment cu priză și întărire rapidă și agregate din cenășă aburătoare de termocentrală. Compoziția acestui beton este dată în tabelul 2.2.

La betoanele preparate cu cenășă de termocentrală pentru îmbunătățirea lucrabilității s-au utilizat adăosuri plastifiante sau antrenori de aer /42/, /95/.

Pentru verificarea estimărilor teoretice unui cercetător /66/ au utilizat un ciment armat cu fibre de oțel. Raportul A/C a fost de 0,3 iar procentul de armare volumetric de 2 până la 5%.

Experiența dobândită de către cercetătorii americani, în utilizarea betonului armat cu fibre de oțel în domeniul înbrășăminților rutiere rigide este ilustrată și de diagrama de stabilire a compoziției unui beton cu fibre de oțel, din fig.2.2., care a fost prezentată în 1979 la al XVI-lea Congres internațional de drumuri de la Viena. Diagrama este valabilă pentru fibre de ^{plate} 0,25 x 0,56 x 25,4 mm și pentru un agregat a cărui dimensiune maximă este de 9,5 mm /101/. Pe baza acestei diagrame se poate deduce dozajul de ciment (C_f) al betonului armat cu fibre de oțel și raportul $N/N+P$ al agregatului (valabil atât pentru betonul simplu cit și pentru cel armat cu fibre), pornind de la un beton simplu la care se cunoaște raportul A/C și dozajul de ciment (C) și de la un procent de armare volumetric (p) impus; se menționează că raportul A/C rămâne constant pentru betonul simplu și betonul cu fibre. În exemplul prezentat pe figură s-a pornit de la valorile: $A/C = 0,45$, $C = 445 \text{ kg/m}^3$, $p = 2 \%$, rezultând: $N/N+P = 0,89$ și $C_f = 520 \text{ kg/m}^3$; sensul de parcurgere al graficului este 1-2-2'-3-4.

2.1.2. Fibrele de oțel

Considerente de cost, rigiditate și resurse arată /107/ că pentru producerea fibrelor de oțel sînt convenabile doar oțelurile cu rezistențe mari la întindere și oțelurile inoxidabile. Caracteristicile fibrelor obținute din astfel de oțeluri sînt prezentate în tabelul 1.1.

Fibrele utilizate în creșterea betonului cu fibre de oțel se pot grupa în: rotunde, plate și de formă specială. O clasificare a fibrelor de oțel din punct de vedere al formei este prezentată în tab.2.3.

1 Dozajul de ciment (beton simplu)

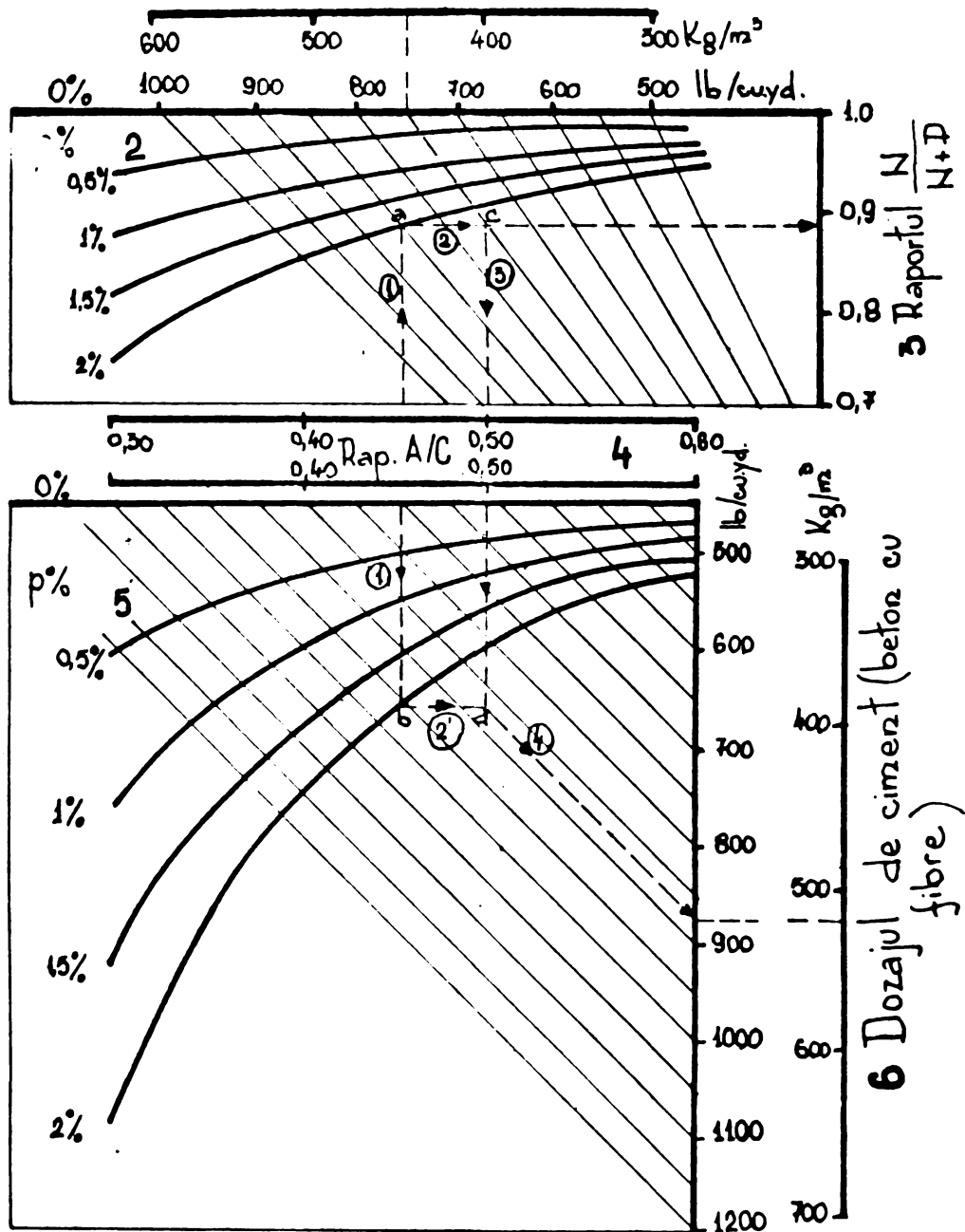

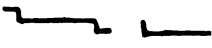



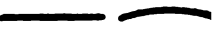

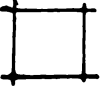


Fig.2.2. Grafic pentru stabilirea compoziției unui beton armat cu fibre. Acest grafic a fost întocmit de "Portland Cement Association", SUA, pentru fibre de oțel de $0,25 \times 0,56 \times 25,4$ mm și pentru un agregat cu $D_{max} = 9,5$ mm.

1. Dozajul de ciment (beton simplu);
- 2 și 5 - Procentul volumetric de armare cu fibre (p);
- 3 - Raportul $N/(N + P)$;
- 4 - Raportul A/C;
- 6 - Dozajul de ciment (beton armat cu fibre).

Fibre de oțel		Secțiunea	Traseul	Configurația
ROTUNDE	netede	circulară	drept	
			drept cu ciocuri	
			ondulat	
	amprentate (dubform)	circulară cu amprente	drept	
PLATE	netede	dreptunghiulară	drept	
SPECIALE	"wirand" (brevet, Battelle)	variabilă	drept sau ușor curbat	
	legate în mănușchiori	circulară	drept cu capete deformate	
	închise	circulară	închis	

Pe baza datelor bibliografice rezultă că cele mai multe cercetări experimentale s-au făcut cu fibre de oțel rotunde de calitate tare, avînd secțiuni circulară, traseu drept și suprafață netedă. Aceste fibre se obțin prin tăierea sîrmelor de oțel. Pentru a se mări productivitatea la tăiere sîrmele se grupează în fascicule care sînt tăiate cu cuțite ghilotină sau cu alte sisteme.

Metodele de obținere a sîrmei de oțel cu conținut mic de carbon, cu conținut ridicat de carbon și a sîrmei de oțel inoxidabil se aseamănă foarte mult [107]. Oțelul este supus unui proces în care secțiunea este redusă de la un diametru de 750 mm la un diametru de 6 mm. După această fază devin avantajoase metodele de prelucrare la rece, întrucît este greu să se controleze un diametru mai mic de 6 mm cînd materialul este fierbinte și viteza de lucru ridicată. Dacă se reduce diametrul prin tragere la rece oțelul se călește și devine necesară tratarea lui termică pentru a permite o tragere la un diametru mai mic. Succesiunea tragerii și a tratamentului termic continuă pînă se atinge diametrul dorit.

Pentru a îmbunătăți aderența dintre fibrele de oțel

netede rotunde și matrice s-au experimentat fibre prevăzute la capete cu ciocuri /30/, fibre ondulate /30/, /33/ sau fibre ampren-tate ("duoform") /33/.

Fibrele de oțel de formă plată rezultă prin tăierea unor benzi subțiri sau prin turtirea sîrmelor rotunde /2/.

Necesitatea reducerii prețului de cost al fibrelor de oțel a determinat firma "Battelle Development Corporation" din SUA să înregistreze un brevet, prin care fibrele de oțel "wirand", de forma unor batoane cu secțiune variabilă și axa dreaptă sau ușor curbată, se obțin cu ajutorul unei instalații speciale, direct din topitură. Din baia de metal topit, mantaua unui disc în rotație, avînd lăcașe speciale, împroșcă metalul și îl aruncă într-un bazin de răcire, rezultînd fibre de forma descrisă anterior. Se elimină astfel laminarea sîrmelor și operațiile de tăiere a acestora, re-ducîndu-se prețul de cost.

În vederea realizării unei distribuții cît mai unifor-me a fibrelor și pentru a îmbunătăți lucrabilitatea amestecului s-a încercat /76/ utilizarea unor fibre legate în mănunchiuri prin lipire cu un adeziv solubil în apă, avînd capetele deformate.

Unii autori /99/ au utilizat pentru armarea betonului fibre cu traseu închis urmărind o ancorare mecanică suplimentară față de aderența obișnuită a fibrelor la matrice.

În una din lucrări se menționează și folosirea unor fibre de oțel inoxidabil /42/.

Secțiunea fibrelor de oțel are următoarele limite uzuale /12/:

- fibrele de oțel rotunde: 0,20 - 0,80 mm diametru;
- fibrele de oțel plate: 0,15- 0,40 mm grosime și 0,25 - 0,90 mm lățime.

Lungimea fibrelor se alege astfel încît raportul geo-metric (aspectul) - lungime/diametru - să fie cuprins între 30 și 200 (recomandabil în jur de 100); rezultă că fibrele au lungimi cuprinse între 5 și 50 mm. Lungimea fibrelor trebuie, pentru o ușoară punere în operă, corelată cu dimensiunea minimă a elementu-lui; raportul lungimea fibrei/dimensiunea minimă a elementului de beton trebuie să fie cuprins între 0,4 și 0,6.

Din analiza cercetărilor experimentale care au dat rezultate satisfăcătoare rezultă că la armarea betonului se poate utiliza un procent de armare volumetric (p) cuprins între 0,5% și 2,5%.

Raportul Comitetului 544 al ACI /12/ limitează conținutul de fibre de oțel la un procent volumetric de maximum 2% și raportul geometric l/d la maximum 100, pentru a se evita segregarea și legarea fibrelor în ghemuri.

2.2. Prepararea betonului armat cu fibre de oțel

Cercetările experimentale care dau informații referitoare la prepararea betonului cu fibre de oțel evidențiază două aspecte legate de această problemă și anume:

- introducerea fibrelor în amestec;
- amestecarea betonului proaspăt.

Pentru atingerea performanțelor maxime ale acestui material, trebuie obținută o dispersie uniformă a fibrelor în masa betonului și prevenită segregarea sau aglomerarea fibrelor în timpul amestecării.

În vederea satisfacerii cerințelor amintite unii cercetători au găsit potrivită introducerea fibrelor în amestecul uscat /14/, /45/, /82/, iar alții introducerea fibrelor în amestecul umed /26/, /42/, /54/, /99/, /102/.

Segregarea sau aglomerarea fibrelor depinde de o serie de factori, dintre care cel mai important îl reprezintă raportul geometric l/d (lungimea fibrei/diametrul fibrei). Alți factori care influențează distribuția fibrelor sînt procentul volumetric fibre (p), compoziția granulometrică a agregatelor, raportul A/C și metoda de amestecare.

Creșterea raportului l/d , a procentului p și a sizerurilor grosiere a agregatului mărește tendința de aglomerare a fibrelor. Din acest motiv Raportul Comitetului 544 al ACI /12/ recomandă limitarea raportului l/d la maximum 100, a procentului p la maximum 2% și a dimensiunii maxime a agregatelor la 10 mm.

Pentru a asigura o distribuție uniformă a fibrelor în beton, un rol important îl are plasticitatea amestecului. Cercetările experimentale evidențiază că un raport A/C de 0,4 ... 0,6 și un dozaj de ciment de 250...430 kg/m³ asigură un conținut adecvat de pastă de ciment pentru a îmbrăca suprafața laterală a fibrelor.

Amestecarea betonului cu fibre de oțel se poate face cu aceleași utilaje ca și la betonul obișnuit, acestea reușind să realizeze dispersia uniformă a fibrelor în masa betonului dacă sînt

respectate condițiile menționate anterior /12/, /14/. În fig. 2.3...
.. 2.5 sînt prezentate cîteva din aceste utilaje. Conform datelor



Fig.2.3. Introducerea fibrelor într-un
malaxor cu cădere liberă.



Fig.2.4. Introducerea fibrelor prin inter-
mediul unei benzi transportoare

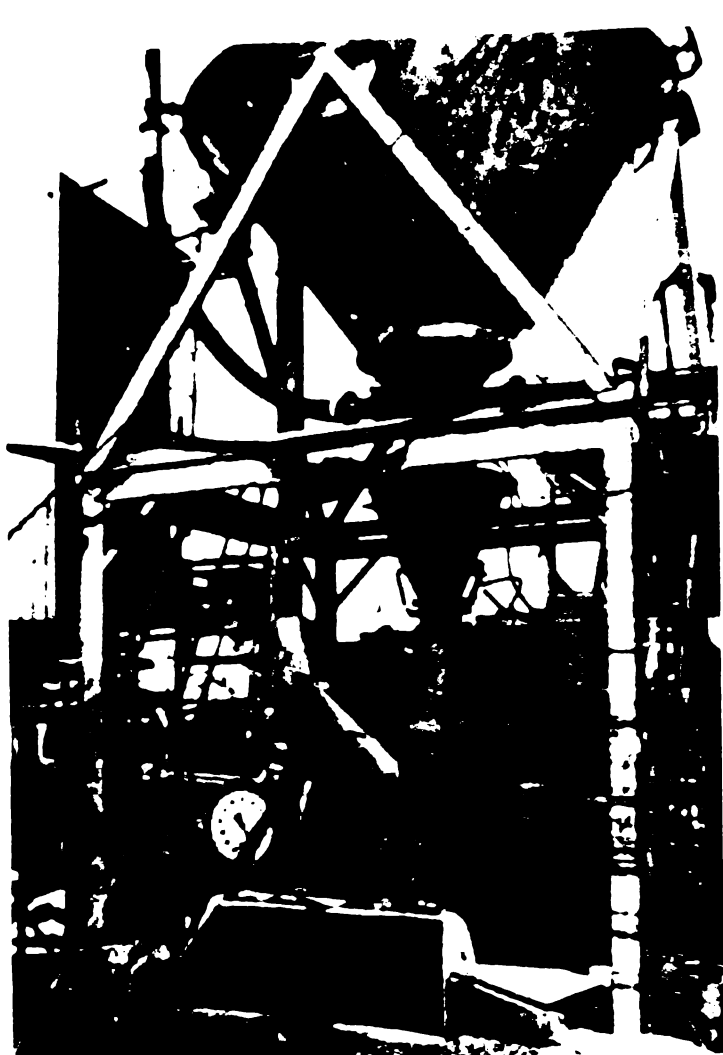


Fig.2.5. Betonieră cu rotire inversă

bibliografice rezultă că sînt preferate utilajele cu amestecare forțată /26/, /30/, /54/, /82/, /102/. În laborator, la prepararea unor cantități mici de beton, este indicată o amestecare manuală /12/.

La asigurarea unei împrăștieri uniforme a fibrelor în masa betonului un rol important îl are succesiunea operațiilor de amestecare. De aceea este necesar ca pentru fiecare utilaj să se facă încercări preliminare privind ordinea și durata operațiilor de amestecare. Raportul Comitetului 544 al ACI /12/ prezintă, în ordine preferențială, următoarele posibilități de amestecare ale componentelor unui beton cu fibre de oțel:

a) Amestecarea, pe banda unui conveyer sau pe un jgheab, a fibrelor cu agregatele, înainte de introducerea lor în malaxor (betonieră). Amestecarea, în continuare, se face ca și la betonul obișnuit.

b) Amestecarea sorturilor de agregat în malaxor, după care se adaugă fibrele în timp ce malaxorul merge la viteză normală. Se adaugă apoi cimentul și apa simultan, sau cimentul întâi, iar după aceea apa și aditivii.

c) Se amestecă, în primul rînd, agregatele și o parte

din apă, după care se adaugă fibrele și apoi cimentul și restul de apă.

d) Se pune întreaga cantitate de apă în malaxor, după care se adaugă toate materialele uscate (agregate, ciment, fibre).

Este esențial ca metoda de introducere a fibrelor în amestec să fie încercată anterior. Până în prezent se cunoaște metoda de păstrare a fibrelor în cutii cu o capacitate de cca 25 kg. Se recomandă ca din aceste cutii fibrele să fie introduse direct în malaxor, prin intermediul unor ciururi sau planuri înclinate vibrante, sau pe o bandă transportoare cu mișcare lentă care alimentează malaxorul. Ciururile au rolul de a desface fibrele legate în ghemuri sau de a împiedeca pătrunderea acestora în malaxor. Pentru un amestec mic în laborator este adecvată introducerea fibrelor prin cernere manuală.

2.3. Punerea în operă a betonului armat cu fibre de oțel

Experiența arată că mijloace de transport ca autobasculante, autobetoniere, tomberoane și bene se pot utiliza satisfăcător și în cazul betoanelor cu fibre de oțel /14/.

Se constată că la punerea în operă a betonului armat cu fibre de oțel se practică aceleași procedee ca și la betonul obișnuit. Compactarea trebuie să se facă mult mai atent, întrucât betonul cu fibre de oțel are o lucrabilitate scăzută. Vibrarea trebuie făcută energic, fără însă a conduce la segregarea materialelor componente. Pentru vibrare se utilizează mese vibrante, în cazul elementelor prefabricate, plăci vibrante pentru realizarea unor suprafețe subțiri continue și pervibratoare sau vibratoare de cofraj în cazul celorlalte elemente. Pentru orientarea fibrelor de oțel în direcții preferențiale se utilizează procedeul de folosire a unui câmp magnetic în timpul vibrării betonului proaspăt (fig.2.6) /80/.

Tendința aplicării betonului cu fibre de oțel în produse de beton prefabricate centrifugate a determinat pe unii autori /23/, /24/ să experimenteze posibilitatea punerii în operă a betonului cu fibre de oțel prin centrifugare. S-a dovedit că viteza de rotație are o influență semnificativă asupra distribuției și orientării fibrelor. Pentru un conținut de fibre volumetric mai mic de 1% s-a obținut o creștere a rezistenței la întindere din încovoiere cu 70 daN/cm^2 /23/. Recomandările rezultate asupra stabilirii amestecu-



Fig.2.6. Orientarea fibrelor, cu ajutorul unui câmp magnetic, într-un element din beton armat cu fibra de oțel.

lui și rotației sînt valabile pentru producerea stîlpilor de energie electrică.

Aplicarea betonului cu fibre la realizarea deversorului unui baraj (fig.2.7.) a necesitat punerea în operă a betonului cu fibre de oțel prin pompare /51/.



Fig.2.7. Punerea în operă prin pompare a betonului armat cu fibre de oțel.

Pompa a avut o bătaie de 120 mm și a fost acționată de un motor di de 160 CP. Furtunul pompei a avut o cursă orizontală de 9 m și se tea turna pînă la 37 m de la local emplasării pompei . Betonul a a o tasare de 4...8 cm. Dimensiunea maximă a agregatului a fost de 1 nm iar procentul de armare volumetric de cca 1.5%.

În lucrarea /14/ este menționată o aplicație a betonului cu fibre de oțel la consolidarea unei galerii de mină, realizată printr-o cămășuială de beton pus în operă prin torcretare. De asemenea se menționează că în afară de vibrare se pot aplica, cu bune rezultate, și alte metode de compactare, așa cum este turnarea pneumatică, presarea și presarea-vacuumarea.

S-a stabilit că turnarea în poziție verticală a elementelor reduce rezistența la încovoiere cu 30-35%, față de turnarea orizontală /95/.

Finisarea suprafețelor se face cu mistria și peria de sîrmă, urmărindu-se înlăturarea fibrelor care ies din suprafața finisată, întrucît acestea - prin coroziune - dau un aspect inestetic elementelor de beton, iar în cazul elementelor prefabricate rănesc pe muncitorii care le manipulează.

3. ASPECTE TEORETICE PRIVIND BETONUL ARMAT CU FIBRE DE OTEL

3.1. Considerații privind armarea cu fibre

Cercetările efectuate pînă în prezent asupra betonelor cu fibre, demonstrează că armarea cu fibre îmbunătățește rezistențele și proprietățile de deformare ale betonului de ciment.

Fibrele folosite pentru armarea betonului pot fi grupate, în funcție de aportul lor la îmbunătățirea caracteristicilor betonului, în două categorii principale:

- Fibre din materiale cu modul de elasticitate redus și deformații mari, ca nylonul, polipropilena și polietilena. Aceste fibre sînt capabile să absoarbă o mare cantitate de energie, fără a conduce la creșterea rezistențelor betonului. Ele contribuie însă la sporirea ductilității și a rezistențelor la încărcări de impact și explozii.

- Fibre din materiale cu rezistențe și moduli de elasticitate mari, ca oțelul, sticla, azbestul și carbonul. Aceste fibre conferă betonului în primul rînd caracteristici de rezistență și rigiditate mărite și în al doilea rînd proprietăți dinamice cu mult îmbunătățite.

Principiul armării este bazat pe aderența dintre fibre și beton, ceea ce permite transferul unei părți însemnate de efort de la beton la fibre. Acest transfer se produce în urma defor-

mării betonului sub acțiunea încărcărilor sau din contracție.

În practica curentă a betonului cu fibre sînt folosite fibre scurte discontinue, orientate întîmplător. Legătura fibră-beton este deci neregulată și discontinuă. Proprietățile și modul de fisurare și rupere al betonului cu fibre sînt influențate în primul rînd de caracteristicile geometrice și raportul l/d (lungime/diametru) al fibrelor, precum și de procentul de armare volumetric, orientarea fibrelor și tehnologia de obținere a betonului cu fibre.

Rolul fibrelor în betonul cu fibre este esențial. Fibrele intersectate de fisuri acționează, datorită eforturilor de aderență care apar, ca niște pîrghii transversale care tind să închidă fisurile, fiind astfel denumite "opritori ai fisurării". Din acest motiv procesul fisurării se desfășoară lent, fisurile sînt de deschideri mici, ceea ce conduce în final la creșterea rezistenței de rupere a betonului armat cu fibre, față de betonul simplu.

Comportarea betonului cu fibre este influențată, cum este și firesc, și de betonul în care sînt încorporate fibrele. Diferența fundamentală dintre betonul de ciment armat cu fibre și celelalte materiale armate cu fibre este aceea că rezistența de rupere a betonului simplu reprezintă numai o parte din rezistența de cedare a compusului armat.

Modul în care fibrele contribuie la creșterea rezistenței la apariția primei fisuri și a rezistenței de rupere constituie problema teoretică esențială a betonului armat cu fibre, care a condus la o serie de studii teoretice în acest sens.

În cele ce urmează sînt prezentate cîteva aspecte teoretice ale betonului cu fibre de oțel, considerate principale datorită frecvenței mai mari cu care apar în literatura de specialitate.

3.2. Comportarea sub acțiunea încărcărilor

Un rol deosebit în aprecierea comportării și a capacității portante a elementelor din beton armat cu fibre îl are legătura dintre efortul unitar și deformația specifică. Din acest motiv stabilirea diagramelor $\sigma - \epsilon$, pentru solicitările caracteristice domeniilor de aplicare ale betonului cu fibre, constituie obiectul studiilor mai multor cercetători. Diagramele $\sigma - \epsilon$, prezentate de Comitetul Tehnic RILEM 19 - FRC /81/ sînt redată în continuare.

Diagrama σ - ϵ pentru întindere centrică este prezentată în fig.3.1. Așa cum se observă datorită fibrelor această diagramă este sensibil modificată față de cea corespunzătoare betonului simplu.

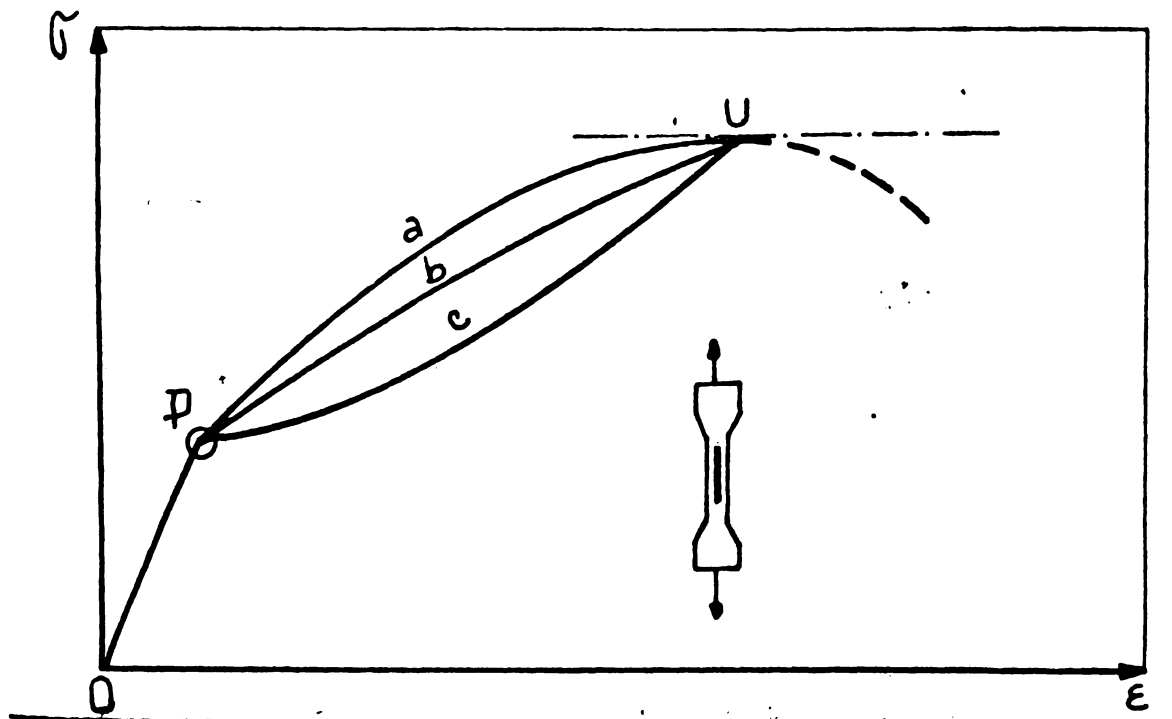


Fig.3.1. Diagrama σ - ϵ pentru solicitarea de întindere centrică

Din diagramă se pot identifica următoarele trei stadii de lucru:

- stadiul 1 elastic, corespunzător variației O - P, panta diagramei fiind practic egală cu modulul de elasticitate al betonului simplu;
- stadiul 2, corespunzător variației P - U, caracterizat printr-o relație neliniară σ - ϵ și o pantă mult mai mică;
- stadiul 3, postcritic, reprezentat de curba descendență a diagramei, mai dificil de reprezentat, depinzând de procentul de armare, raportul geometric și orientarea fibrelor cât și de tipul mașinii de încercat.

Poziția punctului P, care limitează stadiul elastic, corespunde în cele mai multe cazuri deformației specifice limită a betonului simplu, sau unor valori ceva mai mari, pentru situații nu prea numeroase. Aceste situații se referă la elementele armate păstrate în atmosferă uscată, la care fibrele reduc efectul contracției, astfel că deformația lor specifică limită atinge valorile corespunzătoare elementelor nearmate cu fibre. dar păstrate în atmosferă uscată.

dă (la care efectul contracției este nul).

Poziția punctului U, dintre stadiile 2 și 3, corespunde valorii maxime a efortului unitar. La o conlucrare favorabilă între fibre și beton, deformația corespunzătoare punctului U poate să fie cu 30% mai mare decât deformația specifică limită a betonului simplu. Conlucrarea dintre fibre și beton influențează alura diagramei σ - ϵ între punctele P și U. Forma a din figura 3.1 corespunde unei bune aderențe între fibre și beton, în elementul armat dezvoltându-se fisuri numeroase repartizate aproape uniform; forma c corespunde unei aderențe slabe între fibre și matrice, în elementul armat producându-se o singură fisură, corespunzătoare punctului P, care se deschide la creșterea eforturilor; forma b corespunde unor situații intermediare de conlucrare fibre-beton, variația fiind aproape liniară, fisurile apărute după atingerea punctului P deschizându-se tot mai mult odată cu creșterea efortului unitar.

Este evident că fisurile numeroase și fine conferă elementelor o durabilitate mai mare, în timp ce fisurile de deschidere mare duc la apariția și continuarea procesului de coroziune a fibrelor, la înrăutățirea comportării la îngheț-dezghet și alte efecte defavorabile.

În majoritatea cercetărilor efectuate cu fibre de oțel ruperea s-a produs prin smulgerea fibrelor, rareori prin ruperea lor. Ruperea prin smulgere se datorește forței de aderență reduse între fibre și matrice; partea descendentă a curbei σ - ϵ există în acest caz și poate fi pusă în evidență prin încercări. În al doilea caz deformația limită a betonului cu fibre coincide cu cea a fibrelor, porțiunea descendentă a diagramei σ - ϵ neputând fi pusă în evidență, datorită ruperii bruște a fibrelor.

Diagrama σ - ϵ pentru încovoiere este prezentată în fig. 3.2. Se constată și pentru această solicitare cele 3 stadii, comportarea zonei întinse fiind, însă, diferită față de comportarea zonei comprimate. Limita domeniului elastic, P, se evidențiază mai ușor față de cazul solicitării la întindere centrică. Pentru stadiul elastic diagrama σ - ϵ se caracterizează printr-o singură curbă; materialul este nefisurat, axa neutră trecând prin centrul de greutate al secțiunii. La depășirea stadiului elastic cele două curbe se separă, deformația specifică din zona întinsă crescând mai rapid decât cea din zona comprimată, ceea ce înseamnă că axa neutră se deplasează spre fibra cea mai comprimată.

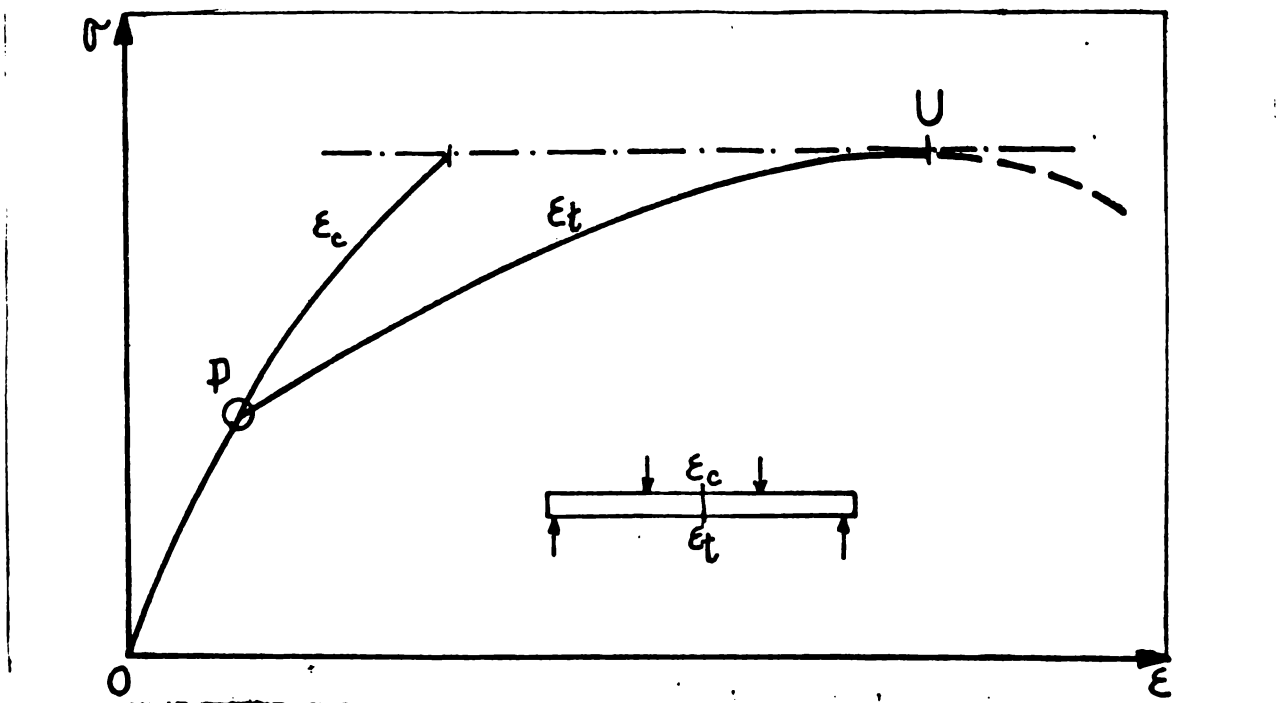


Fig. 3.2. Diagrama σ - ϵ pentru solicitarea de încovoiere

La valoarea limită a efortului unitar deformația specifică din zona întinsă este de două sau de trei ori mai mare decât cea din zona comprimată. Se constată că pentru zona întinsă a elementului încovoiat diagrama σ - ϵ este, în principiu, identică cu cea obținută la încercarea de întindere centrică, rezistența la întindere din încovoiere fiind însă mai mare decât rezistența la întindere centrică.

Natural că fibrele influențează proprietățile elastice ale betoanelor cu fibre. Această influență poate fi pusă în evidență prin următoarea relație /12/:

$$E_b^f = E_f \cdot v_f + E_b \cdot v_b = E_f \cdot \mu + E_b (1 - \mu) \quad (3.1)$$

în care:

E_b^f, E_f și E_b sînt moduli de elasticitate pentru betonul cu fibre, pentru fibre și pentru betonul simplu (matrice)

v_b, v_f - fracțiunea de volum de beton și respectiv de fibre;

μ - coeficientul volumetric de armare

Relația de mai sus este valabilă pentru betoane armate cu fibre continue, pentru o comportare elastică a componentilor și lipsa alunecării dintre fibre și beton. La betoanele cu fibre scurte discontinue se pot produce microfisurări, chiar înainte de a se fi atins limita de proporționalitate, astfel încît relația de mai sus devine aproximativă în acest caz: modulul de elasticitate real are va-

lori mai mici decît cel rezultat din relația (3.1).

3.3. Capacitatea portantă

Aprecierea capacității portante a betonului armat cu bre a preocupat pe majoritatea cercetătorilor din acest domeniu. Ce mai multe studii teoretice se referă la evaluarea rezistenței la îndere în stadiul de apariție a primei fisuri cît și în stadiul limit. Relații importante în acest sens și comentarea lor sînt prezentate în continuare.

La elementele din beton armat cu fibre de oțel ruper se produce, în general, în urma distrugerii aderenței de la interfa fibră-beton. Prima fisură apare cînd deformația elementului din beton cu fibre depășește deformația de fisurare a matricei. În fig. 3. se prezintă sub aspect calitativ, diagrama încărcare-săgeată înregistrată automat a unui element din beton armat cu fibre de oțel, supu la încovoiere /92/.

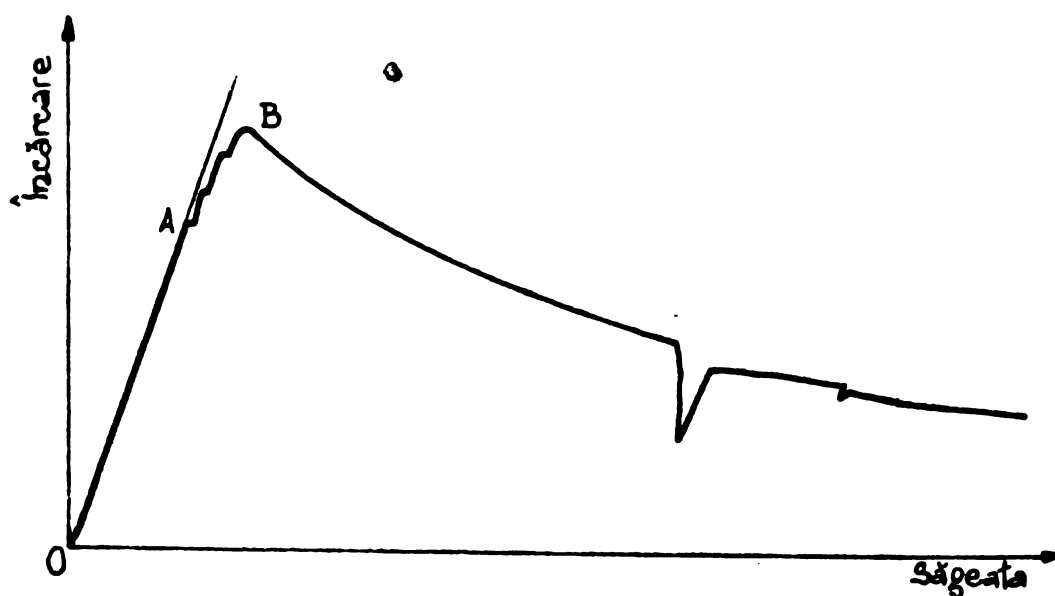


Fig.3.3. Diagrama caracteristică încărcare-săgeată la încovoiere pentru un element din beton cu fibre de oțel.

La încărcări care depășesc încărcarea de fisurare fibrele acționează ca opritori ai procesului de fisurare, similar cu agregatul mare din betonul simplu, condiționînd o propagare lentă a fisurii pe măsura distrugerii aderenței dintre fibre și beton (fig. 3.4) În apropierea încărcării de rupere are loc o accelerare a propagării fisurii în timp ce aderența fibră-matrice se distruge complet, rupe rea producîndu-se prin smulgerea fibrelor.

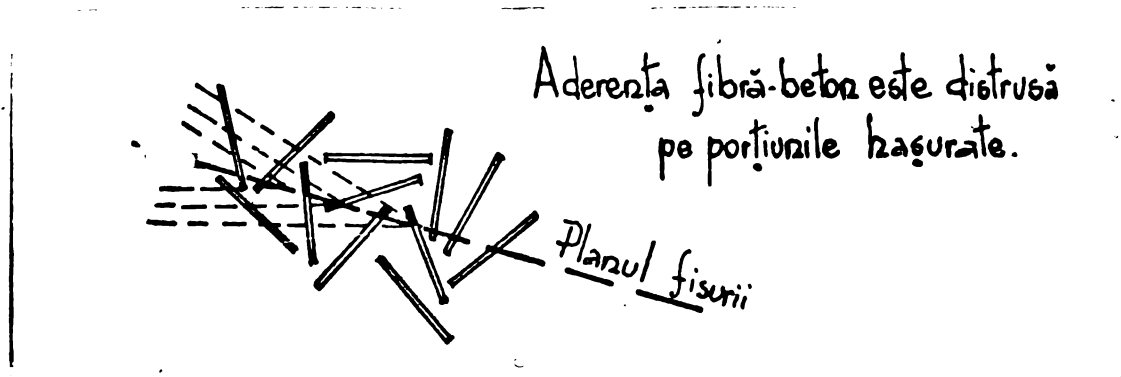


Fig.3.4. Schematizarea propagării fisurii și distrugerea aderenței fibre-beton, pentru un element din beton cu fibre.

Cedarea unui element din beton cu fibre se produce deci printr-o evoluție pronunțată a procesului de fisurare în apropierea încărcării de rupere, concomitent cu distrugerea aderenței fibre-beton. Fibrele și matricea acționează pînă la rupere ca două faze ale unui element compus, asigurînd împreună rezistența betonului cu fibre. Intrucît ruperea se produce prin distrugerea aderenței, efortul maxim atins în fibră este mai mic decît rezistența de rupere a fibrei σ_{fr} . Rezultă că fibrele nu contribuie cu întreaga lor capacitate la creșterea capacității portante a elementelor de beton armate cu fibre.

Considerînd o deformăție specifică egală pentru fibre și beton se poate scrie că efortul în betonul cu fibre σ_t^f , pentru solicitarea de întindere centrică, în cazul fibrelor continue, este /92/:

$$\sigma_t^f = (1-\mu)\sigma_t + \mu\sigma_f \quad (3.2)$$

în care:

- σ_t este efortul de întindere din betonul simplu (matrice)
- σ_f - efortul de întindere din fibre
- μ - coeficientul de armare volumetric

Relația (3.2) este valabilă pentru stadiul dinaintea sau din momentul fisurării; rezistența limită la întindere centrică, a unui astfel de material este dată numai de fibre-

Pentru momentul fisurării relația (3.2) devine:

$$R_t^f = (1-\mu)R_t + \mu\sigma_f \quad (3.3)$$

în care:

R_t^f este rezistența la întindere în momentul apariției pri-

R_t - rezistența la întindere a betonului simplu.

Relația (3.3) se poate modifica pentru cazul solicitării de încovoiere și armare cu fibre discontinue /92/. Swamy ș.a. au dedus relația:

$$R_{t1}^f = A(1-\mu)R_{t1} + C\mu \cdot \sigma_f \quad (3.4)$$

unde A este un coeficient care ține seama de modificarea solicitării (încovoiere și nu întindere) și de distribuția eforturilor unitare pe înălțimea secțiunii;

R_{t1} - rezistența la întindere din încovoiere a betonului (matricei);

R_{t1}^f - rezistența la întindere din încovoiere a betonului cu fibre;

C - coeficient ce ține seama de distribuția eforturilor unitare și de factorul de eficiență al orientării fibrelor (v. pct. 3.4);

μ - coeficientul de armare volumetric

Luând în considerare lungimea critică dată la pct. 3.4.2 (v. rel. 3.4 2) și factorul de eficiență al orientării fibrelor distribuite întâmplător de 41%, Swamy a dedus în continuare că termenul al doilea din ecuația (3.4) are expresia:

$$C\mu \cdot \sigma_f = 0,82 \tau_m \cdot \mu \frac{l}{d} \quad (3.5)$$

în care:

τ_m este efortul unitar mediu de aderență

l, d - lungimea și diametrul fibrelor

Pe baza deducției (3.5), relația (3.4), valabilă pentru cazul în care ruperea are loc prin smulgerea fibrelor, se poate scrie:

$$R_{t1}^f = A(1-\mu)R_{t1} + B\mu \frac{l}{d} \quad (3.6)$$

Prin prelucrarea datelor experimentale proprii, cit și din alte lucrări, Swamy ș.a. /92/ au obținut, în cazul betoanelor armate cu fibre de oțel supuse la încovoiere, următoarele particularizări ale relației (3.6):

- Rezistența la întindere din încovoiere a betonului cu fibre la apariția primei fisuri, R_{t1-fis}^f , este:

$$R_{t1-fis}^f = 0,843 (1-\mu)R_{t1} + 2,93\mu \frac{l}{d} \quad /N/mm^2/ \quad (3.7)$$

în care efortul unitar mediu de aderență, corespunzător apariției primei fisuri s-a luat de $3,57 \text{ N/mm}^2$.

- Rezistența la întindere din încovoiere a betonului armat cu fibre în stadiul limită, R_{ti-lim}^f , este:

$$R_{ti-lim}^f = 0,97(1-\mu)R_{ti} + 3,41 \mu \ell/d, \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3.8)$$

în care efortul limită de aderență s-a luat de $4,15 \text{ N/mm}^2$.

Utilizînd un coeficient de siguranță parțial se propune /96/ ca în relațiile (3.7) și (3.8) coeficienții 2,93 și 3,41 să fie înlocuiți cu valoarea unică 2,0.

Studii teoretice privind evaluarea rezistenței la întindere din încovoiere la apariția primei fisuri, pentru elemente armate cu fibre de oțel, au fost efectuate și de Schnütgen /89/. În urma studiului întreprins autorul deduce următoarea relație pentru rezistența R_{ti-fis}^f , care are o structură identică cu cea prezentată mai sus (relația 3.7):

$$R_{ti-fis}^f = R_{ti} [1 + \eta_l \eta_\alpha \mu (n-1)] + 2\tau \eta \mu \ell/d \quad (3.9)$$

în care:

R_{ti} este rezistența la întindere din încovoiere a betonului simplu (matricei)

ℓ, d, μ - lungimea, diametrul și coeficientul de armare volumetric ale fibrelor;

n - coeficientul de echivalență adică raportul E_f/E_b ;
(E_f - modulul de elasticitate al fibrelor)

τ - efortul unitar de aderență corespunzător apariției primei fisuri;

η - coeficient care ține seama de lungimea de încastrare (ancorare) a fibrelor η_f , de înclinarea (orientarea) fibrelor în raport cu efortul unitar de întindere η_α și de efectul favorabil asupra frecării fibră-beton, dat de înclinarea fibrelor față de secțiunea fisurată η_f ; deci

$$\eta = \eta_f \cdot \eta_\alpha \cdot \eta_f \quad (3.10)$$

unde $\eta_f = 0,5$ (v. rel. 3.43); η_f se deduce numai din date experimentale, iar:

$$\eta_\alpha = 1 - \frac{2}{15}(1-\mu) \left[\frac{6(n-1)}{n} + \nu \right] \quad (3.11)$$

Expresia lui η_α este valabilă pentru o orientare tri-dimensională a fibrelor /89/ (ν - coeficientul lui Poisson).

η_l - coeficient ce ține seama de lungimea fibrelor, care are expresia /89/:

$$\eta_l = 1 - \frac{n}{4} \cdot \frac{R_{ti-fis}^f}{\tau} \cdot \frac{d}{l} \left[1 + \ln\left(\frac{4}{n} \cdot \frac{\tau}{R_{ti-fis}^f} \cdot \frac{l}{d}\right) \right] \quad (3.12)$$

In fig.3.5. este prezentată variația coeficientului η_l în funcție de raportul geometric l/d , pentru $n = 6$ și raportul R_{ti-fis}^f/τ de 3,5.

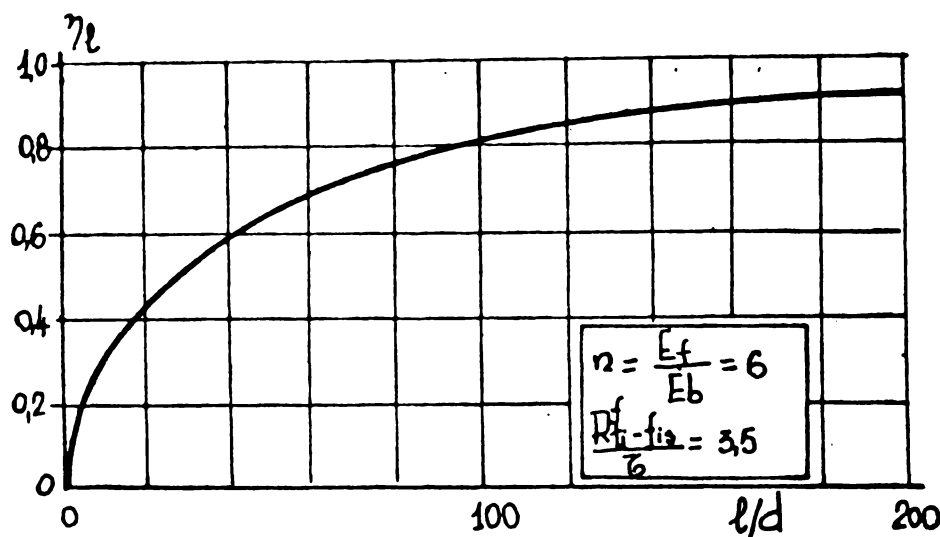


Fig.3.5. Variația coeficientului η_l funcție de raportul l/d

Rezultatele experimentale ale autorului /89/ arată că produsul $\eta_f \cdot \tau$ are valori între 6 și 7 N/mm² și deci pentru $\tau \approx 3,6$ N/mm² rezultă că η_f este aproximativ de 1,8.

Printre studiile teoretice referitoare la aprecierea rezistenței betoanelor cu fibre se remarcă și cele întreprinse de Parameswaran și Rajagopalan /71/. Aceștia au propus pentru rezistența grinzilor din beton armat cu fibre, următoarea relație adimensională:

$$r = 1 + \left(\beta \frac{l}{d} - 1\right) \mu \quad (3.13)$$

în care:

- r este raportul dintre momentul încovoietor limită al grinzii armate cu fibre și cel al grinzii din beton simplu;
- l, d, μ - lungimea, diametrul și respectiv coeficientul de armare volumetric pentru fibre;
- β - coeficient ce ține seama de modul de repartiție a eforturilor unitare pe secțiunea transversală, de eficiența orientării fibrelor, de valoarea și modul de distribuție al efortului unitar de aderență; acest coeficient se deduce din rezultate experimentale.

Pe baza rezultatelor experimentale obținute pe elemente din beton cu fibre de oțel, autorii propun următoarea relație adimensională de calcul:

$$r = 1 + (0,57 \frac{l}{d} - 1) \mu \quad (3.14)$$

În lucrarea /71/ se face și comparația între o serie de date experimentale obținute de diverși autori și cele obținute din relațiile (3.8) și (3.14), rezultând că ultima relație este mai apropiată de valorile experimentale; raportul valoare experimentală/valoare calculată este de 0,89 pentru relația (3.8) și de 0,99 pentru relația (3.14), iar coeficienții de variație de 15,2 și 10,3%

Relația (3.14) poate fi transformată în una de forma (3.8)/9/. Pentru aceasta se scriu momentele încovoietoare limită pentru grinzi dreptunghiulare de beton simplu (M_s) și de beton armat cu fibre (M_f):

$$M_s = K_s b h^2 \cdot R_t \quad (3.15)$$

$$M_f = K_f b h^2 \cdot R_t^f \quad (3.16)$$

în care:

b, h sînt lățimea și înălțimea secțiunii transversale;

R_t, R_t^f - rezistența la întindere a betonului simplu

și a betonului cu fibre, prin considerarea plasticizării zonei întinse;

K_s, K_f - coeficienți care țin seama de plasticizarea parțială a betonului din zona întinsă; în lucrarea /71/ se propune pentru betonul simplu o repartiție parabolică a eforturilor, cu $K_s = 0,236$.

Înlocuind pe (3.15) și (3.16) în (3.14) rezultă:

$$R_t^f = K R_t (1 - \mu) + 0,57 K R_t \mu l/d \quad (3.17)$$

în care $K = K_s/K_f$, avînd o valoare subunitară, dar apropiată de unitate (v. rel. 3.8).

Relația (3.17) are aceeași structură cu (3.8). Diferențele constau în considerarea lui R_{t1} în (3.8) și R_t în (3.17) și în particularizarea efortului unitar mediu de aderență în relația (3.8). Aceste diferențe sînt evidențiate în diagramele din fig. 3.6, care reprezintă variațiile raportelor dintre rezistența la întindere a elementelor cu fibre de oțel și cea a elementelor corespunzătoare nearmate, în funcție de parametrul $\mu l/d$ ($\mu_g l/d$, unde μ_g

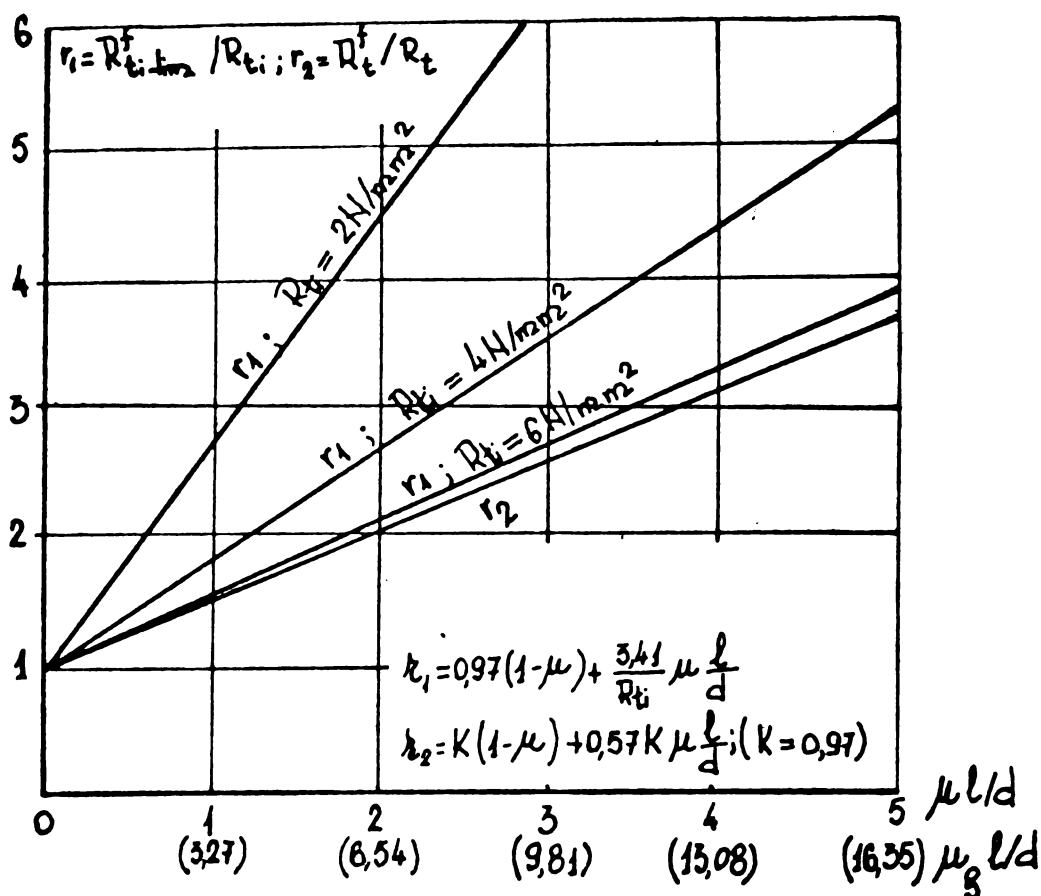


Fig.3.6. Variația rapoartelor r_1 și r_2 funcție de raportul $\mu l/d$, respectiv $\mu_g l/d$

stabilit din relația (3.8), este influențat de rezistența la întindere din încovoiere a betonului R_{ti} , în timp ce raportul r_2 , stabilit pe baza relației (3.17) este influențat doar de coeficientul K , care pentru analogie s-a luat de 0,97. Pentru $R_{ti} = 6 \text{ N/mm}^2$, cele două rapoarte au practic aceleași valori, în timp ce la valori mai mici pentru R_{ti} diferențele dintre rapoartele r_1 și r_2 sînt semnificative. Aceste diferențe apar datorită faptului că în relația (3.8) autorii studiului au introdus pentru efortul unitar de aderență o valoare constantă, indiferent de compoziția betonului, valoare care este însă compatibilă cu majoritatea elementelor experimentale ale autorilor respectivi. Corelația bună obținută prin aplicarea relației (3.8) la o serie de rezultate experimentale se explică prin faptul că rezistența la întindere din încovoiere a elementelor experimentale a fost destul de ridicată, iar particularizarea lui γ_m în relația (3.8) a fost și ea obținută din asemenea rezultate.

Se poate concluziona că pentru estimarea rezistenței la întindere din încovoiere a elementelor armate cu fibre este adecvată o relație de tipul (3.6), în care parametrul B trebuie să depindă și de calitatea betonului utilizat; relațiile particulare

(3.7) și (3.8) sînt valabile pentru elemente din beton armat cu fibre de oțel, cu caracteristici apropiate elementelor pe baza cărora au fost deduși coeficienții numerici.

Se remarcă însă relația (3.14) care pare să fie cea mai potrivită pentru a pune în evidență contribuția fibrelor la îmbunătățirea capacității portante a betoanelor cu fibre. Considerarea unui coeficient global β , care ține seama de repartitia eforturilor unitare pe secțiunea transversală, de eficiența orientării fibrelor cît și de eforturile unitare de aderență, face posibilă o prelucrare mai ușoară a datelor experimentale; un coeficient global are însă dezavantajul estompării influențelor de detaliu ale coeficienților parțiali pe care-i cuprinde.

Aplicarea relațiilor amintite este limitată de parametrul global $\mu l/d$. Creșterea acestui parametru produce scăderea lucrabilității betonului care diminuează creșterea rezistenței datorită prezenței fibrelor. Din acest motiv Schnütgen /89/ propune multiplicarea primului termen din membrul drept al ecuației (3.9) cu factorul de corecție:

$$\eta_w = 1 - K_0 \mu l/d \quad (3.18)$$

în care K_0 este un coeficient cu valori 0...0,10, stabilit din date experimentale.

3.4. Factori care influențează comportarea și capacitatea portantă

Studiile teoretice întreprinse privind factorii care influențează comportarea și capacitatea portantă a betoanelor armate cu fibre pun în evidență următorii factori:

- intervalul dintre fibre;
- lungimea minimă a fibrelor.

3.4.1. Intervalul dintre fibre

Conceptul intervalului dintre fibre a fost introdus pentru prima dată de Romualdi și Batson /84/. Ei au sugerat ideea că fibrele acționează ca "opritori ai fisurării" prin intermediul eforturilor de aderență, deci la interfața fibră-beton, care tind să închidă fisura. Autorii au arătat că rezistența la întindere în momentul apariției primei fisuri, pentru un anumit volum de fibre, este invers proporțională cu intervalul dintre fibre. Intervalul dintre fibre devine astfel un criteriu pentru aprecierea rezistenței la apariția primei fisuri. Din acest motiv, așa cum se va

vedea în continuare, stabilirea intervalului dintre fibre a constituit obiectul studiilor teoretice a mai multor autori.

Intervalul dintre fibre este definit de Romualdi și Batson ca fiind distanța dintre centrele de greutate ale fibrelor. Este evident că pentru fibrele orientate într-o anumită direcție intervalul poate fi stabilit cu ușurință. Pentru o orientare haotică (osrecare) problema este mai complicată.

Intervalul mediu dintre fibrele scurte, uniform distribuite într-o matrice a fost stabilit pentru prima dată de Romualdi și Mandel /85/. Se presupune că un anumit număr de fibre ocupă un volum cunoscut și se consideră că distribuția lor este întâmplătoare în spațiu. Pentru calcul sînt luate în considerare fibrele paralele sau aproape paralele cu direcția eforturilor de întindere. La stabilirea intervalului mediu dintre fibrele efective

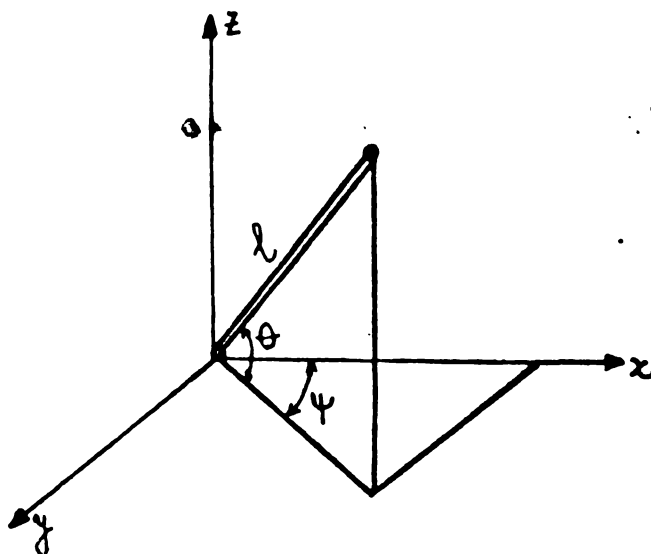


Fig.3.7. Orientarea în spațiu a unei fibre de lungime l .

(care lucrează în direcția efortului de întindere) se consideră o fibră de lungime l , orientată în spațiu în conformitate cu fig.3.7. Dacă axa x este considerată a fi în direcția efortului de întindere, atunci proiecția lungimii l a fibrei considerate în această direcție este $l \cos \theta \cos \psi$. Presupunînd că numărul total de fibre distribuite în spațiul de referință este n , atunci lungimea medie a proiecției acestor fibre pe axa x este dată de expresia:

$$\frac{n \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} l \cos \theta \cos \psi \, d\theta \, d\psi}{n (\pi/2)^2} = 0,41l \quad (3.19)$$

Din relația (3.19) rezultă că numai 41% din numărul total de fibre se găsesc în direcția efortului de întindere (numai 41% din fibre, sînt eficiente - lucrează efectiv).

Probabilitatea că numai 41% din fibre să lucreze într-o direcție considerată a fost admisă de cei mai mulți cercetători. În schimb alții, așa cum sînt Parai și Sridhar /72/, au stabilit pentru probabilitatea ca fibrele să fie orientate într-o anumită direcție valoarea de 63,7%.

Problema eficienței fibrelor a fost abordată de foarte mulți cercetători. Ea este strîns legată de orientarea fibrelor în beton. S-a dedus că eficiența fibrelor, pentru diferite moduri de orientare, este /96/:

- la fibre orientate într-o singură direcție: 100%;
- la fibre orientate ortogonal în plan: 40-50%;
- la fibre orientate întîmplător în plan: 30-40%;
- la fibre orientate întîmplător în spațiu
41(15 - 20) %.

Se constată că pentru o orientare întîmplătoare în spațiu a fibrelor discontinue, factorul de eficiență stabilit din considerații teoretice este de 15 - 20%, pe cînd considerațiile de ordin probabilistic (vezi relația 3.19) dau valoarea de 41%, dedusă de Romualdi și Mandel, valoare considerată mai exactă.

Pentru calculul intervalului mediu dintre centrele geometrice ale fibrelor se consideră un volum V_b de beton, armat uniform cu n fibre. Intervalul mediu (S) dintre centrele fibrelor, presupunînd o distribuție cubică (în spațiu) a fibrelor, are valoarea:

$$S = \sqrt[3]{\frac{V_b}{n}} \quad (3.20)$$

Intervalul dintre centrele geometrice ale fibrelor eficiente într-o singură direcție (x) (vezi rel.3.19) se calculează cu relația:

$$S_x = \sqrt[3]{\frac{V_b}{0,41 n}} \quad (3.21)$$

Numărul de centre geometrice ce se găsesc în unitatea de arie a secțiunii transversale, perpendicularare pe direcția x , este:

$$n_x = \left(\frac{l}{S_x}\right)^2 \quad (3.22)$$

Deci lungimea l a fibrelor este mai mare decît distanța S_x dintre centrele geometrice ale fibrelor orientate în direc-

ția presupusă x , situație întâlnită în cazurile practice, atunci numărul de fibre din oricare secțiune transversală va trebui să fie multiplicat cu factorul l/S_x . În această situație numărul de fibre din unitatea de arie a secțiunii transversale va fi:

$$n'_x = \left(\frac{l}{S_x}\right)^2 \cdot \frac{l}{S_x} = \frac{l^3}{S_x^3} \quad (3.23)$$

sau, prin înlocuirea relației (3.21) în (3.23):

$$n'_x = \frac{0,41}{b} n \cdot l \quad (3.24)$$

Pentru o aranjare pătrată (v. fig. 3.8 a) a fibrelor în secțiunea transversală, rezultă intervalul mediu S_x (v. relația 3.2

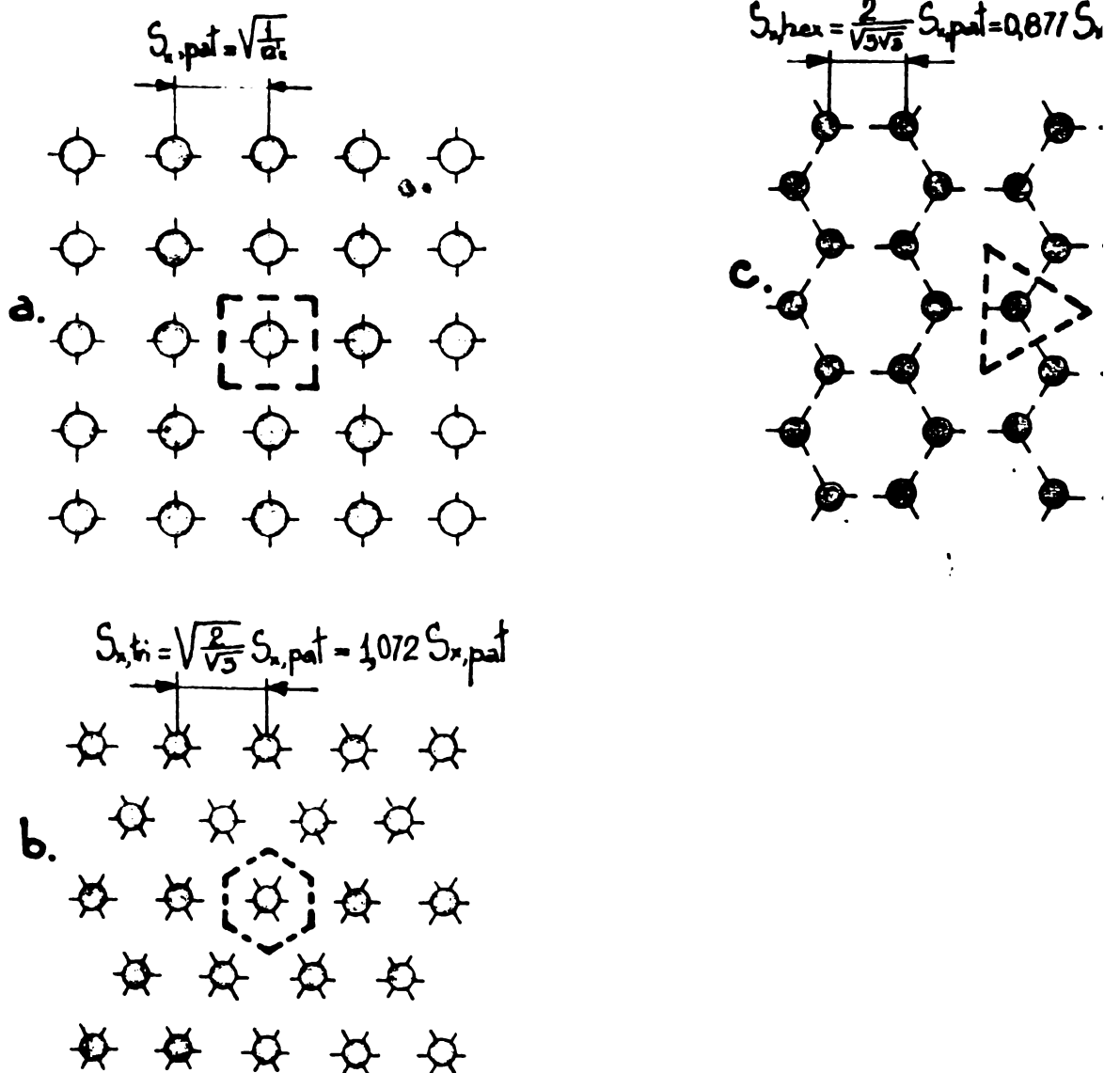


Fig. 3.8. Diferite moduri de aranjare a fibrelor
a - pătrată; b - triunghiulară; c - hexagonală.

$$S_x = \frac{1}{\sqrt{n'_x}} = \sqrt{\frac{V_b}{0,41 n \cdot l}} \quad (3.25)$$

Numărul total de fibre n se poate exprima și în funcție de dimensiunile geometrice ale fibrelor d și l și de procentul volumetric de armare p :

$$n = \frac{p \cdot V_b}{25 \pi d^2 \cdot l} \quad (3.26)$$

Inlocuind pe (3.26) în (3.25) rezultă intervalul mediu dintre fibrele orientate în direcția efortului de întindere:

$$S_x = 13,8 \cdot d \sqrt{\frac{l}{p}} \quad (3.27)$$

Relația de mai sus, stabilită de Romualdi și Mandel în anul 1964, are o serie de deficiențe, evidențiate de diverși cercetători. Krenchel /55/ a arătat diferențele care apar în evaluarea intervalului dintre fibre, în cazul în care aranjarea fibrelor în secțiunea transversală este alta decât cea pătrată. El a considerat 3 moduri de aranjare a fibrelor în secțiunea transversală: pătrată, triunghiulară și hexagonală (fig.3.8) și a presupus un număr egal de fibre care traversează secțiunea transversală. Se observă, din fig. 3.8, că față de aranjarea pătrată intervalul dintre fibre este cu 7% mai mare pentru aranjarea triunghiulară și cu 12% mai mic în aranjarea hexagonală.

Intervalul dintre fibre constituie obiectul unei analize profunde întreprinse de Swamy ș.a. /92/. Din această analiză rezultă că relația (3.27), dedusă de Romualdi și Mandel, reprezintă o interpretare pur geometrică a intervalului dintre fibre, care dă soluții pentru rezistența la apariția primei fisuri, nu și pentru comportarea post-fisurare sau pentru rezistența de rupere. Swamy consideră că pentru a putea explica satisfăcător mecanismul armării cu fibre al betonului de ciment, relația intervalului între fibre trebuie să țină seama de: lungimea critică a fibrei, aderența la interfața fibră-beton și de factorul de eficiență al orientării fibrelor.

Swamy a dedus o relație pentru intervalul dintre fibre pornind de la distribuția efortului de aderență, în lungul fibrei (fig.3.14). Eficiența aderenței este introdusă prin doi factori de eficiență: factorul eficienței aderenței pentru lungime (η_l) și factorul eficienței aderenței pentru diametru (η_d). Factorul η_l este definit ca raportul dintre forța de aderență (F_l) pentru o

fibră de lungime l și diametru d , orientată întâmplător și forța de aderență (F_l) a unei fibre de lungime l_c și diametru d . Ținând seama de ecuația de proiecție (3.19) și de relația (3.42) rezultă:

$$\eta_l = \frac{F_l}{F_{l_c}} = \frac{\pi d \cdot \frac{0,41 l}{2} \tau}{\pi d \cdot \frac{l_c}{2} \tau_m} = \frac{0,82 \cdot l \tau}{d \cdot \sigma_{fr}} \quad (3.28)$$

în care τ_m este efortul unitar mediu pe lungimea critică l_c , iar efortul unitar de aderență pe o lungime $l < l_c$.

Factorul η_d este definit ca raportul dintre forța de aderență a fibrei de diametru d și lungime l_c și forța de aderență a unei fibre de diametru \bar{d} și lungime l_c . Rezultă că:

$$\eta_d = \frac{d}{\bar{d}} \quad (3.29)$$

În relația de mai sus d și \bar{d} sînt doi diametri aleși arbitrar.

Se consideră un cub din betonul cu fibre cu latura care conține un procent volumetric de armare p . Se poate scrie:

$$p = \frac{V_f}{V_b} \cdot 100 = \frac{n \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot 100}{L^3} = \frac{25 \pi d^2 \cdot l \cdot n}{L^3} \quad (3.30)$$

Procentul de armare efectiv p_x , al fibrelor orientate într-o direcție x , se obține din relația (3.30) prin aplicarea factorilor de eficiență η_l , η_d și cel al orientării fibrelor de 41. Astfel:

$$p_x = \frac{25 \pi n}{L^3} (\eta_d \cdot d)^2 \cdot 0,41 (\eta_l \cdot l) \quad (3.31)$$

Raportul p_x/p , ținând seama de (3.28) și (3.29) este

$$\frac{p_x}{p} = 0,41 \eta_l \cdot \eta_d^2 = \frac{0,34 \tau l d}{\sigma_{fr} \cdot \bar{d}^2} \quad (3.32)$$

Volumul efectiv de fibre v_x din matrice, care se găsesc în direcția efortului unitar de întindere (de exemplu direcția x) este:

$$v_x = \frac{p_x}{100} \cdot L^3 \quad (3.33)$$

iar numărul de fibre de lungime l , aliniate pe direcția considerată x va fi:

$$n_x = \frac{p_x \cdot L^2}{100 \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{p_x \cdot L^2}{25 \pi d^2} \quad (3.34)$$

Considerînd o aranjare pătrată a fibrelor în secțiunea transversală se obține pentru intervalul efectiv dintre fibre:

$$S_x = \sqrt{\frac{L^2}{n_x}} \quad (3.35)$$

Inlocuind pe (3.34) și (3.32) în relația (3.35) se obține:

$$S_x = \sqrt{\frac{25 \pi d^2}{p_x}} = 13,8 d \sqrt{\frac{1}{p}} \cdot \frac{1}{\eta_d \sqrt{\eta_l}} \quad (3.36)$$

Relația (3.36) reprezintă o formă modificată a relației (3.27) obținută de Romualdi și Mandel. Prin explicitarea expresiei factorilor η_l și η_d rezultă:

$$S_x = 15,287 \sqrt{\frac{G_{fr} \cdot d^2}{\tau}} \cdot \sqrt{\frac{d}{p \cdot l}} \quad (3.37)$$

Evaluînd G_{fr} , d și τ pentru cazul particular al fibrelor de oțel, Swamy a ajuns la următoarele expresii ale intervalului dintre fibre:

- pentru stadiul de apariție al primei fisuri:

$$S_x = 27 \sqrt{\frac{d}{p \cdot l}} \quad (3.38)$$

- pentru stadiul de rupere:

$$S_x = 25 \sqrt{\frac{d}{p \cdot l}} \quad (3.39)$$

O relație pentru intervalul dintre fibre a fost dată și de Mc Kee /12/. El a considerat că fibrele sînt uniform distribuite în spațiu și că distanța S dintre centrele lor geometrice este egală în toate direcțiile. Relația obținută este:

$$S = \sqrt[3]{\frac{v_1}{\mu}} = \sqrt[3]{\frac{\tau d^2 \cdot l/4}{p/100}} \cong 4,3 \sqrt[3]{\frac{d^2 \cdot l}{p}} \quad (3.40)$$

în care:

v_1 este volumul unei fibre

μ - coeficientul de armare volumetric

p - procentul de armare volumetric

Kar și Pal au dedus, de asemenea, o relație pentru intervalul dintre fibre, cu luarea în considerare a eforturilor unitare tangențiale de aderență /52/.

Aplicarea relațiilor date de Romualdi (3.27), Swamy (3.38) și Mc Kee (3.40) este prezentată în diagramele din fig. 3.9....3.11.

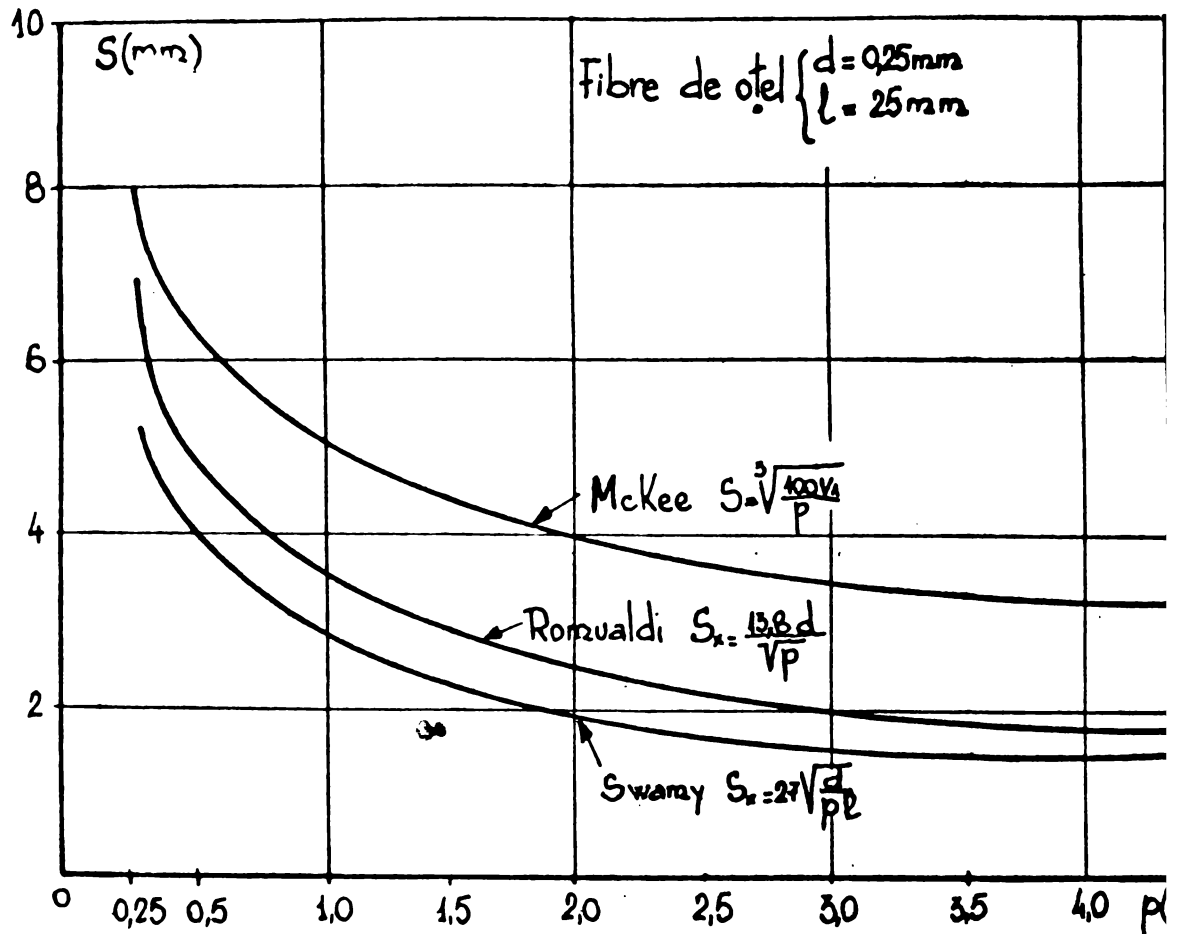


Fig.3.9. Intervalul S dintre fibre funcție de procentul volumetric de armare (p).

După cum se observă există diferențe sensibile în ceea ce privește modul de variație și mărimea intervalului dintre fibre. Rezultatele sînt diferite întrucît modul de abordare a intervalului dintre fibre a fost diferit: strict geometric sau geometric-mecanic. O analiză mai aprofundată arată că influența procentului de armare intervine în relațiile studiate cu pondere și tendință apropiate, cea a diametrului prezintă diferențe mari, mai ales în cazul relației lui Swamy, în timp ce influența lungimii fibrelor asupra intervalului este abordată diferit de către autorii citați.

Conținutul în fibre sau distribuția fibrelor în betoanele armate cu fibre de oțel s-au stabilit și cu radiații X /53/ Valorile experimentale au fost verificate cu relații analitice pro-

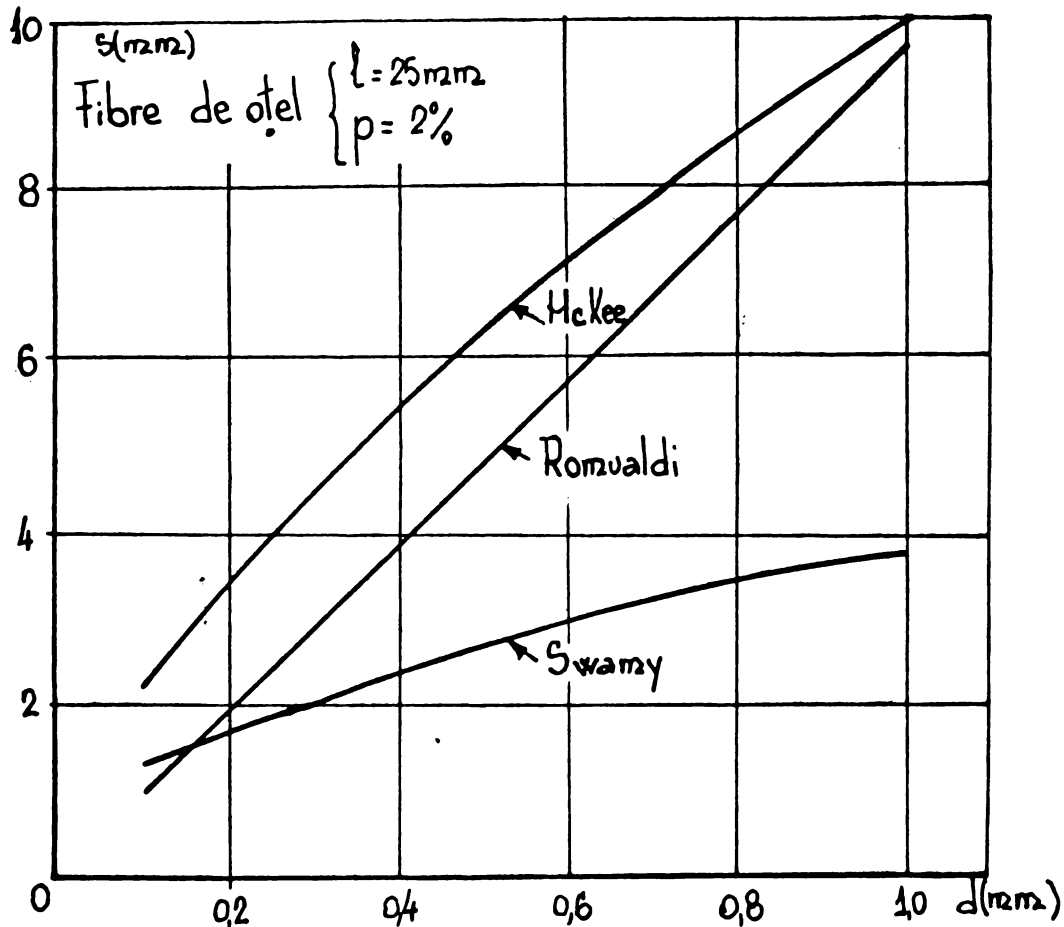


Fig.3.10. Intervalul S dintre fibre funcție de diametrul d al fibrelor

puse, găsiindu-se o corespondență bună cu valorile teoretice.

După cum s-a mai amintit intervalul dintre fibre este un parametru important pentru estimarea caracteristicilor betoanelor cu fibre. Relațiile privind calculul acestui parametru diferă însă de la autor la autor, fără a se ajunge încă la adoptarea unei relații unice. Aceasta impune ca la analiza stării de eforturi din elementele armate cu fibre să fie precizată sursa după care este calculat intervalul dintre fibre.

Din relațiile prezentate rezultă că intervalul dintre fibre este definit în principal de trei parametri : procentul de armare volumetric, diametrul și lungimea fibrelor.

3.4.2. Lungimea minimă a fibrelor

Eficiența fibrelor în betonul cu fibre este dependentă de lungimea lor. Lungimea minimă a fibrelor se poate determina în funcție de lungimea critică a fibrelor. Lungimea critică a fibrei se poate deduce pornind de la mecanismul de transmitere a

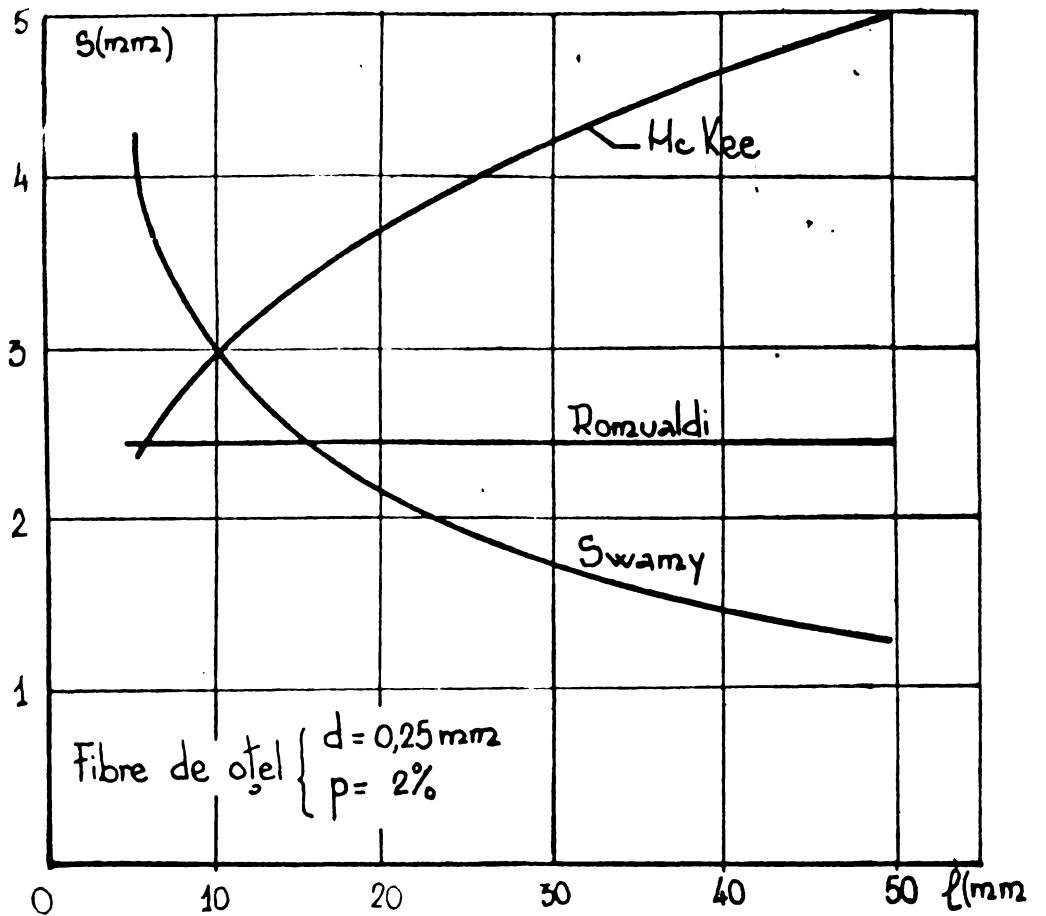


Fig.3.11. Intervalul S dintre fibre în funcție de lungimea l a fibrelor

eforturilor unitare de la beton la fibre /92/. Conform fig.3.12 se

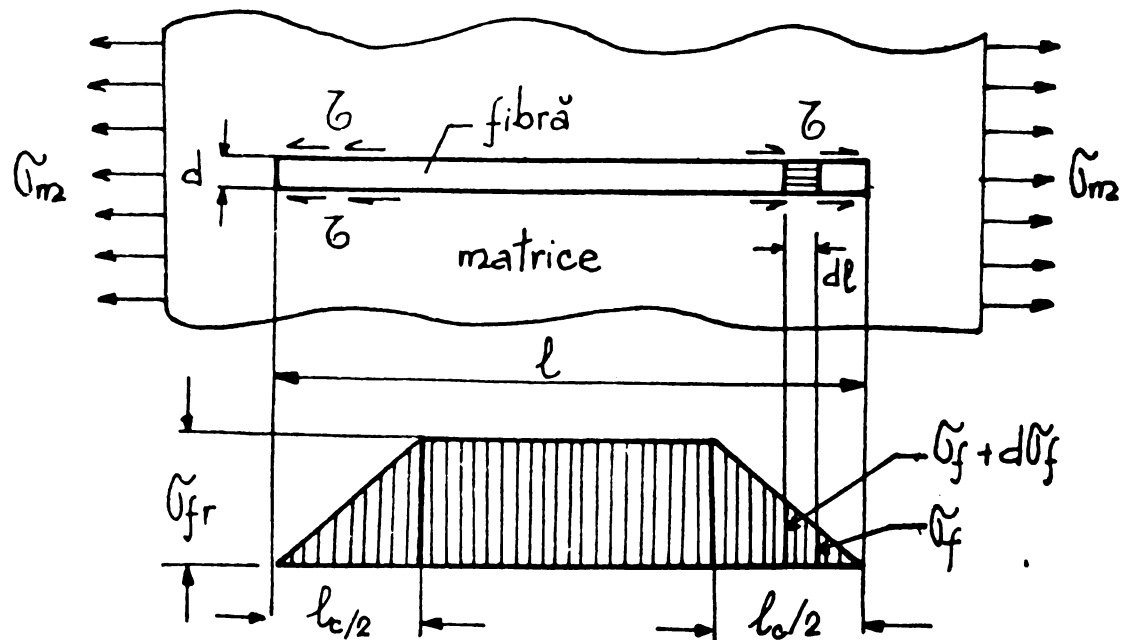


Fig.3.12. Distribuția efortului unitar în fibră

consideră o singură fibră înglobată în matrice și că fibra este

orientată în direcția eforturilor unitare de întindere care solici-
tă matricea, σ_m . Prin intermediul eforturilor unitare tangențiale
de aderență τ , eforturile se transmit de la matrice la fibră, astfel
încît efortul unitar crește în fibră de la valoarea zero la valoarea
de rupere σ_{fr} . Pentru un element diferențial de fibră, cu lungimea
 dl se poate scrie ecuația de echilibru:

$$\frac{\pi d^2}{4} d\sigma_f = \tau_m \cdot dl \quad (3.41)$$

După integrarea ecuației (3.41), conform condițiilor
arătate în fig.3.12, rezultă:

$$l_c = \frac{d}{2} \frac{\sigma_{fr}}{\tau_m} \quad (3.42)$$

în care:

l_c este lungimea critică a fibrei necesară pentru ca efor-
tul unitar în fibră să atingă efortul unitar de rupere;

τ_m - efortul unitar mediu de aderență, corespunzător atin-
gerii în fibre a efortului σ_{fr} .

Ecuația (3.42) este valabilă și pentru cazurile în
care efortul unitar în fibră este mai mic decât σ_{fr} .

Din relația (3.42) rezultă că lungimea critică de-
pinde, între altele, de efortul unitar mediu de aderență; cînd ade-
rența se distruge atunci vor acționa forțele de frecare dintre beton
și fibră.

În fig.3.13 este prezentată variația efortului unitar

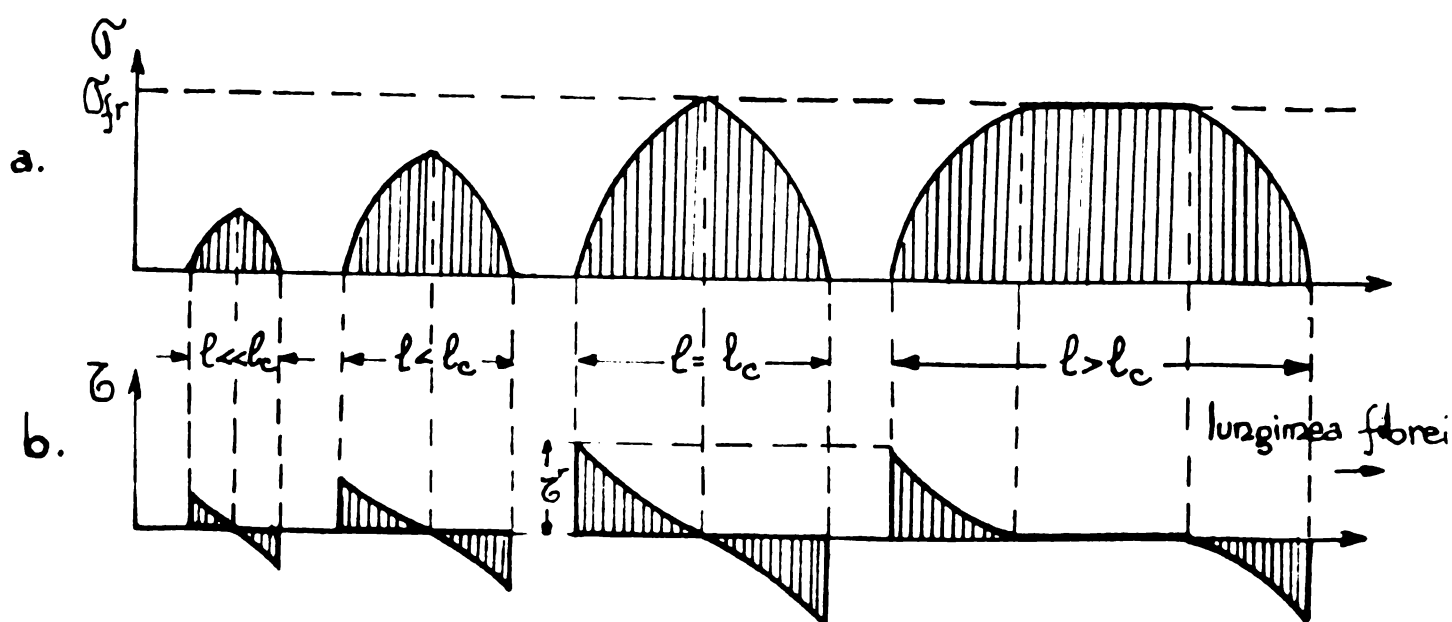


Fig.3.13. Variația schematică a efortului unitar
a- în fibră; b- de aderență între fibră
și beton

normal din fibră σ_f și a efortului unitar de aderență τ , pentru diferite lungimi ale fibrelor. Se constată că pentru fibre cu $l > l_c$ zona centrală este caracterizată prin eforturi unitare constante în fibre și prin eforturi unitare de aderență nule; pentru fibre cu $l < l_c$ eforturile unitare din fibre și cele de aderență sînt foarte mici.

După apariția unei fisuri care intersectează fibra, variația eforturilor unitare de aderență este cea prezentată în fig. 3.14. Fig. 3.14 b reprezintă distribuția efortului unitar de aderență

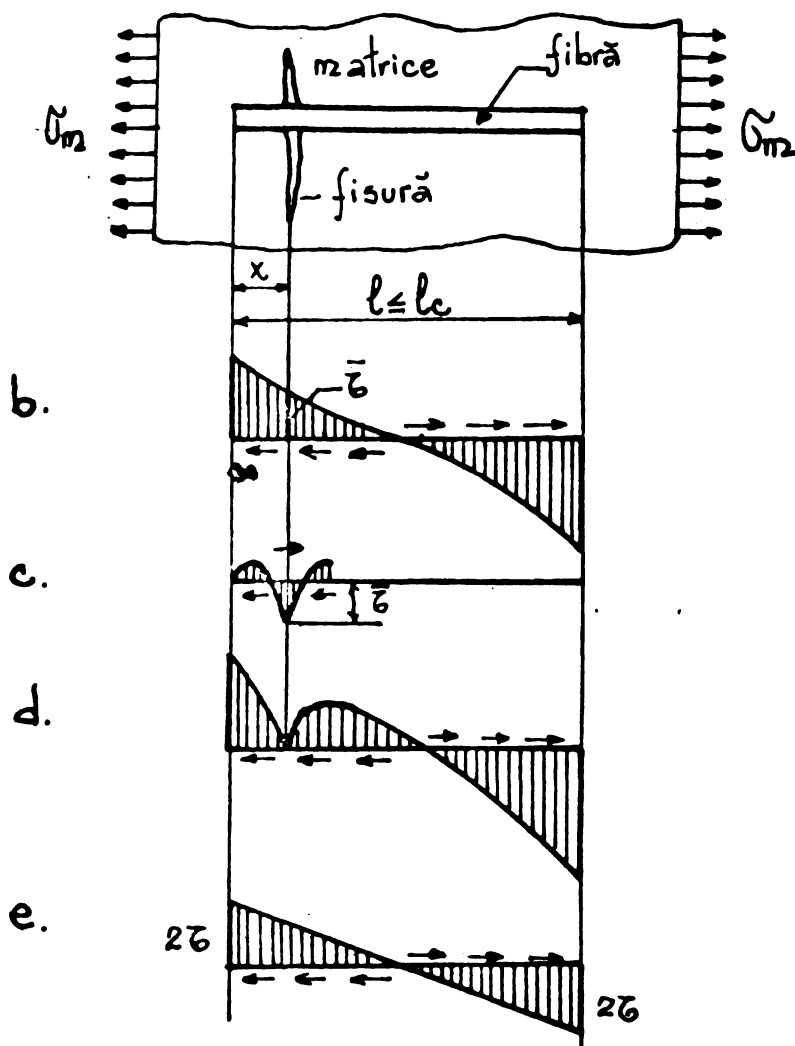


Fig. 3.14. Variația efortului unitar de aderență înainte și după apariția unei fisuri în beton.

înaintea apariției fisurii, fig. 3.14 c a efortului unitar de aderență datorită apariției fisurii, iar fig. 3.14 d distribuția efortului unitar de aderență după apariția fisurii. Se observă că după apariția fisurii se produce o discontinuitate în diagramă, iar volumul eforturilor unitare de aderență se reduce. Diagrama idealizată a eforturilor unitare de aderență este dată în fig. 3.14 e.

Lungimea minimă a fibrelor, pentru ca acestea să aibă efect asupra capacității portante a elementelor din beton armat cu fibre, se poate stabili pe baza mai multor considerente. Argon și Shack /4/ dau pentru lungimea efectivă minimă relația:

$$l = 2 l_c \quad (3.43)$$

La baza acestei relații stă următorul raționament. La apariția unei fisuri în beton, care traversează fibra, cel mai mic dintre cele 2 capete încastrate ale fibrei va deveni cel mai important pentru comportarea post-fisurare; valoarea cea mai probabilă a porțiunii scurte a fibrei este presupusă $l/4$. Dacă acest sfert din lungimea fibrei este mai mic decât $l_c/2$ atunci se va produce smulgerea din matrice a fibrei, efortul unitar din fibră fiind mai mic decât cel de rupere. Dacă $l \gg 2 l_c$ ($\frac{l}{4} \gg \frac{l_c}{2}$) (vezi fig. 3.12), atunci, după apariția primei fisuri materialul poate suporta o nouă creștere a eforturilor, deci o comportare bună postfisurare.

Notînd cu ϵ_t deformația specifică în beton corespunzătoare momentului apariției primei fisuri, ecuația (3.42) se mai poate scrie /4/:

$$l_c = \frac{d}{2} \cdot \frac{G_f}{\tau_m} = \frac{d}{2} \cdot \frac{E_f}{\tau_m} \cdot \epsilon_t = \frac{d}{2} \left(\frac{R_t}{\tau_m} \right) \cdot \left(\frac{E_f}{E_b} \right) \quad (3.44)$$

în care:

$G_f = E_f \cdot \epsilon_t$ - este efortul unitar din fibră, care nu a atins valoarea de rupere ca în ecuația (3.42), atunci cînd apare prima fisură. Deformația în fibră s-a luat ϵ_t , presupunînd o conlucrare între cele două materiale.

R_t - efortul unitar în beton, corespunzător apariției primei fisuri;

E_f, E_b - modulul de elasticitate al fibrei, respectiv al betonului.

Potrivit relațiilor (3.43) și (3.44), lungimea minimă a fibrei pentru ca aceasta să nu se smulgă la apariția primei fisuri este:

$$l = d \left(\frac{R_t}{\tau_m} \right) \left(\frac{E_f}{E_b} \right) = d \frac{E_f}{\tau_m} \cdot \epsilon_t \quad (3.45)$$

Din relația (3.45) rezultă raportul geometric minim

$\frac{l}{d}$, la apariția primei fisuri:

$$\frac{l}{d} = \frac{R_t}{\tau_m} \cdot \frac{E_f}{E_b} \quad (3.46)$$

Se observă că acest raport este influențat de tipul fibrei, natura suprafeței fibrei, cât și de caracteristicile fizico-mecanice ale betonului.

4. CARACTERISTICI FIZICO-MECANICE ALE BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OTEL

Caracteristicile betoanelor armate cu fibre de oțel constituie obiectul celor mai multe cercetări experimentale. Unele dintre aceste cercetări se referă la caracteristicile betonului proaspăt. Majoritatea lucrărilor experimentale investighează, însă caracteristicile betonului întărit.

4.1. Caracteristici ale betonului proaspăt

4.1.1. Lucrabilitatea (consistența)

Consistența betonului cu fibre de oțel a fost cercetată prin metoda răspîndirii /30/, /31/. S-au utilizat fibre circulare cu traseu drept /31/ și fibre circulare cu ciocuri sau ondulate /30/. Rezultatele s-au comparat cu consistența matricei în care au fost încorporate fibrele (fig.4.1). Se constată că fibrele

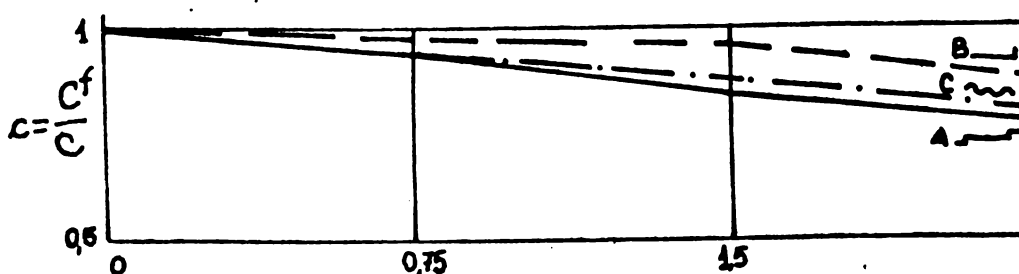


Fig.4.1. Variația consistenței betoanelor cu fibre /30/ (C^f -consistența betonului cu fibre; C -consistența betonului simplu).

înrautățesc consistența betonului în care sînt încorporate, înrăutățirea fiind mai accentuată cu cât fibrele au o formă mai întortocheată (fig.4.1 - A,C).

Se apreciază că pentru un procent volumetric de 2,5%

consistența betonului cu fibre se reduce la 65 - 75% din consistența betonului simplu, chiar și în cazul fibrelor netede fără cbcuri /31/.

Lucrabilitatea betonului cu fibre a fost ceva mai mult cercetată, pentru încercări fiind utilizate metodele: tasării, VE - BE și a gradului (factorului) de compactare /33/, /74/, /76/, /82/, /95/. Cercetările se referă la betoane obișnuite și cu cenușă /95/, cu sau fără plastifianți, cu fibre drepte sau fibre de tip "Duoform" și ondulate /33/ sau chiar cu fibre legate în mănunchiuri cu un aditiv solubil în apă /76/. Cele mai semnificative încercări sînt cele prezentate de Edgington ș.a. /33/. Rezultatele acestor încercări sînt prezentate în fig.4.2 și 4.3. Se observă că lucrabilitatea depinde de procentul de armare (p - volumetric, p_g - gravimetric), raportul geometric l/d (lungimea fibrei/ diametrul fibrei) și dimensiunea maximă a agregatului.

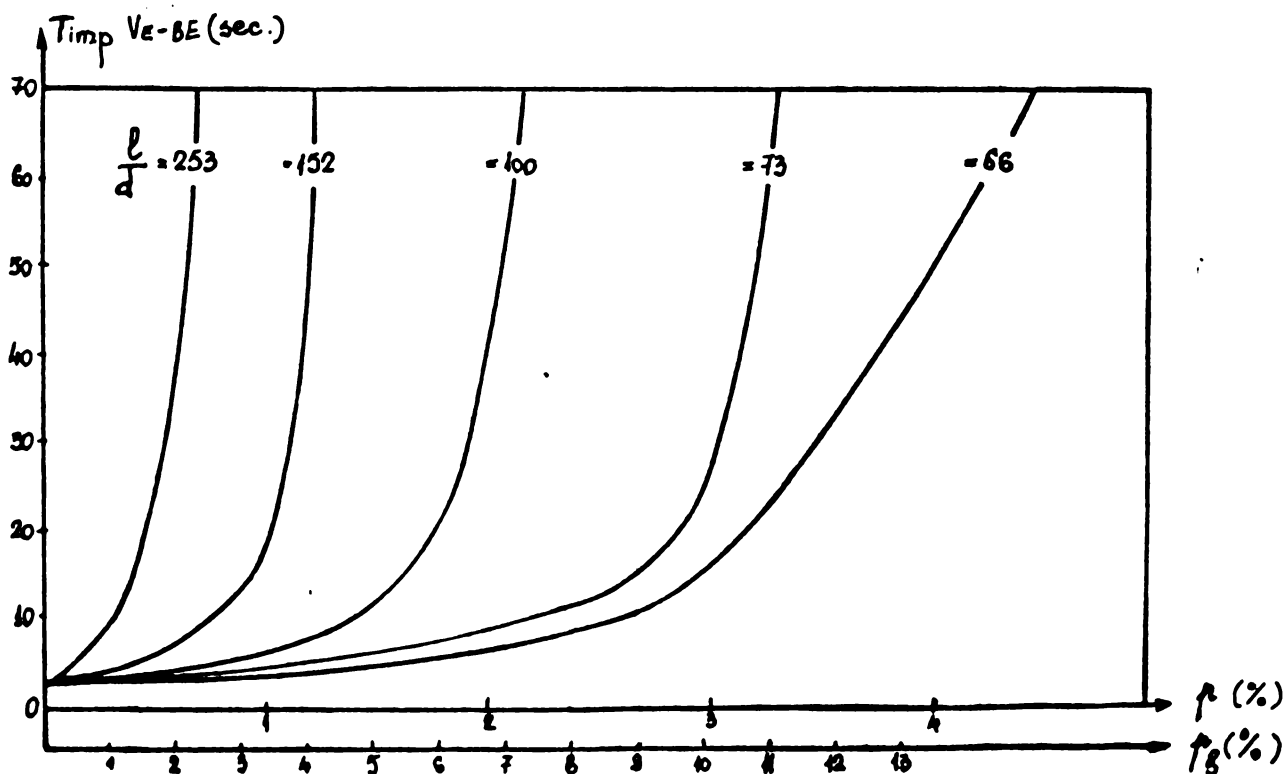


Fig.4.2. Variația timpului de remodelare VE-BE funcție de procentul de armare cu fibre, pentru diferite rapoarte geometrice l/d .

Lucrabilitatea betonului cu fibre scade cu creșterea procentului de armare, a raportului l/d și a dimensiunii maxime a agregatului. Se constată că există pentru fiecare raport geometric (l/d) un procent critic, la depășirea căruia timpul de remodelare

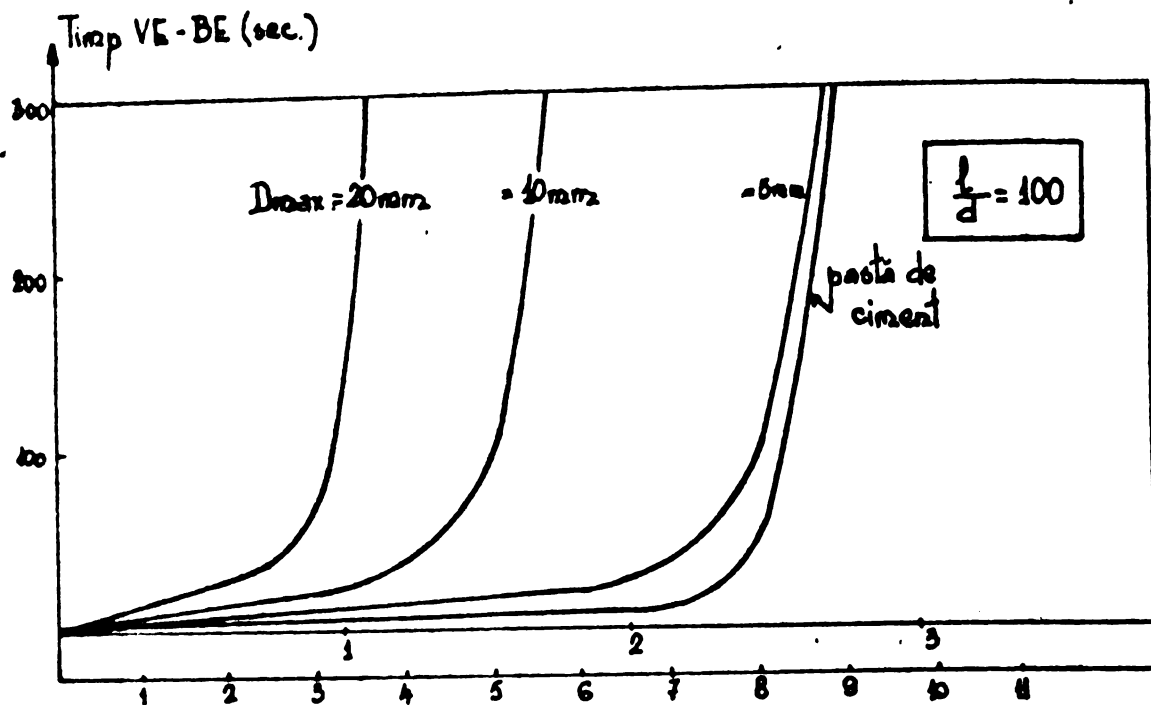


Fig.4.3. Variația timpului de remodelare VE-BE funcție de procentul de armare cu fibre, pentru diferite valori ale diametrului maxim al agregatului.

VE - BE crește rapid. Același lucru se poate menționa și în legătură cu diametrul maxim al agregatului.

În lucrarea /95/ se fac observații asupra lucrabilității unui beton cu fibre de oțel cu adaos de cenușă de termocentrală. Se arată că se obțin tasări de cca 10 cm și timpi de remodelare VE - BE de 2 - 3 sec., în condițiile în care se înlocuiește 30% din masa cimentului cu cenușă de termocentrală și se utilizează un aditiv plastifiant, fără ca proprietățile betonului să fie sensibil modificate.

Așa cum se observă din fig.4.2 reducerea raportului l/d mărește lucrabilitatea. Reducerea acestui raport a fost realizată de Ramakrishnan ș.a. /76/ prin lipirea fibrelor în mănunchiuri cu un adeziv solubil în apă; adezivul se dizolvă în cca 1,5 min. În felul acesta s-a evitat aglomerarea unor fibre cu capete deformate obținându-se o lucrabilitate corespunzătoare.

4.1.2. Segregarea

Segregarea betonului cu fibre de oțel a fost, de asemenea, studiată /82/. Aceasta se caracterizează prin separarea apei la suprafața betonului, prin segregarea componentilor și prin coe-

ziunea amestecului.

Cercetările efectuate arată că la betonul cu fibre de oțel separarea apei la suprafață este redusă față de betonul simplu și că depinde de numărul de fibre și de aria suprafeței laterale a fibrelor; este însă posibil ca această apă să fie reținută în jurul fibrelor ceea ce conduce la reducerea aderenței dintre fibre și beton.

Incercările privind tendința de segregare stabilesc că fibrele reduc tendința de segregare.

S-a demonstrat că betonul proaspăt cu fibre de oțel are o coeziune mai mare, fibrele contribuind la mărirea frecării interne. Aceasta conduce la reducerea presiunii laterale pe cofraje, rezultând economii de cofraje.

4.2. Caracteristici ale betonului întărit

4.2.1. Aderența dintre fibre și beton

Performanțele betonului cu fibre de oțel depind de aderența dintre fibre și beton. Distribuția efortului unitar de aderență, în lungul fibrelor, a fost arătată la pct.3.4.2. În cele ce urmează se vor prezenta valori experimentale ale efortului unitar mediu de aderență, obținute de diverși cercetători.

După cum s-a văzut la pct.3.4.1, Swaney /92/ a obținut pentru efortul unitar mediu de aderență valori de $3,57 \text{ N/mm}^2$, în stadiul de apariție a primei fisuri și $4,15 \text{ N/mm}^2$, în stadiul limită. În altă lucrare /96/ același autor dă valori de $5,40 \text{ N/mm}^2$ pentru mortar cu fibre de oțel și de $6,8 - 8,3 \text{ N/mm}^2$ pentru betoane armate cu fibre de oțel.

Incercări experimentale, interesante, privind stabilirea efortului unitar mediu de aderență au fost efectuate de Dehousse /31/. Pentru stabilirea aderenței fibrelor de oțel la diverse materiale a folosit epruvete în formă de opt la care una din jumătăți a fost confecționată din rășini iar cealaltă din materialul matricei cercetate. Fibrele au avut diametrul de $0,35 \text{ mm}$, lungimea de 30 mm , cu și fără ciocuri. Rezultatele obținute sînt date în tabelul 4.1. În cazul în care matricea a fost confecționată din rășini s-a produs ruperea fibrelor; în celelalte cazuri s-a produs smulgerea fibrelor. Dehousse compară rezultatele sale cu cele obținute de Den Boer, care a obținut eforturi unitare medii de aderen-

Tabelul 4.1

Efortul de aderență mediu între fibrele de oțel și matrice

Materialul matricei	Efortul tangențial mediu de aderență τ_m (N/mm ²)	
	Fibre de oțel netede	Fibre de oțel cu ciocuri
Rășină	8,70	9,40
Mortar 2/3	2,60	5,30
Mortar 1/3	1,84	3,85
Microbeton	0,82	3,70

țã a fibrelor la beton de 0,6 - 1,2 N/mm².

Cercetările efectuate de Naaman și Shah /65/ au pus evidență influența orientării și a numărului fibrelor de oțel asupra aderenței lor cu matricea. Se constată din fig.4.4, că înclinarea fibrelor, față de direcția forței de smulgere, are o influență mare asupra încărcării finale (fig.4.4.a). Lucrul mecanic consumat pentru smulgerea fibrelor (fig.4.4.a) crește cu înclinarea fibrelor pînă la o valoare maximă, atinsă la 45°, apoi scade (fig.4.4.b).

Modul în care numărul fibrelor influențează aderența se poate urmări în fig.4.5. Raportul r_{60} , din fig.4.5.a. reprezintă lucrul mecanic de smulgere al fibrelor înclinate la 60° (valoarea medie care revine pentru o singură fibră) / lucrul mecanic de smulgere al unei singure fibre înclinată la 60°; raportul r_0 reprezintă lucrul mecanic de smulgere a fibrelor înclinate la 60° / lucrul mecanic al unei singure fibre paralele cu forța de smulgere. Variațiile din figura 4.5 cît și datele din lucrarea /65/ arată că:

- la încercarea de smulgere pe un număr crescător de fibre (1 la 36 pe o suprafață de cca 600 mm²) s-a constatat că, în cazul în care forța de smulgere este paralelă cu fibrele, nu există o scădere sensibilă a încărcării maxime și a lucrului mecanic pe fiecare fibră, comparativ cu datele obținute prin încercarea unei singure fibre;

- la încercarea de smulgere pe un număr crescător de fibre, la care forța de smulgere a fost înclinată cu 60° față de

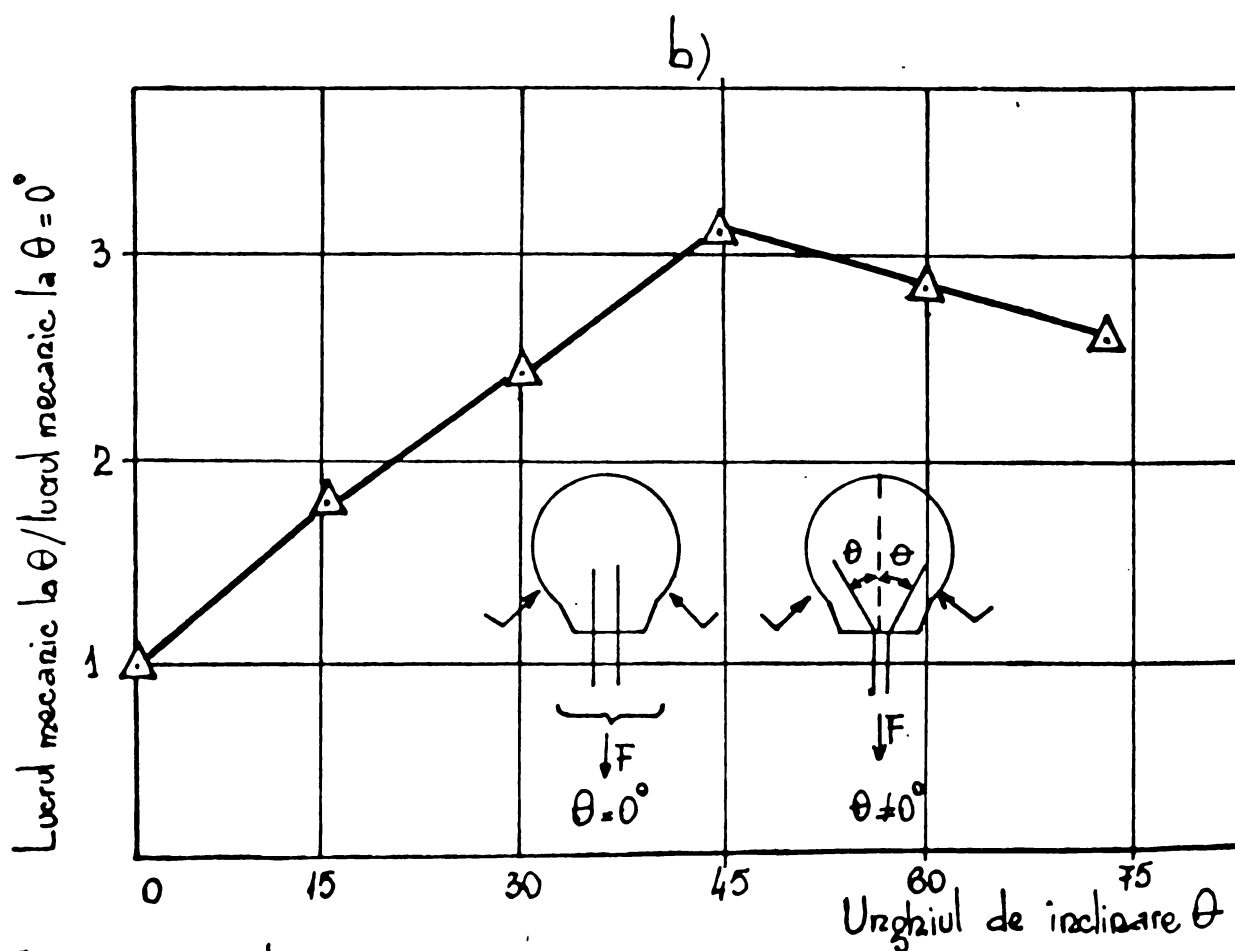
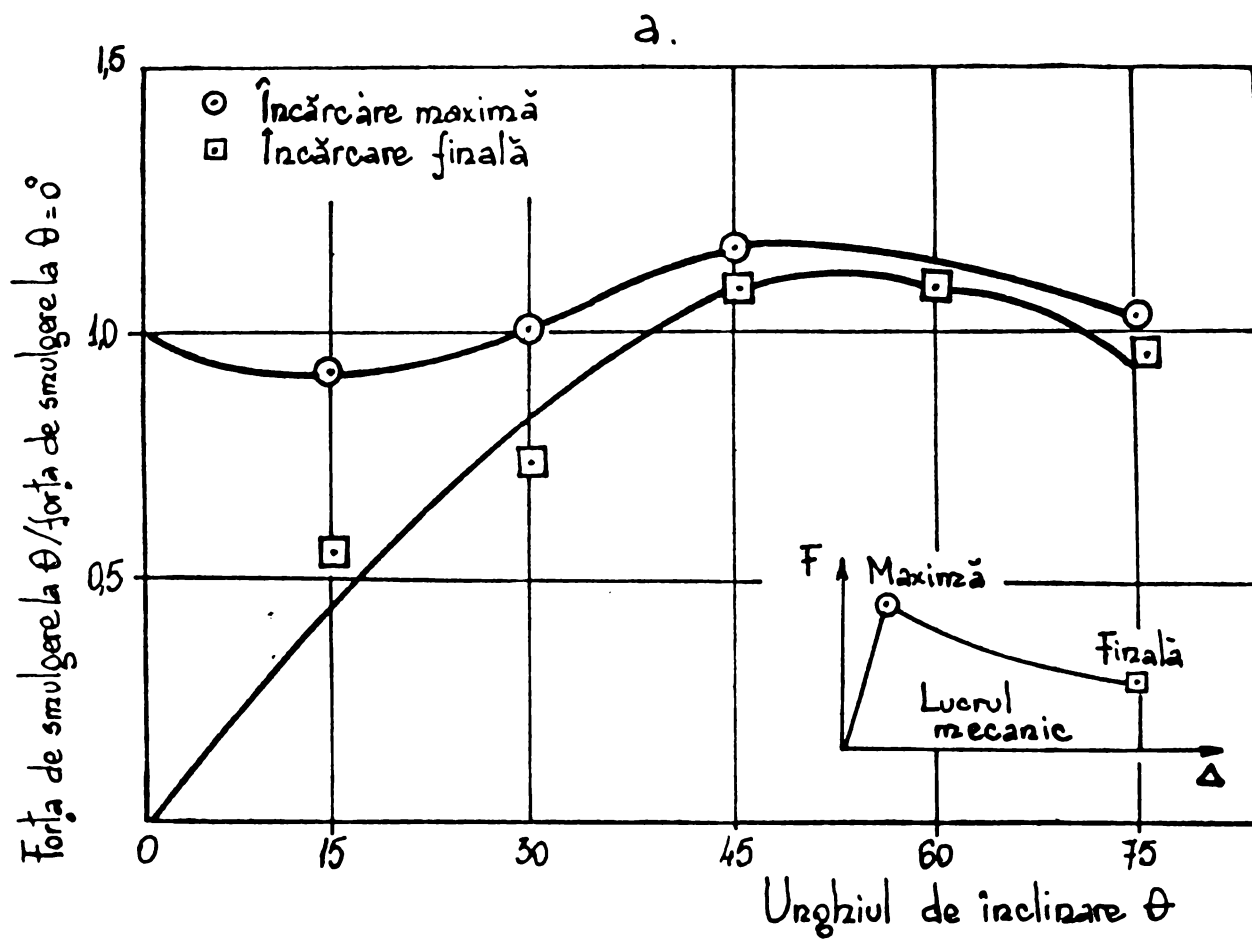


Fig.4.4. Influența orientării fibrelor de oțel asupra aderenței /65/: a- forța de smulgere; b- lucrul mecanic de smulgere.

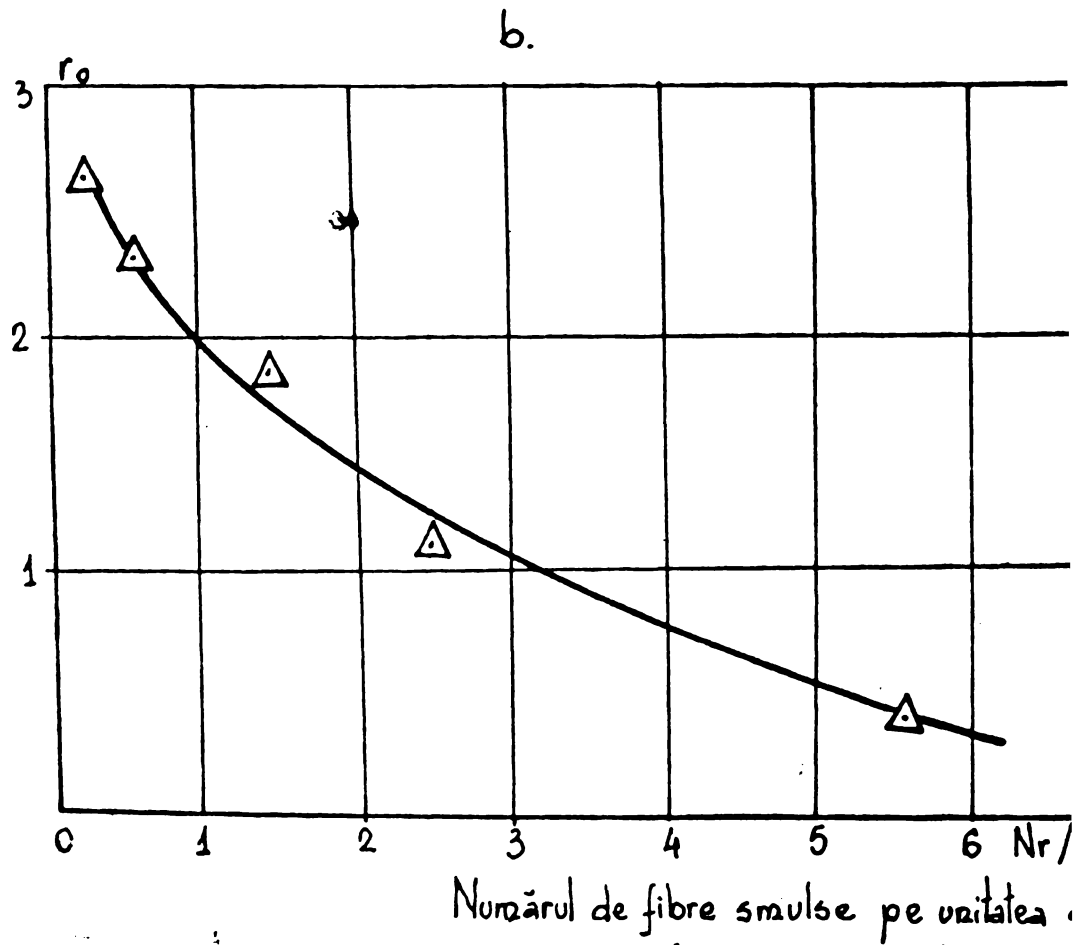
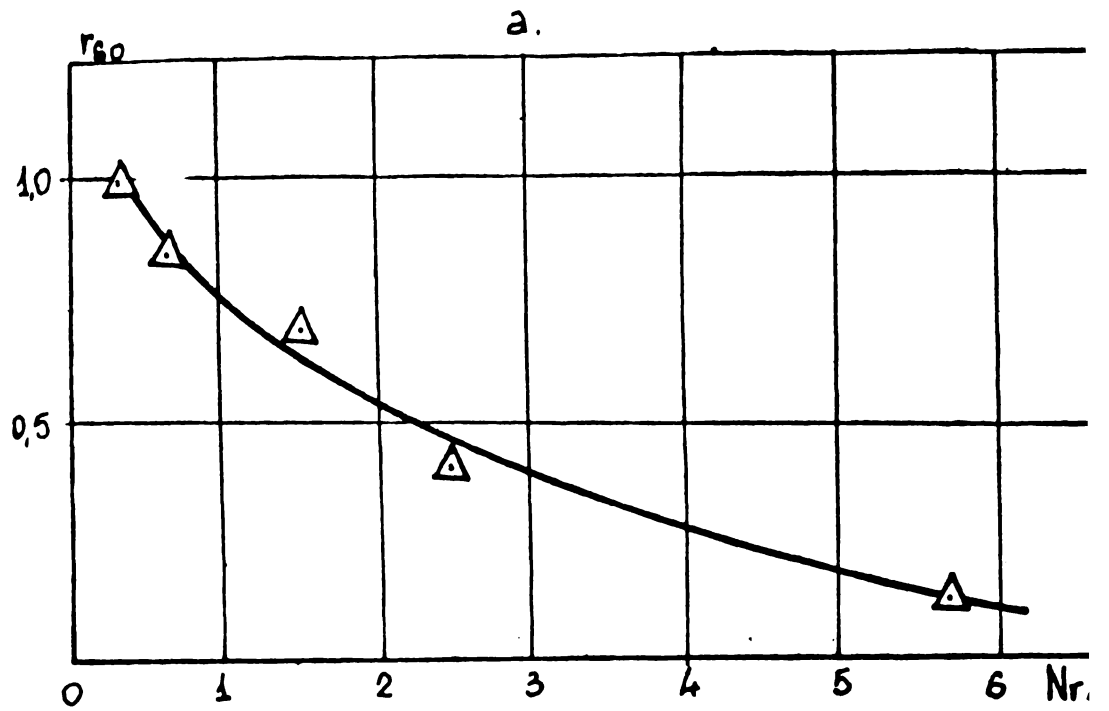


Fig.4.5. Aderența fibrelor de oțel, funcție de numărul lor.

direcția fibrelor, s-a constatat că încărcarea maximă, deplasarea smulgere și lucrul mecanic de smulgere, calculate pentru o fibră d cresc foarte mult cu creșterea numărului de fibre.

Rezultatele prezentate anterior se referă la fibre de

oțel cu lungimea de 25,4 mm și diametrul de 0,4 mm; lungimea încas-trată și supusă smulgerii a fost de 12,5 mm. Intrucît încărcarea maximă de smulgere a fost de 4,5 N, pentru o singură fibră, rezultă că efortul unitar mediu de aderență este de $\tau_m = 0,3 \text{ N/mm}^2$, valoarea mai mică decît în celelalte cercetări prezentate, datorită pro-babil lungimii mici a fibrelor.

Din cercetările efectuate de Maage /61/ rezultă: creș-terea efortului unitar de aderență la fibrele deformatate mecanic; va-lori neschimbate ale efortului unitar de aderență pe fiecare fibră la creșterea numărului de fibre paralele și supuse la smulgere; creșterea efortului unitar de aderență pînă la un maxim și apoi des-creșterea acestuia cînd unghiul dintre fibre și direcția forțelor de smulgere crește.

Cercetări însemnate privind aderența fibrelor de oțel (drepte, cu ciocuri, tip "Duoform") la pasta sau mortarul de ciment sînt prezentate și în lucrarea /47/. Concluziile sînt asemănătoare cu cele prezentate anterior.

Datele din literatura de specialitate arată că aderen-ța fibrelor de oțel la beton este influențată de: natura suprafeței, prezența ciocurilor sau a altor proeminente, raportul lungime/diame-trul fibrelor (l/d), cît și de proprietățile de aderență ale matri-cei.

După cum s-a prezentat în capit.3, relația (3.42), efortul de aderență influențează lungimea critică a fibrelor (l_c). Introducînd valori medii pentru fibrele de oțel de $\sigma_{fr} = 1000 \text{ N/mm}^2$ rezultă raportul $l_c/d = 500$. Această valoare nu poate fi atinsă în practică, datorită imposibilității de încorporare a fibrelor în be-ton, ceea ce înseamnă că la ruperea elementelor din beton cu fibre de oțel rotunde fără ciocuri se produce smulgerea fibrelor.

Efortul de aderență influențează de asemeni și rapor-tul minim l/d pentru stadiul de apariție al primei fisuri. Introdu-cînd în relația (3.46) valorile: $E_f/E_b = 6$, $R_t = 2,7 \text{ N/mm}^2$ (B 400) și $\tau_m = 1 \text{ N/mm}^2$, va rezulta $l/d = 16,2$; pentru rapoarte egale sau mai mari nu se va produce smulgerea fibrelor în stadiul de apariție a primei fisuri. Dacă raportul l/d este mai mic decît 16,2 fibrele nu mai au efect asupra comportării post-fisurare, elementele de be-ton cedînd imediat după apariția primei fisuri (similar cu elemente-le de beton simplu).

4.2.2. Rezistențele betonului cu fibre de oțel

4.2.2.1. Rezistența la întindere

Rezistența la întindere a betonului armat cu fibre de oțel este sensibil îmbunătățită față de cea a betonului simplu. Din acest motiv cele mai multe cercetări experimentale au urmărit valoarea rezistenței la întindere și influența diversilor parametri asupra acestei rezistențe. Rezistența la întindere a fost determinată prin încercări directe (întindere centrică) cit și prin încercări indirecte (încovoiere sau desplicare).

Rezistența la întindere centrică

Încercările efectuate pentru determinarea acestei rezistențe sînt mai puțin numeroase /31/, /33/, /49/, /66/. Cele mai complete cercetări au fost efectuate de Johnston și Coleman /S-au utilizat epruvete cilindrice ($d = 10$ cm, $h = 15$ cm) și prismă (10 x 10 x 75 cm), armate cu fibre de secțiune circulară ($d = 0,25$ mm și $d = 0,41$ mm), dreptunghiulară (0,25 x 0,50 mm), și de tip "Deoforn" (20% circulare și 80% deformate). Fibrele au avut lungi cuprinse între 12,5 și 84 mm, fiind introduse într-un procent de mare volumetric $p = 0,3 \dots 1,85$ % ($p_g = 1 \dots 6$ %), într-un mortar raportul ciment/sisip = 1/3 și A/C = 0,55. Rezultatele acestei cercetări sînt prezentate în fig.4.6, creșterea rezistenței la întindere fiind reprezentată în funcție de parametrul $p_g (\ell/d)^{1/2}$ (fig.4.6-a) $p_g (\ell/d)$ (fig.4.6-b); pe figuri sînt trasate și dreptele de regresie pentru care au fost scrise ecuațiile corespunzătoare.

Ecuațiile dreptelor de regresie se pot transpune sub forma raportelor dintre rezistențe (r_2) rezultînd:

- funcție de parametrul $p_g (\ell/d)^{1/2}$

$$r_2^f = \frac{R_2^f}{R_2} = 1,0077 + 0,0156 p_g (\ell/d)^{1/2} \quad (4.1)$$

- funcție de parametrul $p_g (\ell/d)$

$$r_2^f = \frac{R_2^f}{R_2} = 0,994 + 0,16 p_g \cdot \ell/d \quad (4.2)$$

în care:

R_2 este rezistența la întindere a betonului simplu;

R_t^f - rezistența la întindere a betonului armat cu fibre de oțel;

μ - coeficientul de armare volumetric;

l, d - lungimea și diametrul fibrelor.

Se constată că influența fibrelor asupra rezistenței la întindere directă este cu mult mai mică decât asupra rezistenței la întindere din încovoiere (v.fig.3.6 - dreapta r_2); de exemplu

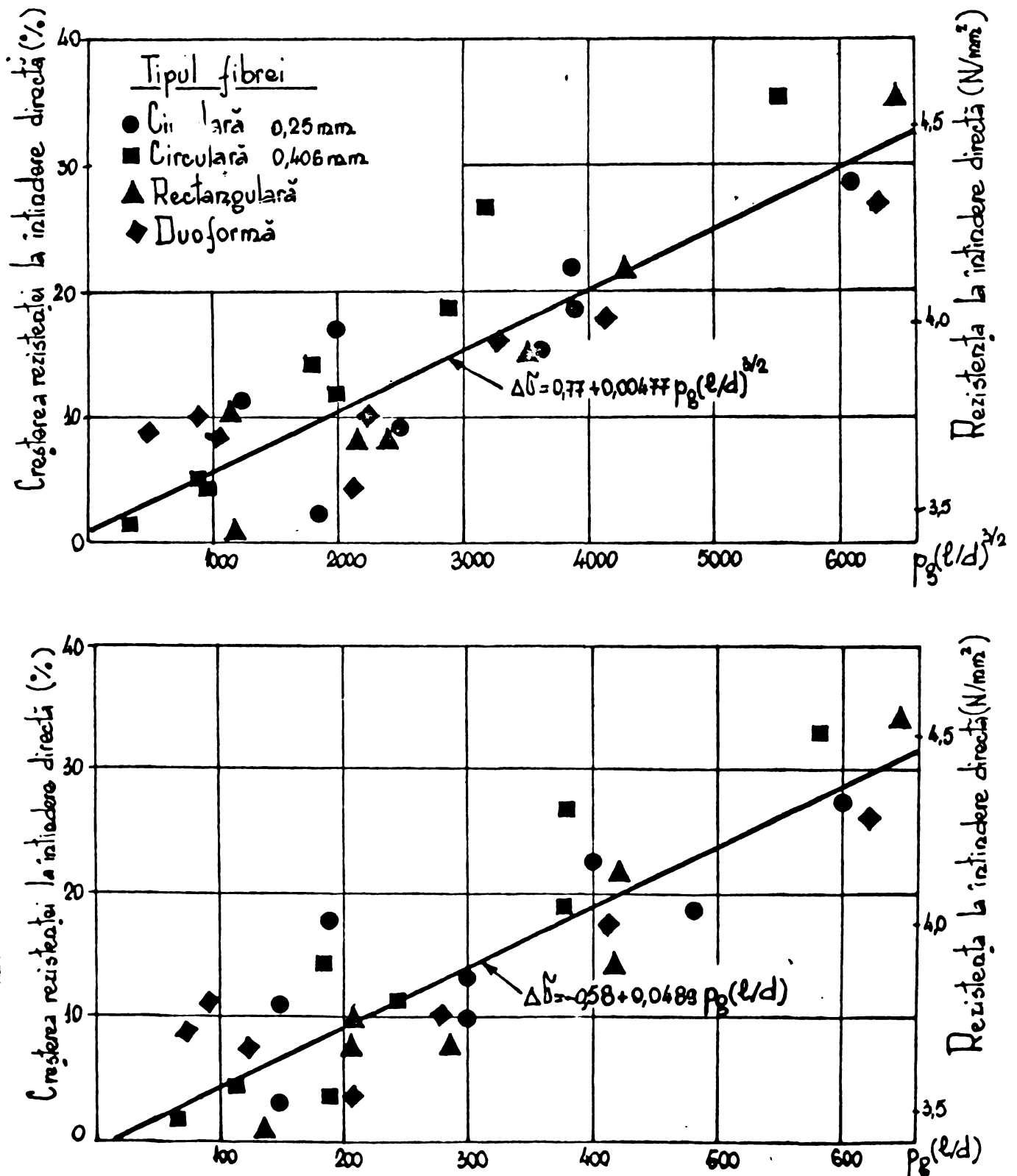


Fig.4.6. Creșterea rezistenței la întindere, în funcție de parametrii: a- $p_g(l/d)^{3/2}$, b- $p_g(l/d)$.

pentru $l/d = 100$ și $\mu = 0,015$, creșterile sînt de aproximativ 1,1 ori pentru rezistența la întindere din încovoiere și de numai 1,2 ori pentru rezistența la întindere directă.

Dehouse arată că în majoritatea cazurilor sporul rezistenței la întindere directă nu a depășit 25% pentru un procent de armare volumetric de 2,5% /31/. La aceeași concluzie s-a ajuns și lucrarea /33/.

Se apreciază că influența fibrelor de oțel asupra rezistenței la întindere directă este mică, sporul maxim fiind de 25 - 30%, astfel că prin prisma acestei rezistențe armarea cu fibre de oțel se dovedește a fi de importanță practică prea mică.

Rezistența la întindere din încovoiere

Influența substanțială pe care fibrele de oțel o au asupra rezistenței la întindere din încovoiere a condus la numeroase cercetări, în această direcție. Se poate aprecia că această rezistență are pentru betonul cu fibre de oțel o semnificație asemănătoare cu rezistența la compresiune (marca) pentru betonul simplu, indicând calitatea betonului cu fibre. În cele ce urmează sînt prezentate cercetări semnificative privind valorile obținute pentru rezistența la întindere din încovoiere, în corelație cu parametrii care o influențează.

Variația raportului r_1 , dintre rezistența la întindere din încovoiere a elementelor armate cu fibre de oțel și a elementelor nearmate pentru stadiul limită, este reprezentată în fig.4.7., în funcție de parametrul $\mu l/d$ ($\mu_y l/d$). Valorile experimentale au fost preluate din lucrările /48/, /60/.

Pentru comparație sînt reprezentate pe aceeași diagramă și variațiile teoretice ale lui r_1 date de relația (3.8) pentru $R_{t1} = 4 \text{ N/mm}^2$ și $R_{t1} = 6 \text{ N/mm}^2$ și a lui r_2 dată de relația (3.17). Se observă că variația teoretică a lui r_1 pentru $R_{t1} = 6 \text{ N/mm}^2$ și a lui r_2 se apropie considerabil de media datelor experimentale.

Constatăriile celor mai mulți cercetători evidențiază că rezistența la întindere din încovoiere, ca de altfel și celelalte caracteristici mecanice, nu cresc proporțional cu parametrul $\mu l/d$ indiferent de valoarea acestuia. La valori mari ale parametrului $\mu l/d$ lucrabilitatea betonului cu fibre de oțel, cît și uniformitatea distribuției fibrelor, se înrăutățesc considerabil și ca urmare creșterea rezistențelor mecanice se diminuează. Pe această

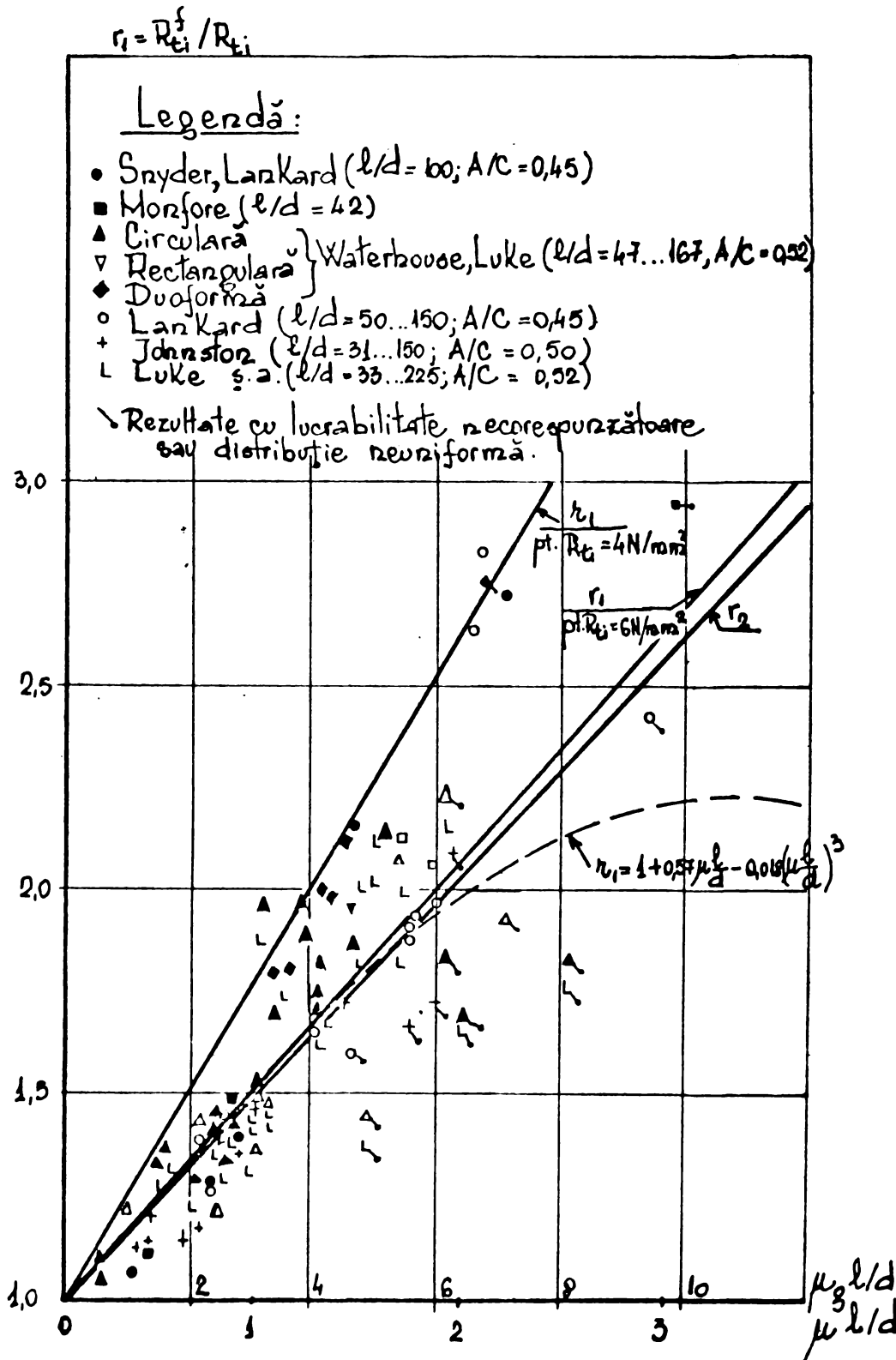


Fig.4.7. Variația rezistenței relative la întindere din încovoiere ($r_1 = R_{ti}^f / R_{ti}$), pentru stadiul limită, a betoanelor cu fibre de oțel.

bază în lucrarea /9/ se propune următoarea relație pentru rezistența relativă la întindere din încovoiere a elementelor lineare de beton armat cu fibre de oțel (reprezentată cu linie întreruptă în fig.4.7)

$$r = 1 + 0,57 \mu l/d - 0,018 (\mu l/d)^3 \quad (4.3)$$

sau

$$r = 1 + 0,174 \mu_g \ell/d - 0,00052 (\mu_g \ell/d)^3 \quad (4,4)$$

în care:

$$r = R_{ti}^f / R_{ti}$$

μ_g - coeficienții de armare volumetric și masic,
 ℓ, d - lungimea și diametrul fibrelor

Rezultatele prezentate în fig.4.7. au împrăștierei de tul de mari. Aceasta se poate datora și faptului că parametrul $\mu \ell/d$ nu introduce influența unor parametri ca: valoarea și modul de distribuție ale eforturilor unitare de aderență, modul de orientare a fibrelor, distribuția eforturilor unitare pe secțiunea transversală de beton, omogenitatea betonului ș.a.

Creșteri mai mari ale rezistenței la întindere din încovoiere, față de cele prezentate în fig.4.7, au fost atinse prin utilizarea unor fibre cu căocuri, ondulate, sau amprentate. Prin utilizarea unor fibre cu ciocuri sau ondulate Dehousse a obținut, în Belgia o creștere îmbunătățită a rezistenței la încovoiere, după cum rezultă din datele de mai jos /30/, /31/:

$\mu \ell/d$:	0,5;	1;	1,5;	2,0.
r_1 :	1,5;	2,3;	3,1;	3,5.

Cercetările efectuate de autor /6/ cu sîrme amprentate au condus la spor mediu al rezistenței la întindere din încovoiere de 15-20% față de cazul utilizării sîrmelor netede.

Valori teoretice și experimentale privind rezistența la întindere din încovoiere la apariția primei fisuri (R_{ti-fis}^f) sînt prezentate în fig.4.8, unde raportul $r_{1-fis} = R_{ti-fis}^f / R_{ti}$ s-a reprezentat tot în funcție de parametrul global $\mu \ell/d$. În fig.4.8 valori experimentale au fost luate după Luke ș.a. /60/ și Snyder și Lankar /90/, iar variațiile teoretice reprezintă ecuațiile (3.7) - linii pline și (3.9) - linie întreruptă.

Datele experimentale fiind puține nu permit a se trage concluzii ferme privind rezistența la întindere în momentul apariției primei fisuri. De asemeni comparația cu datele teoretice ar fi atacabilă întrucît în relațiile (3.7) și (3.9) coeficienții numerici au fost deduși din alte date experimentale, care, de asemenea, au fost în număr mic.

După cum s-a arătat la pct.3.4.1 rezistența la întindere din încovoiere este în strînsă legătură cu intervalul dintre fibre (S_x). Corelația dintre intervalul dintre fibre cu valorile rela

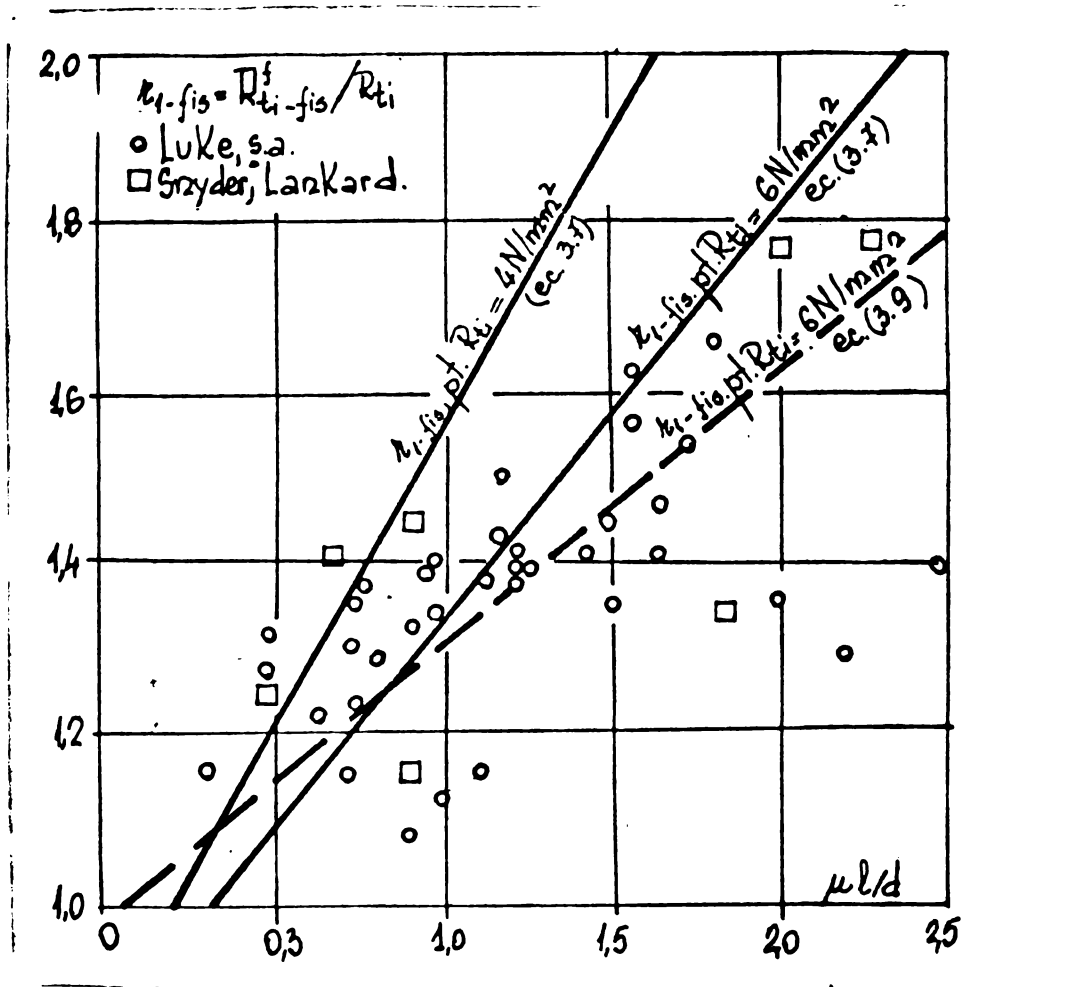


Fig.4.8. Variația rezistenței relative din încovoiere, la apariția primei fisuri, ($r_{1-fis} = R_{ti-fis}^f / R_{ti}$), a betoanelor armate cu fibre de oțel.

tive ale rezistențelor la întindere din încovoiere la apariția primei fisuri, (r_{1-fis}), este dată în fig.4.9.a, iar cu valorile relative ale rezistențelor relative din încovoiere, la starea limită, (r_1), în fig.4.9.b.

Datele din figurile 4.9. a și b sînt preluate după Swaney ș.a. /92/. Se constată că între curbele teoretice, stabilite după relațiile diferiților autori, și datele experimentale există o bună corelație, ceea ce demonstrează că intervalul dintre fibre este un parametru de importanță practică.

Din datele experimentale prezentate rezultă că influența fibrelor de oțel asupra rezistenței la întindere din încovoiere este substanțială. Rezistența la întindere din încovoiere la apariția primei fisuri poate fi mărită pînă la 1,8 ori iar la starea limită pînă la 2,5 ori, față de rezistența la întindere din încovoiere a betonului simplu (matricei).

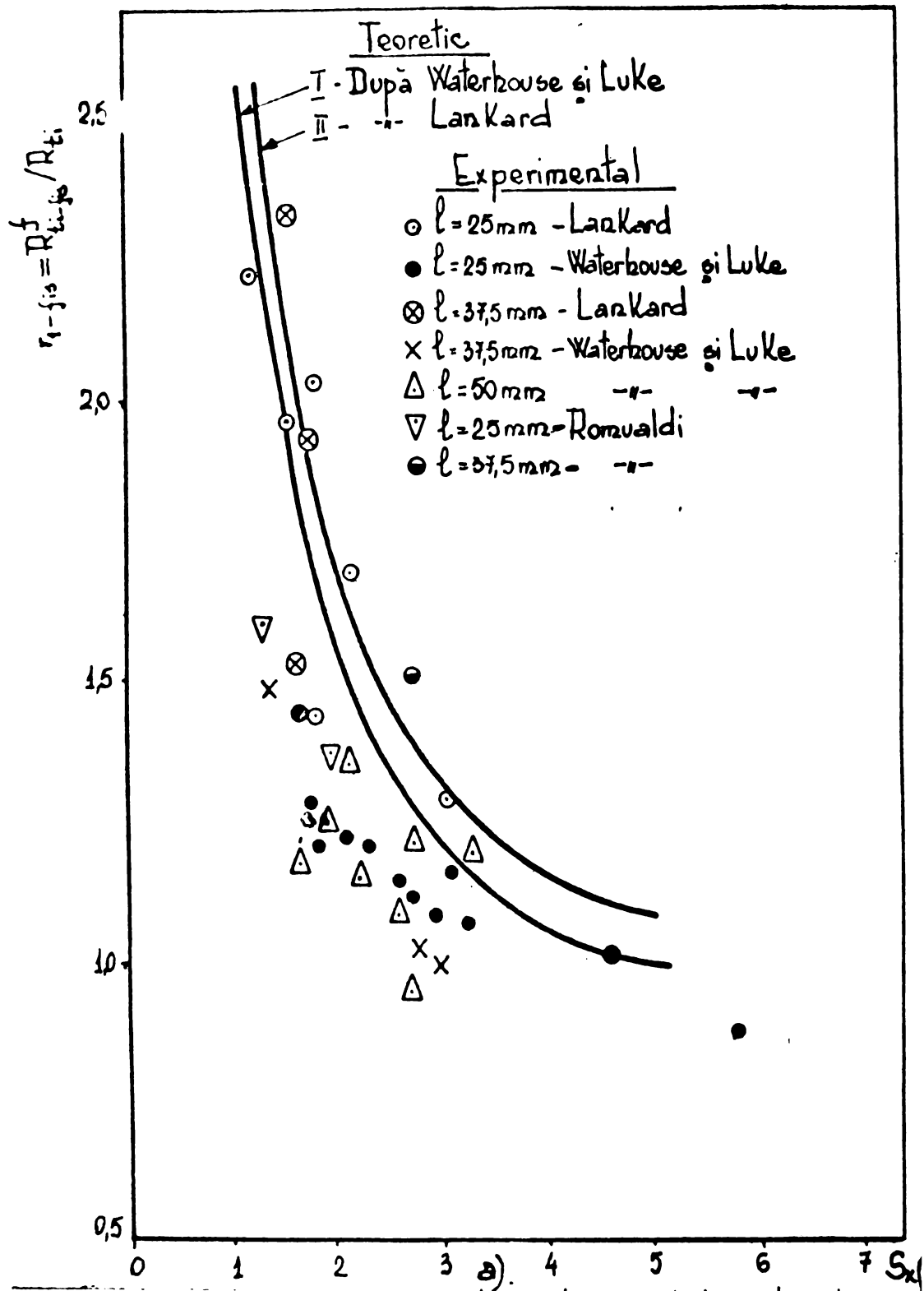


Fig.4.9. Corelația dintre intervalul dintre fibre și valorile relative ale rezistențelor la întindere din încovoieră la:

a - apariția primei fisuri

Rezistența la întindere prin despicare

Datele experimentale privind rezistența la întindere prin despicare sînt puține /30/, /48/. Valorile prezentate de

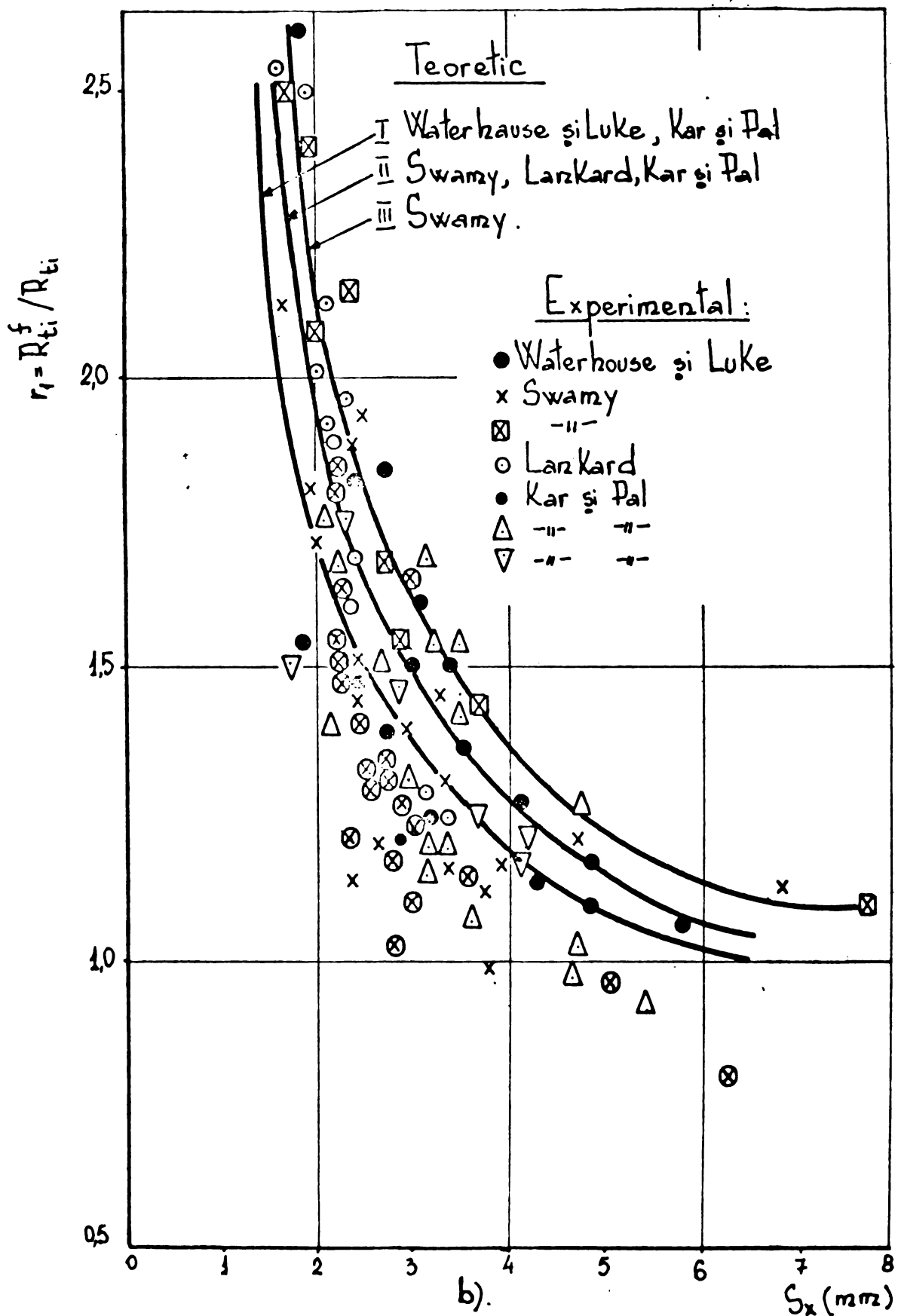


Fig.4.9. Corelația dintre intervalul dintre fibre și valorile relative ale rezistențelor la întindere din încovoiere la:
b - starea limită

Johnston /48/, arată că betoanele cu fibre de oțel au rezistența la întindere prin despicare cu 10... 60% mai mare decât cea a betoanelor nearmate. Datele prezentate de Dehousse ș.a./30/ arată sporuri ale acestei rezistențe de 1,4 ... 3,5 ori. De menționat însă că Dehousse a utilizat fibre cu ciocuri și fibre ondulate, sporurile cele mai mari fiind obținute pentru fibrele cu ciocuri la ambele capete.

4.2.2.2. Rezistența la compresiune

Toate încercările la compresiune au arătat că efectul armării cu fibre de oțel asupra rezistenței la compresiune este mai mic decât în cazul celorlalte caracteristici ale mortarelor și betoanelor.

În fig.4.10 sînt prezentate datele experimentale col...

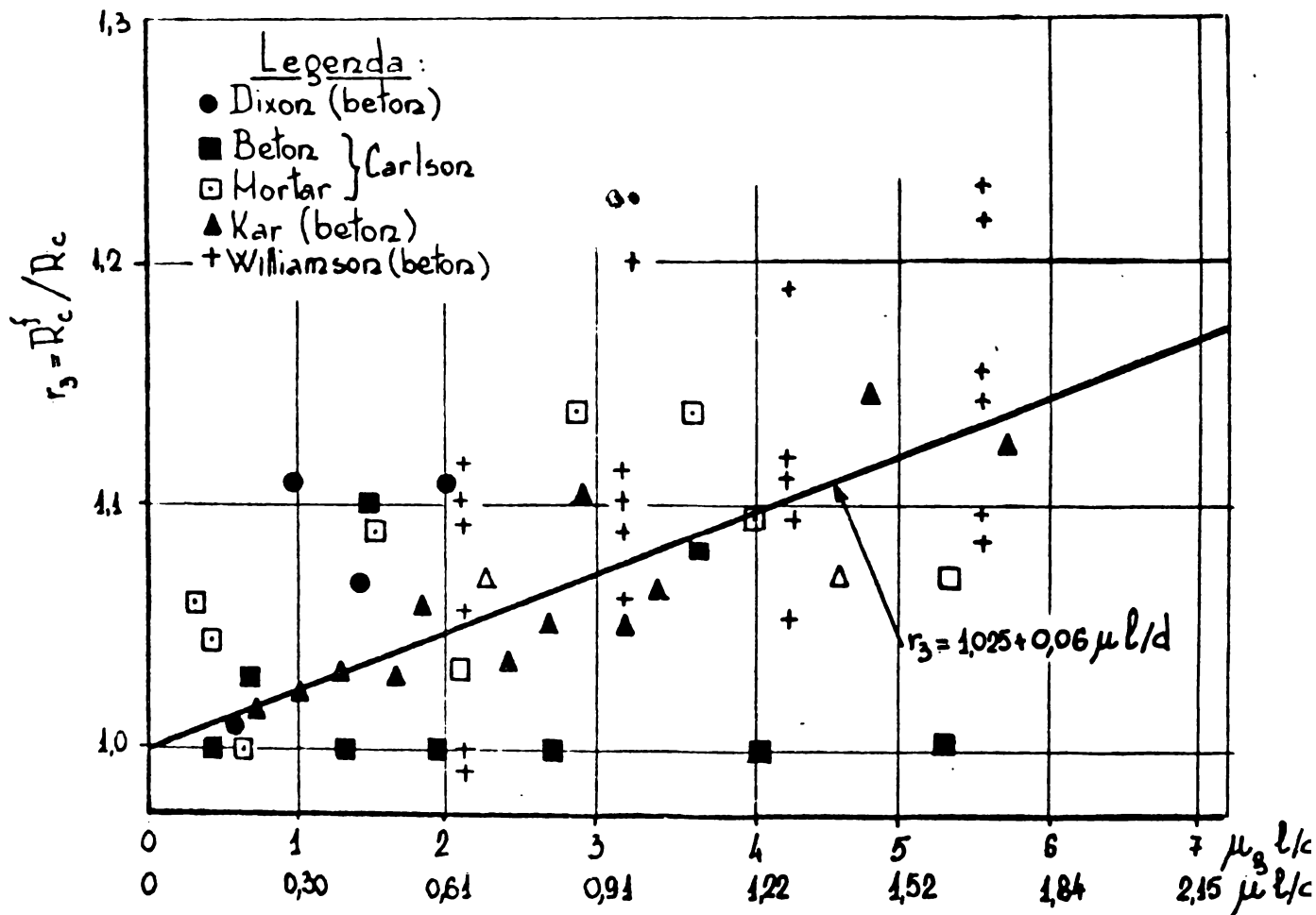


Fig.4.10. Rezistența relativă la compresiune a betoanelor armate cu fibre de oțel.

tate de Johnston /48/, variația rezistenței relative la compresiune ($r_3 = R_3^f / R_c$) fiind reprezentată în funcție de parametrul global μl . Se observă împrăștierea mare ale rezultatelor experimentale și că sp...

rile de rezistență nu depășesc 30%. Ecuația variației teoretice prezentată în fig.4.10 a fost stabilită în lucrarea /9/.

4.2.2.3. Rezistența la tăiere

Din datele disponibile rezultă că determinarea directă a rezistenței la tăiere a betoanelor armate cu fibre de oțel nu a fost efectuată pînă în prezent. Cu toate acestea trebuie menționat faptul că Williamson și Knab /103/ au utilizat fibre de oțel în grinzi cu armătură flexibilă pentru mărirea capacității de rezistență a acestora la acțiunea forțelor tăietoare. Au fost încercate patru grinzi de 30,5 x 54,6 x 701 cm armate identic în zona întinsă, armarea la tăiere fiind diferită: o grindă fără armătură transversală, o grindă cu etrieri și două grinzi armate cu fibre de oțel în procent volumetric de 1,5%. Fibrele de oțel au dus la sporirea efortului unitar limită la tăiere cu 39% și a capacității portante a grinzilor cu 42% față de grinda fără armătură transversală. Grinda armată cu etrieri a avut o capacitate portantă mai mare cu 13% față de grinzile armate cu fibre și cu 51% față de grinda fără armătură transversală.

4.2.2.4. Rezistența la șoc (impact)

Deși fibrele de oțel aduc o îmbunătățire substanțială a rezistenței la șoc, totuși datele experimentale disponibile sînt destul de puține. În fig.4.11 sînt date valorile experimentale rezultate din încercările lui Johnston /48/.

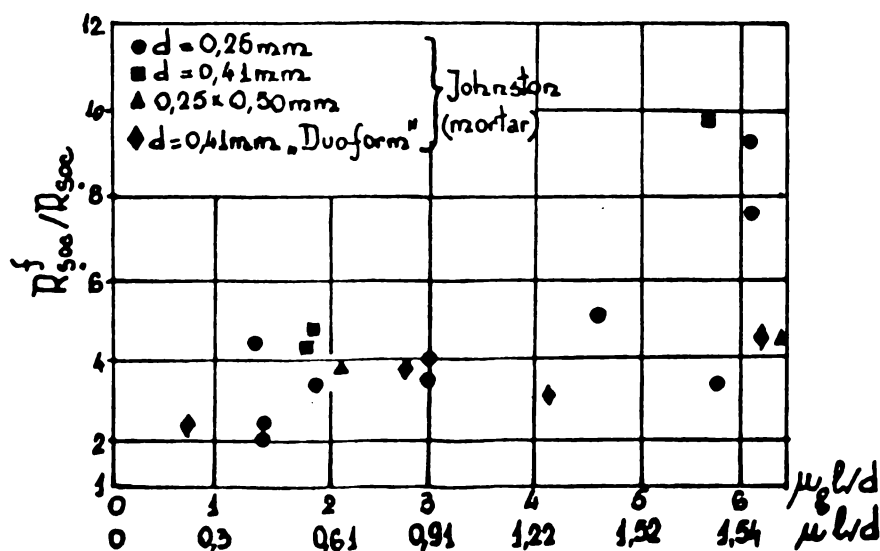


Fig.4.11. Rezistența relativă la șoc a betoanelor armate cu fibre de oțel

Se constată că rezistența la șoc a elementelor armate cu fibre de oțel crește cu 2 - 10 ori față de rezistența la șoc a elementelor nearmate. Pentru $\mu l/d = 0,5 \dots 1$ creșterea rezistenței la șoc este de 2-4 ori, pentru $\mu l/d = 1,0 \dots 1,5$ de 3 - 6 ori, iar pentru $\mu l/d = 1,5 \dots 2$ de 4-8 ori.

Valori ridicate ale rezistenței la șoc au fost obținute și de Edgington /33/, care a introdus în beton sau mortar fibre amprentate ("Duoform") sau ondulate. Rezultatele obținute și

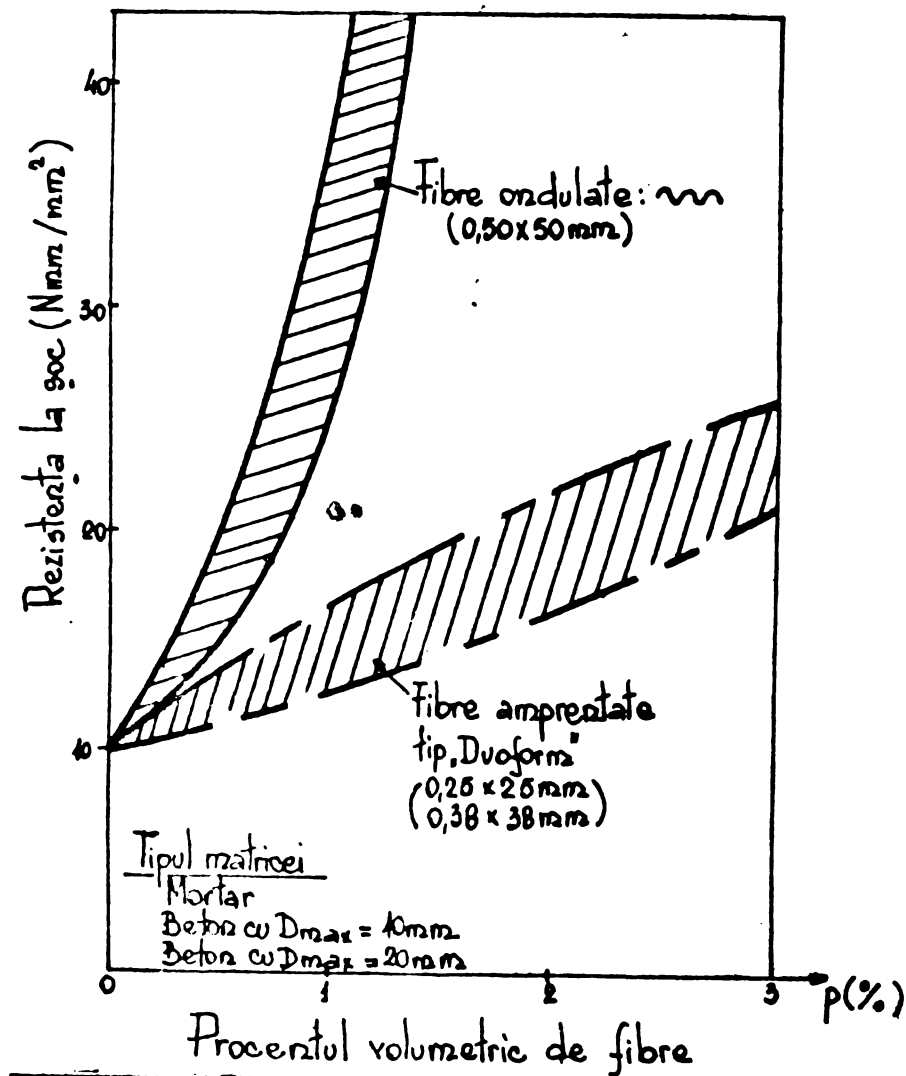


Fig.4.12. Rezistența la șoc a mortarelor și betoanelor armate cu fibre de oțel.

prezentate în fig.4.12. Pentru determinarea rezistenței la șoc s-a folosit un ciocan pendular de tipul celui utilizat în mod frecvent pentru determinarea rezilienței oțelului. Valorile obținute pentru fibrele "Duoform" sînt ceva mai mici decît cele prezentate în fig. 4.11.

O comparație privind influența formei fibrelor asupra

rezistenței la șoc este făcută și în lucrarea /76/. Se arată că în cazul utilizării unor fibre cu capete deformate (cu ciocuri) rezistența la șoc este cu 500% mai mare decât în cazul utilizării fibrelor drepte; trebuie menționat că lucrabilitatea bună a betonului cu fibre cu ciocuri a fost asigurată de faptul că acestea au fost inițial lipite în mănunchiuri cu un adeziv solubil în apă.

4.2.2.5. Rezistența la acțiuni ciclice (oboseală)

Încercările la încărcări ciclice a elementelor armate cu fibre de oțel arată că rezistența la oboseală crește odată cu creșterea procentului volumetric de fibre /12/, /30/, /31/, /96/ /99/.

În lucrarea /12/ se arată că pentru elemente armate cu 2-3 % fibre de oțel supuse la 2×10^6 cicluri ondulate (pulsatorii) rezistența la oboseală reprezintă 90% din rezistența la apariția primei fisuri, iar la 10×10^6 cicluri reprezintă 50% din aceeași rezistență. Pentru același tip de elemente, dar supuse la 2×10^6 cicluri alternante rezistența la oboseală reprezintă 73% din rezistența la apariția primei fisuri. Rezistența la încovoiere la încărcări statice a elementelor, după ciclurile de oboseală, a fost cu 10-20% mai mare decât a grinzilor similare nesupuse la oboseală; această comportare este explicată prin reducerea de către ciclurile de oboseală a eforturilor unitare interne, generate de contracția matricii.

În tabelul 4.1. sînt prezentate rezultatele obținute

Tabelul 4.1

Rezultatele încercărilor la oboseală /30/

Compoziția mortarului	Procentul volumetric de fibre, p (%)	Efortul mediu de rupere la întindere (N/mm ²)	Numărul mediu de cicluri dinaintea rupei
1/3	0	3,4	1750
	0,75	8,3	15300
	1,50	10,2	>30.000
	2,25	11,8	>30.000
1/2	0	5,1	1.843
	0,75	9,3	20.080
	1,50	11,0	>30.000
	2,25	13,6	>30.000
2/3	0	5,3	3.240
	0,75	10,5	>30.000
	1,50	13,5	>30.000
	2,25	17,8	>30.000

de Debussé ș.a. /30/ în Belgia privind încercările la oboseală prin încovoiere asupra unor mortare armate cu fibre de oțel. Încărcarea a avut o variație sinusoidală între 0,25 și 0,60 din încărcarea medie de rupere la încovoiere stabilită pe același tip de epruvete ca cele încercate la oboseală. Din datele prezentate se constată că fibrele de oțel ameliorează considerabil rezistența la oboseală. Pentru un procent de armare volumetric de 1,5% numărul de cicluri de încărcare a fost de cel puțin 10 ori mai mare la epruvetele armate decât la cele martor.

4.2.2.6. Rezistența la uzură

Încercarea unor epruvete armate cu 2,5% fibre de oțel în volum și a unor epruvete martor nearmate /9/ arată că grosimea uzată a epruvetelor armate a fost cu 27% mai mică. Pentru uzură s-a utilizat procedeul suflării cu nisip grosier.

Rezistența la uzură prin rulare sau derezare, simulată prin încercări de abraziune și eroziune, este cu până la 15% mai mare în cazul elementelor armate cu fibre de oțel, decât în cazul celor nearmate, în condițiile unor suprafețe uscate, umede sau supuse la îngheț-dezghet /12/.

4.2.2.7. Rezistența la îngheț-dezghet

Date concrete privind această rezistență sînt foarte puține. Debussé /30/ concluzionează, fără a prezenta detalii, că un mortar cu fibre de oțel nu a suferit nici o modificare după efectuarea a 25 de cicluri de îngheț-dezghet. Tot el, în altă lucrare /31/, indică performanțe duble a betonului cu fibre de oțel față de betonul simplu în ceea ce privește comportarea la îngheț-dezghet, fără a prezenta date concrete.

Rezultatele proprii privind rezistența la îngheț-dezghet a betonului armat cu fibre de oțel sînt prezentate în cap.6.

O aplicație hidrotehnică a betonului armat cu fibre de oțel, în care betonul este supus la îngheț pronunțat este menționat în lucrarea /98/ (v.pct.5.1) concluzionîndu-se că acest beton și-a păstrat calitățile după 5 ani de exploatare.

4.2.3. Deformațiile betonului cu fibre de oțel

4.2.3.1. Contractia și curgerea lentă

Prezența fibrelor influențează în mică măsură

contractia și curgerea lentă, aceste caracteristici fiind specifice betonului (matricii).

Incercări efectuate, timp de 3 luni, pe mortare cu un conținut volumetric de 2-3% fibre de oțel arată că prezența fibrelor de oțel nu a afectat cu nimic valoarea deformației din contracție /33/. Incercări efectuate de Swamy /96/ pe betoane cu fibre de oțel demonstrează că prezența fibrelor realizează o reducere a deformației din contracție cu cca 10%. Se menționează însă că mai important decât efectul de reducere a deformației din contracție îl reprezintă efectul de reducere al fibrelor de oțel asupra deschiderii fisurilor din contracție.

Efectul de limitare a deschiderii fisurilor pe care îl creează prezența fibrelor, contribuie la micșorarea deschiderii și uniformizarea fisurilor în cazul contracției împiedecate a elementelor de beton. Experimentările efectuate de Elvery și Samarai /34/ pe prisme, care aveau înglobată o bară în axul geometric, au arătat că la epruvetele care nu au fost armate și cu fibre de oțel s-au dezvoltat numeroase fisuri, în timp ce la cele care au avut fibre de oțel nu s-a observat nici o fisură din contracție; epruvetele au fost păstrate în atmosfera uscată a laboratorului, observațiile privind fisurarea fiind făcute pe o perioadă de 7-520 zile. Rezultă că la elementele de beton armat obișnuit, prezența fibrelor în zonele cu armătură flexibilă contribuie la diminuarea procesului de fisurare în cazul păstrării lor în mediu uscat.

Efectul fibrelor de oțel asupra curgerii lente a elementelor de beton comprimate este neglijabil /33/; constatarea a fost făcută după o perioadă de 12 luni. Concluzia pare valabilă dacă se ține seama de faptul că volumul de fibre este foarte mic în comparație cu volumul de agregat care reprezintă circa 70% din volumul betonului. La solicitarea de întindere efectul fibrelor asupra curgerii lente este de asemeni foarte redus /96/.

4.2.3.2. Deformații sub încărcări

Deformarea betonului cu fibre de oțel sub acțiunea încărcărilor a fost tratată, mai mult sub aspect calitativ, în capitolul 3, la punctul 3.2. După cum s-a văzut în subcapitolul amintit, diagramele caracteristice $\sigma-\epsilon$, pentru solicitările de întindere axială și de încovoiere, sînt sensibil modificate, față de cele corespunzătoare betonului simplu, în special după depășirea stadiului elastic. În cele ce urmează va fi tratat aspectul cantitativ al deformării betonului cu fibre de oțel sub acțiunea încărcă-

rilor. Se menționează că cercetările privind valorile deformațiilor acestui material sînt foarte puține.

Cercetări importante privind deformațiile betoanelor cu fibre de oțel la solicitarea de întindere centrică au fost efectuate de Johnston și Coleman /49/. Compoziția betoanelor studiate fost prezentată în capitolul 4 (pct.4.2.2.1 - rezistența la întindere centrică). Rezultatele acestei cercetări arată creșteri maxime ale deformației la întindere centrică, corespunzătoare rezistenței de rupere, de cea 1,3 ori, fiind pusă în evidență creșterea aceste deformații cu creșterea parametrului global $\mu: l/d$. După cum se observă prezența fibrelor influențează destul de puțin deformația la întindere centrică a betonului.

Este bine cunoscut faptul că solicitarea de întindere centrică intervine foarte rar în exploatarea construcțiilor, mul mai frecventă fiind întinderea datorită solicitării de încovoiere. Date semnificative privind deformațiile betonului la întindere din încovoiere sînt prezentate de Swaney /96/. Din acestea rezultă următoarele: valoarea deformației de rupere a elementului de beton simplu a fost de 100×10^{-6} m/m; valoarea deformației elementelor din beton cu fibre de oțel a fost cuprinsă între 2000×10^{-6} m/m și 5000×10^{-6} m/m în momentul cedării elementului. După cum se observă efectul fibrelor asupra deformației la întindere a elementelor încovoiate este semnificativ. Creșteri mari ale acestei deformații se obțin în stadiul post-fisurare, fiind îmbunătățită considerabil comportarea post-fisurare a elementelor încovoiate din beton cu fibre de oțel.

Deformația betonului cu fibre de oțel la solicitare de compresiune centrică a fost cercetată de Williamson /102/. Acest a stabilit valori pentru modul de elasticitate și coeficientul lui Poisson. Concluziile cercetărilor întreprinse arată că fibrele de oțel afectează ne semnificativ aceste caracteristici de deformație ale betonului.

Valori pentru modulul de elasticitate al betonului cu fibre de oțel au fost stabilite și de Edgington /33/, pentru solicitarea de întindere centrică. S-au constatat creșteri ne semnificative (în general sub 5 %) ale modulului de elasticitate datorită prezenței fibrelor de oțel la un procent de armare volumetric cuprins între 1,5 și 2,7 %.

4.2.4. Ductilitatea

Mulți cercetători consideră că performanța principală a betonului armat cu fibre de oțel o reprezintă ductilitatea considerabil sporită a acestui material, față de betonul simplu. Această caracteristică deosebit de importantă este dată de capacitatea mare de deformare a betonului cu fibre de oțel. În fig. 4.13 este prezentată diagrama încărcare-săgeată a unui element de $100 \times 100 \times 500$ mm, încărcat cu 3 forțe concentrate echidistante /9/. Se constată că elementul din mortar simplu are o rupere

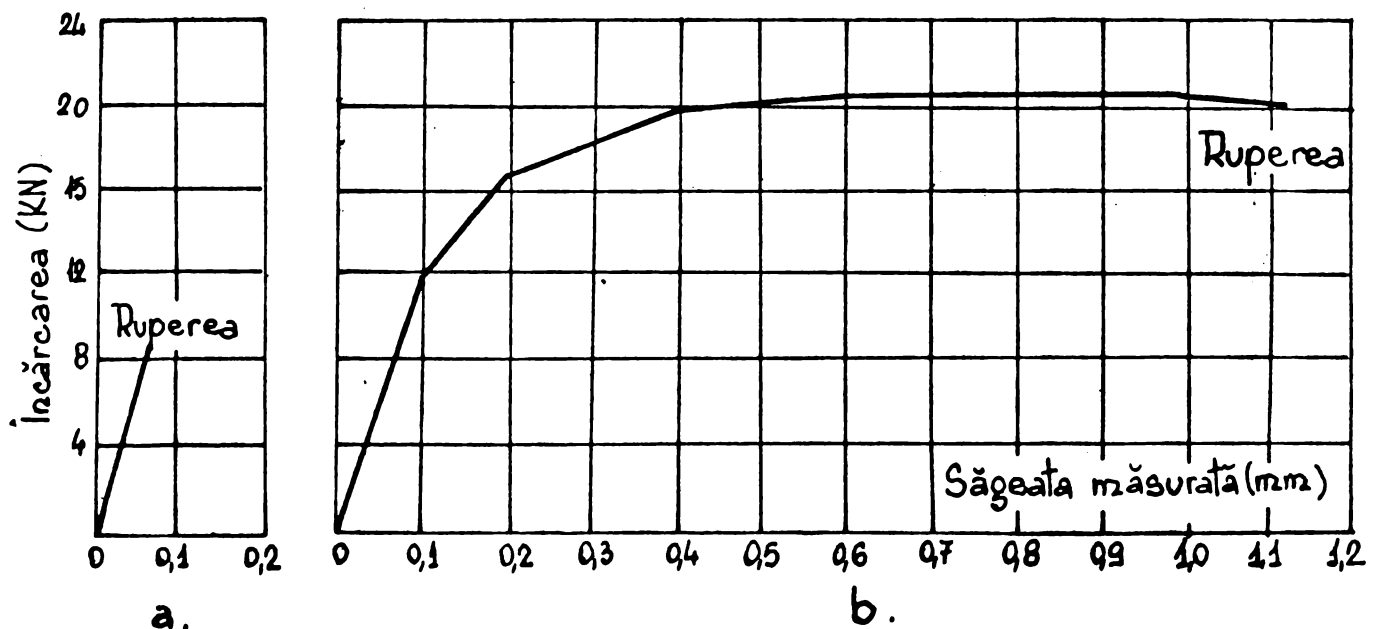


Fig.4.13. Diagrama încărcare-săgeată la încovoiere
a- mortar simplu; b- mortar cu fibre de oțel

fragilă (fig.4.13 a) cu o săgeată maximă de 0,065 mm în timp ce elementul din mortar cu fibre de oțel are o rupere ductilă, cu o săgeată maximă de 1,13 mm; săgeata a crescut de 17,4 ori, încărcarea de rupere de 2,4 ori.

Ductilitatea sporită a betonului cu fibre de oțel poate fi pusă în evidență prin energia absorbită în procesul de deformare. Măsura acestei energii o reprezintă aria suprafeței închisă de diagrama încărcare-săgeată sau efort unitar-deformație specifică. Poate fi luată în considerare aria întreagă, corespunzătoare energiei totale absorbite până la ruperea completă a elementului, sau o arie parțială, corespunzătoare energiei absorbite până în momentul atingerii încărcării maxime sau deformației admise de o exploatare normală a elementului; ultimele valori dau indicații pentru o exploatare normală a elementului /48/.

gia absorbită de betonul cu fibre de oțel în procesul de deformare sînt reprezentate în fig.4.14 și 4.15. În ordonate s-a trecut ra-

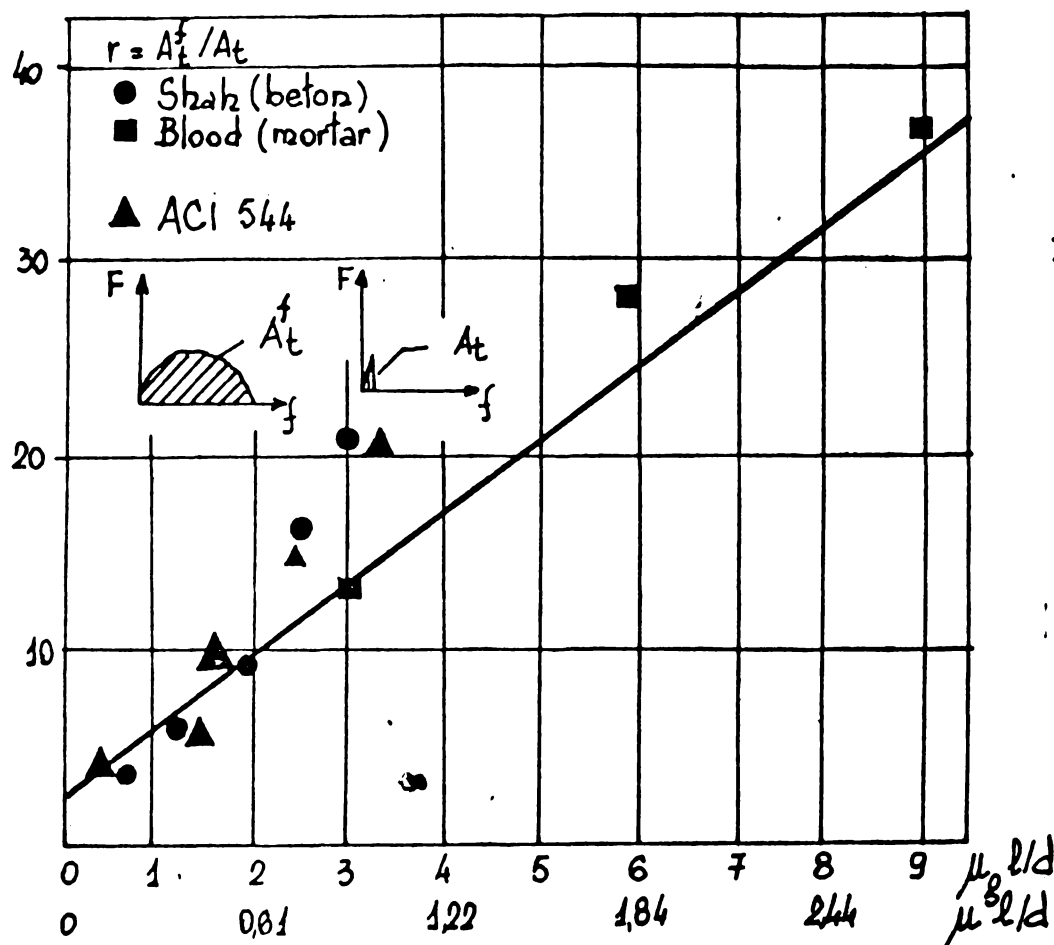


Fig.4.14. Energia de deformare totală, relativă a betonului armat cu fibre de oțel.

portul dintre aria totală (fig.4.14) s-au parțială (fig.4.15), închisă de diagrama încărcare-săgeată pentru elementul armat cu fibre de oțel (A_t^f sau A_p^f) și aria totală închisă de diagrama încărcare-săgeată pentru elementul nearmat ($A_t \approx A_p$). În abscise s-a luat parametrul global μ_l/d ($\mu_g l/d$). Se constată o creștere foarte mare a energiei de deformare a elementelor cu fibre de oțel, ceea ce arată că aceste betoane sînt ductile și au o bună comportare la acțiuni dinamice. Această creștere se datorește faptului că fibrele nu lasă ca fisurile existente să se deschidă și să se extindă, pînă cînd ele nu sînt smulse din beton, lucru ce necesită un consum suplimentar de lucru mecanic. Se constată de asemeni că energia de deformare este influențată de parametrul global μ_l/d în același mod ca și rezistența la încovoiere; pentru datele experimentale existente sînt trasate și dreptele de regresie.

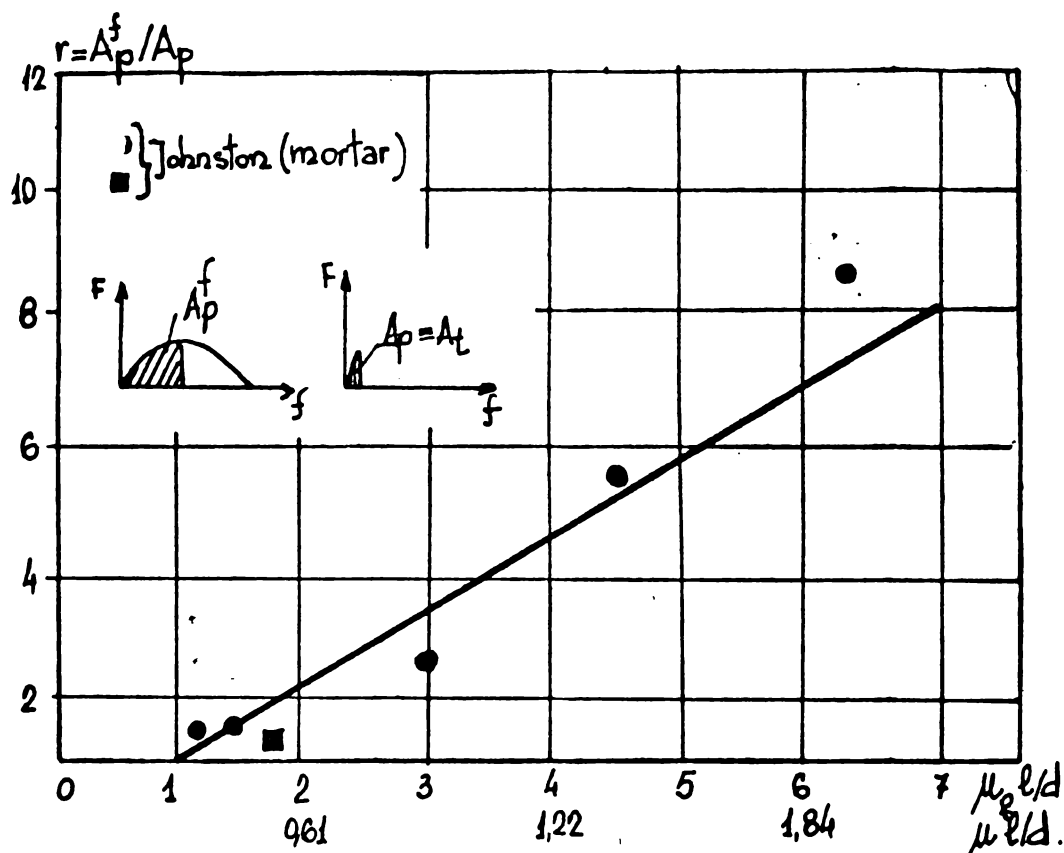


Fig.4.15. Energia de deformare parțială (pînă la încărcarea maximă), relativă, a betonului armat cu fibre de oțel.

4.2.5. Durabilitatea

Studiul betoanelor armate cu fibre de oțel a inclus și câteva cercetări privind durabilitatea acestui material, sub aspectul factorilor externi care ar putea coroda fibrele.

Fibrele de oțel, ca și armătura betonului armat, au o comportare bună în medii alcaline, însă necorespunzătoare în soluții de acizi sau de săruri. La temperaturi ridicate ele își pierd treptat rezistența, începînd de la 300 - 750°C, iar la 1400-1500°C rezistența devine nulă.

Cercetări de durabilitate asupra mortarelor armate cu fibre de oțel au fost întreprinse de Dehousse ș.a./30/ în Belgia. O parte din epruvetele urmărite au fost păstrate, timp de 18 luni, la umiditatea relativă de 95% și temperatura de 20°C, iar o altă parte, același interval de timp, în aer liber pe acoperișul unei clădiri. La examinarea tuturor epruvetelor s-a constatat o ruginire a fibrelor de la suprafață, în timp ce fibrele neexpuse (din interiorul epruvetelor) au rămas intacte. Același autori au

efectuat încercări de coroziune accelerată pe plăci subțiri (16 x 14 x 3 cm) cu procente de armare volumetrică diferite: 0; 0,75; 1,50; 2,25 %. Mediile corozive au fost: soluție de H_2SO_4 cu pH cuprins între 1,2 și 1,8; soluție 5% de Na_2SO_4 . După o perioadă de 12 luni nu s-a observat nici o diferență semnificativă între comportamentul plăcilor armate cu fibre și cel al plăcilor din mortar simplu.

Cercetarea menționată în lucrarea /12/ arată că în cazul mortarelor cu 2% conținut volumetric de fibre de oțel, coroziunea nu a fost sesizabilă după păstrarea epruvetelor în apă cu sare și că rezistența la încovoiere nu s-a modificat după 3 luni de păstrare alternativă în aer și în soluție saturată de apă cu sare.

Cercetări de durabilitate pe betoane armate cu fibre de oțel au fost efectuate de Edgington ș.a./33/. S-au examinat epruvete cilindrice preparate din beton obișnuit și din beton cu agregate ușoare, după păstrarea lor, timp de 3 ani, în diferite condiții de agresivitate. Se arată că fibrele au rămas intacte, cu excepția unor pete de rugină pe suprafața probelor.

Betonul armat cu fibre de oțel prezintă o durabilitate deosebită la îngheț-dezghet. Cercetările prezentate de Kaden /51/ arată că după 300 cicluri de îngheț-dezghet factorul de durabilitate al unui beton cu 1,67% fibre (în volume) a fost cuprins între 73 și 85%.

Comportarea foarte bună la îngheț-dezghet este constatată și de autor (v.cap.6 pct.6.3.6). Cercetările au arătat că după 200 cicluri îngheț-dezghet, care au durat cea 200 zile, epruvetele fiind saturate într-o soluție de apă cu sare, fibrele din interiorul epruvetelor nu au prezentat fenomene de coroziune, iar rezistența epruvetelor n-a fost afectată.

Se menționează că în cercetările de coroziune s-au utilizat epruvete nefisurate. Cercetări ulterioare vor trebui să ia în considerare epruvete fisurate.

5. DOMENII DE FOLOSIRE ALE BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OTEL

Cercetări sistematice privind tehnologia și caracteristicile fizico-mecanice ale betonului armat cu fibre de oțel

datează de la începutul deceniului al șaptelea al secolului nostru, datorită cercetărilor lui Romualdi și colaboratorilor săi /63/,/84/. Aplicarea noului material în industria construcțiilor este mult mai recentă, aceasta datînd din anul 1971, cînd în SUA s-au realizat primele tronsoane experimentale în domeniul reparării și ranforsării îmbrăcăminților rutiere rigide. În prezent se desfășoară vaste programe de cercetări și se extinde tot mai mult folosirea betoanelor armate cu fibre de oțel într-o serie de țări din toate continentele.

Aplicațiile de pînă acum indică gruparea domeniilor de folosire, actuale și de perspectivă, ale betonului armat cu fibre de oțel, în două categorii principale:

- domenii de folosire ale betonului cu fibre de oțel monolit;

- domenii de folosire ale betonului cu fibre de oțel prefabricat.

În aplicarea betonului cu fibre de oțel monolit, primul loc îl ocupă SUA, țară la care se constată că există un interes mai mare pentru betoanele care se obțin și se pun în operă la fața locului. În schimb în țările din Europa predomină aplicațiile în domeniul prefabricatelor.

5.1. Domenii de folosire ale betonului armat cu fibre de oțel, monolit

Domeniile principale de utilizare și țările în care s-a aplicat betonul cu fibre de oțel monolit sînt date în tabelul 5.1.

Principalele caracteristici ale lucrărilor și ale betoanelor armate cu fibre de oțel, pentru domeniile menționate anterior, sînt prezentate în continuare.

Ranforsări de îmbrăcăminți și îmbrăcăminți la tabliere de poduri

Astfel de aplicații există în SUA începînd cu anul 1972. Prima ranforsare a tablierului unui pod, cu beton cu fibre de oțel, s-a făcut în orașul Winona, statul Minnesota /58/. Suprafața îmbrăcăminții podului (30 x 9 m) a prezentat crăpături pe adîncimi de 4 cm și faianțări. Ranforsarea s-a făcut prin supraturnarea peste îmbrăcămintea deteriorată a unui strat de beton cu fibre de oțel, cu o grosime de 10 cm la mijloc și de 6 cm pe margini. A fost

Tabelul 5.1

Domenii de utilizare ale betonului cu fibre de
oțel, monolit

Domenii de utilizare	Țara în care s-a aplicat
Ranforsare de îmbrăcăminti și îmbrăcăminti la tablere de poduri.	S.U.A.
Ranforsari și reparații ale îmbrăcămintilor rigide, pistelor de aeroporturi și stațiilor de parcare.	S.U.A., Anglia, Japonia, România.
Construcția de îmbrăcăminti rutiere rigide.	S.U.A., Canada.
Reparații și lucrări de construcții hidrotehnice.	S.U.A., Anglia.
Lucrări în mine și la tuneluri	S.U.A., Anglia.
Stabilizare pereți de stinzi	S.U.A.
Pardoseli la clădiri comerciale și industriale	S.U.A., Italia, Anglia.
Elemente refractare	S.U.A.

utilizată următoarea compoziție: ciment 460 kg/m^3 , nisip 1150 kg/m^3 , pietriș 380 kg/m^3 cu $D_{\max} = 10 \text{ mm}$, apă 142 kg/m^3 , antrenor de aer 7 kg/m^3 , fibre de oțel $71 - 118 \text{ kg/m}^3$. Între betonul inițial și betonul nou nu s-a inserat nici un material de legătură. La 28 de zile betonul cu fibre de oțel a avut o rezistență la întindere prin încovoiere de 70 daN/cm^2 , depășind valoarea estimată inițial.

Tot în anul 1972 s-a făcut o ranforsare asemănătoare la Harrisburg, Pennsylvania (fig.5.1). Întreaga suprafață a podului de $47 \times 12 \text{ m}$ a fost ranforsată cu beton cu fibre de oțel /58/. Grosimea betonului cu fibre a fost de 6-8 cm, pe alocuri ajungând la

10 cm. Înainte de ranforsare suprafața îmbrăcăminții a fost curățată de bitum și beton sfărâmițos, iar apoi amorsată cu un mortar de ciment. Compoziția betonului a fost următoarea: ciment 450 kg/m^3 ,



Fig.5.1. Aspectul, după ranforsare al tablierului podului din Harrisburg, Pennsylvania

nisip 1190 kg/m^3 , pietriș cu $D_{\max} = 16 \text{ mm}$ 370 kg/m^3 , apă 225 kg/m^3 , fibre de oțel ($0,25 \times 0,56 \times 25,4 \text{ mm}$) 120 kg/m^3 . Imbrăcămintea a fost executată fără rosturi de dilatație.

O ranforsare curajoasă a fost realizată la viaductul orașului Cedar Rapids, statul Iowa, 1972 /58/. A fost turnat un strat de cca 8 cm grosime din beton cu fibre de oțel, direct pe structura din grinzi de lemn a podului. Pentru împiedicarea formării unor legături mecanice, între betonul cu fibre și grinzi s-a interpus o folie din material plastic. Compoziția betonului turnat a fost următoarea: ciment 500 kg/m^3 , nisip 970 kg/m^3 , pietriș cu $D_{\max} = 10 \text{ mm}$ 430 kg/m^3 , apă 230 kg/m^3 , fibre de oțel ($0,64 \times 64 \text{ mm}$) 90 kg/m^3 , antrenor de aer Darex. Suprafața ranforsată a fost de $54 \times 3,6 \text{ m}$. S-a constatat că îmbrăcămintea nu a fisurat pînă în prezent, cu toate că este solicitată intens la încovoiere.

Alte aplicații asemănătoare la tablere de poduri sînt /58/:

- Ranforsare tablîer pod precomprimat la Pittsburgh, Pennsylvania, în 1973. Caracteristicile lucrării sînt: suprafața $12,2 \times 18,3 \text{ m}$, grosimea 7,6 cm, fibre de oțel de $0,25 \times 0,56 \times 25,4 \text{ m}$

- Refacere tablier pod la New-York City, în 1973. Caracteristicile lucrării sînt: 4 benzi de 76 m, grosime 25,4...30 cm fibre de oțel 0,64 x 64 mm cu $p = 1,1...1,5 \%$.

- Ranforsare tablier pod la Greene County, Jowa, în 1973. Caracteristicile lucrării sînt: 49 m lungime, 7,6 cm grosime fibre de oțel de 0,25 x 0,50 x 25,4 mm cu $p = 1,2\%$, ciment 450 kg/

La ora actuală se cunosc și aplicații la care beton cu fibre de oțel s-a aplicat de la început ca strat de uzură la îmbrăcămintea tablierelor de poduri. Astfel la 2 din 6 poduri, executate în 1973 în statul Virginia, stratul de uzură clasic a fost înlocuit cu un strat din beton cu fibre de oțel /98/.

Ranforsări și reparații ale îmbrăcămintilor rutiere rigide, pistelor de aeroporturi și stațiilor de parcare

Utilizări serioase în domeniul ranforsării îmbrăcămintilor rutiere au avut loc în SUA, în statele Michigan, Jowa și Minnesota. Cea mai mare ranforsare s-a realizat în Jowa, în anul 1973 fiind ranforsat un drum principal cu o lățime de 6,7 m pe o lungime de 4,8 km /98/. Grosimea stratului din beton cu fibre de oțel a fost de 5,1...10,2 cm. Procentul de armare volumetric a fost de 0,45... 1,2 %, iar dozajul de ciment de 355 ... 455 kg/m³. Aplicarea betonului cu fibre s-a realizat cu un "finisher" (fig.5.2)

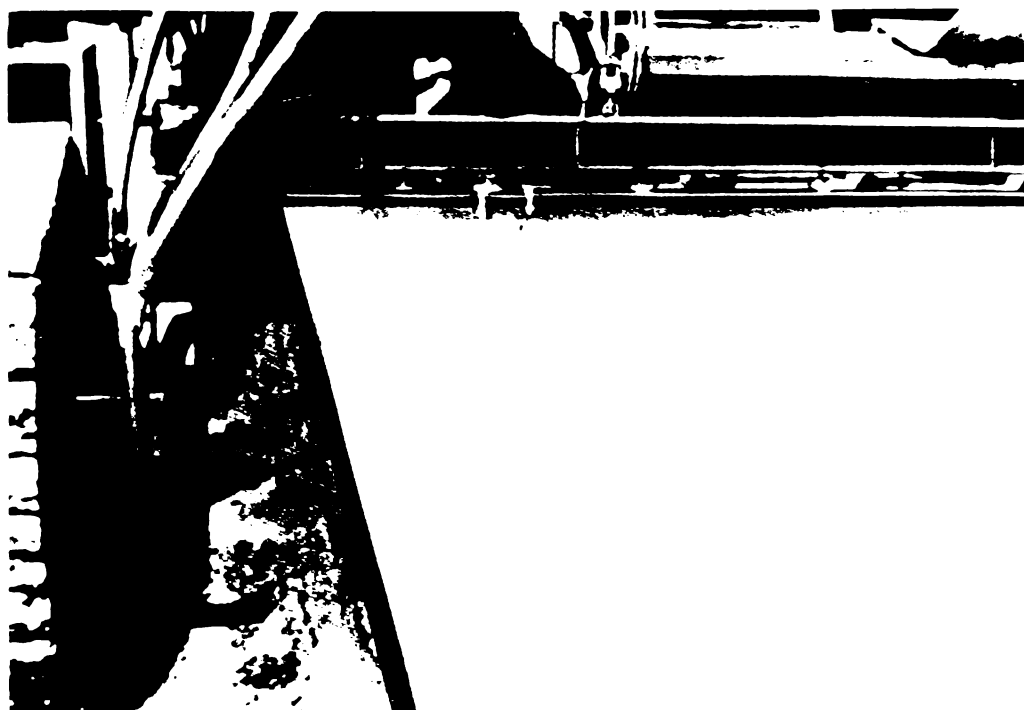


Fig.5.2. Aplicarea îmbrăcăminții din beton cu fibre de oțel cu un "finisher"

În orașul Detroit, statul Michigan a fost ranforsată, în 1972, o porțiune a drumului principal nr.10 /32/. Compoziția betonului utilizat a fost: ciment 500 kg/m^3 , nisip 900 kg/m^3 , pietriș cu $D_{\text{max}} = 10 \text{ mm}$ 530 kg/m^3 , apă 230 kg/m^3 , fibre de oțel de $0,25 \times 0,56 \times 25,4 \text{ mm}$ $70 - 120 \text{ kg/m}^3$, antrenor de aer (pentru o porozitate de 5 - 6%). Sectorul ranforsat (fig.5.3) a avut o lungime de 330 m și o lățime de 16 m, care corespunde la 4 benzi. Grosimea stratului de beton cu fibre de oțel a fost de 7,6 cm, micșorându-se



Fig.5.3. Ranforsarea cu beton cu fibre de oțel a drumului principal nr.10, în Detroit.

în unele locuri la 2,5 cm din cauza neregularităților suprafeței inițiale. Aplicarea betonului s-a realizat cu utilajul prezentat în fig.5.2.

Față de ranforsările amintite anterior, la o ranforsare executată în statul Minnesota, în anul 1974, în afara fibrelor de oțel s-au utilizat și adăosuri de fibre de sticlă /98/.

Alte lucrări de ranforsare cunoscute la ora actuală, sînt:

- Ranforsări îmbrăcăminți de străzi în Cedar Rapids, Iowa, în anul 1972 /56/. Caracteristicile lucrărilor sînt: suprafețe $8,5 \times 55 \text{ m}$ și $7,3 \times 61 \text{ m}$, grosime 6,4 ... 10,2 cm, fibre de oțel de $0,41 \times 25,4 \text{ mm}$, procent de armare volumetric 1,25 ... 1,56 %, ciment 500 kg/m^3 . Aspectul unui sector ranforsat este prezentat în fig.5.4.



Fig.5.4. Aspect al străzii Fifth Avenue, Cedar Rapi Iowa SUA, ranforsată cu beton armat cu fib de oțel.

- Ranforsare îmbrăcăminte drum în Anglia, pe șoseau M₁₀, în anul 1974 /41/. Caracteristicile lucrării sînt: 2 benzi a cîte 200 m lungime, grosime 6...8 cm, fibre de oțel de 0,5x38 mm procent de armare volumetric 0,4 - 1%.

- Ranforsare îmbrăcăminte drum în Japonia /9/. Caracteristicile lucrării sînt: suprafață 4,15 x 15 m, grosime 15 cm, bre de oțel de 0,25 x 0,55 x 25 mm, procent de armare volumetric 1,7%, dozaj de ciment de 223 kg/m³.

Betonul cu fibre de oțel este indicat nu numai pent ranforsări pe suprafețe mari ci și pentru repararea unor defecte mici ale drumurilor. In aceste cazuri se urmărește terminarea rap dă a lucrărilor de reparare pentru deranjarea cît mai scurtă, ca a circulației. In tunelul Queens Midtown din New York s-a realiza repararea unui drum cu circulație intensă prin folosirea betonulu cu fibre de oțel /98/. S-a folosit un procedeu combinat cu cel al prefabricării. In funcție de mărimea porțiunii de reparat s-au pr gătit plăci prefabricate cu grosimea de 5 cm din beton cu fibre d oțel, iar porțiunea deteriorată a fost adîncită și lărgită cu 2 - cm față de dimensiunile plăcii prefabricate. La reparare elementu prefabricat a fost înglobat pe porțiunea deteriorată prin interme diul unui beton simplu sau beton cu fibre de oțel. Pe baza unor

experiențe anterioare, după reparare circulația a fost redirejată pe porțiunea reparată. Prin folosirea acestei metode timpul de reparare a tunelului a fost de numai 3 ore. Aceiași metodă a fost aplicată și la repararea rampelor de autobaze care duc spre sălile de așteptare ale aeroportului de est din New York.

Utilizarea betonului cu fibre de oțel la ranforsarea pistelor de aeroporturi a început în urma unor analize și testări de aplicare, efectuate pe beton simplu și beton cu fibre de oțel de către Laboratorul de inginerie-cercetare al armatei americane din Illinois, cât și de către Stația de ape din Missisipi /98/. Experimentările s-au făcut pe o îmbrăcăminte din beton simplu cu o grosime de 25,4 cm și pe o îmbrăcăminte din beton cu fibre de oțel cu o grosime de 15,2 cm. S-a simulat încărcarea provenită de la un convoi de sarcini de tipul C-5A. După 700 de cicluri de încărcare îmbrăcămintea din beton simplu s-a distrus complet în timp ce îmbrăcămintea din beton cu fibre de oțel avea fisuri de deschideri foarte mici. După 4400 de cicluri fisurile din îmbrăcămintea cu fibre de oțel s-au înmulțit, dar îmbrăcămintea nu s-a distrus, fibrele de oțel menținându-și integritatea. La 8800 de cicluri experimentările de trafic au luat sfârșit. Conform constatărilor îmbrăcămintea posedă încă 70% din capacitatea ei portantă. Peste această îmbrăcămintea s-a aplicat o nouă îmbrăcămintea din beton cu fibre de oțel, cu o grosime de 11 cm. La 700 de cicluri au apărut primele fisuri, dar sporirea numărului lor s-a constatat abia de la 2600 de cicluri. Aceasta demonstrează că betonul cu fibre de oțel stopează în mare măsură evoluția distrugerii betonului pe care-l protejează.

Pe baza rezultatelor experiențelor amintite, prima ranforsare a îmbrăcăminții unui aeroport, utilizând beton cu fibre de oțel, a avut loc la aeroportul internațional din Tampa-Florida, în 1972 /58/, /98/. Betonul îmbrăcăminții pistei de rulare existente a fost plin de spărturi. La ranforsare nu s-a făcut nici un fel de pregătiri sau tratate prealabilă a îmbrăcăminții existente. În partea de răsărit a aeroportului, în direcția nord-sud, au fost executate 5 îmbrăcăminți din beton cu fibre de oțel a câte 2,5 m lățime. Trei îmbrăcăminți au 53 m lungime și 15,2 cm grosime, iar două, al căror rol erau să acopere fisurile de dilatare din îmbrăcămintea existentă, au 16 m lungime și 10,2 cm grosime. La scurt timp după aplicare s-a observat că la ultimele două au apărut fisuri longitudinale, corespunzătoare fisurilor de dilatație din îmbrăcă-

mințea inițială. De asemenea, s-au observat fisuri foarte mici și pe îmbrăcămințile de 15,2 cm grosime, dar în urma analizelor efectuate s-a constatat că aceste fisuri nu evoluează în timp.

Tot în anul 1972 a fost ranforsată o porțiune din pista aeroportului din Cedar Rapids, Iowa /58/. Aspectul pistei înainte de reparare este prezentat în fig.5.5. Compoziția betonului:



Fig.5.5. Aspect al unei porțiuni din pista aeroportului Cedar Rapids, Iowa, SUA, înainte de ranforsarea cu beton armat cu fibre de oțel.

ca fibre utilizat este: ciment 450 kg/m^3 , nisip 1100 kg , pietriș c $D_{\text{max}} = 10 \text{ mm}$ 450 kg/m^3 , apă 346 kg/m^3 , fibre de oțel de $0,63 \times 63,5 \text{ mm}$ 90 kg/m^3 sau de $0,41 \times 25,4 \text{ mm}$ 120 kg/m^3 și antrenor de aer corespunzător creării unei porozități de 6%. Suprafața ranforsată a fost de $23 \times 27 \text{ mm}$, cu o grosime a betonului de 5 - 10 cm. Pe porțiunea ranforsată cu fibre mai scurte au apărut fisuri în dreptul rosturilor pistei de bază, pe când pe porțiunea realizată cu fibre mai groase și mai lungi nici până azi nu au apărut fisuri.

Cea mai mare ranforsare a unei piste de aeroport, cu beton cu fibre de oțel, a avut loc la aeroportul internațional Kennedy din New York în anul 1974 /98/, /9/. Au fost ranforsate două suprafețe. Prima, de $37 \times 53 \text{ m}$ și o grosime de 12,5 cm, a fost realizată la capătul pistei principale de aterizare, iar a doua, de $15 \times 37 \text{ m}$ și o grosime de 21,6 cm, pe partea de întoarcere a pistei

S-au folosit fibre de $0,63 \times 63,5$ mm, într-un dozaj de 105 kg/m^3 . Dozajul de ciment a fost de 446 kg/m^3 .

Și la aeroporturi, ca și la drumuri, betonul cu fibre de oțel se poate utiliza pentru repararea defectelor locale. Astfel de lucrări s-au realizat la aeroportul internațional din O'Hare /98/. Betonul cu fibre a fost amestecat la fața locului într-un autoamestecător și pus în operă manual. În primii 4 ani de la aplicare nu s-au observat defecțiuni care să afecteze utilizarea. Reparații asemănătoare s-au făcut și la baza forțelor aeriene americane din Lockbourne cât și la aeroportul internațional din Detroit.

În multe cazuri s-au executat și aplicații la stațiile de parcare. Din cadrul acestora se remarcă cea mai mare ranforsare executată în Texas, terminată în anul 1975, unde s-a realizat un teren de stocare pentru tancurile armatei americane cu o suprafață de 22.572 m^2 . Betonul cu fibre de oțel utilizat are o grosime de 10,2 cm și conține 1,5 % fibre de oțel, în volum, cu dimensiunile de $0,30 \times 12,7$ mm /104/. La reparare stratul de beton cu fibre de oțel s-a aplicat peste o îmbrăcămintă existentă din asfalt, care avea 12,7 cm grosime.

Aplicarea betonului cu fibre la repararea îmbrăcămintelor rutiere rigide s-a făcut și în România, fiind executate în anii 1976, 1977, două sectoare experimentale pe drumul național DN 68 la Lugoj-Ilia. Detalii privind realizarea acestor lucrări sînt date în capit.7.

Aplicațiile existente la ora actuală în SUA în domeniul îmbrăcămintelor rutiere, pistelor de aeroporturi și al tablierelor de poduri reprezintă cel puțin 70% din totalul lucrărilor de introducere în practică curentă a betonului armat cu fibre de oțel.

Din lucrările menționate se poate trage concluzia că betonul armat cu fibre de oțel satisface cerințele tehnice pentru ranforsarea și repararea drumurilor rigide, pistelor de aeroporturi, tablierelor de poduri și stațiilor de parcare. Trebuie însă adăugat că experiența în aceste domenii nu este încă suficient de îndelungată. Din acest motiv este prematură cerința ca să se poată determina cantitatea și dimensiunile fibrelor de oțel. Deocamdată este sigur că stit cantitatea fibrelor de oțel, cât și grosimea stratului depind în mare măsură de starea îmbrăcămintei existente, de circulație și de trafic.

Construcția de îmbrăcăminti rutiere rigide

Pentru realizarea îmbrăcămintilor rutiere din beton cu fibre de oțel, interesul este scăzut, cunoscându-se pînă în prezent doar două lucrări de acest gen.

În anul 1971 s-a realizat în SUA, statul Ohio, o bandă de îmbrăcăminte rutieră cu lungimea de 152 m /9/, /98/. Stradul de beton cu fibre are grosimea de 10,2 cm, fiind așezat pe o fundație de 10,2 cm grosime, realizată din beton asfaltic. S-a utilizat un procent de armare volumetric de 2%, dimensiunile fibrelor de oțel fiind 0,25 x 0,56 x 25,4 mm. Din cauza unor deficiențe de păstrare, înainte de intrarea în exploatare, s-au format 3 fisuri diagonale ca urmare a contracției și variațiilor de temperatură. Cu toate acestea, îmbrăcămintea a suportat pînă în prezent foarte bine condițiile deosebit de grele de exploatare (acțiuni de frînare intensive).

Cealaltă îmbrăcăminte din beton cu fibre de oțel a fost realizată în Canada (Calgary Campus) /50/. Are o lățime de 7,3 m, o lungime de 55 m și o grosime de 7,6 - 17,8 cm. S-au folosit fibre de 0,25 x 19 mm, într-un procent de armare volumetric de 0,5 - 1%. Dozajul de ciment a fost de 300 - 325 kg/m³.

Reparații și lucrări de construcții hidrotehnice

Betonul armat cu fibre de oțel s-a utilizat în domeniul construcțiilor hidrotehnice mai ales în Marea Britanie, o serie de aplicații fiind proiectate și realizate de compania scoțiană "Hydro Electric Board" /98/. Se remarcă, în primul rînd, lucrările de realizare a pereților sistemului rețelei de apă din Loch Glashan care, în anumite condiții, urmau să fie expuși la îngheț pronunțat. S-a utilizat un beton cu fibre de oțel cu compoziția: 1 parte, în volum, ciment; 2,4 părți agregate spălate și 7%, în greutate, fibre de oțel cu dimensiunile 0,38 x 25 mm. Lucrările s-au realizat în iarna anului 1970 - 71, betonul cu fibre de oțel corespunzîndă după 5 ani de exploatare tuturor cerințelor.

Betonul cu fibre de oțel a fost utilizat și la lucrările de întreținere a rezervoarelor de apă din Loch Awe, Anglia. Acestea sînt legate de barajul Cruachan prin două conducte de apă cu diametrul de 5 m și o pantă de 55°. Una din acestea, ca urmare

a deteriorării suprafeței betonului, a fost reparată utilizând beton cu fibre de oțel. Betonul a fost pus în operă prin torcretare cu o instalație Putzmeister /98/. O reparație asemănătoare s-a executat la canalul subteran al barajului din Invernes Shire.

O utilizare interesantă o reprezintă realizarea pontanelor plutitoare din beton cu fibre de oțel (fig.5.6), turnat pe plutitoare din polistiren /9/, /98/. Suprafața de circulație este



Fig.5.6. Ponton din beton cu fibre de oțel

realizată din plăci de 9 x 2,4 m cu grosimea de 2,1 cm, încadrate în rame de oțel. Astfel de pontoane s-au realizat pentru prima dată la expoziția internațională de bărci din Londra, în anul 1973.

S-au realizat de asemenea și alte aplicații în construcții hidrotehnice ca: reparații la ecluze și diversoare la baraje /46/, /51/.

Lucrări în mine și tuneluri

Începând cu anul 1972 în SUA și în Anglia s-a utilizat în multe cazuri beton cu fibre de oțel la lucrări în mine și tuneluri /9/, /98/. Utilizarea acestui material a rezultat din necesitatea satisfacerii următoarelor cerințe:

- prevenirea propagării flăcării în cazul acoperirilor cu poliuretan;
- montarea instalațiilor de aerisire;
- stabilizarea pereților laterali și tavamului

galeriilor de mină contra dizlocării lor, precum și pentru evitarea scăpărilor de aer;

- construirea stațiilor de transformatoare, rezistent la foc.

Stabilizarea pereților de stînci

O aplicație rentabilă a betonului cu fibre de oțel o reprezintă stabilizarea pereților existenți de stînci sau rezultați în urma unei tăieturi. La stabilirea rentabilității se are în vedere procedeul vechi, care constă în montarea unei plase protectoare și acoperirea ei cu beton torcretat de 17 - 22 cm grosime, față de aplicația carea unui strat din beton cu fibre de oțel, care înlătură operația de fixare a plasei - acțiunea cea mai grea și periculoasă a unei astfel de lucrări. O grosime de 8 - 14 cm a stratului de beton cu fibre de oțel este suficientă pentru a asigura protecția contra căderilor de bolovani /98/.

În fig.5.7 este prezentată stabilirea unui peret



Fig.5.7. Stabilizarea unui perete de stîncă în SUA, statul Washington, prin torcretarea unui strat din beton cu fibre de oțel.

de stîncă de bazalt, creat prin tăierea unui drum, în statul Washington. Betonul cu fibre a conținut un volum de 1,5% fibre de oțel, de dimensiunile 0,25 x 12,7 mm. Betonul s-a aplicat prin tor

cretare de pe platforma unui coș hidraulic mobil.

Pe lângă avantajele tehnice și economice, soluția care utilizează beton cu fibre de oțel prezintă și un avantaj estetic întrucât în această soluție se poate urmări fidel conturul pereților stîncoși păstrînd intactă frumusețea peisajului natural, spre deosebire de procedeul vechi la care rezultă o suprafață plană.

Pardoseli la clădiri comerciale și industriale

Realizarea pardoselilor interioare ale complexelor comerciale și ale halelor industriale din beton cu fibre de oțel este cunoscută în SUA, Anglia și Italia /88/, /109/. În fig. 5.8. este prezentată pardoseala unui magazin din Londra, realizată din beton cu fibre de oțel. Prin utilizarea betonului cu fibre de



Fig.5.8. Pardoseala unui magazin din Londra, realizată din beton armat cu fibre de oțel.

oțel rezultă pardoseli de grosimi mai mici, care permit reducerea structurii pe înălțime și deci scade consumul de beton și costul construcției. S-au utilizat pardoseli de 10 cm grosime, cu un procent de armare volumetric de 1,5 - 2%.

Elemente refractare

Utilizarea betonului cu fibre de oțel în uzine

cu regim cald a început în anul 1970 /98/. Acest beton asigură o creștere a rezistențelor la eforturi provenind din solicitări mecanice și termice, cât și a rezistenței la șoc termic. S-au obținut rezultate bune, în cazul când una din fețele elementului a fost supusă la 1595°C /12/. Aplicațiile în care betoanele cu fibre de oțel au adus o îmbunătățire semnificativă a caracteristicilor și a comportării în exploatare, comparate cu materialele refractare clasice, sînt creuzetele pentru cuptoare (industria metalelor neferoase), uși de furnale, buiandrugi, vatră și arce (furnale, forje, cuptoare, cuptoare de aluminiu) /59/, /68/.

5.2. Domenii de folosire ale betonului armat cu fibre de oțel, prefabricat

Realizarea elementelor prefabricate din beton cu fibre de oțel este mai dezvoltată în Europa. În ultimul timp se constată încă progrese în SUA și în Anglia. Tipul elementelor prefabricate și țara de utilizare sînt prezentate în tabelul 5.2.

Elementele prefabricate din beton cu fibre de oțel au fost experimentate și aplicate într-o măsură mai restrînsă în comparație cu elementele monolite, situație datorată problemelor legate de performanțele solicitate la astfel de produse, cât și datorită investițiilor suplimentare pe care le pune o tehnologie nouă. Cu toate acestea prefabricatele din beton armat cu fibre de oțel se caracterizează prin cîteva avantaje potențiale: reducerea dimensiunilor geometrice și deci a greutății elementelor, decurgînd din aceasta scăderea cheltuielilor de manipulare, transport și depozitare; creșterea ratei producției; mărirea durabilității în serviciu și deci o reducere a cheltuielilor de înlocuire ș.a.

Domeniile de folosire ale prefabricatelor din beton cu fibre de oțel au fost date în tabelul 5.2., cele mai semnificative exemple de aplicare fiind prezentate în continuare.

Tetrapozi pentru diguri

Tetrapozii pentru diguri constituie unul din domeniile în care betonul cu fibre de oțel se poate aplica cu succes. În Republica Sud Africană au fost realizați tetrapozi de 3 - 6 t pentru protejarea digurilor și a malului mării, constînd din părți de elemente așezate la 90° una față de cealaltă /98/.

În anul 1972, în SUA s-au experimentat astfel

Tabelul 5.2

Domenii de utilizare ale betonului cu fibre de oțel prefabricat

Tipul de element prefabricat	Tara în care s-a aplicat
Dale pentru stații de parcare auto	Anglia
Dale pentru pavaje	România, S.U.A.
Tuburi	S.U.A., Anglia, R.P.U.
Ponzoane plutitoare	Anglia
Tetrapozi pentru diguri	S.U.A., Republica sud-afric
Carcase de bărci	S.U.A., Anglia.
Jgheaburi	S.U.A.
Stilpi	Canada
Panouri de pereti, plăci subțiri plane și curbate	S.U.A., R.P.U.
Capace și cămine de vizitare	Anglia, R.P.U.
Cămășuieli la conducte de gaze și petrol	S.U.A., Anglia.
Piloți (capul de baterie)	S.U.A., Anglia, Franța
Fundații și cadre pentru susținerea diverselor mașini.	S.U.A.
Elemente refractare	S.U.A.
Bolți subterane utilitare	S.U.A.

de elemente, fiind subliniat efectul favorabil pe care îl are armarea cu fibre de oțel /11/. Incercarea la impact, realizată prin cădere, arată că după prima cădere tetrapodul din beton simplu s-a distrus complet, cel din beton armat s-a fisurat, în timp ce tetrapodul din beton cu fibre de oțel nu a prezentat nici o fisură după două căderi. Incercarea la întindere (fig.5.9) a arătat că forța de apariție a primei fisuri la tetrapodul din beton cu 1,5% fibre (în volum) este cu 100% mai mare decât cea corespunzătoare



Fig.5.9. Aspect al încercării tetrapozilor pentru diguri

tetrapodului din beton armat, iar în cazul în care s-au folosit doar 0,6% fibre creșterea a fost doar de 10%. Deși de la fabricarea tetrapozii au fost supuși acțiunii puternice a valurilor și a apei sărate, încă nu s-a semnalat scăderea utilității lor.

Stâlpi din beton cu fibre de oțel

Au fost confecționați o serie de stâlpi cu secțiune circulară, cu diametre pînă la 150 mm, pentru diverse scopuri: stâlpi de cabluri, stâlpi pentru linii electrice, stâlpi de iluminat, utilizînd tehnologia centrifugării /98/. Comportarea acestor elemente demonstrează că pentru aceste cazuri tehnica centrifugării betonului cu fibre de oțel devine avantajoasă.

Piloți

Caracteristicile betoanelor cu fibre, le recomandă pentru utilizarea la fabricarea piloților introduși prin batere /59/. În acest scop, din motive economice, se utilizează, în general piloți armați cu fibre din mase plastice.

În Anglia, Franța și SUA capetele de batere ale piloților armați cu fibre din mase plastice se realizează din beton cu fibre de oțel.

În cazul unor piloți cu lungime de peste 12 m, devine rentabilă fabricarea lor din beton cu fibre de oțel, întruc

armarea cu fibre din mase plastice nu mai satisface necesitatea preluării corespunzătoare a eforturilor din încovoiere care apar la ridicarea piloților.

Panouri de pereți, plăci plane și plăci
curbe subțiri

Pentru închideri exterioare și interioare s-au proiectat o serie de panouri de pereți care utilizează beton armat cu fibre de oțel. S-au realizat, spre exemplu, panouri de pereți exteriori cu dimensiunile 0,15 x 1,2 x 2,4 m, avînd miezul din polistiren expandat. Încercarea acestor elemente arată că se pot aplica la o sarcină provenită din vînt de 100 daN/m^2 /98/.

Rezistența (coeziunea) pe care o are în fază primară (imediat după amestecare) recomandă betonul cu fibre de oțel la obținerea de elemente prefabricate cu pereți subțiri. În fig. 5.10, a,b este arătată tehnologia de obținere a unor elemente sub formă de U. Betonul armat cu fibre de oțel este așezat, în primă



Fig.5.10.a. Aplicarea betonului pe o placă subțire de oțel - faza I-a în tehnologia de fabricare a jgheburilor

fază (fig.5.10.a) pe o placă plană subțiri din oțel. În faza următoare placa de oțel se îndoaie după o formă eliptică (fig.5.10.b).

Betonul armat cu fibre de oțel urmărește forma plăcii fără a se crea fisuri sau goluri în material. În această formă elementul este lăsat să se întărească. Cu acest procedeu s-au realizat for-



Fig.5.10.b. Indoirea plăcii de oțel, împreună cu betonul proaspăt - faza II-a în tehnologia de fabricare a jgheaburilor.

me U cu grosime de 1,3 - 1,9 cm, lungi de 4,6 - 6,1 m. Deschiderea elementelor a fost de 45,7 cm. Elementele au fost proiectate pentru realizarea de jgheaburi. Cantitatea de material utilizată reprezintă jumătate din cea consumată pentru producerea unor jgheaburi similare din beton armat. Dacă acest element este întors și cuplat cu o placă de bază se pot obține conducte pentru canalizare. Elementul U întors poate fi utilizat și pentru acoperișuri (fig.5.11)/98/.

O aplicație asemănătoare o reprezintă realizarea unor cupole cu diametrul de 8,5 m, utilizând un cofraj pneumatic /13/.

În 1971 la construcția unei stații de parcare auto, dezvoltată pe două nivele, de lângă aeroportul londonez Heathrow s-a utilizat plăci prefabricate subțiri, din beton cu fibre de oțel,

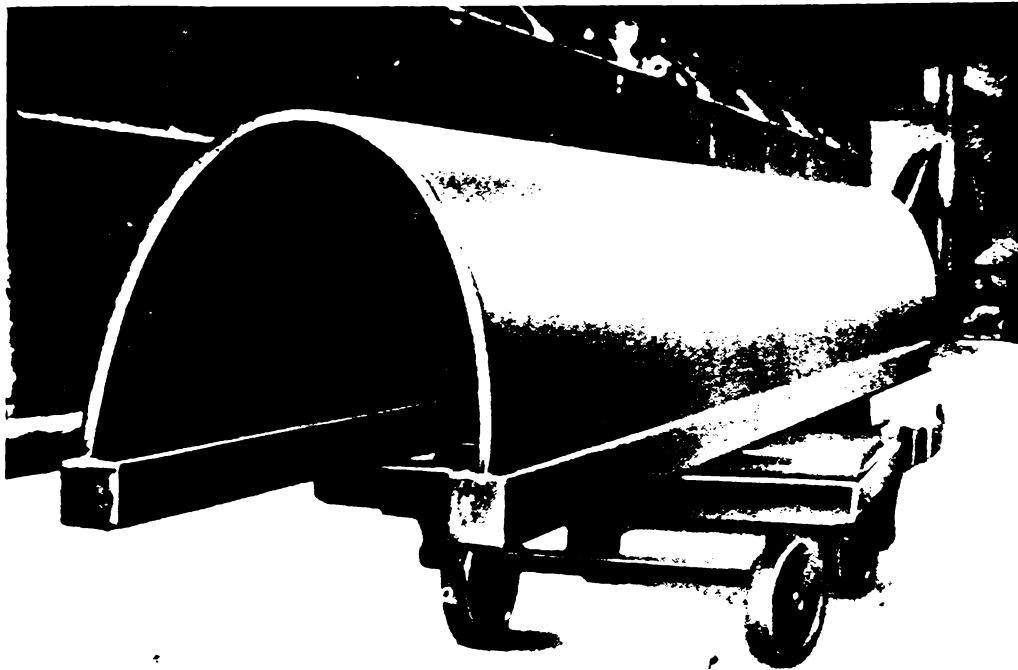


Fig.5.11. Pânză subțire de acoperiș, din beton cu fibre de oțel.

așezate pe structuri spațiale metalice (fig.5.12). Plăcile au avut suprafața de 1,1 x 1,1 m, grosimea de 6,35 cm și au fost armate cu fibre de 0,25 x 25 mm, cu un procent volumetric de armare de 0,92%. Incercarea dalelor experimentale a arătat o creștere a rezistenței

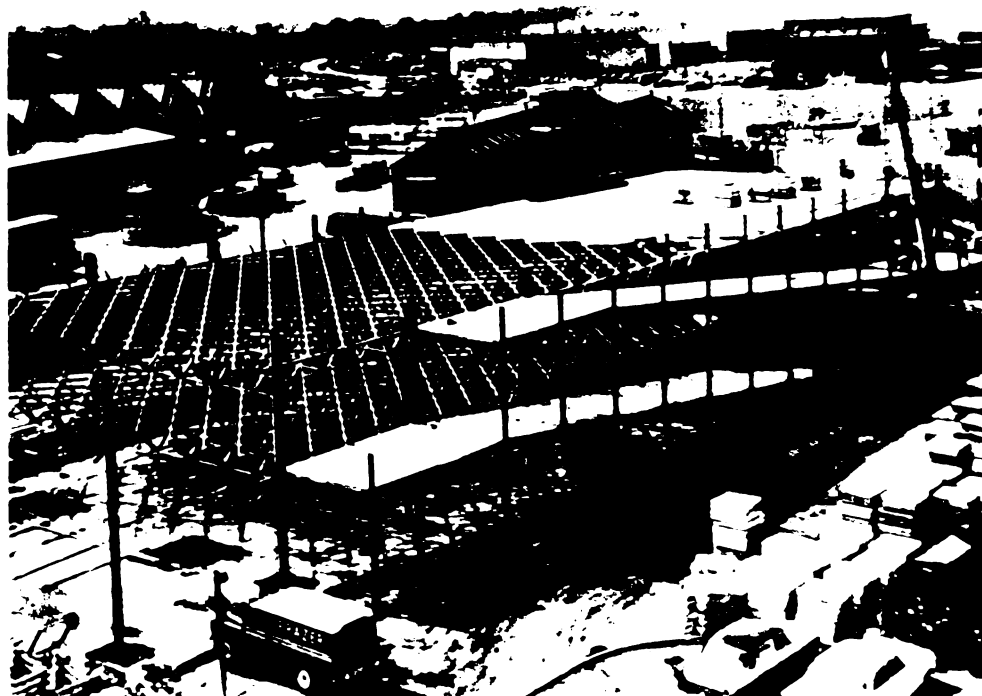


Fig.5.12. Vedere din timpul lucrărilor de execuție a parchingului de la aeroportul neotrow - Londra, la care s-au utilizat dale prefabricate din beton armat cu

de peste două ori față de dalele nearmate și o capacitate portant satisfăcătoare față de datele de proiectare. Parchingul este de 16,4 m lat și 144mlung și poate adăposti 325 vehicule /93/.

Tuburi pentru conducte

Tuburile din beton armat cu fibre de oțel au avantajul unor grosimi mai mici ale pereților și o rezistență suficientă în toate direcțiile. În această situație distrugerile la capete și cele locale, din timpul manipulării, sînt mai puțin frecvente decît la tuburile obișnuite din beton armat și din beton precomprimat, iar comportarea la fisurabilitate îmbunătățită. În Anglia /93/ au fost încercate tuburi cu următoarele caracteristici geometrice: lungime/diametru interior/ grosime perete - 183/30,5/3,5; 183/38/3,8; 245/47,5/6,1 și 92/106/7,6 cm. Pentru armare s-au utilizat fibre rotunde de 0,25 x 25 mm, cu procente de armare volumetrică de 0,31 - 1,37 %. Încercările s-au făcut prin încărcare uniformă în lungul generatoarei (similar cu desplicarea cilindrilor), capacitatea portantă crescînd de 1,4 - 2 ori față de tuburile nearmate cu fibre de oțel.

Eforturile depuse în R.P.U., începînd cu anul 1972, în privința realizării de tuburi din beton cu fibre de oțel s-au finalizat cu producerea în serie a trei tipuri de tuburi, cu diametrele de 100, 125, și 150 de cm și lungimea de 2,5 m (fig. 5.13). Pentru fabricare se utilizează o mașină italiană tip "Siome". S-au utilizat fibre produse în R.P.U. de 0,4 x 35-0,5 x 40 mm și fibre tip "Duform" produse în Anglia de 0,38 x 50 mm, corespunzînd unui procent de armare gravimetric de 2,3 %. Condițiile de calitate verificate se referă la capacitatea portantă, tensiuni și deformații create de temperatură, etanșeitățile față de apă, rezistența la coroziune /98/.

Tuburi centrifugate s-au produs și în SUA, cu diametrul pînă la 152 cm /45/.

Cămine de vizitare și capace

Paralel cu producția de tuburi pentru canalizare s-a dezvoltat în Ungaria prefabricarea căminelor de vizitare în care intră aceste tuburi /98/. Acestea au o structură combinată fiind realizate din beton cu fibre de oțel și din beton armat. Cantitatea de fibre utilizată a fost de 2,3 % în greutate.



Fig.5.13. Tuburi din beton cu fibre de oțel, de tip "Siome", utilizate în Kőbánya, R.P.U.

În fig.5.14 este prezentat un astfel de cămin de vizitare, folosit deja în R.P.U. în mai multe orașe.

În Anglia /73/ au fost realizate capace pentru cămine de vizitare. Grosimea lor este 6 - 20 mm (fig.5.15). Aceste capace au primit, în anul 1974, din partea Societății de ciment și beton din Anglia, certificat de calitate pentru a fi utilizate la un anumit tip de drumuri din R.P.U. Capace pentru cămine de vizitare din beton cu fibre de oțel s-au realizat și în Belgia /30/.

Alte utilizări

Din beton armat cu fibre de oțel au mai fost realizate: dale pentru pavaje /60/, fundații de mașini /59/, grinzi prefabricate din beton armat și beton cu fibre de oțel /69/.

În 1975, în România au fost realizate dale prefabricate pentru pavaje. Caracteristicile acestora și încercările de

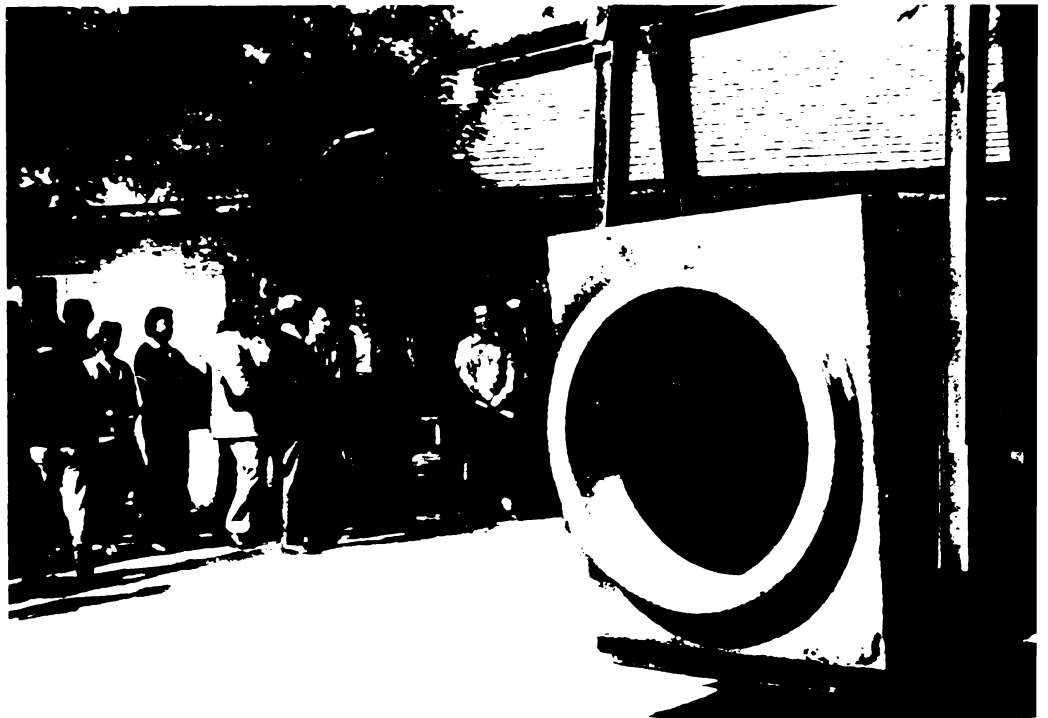


Fig.5.14. Cămin de vizitare prefabricat, din bet armat cu fibre de oțel, utilizat la calizări în R.P.U.

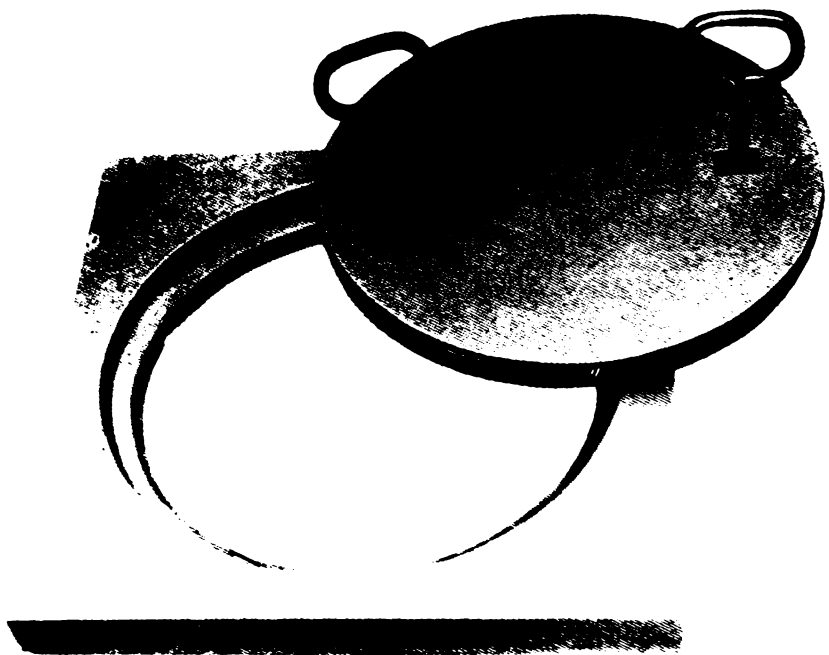


Fig.5.15. Capac pentru cămin de vizitare, din beton armat cu fibre de oțel

**6. STUDII SI CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND
BETONUL ARMAT CU FIBRE DE OTEL. COMPARATIE
CU CERCETARILE EXISTENTE PE PLAN MONDIAL.**

6.1. Condiții de realizare a cercetărilor

Primele cercetări privind betonul cu fibre de oțel au fost întreprinse în țara noastră la catedra de Beton armat și clădiri a Facultății de construcții din Institutul politehnic "Traian Vuia" Timișoara. Cercetările au început în anul 1972 la inițiativa prof.em.ing.Ctin Avram, M.C. al Academiei R.S.R., conducătorul științific al prezentei teze de doctorat.

Marea majoritate a cercetărilor de laborator, a lucrărilor experimentale de valorificare și a normativelor elaborate au la bază contracte de cercetare încheiate de catedra de Beton armat a I.P."Traian Vuia" din Timișoara cu diverși beneficiari. Astfel betonul armat cu fibre de oțel a constituit obiectul unui contract în 4 faze încheiat cu M.C.Ind., desfășurat pe perioada anilor 1973-1975 /5/, /6/, a 4 contracte, din care două în două faze, încheiate cu D.D.P.Timișoara, desfășurate pe perioada anilor 1976-1980 /16/, /37/, /38/, /40/ și al unui contract încheiat cu Filiala I.C.C.P.D.C. - Cluj Napoca desfășurat în anul 1978 /21/.

În cadrul contractelor încheiate cu M.C.Ind s-au făcut studii și cercetări referitoare la tehnologia, teoria și proprietățile fizico-mecanice ale betonului armat cu fibre de oțel. În urma cercetărilor întreprinse a fost elaborat în 1977 "Indrumătorul pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" /7/ și s-a executat tronsonul carosabil din dale de beton cu fibre de oțel prezentat la pct.7.1.

Contractele încheiate cu D.D.P.Timișoara au urmărit valorificarea acestui material în domeniul îmbrăcăminților rutiere rigide, domeniu în care până la ora actuală există cele mai multe aplicații pe plan mondial. În acest scop au fost cercetate proprietăți specifice aplicării în acest domeniu, după care s-a trecut la executarea unor sectoare experimentale prezentate la pct.7.2.

La cererea Filialei ICCPDC - Cluj Napoca s-a studiat betonul compact de granolit, armat cu fibre de oțel, cercetările întreprinse urmărind tehnologia și proprietățile acestui material. Pe baza cercetărilor, în referatul contractului au fost incluse și

propuneri de completare a instrucțiunilor C.155-75 /21/.

Pe baza rezultatelor cercetărilor întreprinse la Timișoara și a rezultatelor furnizate de literatura de specialitate au fost elaborate, în 1980, "Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" - indicativ C.201-80 /8/.

Pentru obținerea betonului armat cu fibre de oțel s-a realizat, prin autodotare, în cadrul catedrei de Beton armat și coordonarea I.P.Timișoara un dispozitiv mecanic pentru tăierea sârmelor în fibre și un dispozitiv pentru amprentarea sârmelor.

În cele ce urmează sînt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale întreprinse, în capitolul 7 - lucrările de aplicare executate, iar în anexe cele două normative elaborate.

6.2. Cercetări privind tehnologia betonului cu fibre de oțel

Betonul armat cu fibre de oțel se obține prin înglobarea în masa betonului a unei anumite cantități de fibre de oțel, de diametru ce nu depășește 1 mm și cu lungimi, în general, sub 50 mm.

Fibrele de oțel pot fi înglobate într-un beton greu obișnuit, preparat cu un ciment portland cu și fără adăsură, agregate naturale grele și apă (eventual adaosuri) sau într-un beton cu agregate ușoare sau cu cenușă.

Aspectul cel mai important al tehnologiei betonului cu fibre de oțel este asigurarea distribuției uniforme a fibrelor de oțel în masa betonului (evitarea aglomerării fibrelor). Această problemă implică luarea în considerare a cantității și a raportului geometric l/d al fibrelor de oțel, a dimensiunii maxime a granulelor de agregat, a tipului de malaxor, a duratei de amestecare, a succesiunii introducerii componentelor betonului în malaxor.

În cele ce urmează este prezentată sinteza cercetărilor întreprinse la Timișoara privind tehnologia betonului cu fibre de oțel.

6.2.1. Materiale componente și utilaje folosite

Fibrele de oțel utilizate pentru obținerea betoanelor armate cu fibre de oțel s-au obținut prin tăierea sârmelor produse de întreprinderi metalurgice din țară - Industria sîr

Cîmpia Turzii și Intreprinderea Metalurgică Buzău.

Pentru tăierea sîrmelor s-a construit dispozitivul prezentat în fig.6.1. Sîrmele livrate în colaci de către întreprinderile producătoare, au fost puse în prealabil pe mosoare la "Tehnometal" Timișoara. Principiul de funcționare al dispozitivului

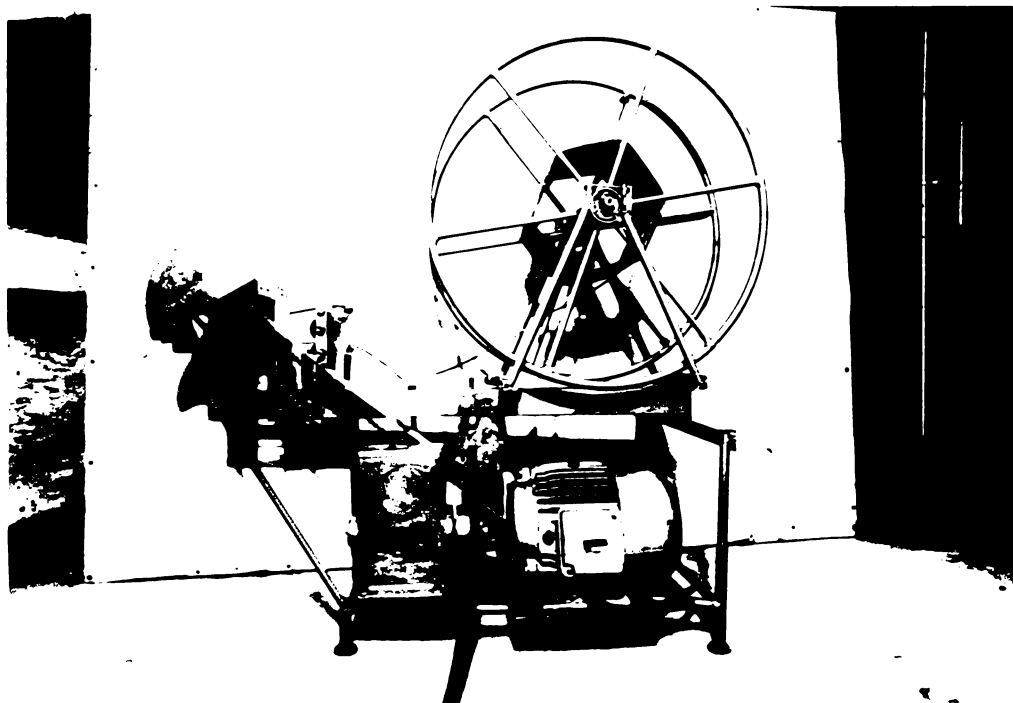


Fig.6.1. Dispozitiv pentru tăierea sîrmei

este prezentat în fig.6.2. De pe mosoare, unde sîrma este înfășurată monofir ea este rulată pe tamburul 1 al dispozitivului, în vederea obținerii unui fascicol cu mai multe fire (pînă la 50 de fire). De pe tambur fascicolul de sîrme este dirijat prin rolele 2 și valțurile 3 la cuțitele 4 care asigură tăierea simultană a fibrelor din fascicol pe principiul ștanțării. Acționarea sistemului se face cu motorul electric 5 prin intermediul reductorului de turație 6 și al lanțului de transmisie 7. Acesta pune în mișcare de rotație tamburul 8, pe care se găsește rigidizat discul 9. Prin intermediul sistemului de manivele 10, fixate pe acest disc, se pun în mișcare valțurile 3 care prin frecare derulează în continuu fascicolul de sîrme de pe tamburul 1 și îl conduc la cuțitele 4 pentru tăiere. Partea de sus a cuțitului este pusă în mișcare de translație în jos prin sistemul de pîrghii 11, datorită rotirii tamburului 8, fiind readusă în poziție inițială cu ajutorul arcului 12. Dispozitivul poate fi reglat pentru tăierea sîrmelor la lungimi de 1, 2, 3, 4, 5 cm. Lungimea de tăiere se reglează prin îmbinare în diferite poziții pe discul 9. Tăierea la lungime constantă a firelor este asi-

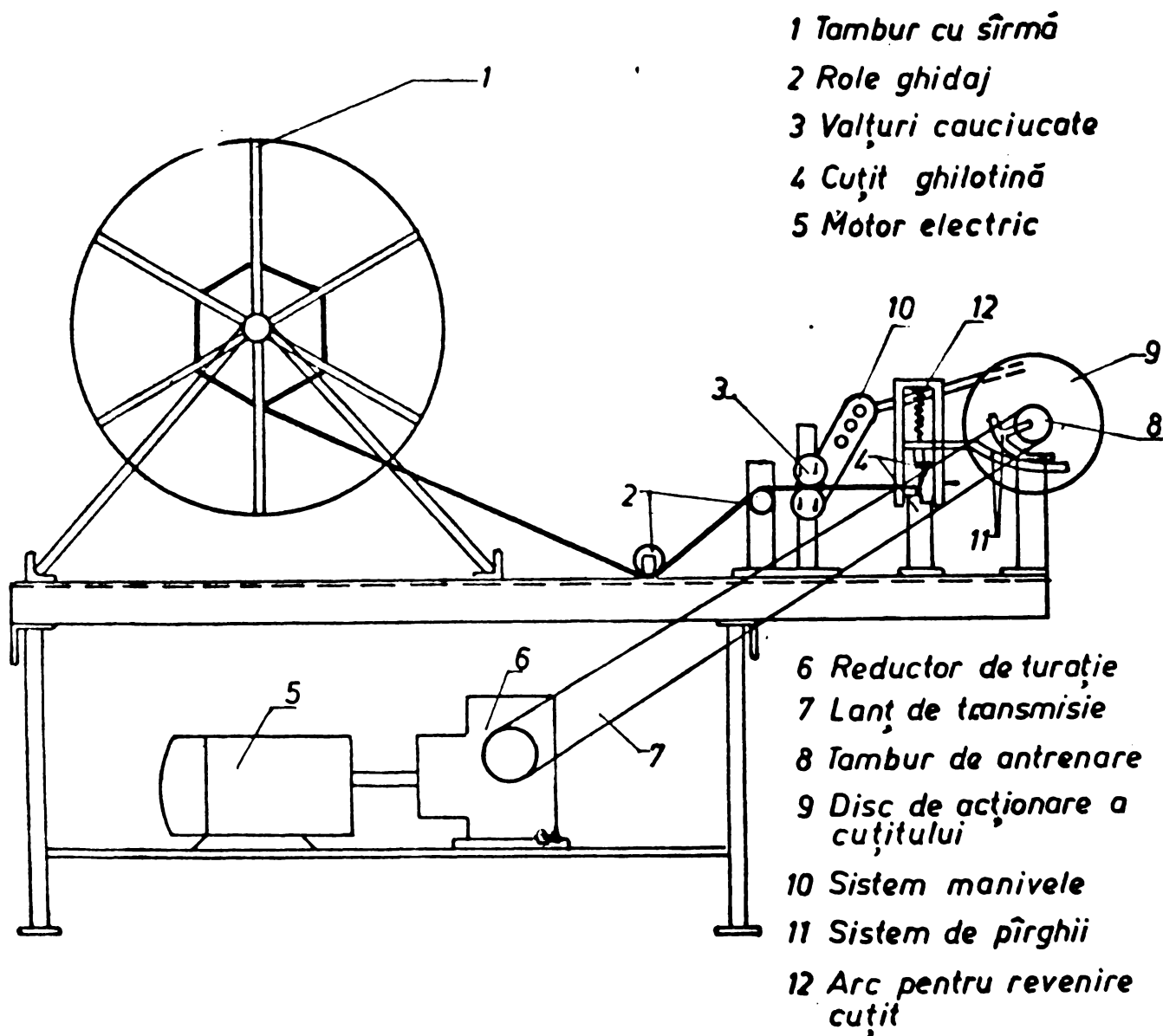


Fig.6.2. Dispozitiv pentru tăierea sîrmei - schema (principiu).

gurată de un clichet montat pe manivela 10, care antrenează valțurile 3 prin intermediul unei roți dințate. Dispozitivul realizează 80 leturi pe minut ale fascicolului de sîrme.

Se consideră că dispozitive similare cu cel prezentat anterior și cu o productivitate mai mare se pot realiza de orice întreprindere de construcții din țară.

Cercetările referitoare la calitatea sîrmei arată că sîrmele de oțel trebuie să fie de calitate tare, conform STAS 889 cu rezistența de rupere la întindere de cca 1000 N/mm^2 ; sîrmele cu rigiditate mică conduc la o repartiție neuniformă în elementul beton și la rezistențe scăzute, ceea ce face ca îmbunătățirea proprietăților betoanelor armate cu fibre de oțel să nu fie sensibilă (v.pct.6.3).

Pe baza datelor din literatură referitoare la diametrele uzuale ale fibrelor de oțel circulare s-a lucrat cu diametre cuprinse între 0,15 și 0,50 mm. Alegerea diametrului și lungimii fibrelor este condiționată de raportul geometric l/d . Valorile lui l/d cu care au lucrat diverși cercetători (v. capit.2). au fost cuprinse între 30 și 200, reușindu-se să se stabilească un raport l/d recomandabil ca fiind egal cu 100. Recomandarea are la bază justificarea că pentru acest raport se obțin cele mai mari îmbunătățiri ale caracteristicilor mecanice și o lucrabilitate corespunzătoare. În cercetările proprii s-a utilizat din acest motiv un raport l/d în jur de 100. Este evident că, pentru o ușoară punere în operă, lungimea fibrelor trebuie corelată și cu dimensiunea minimă a elementului. În experimentări s-a acceptat recomandarea ca raportul lungimea fibrei/dimensiunea minimă a elementului să fie cuprins în 0,4 și 0,6 /12/.

În cercetările efectuate s-a lucrat cu procente volumetrice de armare de pînă la 3%. Trebuie menționat că peste procentul de 3% lucrabilitatea betonului se înrăutățește simțitor.

În urma cercetărilor efectuate rezultă o aliere la recomandarea Comitetului 544 al ACI /12/ care limitează conținutul de fibre de oțel la un procent volumetric de maximum 2% și raportul geometric l/d la maximum 100, pentru a se evita segregarea și legarea fibrelor în ghemuri. Cercetările efectuate pe beton de granulat (v.pct.6.5) arată că limita de 2% poate fi păstrată și pentru aceste betoane, dacă se folosesc rețete modificate la care partea fină de agregat 0/3 mm reprezintă cel puțin 0,6 din agregatul total și dacă dimensiunea maximă a granulatului este 7 mm.

Cimenturile utilizate în cercetările proprii au fost cimenturi portland fără adaosuri sau cu adaosuri, fără a observa diferențe între aceste două categorii la preparare și punere în operă. Se apreciază că cimenturile ce se pot utiliza la prepararea betoanelor armate cu fibre de oțel în condiții obișnuite sînt: Pa 35, P 40, P 45, P 50, P 55 (RIM). În condiții de agresivitate se vor respecta prevederile din "Instrucțiunile tehnice pentru folosirea cimenturilor în construcții (indicativ C.19-79). Constatările sînt similare cu cele din literatură.

Agregatele utilizate la prepararea betoanelor cu fibre de oțel sînt agregate naturale grele de rîu, cu densitate în grămadă, în stare afînată și uscată, de minimum 1200 kg/m^3 . S-a constatat că agregatul mai mare de 10 mm înrăutățește lucrabilita-

tea favorizînd segregarea și adunarea sîrmelor în ghemuri. În scopul asigurării unei lucrabilități corespunzătoare betoanelor armate cu fibre de oțel, dimensiunea maximă a agregatului nu va depăși 10 mm, limită dată în literatura de specialitate. Au fost utilizate agregate sortate, conform prevederilor STAS 1667/76 și anume 0...3,15 și 3,15...7,1 sau 0...5 și 5...10 mm. Pe baza datelor de la pct.6.5. limită maximă a dimensiunii granulitului este 7 mm.

Apa folosită la prepararea betoanelor armate cu fibre de oțel a respectat aceleași condiții ca și pentru betoanele obișnuite, conform STAS 790-73.

În cercetările efectuate în vederea aplicării betonului armat cu fibre de oțel în domeniul drumurilor s-a utilizat, pentru îmbunătățirea lucrabilității și a comportării la îngheț-dezgheț, aditivul mixt Disan, respectîndu-se condițiile prevăzute de Normativul C.140-79. O parte din apa necesară la amestecare a fost substituită cu soluție 20% Disan, astfel încît să existe 1...1,5 l soluție la 100 kg ciment (0,2 - 0,3 % Disan substanță uscată la 100% ciment). Prepararea soluției s-a făcut conform anexei V.4 din Normativul C.140 - 79 /111/.

Avînd în vedere suprafața specifică mare a fibrelor de oțel, nu s-a utilizat adaos de clorură de calciu ca accelerator de priză și întărire.

Cu ocazia preparării și turnării betoanelor cu fibre de oțel s-a constatat necesitatea următoarelor utilaje și dispozitive:

- dispozitiv pentru tăierea sîrmei;
- malaxor cu amestec forțat;
- pervibrator, placă sau grindă vibratoare (în funcție de tipul elementului) cu min.300 vibrații/minut;
- cîntare pentru dozarea materialelor;
- ciur cu ochiuri de 16 mm;
- mistrii, furci, lopeți, etc.

6.2.2. Tehnologia betonului cu fibre de oțel

În urma realizării unor amestecuri de betoane armate cu fibre de oțel s-a ajuns la concluzia că evaluarea dozajului de materiale componente trebuie să se facă pe bază de încercări preliminare, luîndu-se în considerare următoarele:

- a) Se alege un beton simplu ale cărui caract

tici fizico-mecanice urmează a fi îmbunătățite prin adăugarea de fibre de oțel. Dozajele de materiale componente (ciment, apă, agregate) pentru acest beton se stabilesc conform anexei V.3 din Normativul C.140-79. Dozarea aditivului Disan se va stabili conform celor prezentate la pct.6.2.1.

Intrucât un dozaj de ciment ridicat asigură o bună aderență între fibre și pasta de ciment, este indicat ca armarea cu fibre de oțel să se facă pentru betoane a căror marcă este cel puțin B.150.

b) Partea fină de agregat conducând la o lucrabilitate mai bună și la o creștere a aderenței mortarului față de fibre, sorturile 0.....3,15 mm respectiv 0.....5 mm vor reprezenta cel puțin 50% din agregatul total.

c) Parametrii fibrelor de oțel (procent, lungime, diametru) se stabilesc în conformitate cu cele prezentate la pct.6.2.1 și cu datele din tabelul 6.1.

Tabelul 6.1

Caracteristici ale betoanelor cu fibre de oțel funcție de parametrul $p \ell/d$ ($p_g \ell/d$).

$p_g \ell/d$	0	200	400	600	800	1000	
$p \ell/d$	0	61	122	184	245	306	
Rezistența la întindere din încovoiere	100	110...150	150...200	160...210	180...230	200...250	
Rezistența la șoc	100	200...500	300...600	350...800	—	—	
Energia de deformare	parțială	100	120...150	350...450	400...700	500...800	—
	totală		500...1000	1200...2000	1500...2500	2000...3000	2500...4000

Valorile din tabelul 6.1. au fost stabilite funcție de datele experimentale existente în prezent privind acest material

nou. Pentru $p \ell/d = 0$ s-a luat, pentru rezistențe și energia de deformare, valoarea de referință 100.

Dozajul de fibre (F) se stabilește cu relația:

$$F = \frac{p}{100} \rho_f f = \frac{p}{100} \cdot \rho_b \cdot b \quad (\text{kg/m}^3) \quad (6)$$

în care: $\rho_f = 7850 \text{ kg/m}^3$ este densitatea fibrelor de oțel;
 $\rho_b = 2400 \text{ kg/m}^3$ este densitatea betonului proaspăt.

Limitele uzuale între care variază procentul de ar
re volumetric p sînt 0,5 și 2 %.

d) Pentru definitivarea dozajelor de materiale componente se prepară probe de beton, cu cantitățile de materiale stabilite conform celor de mai sus, cărora li sî se determină caracteristicile fizico-mecanice care interesează. În cazul în care aceste caracteristici sînt inferioare sau depășesc cu mai mult de 20% pe propuse a se realiza, se vor face corecții corespunzătoare ale dozajelor de materiale componente și se confecționează noi epruvet probă.

Un exemplu privind calculul compoziției betonului mat cu fibre de oțel este prezentat în "Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" (vezi anexa).

Amestecarea materialelor componente trebuie să asure o dispersie uniformă a fibrelor în masa betonului. Pentru amestecare s-a utilizat malaxorul cu palete prezentat în fig.6.3. Pe baza experienței acumulate s-a dedus următoarea succesiune a operațiilor de amestecare:

- se amestecă sorturile de agregat (30...60 sec.);
- se adaugă cimentul și se amestecă pînă la obținerea unei mase omogene (30...60 sec.);
- agregatele și cimentul se amestecă apoi, cu fibrele de oțel, această operație putîndu-se efectua în două moduri:
 - amestecarea masei uscate (agregate și ciment) și fibrele de oțel în proporții constante pe o bandă transportoare, de unde amestecul este introdus în containerul malaxorului;
 - introducerea fibrelor, prin cernere cu un ciur (ochiuri $\phi 16 \text{ mm}$), în containerul malaxorului



Fig.6.3. Malaxor cu palete, utilizat la amestecarea betonului cu fibre de oțel

peste masă uscată și omogenizarea cu ajutorul unei mistrii; această metodă se pretează pentru șarje mici (50 l);

- după ce amestecul a ajuns în containerul malaxorului sau betonierei, acesta se pune în mișcare, timp în care se adaugă întreaga cantitate de apă de amestecare (inclusiv soluția Disan). Durata de malaxare (30...60 sec.) se stabilește prin batonare, în funcție de mărimea șarjei și de tipul malaxorului sau betonierei. O durată prea mare de amestecare produce împletirea sirmelor în gheme.

În laborator, pentru șarje mici, se poate face o amestecare manuală., respectând succesiunea operațiilor dată mai sus.

Aprecierea lucrabilității betonului cu fibre de oțel s-a făcut prin gradul de compactare malz. S-a obținut o lucrabilitate corespunzătoare când betonul simplu în care s-au introdus fibrele a fost de consistență plastică sau cel mult slab plastică.

Transportul și turnarea betonului armat cu fibre de oțel s-a făcut după aceleași procedee cu ale betonului obișnuit.

La execuția lucrărilor de reparare a îmbrăcăminților rutiere rigide, prezentate la pct.7.2, suprafața dalelor din beton obișnuit, care urmau a fi reparate, a fost pregătită în felul următor:

- frecarea cu perii de sîrmă astfel încît suprafața dalei pe care se execută reparația să fie curată, fără pete de ulei, praf sau bucăți de material neaderent;

- buciardarea suprafeței în cazul în care aceasta s-a prezentat șlefuită;

- smorsarea suprafeței cu lapte de ciment, cu un raport A/C de 0,5; aplicarea laptelui de ciment s-a făcut astfel încît pe suprafața dalei să rămîna o peliculă de circa 1,5 mm grosime.

Compactarea betonului armat cu fibre de oțel trebuie să se facă mult mai atent decît la betonul obișnuit, întrucît are o lucrabilitate mai scăzută. Vibrarea trebuie făcută energic, fără însă a conduce la segregarea materialelor componente, segregare care se manifestă ca și la betonul obișnuit.

Pentru vibrare s-au utilizat în condiții bune mese vibrante pentru epruvetele de laborator și pentru dalele prefabricate pentru pavaje și plăci vibrante pentru realizarea unor suprafețe subțiri continue. În cazul celorlalte elemente se pot utiliza per-vibratoare sau vibratoare de cofraje.

La finisarea elementelor din beton cu fibre de oțel s-a utilizat mistria și dreptarul. După întărire, la elementele prefabricate, fibrele care ies din suprafața finisată trebuie îndepărtate cu perii de sîrmă, întrucît acestea - prin coroziune - dau un aspect inestetic elementelor de beton și rănesc pe muncitorii care manipulează prefabricatele.

La repararea sau executarea unor porțiuni de drumuri cu îmbrăcămînți rigide finisarea suprafețelor se poate face cu ajutorul unui rulo metalic, micile corecturi urmînd a fi făcute cu mistria.

Elementele din beton armat cu fibre de oțel au fost păstrate și protejate utilizînd aceleași metode și tehnici ca și pentru betonul armat obișnuit, conform normativului C.140-79.

6.3. Cercetări privind proprietățile betonului cu fibre de oțel

6.3.1. Lucrabilitatea

Cercetări de lucrabilitate au fost întreprinse cu ocazia lucrărilor de aplicare a betonului cu fibre de oțel la

repararea de îmbrăcămînți rutiere rigide, care sînt prezentate la pct.7.2.

Încercările s-au făcut pe beton simplu cu și fără Disan și pe beton cu fibre cu și fără Disan. Pentru determinarea lucrabilității s-au folosit metodele tasării și gradul de compactare Walz.

Compoziția betonului simplu, de referință, a fost: ciment RIM 200 - 450 kg/m³; nisip 0/3 - 900 kg/m³; nisip 3/7- 653 kg/m³; raport A/C = 0,55. Betonul cu fibre de oțel a conținut în plus un dozaj de fibre (d = 0,28mm, l = 30 mm) de 120 kg/m³, ceea ce corespunde unui procent de armare volumetric de 1,5%. La betoanele cu aditiv Disan s-a utilizat soluție 20% Disan într-o proporție de 1,5% / 100 kg ciment (0,3 kg Disan la 100 kg ciment).

Rezultatele încercărilor sînt date în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2.

Încercări de lucrabilitate cu utilizarea aditivului "Disan"

Tipul betonului	Reducerea cantității de apă (%).	A/C	Lucrabilitatea		
			Tasare (cm)	Walz	
				Timp vibrație (sec.)	G _c
Beton simplu	—	0,55	29	15	1,13
Beton simplu cu DISAN	10	0,510	4,8	10	1,12
	15	0,483	3,15	10	1,18
	20	0,455	2,2	15	1,23
Beton cu fibre	—	0,55	—	30	1,49
Beton cu fibre și DISAN	—	0,565	—	20	1,45
	10	0,51	—	40	1,52
	15	0,483	—	75	1,54

Așa cum se observă din tabel, atît la betoanele simple cît și la cele armate la care s-a adăugat Disan, cantitatea de apă s-a redus cu 10, 15, 20%, respectiv cu 10 și 15% pentru cele ar-

mate cu fibre.

Se constată că prezența fibrelor în beton înrăutățește lucrabilitatea betonului, prin mărirea gradului de compactare și a timpului de vibrare necesar pentru obținerea unei compactități maxime. Constatarea este în concordanță cu datele din literatura de specialitate (v.pct.4.1.1).

Prin utilizarea aditivului Disan atât la betonul simplu cât și la cel cu fibre, pentru a se obține un grad de compactare identic, raportul A/C se poate reduce mai mult la betonul simplu și mai puțin la cel cu fibre. Observație similară poate fi făcută și în ceea ce privește timpul necesar vibrării.

Se poate concluziona că folosirea aditivului Disan, indicat de standardele în vigoare la betoanele pentru drumuri, este foarte avantajoasă în cazul betoanelor armate cu fibre de oțel întrucât le îmbunătățește sensibil lucrabilitatea, contribuind și o repartiție mai uniformă a fibrelor în matrice.

6.3.2. Rezistența la întindere prin încovoiere

Primele încercări privind rezistența la întindere prin încovoiere au fost efectuate cu fibre de oțel obținute din sârmă neagră moale /5/. Determinările au fost efectuate pe prisme de (4 x 4 x 16) cm, (10 x 10 x 30) cm și (10 x 10 x 55) cm.

Încercările efectuate pe epruvete de (4 x 4 x 16) cm au căutat să pună în evidență influența factorilor de compoziție ai betonului armat cu fibre de oțel, a regimului de vibrare cât și a condițiilor de păstrare a epruvetelor asupra rezistenței la întindere din încovoiere. S-au utilizat fibre cu diametrul de 0,22 mm cu lungimile de 10 și 20 mm, într-un procent de armare volumetric de 0,21 și 0,57 %, un ciment alitic pentru drumuri (A 500) și agregat de râu cu diametrul maxim de 10 mm și de 7 mm; raportul A/C a fost de 0,47 și de 0,40. În scopul îmbunătățirii aderenței dintre fibre și beton, fibrele au fost tratate fie prin spălare în benzină, fie prin păstrare în lapte de var, fie prin procedee combinate

Calculul rezistenței la întindere prin încovoiere s-a făcut prin luarea în considerare a plasticizării zonei întinse adică cu relația cunoscută:

$$R_t = \frac{3,5}{4} \cdot \frac{Pl}{bh^2} \quad (6.2)$$

Analiza creșterilor de rezistență /5/ nu permit

scoateră clară în evidență a influenței favorabile a fibrelor asupra rezistenței la întindere prin încovoiere, datorită procentelor volumetrice prea mici care au fost utilizate. Se pot constata totuși următoarele:

- fibrele de oțel la epruvetele care nu se compactează prin vibrare nu au nici un fel de influență;

- vibrarea epruvetelor a condus la marea majoritate a cazurilor la creșteri ale rezistenței la întindere din încovoiere pentru epruvetele cu fibre de oțel, față de cele nearmate. În ceea ce privește amplitudinea și frecvența de vibrare se constată că nu poate fi trasă nici o concluzie. De altfel și în literatură, cercetătorii care au abordat această problemă scot în evidență necesitatea vibrării, fără însă a preciza efectul caracteristicilor vibrării;

- tratarea prealabilă a fibrelor n-a avut nici un efect asupra creșterilor de rezistență;

- creșterile de rezistență sînt mai sensibile, în majoritatea cazurilor, pentru seriile de epruvete la care s-a folosit agregat cu $D_{\max} = 7$ mm, față de cele cu agregat cu $D_{\max} = 10$ mm.

În încercările efectuate pe epruvete de (10x10x30) cm și (10x10x55) cm s-a urmărit influența caracteristicilor fibrelor și a compoziției betonului. Serii de epruvete încercate și caracteristicile lor sînt prezentate în tabelul 6.3.

Au fost folosite fibre cu diametrul de 0,22 mm, cu lungimi de la 20 la 50 mm. În cadrul aceleiași lungimi s-au cercetat mai multe procente volumetrice de armare, procentul maxim fiind limitat de lucrabilitatea betonului proaspăt.

S-au luat două doze de ciment de 388 și 450 kg/m³, rezultînd rapoarte A/C de 0,49 și respectiv 0,38.

Agregatele utilizate au fost de rîu, cu dimensiunea maximă de 7 mm.

Toate epruvetele din seriile M...V au avut același regim de vibrare și au fost păstrate în aceleași condiții: 14 zile în mediu umed și 14 zile în mediu uscat.

O parte din epruvetele din seria Q au fost supuse și procedurii de impregnare și polimerizare. Astfel au fost impregnate 3 epruvete fără fibre și 3 epruvete armate cu fibre, rămînînd neimpregnate 3 epruvete nearmate și 3 epruvete armate cu fibre. Epruvetele supuse impregnării, cu metacrilat de metil, au fost uscate, în prealabil, în etuvă la 105°C și apoi imersate în monomer.

Tabelul 6.3.

Caracteristicile epruvetelor de (10 x 10 x 30) cm și (10 x 10 x 55) cm, armate cu fibre din sîrmă neagră moale

Seria	Caracteristicile fibrelor (d = 0,22 mm)				Caracteristicile betonului		Dimensiunile epruvetelor (cm)
	P (%)	Dozaj (kg/m ³)	l (mm)	$\frac{l}{d}$	Dozaj ciment (kg/m ³)	A/C	
M	0,60	48	20	91	388	0,49	10 x 10 x 30
	1,35	108					
	1,80	144					
	2,10	168					
N	0,60	48	30	136	388	0,49	10 x 10 x 55
	1,35	108					
O	0,60	48	40	182	388	0,49	10 x 10 x 55
	0,75	60					
	1,35	108					
P	0,60	48	40	182	450	0,38	10 x 10 x 55
	0,75	60					
	1,35	108					
Q	0,60	48	30	106	388	0,49	10 x 10 x 30
R	0,30	24	50	227	388	0,49	10 x 10 x 55
	0,60	48					
	0,75	60					
S	0,30	24	50	227	450	0,38	10 x 10 x 55
	0,60	48					
	0,75	60					
T	0,60	48	40	182	388	0,49	10 x 10 x 30
	0,75	60					
U	0,30	24	50	227	388	0,49	10 x 10 x 55
	0,45	36					
	0,60	48					
V	0,30	24	50	227	450	0,38	10 x 10 x 55
	0,45	36					
	0,60	48					

Polimerizarea s-a făcut, de asemenea, în etuvă la temperatura de probele fiind învelite în folii de polietilenă.

Valorile rezistențelor la întindere prin încovoier calculate pe baza relației (6.2) sînt prezentate în tabelul 6.4, iar variația rezistenței relative la întindere din încovoier (R_t^f/R_t) în funcție de parametrul global $\mu l/d$ este dată în fig. 6.4. Analiza rezultatelor obținute conduce la următoarele constatări:

- rezistența la întindere a epruvetelor armate cu

Tabelul 6.4.

Rezistențele la întindere prin încovoiere, stabilite pe prisme, de 10 x 10 x 30 și 10 x 10 x 50 cm, armate cu fibre din sîrmă neagră moale

Seria	Epruvate martor	Epruvete cu fibre			R_t^f / R_t
	R_t (daN/cm ²)	p (%)	$\frac{l}{d}$	R_t^f (daN/cm ²)	
M	30,7	0,60	91	32,1	1,05
		1,35		37,2	1,21
		1,80		32,5	1,06
		2,10		34,6	1,13
N	28,3	0,60	91	35,8	1,27
		1,35		39,5	1,40
O	23,6	0,60	136	26,9	1,14
		0,75		28,1	1,19
		1,35		30,4	1,29
P	24,7	0,60	136	30,9	1,25
		0,75		31,4	1,27
		1,35		35,1	1,34
Q	26,7	0,60	136	30,8	1,16
R	22,9	0,30	182	24,9	1,09
		0,60		28,9	1,18
		0,75		27,4	1,20
S	25,8	0,30	182	30,5	1,18
		0,60		35,7	1,38
		0,75		35,0	1,39
T	—	0,60	182	—	—
U	21,4	0,30	227	25,9	1,22
		0,45		26,9	1,26
		0,60		29,3	1,37
V	25,2	0,30	227	30,4	1,21
		0,45		30,9	1,25
		0,60		34,1	1,35

fibre crește cu creșterea parametrului $\mu l/d$. Creșterea maximă, de 1,4 ori, este înregistrată pentru valoarea 1,25 a parametrului global $\mu l/d$ ($p \cdot l/d = 125$); peste această valoare rezistențele betcanelor cu fibre încep să scadă, datorită înrăutățirii lucrabilității;

- dozajul de ciment influențează creșterea de rezistență în sensul că la dozaje sporite creșterile sînt, în general, mai mari;

- la ruperea epruvetelor fibrele se smulg din be-

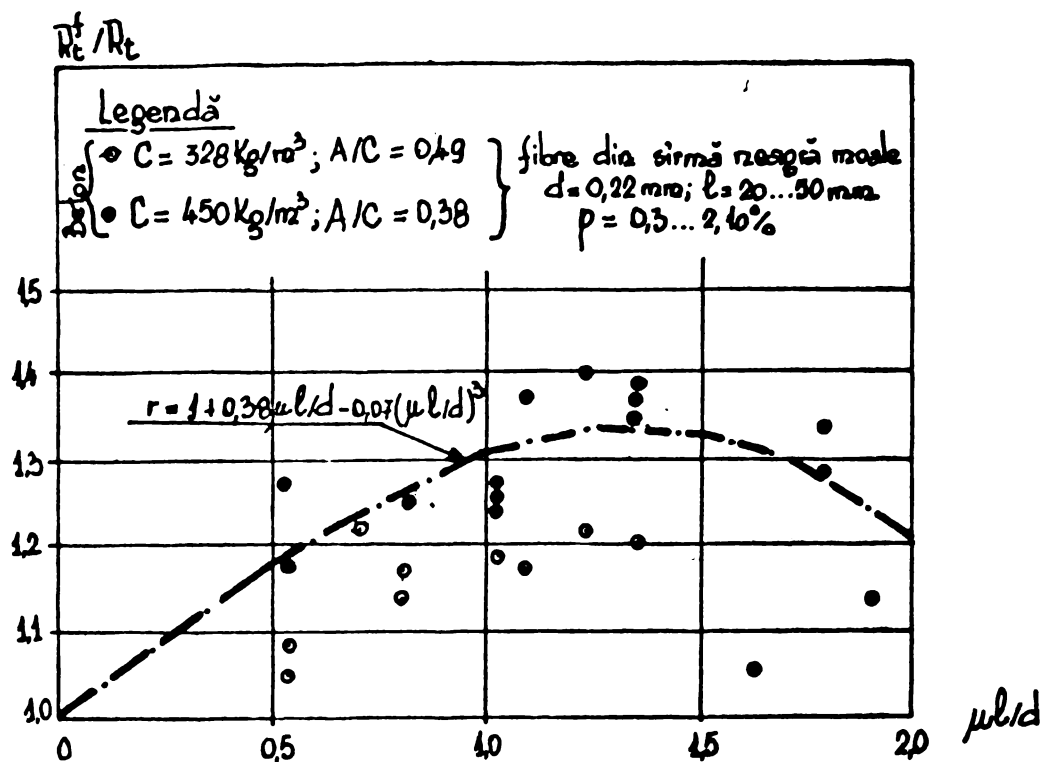


Fig.6.4. Variația rezistenței relative la întindere, în cazul armării cu fibre din sîrmă moale.

ton, fără a se rupe.

Incercările menționate anterior, care au fost efectuate cu fibre de oțel obținute din sîrmă moale au condus la creșteri relativ mici, de maxim 1,4 ori, ale rezistenței la întindere, ceea ce a făcut ca în cercetările ulterioare să se încerce îmbunătățirea aderenței dintre fibre și beton. În paralel s-a lucrat și cu fibre de oțel obținute din sîrmă tare lucioasă, întrucît s-a constatat că acestea, datorită unor rigidități proprii sporite față de fibrele din sîrmă moale, duc la îmbunătățirea lucrabilității și la o dispersie mai uniformă a fibrelor în masa betonului.

Îmbunătățirea aderenței s-a făcut prin două metode: tratarea chimică a fibrelor și amprentarea fibrelor /6/.

Studiul privind aderența prin tratarea chimică a suprafeței fibrelor (cu sol. 4% HCl) s-a efectuat în paralel cu studiul influenței tipului de sîrmă, lungimii sîrmei, procentului de armare volumetric și a vîrstei de încercare, asupra rezistențelor la întindere din încovoire și compresiune, determinate pe epruvete de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ și $10 \times 10 \times 55 \text{ cm}$.

La epruvetele mici s-a folosit următoarea compoziție de beton /6 - ref.1974/:

- ciment (RL 200 sau PZ 400): 450 kg/m^3

- agregat de rîu (sort 0/1 = 35 - 40 %; sort 1/3 = 65 - 60 %): 1600 kg/m^3
- raport A/C = $0,48 \div 0,596$.

O parte din epruvete au fost armate cu fibre din sîrmă neagră moale cu $d = 0,22 \text{ mm}$, $l = 20$ și 30 mm și $p = 0,89 \div 1,04\%$, iar altă parte cu fibre din sîrmă tare lucioasă cu $d = 0,29 \text{ mm}$, $l = 20$ și 30 mm și $p = 1,29\%$.

La epruvetele mari s-a folosit următoarea compoziție de beton /6- ref.1974/:

- ciment PZ 400 : 400 kg/m^3
- agregat de rîu cu $D_{\text{max}} = 8 \text{ mm}$: 1800 kg/m^3
- raport A/C = $0,5$.

Intrucît pe epruvetele mici s-a constatat că fibrele din sîrmă moale și tratarea chimică a suprafeței fibrelor dau rezultate neconciulente, la epruvetele mari armarea s-a făcut cu fibre din sîrmă tare iar parametrii luați în considerare au fost lungimea sîrmei și procentul de armare. S-au utilizat fibre cu $d = 0,29 \text{ mm}$, $l = 20$ și 30 mm și $p = 1; 2; 3\%$. Rezultatele acestui studiu sînt prezentate în fig.6.5 și în fig.6.6.

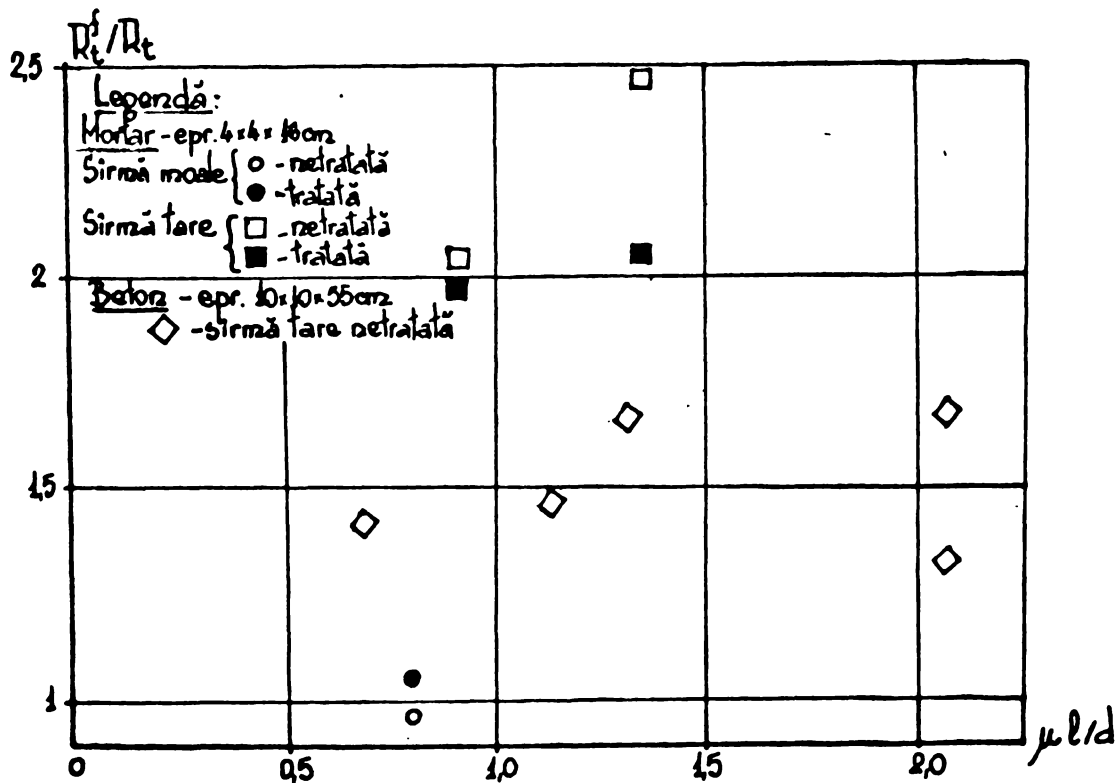


Fig.6.5. Variația rezistenței relative la întindere, în cazul armării cu fibre din sîrmă moale sau tare, tratate sau netratate chimic, la vîrsta de 28 zile

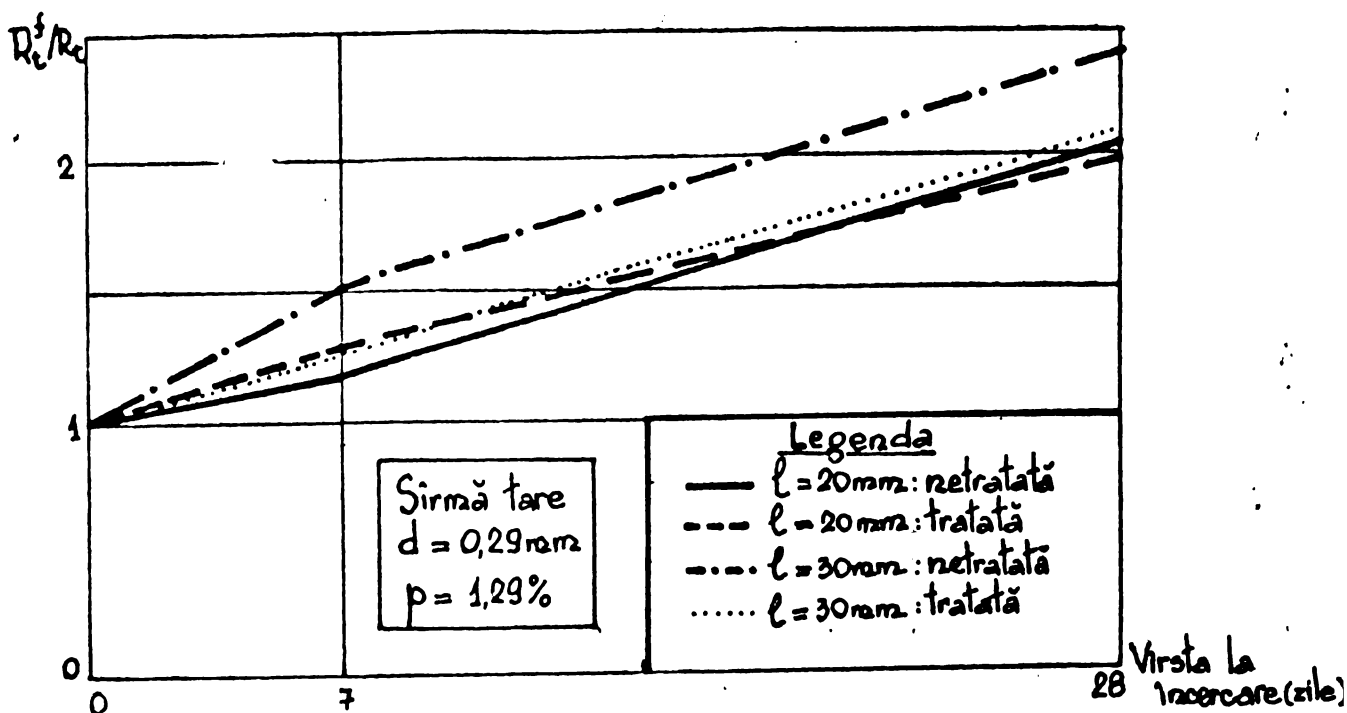


Fig.6.6. Variația rezistenței relative la întindere în funcție de vîrsta la încercare.

Din rezultatele prezentate se constată următoarele:

- creșterile de rezistență la întindere pe epruvete $4 \times 4 \times 16\text{cm}$, armate cu fibre din sîrmă moale sînt nesemnificative ceea ce s-a observat și în cercetările anterioare, prezentate în 6.4., efectuate pe epruvete mari și mici armate cu fibre din sîrmă moale;

- creșterea de rezistență a epruvetelor armate cu fibre de oțel este mai substanțială pentru o vîrstă de încercare mai mare (v.fig.6.6); de exemplu la 28 de zile această creștere este de aproximativ 2,2 ori, iar la 7 zile de numai 1,3 ori;

- tratarea chimică a suprafeței fibrelor nu a condus la obținerea unor creșteri de rezistență suplimentare față de epruvetele cu sîrmă netratată; dimpotrivă, în majoritatea cazurilor s-au observat scăderi de rezistență;

- calitatea sîrmei fibrelor influențează în mod esențial creșterile de rezistență ale betoanelor armate cu fibre de oțel se poate constata că sîrma tare dă creșteri cu mult mai mari decît sîrma moale: la 28 de zile creșterile de rezistență sînt de peste 2 ori la elementele armate cu fibre din sîrmă tare, în timp ce la cele armate cu fibre din sîrmă moale aceste creșteri nu depășesc 1, ori (v. și fig.6.4);

- creșterile de rezistență obținute pe epruvete mari

armate cu fibre din sîrmă tare, arată valori semnificative de 1,67 ori; rezistențele cresc cu creșterea parametrului $\mu l/d$ pînă la o anumită valoare (v.fig.6.5) după care creșterile de rezistență încep să scadă. Creșterile mai mici obținute pe epruvetele mari se datoresc proporției mai ridicate de agregate mari:

Rezultate importante privind rezistența la întindere, stabilită prin încercarea de încovoiere, au fost obținute cu coazia studiului de îmbunătățire a aderenței fibrelor cu betonul prin amprentarea fibrelor /6/. Pentru armare s-au folosit fibre din sîrmă tare, cu diametri de: 0,29; 0,38; 0,41 mm și lungimea de 20 mm. Rezistența de rupere medie a sîrmelor a fost de 70 daN/mm². Amprentarea sîrmei s-a realizat cu ajutorul unui dispozitiv construit în cadrul Catedrei de beton armat și clădiri a I.P.Timișoara. Studiul s-a efectuat pe epruvete de (4 x 4 x 16) cm din mortar de ciment, pentru care s-a folosit ciment PZ 400 și nisip de rîu 0/3 mm. Pentru toate epruvetele s-a păstrat o consistență constantă, rezultînd pentru cele 3 compoziții de mortar următoarele rapoarte A/C : pentru mortar 1/3 - 0,586; pentru mortar 1/2 - 0,500; pentru mortar 2/3 - 0,445. Fibrele au fost înglobate în mortarul proaspăt prin trecerea lor printr-o sită în vederea unei distribuții cît mai uniforme, timp în care s-a realizat și o amestecare continuă a mortarului. Compactarea s-a făcut prin vibrare pe mese vibrante (amplitudine 0,2 mm și frecvență 50 Hz) timp de 1 minut. Încercările s-au efectuat la 28 de zile, epruvetele fiind păstrate 7 zile în aer umed și 21 de zile în mediu uscat la o temperatură de (20-22)°C. S-a efectuat întîi încercarea la încovoiere, forța aplicîndu-se la mijlocul unei deschideri de 15 cm, iar pe jumătățile de prismă s-au făcut încercări de compresiune. Rezultatele acestui studiu sînt prezentate în tabelul 6.5 și în fig.6.7. Analiza acestora conduce la următoarele observații:

- rezistențele la întindere din încovoiere cresc cu creșterea parametrului global $\mu l/d$; cele mai mari creșteri ale rezistențelor s-au obținut pentru valoarea maximă a acestui parametru, egală cu 1,55 în acest studiu, care însă, după cum se observă din fig.6.7, mai putea fi mărită;

- amprentarea are un efect favorabil asupra aderenței și în final asupra creșterii rezistenței la întindere din încovoiere; pentru procentul de armare de 2,25% sporul de rezistență este (cu două excepții) între 1,2 % și 62% ;

- rezistențele la întindere cresc cu sporirea ra-

portului C/N. Această comportare este în directă legătură cu sporirea aderenței la creșterea dozajului de ciment; creșterile de rezistență, cu mărirea dozajului de ciment, sînt mai pronunțate la fibrele amprentate față de cele netede.

Tabela 6-5

Rezistențele relative la întindere, stabilite prin încovoiere, pe probe de 4 x 4 x 16 cm armate cu fibre din sîră tare netede și amprentate

Tipul mortarului ciment → C ceap → N	Caracteristicile fibrelor		R_t mortar marlor (daN/cm ²)	R_t^f / R_t		
	d (mm)	suprafață		p = 0,75%	p = 1,5%	p = 2,25%
1/3	0,29	netedă	36,38	1,05	1,22	1,40
		amprentată $d_a/d = 0,80$		0,97	1,12	1,42
	0,38	netedă	34,91	1,05	0,98	1,21
		amprentată $d_a/d = 0,76$		0,94	1,07	1,12
		amprentată $d_a/d = 0,60$		1,08	1,28	1,32
	0,41	netedă	31,63	0,94	1,11	1,27
amprentată $d_a/d = 0,70$		1,07		1,31	1,60	
1/2	0,29	netedă	43,05	0,98	1,65	1,68
		amprentată $d_a/d = 0,80$		0,90	1,70	2,08
	0,38	netedă	43,26	0,91	1,40	1,76
		amprentată $d_a/d = 0,76$		0,98	1,43	1,48
		amprentată $d_a/d = 0,80$		0,90	1,22	2,07
	0,41	netedă	43,67	0,99	1,25	1,04
amprentată $d_a/d = 0,70$		0,88		1,08	1,18	
2/3	0,29	netedă	45,41	1,09	1,52	1,87
		amprentată $d_a/d = 0,80$		0,99	1,99	2,20
	0,38	netedă	51,93	0,93	1,44	1,82
		amprentată $d_a/d = 0,76$		1,00	1,24	1,59
		amprentată $d_a/d = 0,60$		1,04	1,74	2,11
	0,41	netedă	47,48	0,90	1,03	0,99
amprentată $d_a/d = 0,70$		1,00		1,34	1,54	

d_a = diametrul fibrei în dreptul amprenteii; $R_t = \frac{3,6}{4} \frac{P_L}{b \cdot l}$

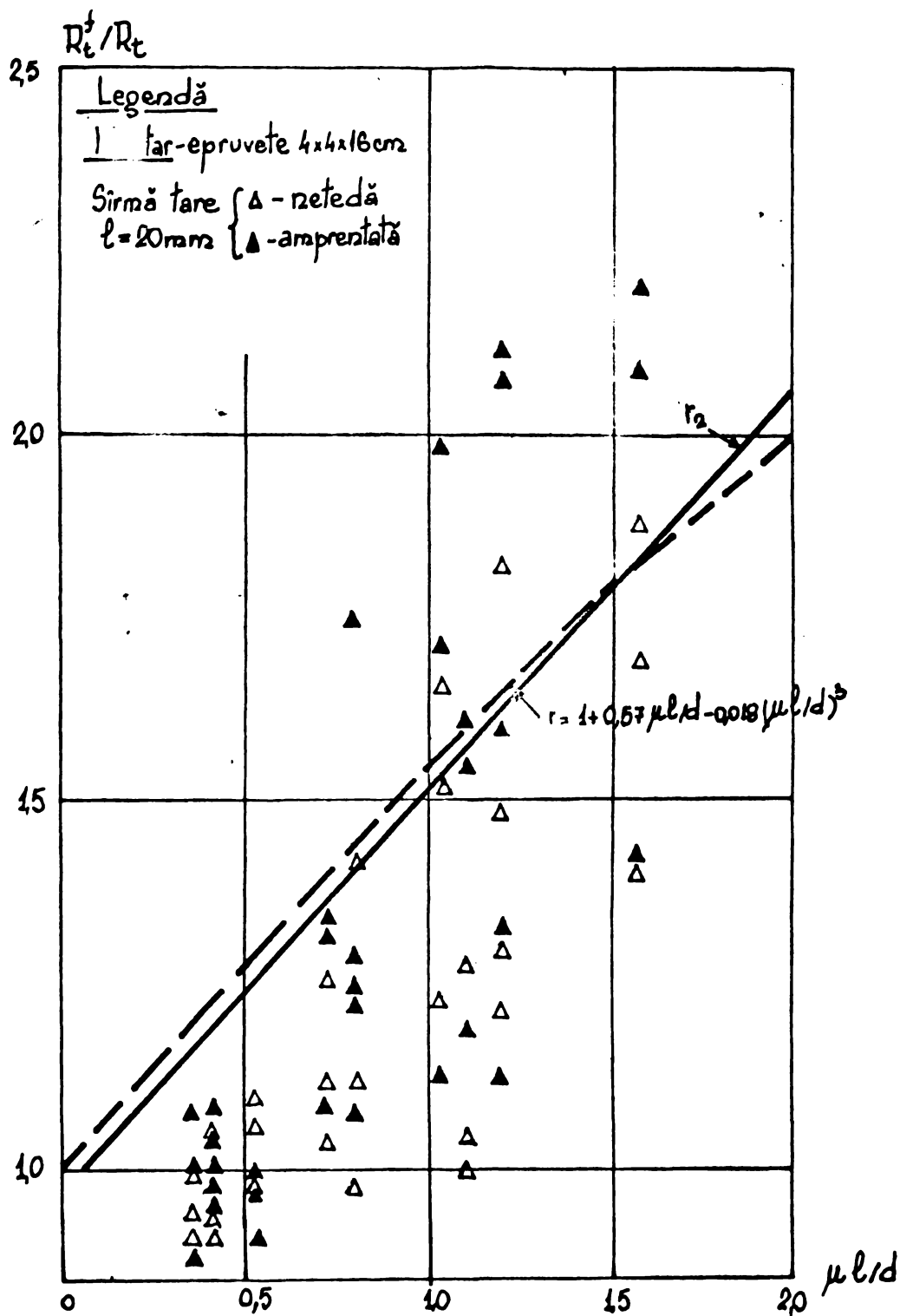


Fig.6.7. Variația rezistenței relative la întindere, în cazul armării cu fibre din sirmă tare, netede și amprentate.

Cu ocazia executării tronsonului carosabil la pct. ^{prezentat} 7.1, au fost confecționate epruvete de probă de $10 \times 10 \times 30$ mm, compoziția betonului fiind următoarea: ciment PZ 400 = 450 kg/m^3 , raport A/C = 0,55, nisip 0/3 mm = 900 kg/m^3 ; nisip 3/7 mm = 653 kg/m^3 ; p = 2%. Pentru armare s-au folosit fibre din sirmă tare, cu lungimea de 30 mm și diametrul $d = 0,28$ mm, rezultând un raport $l/d = 107$. Probele au fost încercate la întindere prin încovoiere,

distanța dintre reazeme fiind de 27 cm. Rezultatele încercărilor date în tabelul 6.6; rezistența la întindere s-a calculat cu luarea în considerare a plasticizării zonei întinse. Se constată că rezistența la întindere a betonului cu fibre de oțel este de 1,71 ori

Tabelul 6.

Rezistențe la întindere, stabilite prin încovoiere, pe prisme de 10 x 10 x 30 cm, armate cu 2%, în volum, fibre din sîrmă tare.

Prisme	Dimensiuni (b x l) cm	P _{max} (daN)	R _t (daN/cm ²)	R _t medie (daN/cm ²)
Marțor	10 x 10	675	15,9	19,8
	10,2 x 10	900	20,8	
	10 x 10	965	22,8	
Armate p=2%	7,5 x 10	1165	36,6	33,8
	9,1 x 10,2	1350	35,0	
	9,9 x 10	1250	29,8	
$R_t^f / R_t = 1,71$				

mare decît cea a betonului simplu.

Rezultatele privind rezistența la întindere, stabilite pe mortare sau betoane armate cu fibre de oțel din sîrmă tare sau moale, netedă, tratată chimic sau amprentată sînt reprezentate în fig.6.8. Sînt reprezentate de asemenea variațiile teoretice date în literatură [9], [71] pentru betoane cu fibre din sîrmă tare, precum și variația teoretică pentru betoane cu fibre din sîrmă moale propusă de autor, avînd relația:

$$r = 1 + 0,38 \mu l/d - 0,07 (\mu l/d)^3 \quad ($$

După cum s-a mai amintit, s-au efectuat și încercări pe epruvete armate cu fibre de oțel care au fost supuse și procedurii de impregnare și polimerizare. Cercetările au fost efectuate atît pe epruvete armate cu fibre din sîrmă moale (seria Q din tabelul 6.6) cît și pe epruvete armate cu fibre din sîrmă tare. Epruvetele armate cu fibre din sîrmă tare au avut dimensiuni de 4 x 4 x 16 cm și compoziția: ciment PZ 400 - 445 kg/m³; A/C = 0,47; agregat 0/3 mm - 157 kg/m³; p = 1,25 %. Epruvetele supuse impregnării, cu metacrilat dimetil (MMA), au fost uscate, în prealabil, în etuvă la 105°C și

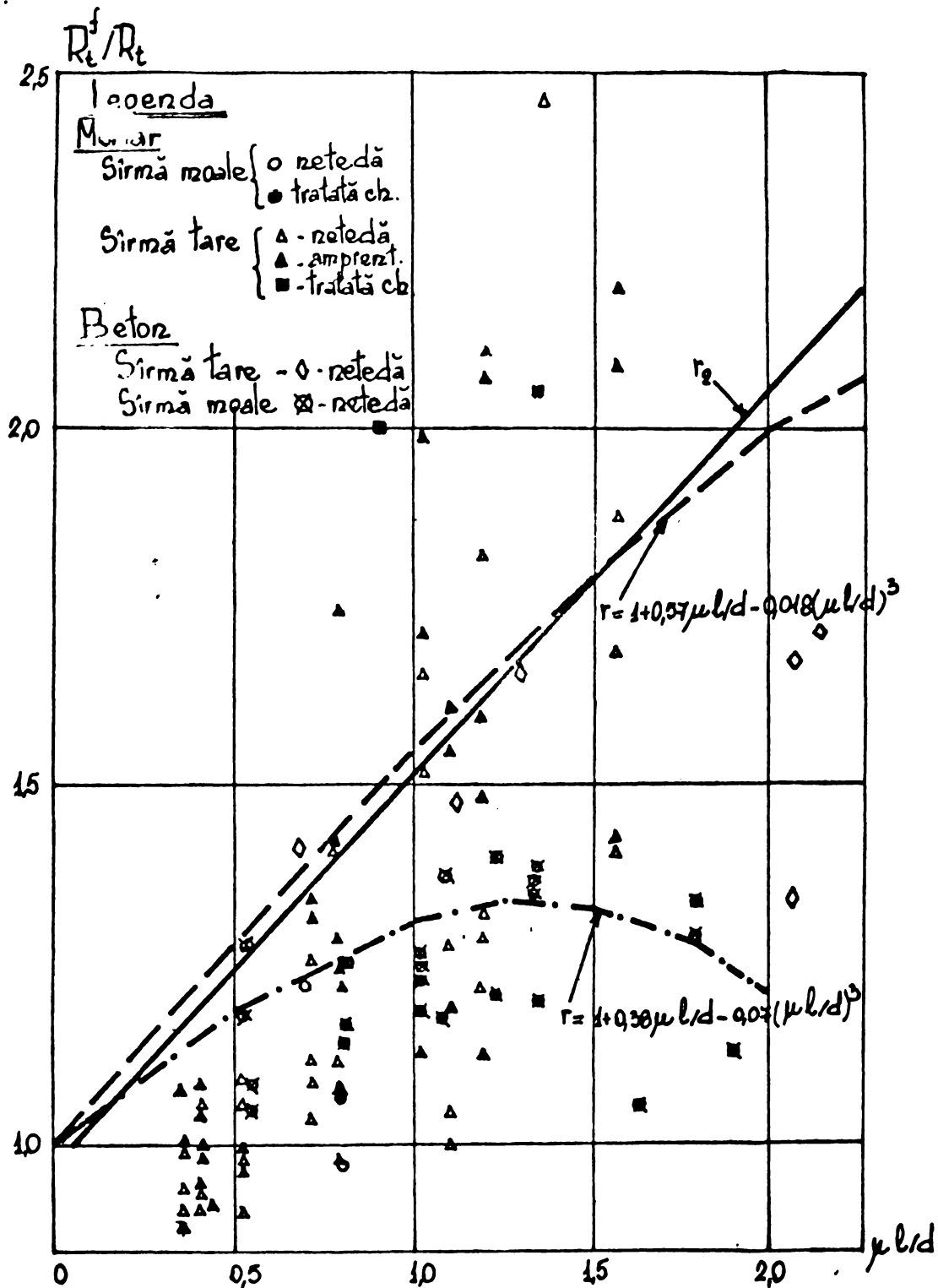


Fig. 6.8. Variația rezistenței relative la întindere funcție de parametrul $\mu l/d$.

apoi imersate în monomer. Polimerizarea s-a făcut, de asemenea, în etuvă la temperatura de 75°C , probele fiind învelite în folii de polietilenă. Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 6.7. Se constată creșteri foarte mari ale rezistențelor. Trebuie, însă, remarcat că asemenea creșteri și chiar mîi mari ale rezistențelor au fost obținute și pe epruvete numai impregnate și polimerizate, fără a fi armate cu fibre. Efectul deosebit de favorabil al armăturii din fibre de oțel, asupra betoanelor impregnate,

este acela că transformă ruperea deosebit de casantă a betoanelor polimerizate în una mult mai puțin casantă și chiar cu preaviz. F zistența mare a acestor betoane și aderența la fibre mult îmbunătă

Tabelul 6.7.

Rezistențe la întindere din încovoiere, stabilite pe epruvete armate cu fibre, impregnate și polimerizate

Prism	Caracteristici de armare	R_t (marior-bet.simpl) daN/cm ²	R_t^{fi} (beton cu fibre impregnat) daN/cm ²	$\frac{R_t^{fi}}{R_t}$
10×10×30 cm	fibre - calitat. moale p = 0,6% ℓ = 30 mm d = 0,22 mm	26,7	63,6	2,4
4×4×16 cm	fibre - calitat. tare p = 1,25% ℓ = 20 mm d = 0,29 mm	40,2	153,6	3,85
$R_t = \frac{3,5}{4} \frac{p \cdot \ell}{b h^2}$				

țită a făcut ca fibrele să se rupă în fisură și nu să alunece, cu s-a întâmplat în toate celelalte cazuri.

Analiza comparativă a valorilor și constatărilor referitoare la rezistența la întindere din încovoiere a betoanelor armate cu fibre de oțel prezentate în literatura de specialitate (v.pct.4.2.2) și în lucrarea de față, conduce la concluzia că rezultatele obținute la Timișoara sînt comparabile cu cele obținute pe plan mondial.

6.3.3. Rezistența la compresiune

În paralel cu determinarea rezistențelor la întindere din încovoiere s-au determinat rezistențele la compresiune ale betoanelor armate cu fibre de oțel. Încercările la compresiune s-au făcut pe bucățile de prismă, rezultate în urma ruperii la încovoiere. Rezultatele obținute sînt

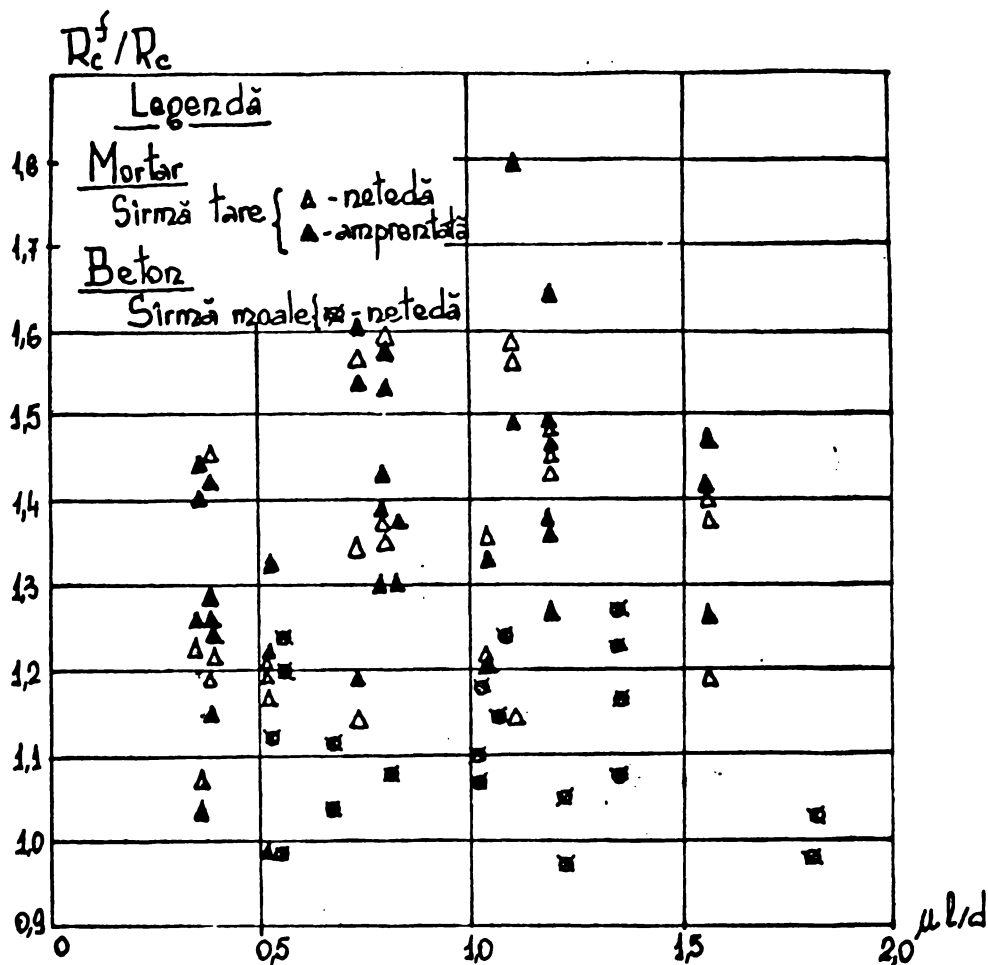


Fig.6.9. Variația rezistenței relative la compresiune funcție de parametrul $\mu l/d$.

fost stabilite pe epruvetele ale căror caracteristici au fost prezentate în tabelele 6.4 și 6.5.

Se poate constata că efectul armării cu fibre de oțel asupra rezistenței la compresiune este mai mic decât în cazul celorlalte caracteristici ale mortarelor și betoanelor. Valorile medii ale creșterii rezistenței la compresiune sînt în jur de 1,35 ori, pentru betoane armate cu fibre de calitate tare, ceva mai mari decât cele raportate în literatura de specialitate (v.fig.4.10). Sporuri mai mici, de pînă la 1,5 ori, au fost obținute în cazul folosirii fibrelor de calitate moale. Din rezultatele obținute nu se pot trage concluzii privind influența dozajului de ciment și efectul amprontării /6/.

Rezistența la compresiune s-a determinat și pe epruvetele armate și impregnate prezentate la pct.6.3.2. Si în acest caz fibrele de oțel prezintă interes doar pentru a schimba ruperea casantă a octoanelor impregnate și polimerizate într-una ductilă.

6.3.4. Rezistența la șoc (impact)

Primele cercetări privind rezistența la șoc a betonului armat cu fibre de oțel s-au făcut pe betoane armate cu fibre de calitate moale /5/.

Încercarea la șoc s-a făcut cu ajutorul unui dispozitiv construit în acest scop (fig.6.10). Aparatul pentru de-

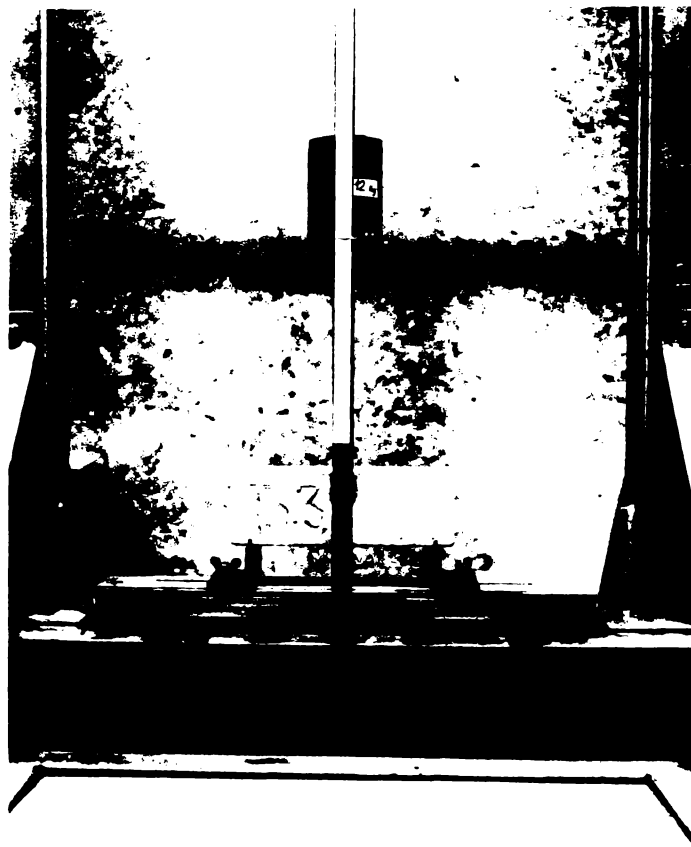


Fig.6.10. Dispozitiv pentru încercarea la șoc.

terminarea rezilienței destinat epruvetelor de oțel nu corespunde dimensiunilor epruvetelor din beton cu fibre de oțel; conform celor prezentate la pct.2.1.2. grosimea minimă a epruvetei ar fi trebuit să fie, pentru o lărgime a fibrelor de 3 cm, de 5... 7,5 cm. În plus acest material nu este omogen, fibrele de oțel împiedicând ruperea bruscă a probelor, condiție de principiu a șocului pentru determinarea rezilienței la oțel. Cu acest dispozitiv se realizează o combinație între încercarea la încovoiere și compresiune prin șoc. Astfel, proba de beton este supusă la încovoiere prin șoc, lucru realizat prin căderea liberă, de la diferite înălțimi, a unui berbec. Berbecul are greutatea de 12 kg, iar înălțimile de cădere,

care cresc progresiv pînă la ruperea epruvetei, sînt măsurate pe o riglă gradată. Ciocnirea dintre berbec și prismă se face prin intermediul unei nervuri, cu lățimea de 2 cm, așezată deasupra prisme și care la partea superioară are o bilă în care lovește berbecul, repartizîndu-se astfel mai bine sarcinile la suprafața de contact cu prisma. Acest sistem, de încercare la șoc a prismelor de beton armate cu fibre de oțel, are avantajul că se poate stabili distinct lucrul mecanic care determină fisurarea prisme și ruperea sa. Aspectul fisurării nu ar fi fost posibil de stabilit prin încercarea obișnuită de reziliență.

În procedeul de încercare realizat cu dispozitivul descris anterior, epruveta, supusă șocului prin căderile libere ale berbecului, este o prismă rezemată la cele două capete, la fel ca la încercările statice, fiind solicitată de berbec la mijlocul deschiderii. Rezultă că, similar cu relațiile de calcul pentru rezistențele la încovoiere și compresiune prin șoc, va trebui luată în considerare suma energiilor cinetice consumate de berbec pentru ruperea epruvetei, dar și deschiderea epruvetei, parametru de care depinde numărul înălțimilor de cădere ale berbecului. În ceea ce privește caracteristica geometrică de la numitorul relației cel mai nimerit ar fi de a se introduce modulul de rezistență W . În aceste condiții pentru calculul rezistenței la șoc s-a propus /5/ următoarea relație, care include factorii menționați mai sus:

$$R_{\text{șoc}} = \frac{M \sum_{i=1}^n h_i}{W} , \quad / \frac{\text{daN}}{\text{cm}} / \quad (6.4)$$

unde:

M este momentul static al încărcării ($G \cdot l/4$);

(G = greutatea berbecului)

$\sum_{i=1}^n h_i$ - suma înălțimilor succesive de cădere a berbecului;

W - modulul de rezistență al secțiunii epruvetei.

Rezultatele experimentale obținute la încercarea prin șoc pe primele din seriile T, U, V prezentate în tabelul 6.3, armate cu fibre din sîrmă moale, sînt date în tabelul 6.8. Au fost determinate rezistențe la șoc în trei situații: fisurare, fisură cu deschidere maximă de 1 mm și rupere.

Cu ocazia executării lucrărilor de aplicare prezentate la pct.7.2., au fost efectuate determinări ale rezistenței la șoc, pe un beton armat cu fibre de oțel obținute din sîrmă de cali-

Tabelul 6.8.

Rezistențe la șoc, stabilite pe prisme de
10 x 10 x 30 și 10 x 10 x 55 cm, armate cu
fibre din sîrmă moale

Seria	Epruvete martor	Epruvete cu fibre						$R_{șoc}^f / R_{șoc}$		
	$R_{șoc}$ (daN/cm ²)	p (%)	l/d	$R_{șoc}^f$ (daN/cm ²)						
				fisurare	$\alpha_f=1mm$	rupere	fisurare	$\alpha_f=1mm$	rupere	
T	14,4	0,60	182	22,2	24,8	49,1	1,54	1,73	3,42	
		0,		24,0	27,7	46,7	1,67	1,93	3,25	
U	8,0	0,30	227	-	11,0	27,5	-	1,37	3,44	
		0,45		-	9,7	27,2	-	1,21	3,40	
		0,60		14,0	18,9	47,3	1,75	2,36	5,90	
V	10,0	0,30	227	16,5	16,5	33,2	1,65	1,65	3,32	
		0,45		11,9	19,2	43,5	1,19	1,92	4,35	
		0,60		15,9	21,4	62,4	1,59	2,14	6,24	

tate tare. Compozițiile și modul de preparare ale betonelor sînt date la pct.7.2.2.a. Pentru determinarea rezistențelor s-a procedat ca în încercările descrise anterior. Rezultatele obținute sînt date în tabelul 6.9. Au fost determinate rezistențe la șoc în patru si

Tabelul 6.9

Rezistențe la șoc, stabilite pe prisme de
10 x 10 x 30 cm, armate cu fibre din sîrmă tare.

Seria		Epruvete martor $R_{șoc}$ (daN/cm ²)	Epruvete cu fibre				$R_{șoc}^f / R_{șoc}$			
P (%)	$\frac{l}{d}$		$R_{șoc}^f$ (daN/cm ²)							
			fisurare	$\alpha_f=1mm$	f=1cm	rupere	fisurare	$\alpha_f=1mm$	f=1cm	rupere
1	107	6,90	17,25	24,00	66,75	84,00	2,50	3,48	9,67	12,17
1,5			19,12	31,50	87,75	102,40	2,77	4,57	12,72	14,84
2			16,90	40,50	118,12	159	2,45	5,87	17,12	23,04

tuații: fisurare, fisură cu deschidere de 1 mm, săgeata la mijlocul deschiderii prismei egală cu 1 cm, rupere.

Variația rezistențelor la șoc corespunzătoare unei

deschideri a fisurii de 1 mm, situație posibilă în multe cazuri ale exploatării normale, în funcție de parametrul global $\mu l/d$ este prezentată în fig.6.11.

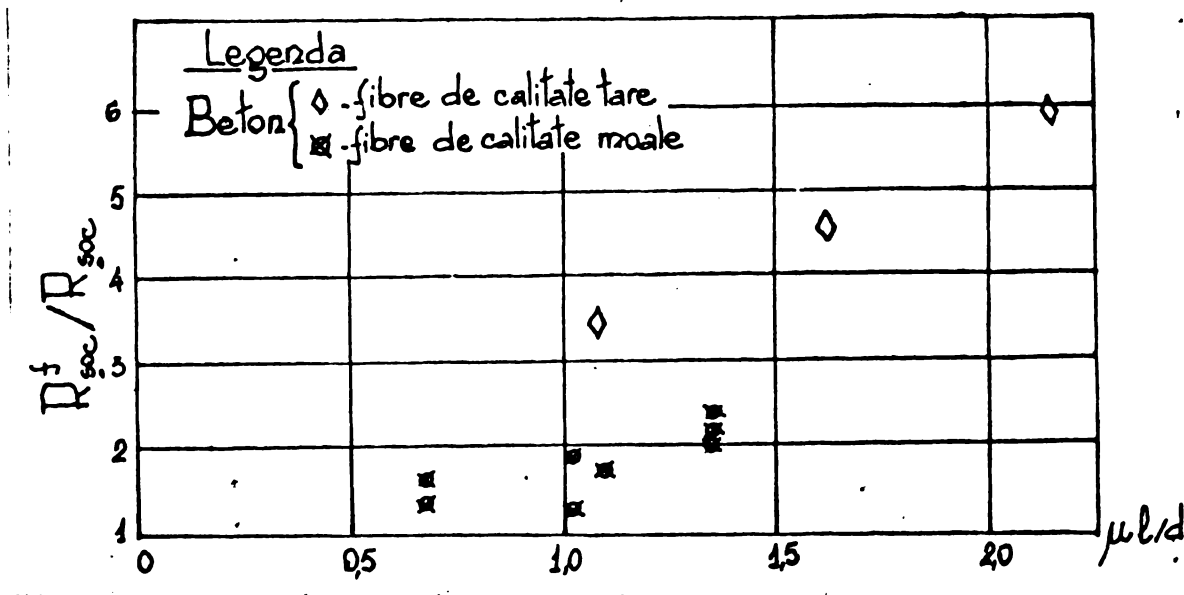


Fig.6.11. Rezistența relativă la șoc pentru o deschidere a fisurii de 1 mm în funcție de parametrul $\mu l/d$.

Incercările efectuate pe betoane armate cu fibre din sîrmă moale arată că față de betonul simplu:

- rezistențele la șoc ale betoanelor cu fibre de oțel cresc cu creșterea parametrului $\mu l/d$;

- creșterea rezistenței la șoc în stadiul de rupere, pentru epruvetele armate cu fibre de oțel are valori cuprinse între 3 și 6,24 ori;

- creșterea rezistenței la șoc în stadiul de fisurare, are valori cuprinse între 1,19 și 1,75 ori;

- creșterea rezistențelor pentru stadiul cînd fisurile nu depășesc 1 mm și nu străbat întreaga secțiune, (deci se mai poate conta pe capacitatea portantă a elementului) are valori cuprinse între 1,65 și 2,36 ori, adică suficient de mari.

Incercările efectuate pe betoane armate cu fibre din sîrmă tare conduc la următoarele concluzii:

- rezistențele la șoc cresc considerabil cu creșterea parametrului global $\mu l/d$;

- rezistența la șoc corespunzătoare apariției fisurilor este foarte puțin influențată de variația procentului de armare cu fibre (pentru valorile studiate); prezența fibrelor contribuie la o creștere a rezistențelor de fisurare la șoc de 2,5 ori;

- admițînd o deschidere a fisurii de 1 mm, situație posibilă în multe cazuri ale exploatării normale, se constată creșteri de 3,5 la 3,87 ori a rezistenței la șoc pentru betoanele cu bre de oțel față de cele nearmate;

- pentru celelalte stări limită prezentate în tabelul 6.9. creșterile rezistenței la șoc sînt și mai mari constatîndu-se creșteri chiar de 23 ori;

- ca și în cazul rezistenței la întindere din încoviere calitatea sîrmei din care s-au obținut fibrele influențează substanțial rezistența la șoc.

Tinînd seama de valorile prezentate în fig.4.11 și 4.12 se poate afirma că rezultatele obținute privind rezistența la șoc sînt comparabile cu cele raportate pe plan mondial, pentru fibre netede chiar ceva mai mari. Evident că o comparație exactă s-a fi putut face numai în cazul utilizării aceluiași tip de dispozitiv pentru încercarea la șoc.

6.3.5. Rezistența la uzură

Rezistența la uzură s-a determinat pe epruvete cubice cu latura de 7,07 cm, prin frecare pe cale uscată, conform STAS 6200/9-71. Intrucît duritatea epruvetelor pe scara Mohr a fost de 5 s-a utilizat ca abraziv nisipul normal cu granulozitatea de 0,8 - 1,2 mm.

Pentru armare s-au folosit fibre din sîrmă tare. Compozițiile și modul de preparare ale betoanelor sînt date la pct. 7.2.2.a, determinarea rezistenței la uzură fiind efectuată, de asemenea, cu ocazia lucrărilor de aplicare a betonului cu fibre la repararea îmbrăcăminților rutiere rigide.

Din rezultatele obținute [16] a reieșit, contrar așteptărilor, că uzura la epruvetele armate cu fibre de oțel nu este mai mică ci din contra ușor superioară față de epruvetele nearmate. Datele din literatură (v.pct.4.2.2.6) arată că uzura apreciată prin scăderea grosimii epruvetei este mai mică cu 27% la epruvetele armate cu fibre față de cele din beton simplu; determinările au fost însă făcute prin suflarea de abraziv pe suprafețele elementelor cercetate. Considerăm că diferențele față de datele din literatură se datoresc metodologiilor diferite folosite pentru determinarea uzurii. De altfel observarea vizuală a porțiunilor de drum reparați (v.pct.7.2) atestă o comportare foarte bună la uzură a betonului cu fibre de oțel utilizat, după 6 și 1/2 ani de exploatare sub acțiunea

traficului.

6.3.6. Rezistența la îngheț-dezghet

Cu ocazia lucrărilor de aplicare a betonului cu fibre de oțel în domeniul drumurilor s-au efectuat și încercări de gelivitate. Compoziția betonului studiat a fost identică cu cea utilizată pentru reparare și este dată la pct.7.2.2.b.; procentul volumetric de armare (p) a fost de 1,5 %.

Determinările de gelivitate s-au efectuat pe epruvete prismatice de 10 x 10 x 30 cm, urmărindu-se valorile rezistențelor la compresiune și întindere din încovoiere după 25, 50, 100 și 200 de cicluri îngheț-dezghet. Încercările s-au efectuat în laborator, ciclul îngheț fiind realizat într-un frigider de mare capacitate în care epruvetele au fost păstrate timp de 4 ore la temperatura de -17°C iar ciclul dezghet s-a realizat prin menținerea epruvetelor într-o soluție de apă cu 5% sare timp de 4 ore, la o temperatură de aproximativ 20°C. Epruvetele martor au fost păstrate pe toată durata încercărilor în soluție de apă cu 5% sare și temperatura de cca 20°C.

Rezultatele încercărilor sînt date în tabelul 6.10

Tabelul 6.10

Rezultate privind comportarea la îngheț-dezghet a betoanelor armate cu fibre de oțel

Tipul betonului	Indicele η_g (%) de modificare a rezistențelor după:							
	25 cicluri		50 cicluri		100 cicluri		200 cicluri	
	Compres.	Întindere	Compresivă	Întindere	Compres.	Întindere	Compres.	Întindere
Simplu	2,86	-5,1	-1,58	16,4	-0,25	24	22,1	19,7
Simplu cu DISAN	3,76	-14,5	12,4	-3,3	10,2	3,7	7,8	18,3
Cu fibre *	-2,39	-14,3	10,7	-2,2	-1,71	-10,5	5,2	-32
Cu fibre și DISAN	4,77	-3,2	2,14	-6,2	1,72	-10,5	12,2	4

* p = 1,5 %

În tabelul de mai sus indicele de modificare a rezistenței η_g este:

$$\eta_g = \frac{R_m - R_g}{R_m} \cdot 100, (\%) \quad (6.5)$$

în care:

R_m este rezistența probelor martor nesupuse ciclurilor de îngheț-dezghet;

R_g - rezistența probelor după ciclurile de îngheț-dezghet considerate

Ca observații vizuale asupra comportării probelor supuse la gelivitate, se pot arăta următoarele /37/:

- probele de beton simplu au început să prezinte desprinderi de material de pe suprafață începînd de la un număr de 14 cicluri gelivitate;

- probele din beton armat cu fibre de oțel au început să prezinte desprinderi de material de pe suprafață după 170 - 175 cicluri gelivitate și într-o proporție mult mai mică decît cele din beton simplu.

Datele din tabelul 6.10, referitoare la variația în timp a rezistențelor betoanelor supuse gelivității permit formularea următoarelor concluzii:

- la 25 și 50 de cicluri variațiile de rezistență la întindere și la compresiune - atît la betonul simplu cît și la betonul cu fibre-sînt destul de mici;

- la 100 și 200 de cicluri comportarea betonului cu fibre este mai bună decît cea a betonului simplu, atît la întindere cît și la compresiune, ceea ce dovedește eficiența fibrelor de oțel înglobată în acest tip de beton;

- din încercările efectuate nu reiese clar influența favorabilă a adaosului Disan asupra comportării la îngheț-dezghet.

6.3.7. Ductilitatea

Ductilitatea sporită a betonului armat cu fibre de oțel a fost pusă în evidență cu ocazia încercării la încovoiere a unor dale prefabricate pentru pavaje, realizate din acest material. Compoziția betonului utilizat, modul de încercare și rezultatele obținute sînt prezentate la pct. 7.1.3.

Comportarea ductilă a betonului cu fibre de oțel est pusă în evidență de diagrama din fig.7.6. Pe baza celor arătate la pct.4.2.4. ductilitatea betonului cu fibre poate fi măsurată prin energia absorbită în procesul de deformare. Valorile relative ale energiilor de deformare parțială și totală obținute pe dalele încercate sînt prezentate în tabelul 6.11.

Tabelul 6.11

Energia de deformare relativă, parțială și totală, stabilită pe dale prefabricate din beton cu fibre de oțel, încercate la încovoiere

Tipul elementului	Energia de deformare relativă	
	parțială (A_p^f/A_p)	totală (A_t^f/A_t)
Dală cu grosimea de 7 cm. (DA 7)*	4,35	23,5.
Dală cu grosimea de 10 cm. (DA 10)*	2,75	14,8

* $p = 2\%$; $l/d = 107$

Datele din tabelul 6.11 arată o creștere mare a energiei de deformare a dalelor cu fibre de oțel, față de cele din beton simplu, demonstrând că aceste betoane au o comportare ductilă substanțial îmbunătățită; îmbunătățirea este mai mare la dala mai subțire. Caracterul ductil al betonului armat cu fibre de oțel rezultă și din analiza fig.7.7, la care se observă formarea (aproape teoretică) a liniilor de rupere perpendiculare pe laturile libere; aceasta demonstrează capacitatea de redistribuție plastică a betonului armat cu fibre de oțel.

Se observă (v. fig.4.14, 4.15) că s-au obținut valori ceva mai mici decât cele din literatura de specialitate.

6.3.8. Durabilitatea

Cercetările privind rezistența la gelivitate (v.pct.6.36) au arătat că după 200 cicluri îngheț-dezghet, care au durat cea 200 de zile, epruvetele fiind saturate într-o soluție de apă cu 5% sare, fibrele din interiorul epruvetelor nu au prezentat fenomene de coroziune.

6.4. Contribuții la teoria betonului armat cu fibre de oțel

Datele experimentale prezentate în fig.48 arată că rezistența la întindere din încovoiere la apariția primei fisuri a betonului cu fibre de oțel (R_{ti-fis}^f) este superioară față de cea corespunzătoare betonului simplu (R_{t1}). Aceasta presupune

că momentul de fisurare al unui element încovoiat din beton cu fibre de oțel (M_{fis}^f) este mai mare decât momentul de fisurare (identificat cu cel de rupere) al unui element încovoiat nearmat (M_{fis}).

Studiul teoretic întreprins urmărește evaluarea efectului favorabil al fibrelor de oțel asupra fisurării elementelor încovoiate, stabilind raportul M_{fis}^f/M_{fis} pentru elemente cu secțiune dreptunghiulară.

După cum este cunoscut ruperea unui element încovoiat de beton simplu se produce în stadiul Ia prin fisurarea betonului întins, fisura străbătând instantaneu întreaga secțiune (rupere casantă); ruperea este precedată de microfisurarea betonului întins și de dezvoltarea deformațiilor plastice în această zonă. Pentru secțiunea dreptunghiulară pornind de la diagrama de eforturi corepunzătoare betonului ideal plastic (fig.6.12.a) /4'/-s-a stabilit următoarea relație pentru calculul momentului de fisurare /6'/:

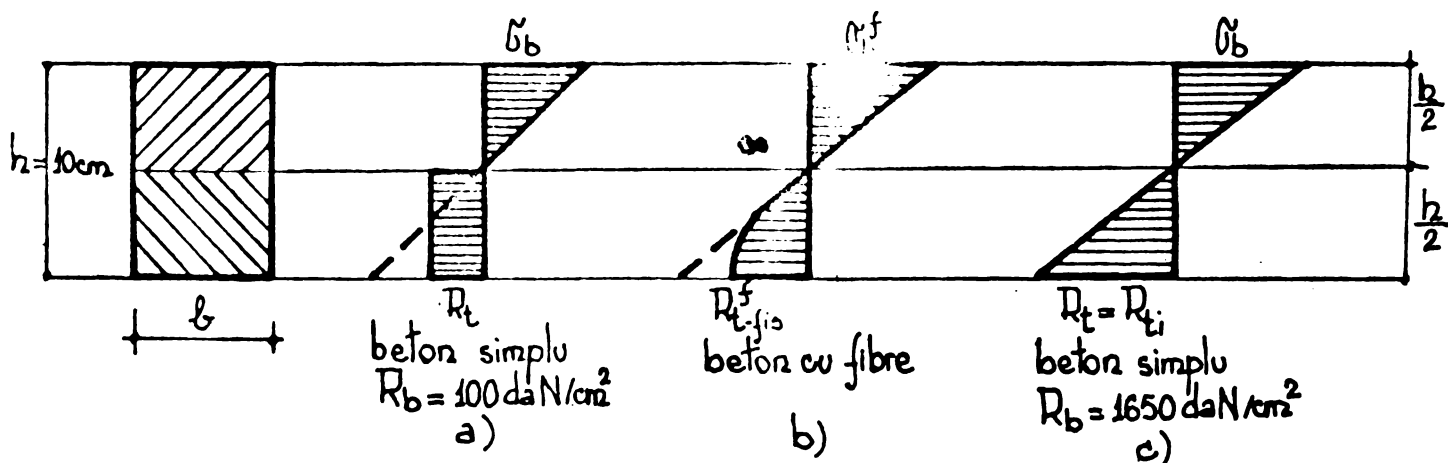


Fig.6.12. Diagrame de eforturi în secțiunea transversală a unui element încovoiat în momentul fisurării.

$$M_{fis} = 0,292 \cdot C_{pl} b h^2 R_t \quad (6.6)$$

în care: $0,292 b h^2$ este modulul de rezistență la fisurare (W_f) calculat cu plasticizarea integrală a zonei întinse (fig.6.12.a);

R_t - rezistența la întindere a betonului simplu;

C_{pl} - coeficient de corecție care ține seama de factorii care condiționează gradul de plasticizare al betonului din zona întinsă.

Coeficientul de corecție C_{pl} se determină cu relația:

$$C_{pl} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \quad (6.7)$$

în care: C_1 este un coeficient care ține seama de influența calității betonului și a înălțimii secțiunii transversale; valorile acestui coeficient sînt date în tabelul 6.12 /4/, /6/ ;

C_2 - coeficient care ține seama de influența formei secțiunii transversale; pentru secțiuni dreptunghiulare $C_2 = 1$;

C_3 - coeficient care ține seama de influența schemei de încărcare; valorile acestui coeficient pentru secțiunea dreptunghiulară sînt date în tabelul 6.13.

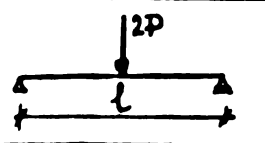
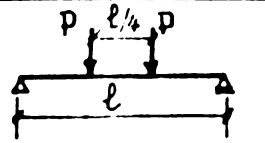
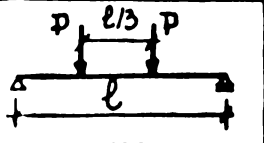
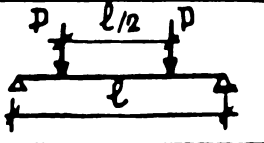

Tabelul 6.12

Valorile coeficientului C_1

Calitatea betonului	Înălțimea h a secțiunii (în cm) :					
	10	20	30	40	50	∞
B100	1,00	0,83	0,75	0,70	0,68	0,67
B200	0,97	0,81	0,74	0,69	0,67	0,66
B300	0,94	0,80	0,73	0,68	0,67	0,66
B400	0,92	0,78	0,72	0,68	0,66	0,65
B500	0,89	0,76	0,70	0,67	0,65	0,64
B600	0,86	0,75	0,69	0,66	0,65	0,64
B700	0,83	0,73	0,68	0,65	0,64	0,63
B800	0,81	0,70	0,67	0,64	0,63	0,63
B900	0,78	0,70	0,66	0,63	0,62	0,62

Tabelul 6.13

Valorile coeficientului C_3

Schema de încărcare				
	1,0	0,87	0,82	0,85

În cazul unui beton ideal elastic și $h = 10$ cm (fig. 6.12.c) momentul încovoietor de fisurare are valoarea:

$$M_{cr} = 0.167 bh^2 R_c = \frac{bh^2}{6} R_c = \frac{bh^2}{6} R_c \quad (6.8)$$

La betonul armat cu fibre de oțel gradul de plasticizare al betonului din zona întinsă este influențat (reduc) și de prezența fibrelor, care contribuie la apropierea distribuției eforturilor unitare din secțiunea transversală în momentul fisurării de cea corespunzătoare unui beton ideal elastic. Această constatare are la bază următoarele considerente:

- prin introducerea fibrelor de oțel forța de apariție a primei fisuri crește cu creșterea procentului de armare, așa cum a rezultat din datele experimentale din fig.4.8;

- fibrele contribuie la păstrarea caracterului omogen al materialului, contribuția fiind mai mare la un conținut mai mare de fibre;

- modul de apariție și propagare a fisurării demonstrează un proces lent de fisurare, fisura fiind de deschidere și lungime mică la apariție, după care se propagă lent pe înălțime; aceasta presupune o distribuție a eforturilor înainte de fisurare apropiată de cea elastică (liniară). Evident că propagarea fisurii este cu atât mai lentă cu cât procentul de armare este mai mare.

Având în vedere cele de mai sus se propune în cazul secțiunii dreptunghiulare cu $h = 10$ cm diagrama de distribuție a eforturilor din fig.6.12.b, distribuție apropiată de a unui beton ideal elastic. Pe baza acestei diagrame rezultă următoarea relație pentru momentul încovoietor de fisurare al unui element din beton cu fibre de oțel, având secțiunea dreptunghiulară:

$$M_{fis}^f = 0,292 \cdot C_{pl}^f \cdot bh^2 \cdot R_{t-fis}^f \quad (6.9)$$

în care:

C_{pl}^f - coeficient de corecție care față de C_{pl} de la betonul simplu introduce și influența fibrelor asupra gradului de plasticizare;

R_{t-fis}^f - rezistența la întindere la apariția primei fisuri a betonului armat cu fibre de oțel.

Pentru calculul lui C_{pl}^f se propune relația:

$$C_{pl}^f = C_1^f \cdot C_2 \cdot C_3 \quad (6.10)$$

în care:

C_1^f introduce influența calității betonului cu fibre de oțel și influența înălțimii secțiunii;

C_2 și C_3 - au aceeași semnificație și valori ca și la betonul simplu.

Tinând seama de relațiile (6.6), (6.7), (6.9) și (6.10) se obține:

$$\frac{f_{fis}}{l_{fis}} = \frac{C_{pl}^f}{C_1^f} \cdot \frac{R_{t-fis}^f}{R_t} = \frac{C_1^f}{C_1^f} \cdot \frac{R_{ti-fis}^f/1,75}{R_{ti}/1,75} = \frac{C_1^f}{C_1^f} \cdot r_{1-fis} \quad (6.11)$$

Pe baza datelor experimentale din fig.4.8 se propune următoarea relație de calcul pentru raportul r_{1-fis} (R_{ti-fis}/R_{ti})

$$r_{1-fis} = 1 + 0,40 \mu l/d - 0,025 (\mu l/d)^3 \quad (6.12)$$

cărei corelație cu valorile experimentale menționate poate fi urmărită în fig.6.13.

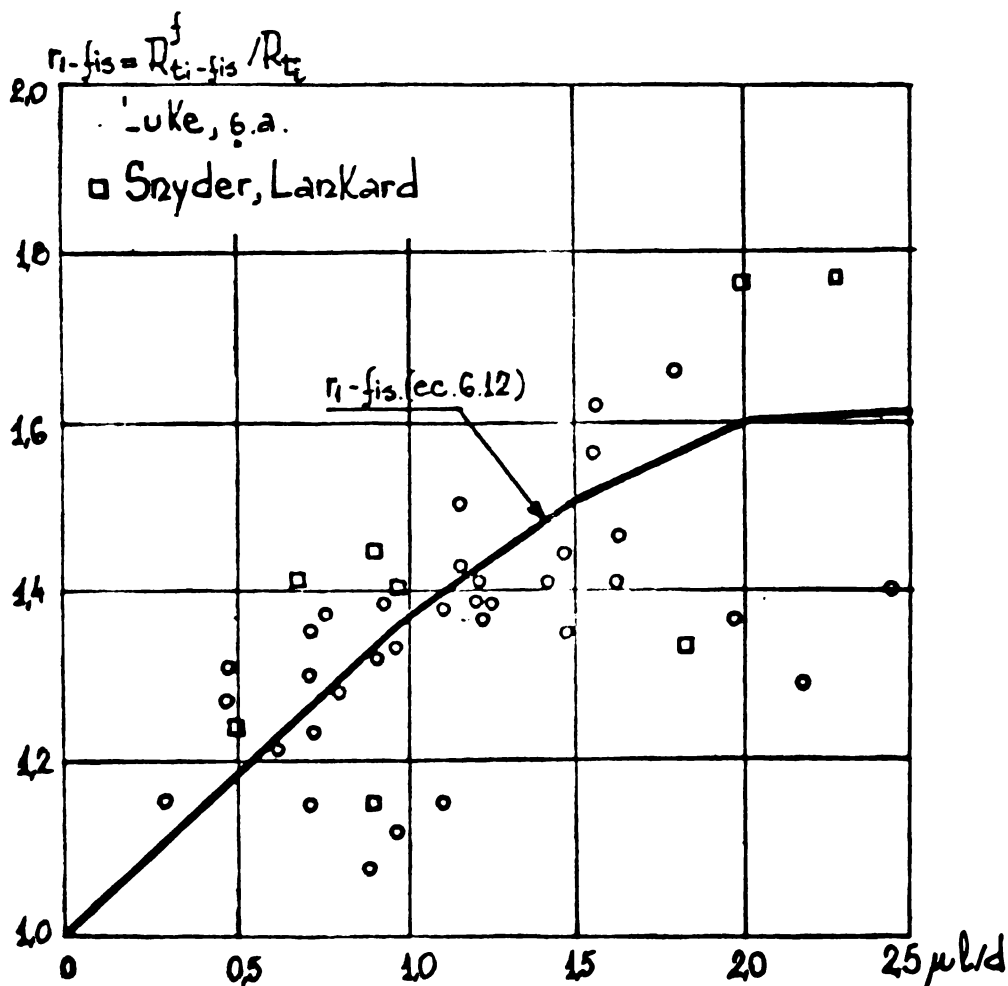


Fig.6.13. Variația raportului r_{1-fis} , funcție de parametrul $\mu l/d$.

Cu (6.12) relația (6.11) devine:

$$\frac{f_{fis}}{l_{fis}} = \frac{C_1^f}{C_1^f} [1 + 0,40 \mu l/d - 0,025 (\mu l/d)^3] \quad (6.13)$$

Una relația (6.13) rezultă că creșterea raportului de calcul

surare a betonului cu fibre de oțel depinde de influența fibrelor asupra gradului de plasticizare a betonului din zona întinsă, de parametrul $\mu l/d$ și că este mai mică la matrici constituite din betoane de mărci superioare.

După cum s-a văzut coeficientul C_1^f ca și coeficient C_2 introduce influența calității betonului (la înălțimi constante asupra gradului de plasticizare a betonului din zona întinsă. Aceasta înseamnă că valorile lui C_1^f se pot deduce pe baza valorilor lui C_2 , date în tabelul 6.12. În acest scop variația lui C_2 trebuie interpretată în funcție de rezistența la întindere ($R_t = 0,5 \sqrt{R_b^2}$), întrucât calitatea betonului cu fibre de oțel este pusă în evidență de această caracteristică; rezistența la întindere a betonului cu fibre pentru momentul fisurării se poate stabili pe baza fig.6.13.

Conform celor menționate mai sus sînt date în tabelul 6.14 valorile lui C_1^f pentru diferite înălțimi a secțiunii elementului încovoiat din beton cu fibre de oțel; valorile au fost stabilite numai pentru matrici uzuale ale betonului cu fibre de oțel.

Aplicarea relației stabilite, (6.13), este reprezentată în fig.6.14.

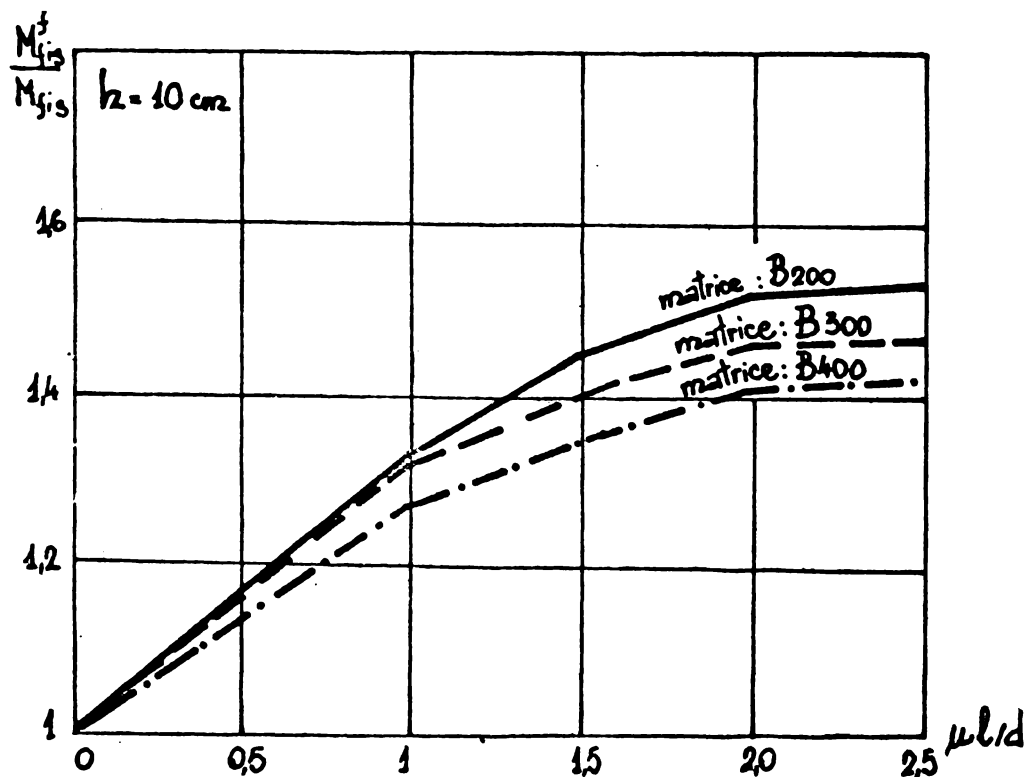


Fig.6.14. Variația raportului M_{fis}^f / M_{fis} funcție de parametrul $\mu l/d$.

Tabelul 6.14

Valorile coeficientului C_1^f

Marca betonului simplu (matricei) R_b (daN/cm ²)	h (cm)	$\mu l/d =$				
		0,5	1	1,5	2	2,5
B200	10	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92
B300		0,92	0,90	0,87	0,86	0,86
B400		0,88	0,85	0,82	0,81	0,80
B200	20	0,80	0,80	0,79	0,78	0,78
B300		0,78	0,76	0,75	0,75	0,75
B400		0,76	0,74	0,72	0,70	0,70
B200	30	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72
B300		0,72	0,70	0,69	0,69	0,69
B400		0,70	0,69	0,68	0,67	0,67
B200	40	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
B300		0,68	0,67	0,66	0,66	0,66
B400		0,67	0,66	0,65	0,64	0,64
B200	50	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66
B300		0,66	0,65	0,65	0,65	0,65
B400		0,65	0,65	0,64	0,63	0,63
B200	∞	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65
B300		0,65	0,64	0,64	0,64	0,64
B400		0,65	0,64	0,63	0,63	0,63

6.5. Cercetări privind betonul de granolit armat cu fibre de oțel

Betoanele ușoare se caracterizează, în prezent, printr-o mare dezvoltare, grație unor caracteristici tehnice care le fac deosebit de apreciate: densitate aparentă redusă, capacitate de izolare termică ridicată și rezistență la foc sporită, în comparație cu betoanele grele. Aceste caracteristici conduc la elemente de beton (simplu, armat sau precomprimat) cu greutate proprie

redusă, bune termoizolatoare, ușor de prefabricat etc. Betoanele ușoare compacte, denumite și betoane de rezistență sau de structură, au o largă utilizare în numeroase țări. Astfel, ele se utilizează la elemente portante și neportante (panouri) ale clădirilor cu mai multe niveluri, la elemente de acoperiș pentru clădiri industriale, sportive și social-culturale, la poduri și viaducte (U.R.S.S., S.U.A., Anglia, R.F.G., Belgia și alte țări). Îmbunătățirea caracteristicilor tehnice ale acestor betoane a preocupat și continuă să preocupe pe toți acei ce se ocupă cu cercetarea și aplicarea betoanelor ușoare.

Una din căile potențiale de îmbunătățire a caracteristicilor tehnice ale betoanelor ușoare o constituie armarea dispersă cu fibre /42/, /83/. Prin cercetările experimentale prezentate în continuare s-a urmărit influența fibrelor de oțel asupra unor proprietăți mecanice ale betonului ușor cu granolit. Cercetările au fost efectuate pe baza unui contract încheiat între Catedra de bet armat și clădiri - I.P.Timișoara și ICCPDC - Filiala Cluj-Napoca /21/.

6.5.1. Program experimental

Prin programul experimental s-au urmărit tehnologia de obținere și unele proprietăți ale betonului ușor cu granolit armat cu fibre de oțel.

6.5.1.1. Tehnologia de obținere a betonului

Prepararea betonului de granolit armat cu fibre de oțel s-a efectuat manual, după următoarea tehnologie:

- amestecarea sorturilor de agregate;
- amestecarea agregatelor cu cimentul;
- introducerea fibrelor de oțel în betonul uscat, cu ajutorul unui ciur cu \varnothing ochi = 16 mm; pentru o repartiție cât mai uniformă a fibrelor de oțel betonul uscat a fost întins în straturi succesive suprapuse, peste fiecare strat fiind așternut câte un strat de fibre;
- introducerea cantității totale de apă în care în prealabil a fost dizolvat soluția Disan, și amestecarea cu lăpeți prin trecere dintr-un loc în

altul (de 3-4 ori) pentru a evita aglomerarea fibrelor.

Compactarea betonului în epruvete s-a făcut prin vibrare în tipare pe o masă vibrantă, timpul de vibrare variind în funcție de procentul de armare a epruvetelor (15...25 sec. la epruvetele nearmate și 45...60 sec. pentru epruvetele având un procent de armare de 1,5 - 2 %). De menționat că un timp de vibrare prea mare duce la segregarea betonului.

Epruvetele au fost păstrate 7 zile acoperite cu folii de polietilenă (decofrarea s-a făcut la 2 zile de la turnare) după care pînă la încercare au fost păstrate în aer la temperatura de aproximativ 20°C.

6.5.1.2. Tipul epruvetelor experimentale și compoziția betonului utilizat la confecționarea lor.

Determinările experimentale s-au făcut pe epruvete cubice (20 x 20 x 20 cm), prismatice (10 x 10 x 30 cm și 10 x 10 x 55 cm) și cilindrice (d = 15 cm, h = 30 cm).

Pentru fiecare tip de beton (de o anumită marcă și un anumit procent de armare cu fibre) s-au confecționat 6 prisme mici, 3 prisme mari și 3 cilindri; epruvete cubice s-au confecționat numai pentru betoanele martor, adică nearmate.

Seriile cu compoziția betoanelor utilizate la epruvetele experimentale sînt date în tabelul 6-15. Compozițiile au fost stabilite pe baza instrucțiunilor C-155-75 pornind de la 3 mărci de beton cu granolit: BG 200, BG 250 și BG 300. S-au ales aceste mărci întrucît dozajul de ciment prescris pentru acestea depășește 300 kg/m³ contribuind la o bună aderență între fibrele de oțel și beton. În același scop diametrul maxim al granulelor agregatului a fost de 7 mm (într-un singur caz diametrul maxim a fost de 16 mm). Cercetările experimentale efectuate pe betoane cu agregate de rîu armate cu fibre de oțel au arătat că în cazul în care diametrul maxim al agregatelor depășește 10 mm lucrabilitatea betonului este scăzută iar îmbunătățirea caracteristicilor mecanice datorită fibrelor de oțel nu este sesizabilă. Această constatare a fost verificată și în cazul betonului cu granolit armat cu fibre de oțel pe seria de epruvete la care s-a folosit granolit cu diametrul maxim al granulelor de 16 mm (fig.6.15).

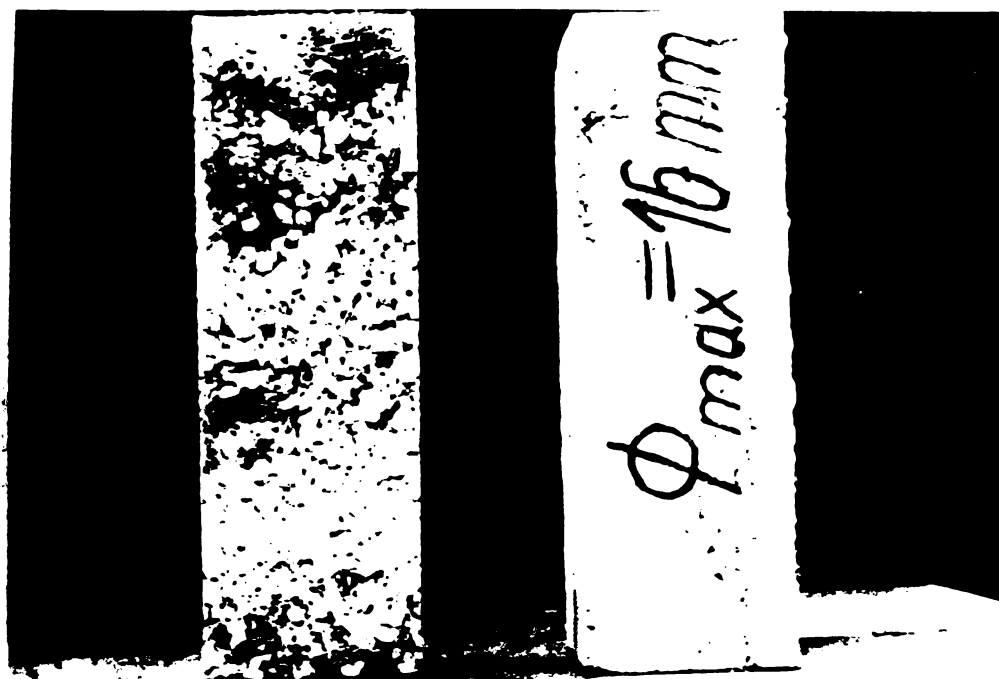


Fig.6.15. Epruvete cu lucrabilitate scăzută,
la care s-a folosit granulat cu
 $D_{max} = 16 \text{ mm}$.

La stabilirea rețetelor normale (tab.6.15) ale beto-
nelor de granulat cercetate s-a procedat astfel:

- sortul de nisip normal 0/3 și granulat 0/3, cât și
cantitatea de ciment s-au păstrat în proporțiile date de normativu
C.155-75;

- sortul de granulat 3/7 a fost dedus prin însumarea
volumelor date în normativ pentru sorturile 3/7 și 7/16, întruc
din motivele expuse anterior, diametrul maxim al granulatului a fo
limitat la 7 mm;

- cantitatea de apă s-a stabilit, de asemenea, după
normativ: 200 kg/m^3 apă de hidratare și 10% din masa granulatului-
apa estimată a fi absorbită de granulat.

La unele serii (în general cu procente mai mari de
armare) în timpul preparării s-a adăugat apă suplimentară, repreze
tând 20% din masa fibrelor, pentru a obține o lucrabilitate cores-
punzătoare. Pentru îmbunătățirea lucrabilității s-a folosit aditi-
vul Disan (0,3% aditiv substanță uscată față de masa cimentului).

Armarea dispersă a betonului de granulat s-a făcut
cu fibre de oțel avînd lungimea de 30 mm și diametrul de 0,28 mm
($l/d = 107$). Procentele de armare volumetrică utilizate au fost d
0%, 1%, 1,5% și 2%, în conformitate cu tabelul 6.15.

- 47 -

Tabelul 6.15

**Seriile și compoziția betoanelor epruvetelor
experimentale**

Ø max. agregat (mm)	Seria	Marca bet de referință	P (%)	Ciment (kg/m ³)	Nisip ⁰³ (kg/m ³)	Granulii (kg/m ³)			Fibre (kg/m ³)	Apă (kg/m ³)	A/C	Sol. 20% Disap (g)	Agr. total Agr. total		
						0/3	3/7	7/16							
7	BG 200		0	325	403	228	680	—	—	200+(90,8+0)	0,615 (0,895)	4,875	0,48		
			1	325	403	228	680	—	—	200+(90,8+0)	0,615 (0,895)	4,875	0,48		
			1,5	325	403	228	680	—	—	117,75	200+(90,8+23,55)	0,615 (0,966)	4,875	0,48	
	BG 250			2	325	403	228	680	—	—	200+(90,8+31,4)	0,615 (0,992)	4,875	0,48	
				0	375	390	210	680	—	—	—	200+(89+0)	0,534 (0,77)	5,625	0,47
				1	375	390	210	680	—	—	78,5	200+(89+0)	0,534 (0,77)	5,625	0,47
				1,5	375	390	210	680	—	—	117,75	200+(89+23,55)	0,534 (0,832)	5,625	0,47
16	BG 300		0	425	390	190	672	—	—	200+(86,2+0)	0,470 (0,673)	6,375	0,46		
			1	425	390	190	672	—	—	78,5	200+(86,2+0)	0,470 (0,673)	6,375	0,46	
			1,5	425	390	190	672	—	—	117,75	200+(86,2+23,55)	0,470 (0,728)	6,375	0,46	
	BG 200			1,5	425	390	190	281	357	—	—	200+(82,8+0)	0,470 (0,673)	6,375	0,71
				0	325	263	515	515	—	—	—	200+(103+0)	0,615 (0,933)	4,875	0,6
				2	325	263	515	515	—	—	157	200+(103+31,4)	0,615 (1,02)	4,875	0,6
				0	375	257	502	505	—	—	—	200+(100,7+0)	0,534 (0,80)	5,625	0,6
7	BG 250		2	375	257	502	505	—	—	157	200+(100,7+31,4)	0,534 (0,885)	5,625	0,6	
			0	425	252	490	493	—	—	—	200+(98,3+0)	0,470 (0,702)	6,375	0,6	
			2	425	252	490	493	—	—	157	200+(98,3+31,4)	0,470 (0,775)	6,375	0,6	

OBS:1) In col.10 prima valoare din paranteză reprezintă apa estimată a fi absorbită de granuliți (10% din masa granulițiului), iar a doua valoare reprezintă apa suplimentară adăugată în timpul preparării (20% din masa fibrelor)

2) In col.11 raportul apă-ciment este dat pentru apa de hidratare (200 kg/m³) și pentru apa totală din beton (valorile din paranteză).

Intrucît pentru seria "BG 200 - rețetă normală" cu procentul de armare volumetric de 2% lucrabilitatea a scăzut foarte mult (fig.6.16), la celelalte mărci de betoane (BG 250, BG 300) s-a renunțat la acest procent ridicat de armare. În schimb, pe baza experienței acumulate în cadrul încercărilor efectuate pe be-

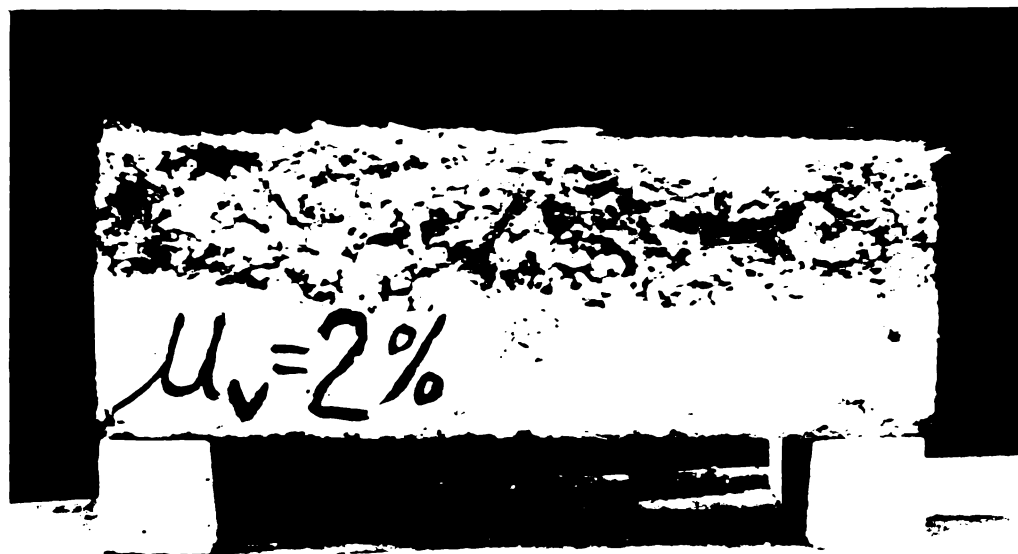


Fig.6.16. Epruvetă cu lucrabilitate scăzută, la care procentul de armare volumetric a fost de 2%.

tonul cu agregate obișnuite armat cu fibre de oțel, s-au experimentat pentru procentul de armare de 2% epruvete dintr-un beton de granulat cu rețetă modificată, față de rețeta normală, prin mărirea părții fine de granulat reprezentată de sortul 0/3. Mărirea părții fine de agregat s-a făcut astfel încît raportul agregat 0/3/agregat total să crească la valoarea 0,6 (tab.6.15).

6.5.1.3. Încercarea epruvetelor

Pe epruvetele confecționate s-au determinat următoarele caracteristici mecanice: marca betonului nearmat, pe cuburi; rezistența la întindere din încovoiere, pe prisme de 10 x 10 x 55 cm; rezistența la despăcare, pe cilindri; rezistența la șoc, pe prisme de 10 x 10 x 30 cm; modulul de elasticitate și rezistența prismatică, pe prisme de 10 x 10 x 30 cm.

Încercările la compresiune, la întindere, la despăcare, modulul de elasticitate și rezistența prismatică s-au făcut în conformitate cu normele în vigoare (STAS 1275-70, STAS 5585-71).

Rezistența la șoc s-a determinat cu ajutorul unui dispozitiv construit în cadrul laboratorului Catedrei de beton armat și clădiri. Prin această determinare epruvetele prismatice de $10 \times 10 \times 30$ cm sînt solicitate la încovoiere prin șoc (v.fig.6.10) Rezistența la încovoiere prin șoc s-a determinat cu relația (6.4)▼

6.5.2. Rezultate și interpretarea lor

Rezultatele privind densitatea aparentă /21/ arată că deși s-a folosit granolit cu diametrul maxim de numai 7 mm totuși densitatea betonului ușor cu granolit, în stare întărită, este cu 15...20% mai mică decît cea a betonului greu obișnuit (cu aceeași dimensiune maximă a granulelor). Prezența fibrelor mărește în mod corespunzător densitatea betonului cu excepția cazurilor în care datorită unei lucrabilități mai scăzute betoanele au devenit mai poroase și în consecință densitatea s-a micșorat.

Rezistențele la întindere din încovoiere a prismelor și la despicare a cilindrilor sînt date în tabelul 6.16, iar modul de rupere la despicare al epruvetelor cilindrice armate

Tabelul 6.16

Rezistențele la întindere ale epruvetelor încercate

Tipul rețetei	Φ_{max} agregat (mm)	Seria		Rezistența la întindere (daN/cm ²)			
		Marca bet. refer.	p (%)	R_{ti}	R_t	$R_{despicare}$	
Normală	7	BG 200	0	40,2	23,6	24,1	
			1	50,5	29,7	23,1	
			1,5	63,5	37,3	19,5	
			2	53,6	31,5	17,7	
		BG 250	0	51,7	30,4	31,1	
			1	62,3	36,6	29,2	
			1,5	59,1	34,8	27,6	
		BG 300	0	51	30	26,6	
			1	67,4	39,6	30,5	
			1,5	54,8	32,2	32	
		16	BG 300*	1,5	—	—	—
		Modificată	7	BG 200	0	25,3	14,9
	2				56,8	33,4	24,4
BG 250	0			27,3	16,1	18,3	
	2			62	36,5	28,1	
BG 300	0			27,2	16,1	19,8	
	2			53	39,1	25,8	

* beton cu lucrabilitate scăzută.

și nearmate este prezentat în fig.6.17. În ceea ce privește rezistența la întindere din încovoiere, la rețetele normale s-au obți-

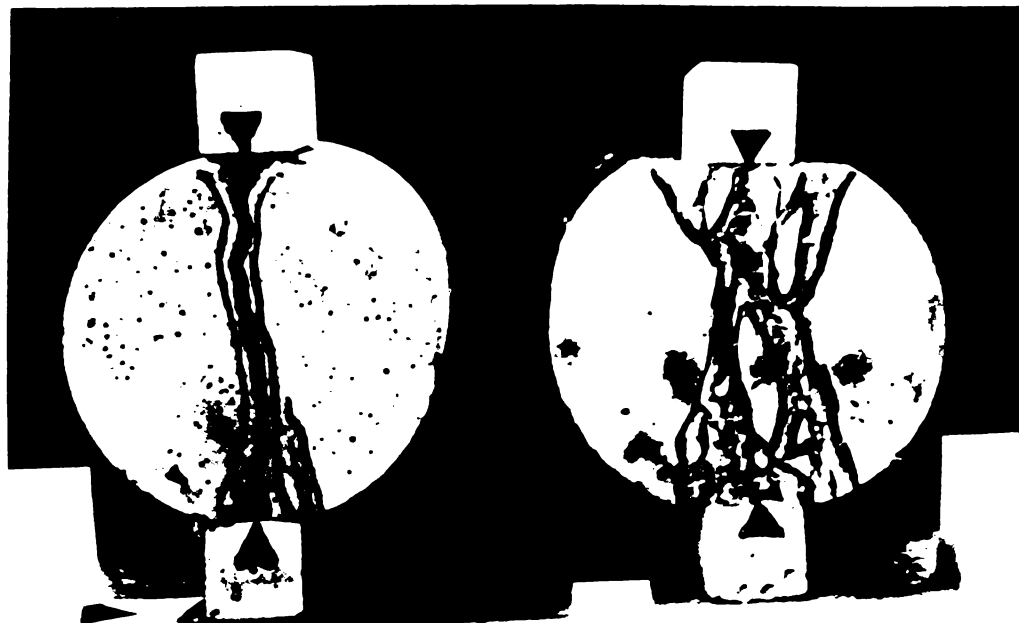


Fig.6.17. Aspectul epruvetelor cilindrice, după încercarea la despicare (stg.-epruvetă din beton simplu; dr.-epruvetă din beton de granulat cu fibre de oțel).

nut sporuri maxime de 57% la BG 200, 20% la BG 250 și 32% la BG 300 nu întodeauna sporurile maxime s-au obținut pentru procentele maxime de armare. În ceea ce privește rețetele modificate sporurile sînt cu mult mai mari (124% la BG 200, 120% la BG 250 și 87% la BG 300), în schimb rezistențele epruvetelor martor sînt cu mult mai mici (aproximativ jumătate din cele ale rețetelor normale), datorită creșterii sensibile a părții fine de agregat. Se constată că spre deosebire de betonul obișnuit la care sporurile de rezistență pentru un procent de armare $\rho = 1,5\%$ ($\rho_g = 5\%$) sînt de aproximativ 70 - 80% în cazul betoanelor ușoare (rețete normale) aceste sporuri sînt de cea 2 ori mai mici.

Rezistențele la despicare, obținute pe cilindri, nu pun în evidență foarte clar, în cazul rețetelor normale, influența favorabilă a fibrelor cu excepția betoanelor BG 300, unde sporul de rezistență este de 21%. Acest lucru s-a datorat dificultăților de compactare a betoanelor armate. În cazul epruvetelor cu rețete modificate unde lucrabilitatea a fost cu mult mai bună, datorită conținutului mare de parte fină, sporul de rezistență este sensibil mai mare la cele 3 mărci studiate. În schimb și în acest caz rezistențele martorilor sînt cu mult mai mici față de cele ale rețetelor normale. Caracterul ductil al ruperii betoanelor cu gra-

culit armate cu fibre de otel poate fi observat pe cilindri încercați la despicare (fig.6.17).

Rezultatele privind încercările la șoc ale prismelor de 10x10x30 cm nearmate și armate sînt prezentate în tabelul 6.17 și pentru una din serii și în fig.6.18. Rezistențele la șoc au fost

Tabelul 6.17

Rezistențele la șoc ale epruvetelor încercate

Tipul rețetei	Ø max agregat (mm)	Seria		Rezistența la șoc (daN/cm ²)				
		Marca beton de referință	p (%)	la fisurare	pt. α _f =0,2mm	la rupere		
Normală	7	BG 200	0	7,6	7,6	7,6		
			1	19,3	26,9	134		
			1,5	33,2	47,1	178,9		
			2	24,8	35,7	157,9		
		BG 250	0	7,3	7,3	7,3		
			1	12,1	23,1	116,3		
			1,5	16,2	25,5	158,7		
		BG 300	0	5,1	5,1	5,1		
			1	16,6	23,5	128		
			1,5	14,1	20,6	158,6		
			16	BG 300*	1,5	—	—	—
		Modificată	7	BG 200	0	10,5	10,5	10,5
	2				19,3	26,9	200,2	
BG 250	0			6,1	6,1	6,1		
	2			41,3	63,9	305		
BG 300	0			7,3	7,3	7,3		
	2			28,9	38,2	208		

-beton cu lucrabilitate scăzută

stabilite pentru următoarele stadii: apariția fisurii, deschiderea fisurii de 0,2 mm (stadiu presupus de exploatare) și rupere. Prima constatare importantă reieșită din aceste date experimentale este creșterea foarte mare a rezistenței la șoc a betoanelor ușoare armate cu fibre de otel. Față de epruvetele martor nearmate creșterea rezistenței la șoc în stadiul de rupere a epruvetelor armate este de peste 20 de ori în majoritatea cazurilor; se constată pe de altă parte că în cazul seriei BG 200- rețetă normală cea mai mare creștere s-a obținut pentru procentul de armare de 1,5% și nu pentru 2%. În stadiul de exploatare creșterea rezistenței la șoc a elementelor armate cu fibre de otel variază între 3,5 și 6,2 ori în cazul rețetelor normale. În stadiul de fisurare creșterile sînt și mai mici, ele variînd între 2,2 și 4,4 ori. Se mai menționează faptul că atât în stadiul de exploatare cît și cel de fisurare la creșterea procentului de armare peste 1%-pentru BG 300 și respectiv 1,5% - pentru BG 200 creșterea rezistenței la șoc nu mai este pusă în evidență.

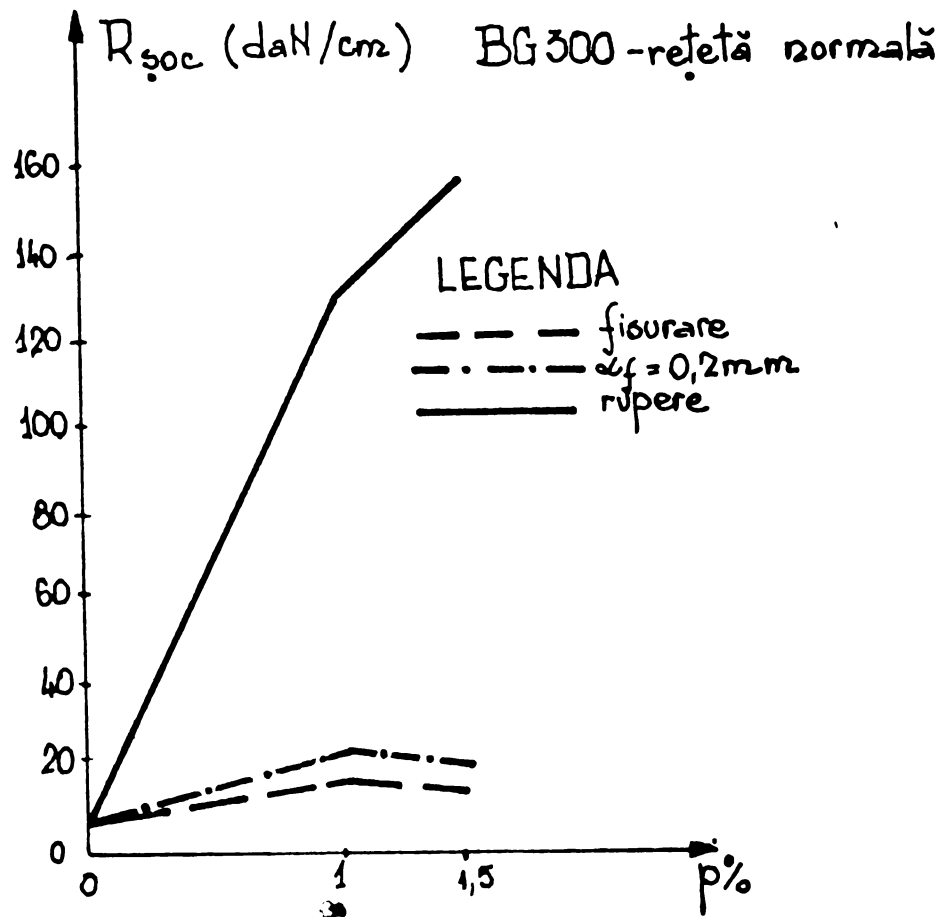


Fig.6.18. Variația rezistenței la șoc în funcție de procentul de armare volumetrică.

Referitor la rețetele modificate se constată aceeași tendință de creștere a rezistențelor la șoc, vitezele de creștere fiind ceva mai pronunțate decât în cazul rețetelor normale. Lucrabilitatea sporită a acestor tipuri de betoane a permis înglobarea unui procent de fibre mai mare (2%), rezultând valori maxime mai mari ale rezistenței la șoc. Aspecte ale epruvetelor rupte prin încercarea la șoc sînt date în fig.6.19.

Din datele prezentate referitoare la rezistența la șoc se constată că și în cazul betonului ușor cu granulat, ca și în cazul betonului greu obișnuit, creșterea rezistenței la șoc datorită prezenței fibrelor este deosebit de mare ceea ce dovedește caracterul foarte ductil al ruperii acestor betoane.

Valorile modulilor de elasticitate sînt date în tabelul 6.18. Se observă că în cazul solicitării la compresiune modulii de elasticitate scad, lucru explicabil prin scăderea lucrabilității cu creșterea procentului de fibre.

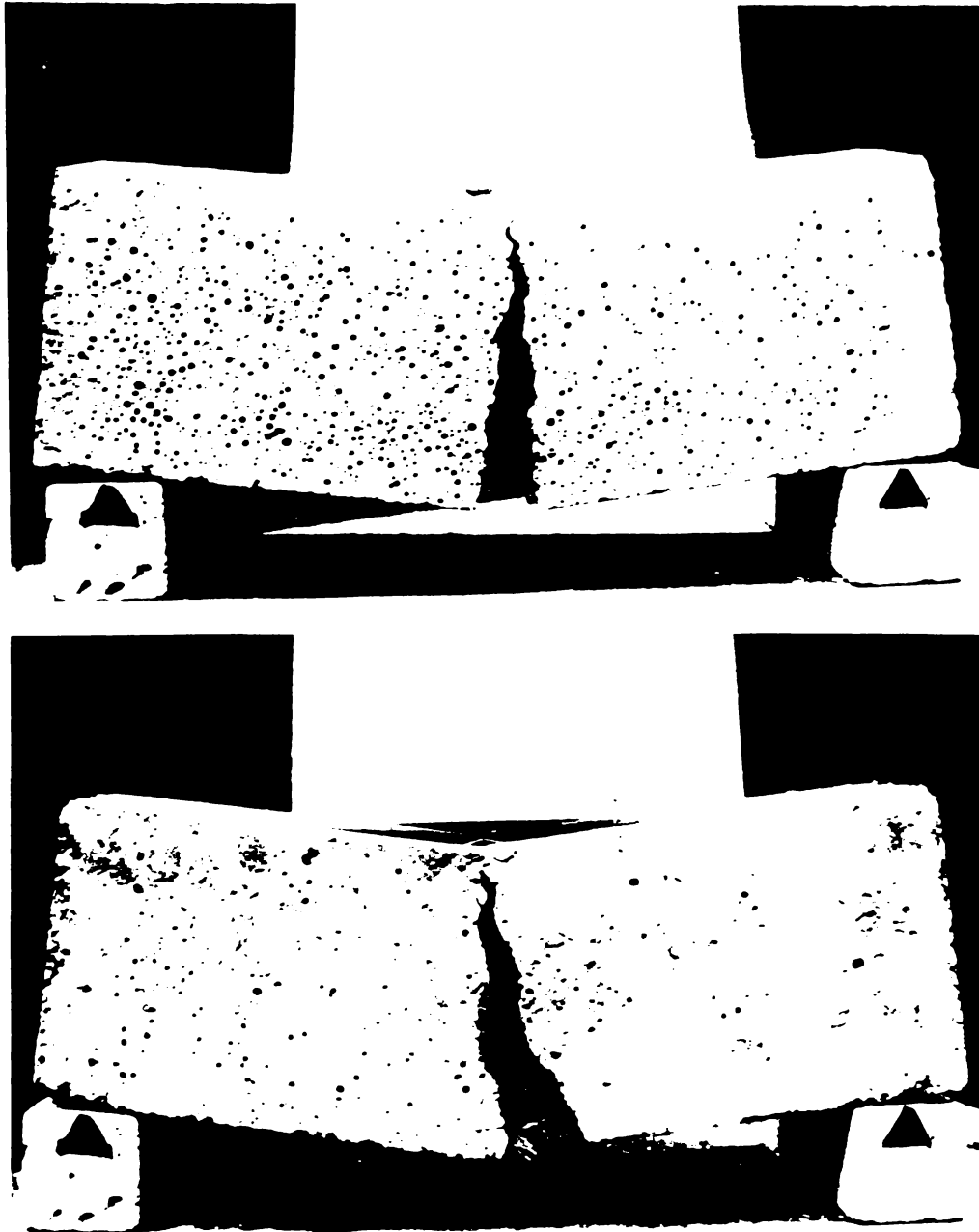


Fig. 6.13. Secțiunile transversale a pânelor coapte prin încercarea la foc.

... rezultatele analizelor fizicochimice sunt date în tabelul 6.14. ... scaderii rezistenței la apă și creșterii procentului de umiditate datorită cauzii amintite anterior. Aspectul fizic al pânelor în urma ruperii crustei și presarea miezului îmbunătățește aspectul vizual și gustul, întrucât miezurile fiind mai dese și mai mici.

6.3.3. Concluzii și recomandări

... rezultatele cercetărilor se desprind următorii concluzii:

- a) ...
- b) ...
- c) ...
- d) ...
- e) ...

Valorile modurilor de elasticitate și a
rezistențelor prismatice

Tipul rețetei	ϕ_{max} aparat (mm)	Seria		E_b (daN/cm ²)	R_{pr} (daN/cm ²)
		Marca bet. de referință	P (%)		
Normală	7	BG 200	0	204.500	238
			1	169.000	176
			15	179.000	172
			2	—	—
		BG 250	0	243.000	335
			1	223.700	306
			15	169.700	149
		BG 300	0	211.500	330
			1	230.700	295
			15	188.700	174
	16	BG 300	15	—	—
Modificată	7	BG 200	0	177.750	162
			2	141.500	124
		BG 250	0	199.500	195
			2	175.500	151
		BG 300	0	160.800	186
			2	155.000	142

b) La stabilirea compoziției betonului ușor cu granolit se pot utiliza instrucțiunile tehnice pentru prepararea și folosirea betoanelor cu granolit - indicativ C.155-75, respectând următoarele limitări:

- mărcile de betoane ce urmează a fi preparate se alege astfel încât dozajul de ciment folosit să fie mai mare decât 300 kg/m³ (rezultă betoane cu marcă > BG 200);

- granitul se va alege astfel încât dimensiunea maximă să nu depășească 7(10) mm.

c) Tehnologia de preparare și punere în operă a betoanelor ușoare cu granolit armate cu fibre de oțel cuprinde acele faze ca și pentru betonul greu obișnuit cu armare dispersă.

De remarcat că lucrabilitatea betonului ușor armat cu fibre este mai puțin bună decât în cazul betonului greu obișnuit. O metodă adecvată pentru îmbunătățirea lucrabilității este utilizarea aditivului mixt DISAN. Pentru stabilirea timpului optim de vîntare este necesar a fi efectuate încercări preliminare.

d) Densitățile betoanelor ușoare armate cu fibre de oțel rezultă în funcție de materialele componente utilizate. Prin folosirea granitului 0-7 mm densitatea betonului se reduce cu cca 15....20% față de betonul obișnuit cu aceeași dimensiune maximă a granulelor; prezența fibrelor contribuie la mărirea densității și

concordanță cu procentul de armare folosit.

e) Prin armarea cu fibre a betonului ușor cu granolit se îmbunătățesc sensibil următoarele caracteristici mecanice ale betonului:

- rezistența la întindere din încovoiere sporește cu peste 20% față de betonul ușor nearmat;

- rezistența la șoc este influențată substanțial de prezența fibrelor, creșterile fiind de peste 3 ori în stadiul de exploatare și de peste 20 ori în stadiul de rupere; creșteri și mai mari pot fi obținute prin mărirea procentului de armare cu fibre ceea ce poate fi realizat prin creșterea părții fine de agregat. Rezistența foarte mare la șoc demonstrează o comportare ductilă a betoanelor cu armare dispersă;

- comportarea la fisurare este mult îmbunătățită în sensul că fibrele împiedică apariția timpurie a unor fisuri, iar odată apărute fisurile sînt mai multe și de deschideri mai mici față de betoanele nearmate.

7. VALORIFICAREA CERCETĂRILOR ÎNTEPRINSE

7.1. Aplicarea betonului armat cu fibre de oțel la dale prefabricate pentru pavaje

Rezultatele studiilor și cercetărilor de laborator privind obținerea și unele caracteristici mecanice ale betonului armat cu fibre de oțel, efectuate pe baza unor contracte de cercetare încheiate între M.C.Ind. și Catedra de beton armat și clădiri a I.P.Timișoara /5/, /6/, au permis ca în anul 1975 să se treacă la folosirea acestui nou tip de beton la prefabricate de tipul dalelor, utilizabile pentru pavarea unor incinte carosabile. În cele ce urmează se prezintă tehnologia de fabricare a dalelor de beton armat cu fibre de oțel și rezistența acestora, procedeul de obținere putînd fi generalizat și la alte tipuri de prefabricate /19/. De asemenea sînt date detalii privind realizarea, cu aceste dale, a unui tronson carosabil experimental, în incinta unei întreprinderi din Timișoara.

7.1.1. Tehnologia de fabricare a dalelor

Au fost confecționate un număr de 22 dale din beton armat cu fibre de oțel din care 11 dale de 50 x 50 x 7 cm

și 11 dale de 50 x 50 x 10 cm; de asemenea au fost confecționate câte o dală de beton simplu de ambele dimensiuni cât și prisme armate și nearmate.

Compoziția betonului a fost următoarea:

- ciment PZ 400 : 450 kg/m³;
- raport A/C = 0,55;
- nisip 0/3 mm: 900 kg/m³
- nisip 3/7 mm: 653 kg/m³
- procent de armare volumetric: 2%

S-au folosit sârme tari, livrate de Industria Sîrmei Cîmpia Turzii, cu o rezistență de rupere, dată în certificatul de calitate al întreprinderii furnizoare, de 90-103 daN/mm². Lungimea fibrelor a fost de 30 mm, rezultînd un raport $l/d = 10^7$ (diametru $d = 0,28$ mm). Sîrmele au fost tăiate cu dispozitivul mecanic prezentat în fig.6.1 și 6.2.

Prepararea betonului s-a făcut într-un malaxor cu palete, cu amestec forțat, care a fost prezentat în fig.6.3.

Operațiile de amestecare a materialelor s-au efectuat în următoarea succesiune:

- s-au amestecat, timp de 30 sec., cele două sorturi de nisip, după care s-a introdus cimentul, urmînd o nouă amestecare timp de 30 sec.;

- în amestecul uscat astfel obținut au fost încorporate, prin intermediul unei site, fibrele de oțel, urmărindu-se o împrăștiere cât mai uniformă;

- a urmat o nouă malaxare timp de 30 sec., interval în care s-a adăugat întreaga cantitate de apă a șarjei respective (volumul unei șarje a fost de circa 40 l).

Plăcile au fost turnate în tipare metalice (fig.7.1) iar compactarea betonului s-a făcut printr-o vibrație puternică pe cofraje, cu un pervibrator, pînă cînd s-a realizat o compactare bună, fața superioară putîndu-se nivela ușor cu mistria.

Decofrarea s-a făcut după 24 ore. Epruvetele au fost păstrate 7 zile în atmosferă umedă (prin acoperire cu saci uzi), iar apoi în aer.

7.1.2. Realizarea tronsonului carosabil

La începutul lunii septembrie 1975, dalele armate cu fibre de oțel (10 cu grosimea de 7 cm și 10 cu grosimea

de 10 cm) au fost montate în incinta Fabricii de amidon aparținând de Intreprinderea CILT - Timișoara.

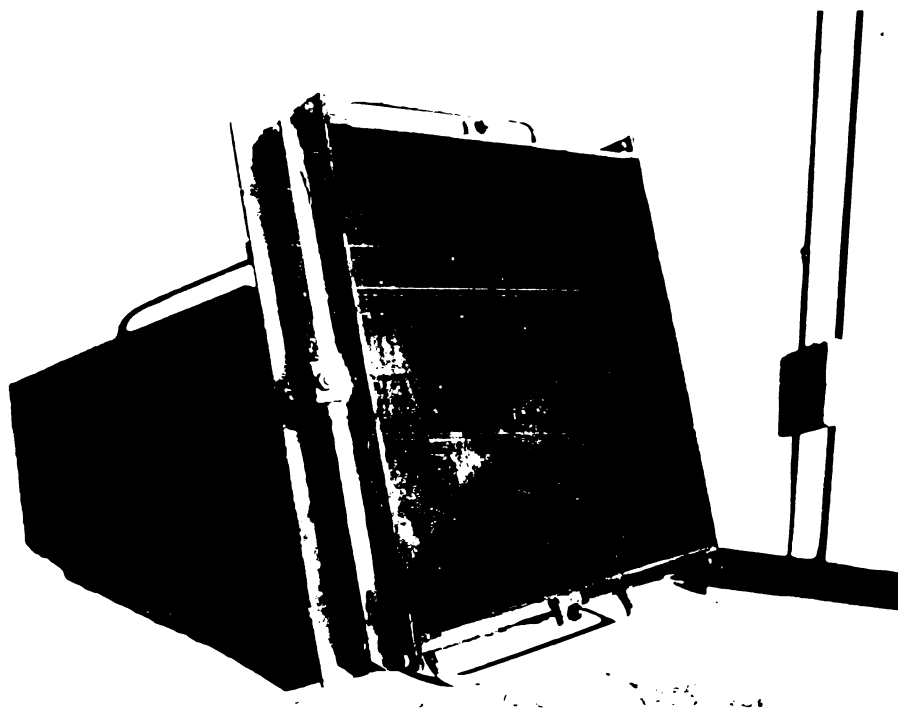


Fig.7.1. Tipar metalic pentru turnarea dalelor

Dalele experimentale s-au așezat alăturate câte două, rezultând un tronson de 1 m lățime și 5 m lungime (fig.7.2). Restul incintei a fost pavat cu dale de beton armat de 50x50x15 cm fabricate de EXTRACERAM Timișoara.

Toate dalele din incintă au fost așezate pe un pat de nisip, între ele realizându-se o monolitizare cu mortar de ciment.

În incintă circulă și manevrează vehicule de tonaj mediu (camioane de 10 to) cu o frecvență ridicată.

Aspectul tronsonului după 7 și 1/2 ani (fig.7.3) arată că atât dalele cu grosimea de 10 cm, cât și cele cu grosimea de 7 cm s-au comportat foarte bine în exploatare.

7.1.3. Incercarea elementelor experimentale

Elementele experimentale, prisme și dale, au fost încercate la încovoiere. Prismele de 10 x 10 x 30 cm s-au încărcat cu o forță concentrată la mijlocul deschiderii care a fost de 27 cm. Rezultatele încercărilor pe prisme arată că rezistența la întindere a betonului cu fibre de oțel este de 1,71 ori mai mare decât cea a betonului simplu (v.tab.6.6); rezistența la întindere s-a calculat cu luarea în considerare a plasticizării zonei în-



Fig.7.2. Tronson carosabil din dale de beton armat cu fibre de oțel, realizat la Fabrica de amidon, CILT Timișoara.

tinse.

Pentru încercarea dalelor s-a utilizat dispozitivul din figura 7.4, construit în acest scop. Rezemarea dalelor s-a realizat pe role, dispuse la cele patru colțuri, iar încărcarea s-a aplicat în centru cu o placă rotundă ($D=100\text{ mm}$); contactul dintre dispozitivul de aplicare a forței și dală s-a realizat prin intermediul unei plăci de cauciuc. Săgeata în mijlocul plăcii a fost înregistrată cu ajutorul a două fleximetre Maximov (1 : 100 cm). Încărcarea s-a aplicat în trepte succesive, o treaptă fiind de 400 daN.

În figura 7.5 este prezentat aspectul plăcilor armate cu fibre, după încercare.

Rezultatele încercării dalelor sînt date în tabelul 7.1. și în fig.7.6.

Din tabelul 7.1 rezultă că dalele armate cu fibre de oțel au o capacitate de aproximativ 2 ori mai mare decît a dalelor martor (nearmate). Dalele armate au o capacitate portantă sporită



Fig.7.3. Aspectul tronsoanelor după 7 și 1/2 ani de exploatare.

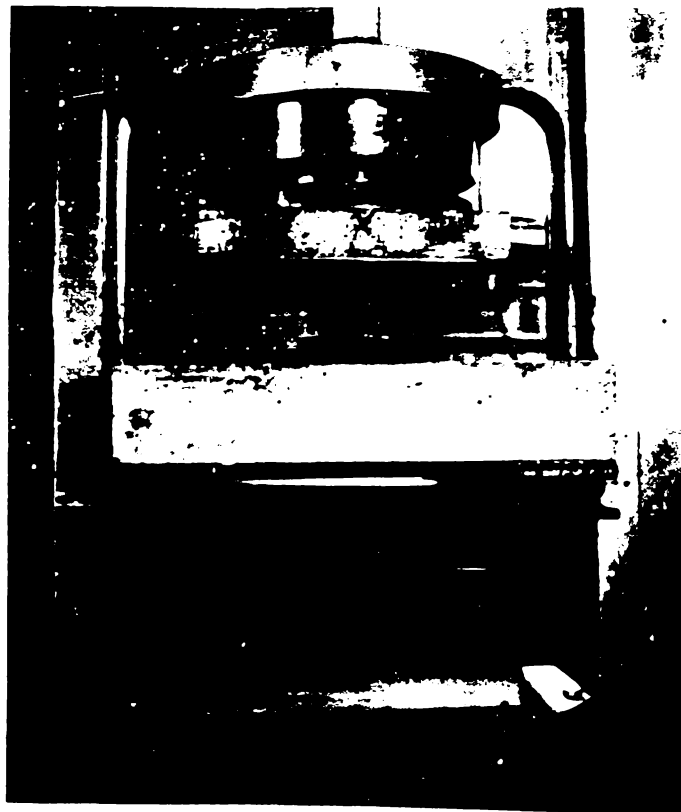


Fig.7.4. Dispozitivul pentru încercarea dalelor.

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA

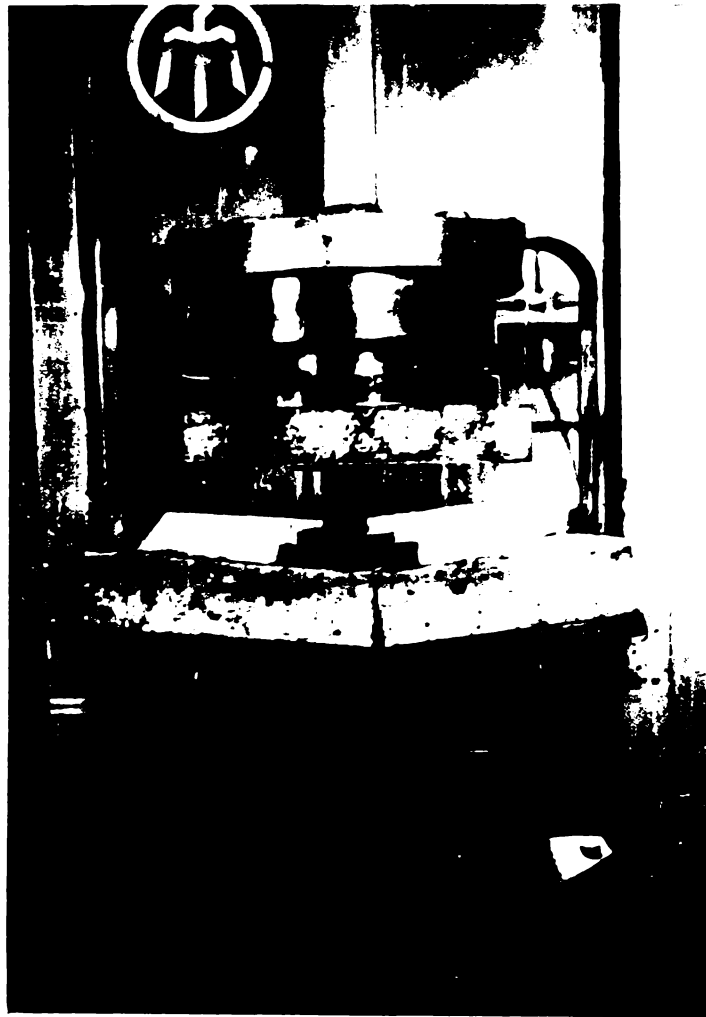


Fig.7.5. Aspectul unei dale armate cu fibre de oțel, după încercare.

Tabelul 7.1

Rezultatele încercării la încovoiere a dalelor de beton armat cu fibre și mortar.

Dala	P_{max} (tf)	$f_{P_{max}}$ (cm ²)	f_{max} (cm ²)	$\frac{P_{max}(DA)}{P_{max}(DM)}$	$\frac{f_{P_{max}}(DA)}{f_{P_{max}}(DM)}$	$\frac{f_{max}(DA)}{f_{max}(DM)}$
DM 7	1,1	0,26	0,26	2,0	1,96	14,1
DA 7	2,2	0,51	3,68			
DM 10	2,8	0,43	0,43	1,86	1,56	7,8
DA 10	5,2	0,67	3,35			

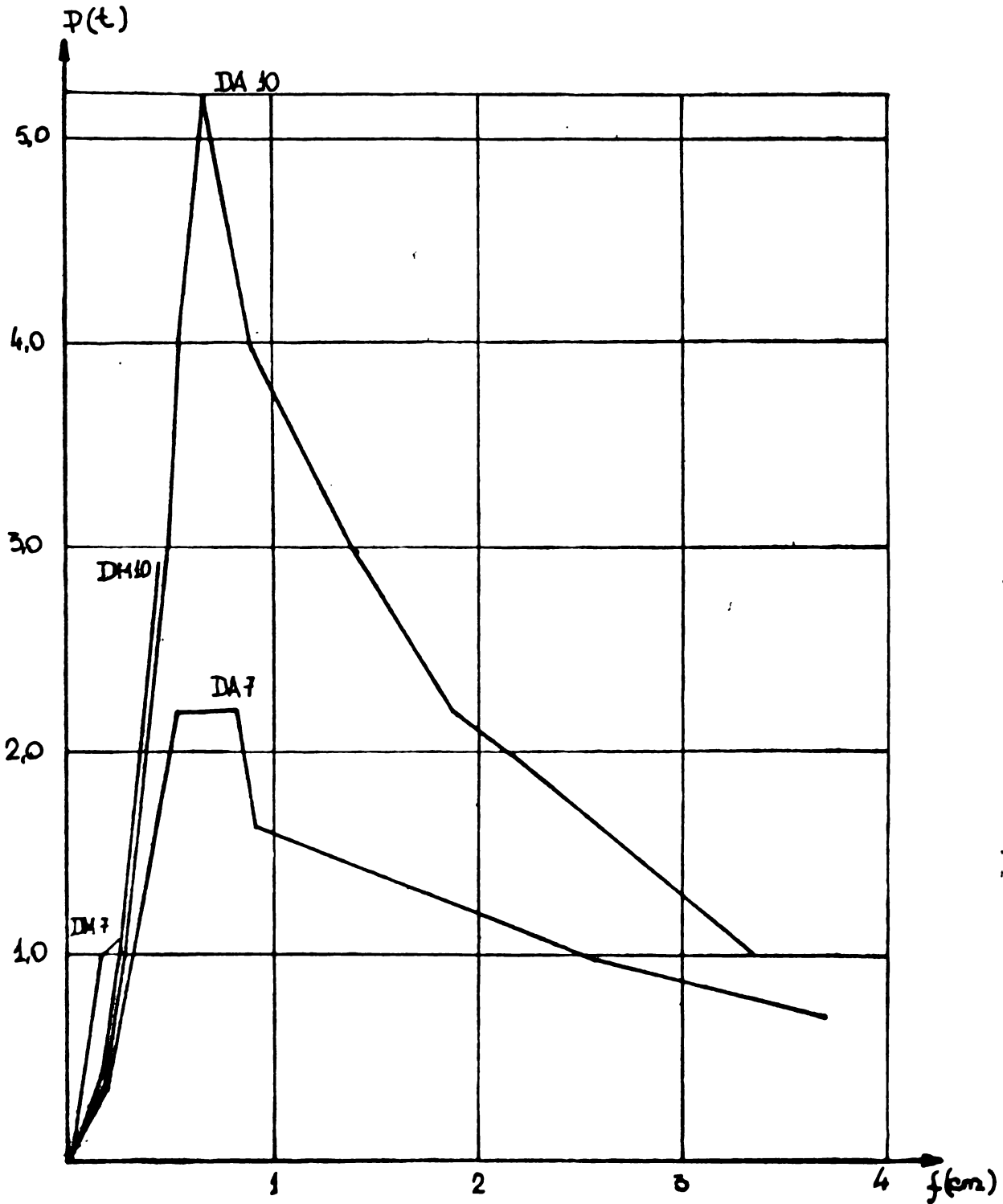


Fig.7.6. Diagrama încărcare-deformație pentru dalele încercate.

cu circa 13% față de prismele armate. Acest spor se datorește comportării mai bune a elementelor armate cu fibre de oțel la o solicitare bidirecțională, fapt ce atestă utilizarea betonului cu fibre de oțel la elemente la care apar întinderi după două sau mai multe direcții.

Ductilitatea ridicată a betonului cu fibre apare evidentă în diagramele prezentate în fig.7.6, precum și din rezultatele comparative date în tab.7.1. În timp ce dalele din beton simplu s-au distrus la apariția primei fisuri, dalele armate cu

fibre de oțel au suportat încă încărcări, săgețile la mijloc cresc foarte mult. Raporturile dintre săgețile maxime ale dalelor armate și martor sînt de 7,8 respectiv 14,1. Se constată, de asemenea, că pînă la apariția fisurilor (valorile maxime ale încărcărilor) corelația dintre încărcare și săgeată este aproximativ liniară, ceea ce arată comportarea elastică a elementelor.

Aspectul plăcilor după rupere este redat în fig.

7.7. a, b.

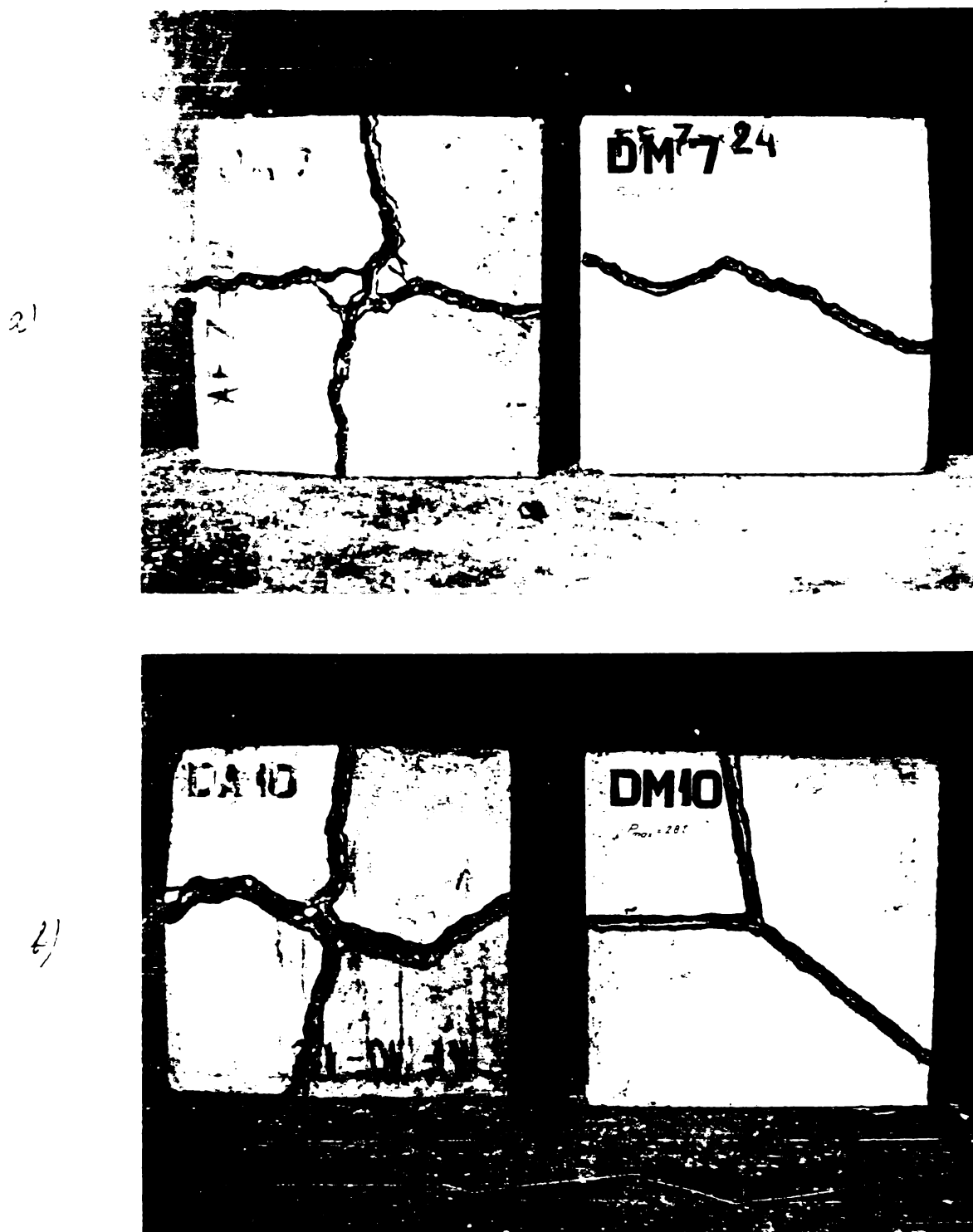


Fig.7.7. Aspectul dalelor după rupere

a)- dale de 7 cm; b)- dale de 10 cm.

La plăcile nearmate, datorită caracterului casant al ruperii, nu s-au putut dezvolta liniile de rupere perpendicula-

re pe mijlocul fețelor libere, iar odată apărute una sau două linii de rupere, în secțiunile mai slabe, s-a produs ruperea plăcii. Caracterul ductil al ruperii betonului armat cu fibre de oțel a permis formarea (aproape teoretică) a liniilor de rupere perpendiculare pe laturile libere; aceasta demonstrează capacitatea de redistribuție plastică a betonului armat cu fibre de oțel.

În figurile 7.8 a, b sînt arătate detaliile de rupere.



Fig.7.8. Detalii de rupere ale dalelor din beton cu fibre de oțel.

a)- dala de 7 cm; b)- dala de 10 cm.

7.1.4. Concluzii

Din cercetările efectuate privind caracteristicile dalelor din beton armat cu fibre de oțel și posibilitățile lor de aplicare, se pot trage următoarele concluzii:

- Pentru execuția elementelor prefabricate se pot utiliza fibre de oțel cu lungime de 30 mm, obținute prin tăierea sîrmelor tari de diametru 0,28 mm, procentul de armare volumetric fiind de 2 %. Se menționează că se pot folosi și alte diametre sau lungimi cu condiția ca raportul l/d să fie în jur de 100.

Amestecarea materialelor componente și punerea lor în tipare se poate face pe baza unei tehnologii simple, descrisă la pct.7.1.1, care asigură o repartiție cvasiuniformă a fibrelor în masa betonului.

- Observațiile făcute pe tronsonul experimental după 7 și 1/2 ani care au trecut de la executarea lui, arată că dalele din beton armat cu fibre de oțel de 50 x 50 x 7 cm pot fi utilizate la o circulație lentă, de tonaj mediu, înlocuind astfel dalele din beton armat de 50 x 50 x 15 cm.

- Rezistența elementelor de beton armat cu fibre de tip placă, este dublă față de rezistența plăcilor din beton simplu creșterea rezistenței la elementele liniare armate cu fibre de oțel, față de cele nearmate este mai mică decît la plăci.

7.2. Aplicarea betonului armat cu fibre de oțel la repararea îmbrăcămintilor rutiere rigide

După cum s-a arătat în capit.5, cele mai multe aplicații ale betonului armat cu fibre de oțel sînt în domeniul drumurilor, acest nou material fiind utilizat la ranfordarea, repararea și execuția îmbrăcămintilor rutiere rigide.

La noi în țară îmbrăcămintile rutiere rigide, deși nu reprezintă o pondere deosebită din totalitatea drumurilor modernizate, au o vechime mare în exploatare, unele drumuri depășind cu mult durata de serviciu normată; drumul național DN 6 Orșova-Mehadia are, spre exemplu, circa 40 de ani de exploatare. Vechimea mare a acestor îmbrăcăminți cît și degradările multiple apărute în ultimul timp, impun ca necesară repararea și în unele situații ranforsarea lor.

Caracteristicile superioare ale betonului cu fi-

bre de oțel îă recomandă pentru folosirea la repararea și ranforsarea îmbrăcăminților rutiere rigide, a căror durabilitate este sensibil influențată de rezistența la întindere, rezistența la șoc și gelivitate și de comportarea ductilă.

Principalele metode de reparare a îmbrăcăminților rutiere rigide sînt /67/:

a. Pe bază de lianți bituminoși:

- emulsii bituminoase
- suspensii bituminoase
- mixturi asfaltice

b. Pe bază de ciment

- mortar de ciment
- mortare și betoane armate cu fibre

c. Pe bază de rășini epoxidice (1:1 liant, nisip)

Metodele de reparare pe bază de lianți bituminoși au avantajul unui preț de cost scăzut și a unei execuții rapide, în schimb au dezavantajul că au o durabilitate scăzută (aproximativ 1 an).

Repararea îmbrăcăminților prin utilizarea mortarelor cu rășini epoxidice este o metodă nouă, experimentată și la noi de către INCERC - București, cu o serie de avantaje tehnice, însă cu un preț de cost foarte ridicat și cu experiență puțină în acest domeniu.

Inlocuirea dalelor deteriorate cu altele noi este o metodă de reparare destul de bună, dar manopera necesară este mare, procedeul putînd fi utilizat în cazuri cu totul izolate.

La noi în țară cercetări privind repararea îmbrăcăminților rutiere rigide s-au făcut la Timișoară, pe baza unor contracte de cercetare încheiate între D.D.P.Timișoara și Catedra de beton armat și clădiri a I.P.Timișoara /16/, /37/, /38/, /40/.

În cele ce urmează este prezentată sinteza cercetărilor efectuate privind unele proprietăți specifice aplicării betonului armat cu fibre de oțel în domeniul reparării îmbrăcăminților rutiere rigide cît și executarea și urmărirea unor tronsoane experimentale de reparare a îmbrăcăminților, efectuate pe drumul național DN 68 A Lugoj-Ilia.

7.2.1. Cercetări de laborator

Au fost efectuate încercări de lucrabilitate, de gelivitate și încercări privind rezistența la șoc. Rezul-

tatele și comentariile privind aceste încercări sînt prezentate în capit.6- pct.6.3. Acestea atestă că utilizarea betoanelor armate cu fibre de oțel în domeniul îmbrăcăminților rutiere rigide este foarte indicată.

7.2.2. Executarea și urmărirea tronsoanelor experimentale

Pe linia găsirii unor soluții eficiente de reparare a îmbrăcăminților rutiere rigide, s-au executat pînă în prezent, două sectoare experimentale de reparare utilizînd betonul armat cu fibre de oțel.

Aceste lucrări de reparare au fost efectuate pe drumul național DN 68 A Iugoj-Ilia după cum urmează:

- a) în septembrie 1976 la Km 27+420 (în localitatea Dumbrava);
- b) în octombrie 1977 la Km 39+650 (intrarea în loc.Margina).

Soluția de reparare a constat în suprapunerea peste dalele deteriorate a unui strat din beton armat cu fibre de oțel.

a) Porțiunea de drum reparată în 1976 a prezentat fisuri și denivelări datorită tasărilor și exfolieri datorită uzurii. Aspectul dalei înainte de reparare poate fi urmărit în fig. 7.9 a și fig.7.10 a,b.

Betonul utilizat la repararea dalei a avut următoarea compoziție:

- ciment RIM 200: 450 kg/m³;
- raport A/C = 0,55;
- nisip 0/3 mm: 900 kg/m³;
- nisip 3/7 mm: 653 kg/m³;
- fibre de oțel ($R_t = 1000 \text{ N/mm}^2$; $d = 0,28 \text{ mm}$; $l = 30 \text{ mm}$): 120 kg/m³ ($p = 1,5\%$).

Prepararea betonului s-a făcut manual, succesiunea operațiilor fiind următoarea:

- amestecarea agregatelor cu cimentul;
- introducerea fibrelor cu ajutorul unui ciur cu ochiuri de 16 mm și omogenizarea amestecului;
- adăugarea apei necesară cu stropitoare și omogenizarea betonului proaspăt.

S-a constatat că utilizarea metodologiei de mai

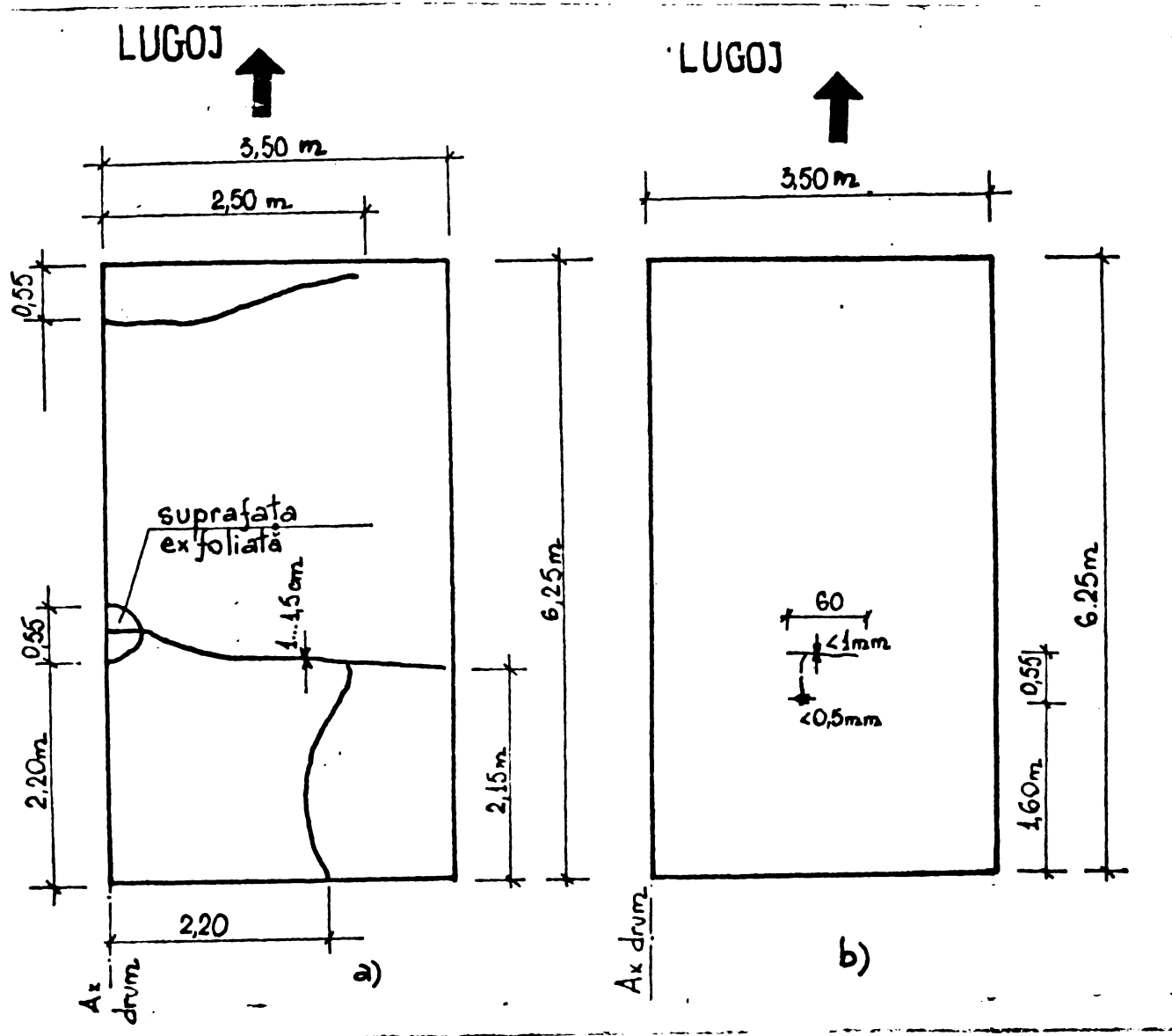


Fig.7.9. Relevul fisurilor sectorului de drum reparat pe DN 68 A- Km 27+42o:
a) înainte de reparare (septembrie 1976)
b) după 6 și 1/2 ani de exploatare (ianuarie 1983).

a permis obținerea unor betoane cu o repartiție mai uniformă a fibrelor față de cazul amestecării betonului în malaxorul cu palete.

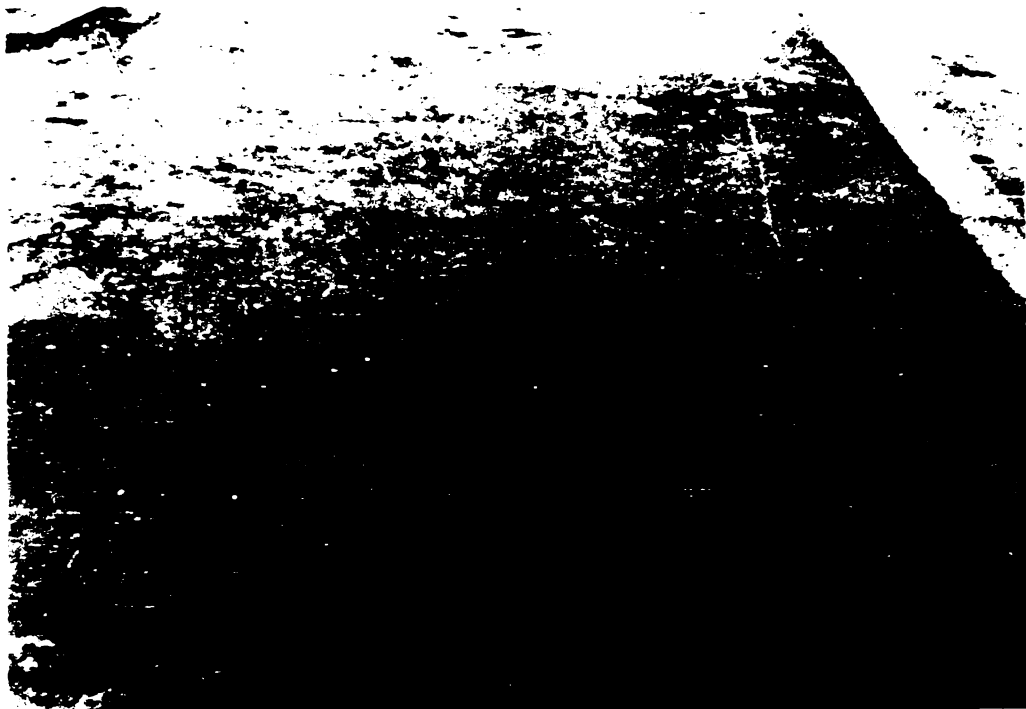
Punerea în operă a betonului a fost precedată de curățirea atentă a dalei și amorsarea ei cu lapte de ciment.

Betonul a fost pus în operă cu lopeți, fiind bine compactat și finisat cu multă atenție.

Aspecte privind realizarea reparării dalei sînt date în fig.7.11 a,b.

Grosimea stratului de beton armat cu fibre de oțel a fost de 5 cm în cîmp curent, descrescînd pînă la zero în zonele de racordare cu drumul existent. La reparare au fost păstrate rosturile îmbrăcăminții rigide existente.

2)



2)



Fig.7.10. Aspecte ale sectorului de drum reparat pe DN 68 A Km 27+420, înainte de reparare (septembrie 1976).
a - ansamblu; b - detaliu

Dala a fost protejată timp de 7 zile prin acoperire cu folie de polietilenă și nisip, după care a fost dată în exploatare.

Aspectul dalei în exploatare, pe o durată de 6 și 1/2 ani poate fi urmărit în fig.7.9.b și 7.12 a și b.

Pe perioada de cca 6 și 1/2 ani (sept.1976-ian.1983) care a trecut de la darea în exploatare a sectorului experimental



Fig.7.11. Aspecte privind realizarea reparații
la M. S. n., km 27+420.

s-au constatat următoarele:

- după o perioadă de 3 ani (sept.1978 - oct.1979) nu s-a reparat nici o fisură în câmp curent. La marginile de racordare cu drumul existent s-a reparat unele risuri și desprinderi ale suprafeței de beton cu fibre de sticlă, întrucât grosimea stratului pe o zonă de 30 cm la racordare este foarte micșorată până la zero /38%.
- după o perioadă de încă 3 și 72 ani (oct.1979 - ian.1983) s-a reparat 2 fisuri în , de lungime mică, din care una



Fig.7.12. Aspectul sectorului reparat pe DN 68 A
Km 27+420.

a - imediat după reparare;

b - după 6 și 1/2 ani de exploatare.

reprezintă sigur transmiterea parțială a unei fisuri existente înainte de reparare (fig.7.9.b).

Rezultă așadar după 6 și 1/2 ani de exploatare o comportare foarte bună a sectorului reparat. În ceea ce privește rãcordarea cu drumul existent s-a constatat cã aceasta nu se poate realiza cu beton cu fibre care sã aibã grosimi mai mici decît 5 cm

și că trebuie executată cu îmbrăcăminte asfaltică.

b) Dalele reparate în 1977 au prezentat defecțiuni grave reprezentate prin fisuri adânci, pe toată grosimea dalelor, longitudinale și transversale cât și faianțări ale suprafețelor. De asemenea fisurile au avut deschideri mari de 7...20 mm. Aspectul sectorului de drum înainte de reparare este prezentat în fig. 7.13 a și 7.14.

Compozițiile betoanelor utilizate pentru reparare au fost:

- ciment RIM 200: 450 kg/m³;
- nisip 0/3 mm: 900 kg/m³;
- nisip 3/7 mm: 653 kg/m³;
- raport A/C = 0,55;
- fibre de oțel ($R_t = 1000 \text{ N/mm}^2$; $d = 0,28 \text{ mm}$; $l = 30 \text{ mm}$):
 - 0 kg/m³ ($p = 0\%$) pentru dala reparată cu beton simplu;
 - 80 kg/m³ pentru dala reparată cu beton cu fibre de oțel cu $p = 1\%$;
 - 120 kg/m³ pentru dala reparată cu beton cu fibre de oțel cu $p = 1,5\%$;
 - soluție 20% DISAN: 1,5 l/100kg ciment (0,3 kg DISAN la 100 kg ciment);

Se constată din compozițiile betoanelor utilizate că pentru a testa eficiența diferitelor procente de fibre s-a executat repararea tronsonului ales în 3 variante: beton simplu, beton cu fibre de oțel cu $p = 1\%$ și beton cu fibre de oțel cu $p = 1,5\%$.

Etaple lucrărilor de reparare au fost următoarele:

- curățirea atentă a sectorului prin spălare cu apă și frecare cu perii aspre;
- amorsarea suprafeței cu lapte de ciment;
- prepararea betonului, efectuată într-un malaxor cu palete, la care ordinea operațiilor a fost următoarea: dozarea materialelor, amestecarea cimentului cu agregatul timp de 30 sec., introducerea fibrelor de oțel prin intermediul unei site și uniformizarea răspândirii lor în amestecul uscat; adăugarea apei și malaxarea întregului amestec timp de 30 sec.;
- turnarea betonului cu lăpeți și aranjarea într-un strat de aproximativ 5 cm;
- compactarea betonului, prin vibrare cu o placă vibrantă;

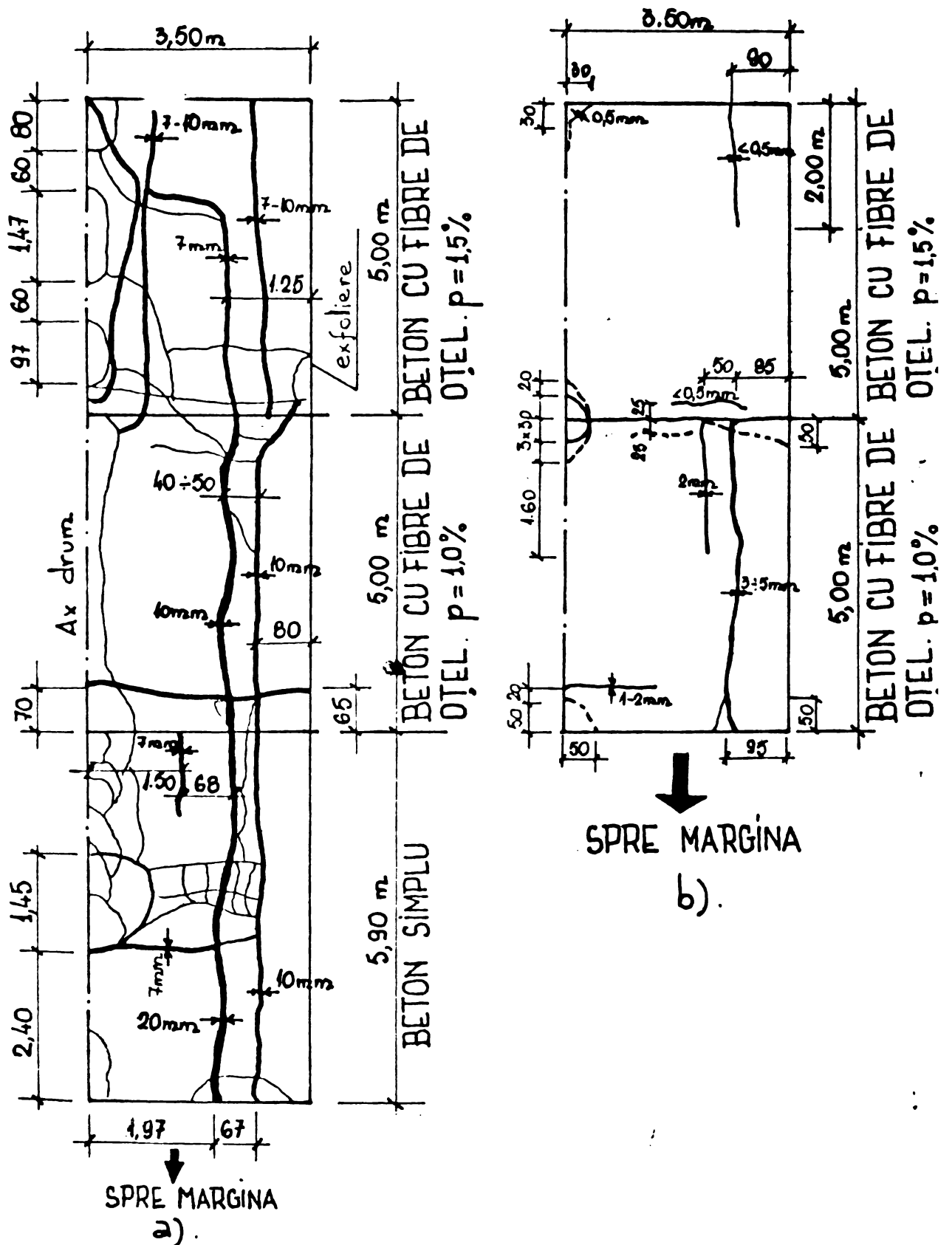


Fig.7.13. Releveul fisurilor sectorului de drum reparat pe DN 68 A km 39 + 650.

a. Inainte de reparare (octombrie 1977)

b. După reparare:

- în octombrie 1979 (după 2 ani): —
- suplimentar în ian.1983 (după încă



Fig.7.14. Aspect al sectorului reparat de pe
DN 68 A, km 39+650, înainte de reparare.

- finisarea suprafeței drumului cu dreptarul și
istria.

Aspecte privind realizarea lucrărilor de reparare
înt prezentate în fig.7.15 a, b, c, d.

Grosimea stratului de beton compactat, utilizat pen-
ru reparare, a fost de 4 cm. Având în vedere defecțiunile apărute
n zona de racordare cu drumul existent la sectorul executat în
976, racordarea nu s-a mai făcut cu beton cu fibre ci cu mixtură
sfaltică. La reparare au fost păstrate rosturile de 2,5 cm ale îm-
răcăminții rigide existente.

Tronsonul a fost protejat timp de 5 zile prin acope-
ire cu nisip, umezit zilnic, după care a fost dat în exploatare.

Aspectul tronsonului în exploatare, imediat după re-
arare și după 5 și 1/2 ani este prezentat în fig.7.16 a, b, iar re-
eveul fisurilor după 3 și după 5 și 1/2 ani de exploatare este pre-
entat în fig.7.13 b. Acest relevu conduce la următoarele consta-
ări:

- la dala reparată cu beton simplu (nu apare în rele-
eu întrucît prezintă o multitudine de fisuri) stratul de reparare
-a distrus complet, deja după 2 ani (oct.1977 - oct.1979) de ex-
ploatare, transmiiându-se toate fisurile, în plus apărind o serie
le fisuri și crăpături noi (cu deschideri mari peste 3 mm). După
ncă 3 și 1/2 ani (oct.1979 - ian.1983) dala s-a deteriorat și mai

a)



b)

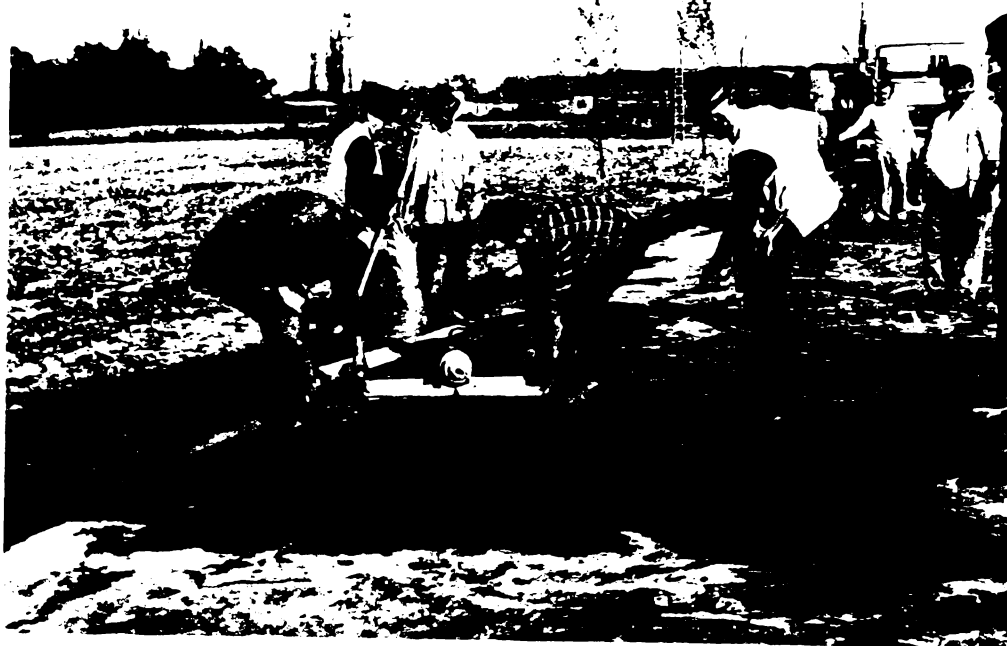


Fig.7.15 a, b. Aspecte privind realizarea lucrărilor de reparare pe DN 68 A Km 39+650.

- la data reparării cu beton cu fibre de oțel cu $p = 1\%$ s-au reținut după 2 ani (oct.1977 - oct.1979) parțial două fisuri longitudinale și una transversală (având 1 - 2 mm deschidere precum și unele fisuri la colțuri. După încă 3 și 1/2 ani (oct-1979 1983) au mai apărut fisuri la colțuri și o fisură transversală și s-au mai accentuat fisurile longitudinale ajungând la 3-5 mm deschidere (fig.7.15 b).



c)



d)

Fig.7.15.c,d. Aspecte privind realizarea
lucrurilor de reparare pe
Dr. 68 A km 39+650.

- dala reparată cu beton cu fibre de oțel cu procent de armare de 1,5% și cu agregat de nisip. După 2 ani de exploatare (oct.1977 - oct.1979) au apărut fisuri de deschidere foarte mică (sub 0,2 mm) - una transmisă longitudinală și una la

a)



b)



Fig.7.16. Aspectul sectorului reparat pe DN 68 A
Km 39+050
a- imediat după reparație;
b- după 5 și 1/2 ani de exploatare.

colțuri - fiind observate doar după ploaie datorită umidității. După încă 3 și 1/2 ani (oct.1979 - ian.1983) au mai apărut trei fisuri scurte și fine - una transversală și două^{la} colțuri (fig.7.13.b) și s-au mai dezvoltat semnificativ fisurile apărute anterior. Pe baza observațiilor făcute la cele 2 sectoare reparate (la km 27+420 și la km 39+350) se poate concluziona că la

un procent de armare de 1,5 % și o grosime a stratului de beton cu fibre de oțel de 5 cm, repararea în această soluție este foarte bună.

7.2.3. Concluzii

Aplicațiile efectuate conduc la următoarele concluzii:

- La repararea îmbrăcăminților rutiere rigide o soluție avantajoasă din punct de vedere tehnic și economic (fig. 7.17) reprezintă betonul armat cu fibre de oțel;

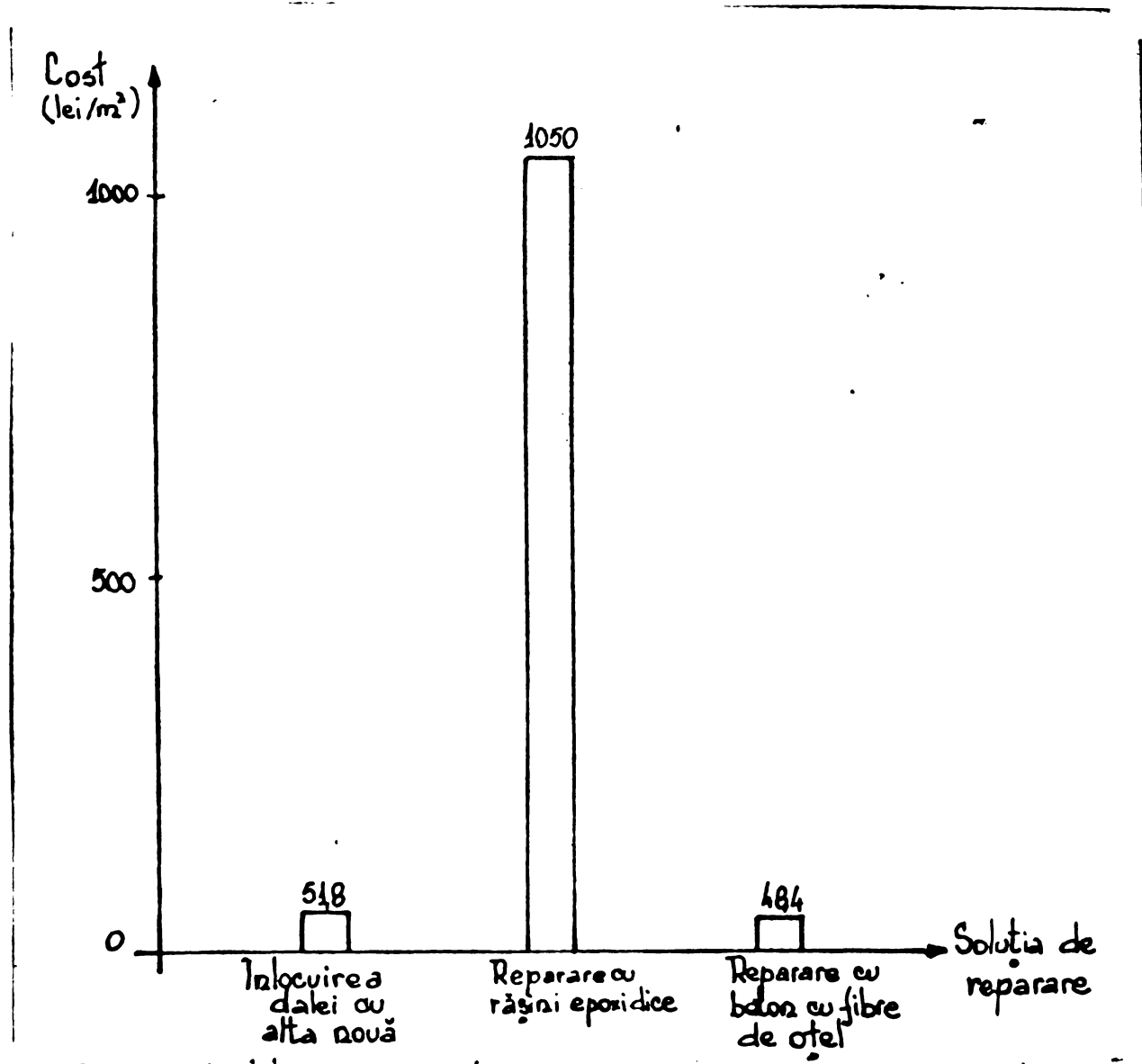


Fig.7.17. Costul comparativ al lucrărilor de reparare a îmbrăcăminților rutiere rigide.

- Cercetările de laborator privind unele proprietăți specifice aplicării în domeniul reparării îmbrăcăminților rutiere rigide (lucrabilitate, gelivitate, rezistență la șoc) ates-

tă că utilizarea betonului cu fibre de oțel în acest domeniu este foarte indicată;

- Observațiile efectuate asupra dalelor reparate în 1976 și 1977 au arătat că soluția de reparare cu beton cu fibre de oțel este corespunzătoare, cu condiția respectării următoarelor: grosimea stratului de reparare să fie de minimum 5 cm; procentul minim de armare să fie de 1,5 %; racordarea cu drumul existent se va face cu mixtură asfaltică, care trebuie menținută permanent în stare bună; soluția nu se aplică la sectoare cu fisuri active și fenomene de pompaj, dacă în prealabil nu s-a procedat la asanarea corpului drumului.

7.3. Normative elaborate

Conform celor prezentate în capit. 1- 5 rezultă că betonul armat cu fibre de oțel a început să fie tot mai mult studiat și folosit în numeroase țări, datorită avantajelor pe care le prezintă.

Rezultatele cercetărilor experimentale privind tehnologia, proprietățile cât și aplicarea acestui material nou în domeniul drumurilor, efectuate la Catedra de beton armat - I.P.Timisoara (capit.6-7), arată că sînt create posibilitățile extinderii și la noi a folosirii acestui tip de beton.

Pentru aplicarea în practică a betonului cu fibre de oțel este necesară în primul rînd cunoașterea acestui material de către un număr cît mai mare de specialiști din proiectare și execuție și în al doilea rînd este necesară confecționarea unor utilaje pentru tăierea sîrmelor. În acest scop au fost elaborate următoarele normative:

- Indrumător pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel, publicat în Buletinul construcțiilor, vol.3,1977 /7/; îndrumătorul este prezentat în teză în anexa 1;

- Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel, indicativ C.201-80, publicat în Buletinul construcțiilor, vol.8, 1980 /8/ și în Colecția de normative și instrucțiuni, 225 - 1981 /10/; instrucțiunile sînt prezentate în teză în anexa 2.

Instrucțiunile apărute în 1980 înlocuiesc îndrumătorul apărut în 1977, ele reprezentînd revizuirea acestuia. Față de îndrumător instrucțiunile aduc modificări și completări care se referă la:

- domenii de utilizare;
- detalii privind dispozitivul pentru tăierea sîrme-
lor de oțel;
- precizări privind îmbunătățirea lucrabilității
prin folosirea aditivului DISAN;
- utilajele necesare la prepararea și turnarea be-
tonului cu fibre de oțel;
- exemplu privind calculul compoziției betonului cu
fibre de oțel;
- actualizarea unor prevederi din standardele și nor-
mativele care s-au modificat după apariția îndrumătorului.

Din conținutul instrucțiunilor rezultă că pentru pre-
pararea și punerea în operă a betonului cu fibre de oțel nu sînt
necesare măsuri cu totul speciale față de betonul obișnuit, indi-
cațiile date în instrucțiuni fiind suficiente în această privință.

Trebuie precizat că betonul armat cu fibre de oțel
nu substituie betonul armat obișnuit în funcțiunile lui clasice;
el se folosește doar în domeniile în care proprietățile lui tehni-
ce îl fac competitiv.

8. SINTEZA SI CONCLUZII

Betonul, sub forma betonului simplu, armat sau
precomprimat, reprezintă principalul material de construcție da-
torită marilor sale avantaje tehnice și economice.

Una din căile de menținere a competitivității be-
tonului o constituie crearea de noi tipuri de betoane cu unele
proprietăți fizico-mecanice sau chimice îmbunătățite. Această ca-
le a dus la studierea și realizarea betoanelor ușoare, a betoane-
lor cu armare dispersă și a betoanelor cu polimeri.

Din categoria betoanelor cu armare dispersă cea
mai mare utilizare au căpătat-o pînă în prezent betoanele armate
cu fibre de oțel și betoanele armate cu fibre de sticlă.

Caracteristicile mecanice îmbunătățite ale beto-
nului armat cu fibre de oțel (rezistența la întindere prin încov-
olere și despicare; rezistența la șoc; rezistența la oboseală;
capacitatea de absorbție de energie; rezistența la uzură; rezis-
tența la gelivitate) au făcut ca acest material să fie studiat și
aplicat în ultimele trei decenii într-o serie de țări.

Studiile teoretice și experimentale privind acest
nou material, existente pe plan mondial precum și cele proprii,

conduc la o serie de concluzii care sînt prezentate în continuare.

8.1. Dezvoltarea betonului armat cu fibre de oțel

- Apariția betonului armat cu fibre de oțel a avut loc în SUA, la începutul secolului. Printre primii cercetători în acest domeniu a fost și inginerul român Gogu Constantinescu care în 1954 a înregistrat patentul american Nr.2677955 privind acest nou material de construcție. În literatura de specialitate se apreciază că studiul publicat în 1963, în SUA, de către Romualdi și Batson /84/ a asigurat bazele teoretice și tehnologice ale betonului armat cu fibre de oțel.

- Cercetări sistematice și intense privind betonul cu fibre de oțel au început în deceniul al șaptelea al secolului nostru, cele mai multe studii și cercetări fiind întreprinse în SUA. Cercetări în acest domeniu au fost efectuate de asemenea în Anglia, Canada, Belgia, URSS, Noua Zeelandă, R.F.G., Japonia, Ungaria, Italia și India.

- Atenția acordată betoanelor cu fibre a crescut mult în ultimii zece ani, astfel că în această perioadă au apărut numeroase articole, au fost publicate norme și instrucțiuni, s-au ținut trei conferințe internaționale: 1973 -Ottawa, 1975 - Londra și 1978 Sheffield-Anglia.

- La noi în țară betonul armat cu fibre de oțel se studiază începînd cu 1972. În vederea aplicării pe scară largă a noului material s-au elaborat, în urma cercetărilor efectuate la Timișoara, "Indrumător pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" /7/ în anul 1977 și "Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel" /8/. De asemenea s-a testat aplicarea acestuia în domeniul drumurilor.

8.2. Tehnologia betonului armat cu fibre de oțel

- Betonul armat cu fibre de oțel se obține prin înglobarea în masa betonului a unei anumite cantități de fibre de oțel, de diametru ce nu depășește 1 mm și cu lungimi, în general, sub 50 mm. Fibrele de oțel pot fi înglobate într-un beton greu obișnuit, preparat cu un ciment portland cu și fără adăsurii, agregate naturale grele și apă (eventual aditivi) sau într-un beton cu agregate ușoare sau cu cenușă.

- Fibrele utilizate la obținerea betonului cu fibre de oțel se pot grupa în: rotunde, plate și de formă spe-

cială, cele mai utilizate fiind fibrele de oțel rotunde de calitate tare, având traseu drept și suprafață netedă. Fibrele rotunde se obțin din sârme de oțel, tăiate cu cuțite ghilotină sau cu alte sisteme. Pentru o îmbunătățire sensibilă a proprietăților betoanelor, fibrele de oțel trebuie să fie obținute din sârme de calitate tare (cu rezistența de rupere la întindere apropiată de 1000 N/mm^2). Secțiunea fibrelor de oțel are următoarele limite uzuale: fibrele de oțel rotunde 0,20 - 0,80 mm diametru; fibrele de oțel plate 0,15 - 0,40 mm grosime și 0,25 - 0,90 mm lățime. Lungimea fibrelor de oțel se alege astfel încât raportul geometric l/d să fie cuprins între 30 și 200 (recomandabil în jur de 100). Din analiza cercetărilor experimentale care au dat rezultate satisfăcătoare rezultă că la armarea betonului se poate utiliza un procent de armare volumetric cuprins între 0,5 % și 2,5 %. Raportul Comitetului 544 al ACI /12/ limitează conținutul de fibre de oțel la un procent volumetric de 2% și raportul geometric l/d la maximum 100, pentru a se evita segregarea și legarea fibrelor în ghemuri. Tot pentru o ușoară punere în operă, raportul lungimea fibrei/dimensiunea minimă a elementului de beton trebuie să fie cuprins între 0,4 și 0,6. La noi, pentru obținerea betoanelor armate cu fibre de oțel se pot utiliza fibre tăiate din sârme de calitate tare (STAS 889-76) produse de întreprinderi metalurgice din țară - Industria sârmei Cîmpia Turzii și Intreprinderea metalurgică Buzău. Pentru tăiere se pot utiliza dispozitive similare cu cel prezentat în fig 6.2. și cu o productivitate mai mare, care se consideră că se pot realiza de oricare întreprindere de construcții din țară.

- Cimenturile care se pot utiliza la obținerea betonului sînt cimenturi portland fără adaosuri sau cu adaosuri, fără a se observa diferențe între aceste două categorii la preparare și punere în operă. Se apreciază că în condiții obișnuite, se pot utiliza cimenturile: Pa 35, P 40, P 45, P 50, P 55 (RIM), iar în condiții de agresivitate se vor respecta prevederile instrucțiunilor C₁₉-79.

- Agregatele utilizate frecvent la obținerea betoanelor cu fibre de oțel sînt agregate naturale grele de rîu. În scopul asigurării unei lucrabilități corespunzătoare și a unei aderențe bune față de fibre, dimensiunea maximă a agregatului nu trebuie să depășească 10 mm, iar partea fină de agregat trebuie să reprezinte cel puțin 50 % din agregatul total. La noi în țară se pot folosi agregate sortate, conform prevederilor STAS 1667/76, în sor-

turile 0/3 și 3/7 mm sau 0/5 și 5/10 mm. Pe baza datelor de la pct. 6.5, la betonul de granolit limita maximă a dimensiunii grănului este de 7 mm.

- Apa folosită la prepararea betoanelor armate cu fibre de oțel trebuie să respecte aceleași condiții ca și pentru betoanele obișnuite, date de STAS 790-73.

- Pentru îmbunătățirea lucrabilității se pot utiliza aditivi plastifianți sau antrenori de aer. La noi se poate folosi aditivul mixt Disan, respectându-se condițiile prevăzute de normativul C.140-79.

- Evaluarea dozajelor de materiale componente se face pe bază de încercări preliminare. Dozajele inițiale se stabilesc pornind de la un beton simplu ale cărui caracteristici urmează a fi îmbunătățite prin adăugarea de fibre de oțel. Cantitățile de ciment, apă și agregate pentru acest beton se stabilesc ca și pentru un beton obișnuit, cu respectarea condițiilor menționate anterior. Intrucât un dozaj de ciment ridicat asigură o bună aderență între fibre și pasta de ciment, este indicat ca armarea cu fibre de oțel să se facă pentru betoane a căror marcă este cel puțin B 150. Parametrii fibrelor de oțel (procent, lungime, diametru) se stabilesc funcție de îmbunătățirile propuse a se realiza, în conformitate cu datele din tabelul 6.1. și cu condițiile menționate anterior referitoare la fibre. Pentru definitivarea dozajelor de materiale componente se prepară probe de beton, cărora li se determină caracteristicile fizico-mecanice care interesează. Când aceste caracteristici sînt inferioare sau depășesc cu mai mult de 20 % pe cele propuse a se realiza, se vor face corecții ale dozajelor inițiale și se confecționează noi epruvete de probă. În instrucțiunile C 201-80 (v.anexa 2) este dat un exemplu privind calculul compoziției betonului cu fibre de oțel. La stabilirea compoziției betonului ușor cu granolit armat cu fibre de oțel se pot utiliza instrucțiunile C 155-75 în conformitate cu cele concluzionate la pct.6.5.3.

- Amestecarea betonului cu fibre de oțel se poate face cu aceleași utilaje ca și la betonul obișnuit, acestea reușind să asigure o dispersie uniformă a fibrelor în masa betonului, dacă sînt respectate condițiile stabilite pentru agregate și fibre. Sînt preferate utilajele cu amestecare forțată, iar la prepararea unor cantități mici de beton, în laborator, este indicată o amestecare manuală. Un rol important, pentru o dispersie unifor-

mă a fibrelor, îl are succesiunea operațiilor de amestecare. De aceea este necesar ca pentru fiecare utilaj să se facă încercări preliminare privind ordinea și durata operațiilor de amestecare. Experiența dobândită, în această privință este sintetizată în instrucțiunile C.201-80, pct.4.2.

- Transportul și turnarea betonului armat cu fibre de oțel se poate face după aceleași procedee cu ale betonului obișnuit; în cazul utilizării la repararea îmbrăcămintilor rutiere rigide, suprafața dalelor ce urmează a fi reparate se curăță, buciardează și amorsează conform celor prezentate la pct.7.2.2. Compactarea trebuie să se facă mult mai atent decât la betonul obișnuit, întrucât are o lucrabilitate mai scăzută. Vibrarea trebuie făcută energic, fără însă a conduce la segregarea materialelor componente. Pentru vibrare se pot utiliza mase vibrante în cazul elementelor prefabricate, plăci vibrante pentru realizarea unor suprafețe subțiri continue și pervibratoare sau vibratoare de cofraje în cazul celorlate elemente. În unele aplicații s-a dovedit că betonul armat cu fibre de oțel poate fi pus în operă și prin centrifugare, pompare sau tercretare.

8.3. Aspecte teoretice ale betonului armat cu fibre de oțel

- Aspectele teoretice abordate mai des în literatura de specialitate se referă la comportarea sub acțiunea încărcărilor, capacitatea portantă și factorii care influențează comportarea și capacitatea portantă.

- Diagrama σ - ϵ pentru întindere centrică a betonului armat cu fibre de oțel este sensibil modificată, față de cea a betonului simplu, putând fi identificate trei stadii de lucru elastic, postelastice și postcritic. Alura diagramei în domeniul postelastic este influențată de aderența dintre fibre și beton; la o bună aderență în elementul cu fibre se dezvoltă fisuri numeroase, de deschideri mici, repartizate aproape uniform. Deformația specifică corespunzătoare valorii maxime a efortului unitar poate să fie cu 30% mai mare decât deformația specifică limită a betonului simplu.

- Diagrama σ - ϵ pentru încovoiere, evidențiază, de asemenea, cele trei stadii de lucru, comportarea zonei întinse fiind, însă, diferită de cea a zonei comprimate, după depășirea stadiului elastic deformația specifică din zona întinsă crescând

mai rapid decît cea din zona comprimată. La valoarea limită a efortului unitar deformația specifică din zona întinsă este de două sau trei ori mai mare decît cea din zona comprimată. Pentru zona întinsă a elementului încovoiat, diagrama σ - ϵ este, în principiu, identică cu cea obținută la încercarea de întindere centrică, rezistența la întindere din încovoiere fiind însă mai mare decît rezistența la întindere centrică.

- Fibrele acționează în beton ca "opritori" ai procesului de fisurare, condiționînd o propagare lentă a fisurilor, pe măsura distrugerii aderenței dintre fibre și beton. În apropierea încărcării de rupere are loc o accelerare a propagării fisurilor, în timp ce aderența fibră matrice se distruge complet, ruperea producîndu-se prin smulgerea fibrelor.

- Aprecierea capacității portante a betonului cu fibre de oțel a condus la stabilirea unor relații privind evaluarea rezistenței la întindere în stadiul de apariție a primei fisuri (rel.3.7 și 3.9) cît și în stadiul limită (rel.3.8 și 3.17). Comparatia cu o serie de date experimentale arată că relațiile (3.9) și (3.17) sînt mai apropiate de valorile experimentale. Aplicarea relațiilor amintite este limitată de parametrul global μ/d . Creșterea acestui parametru produce scăderea lucrabilității betonului care diminuează creșterea rezistenței datorită prezenței fibrelor. Ținînd seama de aceasta, în lucrarea /9/ a fost propusă relația (4.3) pentru evaluarea rezistenței în stadiul limită, iar de către autor relația (6.12) pentru evaluarea rezistenței la apariția primei fisuri. Pentru aceste relații se observă o bună concordanță cu datele experimentale (v.fig.4.7 și 6.13).

- Studiile teoretice întreprinse pe plan mondial privind factorii care influențează comportarea și capacitatea portantă a betoanelor armate cu fibre de oțel pun în evidență următorii factori: intervalul dintre fibre și lungimea minimă a fibrelor. Creșterea intervalului dintre fibre conduce la scăderea rezistențelor la întindere a betoanelor armate cu fibre de oțel (v.fig.4.9 a și b). Relațiile diversilor autori (3.27; 3.38; 3.39; 3.40) conduc la rezultate sensibil diferite privind intervalul dintre fibre, fără a fi încă adoptată o relație unică de calcul. Din relațiile prezentate rezultă că intervalul dintre fibre este definit în principal de trei parametri: procentul de armare volumetric, diametrul și lungimea fibrelor. Pentru lungimea minimă a fibrelor, necesară pentru ca fibrele să nu se smulgă din beton la apariția primei fisuri, este prezentată relația (3.45) /4/, pe

baza căreia se poate stabili raportul l/d minim (rel.3.46). Se observă că acest raport este influențat de tipul fibrei, natura suprafeței fibrei, cât și de caracteristicile fizico-mecanice ale betonului.

- Pentru aprecierea momentului încovoietor de fisurare al elementelor încovoiate din beton armat cu fibre de oțel, avînd secțiunea dreptunghiulară, în lucrare a fost propusă rel. (6.13) care are la bază considerente ce demonstrează că fibrele de oțel contribuie la apropierea distribuției eforturilor unitare din secțiunea transversală în momentul fisurării de cea corespunzătoare unui beton ideal elastic. Aplicarea acestei relații dă rezultate comparative corespunzătoare (fig.6.16).

8.4. Caracteristicile fizico-mecanice ale betonului armat cu fibre de oțel.

- Lucrabilitatea betonului cu fibre de oțel scade cu creșterea procentului de armare, a raportului l/d și a dimensiunii maxime a agregatului. S-a constatat că există pentru fiecare raport l/d un procent critic, la depășirea căruia lucrabilitatea scade rapid; același lucru se poate menționa și în legătură cu diametrul maxim al agregatului. Folosirea aditivului Disan, indicat la betoanele pentru drumuri, îmbunătățește sensibil lucrabilitatea, contribuind și la o repartiție mai uniformă a fibrelor în beton. Metodele adecvate pentru determinarea lucrabilității betonului cu fibre de oțel sînt metoda VE-BE și a gradului de compactare.

- Incercările privind segregarea betonului stabilesc că fibrele de oțel reduc tendința de segregare. S-a demonstrat că betonul proaspăt cu fibre de oțel are o coeziune mai mare decît betonul simplu, fibrele contribuind la mărirea frecării interne.

- Datele din literatura de specialitate arată că aderența fibrelor de oțel la beton este influențată de natura suprafeței, prezența ciocurilor sau a altor proeminente, raportul l/d , cât și de proprietățile de aderență ale matricei. Efortul de aderență influențează lungimea critică a fibrelor precum și raportul l/d minim pentru stadiul de apariție al primei fisuri.

- Influența fibrelor de oțel asupra rezistenței la întindere directă este mică, sporul maxim fiind de 25 - 30%, astfel că prin prisma acestei rezistențe armarea cu fibre de oțel

se dovedește a fi de importanță practică prea mică.

- Betonul armat cu fibre de oțel are o rezistență la întindere din încovoiere cu mult îmbunătățită față de betonul simplu. Se poate aprecia că această rezistență are pentru betonul cu fibre de oțel o semnificație asemănătoare cu rezistența la compresiune (marca) pentru betonul simplu, indicând calitatea betonului cu fibre. Rezultatele celor mai mulți cercetători evidențiază că rezistența la întindere din încovoiere, ca de altfel și celelalte caracteristici mecanice, nu cresc proporțional cu parametrul $\mu l/d$, indiferent de valoarea acestuia. La valori mari ale parametrului $\mu l/d$ (> 2) lucrabilitatea betonului cu fibre de oțel, cât și uniformitatea distribuției fibrelor, se înrăutățesc considerabil și ca urmare creșterea rezistențelor mecanice se diminuează. Pe baza datelor experimentale prezentate se apreciază că rezistența la întindere din încovoiere la apariția primei fisuri a betonului cu fibre de oțel (R_{ti-fis}^f) poate fi mărită cu pînă la 80%, iar la starea limită (R_{ti}^f) cu pînă la 150%, față de rezistența la întindere din încovoiere a betonului simplu (matricei). Rezistența la întindere din încovoiere este influențată în afară de parametrul $\mu l/d$ și de calitatea fibrelor și aderența fibre-matrice. La betoanele armate cu fibre din sîrmă moale creșterile nu depășesc 1,4 ori. Incercările de îmbunătățire a aderenței prin tratarea chimică a suprafeței fibrelor nu au condus la obținerea de rezistențe suplimentare. În schimb cercetările efectuate cu sîrme amprentate au condus la un spor mediu al rezistenței la întindere din încovoiere de 15 - 20 % față de cazul utilizării sîrmelor netede. Sporirea aderenței fibre-beton pe seama creșterii dozajului de ciment conduce la creșterile rezistenței la întindere din încovoiere. Rezistența la întindere din încovoiere a betonului ușor cu granuliți armat cu fibre de oțel sporește puțin, cu cca 20%, în schimb fibrele conferă o comportare ductilă acestor betoane. Fibrele de oțel nu influențează rezistența betoanelor impregnate și polimerizate, dar transformă ruperea deosebit de casantă a acestor betoane în una mult mai puțin casantă și chiar cu preaviz.

- Rezistența la întindere prin despicare crește cu 10...60%. Concluzia are la bază date experimentale puține. În cazul utilizării fibrelor cu ciocuri s-au obținut creșteri de 40... 250%.

- Efectul armării cu fibre de oțel asupra rezistenței la compresiune este mic. Sporurile de rezistență nu depășesc

30...35 %.

- Fibrele de oțel au dus la sporirea efortului unitar limită de tăiere cu 39% și a capacității portante cu 42% la grin-zile cu fibre de oțel față de grin-zile fără armătură transversală.

- Rezistența la șoc a elementelor cu fibre de oțel crește de 100...900% față de rezistența la șoc a elementelor ne-armate. Cercetări pe betoane de granolit armate cu fibre de oțel indică creșteri ale rezistenței la șoc de peste 200% în stadiul de exploatare.

- Rezistența la oboseală a betoanelor armate cu fibre de oțel crește odată cu creșterea procentului volumetric de fibre. Pentru elemente armate cu 2-3% fibre supuse la 2×10^6 cicluri ondulate s-a obținut o rezistență la oboseală reprezentând 90% din rezistența la apariția primei fisuri, iar pentru 2×10^6 cicluri alternante o rezistență la oboseală reprezentând 73% din rezistența la apariția primei fisuri.

- Incercarea la uzură a unor epruvete armate cu 2,5% fibre în volume și a unor epruvete nearmate arată că grosimea uzată a epruvetelor a fost cu 27% mai mică; pentru uzură s-a utilizat procedeul suflării cu nisip grosier.

- Rezistența la îngheț-dezghet a betonului cu fibre de oțel este îmbunătățită față de cea a betonului simplu. Datele experimentale fiind puține nu se pot da valori certe care să caracterizeze comportarea la îngheț-dezghet.

- Prezența fibrelor influențează în mică măsură contracția și curgerea lentă, aceste caracteristici fiind specifice betonului. Efectul de limitare a deschiderii fisurilor pe care îl creează prezența fibrelor, contribuie la micșorarea deschiderii și uniformizarea fisurilor în cazul contracției împiedecate a elementelor de beton.

- Date foarte puține la număr arată că: deformația specifică la întindere centrică, corespunzătoare rezistenței de rupere poate crește cu până la 1,3 ori; valoarea deformației specifice de rupere la întindere din încovoiere poate crește de 20...50 ori în momentul cedării elementului; valorile modulilor de elasticitate la compresiune și întindere centrică, precum și coeficientul lui Poisson nu sînt afectate semnificativ de prezența fibrelor de oțel.

- Mulți cercetători consideră că performanța principală a betonului armat cu fibre de oțel o reprezintă ductilitatea

considerabil sporită a acestui material, față de betonul simplu. Această caracteristică este pusă în evidență de energia absorbită de acest material în procesul de deformare (v.pct.4.2.4). Energia de deformare crește cu creșterea parametrului μ/d , energia totală putînd fi de cca 35 ori mai mare, iar cea parțială de cca 8 ori mai mare, față de betonul simplu. Această creștere se datorește faptului că fibrele nu lasă ca fisurile existente să se deschidă și să se extindă, pînă cînd ele nu sînt smulse din beton, ceea ce necesită un consum suplimentar de lucru mecanic.

- Cercetări de durabilitate, sub aspectul factorilor externi care ar putea coroda fibrele, arată că numai fibrele de la suprafață sînt atacate de acești factori. Se menționează că în cercetările de coroziune s-au utilizat epruvete nefisurate.

8.5. Domeniile de folosire ale betonului armat cu fibre de oțel

- Betonul armat cu fibre de oțel nu substituie betonul armat obișnuit în funcțiunile lui clasice; el se folosește doar în domeniile în care proprietățile lui tehnice îl fac competitiv.

- Folosirea noului material datează din 1971, cînd în SUA s-au realizat primele tronsoane experimentale în domeniul îmbrăcăminților rutiere rigide. Aplicațiile existente se referă atît la elemente monolite cît și prefabricate.

- Domeniile principale de utilizare ale betonului armat cu fibre de oțel monolit sînt: renforsări de îmbrăcămînți și îmbrăcămînți la tabliere de poduri; renforsări și reparații ale îmbrăcăminților rutiere rigide, pistelor de aeroporturi și stațiilor de parcare; construcția de îmbrăcăminți rutiere rigide; reparații și lucrări de construcții hidrotehnice; lucrări în mine și la tuneluri; stabilizare pereți de stînci; pardoseli la clădiri comerciale și industriale; elemente refractare.

- Domeniile de utilizare ale betonului cu fibre de oțel prefabricat sînt: dale pentru stații de parcare auto și dale pentru pavaie; tuburi și jgheaburi; tetrapozi pentru diguri, pontoane plutitoare, carcase de bărci; stîlpi; panouri de pereți, plăci subțiri plane și curbe; capace și cămine de vizitare; cămășuielei la conducte de gaze și petrol; piloți (capul de baterie); fundații și cadre pentru susținerea diverselor mașini;

elemente refractare; bolți subterane utilitare.

- Reparațiile efectuate în anii 1976 și 1977 pe drumul național DN 68 A au arătat că soluția de reparare a îmbrăcămintelor rutiere rigide cu beton cu fibre de oțel este corespunzătoare, cu condiția respectării următoarelor: grosimea stratului de reparare să fie de minimum 5 cm; $p_{\min} = 1,5\%$; racordarea cu drumul existent se va face cu mixtură asfaltică, care trebuie menținută permanent în stare bună; soluția nu se aplică la sectoare cu fisuri active și fenomene de pompaaj, dacă în prealabil nu s-a procedat la asanarea corpului drumului.

- Observațiile făcute pe tronsonul carosabil experimental prez. la pct. 7.1., arată că dalele din beton armat cu fibre de oțel de $50 \times 50 \times 7$ cm pot fi utilizate la o circulație lentă, de tonaj mediu înlocuind astfel dalele din beton armat de $50 \times 50 \times 15$ cm.

8.6. Concluzii generale și contribuții

1. Betonul armat cu fibre de oțel este un material nou de construcție, obținut prin repartizarea uniformă în masa betonului a unei anumite cantități de fibre de oțel. Deși primele încercări privind producerea acestui material datează de la începutul secolului nostru, totuși dezvoltarea sa pe scară largă a avut loc de abia în ultimele trei decenii, când a început să fie studiat și cercetat într-o serie de țări. Cercetările întreprinse au fost comunicate în cadrul a trei conferințe internaționale. În țara noastră primele cercetări privind betonul cu fibre de oțel au fost efectuate la Catedra de beton armat și clădiri a Institutului politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, începând cu anul 1972.

2. Prepararea și punerea în operă a betonului armat cu fibre de oțel se realizează cu aceleași utilaje și dispozitive ca și la betonul obișnuit. Pentru tăierea sîrmelor în fibre se pot utiliza dispozitive similare cu cel prezentat în lucrare, care se pot realiza de oricare întreprindere de construcții din țară.

3. Betonul armat cu fibre de oțel nu substituie betonul armat obișnuit în funcțiunile lui clasice; el se folosește doar în domeniile în care proprietățile lui tehnice îl fac competitiv. Caracteristicile mecanice îmbunătățite ale noului material (rezistența la întindere prin încovoiere și despicare; rezistența la șoc; rezistența la oboseală; capacitatea de absorbție

de energie; comportarea la fisurare ș.a.) au condus la aplicarea sa într-o serie de domenii, fiind folosit atât la elemente monolite cât și la elemente prefabricate. Domeniul cel mai dezvoltat de aplicare îl reprezintă repararea și ranforsarea îmbrăcămintelor rutiere rigide.

4. Lucrarea reprezintă o amplă analiză a studiilor teoretice și cercetărilor experimentale existente pe plan mondial, cât și a studiilor și cercetărilor proprii, referitoare la betonul cu fibre de oțel. În lucrare se aduc contribuții la cunoașterea, dezvoltarea și aplicarea noului material și anume:

- Precizarea stadiului actual al dezvoltării betonului cu fibre de oțel, prezentându-se, în mod succint, progresele care s-au înregistrat, pe plan mondial și în țară, privind tehnologia, teoria, proprietățile și aplicațiile acestui nou material de construcții;

- Cercetarea tehnologiei de obținere, concretizată în prezentarea tehnologiilor abordate în străinătate și de autor;

- Analiza aspectelor teoretice ale betonului cu fibre de oțel și abordarea unui aspect teoretic nou. Se propune o metodă pentru calculul momentului încovoietor de fisurare a elementelor încovoiate din beton cu fibre de oțel;

- Stabilirea performanțelor fizico-mecanice ale noului material și verificarea lor prin cercetări proprii. Prin cercetările proprii au fost verificate principalele caracteristici pe care le îmbunătățesc fibrele de oțel;

- Elaborarea primelor normative republicane la noi în țară, privind acest material și anume:

• Indrumător pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel, publicat în 1977, în Buletinul construcțiilor vol.3;

• Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel-indicativ C 201-80, publicate în 1980, în Buletinul construcțiilor vol.8.

- Cercetarea tehnologiei și proprietăților betonului ușor cu granolit armat cu fibre de oțel. Pe baza rezultatelor obținute s-a stabilit că armarea cu fibre de oțel este posibilă și în cazul acestui material și s-au făcut propuneri de completare a instrucțiunilor C 155-75.

- Precizarea domeniilor de folosire ale betonului cu fibre de oțel și experimentarea cu succes a aplicării lui la dale

pentru pavaje și la repararea îmbrăcămintelor rutiere rigide. În scopul valorificării cercetărilor întreprinse, în afara elaborării normativelor menționate anterior, au fost executate și urmărite în timp câteva sectoare experimentale privind aplicarea betonului cu fibre de oțel și anume:

- Tronson carosabil, din dale de beton cu fibre de oțel, amplasat în incinta Fabricii de amidon, aparținând de Intreprinderea CILT-Timișoara, în anul 1975;
- Repararea unei porțiuni de îmbrăcămintă rutieră rigidă, pe drumul național DN 68 A Lugoj-Ilia, la Km 27 + 420 (în localitatea Dumbrava), în anul 1976;
- Repararea unei porțiuni de îmbrăcămintă rutieră rigidă, pe drumul național DN 68 A Lugoj-Ilia, la Km 39 + 650 (intrarea în localitatea Margina), în anul 1977.

Aceste sectoare experimentale au condus la stabilirea tehnologiei de obținere a dalelor pentru pavaje și de reparare a îmbrăcămintelor rutiere rigide. Eforturile de aplicare în domeniul drumurilor urmează să se finalizeze cu elaborarea de instrucțiuni, aflate în prezent la redactarea II-a.

BIBLIOGRAFIE

- /1/. ACI, Manual of Concrete Practice, Part 1, Materials and Properties of Concrete, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1968.
- /2/. American Concrete Institute - ACI, State of the art report on fibre reinforced Concrete, Detroit, Journal of the American Concrete Institute - JACI, Vol.40, Nov.1973, p.729-744.
- /3/. American Concrete Institute - ACI, Fiber reinforced concrete, Proceedings- International Symposium - Ottawa - Oct.1973, Detroit, ACI - Publication SP - 44, 1974.
- /4/. Argon A.S, Shack W.J. Theories of fibre cement and fibre concrete, v./79/, p.39-53.
- /4'/. Avram C., Făcăoaru I., Filimon I., Mîrșu O., Terteș I. Rezistențele și deformațiile betonului, Editura tehnică, București, 1971.
- /5/. Avram C., Bob C. Betoane armate cu fibre de oțel, Referate M.C.Ind, Fazele I și II 1973.

- /6/. Avram C., Buchman I., Bob C. Betoane armate cu fibre de oțel, Referate M.C.Ind., Faza 1974 și 1975.
- /6'/. Avram C., Filimon I. Curs de beton armat, vol 1 și 2, I.P. Timișoara, 1976.
- /7/. Avram C., Filimon I., Bob C., Buchman I. Indrumător pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel, București, Bul. Construcțiilor (ICCPDC - INCERC), Vol.3, 1977, p.120-127.
- /8/. Avram C., Filimon I., Bob C., Buchman I. Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel, București, Bul. Construcțiilor (ICCPDC - INCERC), Vol.8, 1980, p.117-129.
- /9/. Avram C., Bob C. Noi tipuri de betoane speciale, Editura tehnică, București, 1980.
- /10/. Avram C., Filimon I., Bob C., Buchman I. Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel - indicativ C.201-80, Colecția de normative și instrucțiuni nr.225, INCERC București 1981.
- /11/. Barab S., Hanson D. Investigation of fiber reinforced breakwater armor units, v./3/, p.415-434.
- /12/. Batson G.B., ș.a. State of-the - Art Report on Fiber Reinforced Concrete, Reported by ACI Committee 544, v./3/., p.533-550.
- /13/. Batson G.B., Naus D.J., Williamson G.R. Inflation forming of steel fibre reinforced concrete domes, v./79/, p.375-382.
- /14/. Beckett R.E. Handling and placing of fibrous concretes, v./3/, p.337-350.
- /15/. Birjukovici K.L., Birjukovici J.L., Birjukovici D.L. Steklocement, Budivelnik-Kiev, 1964.
- /16/. Bob.C., Avram C., Filimon I., Nicoară L., Buchman I., Sitar R. Aplicarea betonului armat cu fibre de oțel în domeniul executării și reparației îmbrăcămintelor rutiere rigide, Referat D.D.P.Timișoara, 1976.
- /17/. Bob C., Buchman I., Velica P., Roșu M. Betoane ușoare armate cu fibre de oțel, Bul.I.P.T.-Fascicola 2, 1980, p 41-46.
- /18/. Buchman I., Bob C., Avram C. Betoane armate cu fibre de oțel, București, Rev.Mat.de Constr.Nr.4, 1975.
- /19/. Buchman I., Bob C., Avram C. Tehnologia și proprietățile mecanice ale prefabricatelor din beton armat cu fibre de oțel, București, Rev.Mat.de Constr., Nr.2, 1977.
- /20/. Buchman I., Bob C., Avram C. Tehnologia de obținere și unele proprietăți ale betonului armat cu fibre de oțel, v./27/,

vol.II.

- /21/. Buchman I., Bob C., Velica P., Roşu M. Folosirea betoanelor uşoare la realizarea construcţiilor industriale şi civile- Betoane uşoare cu caracteristici superioare folosind armarea dispersă, Referat ICCPDC - Filiala Cluj-Napoca, 1978.
- /22/. Buckley E.L., Everard N.J. Prediction of the modulus of rupture of fiber reinforced portland cement mortar and concrete, v./3/, p.163-176.
- /23/. Burnett E.F.D., Constable T., Cover P. Centrifugated wire fiber reinforced concrete, v./3/., p.455-476.
- /24/. Burnett E.F.P. Qualitative testing of fibre reinforced centrifugated concrete, v./79/ p.137-147.
- /25/. Cadar I. Mortare şi betoane armate cu fibre de sticlă, Teză de doctorat, Timişoara, 1980.
- /26/. Chen W.F., Carson J.L. Bearing capacity of fiber reinforced concrete, v./3/ p.209-220.
- /27/. CNIT, Conferinţa a VIII-a de Betoane "Betoane speciale şi noi tipuri de betoane", vol.I+II+III, Cluj-Napoca, 1977.
- /28/. Dardare C.J. Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcés avec des fibres de polypropylène, v./79/, p.227-236.
- /29/. Dave N.J., O'Leary D.C., Saunders J. The structural use of fibrous cement in composite concrete construction, v./3/, p.511-532.
- /30/. Dehousse N., Lejeune A., Cuykens T. Les mortiers et betons renforces de fibres d'acier, Centre scientifique et technique de la Construction, Revue No.2, Bruxelles, 1974.
- /31/. Dehousse N.M. Méthodes d'essais et caractéristiques mécaniques des bétons armés de fibres métalliques, v/79/, p.119-136.
- /32/. Dickerson R.F. Wirand concrete-reduced maintenance costs. Paper for presentation to the American Association of State Highway Officials, Battelle Development Co., Columbus, Ohio, Nov., 1972.
- /33/. Edgington J., Hannant D.J., Williams R.I.T. Steel fibre reinforced concrete, Building Research Establishment Current Paper, July, 1974.
- /34/. Elvery H.R., Samari M.A. Reduction of shrinkage cracking in reinforced concrete due to the inclusion of steel fibre, v./79/, p.149-158.

- '35/. Ficklin W. Improvements in reinforced structures and wearing surfaces of hydraulic, bituminous or like cement, concrete, asphalt of the like, British Patent No.11754, Mai 1914.
- '36/. Filimon I., Bob C., Buchman I., Jiva C., Nicoară L., Sitar R. Folosirea betonului armat cu fibre de oțel la repararea îmbrăcăminților rutiere rigide, Timișoara, Bul.I.P.T.- volum special "Cîntarea României", 1978, p.9-15.
- '37/. Filimon I., Bob C., Buchman I., Nicoară L., Ionescu N., Jiva C., Mureșan H. Cercetări în vederea stabilirii condițiilor tehnice și a proiectării tehnologiilor de execuție privind ranforsarea și repararea sistemelor rutiere rigide - Noi soluții tehnice și tehnologice, Referate D.D.P.Timișoara, Faza 1977 și 1978.
- '38/. Filimon I., Bob C., Buchman I. Executarea unor sectoare experimentale de reparare pe DN 68 A Lugoj-Ilia prin utilizarea betonului armat cu fibre de oțel, Referat D.D.P.Timișoara, 1979.
- '39/. Filimon I., Bob C., Buchman I., Nicoară L., Ionescu N., Jiva C., Mureșan H. Cercetări experimentale privind folosirea betonului armat cu fibre de oțel la repararea îmbrăcăminților rutiere rigide, A 5-a Consfătuire pe țară a lucrărilor de drumuri și poduri, vol.II, Timișoara 1979.
- '40/. Filimon I., Bob C., Clipii T., Buchman I., Jiva C., Iovan S. Ranforsarea sistemelor rutiere elastice prin utilizarea diferitelor tipuri de betoane de ciment, Referate D.D.P.Timișoara, Faza 1979 și 1980.
- '41/. Gregory J.M., Galloway J.W., Haithby K.D. Full-scale trials of a wire -fibre -reinforced concrete overlay on a motorway, v./79/, p.383-394.
- '42/. Gunasekaran M., Ichikawa Y. The strength and behavior of steel fiber reinforced lightweight concrete made with regulated set cement and sintered fly ash aggregates, v./3/, p.113-126.
- '43/. Hale D.K. Fibre pull-out in multiplycracked discontinuous fibre composites, v/79/, p.55-68.
- '44/. Hannant D.J., Edgington J. Durability of steel fibre concrete, v/79/ p.159-170.
- '45/. Henry R.L. An investigation of large diameter fiber reinforced concrete pipe, v/3/, p.435-454.
- '46/. Hoff G.C. The use of fibre-reinforced concrete in hydraulic structures and marine environments, v./79/, p.395-407.

- /47/. Hughes B.P., Fattuhi N.I. Fibre bond strengths in cement and concrete, Magazine of Concrete Research, vol.27, No. 92, sept., 1975, p.p.161-166.
- /48/. Johnston C.D. Steel fiber reinforced mortar and concrete: a review of mechanical properties, v./3/, p.127-142.
- /49/. Johnston C.D., Coleman R.A. Strength and deformation of steel fiber reinforced mortar in uniaxial tension, v./3/, p.177-194.
- /50/. Johnston C.D. Steel fibre reinforced concrete pavement -second interim performance report, v./79/, p.409-418.
- /51/. Kaden R.A. Pumping fibrous concrete for spillway test, v./3/, p.497-510.
- /52/. Kar J.N., Pal A.K. Strength of fibre reinforced concrete, New York, Journal of the Structural Division, Vol.98, No.ST5, May 1972.
- /53/. Kasperkiewicz J. Fibre spacing in steel fibre reinforced composites, RILEM - Mat.et Constr., No 55, 1975.
- /54/. Krenchel H. Fiber reinforced brittle matrix materials, v./3/, p.45-78.
- /55/. Krenchel H., Fibre spacing and specific fibre surface, v./79/, p.69-79.
- /56/. Krenchel H., Hejgard O. Can asbestos be completely replaced one day? , v/79/, p.335-346.
- /57/. Krylov B.A., Trambovetsky V.P. Investigations of fibre-reinforced materials in the USSR, v./79/, p.419-424.
- /58/. Lankard B.R., Walker A.J. Pavement and bridge deck overlays with steel fibrous concrete; v./3/, p.375-392.
- /59/. Lankard D.R. Fibre concrete applications, v./79/, p.3-19.
- /60/. Luke C.E., Waterhouse B.L., Wooldridge J.F. Steel fiber reinforced concrete optimization and applications, v./3/, p.393-414.
- /61/. Maage K. Interaction between steel fibres and cement based matrixes, Paris, RILEM - Mat.et. Constr., No.59, 1977.
- /62/. Majumdar A.J., Ryder J.P. Glass fibre reinforced of cement products, England Glass Technology, Vol.9(3), 1968.
- /63/. Majumdar A.J. Properties of fibre cement composites, v./79/, p.279-314.
- /64/. Marcovici B., Plugaru L., Polizu G. Asbocimentul in constructii, Bucuresti, Editura tehnica, 1969.

- '65/. Naaman A.E., Shah S.P. Bond studies on oriented and aligned steel fibres, v./79/, p.171-178.
- '66/. Nathan G.K., Paramasivam P., Lee S.L. Tensile behaviour of fiber reinforced cement paste, Thailand, Journal of ferrocement, Vol.7, No.2, October, 1977.
- '67/. Nicoară L., Munteanu V., Ionescu N. Intreținerea și exploatarea drumurilor, Editura tehnică, București, 1979.
- '68/. Nishioka K., Kakimi N., Yamakawa S., Shirakawa K. Effective applications of steel fibre reinforced concrete, v./79/, p.425-433.
- '69/. O'Leary D.C., Dave N.J., Saunders J. Steel fibers in partially prestressed composite concrete beams, v./3/, p.477-496.
- '70/. Onea N., Cadar I. Betoane armate cu fibre de sticlă, București, Rev. Mat. de Constr. nr.4, 1976.
- '71/. Parameswaran V.S., Rajagopalan K. Strength of concrete beams with aligned or random steel fibre micro-reinforcement, v./79/, p.95-104.
- '72/. Parimi S.R., Rao S.K.J. On the fracture toughness of fiber reinforced concrete, v./3/, p.79-92.
- '73/. Pomeroy C.D., Brown J.H. Tailoring fibre-concretes to special requirements, v./79/, p.435-444.
- '74/. Pomeroy C.D. An assessment of the commercial prospects for fibre-and polymer-modified concretes, Magazine of Concrete Research, Vol.28, No.96, sept., 1976, pp.121-129.
- '75/. Porter H.F. Preparation of concrete from selection of materials to final disposition, Proceedings of the National Association of Cement Users. American Concrete, JACI, Vol.6, 1910, p.296.
- '76/. Ramakrishnan V., Brandshaug T., Coyle W.V., Schrader E.K. A comparative Evaluation of Concrete Reinforced with Straight Steel Fibers and Fibers with Deformed Ends Glued Together into Bundles, JACI, May-June, 1980.
- '77/. Rammant J.P., Laethem M.V. Fibre concrete for a folded plate structure, v./79/, p.179-185.
- '78/. Ray G.K., Lake J.R., Most H.E., Ray M. Béton armé de fibre, XVII^e Congrès Mondial de la Route, Rapport du Comité technique des routes en beton, Vienne, 1979, p.55-72.
- '79/. RILEM, Fibre reinforced cement and concrete, RILEM Symposium Proceedings, Londra - 1975, The Construction Press Ltd.

- /80/. RILEM, Fibre reinforced cement and concrete, RILEM Symposium, Londra 1975, vol.2.
- /81/. RILEM, Fibre concrete materials, A report prepared by RILEM Technical Committee 19 - FRC, Paris, RILEM - Mat.et.Constr., No 56, 1977.
- /82/. Ritchie A.G.B., Rahman T.A. The effect of fiber reinforcements on the rheological properties of concrete Minas, v./3/, p.29-44.
- /83/. Ritchie A.G.B., Kayyali O.A. The effects of fibre reinforcements on lightweight aggregate concrete, v./79/, p.247-256.
- /84/. Romualdi J.P., Batson G.B. Behaviour of reinforced concrete beams with closely spaced reinforcement, Detroit, JACI, No.6, 1963.
- /85/. Romualdi J.P., Mandel J.A. Tensile strenght of concrete affected by uniformly distributed and closely spaced short lenghts of wire reinforcement, Detroit, JACI, Nr.6., 1964.
- /86/. Ryder J.F. Applications of fibre cement, v./79/, p.23-35.
- /87/. Sarkar S., Bailey M.B. Structural properties on carbon fibre reinforced cement, v./79/, p.361-374.
- /88/. Sather W.R. New type of concrete placed in inside loading dock, Construction Buletin, Februar, 1973.
- /89/. Schnütgen B. Some results of investigations on steel fibre reinforced concrete, v./79/, p.105-116.
- /90/. Snyder M.I., Lankard D.R. Factors affecting the flexurel strenght of steel fibrous concrete, Detroit, JACI, vol.69, No.2, 1972.
- /91/. Stroeven P., Reinhardt H.W., Körmeling H.A. Fibre concrete, The Netherlands, Heron, Vol.24, No.4, 1979.
- /92/. Swamy R.N., Mangat P.S., Rao C.V.S.K. The mechanics of fiber reinforcement of cement matrices, v./3/, p.1-28.
- /93/. Swamy R.N., Kent B. Some practical structural applications of steel fiber reinforced concrete, v./3/, p.319-336.
- /94/. Swamy R.N., Al - Noori K.A. Flexural behaviour of fibre concrete with conventional steel reinforcement, v./79/, p.187-196.
- /95/. Swamy R.N., Stavrides H. Some properties of high workability steel fibre concrete, v./79/, p.197-208.
- /96/. Swamy R.N. Fibre reinforcement of cement and concrete, Paris, RILEM - Mat. et.Constr. No.45, Mai - Jun.1975.

- 2 -
- /97/. Swamy R.N., Stavrides H. Influence of the method of fabrication on strenght properties of steel fibre concrete, Paris, RILEM - Mat.et. Constr. No.52, Juillet - Aout 1976.
- /98/. Szabó I., Acélhajbeton, Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1976.
- /99/. Taylor M.A. Closed loop fiber reinforcement for concrete, v./3/, p.299-316.
- /100/. Velazco G., Visalvanich K., Shah S.P. Fracture behavior and analysis of fiber reinforced concrete beams, U.S.A., Cement and Concrete Research, Vol.10, pp 41-51, 1980.
- /101/. Waller J.A. Carbon fibre cement composites, v./3/, p.143-161.
- /102/. Williamson G.R. The effect of steel fibers on the compressive strength of concrete, v./3/, p.195-208.
- /103/. Williamson G.R., Knab L.I. Full scale fibre concrete beam tests, v./79/, p.209-214.
- /104/. Williamson G.R. Fort Hood fibre concrete overlay, v./79/, p.453-459.
- /105/. Zitkevic N. Improvements in reinforced concrete, British Patent No.515003, Mai.1938.
- /106/. x x x, New of the month USA, No.5, 1969, p.123.
- /107/. x xx, Fibre reinforced cement composites, Report produced by the Materials Technology Division of the Concrete Society, Technical Report 51067, Londra, Iulie 1970.
- /108/. x x x Concrete-Year 2000, Journal of the American Concrete Institute, Nr.8, 1971.
- /109/. x x x Add fiber wires to the mix for better warehouse floors, Materials Handling News, October, 1973.
- /110/. x x x Instrucțiuni tehnice pentru prepararea și folosirea betoanelor cu granulit - indicativ C.155-75, Buletinul de ordine și instrucțiuni pentru industria materialelor de construcții, nr.2, 1976, p 4-45.
- /111/. x x x Normativul pentru executarea lucrărilor din beton și beton armat - indicativ C.140-79, Bul.construcțiilor, vol.12, 1979.

A N E X E:

**Anexa 1. Indrumător pentru folosirea betonului armat
cu fibre de oțel, 1977.**

**Anexa 2. Instrucțiuni tehnice pentru folosirea betonului
armat cu fibre de oțel, 1980.**

BULETINUL CONSTRUCTIILOR

Volumul 3 1977

NOTA**PRIVIND „INDRUMĂTORUL PENTRU FOLOSIREA
BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OȚEL”**

În cadrul Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara — Facultatea de construcții — Catedra de beton armat și clădiri, un colectiv alcătuit din: prof. emerit ing. Constantin Avram — membru corespondent al Academiei RSR, prof. dr. doc. ing. Ioan Filimon, conf. dr. ing. Corneliu Bob și asist. ing. Iosif Buchman, a studiat și cercetat betonul armat cu fibre de oțel, un material nou folosit în alte țări, care prezintă unele caracteristici superioare betonului armat obișnuit.

Rezultatele cercetărilor de laborator privind proprietățile betonului armat cu fibre de oțel și tehnologia lui de preparare, cât și aplicarea acestuia la unele lucrări de drumuri, confirmă că folosirea noului tip de beton prezintă o serie de avantaje.

Pentru prepararea și punerea în operă a betonului armat cu fibre de oțel nu sînt necesare măsuri speciale față de betonul obișnuit, cu excepția unor utilaje pentru tăierea sîrnelor, care se pot realiza de trusturile de construcții.

Betonul armat cu fibre de oțel nu se substituie betonului armat obișnuit în funcțiunile lui clasice; el se folosește numai în domeniile în care proprietățile lui tehnice îl fac competitiv din punct de vedere economic.

Pe baza studiilor și cercetărilor efectuate, colectivul susmenționat a elaborat „Indrumătorul pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel”, care cuprinde atât indicații asupra modului de preparare, cât și unele proprietăți și domenii de utilizare.

Pentru cunoașterea betonului armat cu fibre de oțel, în scopul introducerii lui experimentale în construcții, se publică în prezentul Buletin Indrumătorul susmenționat, care constituie un material sintetic cu caracter orientativ în ajutorul proiectanților și executanților.

DIRECTOR GENERAL ADJ.**Ing. R. NEGRU**

INDRUMATOR

PENTRU FOLOSIREA BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OȚEL

I. GENERALITĂȚI

1.1. Presentul îndrumator cuprinde modul de confecționare, unele proprietăți și domenii de utilizare al betonului armat cu fibre de oțel, material nou de construcții, în care fibrele sînt dispuse discontinuu și repartizate discret în masa betonului.

1.2. Principiul armării este bazat pe aderența dintre fibre și beton, ceea ce permite transferul unei părți însemnate de efort de la beton la fibre. Acest transfer se realizează în momentul în care betonul începe să se deformeze sub acțiunea încărcărilor sau din contracție.

1.3. Producerea pe scară largă a betoanelor armate cu fibre de oțel trebuie să se facă numai pe baza de încercări preliminare.

1.4. Presentul îndrumator nu se aplică în cazul betoanelor armate cu plase, țesături și fibre continue de oțel.

2. CARACTERISTICI FIZICO MECANICE ȘI DOMENII DE UTILIZARE

2.1. Armarea cu fibre de oțel contribuie la îmbunătățirea sensibila a unor caracteristici fizico-mecanice ale betonului. Efectul armării cu fibre de oțel este pus în evidență de următorii parametri:

— procentul de armare volumetric μ_v , sau procentul de armare masică μ_m (pentru $\rho_{\text{otel}} = 7850 \text{ kg/m}^3$ și $\rho_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$ rezulta că $\mu_m = 3,27 \mu_v$);

— lungimea fibrelor, l ;

— diametrul fibrelor, D .

Pentru studiul caracteristicilor betonului armat cu fibre de oțel, acești parametri se grupează în parametrul global $\mu_v \cdot l/D$ sau $\mu_m \cdot l/D$.

2.2. Armarea cu fibre de oțel influențează în mod hotărâtor o serie de caracteristici ale betonului. În tabelul 1 sînt date limitele între care variază cîteva din aceste caracteristici, în funcție de parametrul global $\mu_f \cdot l/D$ ($\mu_f \cdot l/D$). Aceste valori au fost stabilite în funcție de datele experimentale existente în prezent privind acest material nou. Pentru $\mu_f \cdot l/D = 0$ s-a luat pentru rezistențe și ductilitate valoarea de referință 100.

Tabelul 1

$\mu_f \cdot l/D$		0	200	400	600	800	1000
$\mu_c \cdot l/D$		0	61,0	122	184	245	306
Rezistența la întindere din încovoiere		100	110...150	150...200	160...210	180...230	200...250
Rezistența la șoc		100	200...500	300...600	350...800	—	—
Ductilitatea la încovoiere	Relativă Totală	100	120...150	300...450	400...700	500...800	—
			500...1000	1200...2000	1500...2500	2000...3000	2500...4000

2.3. Pentru parametri uzuali $\mu_f = 1,5\%$ ($\mu_f = 4,9\%$) și $l/D = 100$ ($l = 30$ mm, $D = 0,28$ mm), caracteristicile betonului se îmbunătățesc astfel:

a) Rezistența la întindere din încovoiere sporește cu 8%...100%; un beton simplu cu $R_{t0} = 1,5$ N/mm² (15 daN/cm²) va avea această rezistență de 2,7 ... 3 N/mm² (27...30 daN/cm²).

Rezistența sporită la întindere face ca betonul armat cu fibre de oțel să aibă o comportare îmbunătățită la fisurare; prima fisură apare la o valoare aproape dublă a încercării, fisurile sînt mai dese și de deschideri mai mici.

INDRUMĂTOR

PENTRU FOLOSIREA BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OȚEL

I. GENERALITĂȚI

1.1. Presentul îndrumător cuprinde modul de confecționare, unele proprietăți și domenii de utilizare al betonului armat cu fibre de oțel, material nou de construcții, în care fibrele sînt dispuse discontinuu și repartizate discret în masa betonului.

1.2. Principiul armării este bazat pe aderența dintre fibre și beton, ceea ce permite transferul unei părți însemnate de efort de la beton la fibre. Acest transfer se realizează în momentul în care betonul începe să se deformeze sub acțiunea încărcărilor sau din contracție.

1.3. Producerea pe scară largă a betoanelor armate cu fibre de oțel trebuie să se facă numai pe bază de încercări preliminare.

1.4. Presentul îndrumător nu se aplică în cazul betoanelor armate cu plase, țesături și fibre continue de oțel.

2. CARACTERISTICI FIZICO-MECANICE ȘI DOMENII DE UTILIZARE

2.1. Armarea cu fibre de oțel contribuie la îmbunătățirea sensibilă a unor caracteristici fizico-mecanice ale betonului. Efectul armării cu fibre de oțel este pus în evidență de următorii parametri:

— procentul de armare volumetric μ_v , sau procentul de armare masiv μ_s (pentru $\rho_{oțel} = 7850 \text{ kg m}^{-3}$ și $\rho_{beton} = 2400 \text{ kg m}^{-3}$ rezulta că $\mu_s = 3,27 \mu_v$);

— lungimea fibrelor, l ;

— diametrul fibrelor, D .

Pentru studiul caracteristicilor betonului armat cu fibre de oțel, acești parametri se grupează în parametrul global $\mu_v \cdot l/D$ sau $\mu_s \cdot l/D$.

2.2. Armarea cu fibre de oțel influențează în mod hotărâtor o serie de caracteristici ale betonului. În tabelul 1 sînt date limitele între care variază cîteva din aceste caracteristici, în funcție de parametrul* global $\mu_f \cdot lD$ ($\mu_f \cdot lD$). Aceste valori au fost stabilite în funcție de datele experimentale existente în prezent privind acest material nou. Pentru $\mu_f \cdot lD = 0$ s-a luat pentru rezistențe și ductilitate valoarea de referință 100.

Tabelul 1

$\mu_f \cdot lD$		0	200	400	600	800	1000
$\mu_f \cdot lD$		0	61,0	122	184	245	306
Rezistența la întindere din încovoiere		100	110...150	150...200	160...210	180...230	200...250
Rezistența la șoc		100	200...500	300...600	350...800	—	—
Ductilitatea la încovoiere	Relativă	100	120...150	300...450	400...700	500...800	—
	Totală		500...1000	1200...2000	1500...2500	2000...3000	2500...4000

2.3. Pentru parametri uzuali $\mu_f = 1,5\%$ ($\mu_f = 4,9\%$) și $lD = 100$ ($l = 30$ mm, $D = 0,28$ mm), caracteristicile betonului se îmbunătățesc astfel:

a) Rezistența la întindere din încovoiere sporește cu 80...100%; un beton simplu cu $R_{t0} = 1,5$ N/mm² (15 daN/cm²) va avea aceasta rezistență de 2,7 ... 3 N/mm² (27...30 daN/cm²).

Rezistența sporită la întindere face ca betonul armat cu fibre de oțel să aibă o comportare îmbunătățită la fisurare; prima fisură apare la o valoare aproape dublă a încărcării, fisurile sînt mai dese și de deschideri mai mici.

b) Rezistența la șoc din încovoiere (reziliența) sporește cu 225...600 %; un beton simplu cu $K = 3,5 \frac{\text{Nmm}}{\text{mm}^2}$ va avea reziliența $K = 11,4...24,5 \frac{\text{Nmm}}{\text{mm}^2}$ în cazul armării cu fibre.

c) Ductilitatea este definită în prezentul îndrumător ca fiind aria închisă de curba încărcare — săgeată pentru solicitare de încovoiere. Ductilitatea totală se referă la întreaga arie închisă de diagrama încărcare — săgeată, iar ductilitatea relativă este definită ca aria închisă de aceeași diagramă pînă în dreptul valorii maxime a încărcării. Ductilitatea totală sporește cu 1200...2100 %, iar cea relativă sporește cu 250...500 %; un beton simplu cu ductilitatea totală de 11KNcm (coincide cu ductilitatea relativă) va avea, în cazul armării cu fibre, ductilitatea totală de 143...242 KNcm, iar cea relativă de 38...66 KNcm.

d) Uzura betonului armat cu fibre de oțel, apreciată prin scăderea grosimii epruvetei, scade cu circa 30 %, față de betonul simplu.

e) Rezistența la compresiune a betonului este puțin influențată de prezența fibrelor de oțel, sporurile de rezistență fiind de 10...30 %. Rezultatele experimentale au împrăstieri mari și nu poate fi pusă în evidență influența parametrului global $\mu_v \cdot l D$.

2.4. Domeniile de utilizare ale betonului armat cu fibre de oțel, determinate de caracteristicile sale fizico-mecanice, sînt următoarele:

— dale și îmbracamînți continue pentru drumuri și piste, de aviație;

— elemente prefabricate pentru pereți, panouri de fațadă (în zonele expuse la șoc);

pinze subțiri pentru acoperișuri;

capace pentru camine de vizitare, tuburi de beton;

elemente decorative;

— zone de ancorare ale elementelor precomprimate:

deviatoare de baraje;

tetrapozi pentru diguri.

Nu se recomandă utilizarea betonului armat cu fibre de oțel la elemente de rezistență situate în medii agresive, întrucît pericolul de coroziune al armaturii este mai accentuat decît la betonul cu armatură obișnuite, datorită atât suprafeței specifice mari a fibrelor cit și acoperirii reduse cu beton.

3. MATERIALE COMPONENTE

3.1. *Fibrele de oțel* se obțin prin tăierea sîrmelor produse de întreprinderi metalurgice — Industria sîrmei Cîmpia—Turzii și Întreprinderea Metalurgică Buzău.

3.2. Sîrmele de oțel trebuie să fie de calitate tare, conform STAS 889-70, cu rezistența de rupere la întindere de cca 1000 N/mm²; sîrmele moi, cu rigiditate mică, conduc la o repartitie neuniformă în elementul de beton și la rezistențe scăzute, ceea ce face ca îmbunătățirea proprietăților betoanelor armate cu fibre să nu fie sensibilă.

3.3. Diametrele sîrmelor din oțel este recomandabil să fie cuprinse între 0,20 și 0,50 mm, iar lungimile între 10 și 50 mm. Alegerea diametrului și lungimii fibrelor se va face astfel încît raportul lungime diametru să fie în jur de 100, iar raportul lungimea fibrei dimensiunea minimă a elementului de beton să fie cuprins între 0,4 și 0,6.

3.4. Sîrmele, livrate în colaci de întreprinderile producătoare, trebuie să fie puse, în prealabil, pe moșoare, iar apoi înfășurate pe un tambur în vederea obținerii unui fascicul cu mai multe fire. Tăierea fascicolului se realizează cu cuțite ghilotină sau cu alte dispozitive construite în acest scop. Se recomandă ca dispozitivele pentru tăierea sîrmelor să permită tăierea fascicolelor cu sîrme de diferite diametre și de lungimile indicate la pct. 3.3.

3.5. *Cimenturile* ce se folosesc la prepararea betoanelor armate cu fibre de oțel se recomandă să fie de tipul Pz 400 sau RIM 200, conform prescripțiilor tehnice în vigoare pentru folosirea cimenturilor în construcții.

Pentru livrare, transport, depozitare și controlul calității cimentului pe șantier se vor respecta toate standardele, normativele și instrucțiunile tehnice în vigoare, referitoare la betoanele obișnuite.

3.6. *Agregatele* ce se folosesc la confecționarea betoanelor armate cu fibre de oțel vor fi agregate naturale grele de riu, cu densitatea în grămadă, în stare afînată și uscată, de minimum 1200 kg m³.

În scopul asigurării unei lucrabilități corespunzătoare a betoanelor armate cu fibre de oțel, dimensiunea maximă a agregatului nu va depăși 10 mm. Se vor utiliza agregate 0...7,1 mm sau

0...10 mm, împărțite în câte două sorturi: 0...3,15 mm și 3,15...7,1 mm, respectiv 0...5 mm și 5...10 mm.

Agregatele utilizate vor respecta condițiile tehnice prevăzute în STAS 1667-75. Verificările și încercările agregatelor se vor face conform STAS 4606-70.

3.7. Apa ce se folosește la prepararea și stropirea betoanelor armate cu fibre de oțel va respecta aceleași condiții ca și pentru betoanele obișnuite, conform STAS 790-73.

3.8. Determinarea agresivității apei asupra betonului întărit se va face conform STAS 3349-74.

4. TEHNOLOGIA DE CONFECTIONARE

4.1. Evaluarea dozajului de materiale componente se va face pe bază de încercări preliminare, astfel:

a) Se alege un beton simplu ale cărui caracteristici fizico-mecanice urmează a fi îmbunătățite prin adăugarea de fibre de oțel. Dozajele de materiale componente (ciment, apă, agregate) pentru acest beton se stabilesc conform Instrucțiunilor tehnice C.128-71.

Intrucât un dozaj de ciment ridicat asigură o bună aderență între fibre și piatra de ciment, este indicat ca armarea cu fibre de oțel să se facă pentru betoane a căror marcă este cel puțin B 150.

b) Partea fină de agregat conducând la o lucrabilitate mai bună și la o creștere a aderenței mortarului față de fibre, sorturile 0...3,15 mm respectiv 0...5 mm vor reprezenta cel puțin 50 % din agregatul total.

c) Parametrii fibrelor de oțel (procent, lungime, diametru) se stabilesc în conformitate cu cele prevăzute la cap. 2 și pct. 3.3.

Dozajul de fibre de oțel (F) se stabilește cu relația:

$$F = \frac{\% \mu_v}{100} \cdot \rho_f = \frac{\% \mu_g}{100} \cdot \rho_b$$

în care: $\rho_f = 7850 \text{ kg m}^{-3}$, este densitatea fibrelor de oțel;

$\rho_b = 2400 \text{ kg m}^{-3}$, este densitatea betonului proaspăt.

d) Pentru definitivarea dozajelor de materiale componente se prepară probe de beton, cu cantitățile de materiale stabilite conform celor de mai sus, cărora li se determină caracteristicile fi-

zico-mecanice care interesează. În cazul în care aceste caracteristici sînt inferioare sau depășesc cu mai mult de 20%, pe cele propuse a se realiza, se vor face corecții corespunzătoare ale dozajelor de materiale componente și se confecționează noi epruvete de probă.

4.2. *Amestecarea materialelor componente* trebuie să asigure o dispersie uniformă a fibrelor în masa betonului, recomandîndu-se folosirea malaxoarelor cu palete sau a betonierelor cu cădere liberă.

Ordinea operațiilor de amestecare va fi următoarea:

- se amestecă sorturile de agregat (30...60 sec.);
- se adaugă ciment și se amestecă pînă la obținerea unei mase omogene (30...60 sec.);

- agregatele și cimentul se amestecă, apoi, cu fibrele de oțel, aceasta operație putîndu-se efectua în două moduri:

- amestecarea masei uscate (agregate și ciment) cu fibrele de oțel în proporții constante, în tot volumul de material, pe o bandă transportoare, de unde amestecul este introdus în containerul malaxorului;

- introducerea fibrelor, prin cernere cu un ciur (ochiuri Ø 16 mm) în containerul malaxorului peste masa uscată și omogenizarea cu ajutorul unei mistrii; această metodă se pretează pentru șarje mici (50 l);

- după ce amestecul a ajuns în containerul malaxorului, sau betonierei, acesta se pune în mișcare, timp în care se adaugă întreaga cantitate de apă de amestecare. Durata de malaxare (30...60 sec.) se stabilește prin tatonare, în funcție de mărimea șarjei și de tipul malaxorului sau betonierei. O durată prea mare de amestecare produce împletirea sîrmelor în gheme.

4.3. *Turnarea betonului* armat cu fibre de oțel se va face după aceleași procedee cu ale betonului obișnuit.

Compactarea trebuie să se facă mult mai atent decît la betonul obișnuit, întrucît are o lucrabilitate scăzută. Vibrarea trebuie făcută energic, fără însă a conduce la segregarea materialelor componente, segregare care se manifestă ca și la betonul obișnuit.

Pentru vibrarea betonului se utilizează mese vibrante în cazul elementelor prefabricate, plăci vibrante pentru realizarea unor suprafețe subțiri continue și pervibratoare sau vibratoare de cofrag în cazul celorlalte elemente.

4.4. Finisarea suprafețelor se va executa cu mistria și perla de sirmă, urmărindu-se înlăturarea fibrelor care ies din suprafața finisată, întrucât acestea — prin coroziune — dau un aspect inestetic elementelor de beton, iar în cazul elementelor prefabricate răsesc pe muncitorii care le manipulează.

4.5. Elementele de beton armat cu fibre de oțel, în condițiile de întărire normală, vor fi tratate și protejate utilizând aceleași metode și tehnici ca și pentru betonul armat obișnuit, conform „Normativului pentru executarea lucrărilor de beton și beton armat”, indicativ C. 140-71.

4.6. Determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului cu fibre de oțel, în vederea verificării calității lui, se face pe epruvete de probă în condiții identice cu betonul obișnuit.

5. MĂSURI DE PROTECȚIA MUNCII

5.1. La confecționarea elementelor din beton armat cu fibre de oțel se vor respecta prevederile din „Normele republicane de protecție a muncii”, aprobate de Ministerul Muncii și Ministerul Sănătății cu ordinele nr. 34/1975 respectiv 60/1975.

5.2. La confecționarea betonului cu fibre de oțel se interzice manipularea fibrelor direct cu mâna, aceasta făcându-se cu ajutorul furcilor.

5.3. La manipularea elementelor din beton armat cu fibre de oțel, muncitorii vor purta mănuși, pentru a fi protejați de fibrele care ies din betonul întărit.

INSTRUCȚIUNI TEHNICE

**PENTRU
FOLOSIREA BETONULUI ARMAT
CU FIBRE DE OȚEL,
INDICATIV C. 201—80**

225

1981

**INSTITUTUL DE CERCETĂRI ÎN CONSTRUCȚII
ȘI ECONOMIA CONSTRUCȚIILOR (INCERC)**

Acest normativ este extras din Buletinul Construcțiilor vol. 8/1980

Editat de :

**INSTITUTUL DE CERCETĂRI ÎN CONSTRUCȚII
ȘI ECONOMIA CONSTRUCȚILOR (INCERC)**

**București — Șos. Pantelimon nr. 266
Telefon 27.29.25**

**INSTITUTUL CENTRAL DE CERCETARE,
PROIECTARE ȘI DIRECTIVARE ÎN CONSTRUCȚII**

INSTRUCȚIUNI TEHNICE

PENTRU .

**FOLOSIREA BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE
OȚEL, INDICATIV C. 201—80**

225

1981

**INSTITUTUL CENTRAL DE CERCETARE, PROIECTARE ȘI DIRECTIVARE
ÎN CONSTRUCȚII**

Biroul executiv

DECIZIA Nr. 57

din 16 mai 1980

**PRIVIND APROBAREA „INSTRUCȚIUNILOR TEHNICE PENTRU FOLOSIREA BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OȚEL”,
INDICATIV C.201-80**

Avind în vedere art. 5 litera d din Decretul 170/1976 pentru organizarea și funcționarea Institutului central de cercetare, proiectare și directivare în construcții, precum și avizul CTE nr. 79 din 5 martie 1980,

Biroul executiv al Consiliului științific al Institutului central de cercetare, proiectare și directivare în construcții emite următoarea

DECIZIE :

1. Se aprobă „Instrucțiunile tehnice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel”, avind indicativul C.201-80.

2. Instrucțiunile tehnice aprobate la pct. 1 intră în vigoare la data publicării în Buletinul construcțiilor.

La aceeași dată încetează valabilitatea „Îndrumătorului pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel” publicat în Buletinul construcțiilor nr. 3/1977.

**PREȘEDINTELE BIROULUI EXECUTIV,
DIRECTOR GENERAL,**

Ing. VALERIU CRISTESCU

1. GENERALITĂȚI ȘI DOMENII DE UTILIZARE

1.1. Prezentele instrucțiuni cuprind modul de confecționare proprietățile specifice și domeniile de utilizare ale betonului armat cu fibre de oțel, material nou de construcții, în care fibrele sunt dispuse discontinuu și repartizate direct în masa betonului.

1.2. Principiul armării este bazat pe aderența dintre fibre și beton, ceea ce permite transferul unei părți însemnate de efort de la beton la fibre. Acest transfer se realizează în momentul în care betonul începe să se deformeze sub acțiunea încărcăturilor sau din contracție.

1.3. Producerea pe scară largă a betoanelor armate cu fibre de oțel trebuie să se facă numai pe bază de încercări preliminare și cu asistență tehnică competentă.

1.4. Prezentele instrucțiuni nu se aplică în cazul betoanelor armate cu plase, țesături și fibre continue de oțel.

1.5. Caracteristicile fizico-mecanice îmbunătățite ale betonului armat cu fibre de oțel, cum ar fi rezistența la șoc, rezistența la întindere și comportarea la fisurare, rezistența la îngheț-dezghet, rezistența la uzură și capacitatea de deformare ductilă, îl recomandă pentru a fi utilizat în domenii cum sunt:

- repararea sau executarea unor porțiuni de drumuri cu îmbrăcăminti rigide;
- elemente prefabricate pentru pereți, panouri de fațadă (în zonele expuse la șoc);

Elaborate de:
INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA

Aprobate de ICCPDC
cu decizia nr. 57
din 16 mai 1980

- pinze subțiri pentru acoperișuri ;
- capace pentru cămine de vizitare, tuburi de beton ;
- fundații de mașini ;
- căptușeli refractare ;
- elemente decorative ;
- zone de ancorare ale elementelor precomprimate ;
- deversare de baraje ;
- tetrapozi pentru diguri (stabilopozi).

2. MATERIALE COMPONENTE ȘI UTILAJE NECESARE

2.1. Fibrele de oțel se obțin prin tăierea sirmelor produse de întreprinderi metalice — Industria sirmei Cîmpia Turzii și Întreprinderea Metalurgică Buzău.

2.2. Sirmele de oțel trebuie să fie de calitate tare, conform STAS 889-76, cu rezistența la rupere la întinderea de cca 1 000 N/mm², sirmele moi cu rigiditate mică, conduc la o repartiție neuniformă în elementul de beton și la rezistențe scăzute, ceea ce face ca îmbunătățirea proprietăților betoanelor armate cu fibre să nu fie sensibilă.

2.3. Diametrele sirmelor de oțel trebuie să fie cuprinse între 0,15 și 0,50 mm. Alegerea diametrului și lungimii fibrelor se va face astfel încît raportul lungime/diametru să fie în jur de 100, iar raportul lungimea fibrei/dimensiunea minimă a elementelor de beton să fie cuprinse între 0,4 și 0,6.

2.4. Sirmele livrate în colaci, de întreprinderile producătoare, trebuie să fie puse, în prealabil, pe moșoare, iar apoi înfășurate pe un tambur în vederea obținerii unui fascicul cu mai multe fire. Tăierea fascicolului se realizează cu cuțite ghilotină (planșa 1) sau cu alte dispozitive construite în acest scop. Este necesar ca dispozitivele pentru tăierea sirmelor să permită tăierea fascicolelor de sirme de diferite diametre și de lungimile indicate la pct. 2.3.

Fibrele de oțel, rezultate în urma tăierii sirmelor, se vor ambala și transporta la utilizatori în lăzi de circa 50 kg. Depozitarea fibrelor de oțel se va face în spații acoperite, ferite de umezeală.

Înainte de utilizare se va face, dacă este cazul, degresarea fibrelor, cu un degresant adecvat; în cazul în care fibrele prezintă pe suprafața lor uleiuri se va folosi ca degresant benzina ușoară (eter de petrol) sau un alt solvent de care dispune utilizatorul.

2.5. Cimenturile ce se folosesc la prepararea betoanelor armate cu fibre de oțel în condiții obișnuite sînt: Pa 35, P 40, P 45, P 50, P 55 (RIM). În scopul reducerii dozajului de ciment, cît și pentru îmbunătățirea lucrabilității betonului se poate înlocui 30% din cantitatea de ciment cu cenușă zburătoare bazică de termocentrală. Folosirea în practică a acestor tipuri de betoane trebuie să fie precedată de încercări preliminare. În condiții de agresivitate se vor respecta prevederile din „Instrucțiunile tehnice pentru folosirea cimenturilor în construcții, (indicativ C.19-79).

Pentru livrare transport, depozitare și controlul calității cimentului pe șantier se vor respecta toate standardele, normativele și instrucțiunile tehnice în vigoare, referitoare la betoanele obișnuite.

2.6. Agregatele ce se folosesc la confecționarea betoanelor cu fibre de oțel vor fi agregate naturale grele de rîu, cu densitate în grămadă, în stare afînată și uscată, de minimum 1 200 kg/m³.

În scopul asigurării unei lucrabilități corespunzătoare betoanelor armate cu fibre de oțel, dimensiunea maximă a agregatului nu va depăși 10 mm. Se utilizează agregate sortate, conform prevederilor STAS 1667-76 și anume: 0...3,15 și 3,15...7,1 mm sau 0...5 și 5...10 mm.

Verificările și încercările agregatelor se vor face conform STAS 4 606-70.

2.7. Apa ce se folosește la prepararea și stropirea betoanelor armate cu fibre de oțel va respecta aceleași condiții ca și pentru betoanele obișnuite, conform STAS 790-73.

2.8. Pentru îmbunătățirea lucrabilității și a comportării la îngheț-dezgeț a betonului armat cu fibre de oțel se va folosi aditivul mixt Disan, respectîndu-se însă condițiile prevăzute de Normativul C. 140-79. În acest scop o parte din apa necesară la amestecare se va substitui cu soluția 20% Disan, astfel încît să existe 1...1,5 litri soluție la 100 kg ciment (0,2—0,3% Disan substanță uscată la 100 kg ciment).

Prepararea soluției se va face conform anexei V.4 din Normativul C. 140-79.

La prepararea betonului cu fibre de oțel se interzice utilizarea adaosului de clorură de calciu ca accelerator de priză și întărire.

2.9. Determinarea agresivității apei asupra betonului întărit se va face, conform STAS 3349-78.

2.10. Utilajele și dispozitivele necesare la prepararea și turnarea betonului armat cu fibre de oțel sînt următoarele :

- dispozitiv pentru tăierea sirmei cu cuțite ghilotină (vezi exemplul din planșa 1) ;
- malaxor cu amestec forțat ;
- pervibrator piacă sau grindă vibratoare (în funcție de tipul elementului) cu min. 300 vibrații/minut ;
- cîntare pentru dozarea materialelor ;
- ciur cu ochiuri de 16 mm ;
- mistrii, furci, lopeți, etc.

3. CARACTERISTICI FIZICO-MECANICE SPECIFICE BETONULUI ARMAT CU FIBRE DE OȚEL

3.1. Armarea cu fibre de oțel contribuie la îmbunătățirea sensibilă a unor caracteristici fizico-mecanice ale betonului. Efectul armăturii cu fibre de oțel este pus în evidență de următorii parametri :

- procentul de armare volumetric μ_v , sau procentul de armare masiv μ_g (pentru $\rho_{oțel} = 7850 \text{ kg/m}^3$ și $\rho_{beton} = 2400 \text{ kg/m}^3$ rezultă că $\mu_g = 3,27 \mu_v$) ;
- lungimea fibrelor, l ;
- diametrul fibrelor, D.

Pentru studiul caracteristicilor betonului armat cu fibre de oțel, acești parametri se grupează în parametrul global $\mu_g \cdot l/D$ sau $\mu_v \cdot l/D$.

3.2. Armarea cu fibre de oțel influențează în mod hotărîtor o serie de caracteristici ale betonului. În tabelul 1 sînt date limitele între care variază caracteristicile specifice ale

Tabelul 1

$\mu_s \cdot 1/D$	0	200	400	600	800	1000	
$\mu_s \cdot 1/D$	0	61,0	122	184	245	306	
Rezistența la întindere din încovoiere	100	110... 150	150... 200	160... 210	180... 230	200... 250	
Rezistența la șoc	100	200... 500	300... 600	350... 800	—	—	
Energia de deformare	Relativă	100	120... 150	350... 450	400... 700	500... 800	—
	Totală		500... 1000	1200... 2000	1500... 2500	2000... 3000	2500... 4000

betonului armat cu fibre de oțel în funcție de parametrul global $\mu_s \cdot 1/D$. Aceste valori au fost stabilite în funcție de datele experimentale existente în prezent privind acest material nou. Pentru $\mu_s \cdot 1/D = 0$ s-a luat, pentru rezistența și energia de deformare, valoarea de referință 100.

3.3. Pentru parametri $\mu_s = 1,5\%$ ($\mu_f = 4,9\%$) și $1/D = 100$ ($l = 30$ mm, $D = 0,28$ mm), caracteristicile betonului se îmbunătățesc astfel :

a) Rezistența la întindere din încovoiere sporește cu 55...105% ; un beton simplu cu $R_{ti} = 1,5$ N/mm² (15 daN/cm²) va avea această rezistență de 2,70...3,1 N/mm² (27...30 daN/cm²).

Rezistența sporită la întindere face ca betonul armat cu fibre de oțel să aibă o comportare îmbunătățită la fisurare ; prima fisură apare la o valoare aproape dublă a încărcării. fisurile sînt mai dese și de deschideri mai mici.

b) Rezistența la șoc din încovoiere sporește cu 325...700% un beton simplu cu $K = 3,5 \frac{Nmm}{mm^2}$ va avea $K = 14,9...28,0 \frac{Nmm}{mm^2}$ în cazul armării cu fibre.

c) Energia de defoimare este definită în prezentele instrucțiuni ca fiind aria închisă de curba încărcare-săgeată pentru solicitarea de încovoiere. Energia de deformare totală se referă la întreaga arie închisă de diagrama încărcare-săgeată, iar energia de deformare relativă este definită ca aria închisă de aceeași diagramă pînă în dreptul valorii maxime a încărcării.

Energia de deformare totală sporește cu 135—225%, iar cea relativă sporește cu 35...575%; un beton simplu cu energia de deformare totală de 11 KN cm (coincide cu energia de deformare relativă) va avea, în cazul armării cu fibre, energia de deformare totală de 160...258 KNcm, iar cea relativă de 49,5...74,3 KNcm.

d) Uzura betonului armat cu fibre de oțel, apreciată prin scăderea grosimii epruvetei conform STAS 5501-68, este mai redusă cu circa 30%, față de betonul simplu.

e) Rezistența la compresiune a betonului este puțin influențată de prezența fibrelor de oțel, sporurile de rezistență fiind de 10...30%. Rezultatele experimentale au împrăștieri mari și nu poate fi pusă în evidență influența parametrului global μ_v 1/D.

4. TEHNOLOGIA DE CONFECTIONARE

4.1. Evaluarea dozajului de materiale componente se va face pe bază de încercări preliminare, astfel:

a) Se alege un beton simplu ale cărui caracteristici fizico-mecanice urmează a fi îmbunătățite prin adăugarea de fibre de oțel. Dozajele de materiale componente (ciment, apă, agregate) pentru acest beton se stabilesc conform anexei V.3 din Normativul C.140-79. Dozarea aditivului Disan se va stabili conform pct. 2.8.

Intrucât un dozaj de ciment ridicat asigură o bună aderență între fibre și pasta de ciment, este indicat ca armarea cu fibre de oțel să se facă pentru betoane a căror marcă este cel puțin B.150.

b) Partea fină de agregat conducînd la o lucrabilitate mai bună și la o creștere a aderenței mortarului față de fibre,

sorturile 0...3,15 mm respectiv 0...5 mm vor reprezenta cel puțin 50% din agregatul total.

c) Parametri fibrelor de oțel (procent, lungime, diametru) se stabilesc în conformitate cu cele prevăzute la cap. 3 și pct. 2.3.

Dozajul de fibre de oțel (F) se stabilește cu relația :

$$F = \frac{\rho_f}{100} \rho_f = \frac{\rho_b}{100} \rho_b$$

în care : $\rho_f = 7850 \text{ kg/m}^3$ este densitatea fibrelor de oțel
 $\rho_b = 2400 \text{ kg/m}^3$ este densitatea betonului proaspăt.

Limitele uzuale între care variază procentul de armare volumetric μ_v sînt 0,5 și 2%.

d) Pentru definitivarea dozajelor de materiale componente se prepară probe de beton, cu cantitățile de materiale stabilite conform celor de mai sus, cărora li se determină caracteristicile fizico-mecanice care interesează. În cazul în care aceste caracteristici sînt inferioare sau depășesc cu mai mult de 20% pe cele propuse a se realiza, se vor face corecții corespunzătoare ale dozajelor de materiale componente și se confecționează noi epruvete de probă.

Un exemplu privind calculul compoziției betonului armat cu fibre de oțel se dă în anexă.

4.2. Amestecarea materialelor componente trebuie să asigure o dispersie uniformă a fibrelor în masa betonului, utilizîndu-se malaxoare cu amestec forțat.

Ordinea operațiilor de amestecare va fi următoarea :

- se amestecă sorturile de agregat (30...60 sec) ;
- se adaugă ciment și se amestecă pînă la obținerea unei mase omogene (30—60 sec) ;
- agregatele și cimentul se amestecă, apoi, cu fibrele de oțel, această operație putîndu-se efectua în două moduri :
 - amestecarea masei uscate (agregate și ciment) cu fibrele de oțel în proporții constante pe o bandă transportoare, de unde amestecul este introdus în containerul malaxorului ;
 - introducerea fibrelor, prin cernere cu un ciur (ochiuri $\varnothing 16 \text{ mm}$), în containerul malaxorului peste masa uscată și

omogenizarea cu ajutorul unei mistrii; această metodă se pretează pentru șarje mici ($50 \cdot 1$);

— după ce amestecul a ajuns în containerul malaxorului, sau betonierei, acesta se pune în mișcare, timp în care se adaugă întreaga cantitate de apă de amestecare (inclusiv soluția Disan). Durata de malaxare (30...60 sec) se stabilește prin tatonare, în funcție de mărimea șarjei și de tipul malaxorului sau betonierei. O durată prea mare de amestecare produce împletirea sîrmelor în gheme.

4.3. Aprecierea lucrabilității betonului armat cu fibre de oțel se face prin gradul de compactare Walz. Pentru a obține un beton cu o lucrabilitate corespunzătoare va trebui ca betonul simplu în care se introduc fibrele de oțel să fie de consistență plastică sau cel mult slab plastică.

4.4. Transportul și turnarea betonului armat cu fibre de oțel se va face după aceleași procedee cu ale betonului obișnuit.

În cazul în care betonul armat cu fibre de oțel se folosește la repararea îmbrăcămintilor rutiere rigide, suprafața datelor din beton obișnuit, ce urmează a fi reparate, se va pregăti în felul următor :

— frecare cu perii de sîrmă astfel încît suprafața dalei de beton pe care se execută reparația să fie curată, fără urme de bitum, pete de ulei, praf sau bucăți de material necaderent ;

— buciardarea suprafeței în cazul în care aceasta se prezintă șlefuită ;

— amorsarea suprafeței cu lapte de ciment, cu un raport A/C de 0.5 ; aplicarea laptelui de ciment se face astfel încît suprafața dalei să rămînă o peliculă de circa 1.5 mm grosime.

Compactarea trebuie să se facă mult mai atent decît la betonul obișnuit, intrucît are o lucrabilitate mai scăzută. Vibrarea trebuie făcută energic, fără însă a conduce la segregarea materialelor componente, segregare care se manifestă ca și la betonul obișnuit.

Pentru vibrarea betonului se utilizează mese vibrante în cazul elementelor prefabricate, plăci vibrante pentru realiza-

rea unor suprafețe subțiri continue și pervibratoare sau vibratoare de cofraje în cazul celorlalte elemente.

4.5. Finisarea suprafețelor elementelor prefabricate se va executa cu mistria și perii de sîrmă, urmărindu-se înlăturarea fibrelor care ies din suprafața finisată, întrucît acestea — prin coroziune — dau un aspect inestetic elementelor de beton și rănesc muncitorii care manipulează prefabricatele.

La repararea sau executarea unor porțiuni de drumuri cu îmbrăcămîți rigide finisarea suprafețelor se va face cu ajutorul unui rulou metalic, micile corecturi urmînd a fi făcute cu mistria.

4.6. Elementele de beton armat cu fibre de oțel, în condițiile de întărire normală, vor fi tratate și protejate utilizînd aceleași metode și tehnici ca și pentru betonul armat obișnuit, conform „Normativului pentru executarea lucrărilor de beton și beton armat”, indicativ C. 140-79.

4.7. Determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului cu fibre de oțel, se face pe epruvete de probă în condiții identice cu betonul obișnuit, conform STAS 1275-79. Controlul calității betonului pentru execuție se face pe epruvetele de beton simplu (martor) în conformitate cu Normativul C. 140-79.

5. MĂSURI DE PROTECȚIA MUNCII

5.1. La confecționarea elementelor din beton armat cu fibre de oțel se vor respecta prevederile din „Normele republicane de protecție a muncii”, aprobate de Ministerul Muncii și Ministerul Sănătății cu ordinele nr. 34/1975 respectiv 60/1975.

5.2. La confecționarea betonului cu fibre de oțel se interzice manipularea fibrelor direct cu mîna, aceasta făcîndu-se cu ajutorul furcilor.

5.3. La confecționarea și manipularea elementelor din beton armat cu fibre de oțel, muncitorii vor purta mănuși și ochelari de protecție.

**EXEMPLU PRIVIND CALCULUL COMPOZIȚIEI BETONULUI
CU FIBRE DE OȚEL**

Pentru un beton de marcă B200 se propune îmbunătățirea rezistenței la întindere din încovoiere cu 180% și a rezistenței la șoc cu 500%.

Se folosesc următoarele materiale, alese în conformitate cu prezentele instrucțiuni:

- Ciment Pa35;
- agregat de riu \varnothing max. = 7,1 mm, în două sorturi 0/3 și 3/7 mm;
- soluție 20% Dsan;
- fibre de oțel cu $l = 30$ mm și $D = 0,3$ mm.

a) *Dozajul de ciment, apă și agregat.*

Acestea se stabilesc conform anexei V.3 a Normativului V. 140-79. Categoria de lucrabilitate a betonului va fi L3.

Dozajul de apă:

$$A' = 185 \cdot 1,20 = 222 \text{ kg/m}^3.$$

Dozajul de ciment

$$C' = \frac{A'}{A'/C} = \frac{222}{0,69} = 322 \text{ kg/m}^3.$$

Având în vedere soluția DISAN care se introduce (vezi pct. 2) cantitatea de apă va fi de:

$$A'' = 222 - 4,8 = 217,2 \text{ kg/m}^3.$$

Dozajul de agregat.

$$Ag = \sigma_{ag} \left(1000 - \frac{C'}{\rho_c} - A'' - P \right) = 2,7 \left(1000 - \frac{322}{3} - 217,2 - 70 \right) = 1625 \text{ kg/m}^3.$$

Proportțiile sorturilor de agregat:

sortul 0/3 — 55%, adică $0,55 \cdot 1625 = 895 \text{ kg/m}^3$.

sortul 3/7 — 45%, adică $0,45 \cdot 1625 = 730 \text{ kg/m}^3$.

b) *Dozajul de fibre*

Pentru a obține îmbunătățirile propuse, conform tabelului 1 este necesar ca parametrul global $\mu \cdot l/D$ să fie de 184.

Raportul 1/D este :

$$\frac{1}{D} = \frac{30}{0,3} = 100$$

Rezultă că procedeul de armare volumetric va avea valoarea :

$$\mu_v = \frac{184}{100} = 1,8 \%$$

Dozajul de fibre va fi :

$$F = \frac{\% \mu_v}{100} \cdot \rho_f = \frac{1,8}{100} \cdot 7850 = 141 \text{ kg/m}^3$$

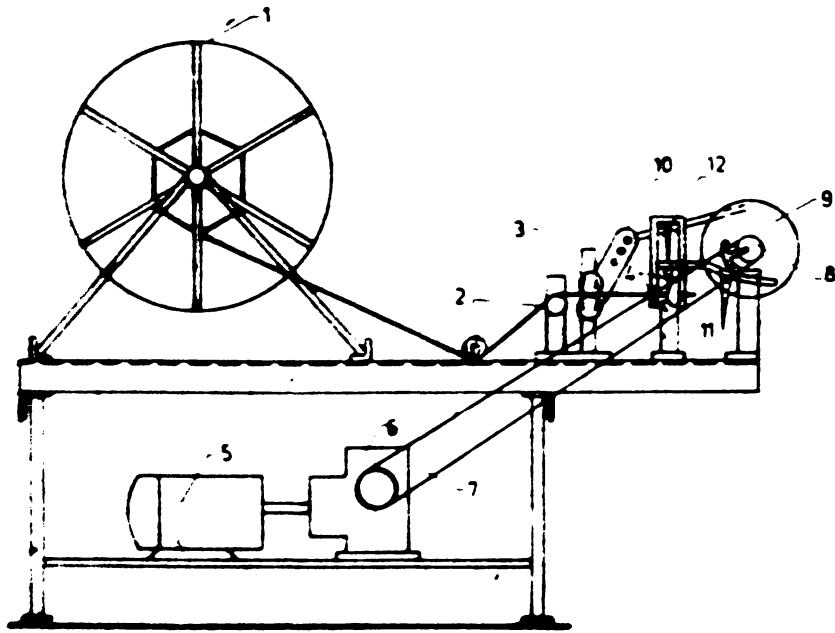
c) Soluție 20% Disan.

Avind în vedere procentul destul de mare de fibre soluția Disan se alege la limita maximă de 1,5 l soluție la 100 kg ciment. Astfel cantitatea de soluție Disan va fi :

$$1,5 \cdot \frac{322}{100} = 4,8 \text{ l}$$

Cu aceste dozaje se execută probe preliminare și în funcție de rezultatele obținute se corectează dozajul de fibre.

'DISPOZITIV PENTRU TĂIEREA SÎRMEI



Apărut 1 iunie
1981

Redactor: Alexandru Murgu



Tiparul executat sub comanda nr. 765
la I.P. „Flacăra”, str. Fabrica de chibrituri
nr. 9-11, București
Republica Socialistă România