

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA

FACULTATEA DE CONSTRUCTII

CATEDRA DE BETON ARMAT SI CLADIRI

C A D A R I . I O A N

M O R T A R E S I B E T O A N E

A R M A T E C U

F I B R E D E S T I C L A

- Teză de doctorat -

Conducător științific :

Prof.emerit ing. CONSTANTIN AVRAM

Membru corespondent al Academiei RSR.

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

- 1980 -

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA	
CENTRALA	
Volumul Nr.	380326
Dulap	299 lit. F

T A B L A D E M A T E R I I
=====

	Pag.
CAP. I. INTRODUCERE	1
I.1. Caracteristicile betonului clasic și cerințe pentru viitor	1
I.2. Armarea cu fibre	3
I.3. Istoric	5
I.4. Domenii de aplicare	6
CAP. II. MATERIALE	11
II.1. Liantul	11
II.2. Apa	13
II.3. Agregatele	13
II.4. Adaosurile	14
II.5. Fibrele de sticlă	15
CAP. III. TEHNOLOGII DE INCORPORARE A FIBRELOR DE STICLA .	18
III.1. Generalități	18
III.2. Tehnologia formării prin preamestec	19
III.3. Tehnologia formării prin contact	21
III.4. Tehnologia formării prin pulverizare ,	21
III.5. Tehnologia formării prin bobinare	23
III.6. Tehnologia formării continue (a laminării)	23
III.7. Tehnologia de extragere a apei în surplus din amestecurile proaspete	24
III.7.1. Caracteristicile betonului fibros proaspăt	24
III.7.2. Tehnologia presării	24
III.7.3. Tehnologia vacuumării	25
III.8. Ingrijirea ulterioară a produșilor armați cu fibre de sticlă	28
CAP. IV. STRUCTURA SI PROPRIETATI	29
IV.1. Structura betonului obișnuit	29
IV.1.1. Particularitățile ruperii betonului	29
IV.1.2. Deformațiile plastice ale betonului	33
IV.2. Structura betonului armat cu fibre de sticlă	34
IV.2.1. Definiția betonului armat cu fibre de sticlă	35
IV.2.2. Caracteristici ale matricei	35
IV.2.3. Particularități microstructurale	35
IV.3.4. Aderența dintre fibre și matrice	37

IV.2.5. Condiția de formare și propagare a fisurilor	39
IV.2.6. Comportarea după fisurare	41
IV.3. Particularitățile armării cu fibre	43
IV.3.1. Coeficientul volumic de armare cu fibre . . .	45
IV.3.2. Lungimea fibrelor	48
IV.3.2.1. Lungimea de ancorare (l_a)	48
IV.3.2.2. Lungimea efectivă minimă (l_m)	50
IV.3.2.3. Lungimea efectivă minimă de după fisurare (l_{mp})	51
IV.3.2.4. Lungimea critică (l_c)	52
IV.3.3. Distanța dintre fibre	55
IV.3.3.1. Conceptul distanței dintre fibre	55
IV.3.3.2. Distanța efectivă	55
IV.3.3.3. Suprafața specifică a fibrelor	63
IV.3.4. Factorul de dispersie a fibrelor individuale (a filamentelor), f_a	65
IV.3.5. Factorul de filamentizare η	66
IV.3.6. Factorul de eficiență a fasciculului, f_g . . .	66
IV.4. Proprietățile betoanelor armate cu fibre de sticlă	67
IV.4.1. Generalități	67
IV.4.2. Proprietăți termice	68
IV.4.3. Porozitatea și permeabilitatea	69
IV.4.4. Proprietăți dielectrice	69
IV.4.5. Rezistențele betoanelor armate cu fibre de sticlă	70
IV.4.5.1. Rezistența la întindere centrică	70
IV.4.5.2. Rezistența la întindere din încovoiere . . .	74
IV.4.5.3. Rezistența la compresiune	77
IV.4.5.4. Rezistența la forfecare	78
IV.4.5.5. Rezistența la șoc	78
IV.4.5.6. Rezistența la oboseală	79
IV.4.6. Contractia și curgerea lentă	81
IV.4.7. Durabilitatea	81
IV.5. Proprietățile ipsosului armat cu fibre de sticlă	83
IV.5.1. Generalități	83
IV.5.2. Materiale	84
IV.5.2.1. Fibrele de sticlă	84
IV.5.2.2. Mortarul de ipsos	84

IV.5.3. Rezistențele ipsosului armat cu fibre de sticlă	85
IV.5.4. Durabilitatea	86
IV.6. Capacitatea portantă a betoanelor armate cu fibre de sticlă	87
IV.6.1. Comportarea la întindere centrică	87
IV.6.2. Comportarea la încovoiere	89
IV.6.3. Aspecte structurale ale cimentului armat cu fibre de sticlă	90
IV.6.4. Comportarea la fisurare multiplă	95
IV.6.5. Comportarea după fisurare	95
IV.6.6. Capacitatea portantă a materialelor compozite armate cu fibre	96
IV.7. Clasificarea produșilor armați cu fibre de sticlă	97
CAP. V. STUDII EXPERIMENTALE DE LABORATOR	99
V.1. Ipsosul armat cu fibre de sticlă	99
V.1.1. Programul studiului experimental	99
V.1.1.1. Determinări asupra ipsosului	99
V.1.1.2. Particularitățile fibrelor de sticlă	100
V.1.2. Confecționarea epruvetelor	101
V.1.3. Incercarea epruvetelor	104
- Rezistența la întindere	105
- Rezistența la întindere din încovoiere	108
- Rezistența la compresiune	109
- Rezistența la șoc	110
- Modulul de elasticitate static	112
- Modulul de elasticitate dinamic	112
- Densitatea aparentă	114
V.1.4. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale	115
V.1.4.1. Calculul împrăștierilor	115
V.1.4.2. Interpretarea datelor experimentale	115
V.1.5. Concluzii și propuneri	118
V.2. Cimentul armat cu fibre de sticlă	118
V.2.1. Programul studiului experimental	118
V.2.1.1. Determinări asupra cimentului	119
V.2.1.2. Particularitățile fibrelor de sticlă	119
V.2.2. Confecționarea epruvetelor	120

V.2.3. Incercarea epruvetelor	121
- Rezistența la întindere centrică	122
- Rezistența la întindere din încovoiere	123
- Rezistența la compresiune	124
- Rezistența la șoc	124
- Densitatea aparentă	125
- Modulul de elasticitate static	125
- Modulul de elasticitate dinamic	126
- Deformațiile din contracție	127
V.2.4. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale	128
V.2.4.1. Calculul împrăștiilor	128
V.2.4.2. Interpretarea datelor experimentale	129
V.3. Betonul armat cu fibre de sticlă	135
V.3.1. Programul studiului experimental	135
V.3.2. Confecționarea epruvetelor	136
V.3.3. Incercarea epruvetelor	136
- Rezistența la întindere centrică	136
- Rezistența la întindere din încovoiere	138
- Rezistența la compresiune	138
- Rezistența la șoc	138
- Densitatea aparentă	139
- Modulul de elasticitate static	140
- Modulul de elasticitate dinamic	140
- Deformațiile din contracție	141
V.3.4. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale	141
V.3.4.1. Calculul împrăștiilor	141
V.3.4.2. Interpretarea datelor experimentale	142
CAP. VI. EXPERIMENTARI ASUPRA PREFABRICATELOR ARMATE CU FIBRE DE STICLA	145
VI.1. Tuburi din beton armat cu fibre de sticlă	145
VI.1.1. Realizarea tuburilor	145
VI.1.2. Determinări experimentale	148
VI.1.2.1. Determinări la presiune hidraulică interioară	148
VI.1.2.2. Determinări la spargerea la presiune hidraulică interioară	148

VI.1.2.3. Determinări privind ruperea la strivire longitudinală	149
VI.1.2.4. Interpretarea rezultatelor experimentale .	151
VI.1.3. Elemente de calcul	151
VI.2. Dale prefabricate din beton armat cu fibre de sticlă	153
VI.2.1. Realizarea dalelor	154
VI.2.2. Determinări experimentale	156
VI.2.2.1. Comportarea sub încărcări statice de scurtă durată	156
VI.2.2.2. Determinarea impermeabilității	157
VI.2.2.3. Interpretarea rezultatelor experimentale .	157
VI.3. Fermă din profile de beton armat cu fibre de sticlă	158
VI.3.1. Realizarea fermei	159
VI.3.2. Determinări experimentale	160
VI.3.3. Interpretarea rezultatelor experimentale . .	161
VI.4. Sarpantă din profile de beton armat cu fibre de sticlă	162
VI.5. Panouri termoizolante	162
VI.5.1. Incercarea la încovoiere a panourilor . . .	162
VI.5.2. Incercarea la încărcări de lungă durată . .	165
VI.5.3. Interpretarea rezultatelor experimentale . .	166
VI.5.4. Elemente de calcul	166
VI.6. Eficiența economică a unor prefabricate din BAFS	168
CAP. VII. SINTEZA. CONCLUZII SI PROPUNERI DE APLICARE . .	170
VII.1. Sinteză	170
VII.2. Concluzii	173
VII.3. Propuneri de aplicare	181
BIBLIOGRAFIE	182

CAP. I. I N T R O D U C E R E

=====

1.1. Caracteristicile betonului clasic și cerințe pentru viitor

Betonul obișnuit, clasic, are o poziție bine stabilită ca material de construcție. Prin beton clasic, sau "beton convențional" - cum se obișnuiește a se numi - se înțelege betonul obișnuit folosit de mult timp în lucrările de construcții, în general în structuri, în asociere cu oțelul.

Betonul obișnuit este unul din cele mai răspândite materiale de construcții, cunoscut de aproape 2000 de ani, iar în forma lui de azi, de peste 100 de ani. Ponderea lucrărilor de beton armat a crescut continuu față de volumul total al lucrărilor de construcții, ajungând să reprezinte peste 20 % sub aspect valoric, iar sub aspect fizic peste 2 m^3 pe cap de locuitor în țările dezvoltate. Această dezvoltare a producției și utilizării betonului în construcții se datorește avantajelor pe care le posedă, dintre care se relevă : folosirea materialelor locale naturale și ușor accesibile, rezistență la compresiune și durabilitate mare, ușoară adaptabilitate la diverse forme, procedee relativ simple de punere în operă, economicitate etc.

Studiile de prognoză făcute în străinătate și la noi în țară arată că betonul armat obișnuit va rămâne și în continuare principalul material de construcții, cu o pondere din ce în ce mai mare față de celelalte materiale, în special față de oțel, cu care de fapt poate fi comparat în structurile ingineresti importante.

Menținerea competitivității betonului ca principal material de construcții a determinat, printre altele, abordarea creerii unor noi tipuri de betoane, cu caracteristici îmbunătățite. Realizarea noilor tipuri de betoane are în vedere eliminarea unor neajunsuri ale betonului obișnuit, dintre care se amintesc :

- greutatea proprie mare, atât în valoare absolută (circa 2500 kg/m^3), cât și în raport cu rezistența la compresiune, care se exprimă prin indicile de calitate (I_0),

$$I_c = \frac{R_c \text{ (rezistența la compresiune)}}{\rho_a \text{ (densitatea aparentă)}} ; \quad (1.1)$$

- rezistența mică la întindere comparativ cu rezistența la compresiune (1/10 ... 1/20), ceea ce limitează mult domeniile de utilizare ca urmare a tendinței timpurii de fisurare, motiv pentru care se acceptă funcționarea majorității elementelor de beton armat cu fisuri în exploatare și implicit cu rigiditatea și impermeabilitatea considerabil diminuate, caracteristică care se exprimă sintetic prin indicile de rezistență relativă (I_r),

$$I_r = \frac{R_t \text{ (rezistența la întindere)}}{R_c \text{ (rezistența la compresiune)}} ; \quad (1.2)$$

- conductivitate termică ridicată, deci capacitate redusă de izolare termică, motiv pentru care numai asociat cu alte materiale cu bune proprietăți termozolatoare poate fi utilizat cu randament sporit;

- produsele realizate cu beton obișnuit, aparent nu sînt totdeauna suficient de estetice, suprafețele lor sînt destul de rugoase și mate, avînd mereu aceeași culoare gri;

- tehnologiile folosite în procesul fabricării betonului obișnuit, deși destul de recente, nu asigură realizarea în totalitate a calităților prescrise, sînt destul de încete, prezintă o greoaie prelucrabilitate comparativ cu masele plastice, oțelurile, lemnul sau alte materiale asemănătoare.

Poziția predominantă a betonului obișnuit în construcții, corelată cu deficiențele semnalate, au determinat cercetarea științifică să orienteze și să abordeze, atît în cazul betonului cît și al altor materiale, tematici care să confere materialelor clasice noi calități, corespunzător exigențelor actuale.

Lupta pentru o nouă calitate devine așadar o cenrință obiectivă a dezvoltării, ea are un caracter complex, îmbrățișînd aspecte tehnice, economice, social-politice, umane, ecologice.

În legătură cu trecerea la o "nouă calitate", tovarășul Nicolae Ceaușescu sublinia la Conferința Națională a partidului din decembrie 1977 [1] : "Consider necesar să trecem de

la faza acumulării cantitativă la o nouă fază, superioară, aceea a laptei pentru calitate. A venit timpul să transferăm cantitatea într-o nouă calitate. Aceasta este cerința primordială de care depinde viitorul industriei românești, viitorul întregii economii naționale".

Urmărind transpunerea în practică a liniei generale a partidului privind trecerea la o "nouă calitate", legea calității produselor menționează că în vederea realizării calității se impune respectarea caracteristicilor tehnice, economice, constructiv - funcționale, estetice și de fiabilitate, privite în continuă perfecționare. De aceea se impune tot mai mult ca și în activitatea de creație științifică să se folosească tot mai mult noțiunea de calitate totală, care înglobează într-un tot unitar toți parametrii definiției ai calității și determină totodată un temeinic suport pentru orientarea viitoare a cercetărilor.

Răspunzând așadar cerințelor de viitor privind perfecționarea sau crearea unor noi materiale de construcții, se impune realizarea unor betoane cu rezistențe ridicate și densitate scăzută, a cărer indice de calitate (I_c) să fie în creștere, se impune de asemenea realizarea unor betoane cu rezistențe ridicate la întindere, avind indicele de rezistență relativă (I_r) de asemenea în continuă creștere, a unor betoane cu remarcabile calități termoizolante, termoizolante și hidroizolante, aspectuale și ușor prelucrabile, eficiente atât din punct de vedere tehnic cât și economic, realizate în tehnologii moderne de mare productivitate.

Urmărind aceste deziderate, în ultimul timp s-au dezvoltat și perfecționat noi tipuri de materiale de construcții printre care și betoanele armate cu fibre de sticlă, relativ puțin cunoscute, reprezentînd "rezerve" pentru viitorul apropiat.

1.2. Armarea cu fibre

Armarea cu fibre nu constituie o nouă invenție absolută. În acest sens, în primul rînd natura însăși oferă exemple de materiale fibrilate naturale, cum sînt : lemnul, bumbacul, esuturile musculare la om și animale și altele. Dintre materialele fibrilate artificiale și cu o largă utilizare în construcții se relevă azbecimentul și masele plastice armate cu fibre de sticlă. Unele caracteristici ale acestor materiale sînt semnificative, așa

de pildă : lemnul este cantitativ limitat și are o slabă durabilitate și rezistență la fec; azbecimentul are o bună durabilitate și rezistență la fec, dar rezistențe la întindere și șee limitate; materialele plastice armate cu fibre de sticlă au rezistență redusă la fec, sînt scumpe, au modulul de elasticitate redus și o curgere lentă relativ ridicată [98].

Adăsurile de fibre în beton oferă un mijloc convenabil și practic de a obține îmbunătățiri ale proprietăților fizico-mecanice ale materialului, în special rezistența de rupere la obeseală, la impact, la încevoiere și altele. Ca armături din fibre, sînt folosite fibrele de oțel, fibrele de sticlă rezistente la alcali și fibrele de polipropilenă. Alte fibre, cum sînt cele de nylon, polietilenă, mătase artificială, sticlă E, nu au dat rezultate, rîe datorită costului ridicat, fie rezistenței necorespunzătoare în mediul bazic al cimentului Portland [58]. În acest din urmă caz, cercetările legate de realizarea unei fibre de sticlă rezistentă la alcalii (AR), ca cea cunoscută în Anglia sub denumirea de CFM-FIL [46], a deschis calea rezolvării problemei stabilității fibrelor de sticlă în mediul cimentului portland hidratat.

Betonul armat cu fibre are proprietăți intermediare între azbeciment și masele plastice armate cu fibre de sticlă, eliminându-se principalele deficiențe ale acestor două materiale.

Studiile și cercetările efectuate pentru realizarea betonului armat cu fibre de sticlă au fost determinate de următoarele necesități : reducerea consumului de oțel din unele elemente de beton armat, reducerea greutateii construcțiilor și realizarea unui material cît mai omogen sub aspectul rezistențelor mecanice [98], [50].

În general, betoanele la care se folosesc fibrele ca armătură, oferă de betoanele convenționale prin aceea că au un conținut mai mare de ciment ($350 - 500 \text{ kg/m}^3$), un conținut redus de agregat mare ($350 - 750 \text{ kg/m}^3$) cu dimensiunea maximă a granulei de 7 mm. Conținutul de fibre variază între 0,3 - 6 %, raportat la volum [102].

Există două metode de armare a betoanelor cu fibre de sticlă [26]. Prima metodă folosește armarea cu fibre continue și țesături, iar cea de a doua metodă constă în dispersarea uniformă a fibrelor discontinue în masa betonului, în scopul obținerii

unui material compus omogen [76].

Beteanele armate cu fibre de sticlă (BAFS) sînt materiale de construcții cu o alcătuire fibroasă, diferind de beteanele clasice atît din punctul de vedere al proprietăților lor fizice - mecanice, cît și al tehnologiei de fabricație.

Spre deosebire de beteanele obișnuite, beteanele armate cu fibre de sticlă se realizează prin tehnologii diferite, determinate de modalitatea de încorporare a fibrelor de sticlă în masa amestecului. Dacă, în cazul betonului clasic, tehnologia de realizare se rezumă la amestecarea constituentilor în betonieră după reguli bine cunoscute, în cazul betonului armat cu fibre de sticlă încorporarea fibrelor în masa amestecului constituie una din cele mai importante probleme, deoarece ea determină gradul de omogenitate al amestecului și orientarea fibrelor.

1.3. I s t o r i e

Încă din timpuri străvechi, fibrele au fost folosite pentru armarea materialelor casante, în scopul măririi rezistențelor și a durabilității lor. Pielele au fost folosite pentru armarea cărămidilor întărite la soare, părul de cal și fibrele de sisal au fost folosite pentru armarea ipsosului, iar mai recent fibrele de azbest au început să fie folosite pentru realizarea a ceea ce se cheamă azbociment. Azbocimentul a cunoscut o rapidă dezvoltare pe plan mondial, consumul de fibre de azbest crescînd de la 1 milion tone în 1950 la 4 milioane tone în 1970 [53].

Introducerea folosirii fibrelor de sticlă la armarea betanelor se realizează începînd cu anul 1950 în S.U.A. [7], Anglia [58], U.R.S.S. [25] și Japonia. În U.R.S.S. studiile începute în 1941 au utilizat cimenturi aluminoase, al căror mediu slab alcalin spre neutru nu distruge fibra de sticlă. Folosirea cimentului portland conduce la distrugerea armăturii din fibre de sticlă din cauza acțiunii agresive a cimentului. Din această cauză, problema stabilității fibrelor de sticlă în mediul bazic (alcalin), creat prin hidratarea cimentului portland, a constituit din începuturi subiect de cercetare.

În prezent numeroase țări studiază realizarea unor fibre de sticlă cu compoziții speciale, rezistente în medii alcaline (AR), cît și fibre obișnuite care se îmbracă în materiale alcaline - rezistente (ancelanți).

Primele aplicații ale betonului armat cu fibre de sticlă rezistente în mediul cimentului portland se realizează în Anglia în 1970 [55]. În acest sens, cercetările au fost orientate către utilizarea unei sticle cu zirconiu, făcându-se astfel un mare pas înainte în trecerea pe scară industrială la fabricarea fibrelor de sticlă rezistente la alcali, la realizarea de utilaje și linii tehnologice corespunzătoare.

Dezvoltarea cercetărilor și a producției de fibre pe plan mondial se datorește printre altele și dezvoltării maselor plastice armate cu fibre de sticlă, precum și necesității de-a înlocui fibrele de azbest din beton, fibre care se găsesc din ce în ce mai puțin și de calitate tot mai slabă.

Cercetările pe plan național în domeniul utilizării fibrelor de sticlă (AR) în mortare și betoane au început în 1971 la Timișoara în cadrul Laboratorului de Beton Armat al Institutului Politehnic. Mai recent, I.C.P.M.C., - București a abordat problema realizării unor prefabricate din beton armat cu fibre de sticlă (din 1974).

Fibrele de sticlă folosite în cercetările proprii sînt de proveniență românească, și anume fibre zirconice rezistente în alcali, realizate la I.C.P.T.S.C.F. - București (din cadrul M.I.U.).

1.4. Domenii de aplicare

Betoanele armate cu fibre de sticlă sînt noi materiale de construcții, cu tehnologia de obținere și proprietăți specifice, ale căror domenii de folosire trebuie alese în funcție de caracteristicile lor îmbunătățite față de betoanele obișnuite, cît și de prețurile de obținere a fibrelor, de preparare și punere în operă a betonului, astfel încît noile tipuri de materiale să fie competitive [98], [94].

Utilizările betonului armat cu fibre de sticlă pot fi grupate astfel :

- a) utilizări ale betonului monolit;
- b) utilizări ale betonului prefabricat.

Domeniile de utilizare a betonului monolit și prefabricat armat cu fibre de sticlă sînt prezentate în tabelul I.1, pe baza rezultatelor obținute pînă în prezent [55], [91].

Betoanele armate cu fibre de sticlă, indicate în tabelul

I.1 îndeplinesc mai multe funcțiuni după cum urmează :

- îmbunătățirea comportării la fisurare;
- îmbunătățirea comportării la acțiuni dinamice;
- îmbunătățirea proprietăților termice, fono și hidroizolante.

În cele ce urmează se prezintă câteva exemplificări privind domeniile de utilizare a betonului armat cu fibre de sticlă [28], [66], [101], [63] și [38].

În fig. I.1 se prezintă o clădire din Anglia, la care



închiderile sînt realizate în totalitate din elemente de beton armat cu fibre de sticlă.

În fig. I.2 se prezintă o clădire din Japonia executată cu elemente de închidere de o formă specială, din beton armat cu fibre de sticlă.

În fig. I.3 se prezintă un acoperiș experimental în R.F.G., executat dintr-o placă curbă subțire din beton armat cu fibre de sticlă de 10 - 12 mm grosime și 31 mm deschidere [92].

În fig. I.4 sînt prezentate tuburi de scurgere din beton armat cu fibre de sticlă de 2,5 m lungime, realizate în Anglia.

Fig. I.1. Clădire în Anglia din elemente prefabricate din beton armat cu fibre de sticlă.

În fig. I.5 se prezintă utilizarea cefrajelor autoportante pierdute pentru elemente grele de beton armat la un viaduct în Anglia.

În fig. I.6 se prezintă utilizarea pereților menestrat din beton armat cu fibre de sticlă la o hală a industriei textile din Anglia.

În fig. I.7 se prezintă utilizarea palplanșelor din beton armat cu fibre de sticlă.

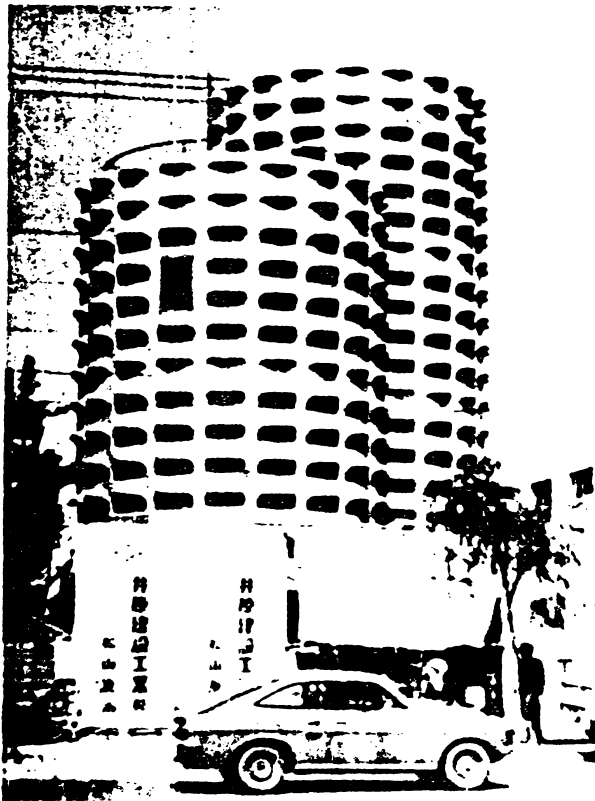


Fig.I.2. Clădire în
Japenia cu elemente de
închidere din beton ar-
mat cu fibre de sticlă.



Fig.I.3. Acoperiș experimental la Stuttgart (R.F.G.)

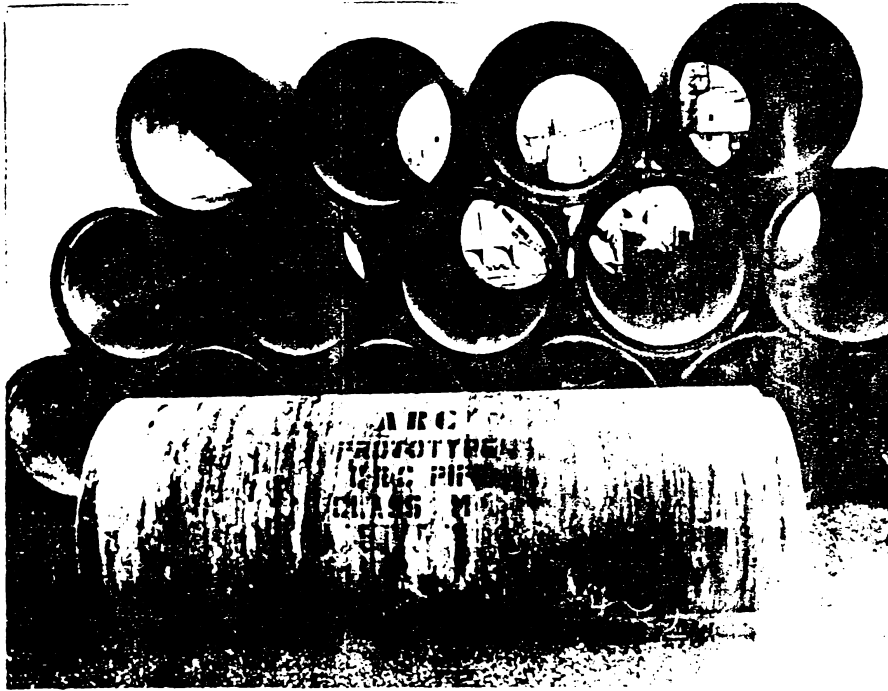


Fig.I.4. Tuburi de scurgere (Anglia).

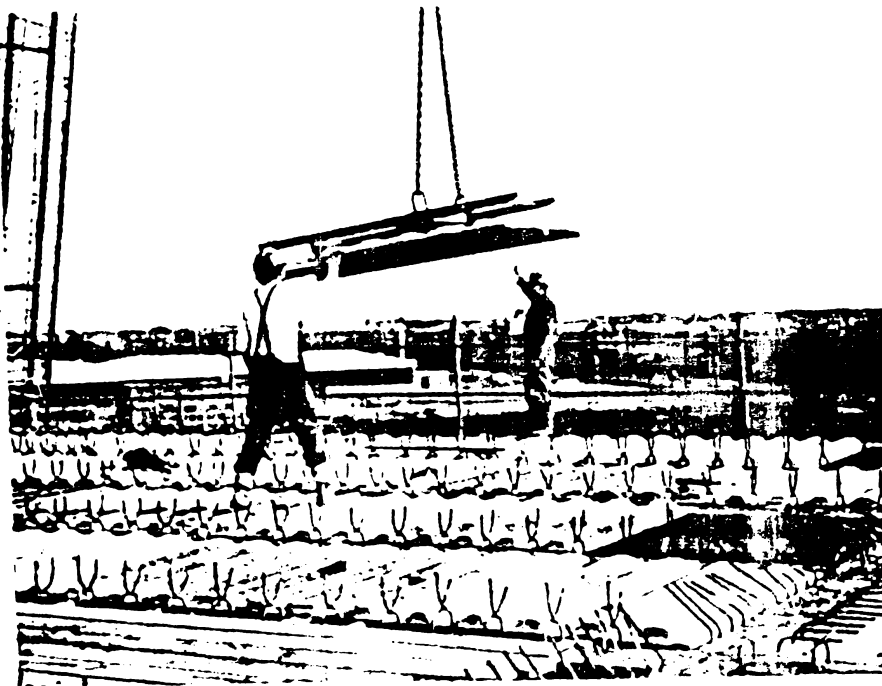


Fig.I.5. Cofraje autepertante din plăci de beten armat cu fibre de sticlă (Anglia).



Fig.I.6. Pereți
monostrat (Anglia).



Fig.I.7. Palplanșe
(Anglia).

Cunoașterea și dezvoltarea domeniilor de utilizare a betonului armat cu fibre de sticlă rămân probleme deschise, fiind condiționate de continuarea cercetărilor asupra acestui material, probleme care reprezintă de altfel și conținutul prezentei teze de doctorat.

CAP. II. M A T E R I A L E

=====

II.1. Liantul

Liantul se alege în funcție de fibra de sticlă folosită și de stabilitatea acesteia în mediul liantului hidratat. În cazul utilizării fibrelor de sticlă rezistente la alcali, s-a folosit cimentul portland obișnuit cu adaosuri și RIM, iar în cazul utilizării fibrelor de tip E, ipsosul semihidratat, putându-se folosi în acest caz și cimentul fără alcalinitate.

Deoarece cimentul portland hidratat constituie un mediu puternic bazic ($\text{pH} = 12-13$), utilizarea lui conduce la distrugerea armăturii din fibra de sticlă, dacă aceasta nu este rezistentă la alcali. Acțiunea agresivă a pietrei de ciment portland asupra fibrelor de sticlă se datorește eliberării unei mari cantități de Ca(OH)_2 în timpul hidratării cimentului.

Folosirea cimentului portland este posibilă, dacă fibrele de sticlă se acoperă cu un material protector sau se folosesc fibre de sticlă rezistente la alcali prin însăși compoziția lor, sau dacă se folosesc fibre de bazalt.

Folosirea cimentului aluminos sau magnezian și a ipsosului sînt indicate în amestecurile cu fibrele de sticlă tip E.

Cercetări în domeniul utilizării cimenturilor în amestec cu fibrele de sticlă au fost efectuate în mod deosebit în U.R.S.S. [25], realizîndu-se cimenturi speciale cu grad redus de alcalinitate cum sînt cimenturile pe bază de argile, pe bază de argilă și ipsos și altele. Astfel, cimentul pe bază de argilă este un liant de mare rezistență și se întărește rapid în apă sau în aer. Întărirea este însoțită de o considerabilă degajare de căldură (60 - 90 Kcal/kg), ceea ce este util în condiții de lucru pe timp friguros. Acest ciment se întărește mai bine în mediu umed la $+15^\circ\text{C}$, dar la temperaturi mai mari de $+25^\circ\text{C}$ rezistența lui scade, ceea ce exclude posibilitatea folosirii procedeului de aburire.

Cimentul magnezian poate fi utilizat în amestec cu fibrele de sticlă de tip E, însă are o slabă rezistență la apă.

Ipsosul, fiind un mediu neutru, permite utilizarea lui în amestec cu fibrele de sticlă de tip E. Mortarul de ipsos este larg folosit în construcții, în mod deosebit pentru acoperi-

rea suprafețelor interioare. Deși rezistența lui la compresiune este mare în condițiile unui raport apă/ipsos scăzut, totuși are rezistențe mici la întindere și foarte mici la șoc. O îmbunătățire o poate aduce incorporarea fibrelor de sticlă. Deoarece timpul de priză al ipsosului este foarte scurt, se folosesc întăzitori de priză potrivit necesităților de ardin tehnologic.

În cazul materialelor armate cu fibre de sticlă, rolul pietrei de ciment este de-a lega fibrele, de-a le proteja, de-a le transfera eforturi la și de la fibre. Pentru a obține performanțe optime de rezistență, liantul ar trebui să satisfacă următoarele condiții [83] :

1. Modulul de elasticitate al pietrei de ciment să fie considerabil mai mic comparativ cu cel al fibrelor. Aceasta înseamnă că cea mai mare parte a efortului în sistem este preluată de fibre și nu de liantul întărit.

2. Deformațiile limită ale pietrei de ciment și ale fibrelor să fie compatibile. Piatra de ciment să aibe o deformație la rupere mai mare ca cea a fibrei, ceea ce asigură că ea nu cedează înainte ca fibrele să atingă rezistența limită.

3. Aderența între piatra de ciment și fibrele de sticlă trebuie să poată permite transferul total al eforturilor. Aria de transfer a eforturilor este în general foarte mică și se limitează la capetele fibrelor.

4. Piatra de ciment, în procesul ei de formare, nu trebuie să corodeze sau să slăbească fibra de sticlă.

În realitate, unele din aceste condiții nu pot fi satisfăcute. Astfel, de pildă, alungirea la rupere a fibrei de sticlă este de circa 2 - 3 %, în timp ce a pietrei de ciment este de circa 0,02 % și deci total necorespunzătoare pentru a intra în relații de optimă comportare cu fibrele de sticlă. Această valoare este și mai mică, când cimentul este combinat cu nisip sau pietriș fin. În aceste condiții, în materialul armat cu fibre de sticlă încărcat pînă la rupere va ceda piatra de ciment înainte ca fibrele să atingă rezistența limită.

Consecința principală a acestei incompatibilități, privind deformațiile la rupere între masa de bază și fibrele de sticlă, constă în faptul că sub încărcare amestecul prezintă fenomene de microfisurare multiplă a masei de bază dincolo de o li-

mită elastică nu foarte bine definită.

Pentru a trece peste această dificultate privind alungirea limită redusă a pietrei de ciment, se încearcă în prezent modificarea masei de bază prin adaosuri de polimeri [83].

Masa de bază din ciment poate conține și adaosuri deza-
te de nisip sau puzzolană; asemenea adaosuri pot contră, ală-
turi de alegerea unor valori optime ale raportului A/C, defor-
mațiile din contracție și umflare ale masei de bază. Deoarece
multe produse din acest material se prezintă sub formă de fei
subțiri, o mare atenție trebuie dată și efectului carbonatării.

II.2. A p a

Se admite utilizarea apei potabile curate, fără acizi,
baze sau uleiuri. Nu se pot folosi apele de mare sau de baltă,
după cum nu se poate folosi apa care conține peste 1000 mg/l
săruri.

II.3. Agregatele

Agregatele folosite sînt nisipuri și pietrișuri fine cu
dimensiunea granulelor pînă la 10 mm, provenite în general din
rîuri sau cariere.

După mărimea granulelor, se deosebesc două grupe de a-
gregate :

- a) nisipurile, cu fracțiuni cuprinse între 0,2 - 5 mm;
- b) pietrișurile fine, cu fracțiuni cuprinse între 5-10 mm.

Agregatelor li se cere să îndeplinească următoarele con-
diții : să fie inerte față de ciment și fibrele de sticlă; să
fie stabile, adică nealterabile la aer, apă și îngheț; - dezgheț;
să aibă o bună rezistență la fec; să aibe rezistențe mecanice
la compresiune suficient de mari, cel puțin cu 25 % mai mari de-
cît marca produsului; să fie curate, spălate bine în prealabil
pentru a îndepărta impuritățile; forma granulelor se recomandă
a fi cubică sau sferică, putîndu-se realiza amestecuri lucrabi-
le și rezistente; să aibe o bună compeziție granulometrică.

Nu se recomandă utilizarea agregatelor cu dimensiunea
granulei mai mare de 7-10 mm, deoarece îngreunează lucrabilita-
tea amestecului, distrug fibrele de sticlă, ținînd seama și de
faptul că produsele realizate au în general grosimi mici de 10-
15 mm.

Nisipul, în betoanele armate cu fibre de sticlă, are rolul de a reduce contractia pietrei de ciment și deci de a micșora pericolul de fisurare. Experiența a arătat că 1 % fibre de sticlă în greutate, încorporate în masa de bază, realizată din ciment și nisip în proporție de 1/1, preîntâmpină orice contracție [91].

II.4. Adăesurile

Adăesurile, în funcție de rolul pe care îl au, se împart în : adăesuri plastifiante, întârziatori ai prizei, rășini, celeranți și altele.

Adăesurile plastifiante determină o mai mare mobilitate a amestecurilor, în condițiile utilizării unui raport A/C mai mic. Plastifiantul se dizolvă de regulă în apa de amestec, conținutul fiind de 1,5 - 2,5 % din greutatea cimentului.

Ca aditivi plastifianți se pot utiliza : metilceluloza, oxidul de polietilenă, lînesulfonatul de calciu (LSC). În experiențele proprii s-a utilizat lînosulfonatul de calciu.

Substanțele de mărire a timpului de priză se folosesc cu scopul de a asigura condiții optime de realizare a produșilor, astfel ca priza și întărirea să înceapă imediat după punerea în operă a materialului. Ca întârziatori ai prizei se pot folosi : boraxul, acidul acetic și altele, în proporție de circa 1 % din greutatea liantului. Substanțe de mărire a timpului de priză, în cazul ipsosului, sînt : boraxul, oleiul pentru zugrăvi și altele, folosite în proporție de 1-2 % din greutatea ipsosului [14].

Pentru a obține o impregnare maximă a fibrei de sticlă și a îmbunătății proprietățile elastice și alte proprietăți ale produșilor realizați din fibre de sticlă și ciment, se folosesc adăesuri pe bază de diferite rășini, de polimeri.

Adăesurile celerante permit obținerea unor efecte de suprafață, a unor culori dorite. Culorile se iau de la diferite săruri, care se dizolvă în apa destinată hidratării cimentului. Sărurile de fier imprimă culoarea galben-portocalie, cele de cupru o culoare albastră, cele de crom o culoare verde, de cobalt rez închis, iar de nichel - verde închis.

II.5. Fibrele de sticlă

Fibrele de sticlă sînt de natură minerală fiind obținute în mod artificial. În tabelul II.1 se prezintă o clasificare generală a fibrelor folosite la armarea betoanelor.

Fibrele de sticlă folosite la armarea betoanelor de ciment trebuie să aibe o bună durabilitate în mediul alcalin al cimentului portland [83], [39].

Fibrele de sticlă disponibile în prezent sînt în general de tipul E; ele au o compoziție boresilicatică, caracterizată prin rezistențe mari și stabilitate la acțiunea apei și a diferiților solvenți activi [25], cu bune proprietăți dielectrice. Fibrele de tipul E expuse în mediul alcalin al cimentului portland hidratat pierd repede din rezistență, ca urmare a unui atac chimic. Deoarece cimentul portland are o valoare pH de 12-13, fibrele de sticlă de tipul E nu pot realiza cu acest ciment produși durabili și rezistenți. Utilizarea fibrei E este totuși posibilă în condițiile folosirii unor lianți nealcalini, cum sînt : cimentul magnezian, cimentul aluminos și ipsosul, sau în condițiile protejării ei prin îmbrăcare cu materiale alcalo-rezistente [49].

Realizarea, însă a unei fibre de sticlă rezistentă la alcali prin însăși compoziția ei, crează posibilitatea utilizării cimentului portland [100].

Cercetările întreprinse de Majumdar [58], asupra comportării în medii puternic alcaline a sticlelor de tip A, E, Pyrex, G.20, G.22 și G.26, au evidențiat buna comportare a fibrelor G.20, denumite CEM-FIL, comparativ cu fibrele tip E. Fibrele tip E și-au redus diametrul în urma atacului chimic în proporție de 59 % în timp ce fibrele G.20 în proporție de numai 5 %, după cîteva ore. Sticlele, care au compoziții în sistemul $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{ZrO}_2$ și în unele cîmpuri ale sistemului $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{MgO}$, au dat rezultate promițătoare. În tabelul II.2 se dă compoziția oxidică, în procente, a sticlelor cercetate.

Fibra de sticlă romînească, realizată la Institutul de Cercetări și Proiectări Tehnologii Sticlă și Ceramică Fină (I. C.P.T.S.C.F.) din București, corespunde sistemului $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} - \text{ZrO}_2$ și este o sticlă rezistentă la alcali.

Fibrele de sticlă sînt produse, în general, în 3 forme

de bază ; fascicule de fibre, cerdoane de fascicule (rowing) și țesături. Un fascicul de fibre conține în general 204 sau 408 fibre de sticlă individuale (filamente), cu diametrul de circa 10μ , iar un rowing conține 20 - 60 fascicule. Tesătura se realizează cu rowinguri avînd 10 - 20 fascicule și ochiuri de e,4- e,8 cm. Fibrele de sticlă individuale (filamentele) se trag direct din topitură printr-o placă de platină avînd 204 sau 408 orificii. Fibrele de sticlă individuale sînt îmbrăcate, la fabricare, în materiale izelatoare pentru a fi protejate contra coreziunii de suprafață și pentru a se lega în fasciculul de fibre. Materialul de legătură trebuie să aibe proprietatea de a transfera eforturi de la fibră la fibră și să realizeze tete-dată o bună aderență cu piatra de ciment.

Folosirea fibrelor de sticlă este condiționată de rezistențele ei mecanice și de modulul de elasticitate. Rezistența fibrelor de sticlă depășește rezistența fibrelor sintetice și naturale obișnuite și depinde de 3 factori : compoziția chimică, diametrul și tehnologia de producție a sticlei. Fibra de sticlă individuală posedă două calități fizice de mare importanță : o mare rezistență la tracțiune și un modul de elasticitate mic. În timp ce rezistența ei o depășește pe cea a sîrmei de oțel, modulul ei de elasticitate reprezintă doar $1/3$ din cel al oțelului. Diametrul fibrelor de sticlă poate varia între $2 - 4\mu$ și $20 - 30\mu$, frecvent se utilizează dimensiuni de $10 - 12\mu$, iar rezistența la rupere variază între $9.000 - 40.000 \text{ daN/cm}^2$ (fig. II.1). Alungirea specifică la rupere depinde de compoziția sticlei și diametrul fibrei, atîngînd valoarea maximă de circa 3 - 4 %. Greutatea specifică a fibrei de sticlă este de $2,4 - 2,6 \text{ gr/cm}^3$.

În funcție de soluția armării elementelor, fibrele de sticlă lungi vor fi folosite pentru armarea unidimensională, similară armării cu bare lungi de oțel, sau pentru armarea bidimensională în cazul folosirii țesăturilor din fibre lungi de sticlă, similare armării cu plase din sîrmă de oțel.

Fibrele scurte din sticlă se utilizează, în general, în cazul armării disperse a betonului, lungimea lor alegîndu-se astfel încît "raportul aspectului" (lungime/diametru) să fie cel puțin de 30 - 200 și deci lungimea lor de 25 - 50 mm [83].

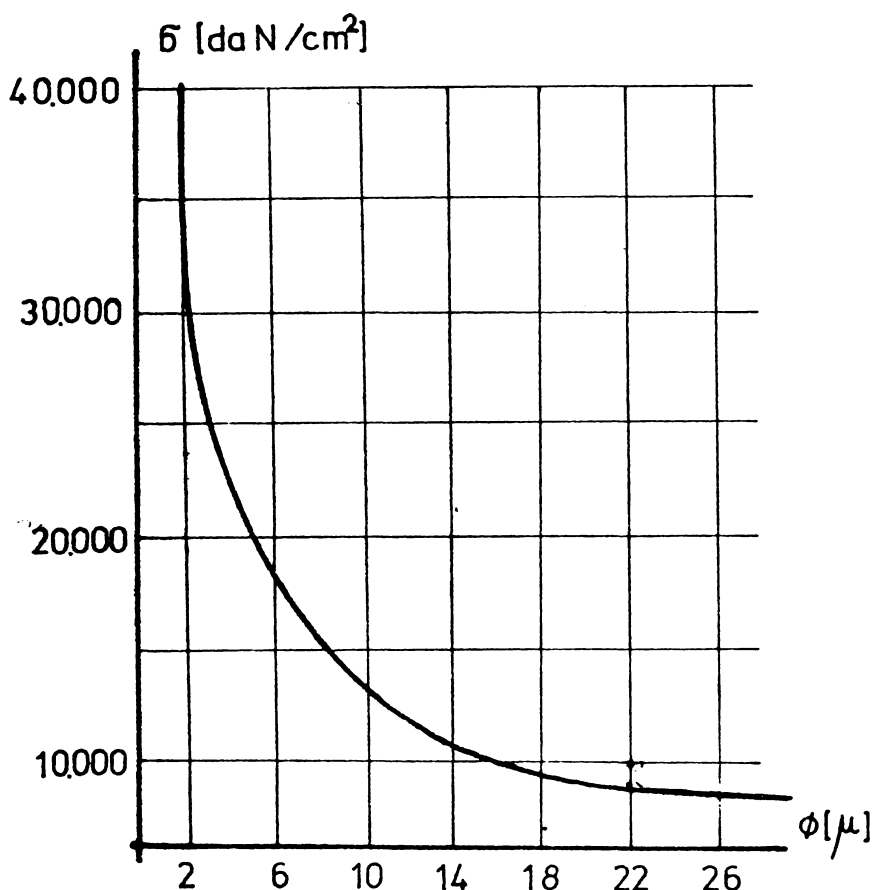


Fig.II.1. Variația rezistenței la rupere a fibrei de sticlă funcție de diametrul ei.

În tabelul II.3 se prezintă principalele caracteristici fizico-mecanice ale fibrelor curent folosite.

În ultima coloană este dat coeficientul de eficiență (raportul dintre rezistența maximă la întindere și densitate), constatându-se că cele mai eficiente sînt fibrelor de sticlă și de carbon.

380.326 / 289 F

CAP. III. TEHNOLOGII DE INCORPORARE A FIBRELOR

DE STICLA

III.1. Generalități

Incorporarea fibrelor de sticlă în masa amestecului de bază trebuie să asigure o bună impregnare și învelire a fibrelor cu pasta de ciment, să asigure o dispersare uniformă a acestora în masa amestecului care se armează, să asigure o maximă îndesare a produsului, realizându-se o cât mai bună compactitate.

Cercetările întreprinse au arătat că tehnicile de incorporare joacă un rol major în realizarea unor materiale de calitate [48]. Se recomandă folosirea tehnicilor de producție ale materialelor plastice armate cu fibre de sticlă și nu tehnicile de producere a azbocimentului.

Ceea ce este important în obținerea materialului armat cu fibre de sticlă constă în dispunerea fibrelor în masa de bază astfel încât acestea să-și poată exercita rolul lor funcțional. Fibrele pot fi dispuse regulat sau la întâmplare, în funcție de tipul fibrei, de forma acesteia, de modul de realizare a amestecului și de acțiunea încărcărilor.

Metoda de incorporare a fibrelor determină orientarea lor; s-a demonstrat practic că orientarea fibrelor în una, două sau trei direcții poate fi realizată cu ușurință.

Fibrele de sticlă pot fi dispuse în masa amestecului orientate unidimensional, respectiv pe direcția efortului principal, bidimensional în plan și tridimensional în spațiu. Eficiența folosirii acestor orientări este redată în tabelul III.1 [67]. Se poate observa că aranjarea întâmplătoare în plan este de două ori mai eficientă decât aranjarea întâmplătoare în spațiu. Aranjarea tridimensională a fibrelor impune o lungime mai redusă a lor și, așa cum rezultă din tabelul III.1, la un efort monoaxial ele sînt utilizate doar la 20 % din capacitate. La o aranjare bidimensională a fibrelor într-un singur plan se pot folosi fibre scurte sau fibre continue. Randamentul maxim se obține dacă toate fibrele se introduc unidimensional, paralel cu direcția solicitării și sub formă de fibre continue. Repartizarea fibrelor de sticlă se poate face uniform pe toată secțiunea sau con-

centrat în zonele întinse, rezultând în acest caz o armare diferentiată a elementelor [17].

Cantitatea de fibre de sticlă introdusă depinde de consistența amestecului, de proprietățile fibrelor și de tehnologia de încorporare. În general, însă, volumul optim de fibre de sticlă este limitat la 6 % din volum sau 8 % în greutate.

Fibrele de sticlă pot fi încorporate în masa amestecului de bază prin următoarele tehnologii :

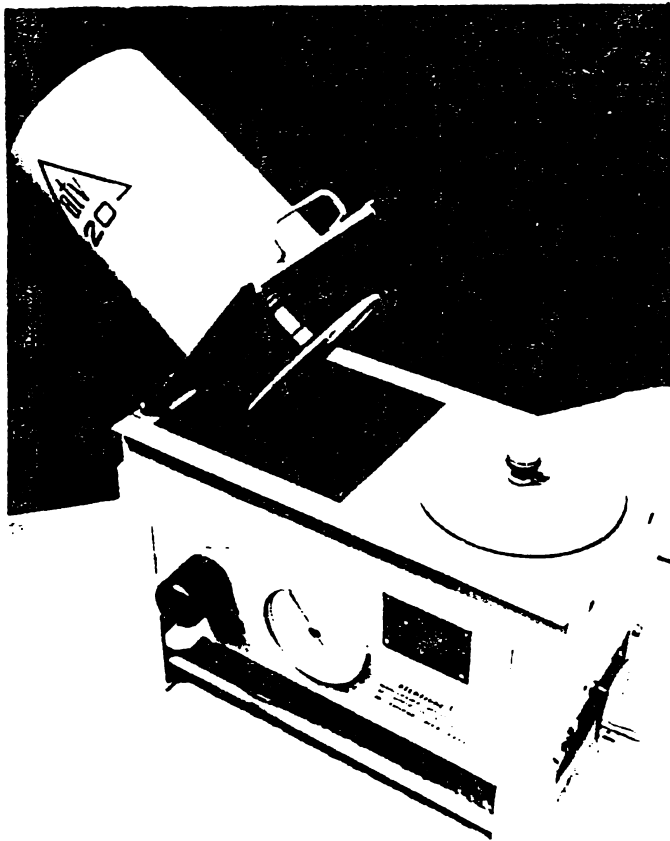
- tehnologia formării prin preamestec;
- tehnologia formării prin contact;
- tehnologia formării prin pulverizare;
- tehnologia formării prin bobinare;
- tehnologia formării continue (a laminării).

Orientarea fibrelor de sticlă este dependentă de tehnologia de încorporare. Astfel, în cazul formării prin contact sau pulverizare, este aproape imposibilă înlăturarea unor abateri față de paralelismul fibrelor. În cazul formării prin bobinare se asigură în schimb o aliniere perfectă a fibrelor de sticlă între ele. Dacă se folosesc țesături sau rețele atunci orientarea fibrelor este rezolvată automat.

III.2. Tehnologia formării prin preamestec

În baza acestei tehnologii, în masa amestecului de bază, pregătit în dispozitivul de amestecare, se introduce cantitatea necesară de fibre de sticlă având lungimea de 30 - 40 mm [15]. Masa amestecului de bază poate fi realizată din pastă de ciment, beton proaspăt sau pastă de ipsos. Dispozitivul de amestecare este un malaxor. Se recomandă utilizarea malaxorului cu cupă rotativă orizontală. O soluție mai eficientă, din punct de vedere al omogenității materialului obținut, este amestecătorul (malaxorul cu ax vertical) cu turație variabilă (ATV), realizat prin autoutilare (fig.III.1). Variabilitatea turației este condiționată de cantitatea și consistența amestecului. Creșterea turației amestecătorului, odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă, rezolvă problema unei mai bune impregnări a fibrelor de sticlă. Se amestecă mai întâi liantul cu apa și agregatele, apoi se introduc treptat și fibrele de sticlă. Timpul optim de amestecare este de 3 - 5 minute. Vibroamestecarea mărește plasticitatea și rezistența pastei și micșorează timpul de amestec.

Se recomandă ca raportul A/C să nu treacă de 0,5. Micșorarea



raportului A/C mărește rezistența amestecului, dar îngreunează lucrabilitatea. Pentru îmbunătățirea lucrabilității se folosește o cantitate sporită de apă de amestec, care apoi se poate extrage prin presare sau vacuumare, se pot de asemenea folosi adaosuri plastifiante. Metoda are dezavantajul că pot să apară în timpul amestecării îngrămădiri de fibre, smocuri, creind astfel neomogenități în masa amestecului care se toarnă apoi în tipar.

Fig.III.1. Amestecător cu turație variabilă (ATV).

Fig.III.2. Aparatul de compune din :

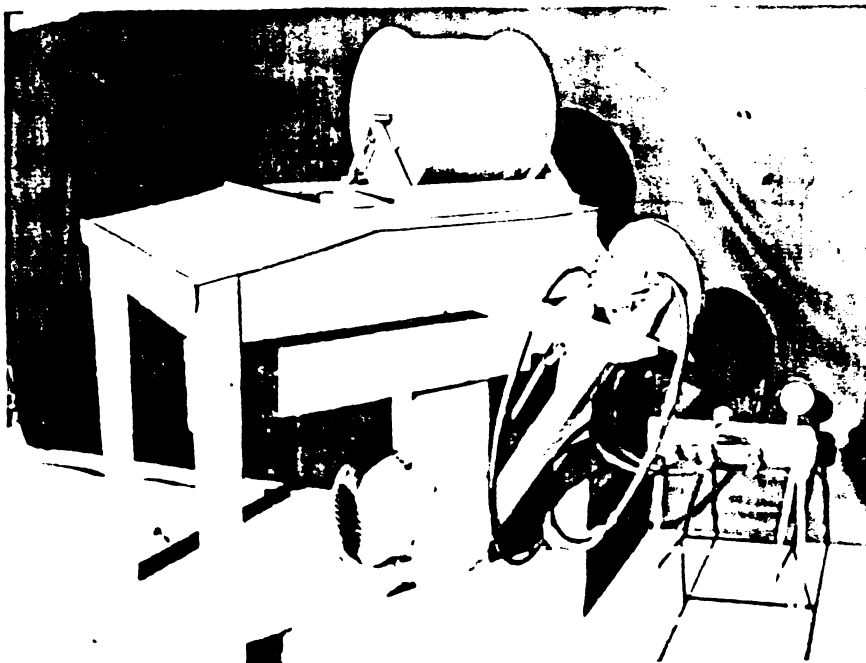


Fig.III.2. Tăietor pentru fibre de sticlă.

Tăierea fibrelor de sticlă la lungimile stabilite a condus la realizarea, tot prin autoutilare, a tăietorului din fig.III.2. Aparatul de compune din :

tăietorul propriu-zis, alcătuit dintr-o rolă cu lame și o rolă suport cu posibilitatea de-a se regla la lungimea dorită de tăiere, tamburul pentru derularea fibrei lungi de sticlă, motorul electric pentru deservirea tăietorului, compresorul de aer, conductele pentru

conducerea aerului sub presiune și a fibrelor tăiate. Caracteristicile tehnice ale tăietorului sînt : capacitatea de tăiere 2 - 4 kg/oră, motor electric 0,8 kW cu 3000 turații pe minut, compresor de aer de 10 atm.

III.3. Tehnologia formării prin contact

Formarea prin contact este, relativ, o tehnologie simplă, care nu necesită utilaje speciale. Se folosesc fibre continue sau țesături realizate din rowing, care se asază în straturi pe suprafața tiparului și fiecare strat este îmbibat cu pastă de ciment sau polimer-ciment cu ajutorul unor pensule sau prin suflare pneumatică (pulverizare) [18]. Grosimea elementelor este condiționată de numărul de straturi de fibre de sticlă impregnate cu pastă de ciment, grosimea unui strat impregnat fiind de 0,2 - 1,2 mm. Calitatea produsului va depinde de gradul de îmbibare a fibrelor de sticlă cu pastă de ciment, precum și de gradul de compactare a fiecărui strat. Excedentul de pastă de ciment poate duce la mărirea greutateii și grosimii elementelor în dauna rezistenței. Pentru a asigura o cît mai bună îmbibare a fibrelor de sticlă cu pastă de ciment, se recomandă efectuarea unui control vizual, urmărind ca toate fibrele să fie bine acoperite cu pasta de ciment.

Tiparele se pregătesc în prealabil și se ung cu parafină sau ulei mineral pentru a realiza o mai ușoară decofrare.

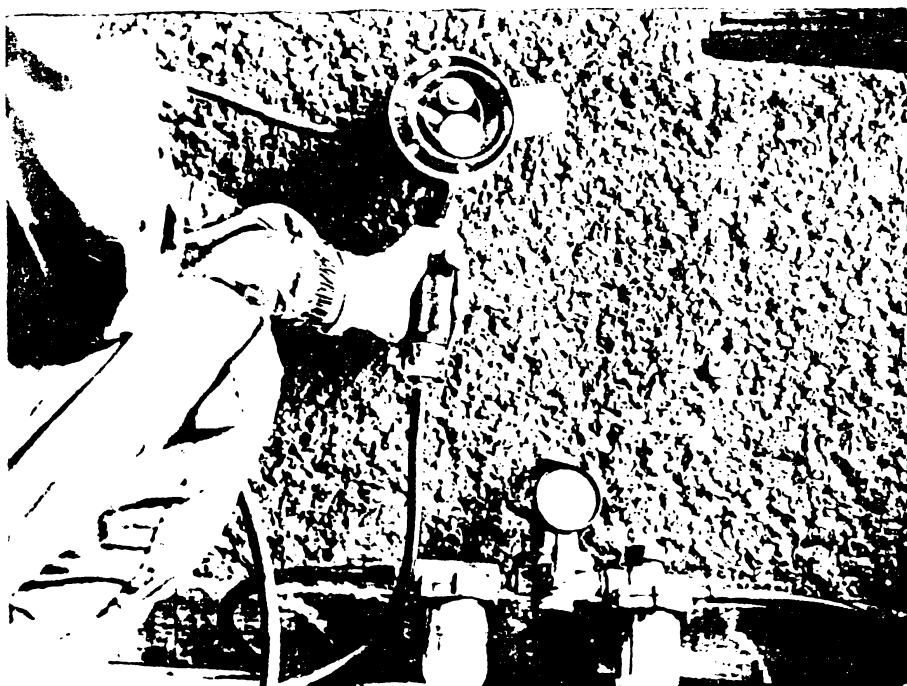
Tehnologia prin contact necesită o muncă manuală puțin productivă, iar calitatea elementelor finite depinde de priceperea oamenilor.

III.4. Tehnologia formării prin pulverizare

Formarea prin pulverizare se bazează pe pulverizarea constituenților direct în tipare, prin intermediul unei instalații adecvate. Tehnologia de pulverizare utilizează "instalații de pulverizare" cu echipamentele de protecție necesare, de tipul celor fabricate de firma americană "BINKS INTERNATIONAL S.A." sau conform catalogului "J.C.CONDENHOVE" din Austria. Prin această tehnologie se obțin elemente cu o dispersie uniformă a fibrelor de sticlă și deci cu proprietăți superioare. Această tehnologie se apreciază a fi cea mai potrivită [2]. Procesul de realizare a elementelor poate fi asemănător cu cel folosit la for-

marea prin contact, cu deosebirea că constituentii sînt introduși în tipar prin pulverizare, sau poate fi îmbunătățit prin realizarea amestecării compuşilor pe parcursul pulverizării, astfel ca în tipar să fie pulverizați constituentii gata amestecați. Acest ultim procedeu prezintă o mai mare productivitate și o mai bună îmbibare a fibrelor cu masa de bază. În acest caz, pasta de ciment sau betonul proaspăt sînt introduse în pulverizatorul pompei prin care urmează să fie pulverizate în tipar. Fibrele de sticlă se taie la lungimea dorită cu un pistol de tăiat a cărei gură de evacuare este astfel așezată încît să permită fibrelor de sticlă tăiate să se întîlnească cu pasta de ciment sau betonul proaspăt pe parcursul dintre pulverizator și tipar.

În fig.III.3 se prezintă pistolul de tăiat și pulverizat



și pulverizat fibre de sticlă realizat prin autoutilare.

Apa în exces poate fi extrasă prin sucțiune sau prin presare [58]. O sucțiune de 0,75 - 1,00 daN/cm² aplicată epruvetei îndepărtează în scurt timp excesul de apă.

În condițiile extragerii apei

Fig.III.3. Pistol pentru tăiat și pulverizat fibre de sticlă.

prin presare, tiparele sînt perforate, presarea amestecului trebuind să se facă cu o forță de 1,5 - 3,00 daN/cm². Această ultimă tehnică este mai eficientă, deoarece realizează o mai bună coeziune a amestecului, dar presa este costisitoare și se pot fabrica numai elemente plane [15].

Atît în cazul folosirii pulverizării cu sucțiune cît și a celei cu presare, elementele pot fi imediat decofrate după terminarea tehnologiei de fabricație și apoi păstrate în condiții normale de întărire.

Formarea prin pulverizare permite realizarea de elemente cu grosimi de 10 - 15 mm, portante sau neportante, precum și consolidarea unor construcții prin aplicarea unor straturi superficiale.

III.5. Tehnologia formării prin bobinare

Formarea prin bobinare se bazează pe bobinarea pe tiparul aflat în rotație a fibrelor lungi de sticlă sau a țesăturilor, concomitent cu pulverizarea pastei de ciment sau a betonului, compactarea realizându-se prin presare cu ajutorul unor valțuri.

Unele din variantele acestei formări este pulverizarea concomitentă, pe tiparul aflat în rotație, a fibrelor discontinue de sticlă și a pastei de ciment sau a betonului. În acest caz pe tipar se aplică la început o țesătură din fibre continue de sticlă, pe care apoi se pulverizează ceilalți constituenți [34].

Tehnologia prin bobinare se pretează pentru obținerea elementelor cilindrice, prismatice, plane și curbate [60]. Elementele cilindrice confecționate pe tipar, dacă se taie după generatoare în faza neîntărită și se desfășoară, pot lua orice alte forme dacă se așează pe un suport corespunzător. În acest caz, rezistențele la întindere a tuburilor sînt mari, deoarece fibrele sînt orientate pe direcția eforturilor de întindere [3].

III.6. Tehnologia formării continue (a laminării)

Formarea prin laminare constă în așezarea stratificată în tipare a pastei de ciment și a fibrelor lungi orientate, care în prealabil sînt trecute printr-o baie de ciment agitată cu aer sub presiune pentru a împiedeca segregarea cimentului și pentru a favoriza desfacerea rowingului din fibre de sticlă. La ieșirea din baie, fibrele se unesc și se introduc în tipar în mai multe straturi, făcîndu-se apoi compactarea.

Tehnologia se pretează pentru confecționarea elementelor cu pereți subțiri sau a unor elemente liniare cu profile transversale mici și de diferite forme, cum este cazul cercevelor pentru ferestre [83]. Prin simpla îndoire în stare neîntărită a unor elemente din acest material se pot crea profile de diverse tipuri similare celor metalice (corniere, U, T, și altele). De

altfel, plasticitatea inițială a masei de bază (pasta de ciment) permite realizarea unor forme complicate de produse din beton fibros.

III.7. Tehnologii de extragere a apei în surplus

din amestecurile proaspete

III.7.1. Caracteristicile betonului fibros proaspăt.

Betonul proaspăt este caracterizat atât de particularitățile fibrei de sticlă, cât și de tehnologia de încorporare a acesteia.

Fibrele conținute în amestecul de bază se consideră ca incluziuni cu o suprafață specifică mare, ceea ce determină reducerea apei libere disponibilă pentru lucrabilitatea amestecului proaspăt. Pentru a îmbunătăți caracteristicile de lucrabilitate ale betonului fibros proaspăt se poate mări cantitatea de apă liberă, care în cele din urmă se îndepărtează prin presare sau vacuumare, sau se introduc particole fin măcinate, cenușă de combustibili solizi sau alți pastifianți.

Amestecurile cu fibre îmbunătățesc considerabil coeziunea internă, determină o rezistență internă mărită, proporțional cu concentrarea fibrelor. Creșterea rigidității amestecului proaspăt implică o reducere a presiunii laterale pe cofraj și permite deci o decofrare timpurie.

Betonul fibros necesită, în general, o mai mare energie pentru compactare, comparativ cu betonul conventional. Se recomandă folosirea vibrării exterioare. Experiențele au dovedit că în tehnologia de pulverizare - vacuumare se realizează și o bună comportare a amestecului.

III.7.2. Tehnologia presării. În cazul extragerii surplusului de apă din amestecul cu fibre de sticlă prin presare, se folosesc tipare speciale, astfel executate încât supuse presării să permită evacuarea apei în surplus. Tiparul are prevăzut la partea inferioară o rețea rectangulară de canale destinate colectării surplusului de apă. Pentru a împiedeca în timpul presării antrenarea spre exterior a amestecului, se utilizează o hîrtie de filtra sau o pînză, care se interpune, împreună cu o sită metalică, între masa de amestec și fundul tiparului.

Experiențele efectuate, au evidențiat că pe măsura creșterii cantității de fibră de sticlă încorporată în amestec, creș-

te și cantitatea de apă reținută în amestec după îndepărtarea prin presare a surplusului de apă liberă [14]. Pe baza propriilor experiențe, s-a apreciat că în amestec rămâne, după presare, o cantitate de apă, determinabilă astfel :

$$a = a_{cN} + \frac{p'_{fg}}{100} \cdot a_{cN} \quad (\text{III.1})$$

unde : a este cantitatea de apă rămasă după presare;

a_{cN} - apa de consistență normală;

p'_{fg} - cantitatea procentuală de fibre de sticlă raportată la greutatea liantului în stare uscată.

De asemenea, experiențele au condus la posibilitatea stabilirii cantității de apă folosită inițial pentru realizarea unui amestec ușor lucrabil. cantitate exprimabilă prin raportul A/C astfel :

$$\frac{A}{C} = 0.50 + 5 \frac{p'_{fg}}{100} \quad (\text{III.2})$$

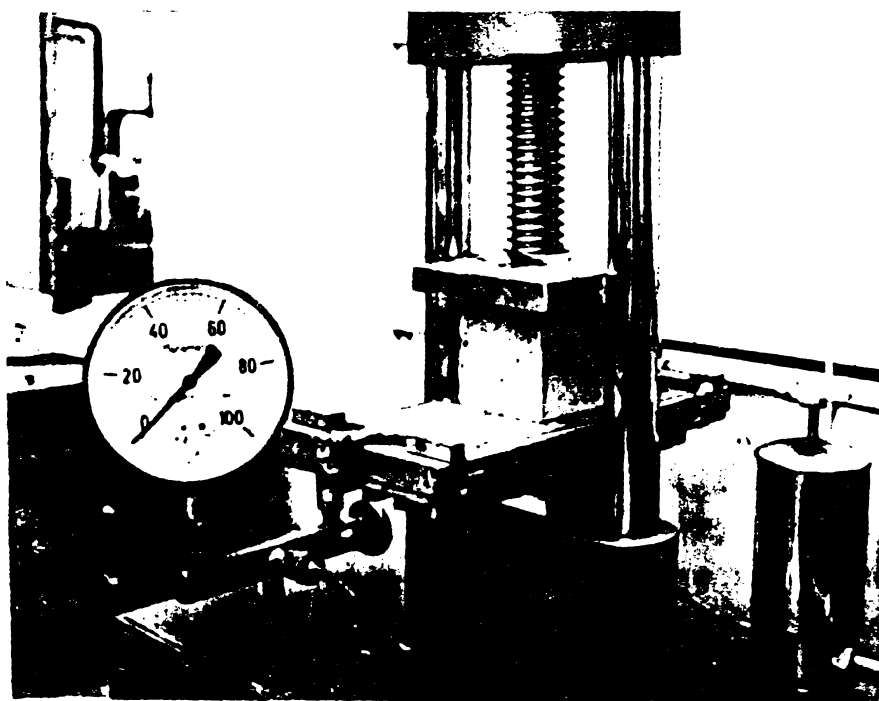


Fig.III.4. Extragerea apei în surplus prin presare.

În figura III.4, se prezintă un exemplu de îndepărtare a apei în surplus prin presare din produsele armate cu fibre de sticlă. Presarea se realizează cu o forță de 1,5 daN/cm², ceea ce asigură îndepărtarea apei în surplus.

III.7.3. Tehnologia vacuumării. Extragerea surplusului de apă prin vacuumare folosește o instalație de vacuum [90]. În acest scop s-a realizat prin autoutilare o instalație de vacuumare [33], care cuprinde : panoul de vacuum, conductele de legă-

tură între panoul de vacuum și pompa de vid, separatorul de apă și praf, compensatorul de presiune. În fig.III.5 este redată o schiță a instalației de vacuum realizată în cadrul Laboratorului de Beton Armat din Timișoara.

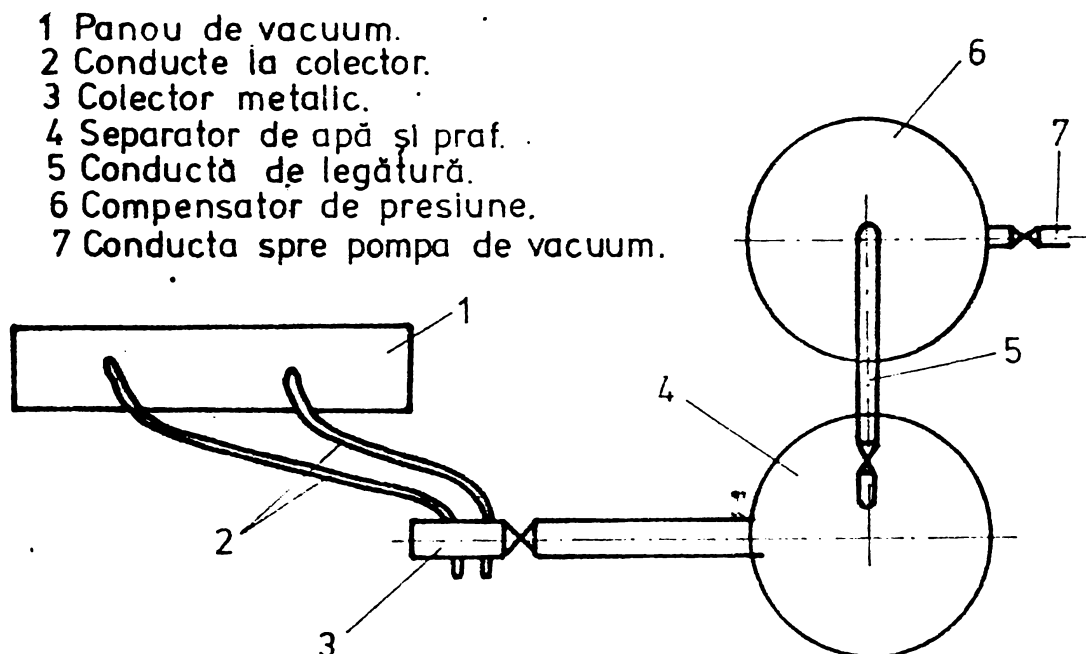


Fig.III.5. Schema instalației de vacuum.

În toată această instalație, de la panoul de vacuumare la pompa de vid, se crează o subpresiune de maxim 1 atm, deci toate îmbinările și legăturile instalației sînt etanșe.

Panoul de vacuum este realizat dintr-un suport rigid sau flexibil, prevăzut la partea inferioară, cu camera de vacuum. Camera de vacuum este la rîndul ei formată din spațiul cuprins între suportul panoului de vacuum și suprafața betonului care urmează a fi vacuumată. Acest spațiu se impune să fie de asemenea etanș, deoarece prin pompa de vid în acest spațiu se dezvoltă o subpresiune. Camera de vacuum este alcătuită din 3 plase (straturi) filtrante, conform detaliului din fig.III.6. Plasele trebuie să fie drepte, plane, întinse și fixate de conturul suportului panoului de vacuum.

Conduțele de legătură între panoul de vacuum și pompa de vid se referă la conducte care unesc panoul de vacuum cu colectorul metallic, conducta de legătură între separatorul de apă și praf și compensator și conducta spre pompa de vid, specifica-

te și în fig. III.5.

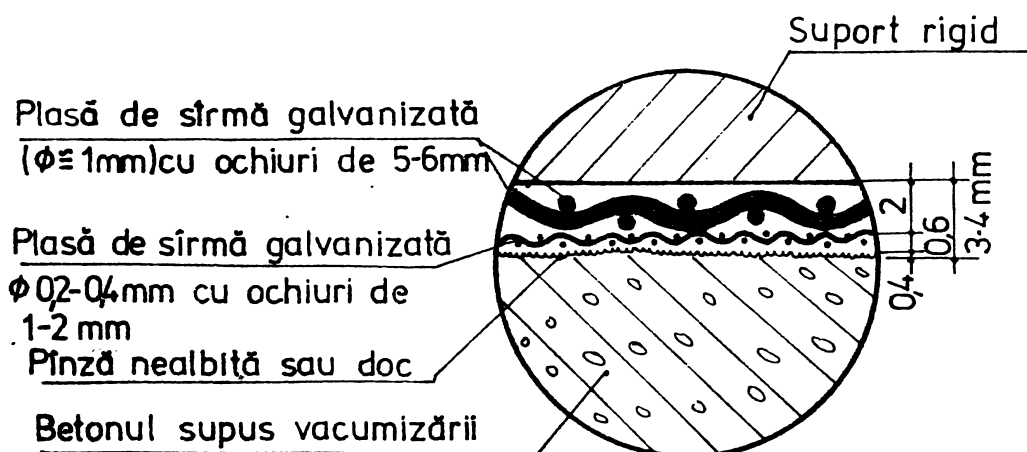


Fig. III.6. Detaliu - camera de vacuum.

Separatorul de apă și praf este un vas închis cu pereți din poliesteri armați cu fibre de sticlă. Separatorul este prevăzut cu un vacuometru.

Compensatorul de presiune este un vas închis cu pereți realizați tot din poliesteri armați cu fibre de sticlă. La interior se creează un vid de maxim 1 atm. Compensatorul este de asemenea prevăzut cu un vacuometru.

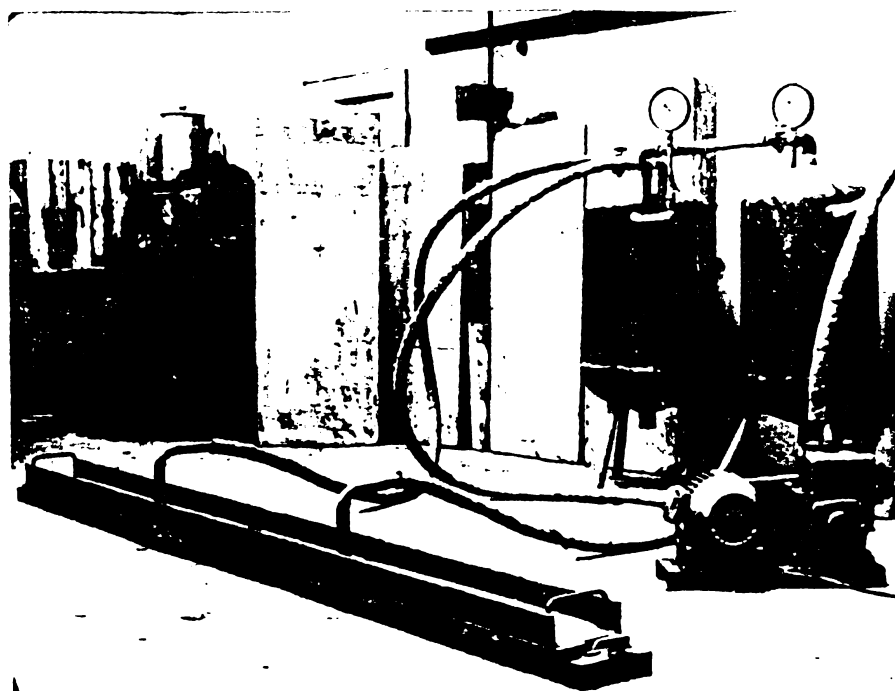


Fig. III.7. Ansamblul instalației de vacuum. te cu fibre de sticlă.

În fig. III.7 se prezintă întregul ansamblu al instalației de vacuum realizată prin autoutilare. Experimentele efectuate cu această instalație au dat rezultate bune, reușindu-se extragerea apei în surplus din betoanele arma-

III.8. Ingrijirea ulterioară a produşilor armaţi cu fibre de sticlă

Ingrijirea în perioada de întărire are o influenţă foarte mare asupra rezistenţei produsului finit. Condiţiile optime pentru întărirea produşilor realizaţi din pastă de ciment sau beton şi fibre de sticlă sînt : umiditate mare şi temperatură + 15°C. Din aceste motive, după confecţionare, produsele se acoperă cu cîrpe umede, iar după 24 ore se introduc pentru o perioadă de 3 zile în apă, sau dacă aceasta nu e posibilă se udă de 3 ori pe zi, restul timpului puţinînd fi păstrate în condiţii medii de temperatură şi umiditate. Umiditatea ridicată din primele zile are mare importanţă, deoarece elementele fiind, în general, foarte subţiri, tendinţa de evaporare a apei creşte şi hidratarea cimentului ar putea fi încetinită sau chiar oprită.

În cazul produşilor realizaţi cu ciment magnezian şi ipsos se impun alte cerinţe. În aceste cazuri, umiditatea are influenţe negative asupra rezistenţei, motiv pentru care elementele sînt supuse chiar uscării în camere speciale.

CAP. IV. STRUCTURA SI PROPRIETATI

=====

IV.1. Structura betonului obișnuit

IV.1.1. Particularitățile ruperii betonului. Structura betonului obișnuit, în general, este bine cunoscută : în mod practic betonul este un conglomerat alcătuit din agregate, legate între ele prin piatra de ciment. Deoarece în structura sa betonul, pe lângă piatra de ciment și agregate, mai conține și goluri (pori, micropori, microfisuri, canale capilare), aer, apă liberă și legată fizic, el este un material cu un grad sporit de neomogenitate și care deci nu poate fi considerat un mediu continuu și omogen.

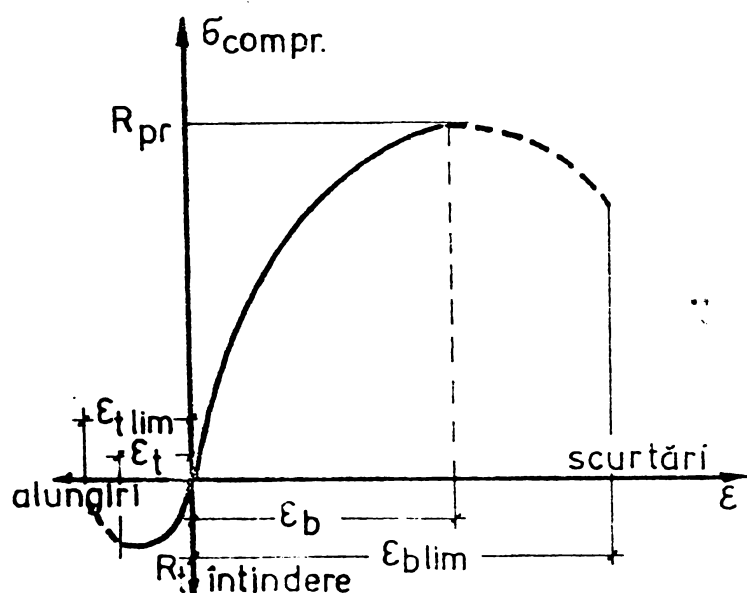
Sub acțiunea factorilor interni și externi, structura betonului se modifică continuu în timp, ca urmare a modificării structurii pietrei de ciment. Astfel, reacțiile de durată ale cimentului cumapa determină o continuă creștere a compactității și rezistenței, cum și o îmbătrânire și chiar cristalizare a gelurilor. Variația temperaturii și umidității mediului exterior determină apariția microfisurilor sau a fisurilor din piatra de ciment. Prezența agregatelor, necesitând o cantitate mai mare de apă de amestec, crează posibilitatea formării unor goluri suplimentare ca urmare a granulozității agregatelor, apa liberă în plus eliminându-se în cele din urmă.

Din punct de vedere static, structura betonului poate fi imaginată ca o rețea spațială cu un grad foarte mare de nedeterminare, în care elementele componente, având rigidități diferite, sub acțiunea solicitărilor se încarcă și se deformează compatibil cu legăturile din rețeaua structurală, eforturile și deformațiile fiind continuu redistribuite ca urmare a deformațiilor plastice, a modificării legăturilor prin apariția și dezvoltarea microfisurilor sau a modificării însăși a intensității eforturilor [71].

Proprietățile reale ale betonului obișnuit, definitive în timp prin procese intime fizico-mecanice, caracterizează așa dar o structură neomogenă, anizotropă și cu proprietăți deformative elastico-vâscos-plastice.

Comportarea betonului la acțiunea încărcărilor axiale exterioare, aplicate static și de scurtă durată, și legătura

dintre eforturi unitare și deformații specifice sînt redată în figura IV.1, în care se evidențiază particularitățile deforma-tive elasto-vîscos-plastice ale betonului. Funcția efort unitar- deformație specifică obținută pe cale experimentală pen-tru compresiune și întindere, este o curbă a cărei curbură de-pinde de viteza de încărcare și de proprietățile fizico-mecani-ce ale betonului [13]. Betonul, fiind un material casant, are deformații specifice limită mici, 1 - 3 mm/m la compresiune și 0,10 - 0,15 mm/m la întindere.

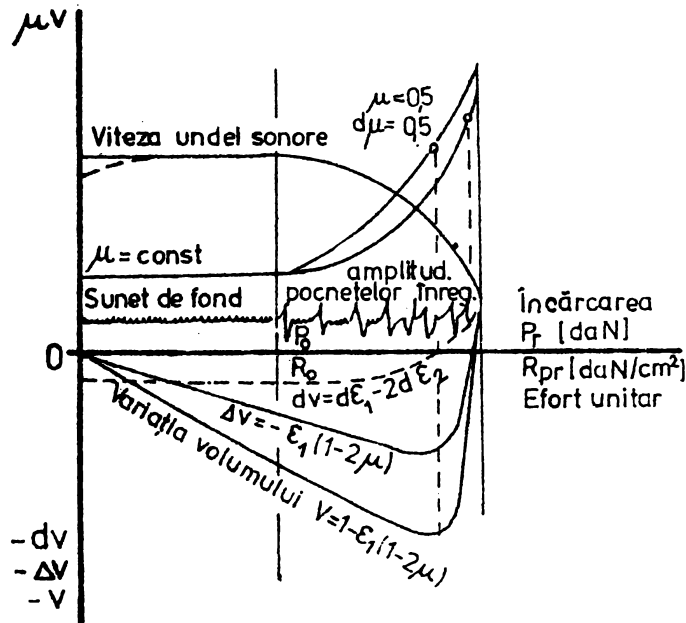


În ceea ce pri-vește particulari-tățile ruperii be-tonului, ele sînt complexe, datori-tă proprietăților sale elasto-vîs-cos-plastice și a neomogenității ma-terialului [45]. Dintre teoriile de rupere cunoscute, se apreciază că te-oriile structurale cînt cele mai adec-vate, ținînd cont de necesitatea cu-

Fig.IV.1. Curba caracteristică a betonului.

noașterii stării de eforturi din beton în vederea transformării acestuia - ca urmare a încorporării fibrelor de sticlă - într-un produs cu caracteristici superioare. Teoriile structurale de ru-pere ale betonului consideră că ruperea se produce prin smulgere prin decoeziune după direcția alungirii maxime și că are un ca-racter treptat, demonstrat prin : măsurarea deformațiilor longi-tudinale și transversale; a variației coeficientului deformației transversale; a vitezei impulsurilor ultrasonice prin beton și studierea variației de volum a probei în timpul încărcării. Se desprinde concluzia că ruperea este precedată de procesul de mi-crofisurare, care începe la o treaptă de încărcare corespunză-toare unui efort cuprins între 0,50 - 0,75 din efortul de rupere în funcție de marca betonului [13].

In figura IV.2. este prezentat procesul de microfisurare la compresiune monoaxială, precum și modificările pe care le



provoacă deformațiile longitudinale (ϵ), variația coeficientului lui Poisson (μ) și variației volumului. Se desprinde concluzia că ruperea se produce abia după depășirea rezistențelor betonului în toate volumele elementare, ceea ce indică pînă în acest stadiu posibilitatea retransmiterii eforturilor, ca urmare a apariției

Fig. IV.2. Sinteza procesului microfisurării betonului. deformațiilor plastice de care este capabil betonul, că ruperea are un caracter treptat.

Este important ca, ținînd cont de modul de apariție și dezvoltare a microfisurilor din procesul ruperii, să se găsească căi de întîrziere a apariției lor, creînd astfel posibilitatea utilizării mai eficiente a structurii betonului.

Cercetările efectuate de A. Mihul [71] asupra structurii betonului evidențiază influența determinată a concentrărilor de tensiuni asupra caracterului ruperii. Astfel, sub acțiunea încărcărilor, în structura betonului obișnuit apar importante concentrări de eforturi, atît ca urmare a proprietăților diferite ale materialelor componente, cît și mai ales a prezentei defectelor de structură (goluri, pori, etc.), ceea ce poate conduce la depășirea de cîteva ori a valorii medii a eforturilor; se obține totodată o imagine mai clară asupra comportării betonului.

In cazul elementelor întinse centric, concentrările de eforturi apar în secțiuni normale direcției forței, prin formarea unor vîrfuri de tensiuni a căror valoare, mai mare decît valoarea medie, determină în cele din urmă apariția și dezvoltarea

microfisurilor. Vîrfurile de tensiuni apar în vecinătatea porilor, a golurilor și a granulelor de agregat, adică în zonele slăbite ale secțiunii transversale, a căror intensitate crește odată cu formarea microfisurilor. Asadar, defectele de structură sînt hotărîtoare în cazul eforturilor de întindere, atît pentru formarea primelor microfisuri cît și pentru autoaccelerarea creșterii lor. Incluziunile din fibre de sticlă, agregatele și alte elemente, care pot prelua întinderile, joacă un rol important în acest proces, putînd întîrzia apariția și dezvoltarea microfisurilor. Microfisurarea este oprită în momentul în care concentrările de eforturi pot fi redistribuite prin noile componente structurale, cu o bună aderență la piatra de ciment.

În cazul elementelor supuse la compresiune monoaxială centrică, comportarea este condiționată în principal de apariția și dezvoltarea alungirilor transversale, care produc dislocarea structurii betonului. Microfisurile pot apărea în zonele unde concentrările eforturilor de întindere vor fi maxime și rezistența materialului minimă. Astfel de zone sînt întîlnite frecvent în dreptul legăturii agregatului cu piatra de ciment, în dreptul defectelor de structură, a golurilor și microfisurilor, ultimile fiind hotărîtoare. Astfel, în vecinătatea porilor, a golurilor și a agregatelor apar concentrări de eforturi de compresiune, dirijate după direcția forței, și de întindere dirijate perpendicular pe direcția forței. Cele mai periculoase sînt eforturile de întindere, ele reprezintă cauza principală a apariției microfisurilor, care, spre deosebire de elementele întinse centric, nu sînt influențate de forma golurilor [71]. De asemenea, apariția, dezvoltarea și îndeșirea microfisurilor provocate de eforturile transversale de întindere nu pot conduce la acțiuni autoaccelerate în lanț, așa cum se poate întîmpla la elementele întinse centric. Din acest motiv, cedarea elementelor comprimate axial are un caracter mai lent față de cazul întinderii axiale. Dispunerea unei armături din fibre de sticlă, orientată haotic în planuri perpendiculare pe direcția forței axiale de compresiune, permite preluarea acestor întinderi și deci creșterea capacității de rezistență a elementelor.

Asadar, cunoașterea caracterului ruperii, a modului de apariție și dezvoltare a microfisurilor în funcție de structura betonului în continuă transformare, permite orientarea preocupă-

rilor în ceea ce privește îmbunătățirea structurii betonului, către crearea unui beton mai omogen, mai izotrop și mai elastic decât cel clasic. În acest sens, armarea cu fibre de sticlă rezistente în mediul alcalin al cimentului portland hidratat, permite realizarea unor betoane superioare [30].

IV.1.2. Deformațiile plastice ale betonului. Cercetările efectuate au arătat că numeroase fenomene importante, care determină caracteristicile materialului, iau naștere treptat în volumele microscopice ale corpurilor [23]. Distrugerea în sens fizic constă în desfacerea unele de altele a părților unui corp, făcându-se distincție între ruperea sub acțiunea eforturilor normale fără apariția deformațiilor plastice și ruperea sub acțiunea eforturilor tangențiale pe platforme oblice. Funcție de corelarea valorilor rezistențelor la rupere și la forfecare, poate să apară ruperea casantă sau vîscoasă. Așa cum s-a mai arătat, o mare influență în problema rezistenței o au defectele structurii materialului, modul de dispunere a fisurilor. Astfel, procesul rupei casante și a celei vîscoase reprezintă procesul formării microfisurilor, orientate, în momentul apariției lor, normal pe direcția tensiunilor de întindere maxime (cazul întinderii monoaxiale). În cazul compresiunii, procesul de rupere este mai complex, observîndu-se la început o micșorare a volumului, apoi o revenire și chiar creșterea volumului aparent la încărcări mai mari. Aceasta este explicată prin compromiterea compactității corpurilor și prin apariția fisurilor de rupere, ca urmare a concentrării eforturilor datorită neomogenității materialului.

Deformațiile remanente ale betonului sînt caracterizate de multe ori drept deformații plastice, fără compromiteri microscopice ale compactității, deși în cazul compresiunii ele sînt provocate inițial de compromiteri microscopice ale compactității materialului. Deformațiile remanente ale betonului peste limita de microfisurare (R_0) se pot numi deformații plastice de tipul 2, caz în care microfisurile sînt ireversibile și deci nu pot reveni ca în cazul deformațiilor plastice de tipul 1.

Deformațiile de curgere lentă nu sînt însoțite de distrugerea structurii. ele influențează asupra curburii diagramei caracteristice a betonului încă de la trepte mici de încărcare.

În fig. IV.3 sînt prezentate componentele elementare ale deformației complete a betonului, adică deformațiile elastice (a),

deformațiile de curgere lentă (b), deformațiile plastice de tipul 2 (c) și deformațiile pseudoplastice (d), care se produc cu viteză mare și reprezintă partea descendentă a curbei.

Datorită deformațiilor limită mici, betonul se rupe ca un material casant. Caracterul ruperii deosebește materialele plastice de cele casante. În cazul materialelor plastice, este necesară, pentru rupere, cheltuirea unui lucru mecanic mult mai mare ca pentru cele casante. Materialele plastice se comportă aproape identic la întindere și compresiune, iar cele casante au rezistențe mari la compresiune și mici la întindere. Materialele plastice sînt mai puțin sensibile la solicitări locale ca cele casante, de aceea plasticitatea este o proprietate de dorit a materialelor și se poate tinde către ea în condițiile betonului fibros.

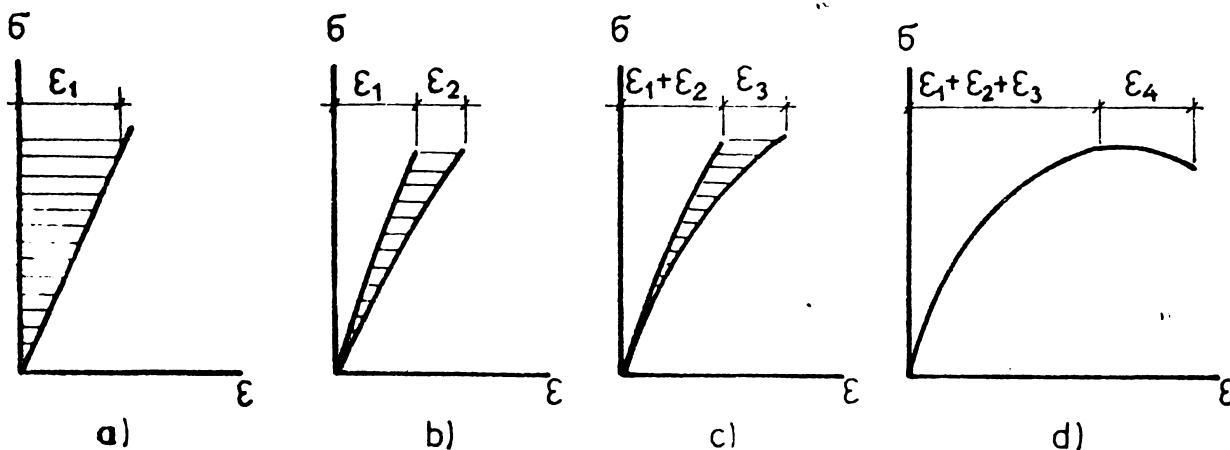


Fig. IV.3. Componentele elementare ale deformației complete a betonului.

IV.2. Structura betonului armat cu fibre de sticlă

Ca la orice alt material, și la betonul armat cu fibre de sticlă, înțelegerea comportării trebuie să se bazeze pe studierea structurii sale. Astfel, pe lângă caracteristicile proprii ale fibrelor de sticlă și ale matricei (a masei de bază), trebuie avute în vedere și caracteristicile de interacțiune între fibrele de sticlă și matrice, care vor influența microstructura, procesul de microfisurare și de rupere a materialelor compozite armate cu fibre de sticlă.

IV.2.1. Definiția betonului armat cu fibre de sticlă.

Betonul armat cu fibre de sticlă (B.A.F.S.), este rezultatul încorporării în masa de bază (matrice) a fibrelor de sticlă alcalo-rezistente. Matricea poate fi realizată din cimenturi hidraulice, cu sau fără agregate. În cazul când matricea este realizată numai din piatră de ciment, produsul obținut se va numi "ciment armat cu fibre de sticlă" (C.A.F.S.). B.A.F.S. îmbină marea rezistență la întindere a fibrei de sticlă cu marea rezistență la compresiune a matricei pe bază de ciment, rezultând caracteristici fizico-mecanice intermediare între cele ale componentelor [19].

B.A.F.S. și C.A.F.S. sînt așadar materiale fibratate artificial, fibrarea fiind determinată de tehnologia de încorporare a fibrelor. Se încearcă și folosirea prescurtată a celor două denumiri sub forma de beton fibros și ciment fibros [29].

IV.2.2. Caracteristici ale matricei. Rolul principal al matricei este de a lega fibrele, de a le proteja și de a participa la transferul efortului la și de la fibre.

Matricea realizată din beton obișnuit sau piatră de ciment obișnuită, se caracterizează prin durabilitate, prin rigiditate, prin deformații limită la rupere foarte mici, mai mici decît deformația limită a fibrelor de sticlă. În aceste condiții sub încărcări, dincolo de limita de elasticitate a materialului compozit, amestecul prezintă fenomenul de microfisurare multiplă a matricei. Incluziunile de polimeri în masa de bază pot îmbunătăți particularitățile deformative ale acestuia și deci de a atenua fenomenul de microfisurare multiplă [80].

În condițiile utilizării ca liant a cimentului portland, matricea devine foarte alcalină. Fibrele de sticlă, în aceste condiții, trebuie să fie rezistente la alcalii, altfel ele sînt atacate chimic și suferă pierderi în rezistență.

Matricea poate fi îmbunătățită și prin adausuri dozate de nisip sau materiale puzzolanice. Aceste adausuri pot controla, alături de alegerea unor rapoarte optime A/C, deformațiile din contracție și dilatare a matricei.

IV.2.3. Particularități microstructurale. În cazul C.A.F.S., structura se formează din fibre de sticlă și pasta de ciment în curs de întărire, precum și din interacțiunea lor. C.A.F.S. este un material compus, în care fibra de sticlă este

folosită pentru a da rezistență matricii fragile. Este important de a realiza o încorporare uniformă a fibrelor în masa amestecului, pentru a se realiza un contact maxim între fibrele de sticlă și liant.

Rolul armăturii sub formă de fibre de sticlă este de a împiedeca propagarea fisurilor, de a spori rezistența la întindere și energia de rupere și a asigura un grad mare de ductilitate în comportarea materialului. Prezența fibrelor în zonele fisurate ale materialului de bază permite menținerea legată a materialului și conferă rezistență în aceste zone. În acest scop încorporarea a 5 - 10 % fibre de sticlă din volum satisfac necesitățile.

Caracteristicile microscopice ale pietrei de ciment permit identificarea unei structurii poroase, care se modifică în timp datorită continuei hidratări a cimentului. Ca și betonul, piatra de ciment conține microfisuri orientate întâmplător. Con tracția diferită a pietrei de ciment, precum și prezența de particole de ciment nehidratate sau de aditivi, ca nisip, condiționează mărimea și densitatea fisurilor. Ruperea pietrei de ciment este rezultatul formării și dezvoltării microfisurilor care se propagă în material.

Urmare a prezenței golurilor, incluziunilor și a microfisurilor, relația dintre efortul unitar și deformația specifică a pietrei de ciment (σ - ϵ) devine neliniară, adică rezultă că piatra de ciment, în opoziție cu fibrele de sticlă, nu posedă o curbă caracteristică stabilă ca urmare a structurii lui. Structura și comportarea materialului compozit este condiționată de asemenea și de aderența care se dezvoltă între fibrele de sticlă și piatra de ciment.

Deosebirea principală dintre materialele armate cu fibre de sticlă și celelalte materiale compozite constă în microstructura lor specială. Si anume, fasciculele de fibre, alcătuite din 204 filamente, nu reușesc să fie penetrate în totalitate cu produse de hidratare de la începutul procesului de hidratare a cimentului, fapt datorat și granulelor de ciment care sînt de multe ori mai mari decît distanța dintre filamente. În acest fel apar zone cu o concentrare neuniformă de fibre de sticlă. Zonele bogate în fibre sînt în general ovale în secțiune transversală. În cazul în care fasciculele sînt disperse, posibilitatea înglo-

bării lor pe întreaga circumferință în gelul fin de hidratare a cimentului este mai evidentă [51].

În timp, microstructura materialului se modifică. Dacă la 20 de zile în fascicul nu au pătruns încă produși de hidratare și acesta acționează ca un singur element de armate, după 6 - 12 luni produșii de hidratare pătrund în interiorul fasciculului, astfel că filamentele acoperite tind să acționeze ca armături independente și fasciculul se transformă de la o singură armătură la un element compozit în miniatură, ceea ce determină și creșterea suprafețelor de aderență [72].

După Bache [21], cu timpul, în condițiile de păstrare în apă și temperaturi ridicate, golurile interstițiale se umplu cu material cristalin de hidroxid de calciu pur. Umplerea golurilor cu aceste cristale, în condițiile utilizării cimentului portland, se realizează practic fie prin prinderea lor de pereții golului cu tendința de înaintare spre centrul golului, fie prin prinderea lor de suprafața fibrelor de sticlă cu tendința de înaintare înspre interiorul suprafeței. Viteza de înaintare a dezvoltării cristalelor în spațiile interstițiale crește la temperaturi mari și în condițiile păstrării în apă.

IV.2.4. Aderența dintre fibre și matrice. Pentru a obține un material fibros cu bune proprietăți fizico-mecanice, este necesar a realiza o bună compatibilitate mecanică și chimică între fibrele de sticlă și matrice. În cazul betonului armat cu fibre de sticlă, se constată o bună compatibilitate în ceea ce privește dilatația termică a celor două materiale, betonul și fibrele de sticlă [68], [61].

După cum s-a mai arătat, matricea are rolul de a transmite încărcările exterioare fibrei. Aceasta necesită însă un contact strâns între fibre și matricea de beton. La betonul cu fibre de sticlă acest lucru este îngreunat de faptul că mortarul de ciment conține o suspensie de particule de ciment, care, comparativ cu diametrul fibrei, sînt relativ mari. Aderența necesară între fibre și matrice se poate realiza prin produsele de hidratare, care însă ating fibrele de sticlă numai local. Unele cercetări arată că acest contact local (punctual) sau numai pe anumite intervale între fibră și matrice duce la o rezistență ridicată la șoc a materialului compozit [58].

Cercetări detaliate în domeniul aderenței dintre fibrele

de sticlă și matricea de ciment au fost efectuate de De Vekey și Majumdar [41], [42]. Rezultatele cercetărilor au arătat că aderența între fibra de sticlă și piatra de ciment este de același ordin de mărime ca și cea dintre oțel și piatra de ciment. Se arată de asemenea, că de același ordin de mărime este și aderența dintre fibrele de sticlă E și ipsos, dar că ea este condiționată însă de raportul apă/ipsos.

Un aspect important al aderenței dintre fibra de sticlă și matricea de ciment portland este legat de modificările structurale în timp, de creșterea în timp a aderenței. Această dependență de timp a fost studiată [41] pe o fibră în diferite condiții de mediu, rezultatele fiind prezentate în fig.IV.4. Dacă raportul apă/ciment al matricei variază, se schimbă și porozitatea și mărimea efortului de aderență. În cazul când elementul de armare este un fascicul, aderența se va referi la legăturile multifilamentare ale fibrelor de sticlă.

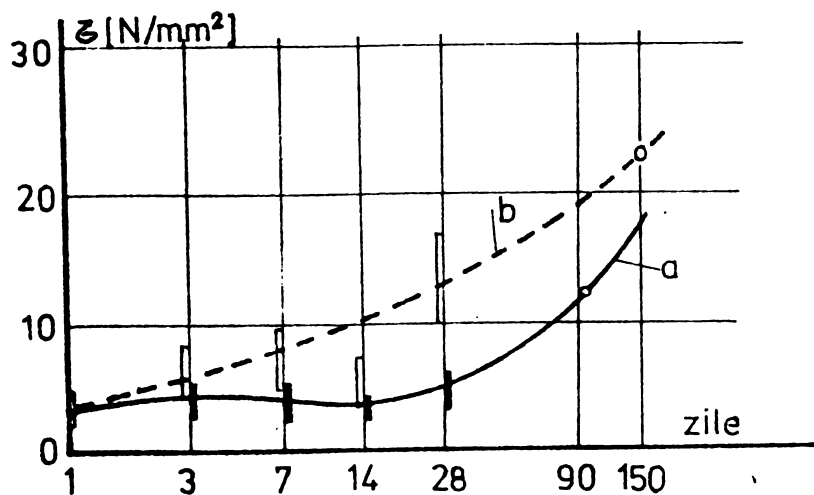


Fig.IV.4. Variația efortului unitar de aderență la o fibră de sticlă alcalo-rezistentă într-o matrice de ciment portland : a - în apă; b - în aer.

poate explica prin depunerea produsilor de hidratare sau prin reacții în stratul exterior al sticlei, ca urmare a atacului pe care în exercită ioni de OH asupra sistemului Si-O din fibre [64].

În condițiile examinării unor fascicule încorporate, teste efectuate la 1 și 3 luni au arătat o creștere liniară a încărcării de smulgere cu lungimea de încastrare a fibrelor pînă

In fig.IV. 5 este prezentată variația în timp a efortului unitar de aderență pentru fascicule de sticlă E și fascicule de sticlă alcalo-rezistente "AR" [41]. Creșterea aderenței odată cu vîrsta se

cînd acestea nu depășesc o anumită valoare [75]. Ruperea fibre-

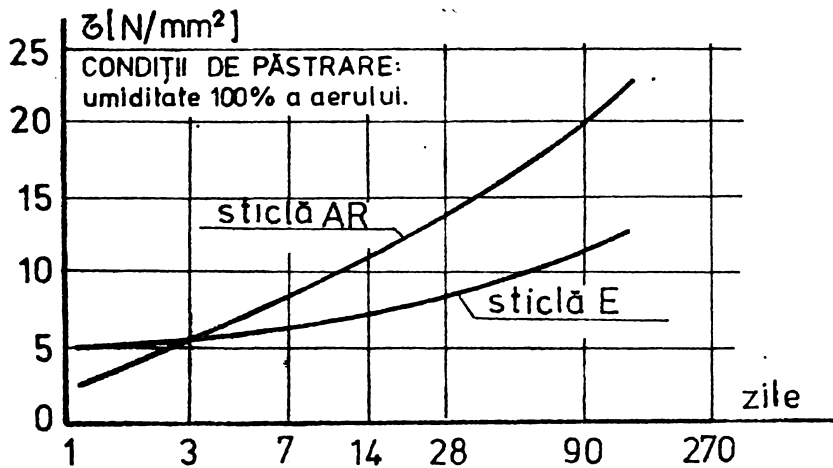


Fig. V.5. Variația în timp a efortului unitar de aderență.

lor apare pentru lungimi de încastrare mai mari de 13 mm. Efortul unitar de aderență, determinat pe baza măsurării suprafeței fibrei, a rezultat abea la 1,1 N/mm², mult mai mic decât cel dat în fig. IV.5.

valoare însă apropiată de datele exprimate de Pell [78] pentru sticlă rezistentă la alcalii, înglobată în matrice de ciment portland și păstrată în mediu uscat. Lungimea critică a fibrei va fi de două ori lungimea de aderență [52], [56], adică cel puțin 26 mm, ceea ce corespunde cu datele furnizate de Bartos [22].

Rezistența fasciculelor de fibre de sticlă în matricea de ciment scade de la 1450 - 1750 N/mm², la 1200 - 1300 N/mm² în primele 24 ore, apoi se stabilizează practic la aceste valori [62]. Fibrele de sticlă se vor rupe atunci cînd lungimea lor efectivă va fi mai mare ca lungimea critică, adică raportul de aspect $l_0/d \geq 100$ și se vor smulge din matrice cînd această condiție nu este îndeplinită.

IV.2.5. Condiția de formare și propagare a fisurilor.

Unul din cele mai importante efecte ale încorporării în beton a fibrelor este mărirea rezistenței la fisurare a produsului compozit. Romualdi și Batson [86] au relevat acest efect, arătînd că fibra rezistentă descarcă parțial materialul de bază, astfel că pentru fisurare și propagarea fisurilor sînt necesare eforturi mai mari.

Formarea primelor fisuri în materialul de bază (în matrice) cu posibilități de propagare în jurul fibrelor, care pentru idealizare se consideră continue și paralele cu direcția eforturilor, vor elibera local o anumită energie elastică încorporată în materialul de bază. Fisurile vor dezvolta de asemenea zone de

rupere prin alunecare de-a lungul fibrelor și astfel vor avea o alunecare "plastică", ceea ce va mări energia elastică înmagazinată în zonele înconjurătoare armate, vor forma de asemenea suprafețe noi în materialul fisurat și în fine datorită conlucrării sporite dintre masa de bază și fibre, încărcările aplicate vor produce eforturi suplimentare în materialul compozit.

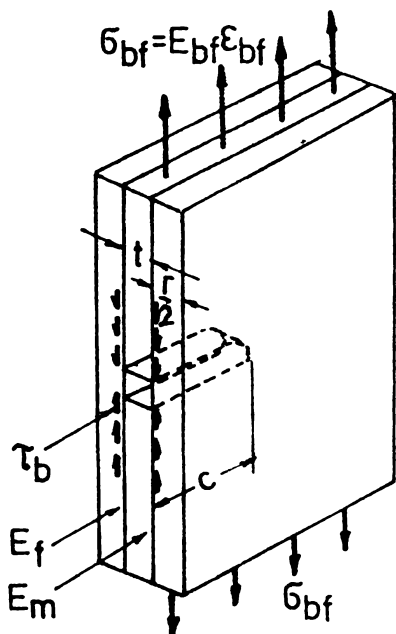


Fig.IV.6. Element tri-strat cu fibre continue reprezentând detaliile pentru fisuri ce nu se propagă în elemente compuse elastice.

tic de alunecare, energia suplimentară elastică înmagazinată în porțiunile suprasolicitate ale armăturii și energia suprafețelor rupte, pot fi ușor stabilite [10] și din schimbul total de energie liberă ΔG pentru elementul din fig.IV.6, cu o fisură de lungime totală c , fisura va apărea când :

$$\left(\frac{\partial \Delta G}{\partial c} \right)_{\epsilon_{bf}} = 0, \quad (IV.1)$$

unde : ϵ_{bf} este deformația specifică a materialului compozit.

Fisurile în materialul de bază nu se vor putea propaga înainte ca efortul în element să atingă valoarea :

$$\sigma_{bf} = E_{bf} \epsilon_{bf} \quad (IV.2)$$

Pentru descrierea cantitativă a acestui proces se consideră modelul teoretic din fig.IV.6, unde matricea de volum V_m cu modulul E_m este cuprinsă într-un strat interior, iar armătura este reprezentată ca două straturi de suprafață simetrice, cu volumul V_f și modulul E_f . În condițiile unui volum unitar, V_f devine coeficient de armare volumic μ_{fv} , iar V_m devine $(1 - \mu_{fv})$. Rezultă că în regiunea unde a apărut fisura s-a dezvoltat o zonă de rupere între materialul de bază și armătură.

Toate componentele de energie și lucru mecanic, constînd din energia eliberată de materialul fisurat, lucrul mecanic suplimentar extern, lucrul mecanic plas-

Rezistența elementului dată de relația (IV.2) tinde către zero când procentul de fibre tinde către zero. În realitate, în acest caz, rezistența la întindere a elementului va fi rezistența betonului însuși (R_t).

Rezistența la prima fisură R_{tf} nu se consideră o simplă însumare a lui R_t și σ_{bf} , deoarece se consideră că fibrele nu modifică radical natura defecțiunilor; ca urmare această rezistență se consideră cea mai mare dintre cele două, adică :

$$R_{tf} = R_t \quad (\text{pentru } R_t > \sigma_{bf}) ; \quad (\text{IV.3.a})$$

$$R_{tf} = E_{bf} \cdot \epsilon_{bf} \quad (\text{pentru } R_t < \sigma_{bf}) . \quad (\text{IV.3.b})$$

Pentru eforturi inferioare lui $\sigma_{bf} = E_{bf} \epsilon_{bf}$, fisurile de orice lungime în materialul de bază, traversate de fibre nerupte, nu se vor propaga.

IV.2.6. Comportarea după fisurare. Matricea, în cazul cimentului sau al betonului armat cu fibre de sticlă, este ea însăși și un material compus din ciment, nisip și alte agregate și deci însăși matricea comportă o anumită variabilitate sub aspectul fisurabilității, diferitele zone ale matricei putînd fisura la diferite eforturi.

În pragul fisurării elementului compozit, când deformația specifică devine ϵ_{bf} , rezistența înaintea apariției primei fisuri se poate scrie :

$$R_{tf} = \mu_{fv} \epsilon_{bf} E_f + (1 - \mu_{fv}) \epsilon_{bf} E_m \quad (\text{IV.4})$$

După fisurare, rezistența materialului compozit este dată de rezistența fibrelor, adică va trebui ca :

$$\sigma_f > \epsilon_{bf} E_f . \quad (\text{IV.5})$$

Mai mult chiar, dacă se urmărește o anumită comportare după fisurare, rezistența fibrei trebuie să fie destul de mare pentru a suporta toată încărcarea fără aportul matricei, adică :

$$\sigma_f > \frac{E_{bf} \epsilon_{bf}}{\mu_{fv}} \quad (\text{IV.6})$$

În condițiile de mai sus, elementul compus va continua să suporte încărcări suplimentare odată cu fragmentarea progresivă a materialului de bază fragil. Acest proces este redat în modelul

din figura IV.7.

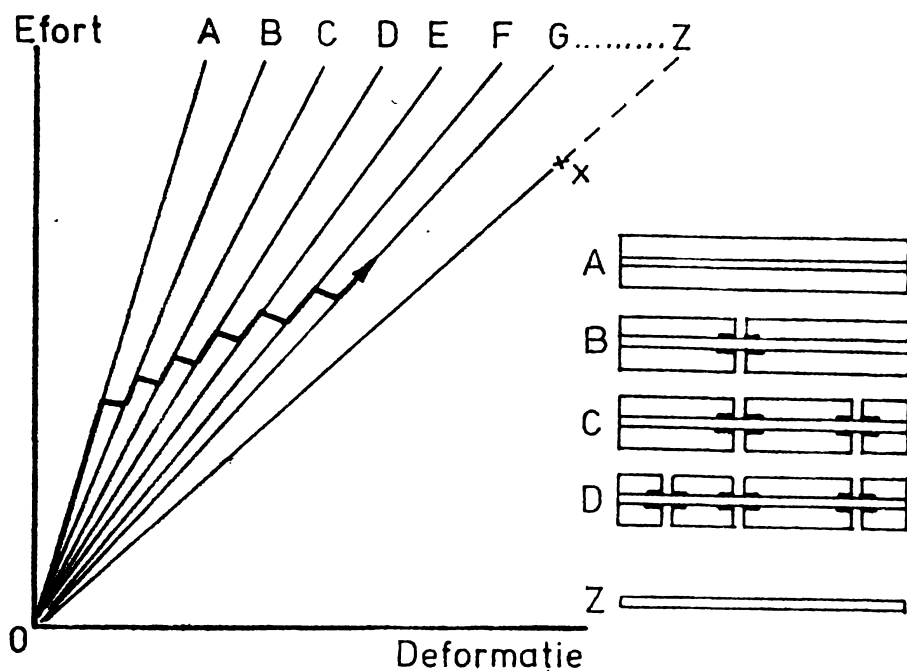


Fig. IV.7. Model de fisurare progresivă a unui element continuu, elastic fibros.

Modelul evidențiază următoarele stări de fisurare :

- starea A : elementul este încă intact, cu un modul de elasticitate mare, cu capacitatea de încărcare după linia OA;
- starea B : apare prima fisură, producând zona de rupere prin luncare, figurată prin linie groasă, cu reducerea modului de elasticitate după linia OB;
- starea C : apare o nouă fisură, după ce în prealabil are loc o ușoară creștere a încărcării aplicate, care produce o ușoară extindere în prima zonă de luncare de-a-lungul fibrelor lângă fisură, ceea ce face să crească tensiunea în restul materialului depărtat de zona fără efort pînă cînd apare noua fisură, rezultînd o nouă reducere a modului de elasticitate după linia OC. Procesul de fragmentare va continua sub acțiunea unei ușoare creșteri a încărcării, pînă cînd toate zonele de rupere se ating de-a-lungul fibrelor. După acest stadiu, modulul de elasticitate scade la valoarea sa minimă după linia OZ. Ruperea finală are loc în punctul

X cînd se atinge rezistența la rupere a fibrei.

IV.3. Particularitățile armării cu fibre

Betonul armat cu fibre de sticlă este un material compozit în care fibrele de sticlă au rolul de a mări rezistența matriței. Spre deosebire de masele plastice armate cu fibre de sticlă, unde fibrele de sticlă au rolul de a conferi proprietăți elastice matriței, în cazul betonului, matrița fiind fragilă, fibrele de sticlă au rolul de a împiedeca propagarea fisurilor. Fibra de sticlă, care este de trei ori mai elastică și de 300 ori mai rezistentă decît matrița de beton, este un material de armare ideal și se încorporează de la 5 % pînă la 10 % din volumul materialului.

Sub aspect structural, piatra de ciment se prezintă poroasă, proprietățile ei reologice evidențiindu-se odată cu vîrsta. Micșorarea volumului pastei de ciment, alături de prezența unor particole de ciment nehidratate sau nisip, determină mărirea și îndesirea porilor din structura amestecului. Fisurarea pietrei de ciment este considerată a fi urmarea creșterii și fuziunii încete a microfisurilor și porilor din structura amestecului. Prezența golurilor, a microfisurilor, face ca relația dintre efort și deformațe să fie neliniară și deci materialul nearmat nu poate fi folosit la încărcări de încovoiere sau ciclice.

În ceea ce privește fibra de sticlă, ea are bine definit modulul de elasticitate și prezintă o curbă caracteristică cvasiliniară pînă la rupere. Aderența dintre fibrele de sticlă și matrițe joacă un rol important în determinarea comportării produsului [62].

Microstructura betonului armat cu fibre de sticlă dezvăluie trăsături speciale, prin aceea că încorporarea fibrelor (fasciculelor) de sticlă prin pulverizare îngreunează sau chiar împiedică pătrunderea, între filamente, a granulelor de ciment a căror mărime medie este de 20μ ; în aceste condiții fasciculele de fibre rămîn separate de ciment, în straturi bogate așa cum este ilustrat în fig. IV.8. Regiunile bogate în fibre de sticlă sînt de forme ovale sau aproape dreptunghiulare în secțiune transversală și diapuse la întîmplare, în direcții diferite.

Microstructura betonului armat cu fibre de sticlă se mo-

difică odată cu vârsta. Astfel, la 28 zile produșii de hidratare încă nu pătrund practic în interiorul fasciculului de fibre și ca urmare fasciculul acționează ca un singur element de armare. După 6 - 12 luni, produșii de hidratare pătrund în interiorul fasciculului și astfel suprafața de aderență crește, toate fibrele individuale (filamentele) ale fasciculului fiind aderențe la matrice.

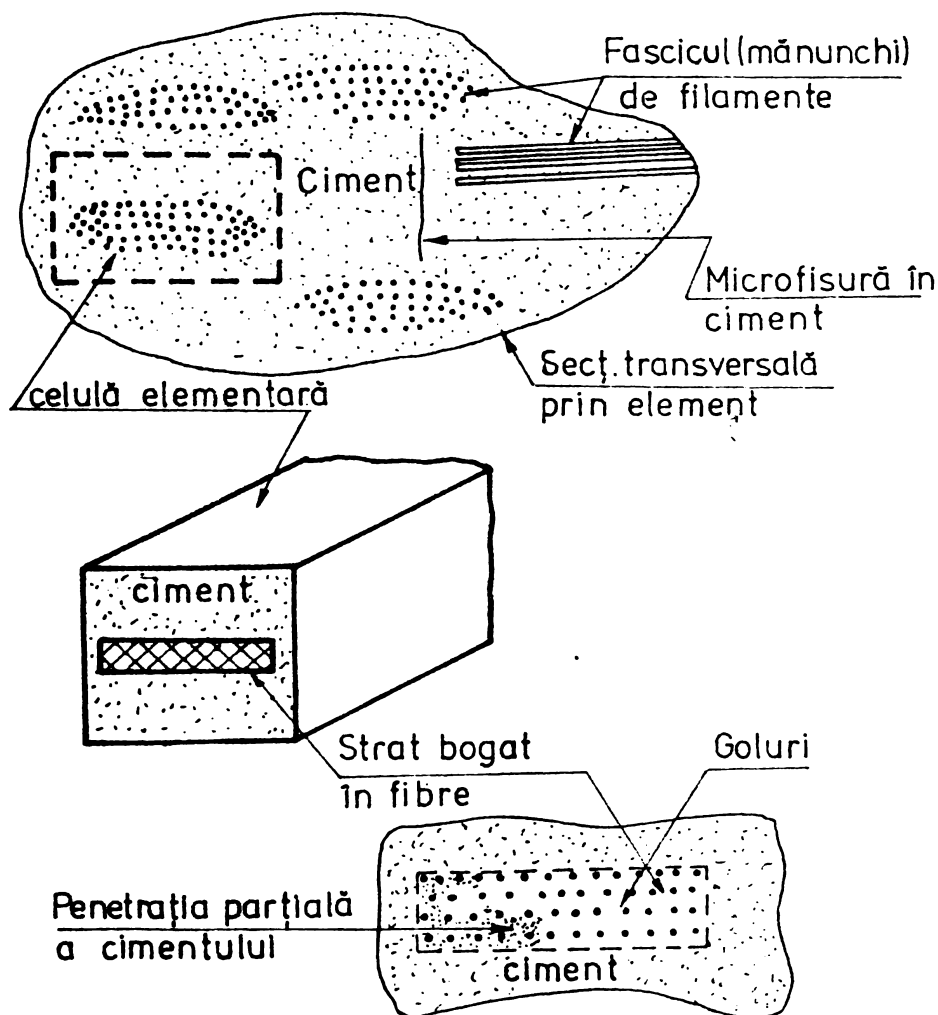


Fig.4.8. Celulă unitate de ciment armată cu fibre de sticlă

Studiul structurii betonului armat cu fibre de sticlă necesită studierea influenței următorilor factori : coeficientul de armare; lungimea și diametrul fibrelor; intervalul dintre fibre; dispersia fibrelor individuale (a filamentelor); factorul de filamentizare; factorul de eficiență al fasciculului și ori-

entarea fibrelor.

IV.3.1. Coeficientul volumic de armare cu fibre (μ_{fv}).

Coeficientul volumic de armare reprezintă fracțiunea de volum de fibre de sticlă cuprinsă în unitatea de volum a amestecului, adică :

$$\mu_{fv} = \frac{V_f}{V} \approx \frac{\sum A_f}{A}; \quad (IV.7)$$

$$\mu_m = \frac{V_m}{V} = 1 - \mu_{fv}, \quad (IV.8)$$

unde : V_f este volumul de fibre de sticlă;

V_m - volumul matricei;

V - volumul total al amestecului;

A_f - aria secțiunii transversale a fibrelor de pe o fațetă a volumului unitar;

A - aria unei fațete a volumului unitar.

Se obișnuiește să se folosească în practică noțiunea de procent volumic de armare cu fibre de sticlă, adică :

$$p_{fv} = 100 \mu_{fv} \quad (IV.9)$$

În cercetările proprii cantitatea de fibre de sticlă încorporată în amestec s-a raportat la cantitatea de liant în stare uscată. În aceste condiții, s-a folosit așa numitul coeficient gravimetric de armare cu fibre (μ_{fg}^*) și respectiv procent gravimetric de armare cu fibre (p_{fg}^*). Legătura între procentele volumice și gravimetrice este condiționată de compoziția matricei, cantitatea de fibre de sticlă încorporată influențând asupra structurii matricei și a caracteristicilor fizico-mecanice ale materialului compozit.

Ca urmare, în cazul elementelor armate cu fibre de sticlă, conținutul de fibre de sticlă poate fi exprimat procentual după cum urmează :

- în greutate (p_{fg}) și reprezintă greutatea totală a fibrelor de sticlă din greutatea produsului;
- în volum (p_{fv}) și reprezintă volumul total al fibrelor de sticlă din volumul total al produsului.

Notînd cu d_b , d_c , și d_g densitățile betonului matricei,

cimentului uscat și respectiv a sticlei, rezultă următoarele relații de legătură între p_{fv} , p_{fg} și p'_{fg} :

$$p_{fg} = \frac{d_f p_{fv}}{d_b(1 - p_{fv}) + d_f p_{fv}} ; \quad (IV.10)$$

$$p_{fv} = \frac{d_b p_{fg}}{d_f(1 - p_{fg}) + d_b p_{fg}} , \quad (IV.11)$$

unde :

$$p_{fg} = \frac{G_f}{G_t} \cdot 100 = \frac{p'_{fg} c \frac{1}{100}}{p'_{fg} \frac{c}{100} + c + m c + n c} =$$

$$= \frac{\frac{1}{100} \cdot p'_{fg}}{1 + m + p'_{fg} \cdot \frac{1}{100} + n} ; \quad (IV.12)$$

G_f este greutatea totală a fibrelor de sticlă;

G_t - greutatea totală a produsului compozit;

c - cantitatea de ciment folosită (în greutate);

m - raportul dintre cantitatea de agregat și cea de ciment (în greutate);

$a = (0,3 \dots 0,4 c)$ - cantitatea de apă reținută în final de material;

p'_{fg} - greutatea fibrelor de sticlă raportată la greutatea liantului în stare uscată (procentual).

În figurile IV.9 și IV.10 se prezintă dependența dintre procentele de armare p_{fv} , p_{fg} și p'_{fg} .

Din analiza diagramelor din fig. IV.9 rezultă că legătura între p_{fg} și p'_{fg} este dependentă de raportul agregat/ciment, putîndu-se lua în calcule următoarele valori medii :

- pentru ciment : $p_{fg} \cong 0,72 p'_{fg}$;

- pentru rapoarte agregat/ciment de 1/2 : $p_{fg} \cong 0,53 p'_{fg}$;

- pentru rapoarte agregat/ciment de 1/1 : $p_{fg} \cong 0,42 p'_{fg}$;

- pentru rapoarte agregat/ciment de 2/1 : $p_{fg} \cong 0,30 p'_{fg}$;

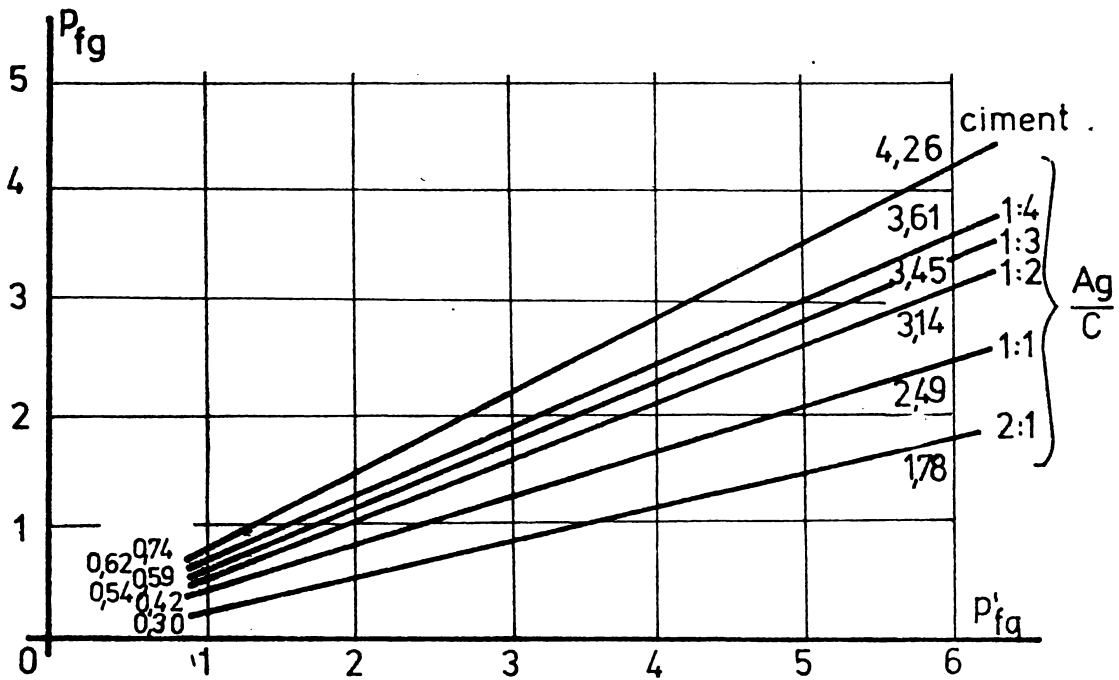


Fig.IV.9. Dependența dintre p_{fg} și p'_{fg} pentru diferite rapoarte agregat/ciment în condițiile acceptării unui raport final de $A/C = 0,35$.

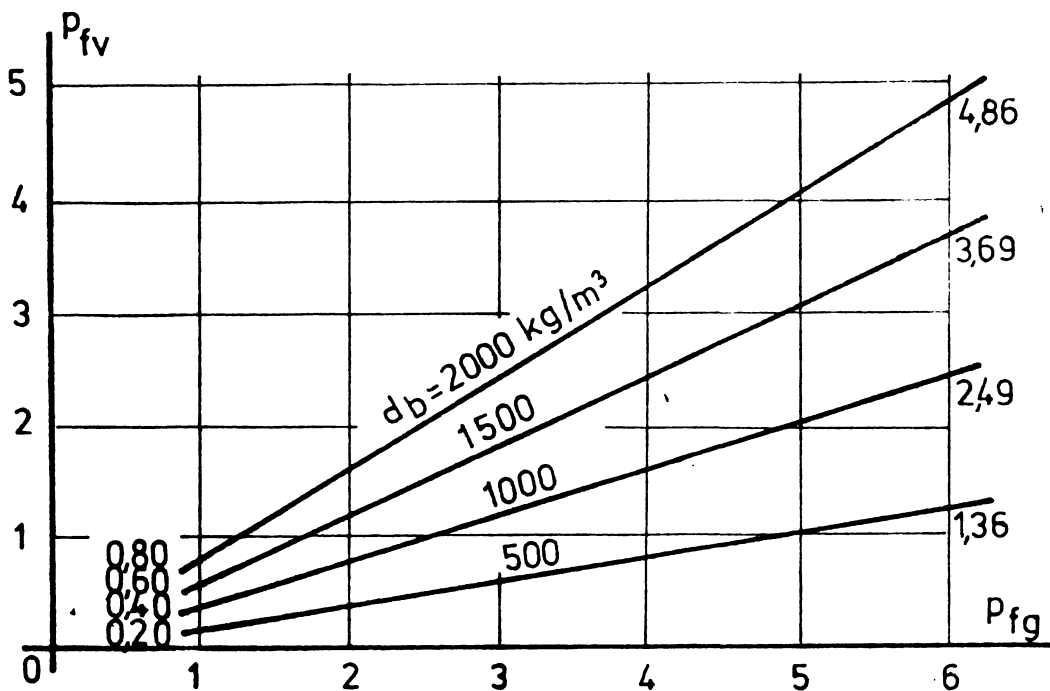


Fig.IV.10. Dependența dintre p_{fv} și p_{fg} pentru diferite densități de beton.

În cazul diagramelor din fig. IV.10, legătura între p_{fv} și p_{fg} este condiționată de densitatea betonului, putându-se lua în calcule următoarele valori medii :

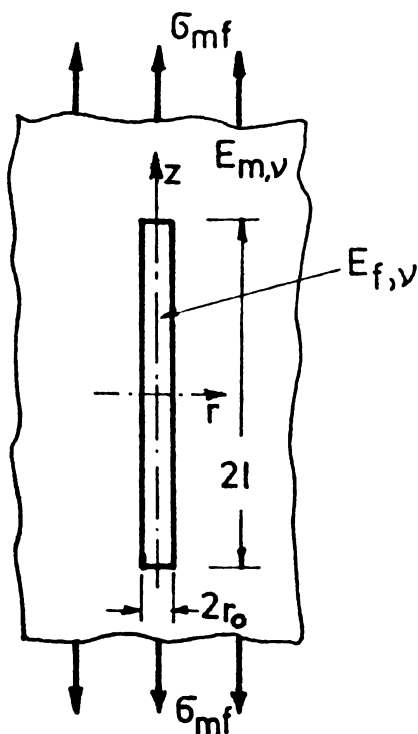
- pentru $d_b = 2000 \text{ kg/m}^3$: $p_{fv} = 0,8 p_{fg}$;
- pentru $d_b = 1500 \text{ kg/m}^3$: $p_{fv} = 0,6 p_{fg}$.

În toate cazurile intermediare, valorile se vor determina prin interpolare.

IV.3.2. Lungimea fibrelor

IV.3.2.1. Lungimea de ancorare (l_a). Structura compusă a materialelor armate cu fibre de sticlă determină în ele o stare de eforturi neomogenă. Într-un astfel de material, în care fiecare element component are proprietăți fizice și mecanice diferite, apar eforturi locale la nivelul suprafețelor lor, urmare a comportării lor diferite la încărcări.

În compoziții armați cu fibre, neomogenitățile de eforturi apar la capetele fibrelor discontinue. Elucidarea acestei stări



de eforturi la nivelul suprafeței de contact, apărută în urma unei solicitări exterioare, pentru cazul fibrei încorporată în matrice, se face plecînd de la modelul din fig. IV.11 [8]. O fibră subțire de lungime $2l$, rază r_0 , cu modulul de elasticitate E_f , coeficientul lui Poisson ν_f , este așezată într-o matrice elastică infinită cu modulul de elasticitate E_m și același coeficient al lui Poisson ν . Sistemul este supus la o stare de eforturi de întindere unitară σ_{mf} paralelă cu axa fibrei. O soluție relativ simplă a acestei probleme se poate obține prin metoda lui Eshelby [44]. Se consideră în acest scop experiența redată în figura IV.12a.

Fig. IV.11. Fibră încorporată în matrice paralel cu direcția eforturilor.

Se începe cu îndepărtarea fibrei din materialul de bază, care se înlocuiește cu același material avînd o perfectă legătura

ră. Se aplică apoi o întindere monoaxială producându-se o deformație monoaxială $\epsilon_{mf} = \sigma_{mf}/E_m$ și o deformație specifică transversală $-\nu\epsilon_{mf}$.

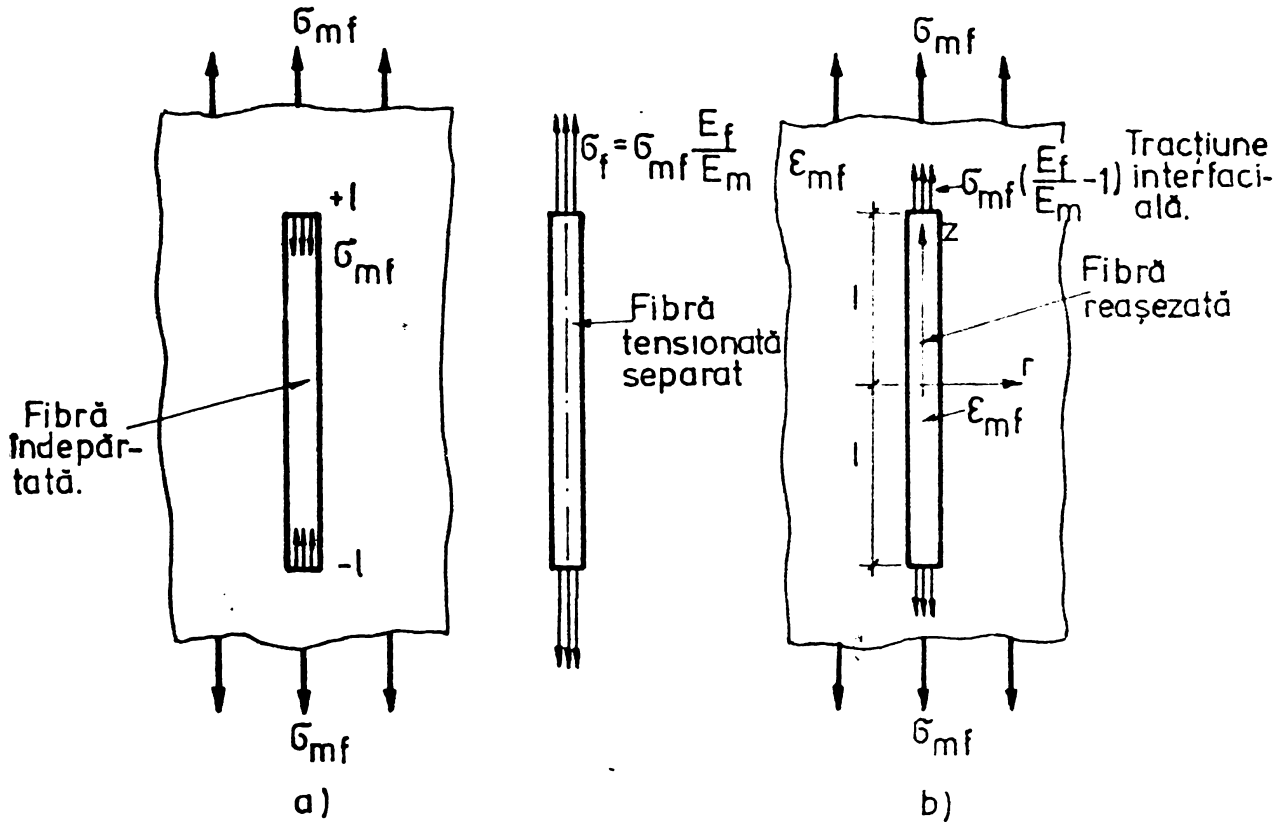


Fig.IV.12. Experiențele lui Eshelby pentru calculul eforturilor în și în jurul fibrei.

Materialul de bază care ocupă poziția fibrei se îndepărtează, dar la capetele golului se aplică un sistem de întinderi σ_{mf} pentru a menține în material deformația uniformă. Se aplică apoi un efort unitar $\epsilon_{mf} E_f$ la capetele fibrei extrase pentru a o face să corespundă perfect în golul din care provine (fig.IV.12b). Din condiția de compatibilitate ale deformațiilor se poate scrie egalitatea deformațiilor specifice ale fibrelor de sticlă cu a masei de bază, adică :

$$\epsilon_f = \epsilon_{mf} \quad (IV.13)$$

sau :

$$\frac{\sigma_f}{E_f} = \frac{\sigma_{mf}}{E_m} \quad (IV.14)$$

de unde rezultă efortul unitar în fibră :

$$\sigma_f = \sigma_{mf} \frac{E_f}{E_m} \quad (IV.15)$$

Această stare de deformare uniformă reclamă însă în matrice și în fibră acțiunea unor tracțiuni pe porțiunile interne :

$\varepsilon_{mf}(E_f - E_m)$ pe o suprafață de πr_0^2 la $z = \pm l$. O soluție corespunzătoare a problemei se obține cu ajutorul teoriei elasticității [96], considerînd aceste tracțiuni la nivelul secțiunilor de capăt ale fibrei, ca două forțe opuse, egale, punctuale, aplicate la $z = \pm l$, acționînd spre centru.

Pentru lungimea de ancorare l_a a zonei de cedare prin lunecare, în condițiile unei matrice de beton, se obține valoarea :

$$l_a = \frac{r_0}{2} \cdot \frac{\sigma_{mf}}{\tau_b} \cdot \frac{E_f}{E_b} = \frac{d}{4} \cdot \frac{\sigma_{mf}}{\tau_b} \cdot \frac{E_f}{E_b}, \quad (IV.16)$$

unde d este diametrul fibrei.

Mărimile relative σ_{mf}/τ_b și E_f/E_b din relația (IV.16) nu sînt afectate de aspectul fibrelor, cît timp raportul de aspect este peste 100. Dacă se ia σ_{mf} ca rezistență la apariția primei fisuri (R_{tf}), lungimea zonei de cedare la lunecare pentru rapoartele σ_{mf}/τ_b mai mici sau egale cu 10, va rezulta $l_a = (10...15)d$. Practic, raportul de aspect în cazul fibrelor de sticlă este peste 500.

Lungimea de ancorare a fibrelor reprezintă un parametru ce condiționează comportarea amestecului. Astfel, dacă lungimea de ancorare este mică și aderența este redusă, betonul va ceda la efortul de fisurare.

Fibrele de sticlă orientate la întîmplare posedă mai multe lungimi caracteristice. Astfel, pentru a se asigura un efect favorabil asupra rezistenței la fisurare, fibrele trebuie să aibe o lungime efectivă minimă ce va depăși de 4 ori lungimea de ancorare l_a la efortul unitar corespunzător primei fisuri R_{tf} , cînd materialul de bază se rupe [8].

IV.3.2.2. Lungimea efectivă minimă (l_m) are valoarea :

$$l_m = 4 l_a = 2r_0 \frac{R_{tf}}{\tau_b} \frac{E_f}{E_{bf}} = 2r_0 \frac{E_f}{\tau_b} \varepsilon_{bf} \quad (IV.17)$$

Această relație rezultă din considerentul că atunci cînd fisurează matricea și fibrele traversează fisura, lungimea cea mai scurtă din cele două părți ale fibrei intersectată de fisură devine cea mai importantă pentru comportarea de după fisurarea a materialului. Valoarea cea mai probabilă a porțiunii scurte a fibrei este presupusă $l_m/4 = l_a$. Dacă această lungime este acoperită în întregime de zona de rupere la lunecare, acest cap de fibră va fi smuls după fisurarea materialului. În acest caz, materialul compozit se va rupe la rezistența primei fisuri, fără să se mai poată ține seama de rezistența la întindere a fibrelor.

Dacă fibrele sînt mai lungi decît această lungime minimă, adică $l \geq l_m$, atunci după fisurare ele pot prelua o încărcare suplimentară. Aceasta ca urmare a faptului că de-a lungul ambelor părți ale fibrei intersectate de fisură se dezvoltă noi zone de lunecare, ca în fig.IV.7.

Dacă materialul compozit urmează să aibă o anumită comportare după fisurare, partea de tensiune $(1 - \mu_{fv}) \epsilon_{tf} E_m$ suportată inițial de matrice va trebui transmisă fibrelor prin eforturi de aderență de-a lungul acestor noi zone de lunecare, rezultînd o zonă totală de lunecare (de ancorare) l'_a , care nu trebuie să depășească 1/4 din lungimea fibrei. Aceasta definește lungimea efectivă minimă de fibră de după fisurare (l_{mp}).

IV.3.2.3. Lungimea efectivă minimă de după fisurare

(l_{mp}). Plecînd de la relația (IV.4) și țînînd cont că după fisurare lucrează numai fibrele, rezultă :

$$R_{ff} = \mu_{fv} \epsilon_{bf} E_f \quad (IV.18)$$

Influența fibrelor supuse proprietăților elastice ale materialelor cu armare dispersă se poate exprima prin relația [6] :

$$E_{bf} = \mu_{fv} E_f + (1 - \mu_{fv}) E_m \quad (IV.19)$$

Țînînd cont de faptul că după fisurare lucrează numai fibrele, relația (IV.19) devine :

$$E_{bf} = \mu_{fv} E_f \quad (IV.20)$$

Mai departe, (IV.18) se poate scrie :

$$R_{tf} = \epsilon_{bf} E_{bf} \quad (IV.21)$$

Introducând relația (IV.21) în (IV.17), rezultă lungimea minimă de după fisurare (sau postfisurare) :

$$l_{mp} = 2r_0 \frac{R_{tf}}{\tau_b} \cdot \frac{1}{\mu_{fv}} = 2r_0 \frac{\epsilon_{bf} \hat{E}_{bf}}{\tau_b \mu_{fv}} \quad (IV.22)$$

În acest caz rezistența fibrei trebuie să fie atât de mare încît să suporte întreaga încărcare pe zona fisurată, adică :

$$\sigma_f > \frac{R_{tf}}{\mu_{fv}} \quad (IV.23)$$

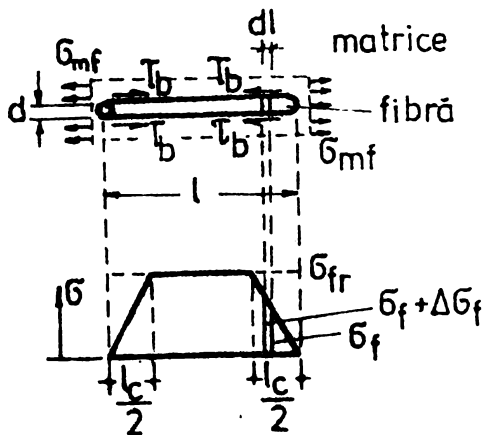
Relațiile (IV.22) și (IV.23) redau împreună rezistența necesară a fibrei și raportul de aspect pentru comportarea de după fisurare.

Dacă :

$$\frac{l}{4} > \frac{r_0}{2} \cdot \frac{\sigma_f}{\tau_b}, \quad (IV.24)$$

fibrela se vor rupe, în loc de a fi smulse din element. Această lungime se numește lungime critică pentru capacitatea portantă a elementului (l_c).

IV.3.2.4. Lungimea critică (l_c). Se consideră o fibră de lungime l și diametru d înglobată în masa înconjurătoare a matricei. Transferul efortului de la matrice la fibră se face



l_c = lungimea critică a fibrei.
 $\frac{l_c}{2}$ = lung. de transfer

prin intermediul efortului unitar de aderență τ_b și a efortului unitar longitudinal de întindere din fibră σ_f , care crește de la valoarea zero, la capătul fibrei, pînă la efortul de rupere σ_{fr} dacă fibra este des-

Fig. IV.13. Distribuția eforturilor unitare în fibră.

tul de lungă, fig. IV.13 [95]. Pentru o fibră scurtă, σ_f nu poate atinge valoarea de rupere și în acest caz va apărea ruperea prin

smulgerea fibrei. Valoarea $l_c/2 = l_a$ definește lungimea de transfer, l_c fiind lungimea critică a fibrei. Se consideră un element diferențial din fibră de lungime dl și din considerente de echilibru rezultă :

$$\frac{\pi d^2}{4} d\sigma_f = \pi d \bar{\tau}_b dl, \quad (IV.25)$$

sau :

$$\frac{\pi d^2}{4} \frac{d\sigma_f}{dl} = \pi d \bar{\tau}_b, \quad (IV.26)$$

de unde rezultă :

$$\frac{dl}{d\sigma_f} = \frac{d}{4\bar{\tau}_b} \quad (IV.27)$$

Efortul unitar de rupere σ_{fr} poate apărea numai cînd :

$$\frac{l_c}{2} = \sigma_{fr} \frac{d}{4\bar{\tau}_b} \quad (IV.28)$$

sau :

$$l_c = \sigma_{fr} \frac{d}{4\bar{\tau}_b} \quad (IV.29)$$

Raportul de aspect al fibrei trebuie să fie deci :

$$\frac{l_c}{d} \geq \frac{\sigma_{fr}}{2\bar{\tau}_b} \quad (IV.30)$$

Valoarea lungimii critice a fibrei (l_c) depinde de efortul unitar mediu de aderență ($\bar{\tau}_b$); dacă aderența este depășită, atunci $\bar{\tau}_b$ va reprezenta numai forțe de frecare pe unitatea de suprafață între matrice și fibră. Prezența acestei forțe de frecare este o măsură a ductilității amestecului.

Efortul unitar de întindere din fibră nu este constant de-a lungul lungimii fibrei (fig.IV.14) și în consecință trebuie folosită, în loc de σ_{fr} , o valoare medie a efortului unitar. Efortul unitar mediu pe lungimea l_c este $\sigma_{fr}/2$, dar dacă fibra este mai lungă de l_c , valoarea medie se apropie de σ_{fr} și fibrele se vor comporta ca niște fibre continue. Se constată că pentru fibre cu $l > l_c$, zona centrală se caracterizează prin eforturi unitare normale constante în fibre și prin eforturi uni-

tare de aderență nule; în cazul fibrelor cu $l < l_0$, eforturile unitare normale din fibre și eforturile unitare de aderență sînt mici, ultimul fiind prezent pe toată lungimea fibrei.

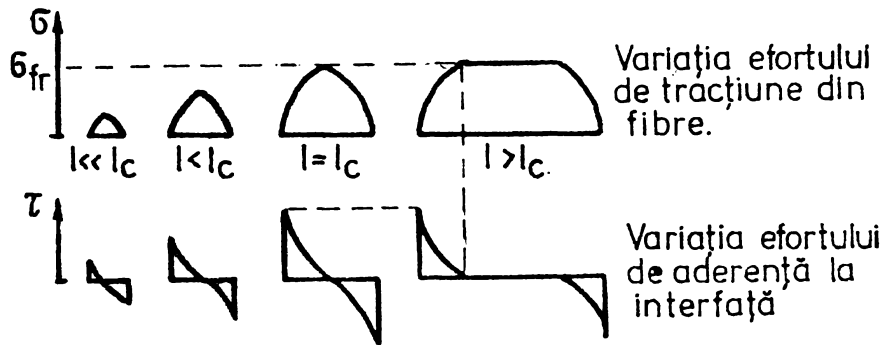


Fig.IV.14. Variația eforturilor unitare normale și tangențiale la diferite lungimi de fibre.

In cazul în care apare o fisură în matrice, aceasta determină discontinuități în distribuția efortului unitar de aderență, așa cum se prezintă în fig.IV.15. In acest caz eforturile în vecinătatea fisurilor cresc spre

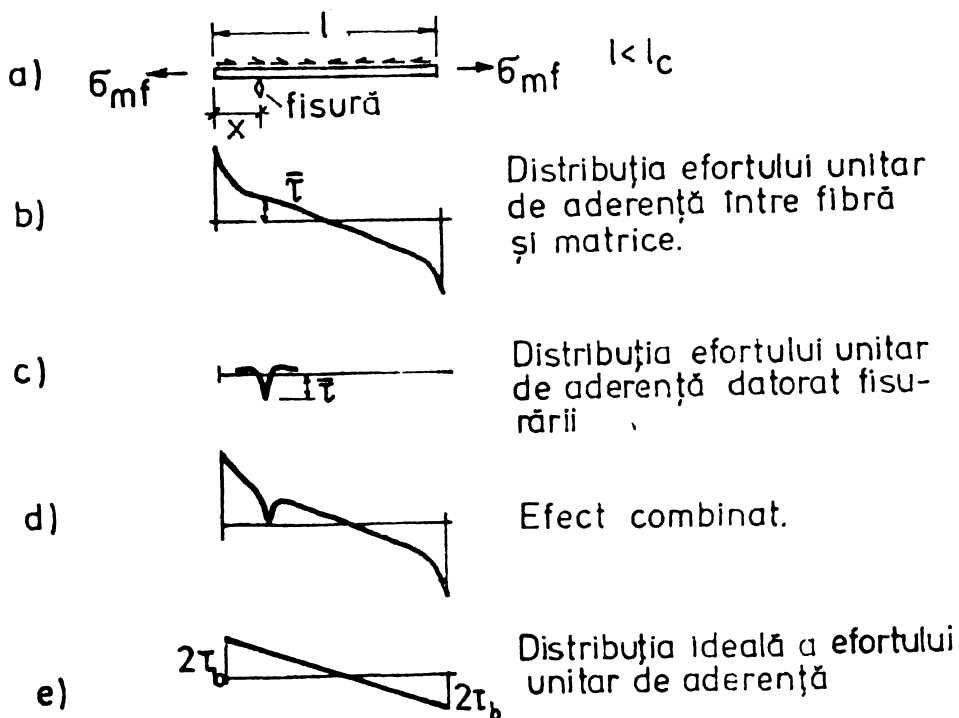


Fig.IV.15. Distribuția schematică a efortului unitar de aderență la interfața fibră - matrice.

maxim și apoi descesc. Diagrama din fig. IV.15b reprezintă distribuția efortului unitar de aderență înaintea apariției fisurii, diagrama IV.15c efortul unitar de aderență datorită apariției fisurii, diagrama IV.15d însumarea diagramelor IV.15b cu IV.15c, iar diagrama IV.15e o variație ideală a eforturilor unitare de aderență [95].

IV.3.3. Distanța dintre fibre. Intr-un material compozit, armat cu fibre discontinue, orientate haotic, comportarea în timp și sub încărcări este influențată de distanța dintre fibre, aceasta devenind astfel un factor esențial în mecanismul fisurării materialului.

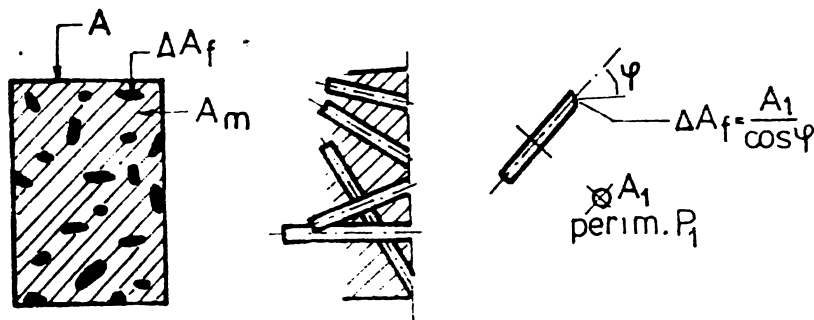
IV.3.3.1. Conceptul distanței dintre fibre. Distanța dintre fibre este o mărime pur geometrică, care caracterizează distribuția fibrelor. Considerarea însă a unui concept pur geometric, fără referire și la interacțiunea fibră-matrice nu poate explica în totalitate mecanismul ameliorării de către fibre a rezistenței și proprietăților deformative ale materialului compozit. În acest sens, Romualdi și Batson [87], bazându-se pe conceptul distanței dintre fibre, stabilesc relația de legătură între efortul de întindere corespunzător primei fisuri în beton și distanța dintre fibre. Ei consideră că fibrele dintr-o matrice acționează ca încetinitori, ca opritori ai procesului de fisurare, rolul fibrelor fiind așadar de a opri, de a frâna orice dezvoltare a fisurilor. Ei au arătat că rezistența la întindere la apariția primei fisuri este invers proporțională cu distanța geometrică dintre fibre pentru un volum dat de fibre [88]. Distanța dintre fibre, adică dintre centrele lor de greutate, devine astfel un factor determinant în mecanismul de frînare a fisurării [97]. Fibrele fiind mai rigide decât matricea ($E_f > E_m$), ele se deformează mai puțin și deci exercită presiuni asupra fisurilor în sensul de opritori ai procesului de fisurare.

IV.3.3.2. Distanța efectivă. Determinarea distanței efective se bazează pe calcule statistice în secțiuni transversale, metodă adecvată pentru materiale omogene și heterogene, atunci când aceste suprafețe se consideră mari [53].

Se consideră în acest scop o suprafață plană, oarecare, printr-un material compozit. Această suprafață va evidenția prezența matricei și a incluziunilor în ea. Aria suprafeței trebuie

să fie destul de mare pentru a conține o cantitate statistic acceptabilă din componentele materialului compozit. Aria tuturor incluziunilor cuprinsă în această suprafață va fi egală cu concentrarea volumică al acestui component în materialul compus.

În cazul armării cu fibre, rezultă că aria însumată A_f a tuturor suprafețelor din fibre tăiate, care apar în această suprafață plană dintr-un plan oarecare al materialului compozit, va fi întotdeauna aceeași față de concentrarea volumică a fibrelor din elementul compus, indiferent de orientarea armăturii



[54]. De asemenea, dacă se consideră grupul de fibre orientate sub unghiul φ față de normala la secțiunea plană, atunci ariile însumate A_f ale fețelor tăiate cuprinse în a-

Fig.IV.16. Secțiuni printr-un material armat cu fibre.

ceastă suprafață plană vor fi proporționale cu concentrarea volumică a fibrelor din cadrul elementului compozit, μ_{fv} (fig. IV.16) [52].

Așadar, pentru un material oarecare armat cu fibre, numărul n de fibre, care trec printr-o suprafață dată a unei secțiuni plane date, se poate determina după cum urmează :

$$\frac{\sum \Delta A_f}{A} = \mu_{fv} \quad (IV.31)$$

și

$$\frac{A_m}{A} = \mu_m = 1 - \mu_{fv} \quad , \quad (IV.32)$$

unde : A este aria secțiunii transversale plane a elementului;
 A_m - aria secțiunii transversale plane a matricei elementului.

Se consideră că toată armătura este divizată în grupuri de fibre care formează unghiuri φ cu normala la secțiunea plană

cercetată. Considerând apoi o arie unitate din secțiunea plană cercetată, aria totală a secțiunii tăiate a fibrelor din aria unitate va fi :

$$A_f \varphi = \mu_{fv} \varphi \cdot \quad (IV.33)$$

Aria secțiunii fibrei care apare în secțiunea plană a materialului va depinde de unghiul φ :

$$\Delta A_f = \frac{A_f}{\cos \varphi} \cdot \quad (IV.34)$$

Numărul de fibre ce trec prin aria unitate sub unghiul cu normala va fi :

$$n_\varphi = \frac{A_f \varphi}{\Delta A_f} = \frac{\mu_{fv} \varphi}{A_f} \cos \varphi \cdot \quad (IV.35)$$

Prin urmare, numărul total al fibrelor care trec prin secțiunea dată, se obține prin însumarea numărului de fibre orientate sub unghiul φ cu normala, adică :

$$n = \sum n_\varphi \cdot \quad (IV.36)$$

Se poate acum calcula distanța medie \bar{S} dintre fibre, folosind propunerile lui Romualdi și Mandel pentru dispunerea pătrată [49] :

$$\bar{S} = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \quad (IV.37)$$

de unde :

$$n = \left(\frac{1}{\bar{S}} \right)^2 \cdot \quad (IV.38)$$

sau, considerând fibrele dispuse uniform într-un volum de beton V_b , relația lui \bar{S} se mai poate scrie :

$$\bar{S} = \sqrt[3]{\frac{V_b}{0,41 n}} \cdot \quad (IV.39)$$

Practic, lungimea l_f a fibrelor este mai mare decât distanța \bar{S} dintre centrele geometrice ale fibrelor orientate după o direcție dată, caz în care numărul de fibre din secțiunea transversală va trebui multiplicat cu factorul l_f/\bar{S} . În acest caz numărul de fibre din unitatea de arie a secțiunii transver-

sale va fi :

$$n' = \left(\frac{1}{S}\right)^2 \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{S^3} , \quad (\text{IV.40})$$

sau, prin înlocuirea relației (IV.39) în (IV.40), se obține :

$$n' = \frac{0,41 n l}{V_D} . \quad (\text{IV.41})$$

Distanța efectivă dintre fibre va depinde, în cele din urmă, nu numai de numărul de fibre ci și de poziția reciprocă a fețelor fibrelor în secțiunea considerată, așa cum se arată în fig.IV.17 a-c. Se prezintă trei tipuri obișnuite de aranjare a secțiunilor de fibre într-un plan patrat, triunghiular și hexagonal. Caracteristica generală a acestor moduri de dispunere a fibrelor constă în aceea că în cuprinsul aceleiași arii există același număr de secțiuni de fibre. După cum se vede, aranjarea triunghiulară conduce la distanțe mai mari dintre fibre cu 7,5 %, iar cea hexagonală la distanțe mai mici cu circa 12 % față de aranjarea patrată.

În toate cazurile, distanța determinată dintre fibre va fi aproximativă, fiind foarte greu de precizat modul de dispunere a fibrelor.

În cazul particular al aranjamentului patrat și al dispunerii paralele a fibrelor față de normala la secțiunea plană, rezultă :

$$\varphi = 0 , \quad (\text{IV.42})$$

de unde :

$$\Delta A_f = A_f ; \quad (\text{IV.43})$$

$$n_\varphi = n = \frac{\mu_{fv} \varphi}{A_f} \cdot \cos \varphi = \frac{\mu_{fv}}{A_f} ; \quad (\text{IV.44})$$

$$\frac{1}{S_D} = \sqrt{\frac{A_f}{\mu_{fv}}} = \sqrt{\frac{\pi d^2}{4 \mu_{fv}}} \approx 0,886 \frac{d}{\sqrt{\mu_{fv}}} , \quad (\text{IV.45})$$

Folosind tot aranjamentul patrat, dar în cazul unui grup de fibre, care se intersectează toate în același punct și sînt uniform distribuite după toate direcțiile din planul de

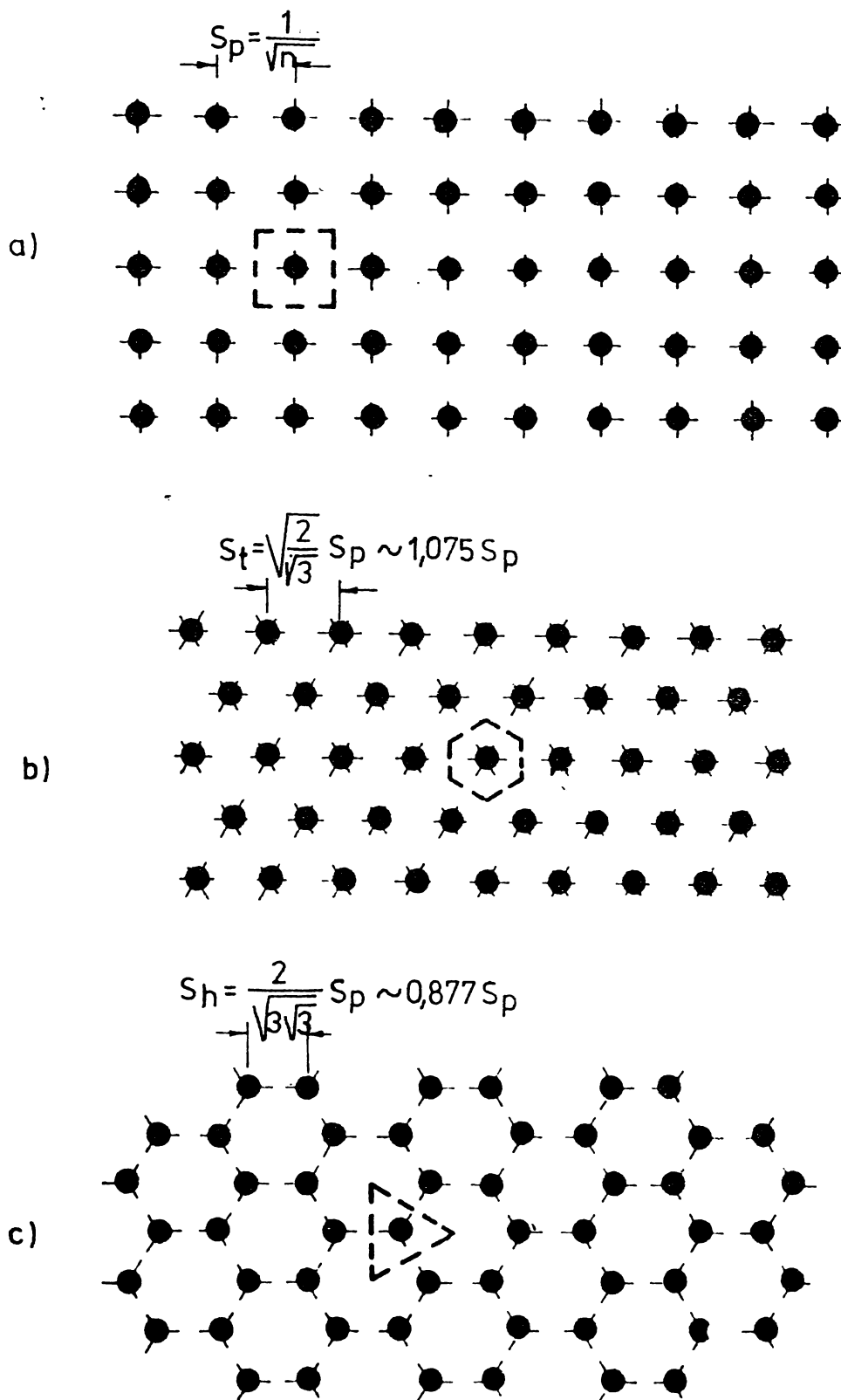


Fig.IV.17. Poziția reciprocă a secțiunii fibrelor într-un model patrat, triunghiular și hexagonal, toate avînd aceeași concentrare de fibre.

orientare, secțiunea plană aleasă este considerată perpendiculară față de planul de orientare și în afara punctului de intersecție a fibrelor (fig.IV.18). Partea de armătură care formează

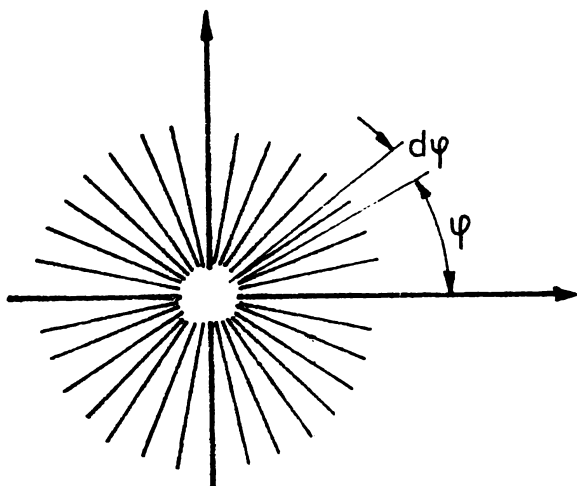


Fig.IV.18. Grup de fibre orientate întâmplător în plan, toate intersectându-se în același punct.

Prin urmare (vezi relația IV.36) :

$$n = \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} n_{\varphi} = \frac{\mu_{fv}}{A_f} \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \cos \varphi \, d\varphi = \frac{2\mu_{fv}}{\pi A_f} \quad (IV.48)$$

și

$$S_p = \frac{1}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\pi A_f}{2\mu_{fv}}} \quad (IV.49)$$

Tot în cazul aranjamentului patratic și al dispunerii haotice a fibrelor, distanța medie dintre fibre va fi (vezi relațiile IV.40 și IV.41) :

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{n'}} = \sqrt{\frac{V_b}{0,41 n l}} \quad (IV.50)$$

Numărul total de fibre n se poate exprima, în acest caz, și funcție de diametrul fibrei $d = 2r$, de lungimea l și de pro-

unghiul φ cu normala la secțiunea plană este situată între φ și $\varphi + d\varphi$. Raportul volumic dintre aceste fibre și armătura totală este dată în acest caz prin raportul între $d\varphi$ și π (Fig.IV.16) :

$$\frac{\mu_{fv\varphi}}{\mu_{fv}} = \frac{d\varphi}{\pi} \quad (IV.46)$$

după care (vezi relația IV.35) :

$$n_{\varphi} = \frac{\mu_{fv\varphi}}{A_f} \cdot \cos \varphi = \frac{\mu_{fv}}{A_f} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \cos \varphi \, d\varphi \quad (IV.47)$$

centul volumic p_{fv} , astfel :

$$n = \frac{\frac{p_{fv}}{100} \cdot V_b}{\pi r^2 l} = \frac{p_{fv} \cdot V_b}{25 \pi r^2 l} \quad (IV.51)$$

După Rønvaldi și Betson [86], spațiul dintre centrele de greutate ale fibrelor orientate haotic într-o matrice de beton, înlocuind pe (IV.51) în (IV.50), va rezulta :

$$\bar{s}_p = 13,8 d \sqrt{\frac{1}{p_{fv}}} \quad (IV.52)$$

După Swamy ș.a. [95], spațiul dintre centrele de greutate ale fibrelor orientate haotic într-o matrice de beton ține cont nu numai de aspectul strict geometric al conceptului distanței dintre fibre ci și de dependența acestuia de interacțiunea dintre fibre și matrice și de modul de rupere, ceea ce permite determinarea nu numai a rezistenței la apariția primei fisuri, ci și analiza comportării de după fisurare.

Se folosesc în acest scop : factorul de eficiență a aderenței pentru lungime η_l și factorul de eficiență a aderenței pentru diametru η_d .

Factorul de eficiență a aderenței pentru lungime (η_l) este definit ca raport între efortul de aderență a fibrelor de lungime l orientate haotic și diametrul d și efortul de aderență al unei fibre de lungime l_c și diametrul d . Se acceptă o distribuție ideală a efortului de aderență, conform fig.IV.15e; pentru fibre cu lungimea mai mică decât l_c , rezultă :

$$\eta_l = \frac{0,41 l \pi \cdot d \frac{\sigma_b}{2}}{\pi d l_c \cdot \frac{\sigma_b}{2}} = \frac{0,82 l \sigma_b}{d \sigma_{fr}} \quad (IV.53)$$

unde, din (IV.30) rezultă :

$$l_c = \frac{d}{2} \cdot \frac{\sigma_{fr}}{\sigma_b} \quad (IV.54)$$

Factorul eficienței aderenței pentru diametru η_d este

definit ca raport între efortul de aderență a unei fibre de diametru d și lungimea \bar{l}_c și efortul de aderență a unei fibre de diametru \bar{d} și lungimea \bar{l}_c adică :

$$\eta_d = \frac{\frac{d}{2} \cdot \frac{\sigma_{fr}}{\bar{l}_c}}{\frac{\bar{d}}{2} \cdot \frac{\sigma_{fr}}{\bar{l}_c}} = \frac{d}{\bar{d}} ; \quad (IV.55)$$

acest parametru permite introducerea fibrelor de diametre diferite dar de aceeași lungime.

Cu η_l și η_d se poate scrie o ecuație pentru un element spațial. Se consideră în acest scop un cub cu latura L , iar procentul de armare volumic p_{fv} se va scrie :

$$p_{fv} = \frac{25 \pi d^2 l n}{L} . \quad (IV.56)$$

Folosind factorii η_l și η_d și factorul de orientare $0,41 l$, procentul efectiv (p_e) al fibrelor orientate într-o direcție se scrie :

$$p_e = \frac{25 \pi n}{L^3} \left(\frac{d}{\bar{d}} \cdot d \right)^2 \cdot 0,41 \left(\frac{0,82 l \zeta_b}{d \sigma_{fr}} \right) l, \quad (IV.57)$$

sau :

$$\frac{p_e}{p_{fv}} = \frac{0,41 \cdot 0,82 l \zeta_b d}{\sigma_{fr} \cdot d^2} = \frac{0,34 \zeta_b l d}{d^2 \sigma_{fr}} . \quad (IV.58)$$

Volumul efectiv (V_e) de fibre în matrice, care sînt orientate în direcția efortului maxim, și numărul echivalent (n) de fibre de lungime l aliniat în aceeași direcție, sînt date de relațiile (IV.59) și (IV.60) :

$$V_e = \frac{p_e}{100} \cdot L^3 ; \quad (IV.59)$$

$$n = \frac{p_e L^2}{25 \pi d^2} . \quad (IV.60)$$

Acceptînd o aranjare pătrată a fibrelor în secțiunea transversală, distanța efectivă dintre fibre va fi :

$$S_e = \sqrt{\frac{L^2}{n}} \quad (IV.61)$$

Inlocuind în relația (IV.61) pe (IV.58) și (IV.60), rezultă :

$$S_e = \sqrt{\frac{25 \pi d^2}{p_e}} = 13,8 d \sqrt{\frac{1}{p_{fv}}} \cdot \frac{1}{\eta_d \cdot \eta_l}, \quad (IV.62)$$

relație foarte apropiată de relația (IV.52) a lui Romualdi și Batson [86], [6].

Mai departe, înlocuind pe η_d și η_l din relația (IV.62), rezultă :

$$S_e = 15,287 \sqrt{\frac{\sigma_{fr} d^2}{\zeta_b}} \cdot \sqrt{\frac{d}{l p_{fv}}} \quad (IV.63)$$

IV.3.3.3. Suprafața specifică a fibrelor. Suprafața specifică a fibrelor (A_{fg}) este aria totală a suprafeței tuturor fibrelor dintr-un volum unitar al materialului compozit (excluzându-se aria capetelor de fibre găsite secționate). Această suprafață este un parametru important pentru precizarea comportării elementului ^(din care) de limita de rupere a matricei. Cu cât acest parametru este mai mare, cu atât distanța dintre fisuri și deschiderea fisurilor vor fi mai mici.

Suprafața specifică A_{fg} poate fi calculată în aceeași idee ca și distanța medie dintre fibre, exceptînd faptul că în acest caz nu ne imaginăm unul ci două secțiuni plane paralele în material și calculăm suprafața fibrelor cuprinse în volumul unitate între aceste două secțiuni. Este evident că suprafața specifică a fibrelor va fi independentă de orientarea lor.

Se consideră un material armat cu fibre, cu o concentrație dată de fibre μ_{fv} , cu raportul de aspect l/d și o orientare haotică a fibrelor. Se consideră un volum unitate realizat dintr-un lichid, astfel ca orientarea fibrelor să poată fi modificată fără dificultate, volumul matricei și numărul de fibre rămînd constante [54]. Suprafața specifică a fibrelor se va determina direct din numărul de fibre ce apar în volumul unitate, multiplicat cu lungimea totală a fibrelor din volumul unitate și perimetrul fibrei.

În relațiile care urmează nu se ține cont de suprafața de capăt a fibrelor la determinarea suprafeței specifice, ea fiind foarte mică comparativ cu suprafața laterală mai ales în cazul fibrelor cu raportul aspectului l/d mai mare ca 50.

Se consideră că fiecare fibră din material are secțiunea A_f și lungimea l . Volumul unei fibre este astfel $v_f = A_f l$, unde numărul de fibre din volumul unitate este exprimat prin :

$$n' = \frac{\mu_{vf}}{v_f} = \frac{\mu_{fv}}{A_f l} \quad (\text{IV.64})$$

Perimetrul fibrei într-un plan perpendicular cu axa ei este P_f . În acest caz aria laterală a fibrei va fi $A_{fl} = P_f l$. Suprafața totală a fibrelor din volumul unitate al materialului va fi :

$$A_{fs} = A_{fl} n' = P_f l \frac{\mu_{fv}}{A_f \cdot l} = \frac{P_f}{A_f} \mu_{fv} \quad (\text{IV.65})$$

În cazul fibrelor cu secțiune circulară, avem :

$$A_{fs} = \frac{\pi d}{\frac{\pi d^2}{4}} \mu_{fv} = \frac{4}{d} \mu_{fv} \quad (\text{IV.66})$$

Exemplificînd pentru fibre dispuse paralel cu normala la secțiunea plană în studiu, se determină, pentru fibre cu $d = 0,01$ mm și $\mu_{fv} = 0,10$, următoarele mărimi ($l =$ unitatea) :

$$n' = \frac{0,10}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,01^2 \cdot 1} = 1273 \text{ fibre/mm}^3; \quad (\text{IV.64})$$

$$\bar{s} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{0,01}{\sqrt{0,10}} = 0,028 \text{ mm}; \quad (\text{IV.49})$$

$$A_{fs} = \frac{4}{0,01} \cdot 0,10 = 40 \text{ mm}^2/\text{mm}^3. \quad (\text{IV.66})$$

În cazul unui fascicul de fibre de sticlă cu o secțiune transversală ca cea din fig. IV.19, conținînd 204 filamente cu diametrul $d = 0,01$ mm și $\mu_{fv} = 0,04$, rezultă următoarele mărimi

caracteristice :

$$A_f = 204 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,01^2 = 0,016 \text{ mm}^2 ;$$

$$P_f \sim 2 \cdot 0,6 \cdot 2,2 = 2,64 \text{ mm} ;$$

$$n' = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{0,04}{0,016} = 1,59 \text{ fibre/mm}^2 ; \quad (\text{IV.64})$$

$$\bar{S} = \frac{1}{\sqrt{1,59}} = 0,793 \text{ mm} ; \quad (\text{IV.49})$$

$$A_{fs} = \frac{2,64}{0,016} \cdot 0,04 = 6,60 \text{ mm}^2/\text{mm}^3 ; \quad (\text{IV.66})$$

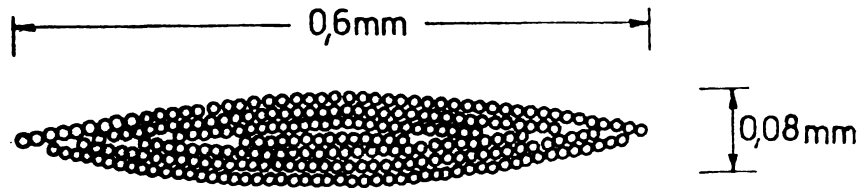


Fig.IV.19. Secțiunea transversală printr-un fascicul din 204 filamente de fibre de sticlă.

Pentru comparație, se poate menționa faptul că suprafața specifică în cazul armării cu fibre va fi cuprinsă între 120 ... 500 mm^2/mm^3 [93] [73], față de 5 - 20 mm^2/mm^3 la betonul armat obișnuit [43]. Distanța dintre fisuri va fi de 5-20 mm în cazul armării cu fibre [93] și 50-200 mm la betonul armat obișnuit [43].

IV.3.4. Factorul de dispersie a fibrelor individuale (a filamentelor), (f_d). Acest factor indică gradul de dispersie a filamentelor pentru un volum dat de fibre și este definit de :

$$f_d = \frac{\text{volumul regiunilor bogate în fibre}}{\text{volumul total al elementului}}$$

sau :

$$f_d = \frac{\mu_{fv}}{\mu'_{fv}} \quad (\text{IV.67})$$

în care : μ_{fv} este coeficientul volumic de armare al întregului element;

μ_{fv} este coeficientul volumic de armare al regiunilor bogate în fibre.

Mărimea lui f_d variază între $1,1\mu_{fv}$ pentru o dispersie neuniformă a filamentelor, la $1,0\mu_{fv}$ pentru o dispersie uniformă a filamentelor.

IV.3.5. Factorul de filamentizare. Factorul de filamentizare indică gradul de antrenare în lucru a fiecărui filament ca o armătură independentă. Acest factor este condiționat de gradul de penetrație a liantului și de dispersia filamentelor, astfel încât se pot întâlni stări "nefilamentate", "filamentate" sau "parțial filamentate". În cazul în care un fascicul de filamente rămâne longitudinal în starea de "nefilamentizare", ca urmare a penetrării neuniforme a liantului, el poate oferi în anumite situații o rigiditate transversală, caz care se numește stare de "filamentare transversală".

IV.3.6. Factorul de eficiență a fasciculului (f_e). Factorul de eficiență a fasciculului este definit ca fiind raportul dintre suprafața totală de aderență a tuturor filamentelor dintr-un fascicul de lungime egală cu raza r a filamentului și suprafața transversală a tuturor filamentelor intrate în lucru :

$$f_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^N \alpha_i \pi r \right) r}{N' \pi r^2} \quad (IV.68)$$

în care : N , N' este numărul total de filamente, respectiv numărul de filamente intrate în lucru într-un fascicul;

α_i - un parametru care indică suprafața filamentului aderentă la liant. El este 2,00 când filamentul este complet aderent, 1,00 când numai jumătate este aderent și 0,00 când nu există aderență între filament și liant. Rezultă că f_e variază între 0,0 și 2,0 și crește cu vârsta amestecului, fiind determinat teoretic [72].

IV.3.7. Factorul de orientare a fibrelor, $P(\theta)$. Factorul de orientare a fibrelor determină orientarea fasciculelor într-un amestec și exprimă probabilitatea ca un fascicul să se găsească în orice punct din amestec orientat în direcția θ față de axa aleasă. În aceste condiții, $P(\theta)$ este astfel definit :

$$\int_{-\pi/2}^{+\pi/2} P(\theta) d\theta = 1 \quad \text{și} \quad P(\theta) \geq 0 \quad (\text{IV.69a,b})$$

Pentru orientarea perfect întâmplătoare $P(\theta)$ este constant pentru $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$ și are valoarea $1/\pi$, ca urmare a determinărilor teoretice [72].

Factorul de orientare joacă un rol important în procesul de fisurare. S-a arătat [87] că în condițiile unui volum dat de fibre distribuite haotic în spațiu, eficiența orientării lor paralele sau aproape paralele cu efortul de întindere este de 41 %. Rezultă că numai 41 % din numărul total de fibre sînt orientate în direcția efortului de întindere, deși calculele teoretice indică abea 15 - 20 % în acest caz. În cazul orientării haotice în plan și ortogonale în plan, calculele teoretice indică 30 - 40 % și respectiv 40 - 50 %.

IV.4. Proprietățile betoanelor armate cu fibre de sticlă

IV.4.1. Generalități. Armarea betoanelor cu fibre de sticlă poate fi realizată în principal prin două metode. Prima metodă folosește fibrele lungi de sticlă ca armătură dispusă în zonele întinse. Din cauza raportului relativ scăzut al modurilor de elasticitate ai sticlei și masei de bază, armarea cu fibre de sticlă este în acest caz mai puțin eficientă comparativ cu oțelul. Pretensionarea fibrelor de sticlă determină însă modificarea eficienței în favoarea lor, comparativ cu oțelul [48]. A doua metodă constă în dispersarea uniformă a fibrelor scurte de sticlă în masa de bază, astfel încît să se formeze un material compozit omogen. În acest caz se asigură un grad înalt de redistribuire a încărcării între fibre, acestea putînd acționa ca opritori ai fisurării masei de bază (matricei). Incorporarea în acest mod al fibrelor de sticlă poate realiza și orientări dorite ale fibrelor scurte sau lungi în funcție de necesitățile impuse de încărcările exterioare.

Betoanele armate dispers cu fibre de sticlă pot fi realizate ca o consecință a conlucrării fericite a celor două materiale, fiind folosită pe de o parte rezistența ridicată la întindere a fibrelor de sticlă și pe de altă parte rezistența mare la compresiune a betonului sau a masei de bază (a matricei).

Capacitatea de interacțiune dintre masa de bază și fibrele de sticlă disperse condiționează capacitatea amestecului de a preveni apariția fisurilor, condiționează rezistența la întindere și la șoc a produsului.

Materialele compozite pe bază de ciment armate dispers cu fibre de sticlă fac parte din categoria materialelor elasto-co-vâscos-plastice, au proprietăți intermediare între azbociment și masele plastice armate cu fibre de sticlă. Prezența fibrelor de sticlă, oprind propagarea fisurilor, permite o intensă microfisurare, astfel încât materialul se comportă practic ca un material ovasiplastic.

IV.4.2. Proprietăți termice. Dilatarea termică, produsă de creșterea temperaturii, determină la beton, ca și la celelalte corpuri solide, o mărire a volumului. Coeficientul de dilatație liniară corespunde alungirii unității de lungime, pentru o diferență de temperatură de 1°C și se notează cu α . În cazul betonului, coeficientul de dilatare termică variază între (9-11) $\cdot 10^{-6}$, dar simplificat se admite $10 \cdot 10^{-6}$, el fiind dependent de proporțiile de ciment, agregate, de modul de păstrare și tratare. Astfel, în cazul mortarelor cu un conținut ridicat de ciment crește și coeficientul de dilatare termică. Pentru mortare cu raportul ciment/agregat de 1:1, coeficientul de dilatare termică este de $13,3 \cdot 10^{-6}$ [74]. În cazul armării disperse cu fibre de sticlă, măsurătorile efectuate pe o matrice de ciment sînt cuprinse între (7-12) $\cdot 10^{-6}$. Rezultă așa dar, chiar în cazul materialelor compozite care se pot dilata liber, că pot apărea tensiuni interne datorită diferențelor de temperatură, tensiuni care pot fi cu ușurință preluate de fibrele de sticlă.

Conductivitatea termică, notată cu λ , reprezintă cantitatea de căldură în KJ (kcal) ce străbate un material de 1 m grosime, printr-o suprafață de 1 m^2 , timp de o oră, diferența de temperatură între cele două fețe fiind de 1°C . Pentru betonul obișnuit, coeficientul de conductivitate termică are valoarea $\lambda = 1,3 \text{ W/mK}$ sau $1,1 \text{ Kcal/mh}^{\circ}\text{C}$. În cazul materialelor compozite armate dispers cu fibre de sticlă, avînd matricea de ciment, în funcție de proporția constituentilor, coeficientul de conductivitate termică variază între (0,5 - 1,3) W/mK . Așadar, odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă încorporate în matri-

ce, se reduce considerabil conductivitatea termică a produsului, ca de altfel și densitatea. Se amintește că coeficientul de conductivitate termică pentru zidăria de cărămidă are valoarea de $(0,46 - 0,80)W/mK$.

Stabilitatea termică este o caracteristică evidentă a betonului armat cu fibre de sticlă, ea referindu-se la buna rezistență la acțiunea temperaturilor înalte și a fosului.

IV.4.3. Porozitatea și permeabilitatea. Porozitatea pietrei de ciment, a betonului obișnuit, precum și a betonului armat cu fibre de sticlă, este determinată de prezența golurilor ca urmare a evaporării apei libere sau a antrenării aerului în timpul procesului tehnologic de realizare a materialelor.

Porozitatea materialului poate fi caracterizată analizând mai mulți parametri ca : densitatea, procentul volumic al porilor, distribuția granulometrică a porilor, aria suprafeței porilor, geometria porilor, continuitatea sau discontinuitatea porilor.

În cazul betonului armat cu fibre de sticlă, porozitatea poate fi apreciată în funcție de densitatea materialului. Prezența fibrelor în beton determină în general o scădere a densității și deci o mărire a porozității. În condițiile utilizării însă a tehnologiei de vibrovașumare se pot realiza materiale compozite cu porozitate redusă.

Permeabilitatea pietrei de ciment, a betonului obișnuit, precum și a betonului armat cu fibre de sticlă, reprezintă proprietatea lor de a lăsa să treacă un volum oarecare de apă în anumite condiții date. Așa cum s-a arătat în cazul porozității, și în cazul permeabilității prezența fibrelor de sticlă acționează asupra acestei caracteristici în sens defavorabil.

Pentru elemente de grosimi mici (plăci pentru acoperișuri) s-a determinat impermeabilitatea folosind o procedură similară cu cea folosită la țiglele ceramice. În acest caz, sub acțiunea unui strat de apă de 50 mm se urmărește ca apa să nu treacă prin placă timp de minim 3 ore. Impermeabilitatea mare a materialelor compozite armate cu fibre de sticlă permite folosirea acestora și în construcții navale, în lucrări de canalizări și alimentări cu apă.

IV.4.4. Proprietăți dielectrice. Piatra de ciment arma-

tă cu fibre de sticlă are proprietăți dielectrice foarte bune. Mărimea constantelor dielectrice depinde de : compoziția pastei de ciment, cantitatea de fibre de sticlă încorporate, calitatea produselor, lipsa fisurilor sau a defectelor etc. Din punct de vedere al proprietăților dielectrice, cimentul armat cu fibre de sticlă se apropie de faianță [25].

IV.4.5. Rezistențele betoanelor armate cu fibre de sticlă. Principalele caracteristici mecanice ale materialelor compozite armate cu fibre de sticlă sînt condiționate de proporțiile compunșilor și în mod deosebit de interacțiunea dintre fibrele de sticlă și masa de bază (matricea) [66]. Este știut că piatra de ciment sau betonul simplu nearmate posedă o foarte mică rezistență la întindere, precum și deformații limită mici, curba caracteristică fiind practic liniară pînă aproape de rupere. Ca urmare, devine de mare importanță armarea acestor materiale cu fibre de sticlă, acestea avînd o rezistență la întindere și o alungire la rupere considerabil mai mari decît cea a matricei, urmărind obținerea unor produși cu rezistența la întindere și alungirea la rupere considerabil mai mari.

IV.4.5.1. Rezistența la întindere centrică. În fig. IV.20 se prezintă diagramele efort unitar - deformație specifică obținute pe matricea de ciment și matrice de beton armate cu fibre de sticlă, realizate prin tehnologia de pulverizare-vacuumare [82] [63]. Din aceste diagrame se desprind patru zone de comportament distincte :

1) Zonă elastică caracterizată prin identitatea modurilor de elasticitate al materialului compozit și al matricei pînă la treapta de încărcare corespunzătoare ruperii matricei nearmate;

2) Zona cu modulul de elasticitate diminuat, urmare a apariției unor microfisuri, care însă sînt împiedicate a se propaga;

3) Zona de după microfisurare, caracterizată printr-o fisurare multiplă a matricei;

4) Zona de după fisurarea multiplă, capabilă a prelua o forță suplimentară pînă la ruperea fibrelor.

Din fig. IV.20 rezultă că diagramele efort unitar - deformație specifică sînt influențate de modul de decupare a pro-

beilor, transversal sau longitudinal, ceea ce evidențiază o oarecare anizotropie.

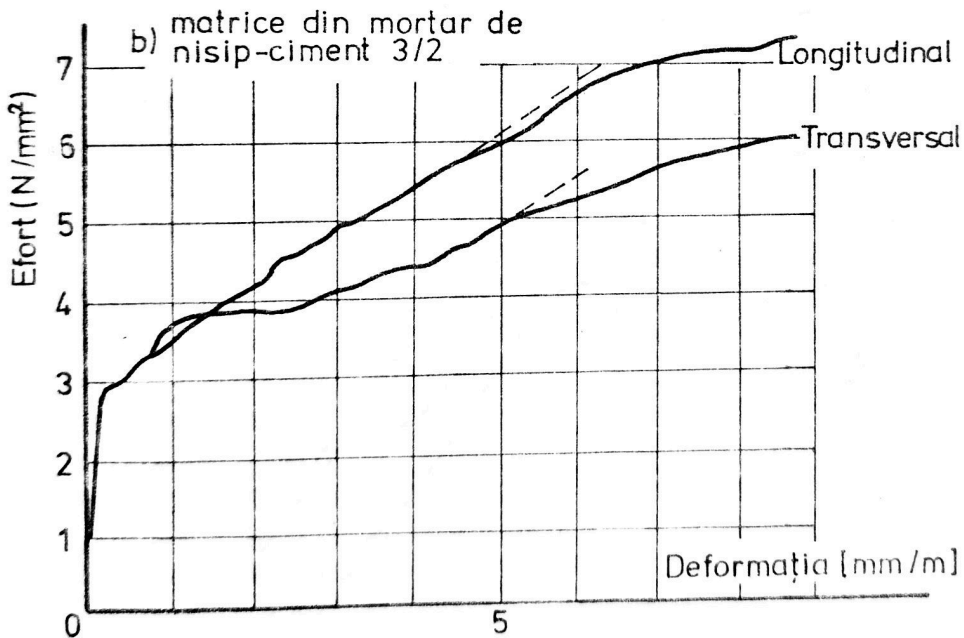
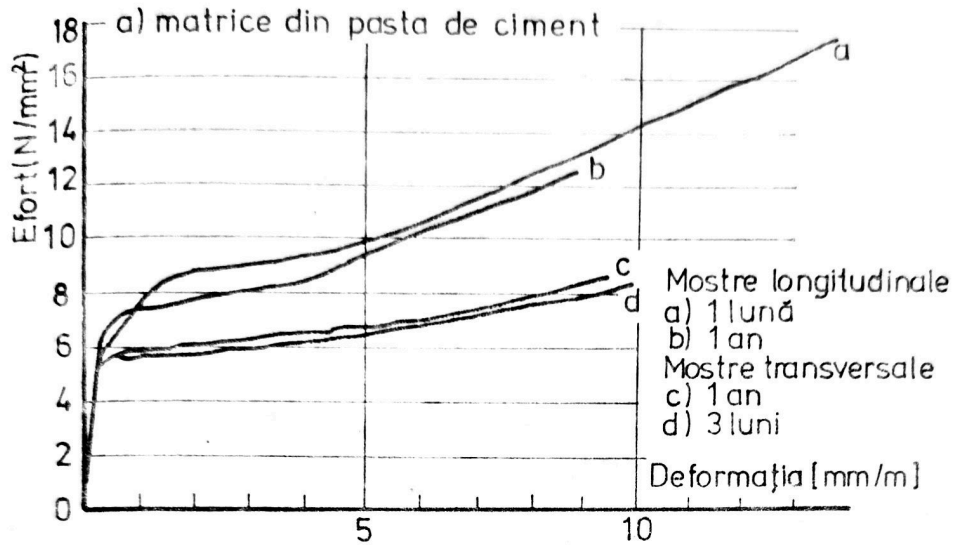


Fig.IV.20. Diagramele efort unitar - deformație specifică pentru cimentul și betonul armate cu fibre de sticlă.

Diagrama efort unitar - deformație specifică pentru elementele care conțin și nisip este, în general, similară cu cea a elementelor realizate numai din ciment, cu deosebirea că

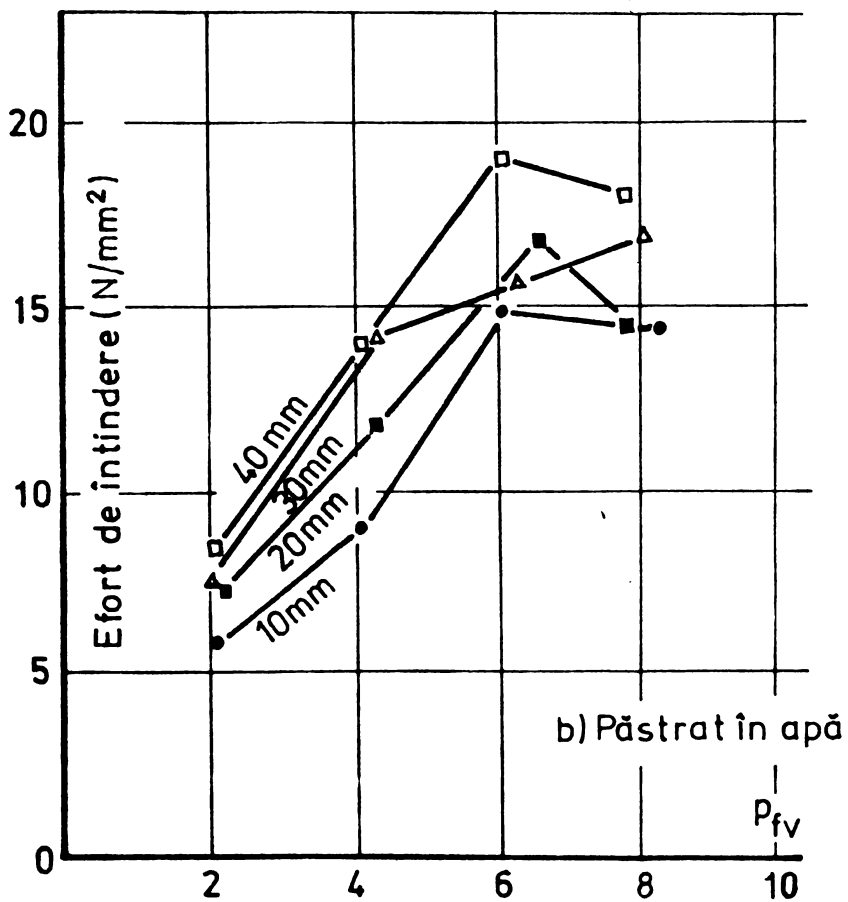
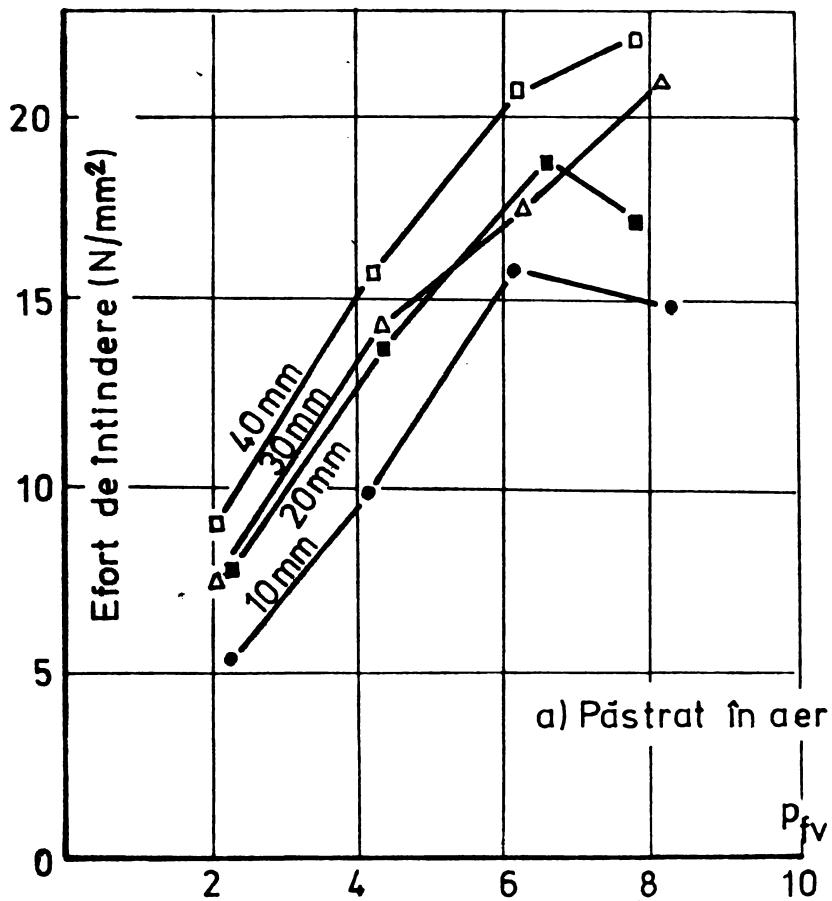


Fig. IV.21. Variația rezistenței la întindere în funcție de lungimea fibrelor și de cantitatea de fibre utilizate.

rezistența la tracțiune este mai redusă.

În cazul unei matrice de ciment, rezistența maximă la întindere pentru epruvete păstrate în aer sau mediu umed, în funcție de procentul volumic de armare și pentru diverse lungimi ale fasciculelor de fibre, sînt date în fig. IV.21 [64]. Se desprinde concluzia că rezistențele la întindere cresc aproximativ proporțional cu conținutul de fibre de sticlă pînă la un conținut de 6 % din volum și cresc de asemenea odată cu creșterea lungimii fibrelor de sticlă.

Tot în cazul matricei de ciment armată cu fibre scurte de sticlă tip "CEM-FIL" și orientate haotic, Blachman [26] prezintă o diagramă efort unitar - deformație specifică ca în fig. IV.22. Zona OA este considerată elastică, punctul A fiind limi-

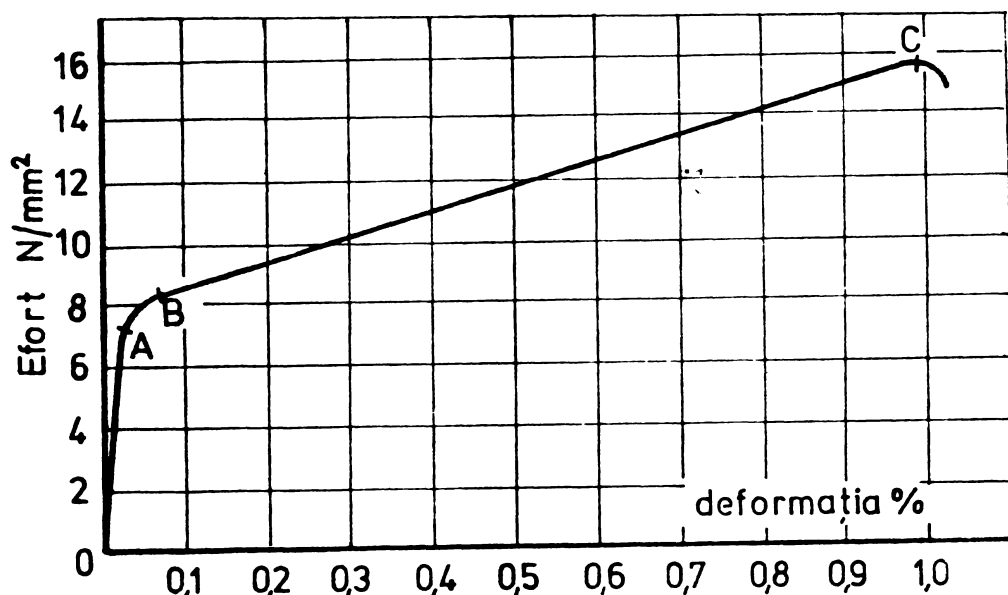


Fig. IV.22. Diagrama caracteristică efort unitar - deformație specifică pentru ciment armat cu fibre de sticlă.

ta de proporționalitate. Dincolo de punctul A, creșterea încărcării determină apariția și propagarea fisurilor, încărcarea fiind progresiv transferată fibrelor pînă în punctul B, unde întreaga încărcare este transferată. În zona BC toată încărcarea este transferată fibrelor, acestea traversînd și împiedecînd propagarea rețelei de fisuri. Punctul C corespunde ruperii fibrelor din matrice.

Cercetările arată [25] că în cazul când fibrele de sticlă sînt orientate în lungul epruvetei, rezistențele la întindere cresc foarte mult, de circa 60 - 100 ori față de proba maritor, fig. IV.23.

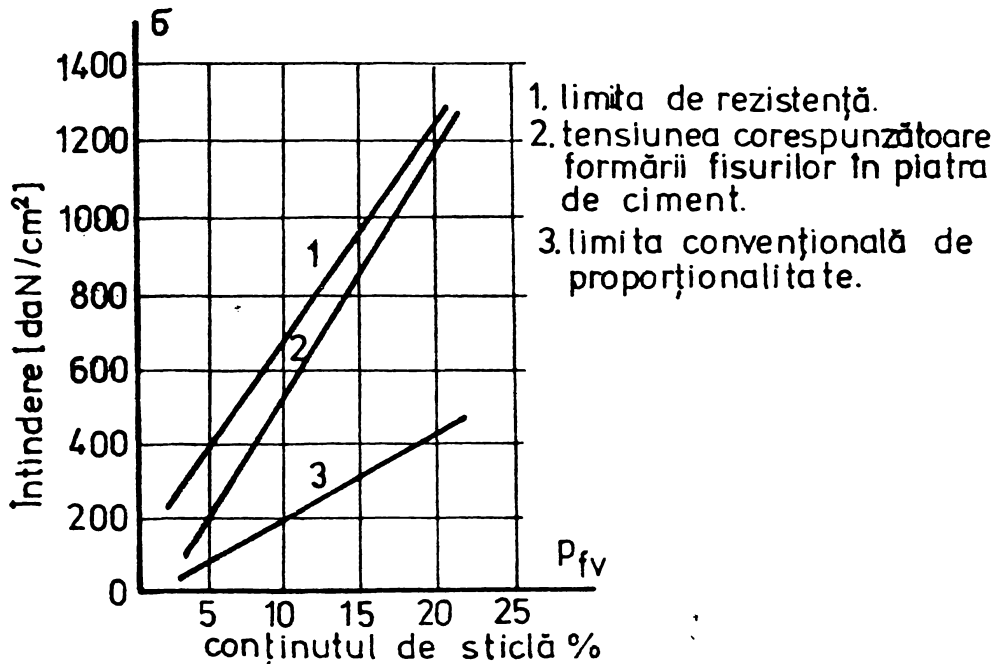


Fig. IV.23. Variația rezistenței la întindere în lungul fibrelor.

IV.4.5.2. Rezistența la întindere din încovoiere. În cazul betonului armat cu fibre de sticlă, rezistența maximă la întindere din încovoiere și rezistența corespunzătoare apariției primei fisuri sînt redate în fig. IV.24 [65]. Se arată că apariția primei fisuri corespunde unui nivel al efortului unitar de 3 ori mai mare, iar rezistența ma-

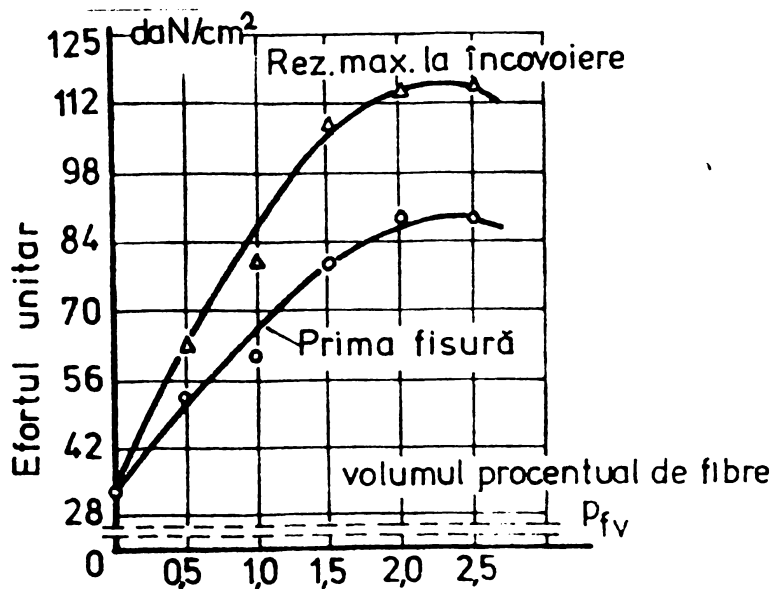


Fig. IV.24. Influența conținutului de fibre de sticlă asupra apariției primei fisuri și a rezistenței maxime la încovoiere.

tindere din încovoiere și rezistența corespunzătoare apariției primei fisuri sînt redate în fig. IV.24 [65]. Se arată că apariția primei fisuri corespunde unui nivel al efortului unitar de 3 ori mai mare, iar rezistența ma-

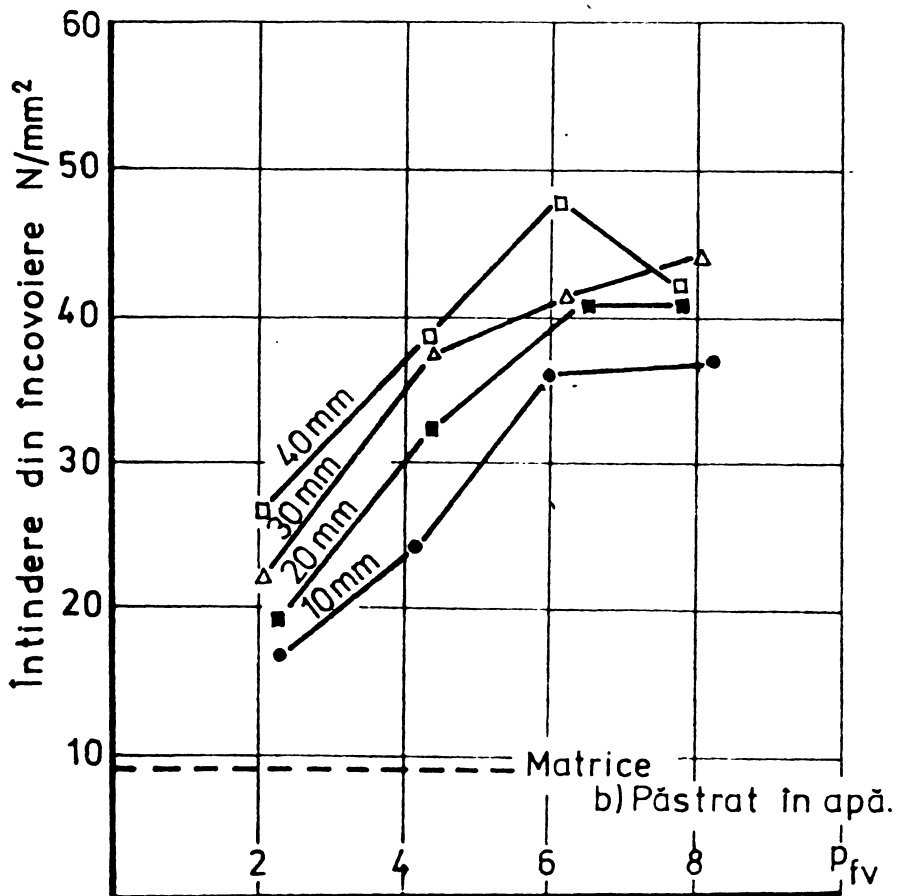
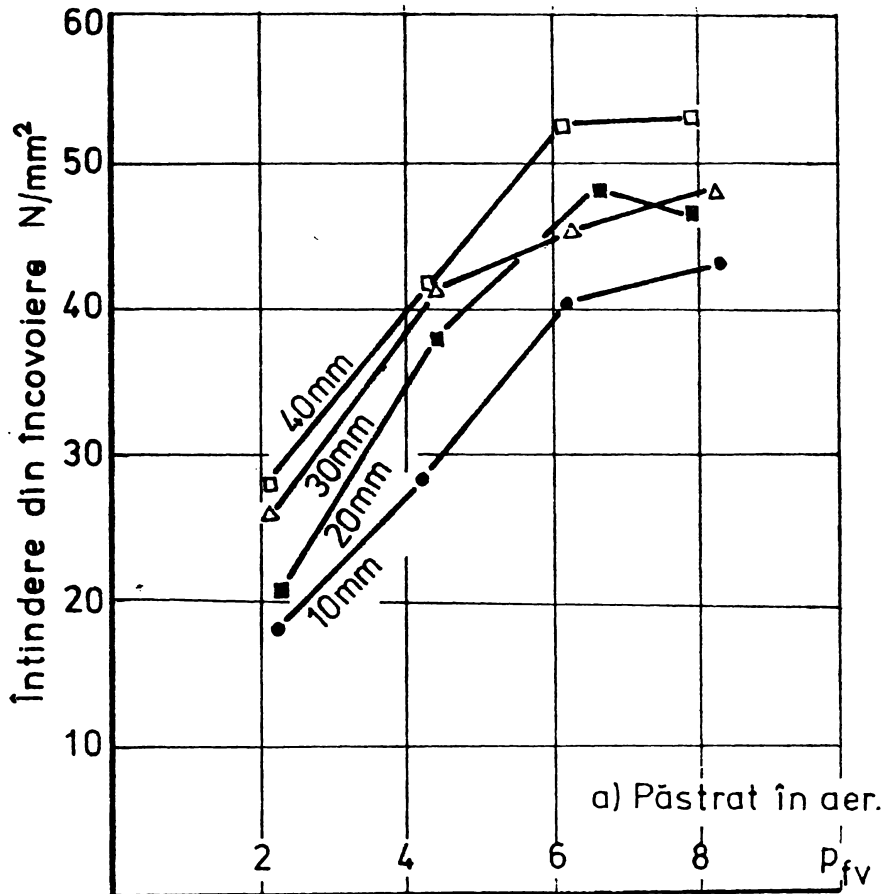


Fig.IV.25. Variația rezistenței la întindere din încovoiere în funcție de lungimea fibrelor și de cantitatea de fibre încorporate.

ximă la un efort unitar de 5 ori mai mare, față de probele mar-
tor, în condițiile utilizării a 2 - 2,5 % fibre de sticlă cu o
lungime de cel puțin 38 mm și agregate grosiere pînă la 9,5 mm,
proporția între agregatul grosier și agregatul fin fiind de 1/3.

În cazul unei matrice de ciment, rezistența maximă la
întindere din încovoiere pentru epruvete păstrate în aer sau în
mediu umed, în funcție de procentul volumic de armare cu fibre
de sticlă și pentru diverse lungimi ale fasciculelor de fibre,
este dată în fig. IV.25. [64]. Se desprinde concluzia că rezis-
tența la întindere din încovoiere crește aproximativ proporțio-
nal cu conținutul de fibre de sticlă pînă la 6v% din volum; re-
zistențele cresc de asemenea și odată cu creșterea lungimii fi-
brilor de sticlă (a se compara cu fig. IV.21).

După Meyer [64], în cazul unei matrice de ciment armată
cu fibre de sticlă și supusă la încovoiere, rezistența la întin-
dere din încovoiere la 28 de zile crește față de cea a matricei
de 4 - 10 ori, așa cum se prezintă în fig. IV.26.

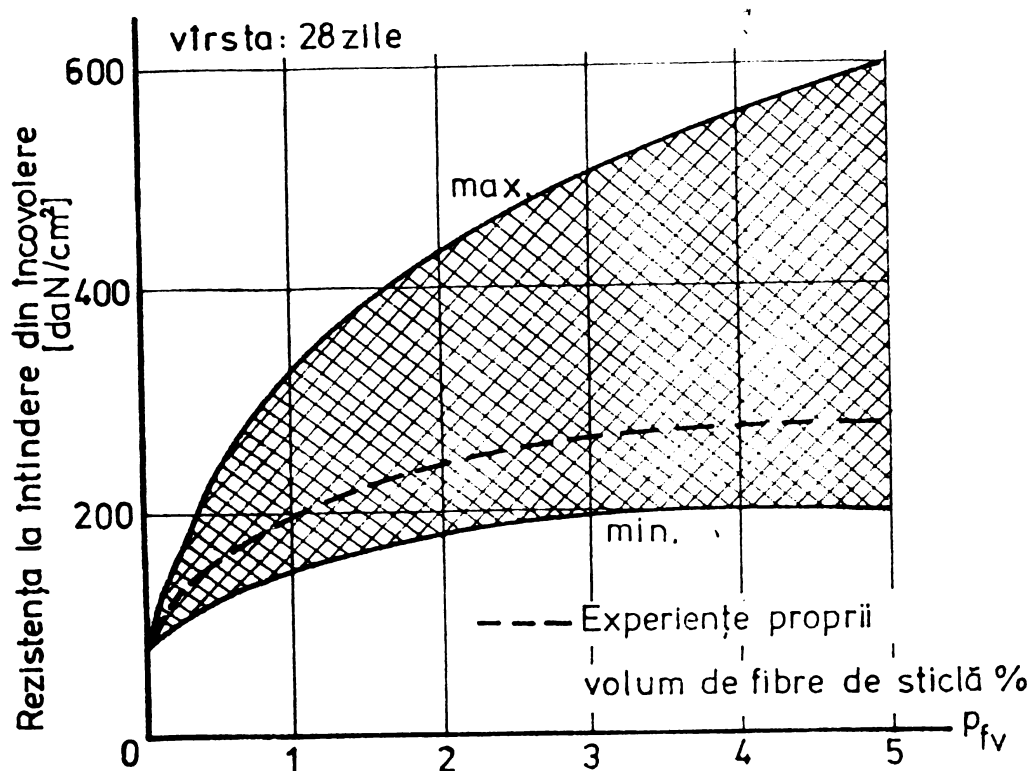


Fig. IV.26. Variația rezistenței la întindere din încovoiere în funcție de cantitatea de fibre de sticlă încorporată.

Proprilele experiențe efectuate pentru determinarea rezistenței la întindere din încovoiere, în funcție de cantitatea de fibre de sticlă încorporată în matrice, sînt cuprinse în limitele de minim și maxim ale diagramelor din fig.IV.26.

Analiza comparativă a diagramelor caracteristice pentru întindere centrică și încovoiere, redată în fig.IV.27 [20], permite identificarea în punctul E a limitei de elasticitate la încovoiere ca fiind aceeași cu limita de proporționalitate și mai mare decît limita de elasticitate de la întindere centrică, identificată în punctul A. Limita de ruper la încovoiere rezultă de circa 2,5 ori mai mare decît limita de rupere la întindere centrică. Se precizează că rezistența la întindere din încovoiere este calculată cu formula lui Navier.

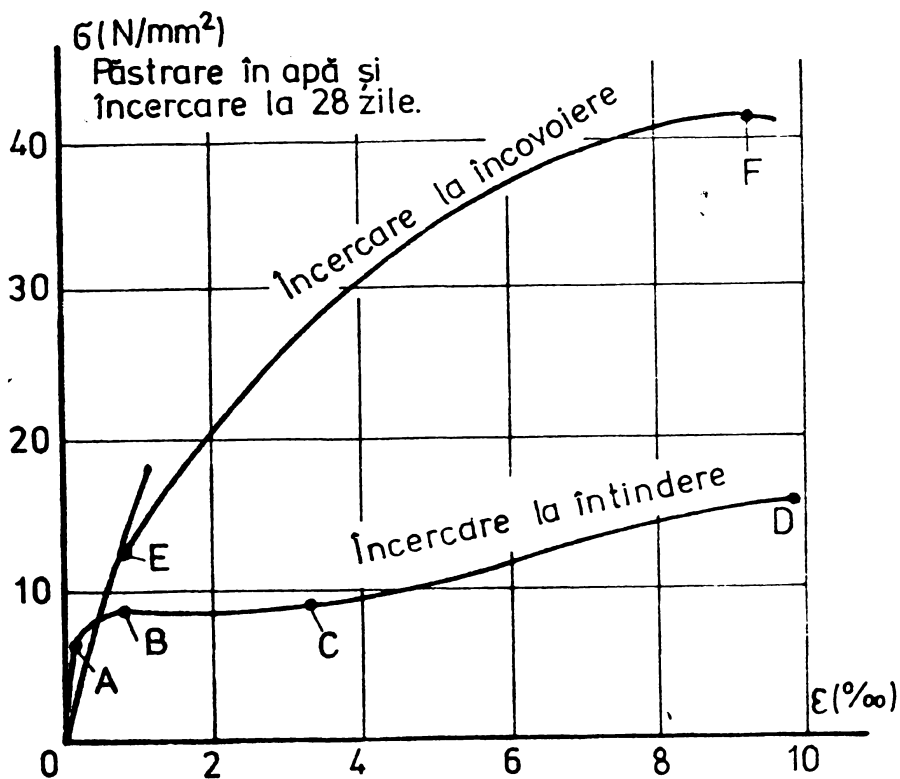


Fig.IV.27. Diagrama efort unitar - deformație specifică la întindere centrică și încovoiere.

IV.4.5.3. Rezistența la compresiune. Din experiențele efectuate a rezultat că rezistența la compresiune nu este substanțial influențată de prezența fibrelor de sticlă. Astfel, analizând variația efortului de compresiune funcție de cantitatea de fibre de sticlă încorporată în matricea de beton, conform

fig.IV.28 [65], rezultă că rezistența la compresiune crește cu 20 - 25 % pentru o armare cu fibre de sticlă de circa 1 % din volum, iar pentru procente mai mari de 2,5 - 3 % ea scade cu

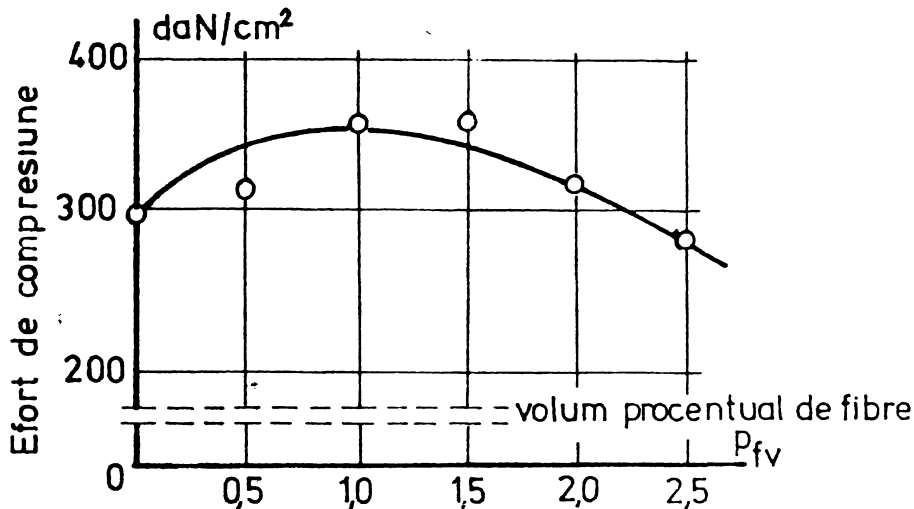


Fig.IV.28. Variația efortului unitar de compresiune funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă încorporată.

până la 5 - 10 %. Pentru cantități de circa 2 % fibre de sticlă încorporate în matrice, rezistența la compresiune nu se modifică practic față de cea a matricei de beton.

IV.4.5.4. Rezistența la forfecare. Rezistența de rupere la forfecare prezintă importanță în cazul laminatelor realizate din beton armat cu fibre. Forfecarea, în cazul acestor laminate, are în vedere atât suprafețele plane perpendiculare pe element cât și suprafețele plane interlaminare. În acest din ultim caz se obține performanțe mici în ceea ce privește rezistența de rupere la forfecare ; prima în plan transversal și cea de a doua interlaminară, fig.IV.29 [85].

În timp ce rezistența de rupere la forfecare în plan este dificil de determinat, rezistența de rupere la forfecare interfacială, în cazul cimentului armat cu 5 % fibre discontinue de sticlă din volum, orientate bidimensional în plan, este de circa 20 daN/cm² [85].

IV.4.5.5. Rezistența la șoc. Rezistența la șoc poate fi analizată în strînsă legătură cu energia consumată pentru ruperea materialului, cu particularitățile curbei caracteristice efort unitar - deformare specifică (fig.IV.27) ale probelor su-

puse la încovoiere, realizate din beton armat cu fibre de sticlă.

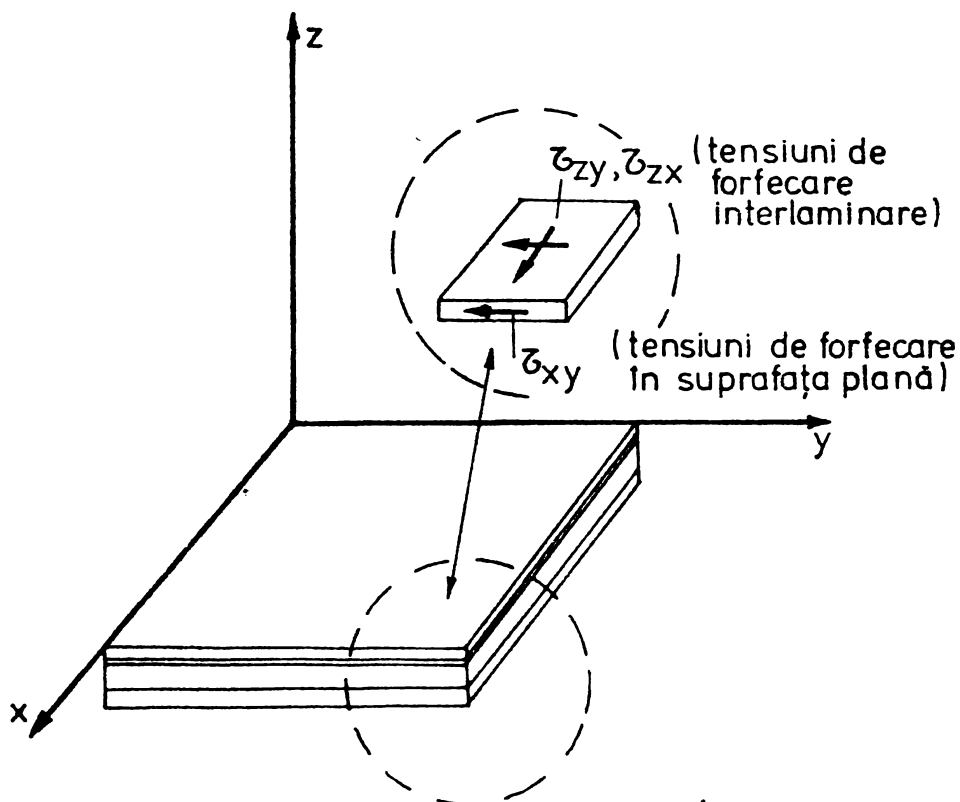


Fig.IV.29. Forfecare plană și interfacială.

După Meyer [68], în cazul unei matrice de ciment armată cu fibre de sticlă și supusă la încovoiere, rezistența la șoc, la 28 de zile, crește față de cea a matricei de 10 - 15 ori, așa cum se prezintă în fig. IV.30. În condițiile încorporării fibrelor scurte de sticlă prin tehnologia de pulverizare - vacuumare, creșterile pot fi și mai mari.

Creșterea considerabilă a rezistenței la șoc a probelor armate cu fibre de sticlă față de cele martor se explică prin cantitatea mare de energie absorbită în procesul de deformare, energie ce poate fi determinată prin integrarea ariei suprafeței de sub diagrama caracteristică, ea indicând totodată și o mare ductilitate a acestui material. Creșterea în timp a aderenței dintre filamentele de sticlă și matrice poate determina o oarecare scădere a rezistenței la șoc [40].

IV.4.5.6. Rezistența la oboseală. În fig.IV.31 este prezentată comportarea la încărcări ciclice de întindere a probelor din beton armat cu fibre de sticlă [64]. Analiza curbelor permite să se tragă concluzia că înfășurătoarea lor este, în linii

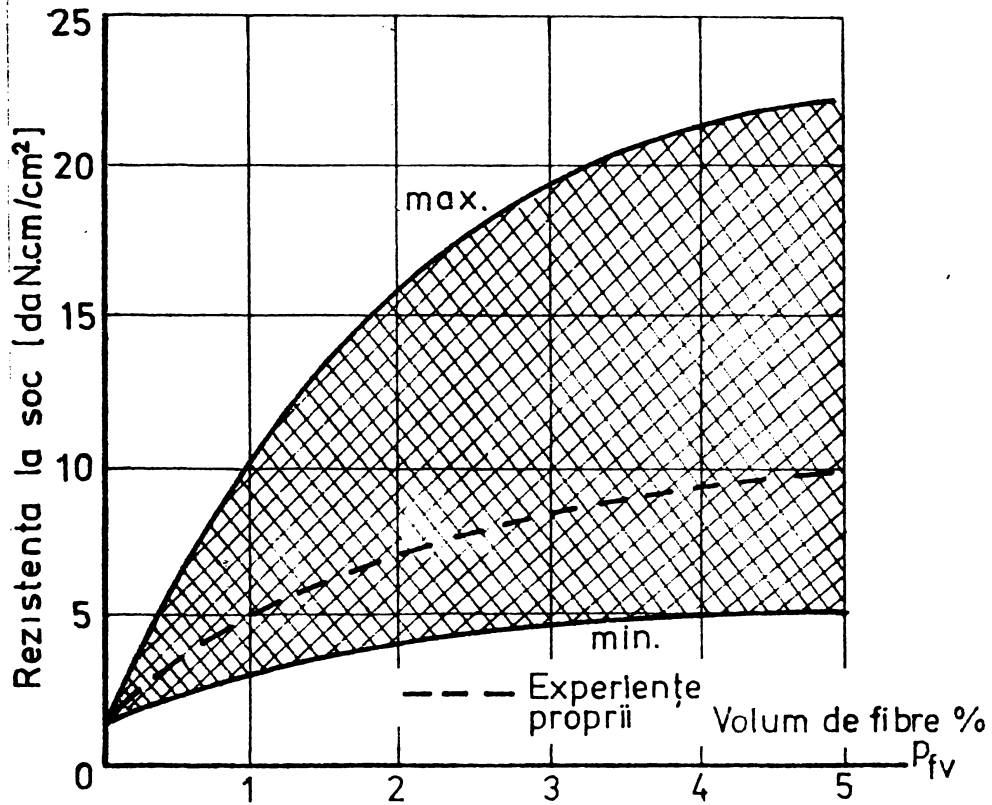


Fig.IV.30. Variația rezistenței la șoc în funcție de cantitatea de fibre de sticlă încorporată

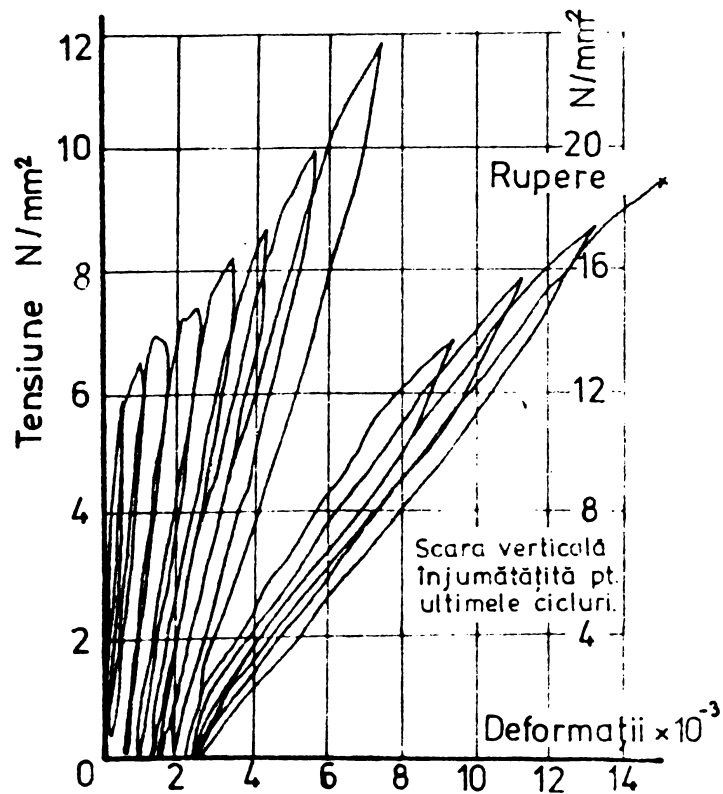


Fig.IV.31. Curbele efort unitar - deformație specifică în cazul betonului armat cu fibre de sticlă supus la încălzire și răcire.

mari, asemănătoare cu o curbă efort unitar - deformație specifică obținută prin încercare statică. Deformațiile remanente cresc continuu odată cu creșterea numărului de cicluri și sînt asociate cu scăderea modulului de elasticitate ca urmare a scăderii rigidității probei.

Interpretarea lui Allen [64] despre comportarea la întindere a acestor elemente evidențiază faptul că pînă la deformații specifice de $0,4 \cdot 10^{-3}$, comportarea este în cea mai mare parte liniară și elastică. La eforturi mai mari matricea începe să se rupă, fisurile devin mai frecvente.

Încercările efectuate pe probe din ciment armat cu fibre de sticlă arată că rezistența la oboseală, la 10^{-6} cicluri, este de aproximativ 90 % din limita de proporționalitate determinată sub încovoiere statică [64]. În cazul epruvetelor supuse la întindere centrică și solicitate în cadrul încărcărilor de exploatare sub limita de elasticitate, numărul de cicluri a depășit 10^{-6} .

IV.4.6. Constrația și curgerea lentă. Încercările efectuate de Grimer și Ali [48] asupra constrației la betoanele armate cu fibre de sticlă arată că, pentru o cantitate de fibre de sticlă încorporată sub 10 % din volum, constrația este foarte puțin afectată. Prezența însă a agregatelor în pasta de ciment reduce constrația [79]; astfel, pentru un raport ciment/nisip de 2:1, constrația maximă este de aproximativ 0,15 % iar pentru rapoarte de 1:1,5 constrația este de 0,06 %, experiențele fiind realizate prin utilizarea tehnicilor de pulverizare.

Efectul fibrelor de sticlă asupra fenomenului de curgere lentă la compresiune pare a fi neglijabil, în schimb la întindere determină o reducere a curgerii lente. [64] [79].

IV.4.7. Durabilitatea. Durabilitatea betonului armat cu fibre de sticlă se pune în evidență prin modul în care se mențin, se consolidează, sau chiar scad unele proprietăți ale materialului întărit. În acest sens trebuie să se cunoască: caracteristicile materialelor componente, metodele de producere și calitatea execuției, proprietățile fizice și chimice ale produsului întărit, condițiile de păstrare și exploatare, încărcările care acționează asupra materialului, etc. S-a dovedit că, în timp, proprietățile betonului armat cu fibre de sticlă se modifică,

chiar în condițiile utilizării unei sticle rezistente la alcalii (AR). În acest scop, cercetările efectuate în Anglia 64 asupra comportării în timp a betonului armat cu fibre de sticlă scot în evidență o oarecare micșorare a rezistențelor la întindere centrică, încovoiere și șoc (fig.IV.32).

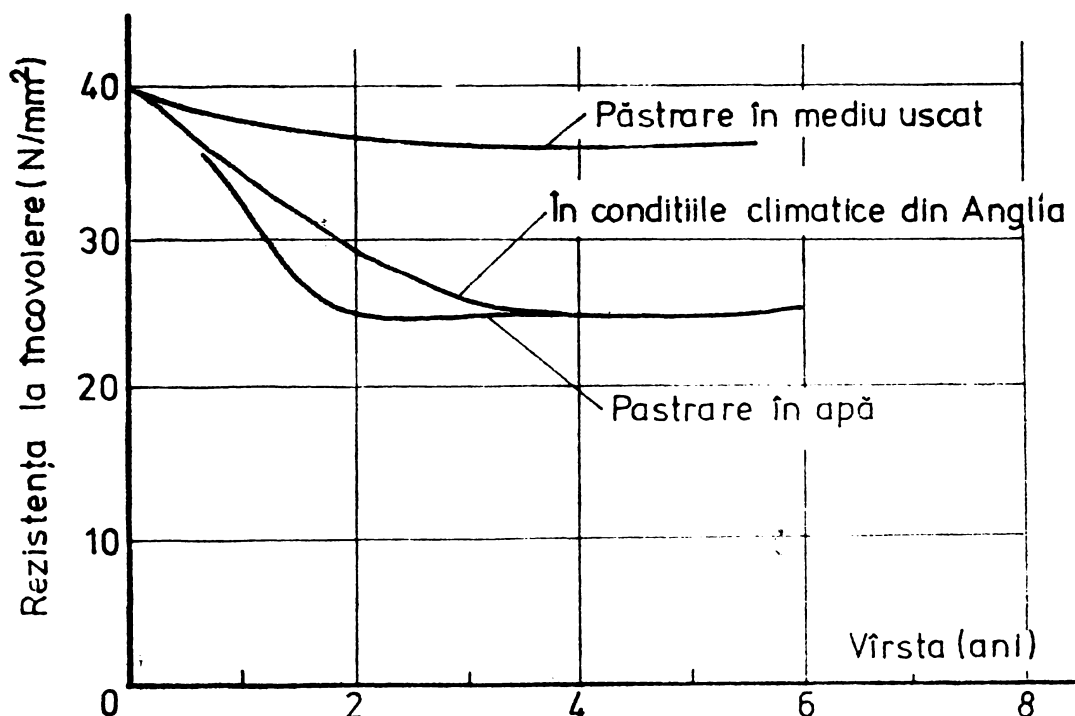


Fig.IV.32. Modificarea în timp a rezistențelor betonului armat cu fibre de sticlă în diferite condiții de păstrare.

În condițiile păstrării în aer, micșorarea rezistențelor este însă nesemnificativă.

Durabilitatea betonului armat cu fibre de sticlă este influențată în mare măsură de proprietățile fizice și chimice ale părților sale componente. În acest sens, pasta de ciment întărită joacă roluri importante în determinarea durabilității generale, după cum urmează :

- datorită neomogenității pastei de ciment, ca urmare a prezenței granulelor de ciment încă nehidratate precum și a porilor și microfisurilor, legătura între fibrele de sticlă și masa de bază este mai slabă;

- ca urmare a deformațiilor limită la rupere mult mai

mici ale pietrei de ciment (0,02 %) față de fibrele de sticlă, masa de bază se fisurează, în timp ce fibrele se vor încălca cu efort;

- proprietățile fizice și chimice ale pastei de ciment se schimbă în timp, de pildă, în cazul utilizării cimentului portland, rezistența crește în timp;

- procesele de hidratare ale cimenturilor portland produc mari cantități de Ca(OH)_2 , se formează hidroxizi alcalini; în aceste condiții se realizează în soluție un $\text{pH} = 12 - 14$, ceea ce are efecte negative asupra fibrelor de sticlă;

- ca urmare a faptului că procesele de hidratare ale cimentului pot continua luni sau ani, se produc mereu noi cantități de gel hidratat de silicat de calciu; în aceste condiții se modifică microstructura masei de bază, reducându-se porozitatea, iar aderența dintre fibre și masa de bază crește cu timpul;

- acoperirea fibrelor de sticlă cu diverse rășini [89] izolează mai bine fibrele de atacul mediului alcalin al pietrei de ciment.

În afara factorilor enunțați, durabilitatea betonului armat cu fibre de sticlă este influențată și de o serie de factori externi ca : acțiunea climatică și atmosferică, efectele de umezire și uscare, contactul cu materialele incompatibile, acțiunea factorilor biologici și a deșeurilor, comportarea sub încărcări.

În condițiile betonului armat cu fibre de sticlă, îmbunătățirea durabilității poate fi realizată prin reducerea alcalinității masei de bază, adăugând proporții corespunzătoare de tuf vulcanic, cenușă de combustibil, nisip fin sau polimeri.

IV.5. Proprietățile ipsosului armat cu fibre de sticlă

IV.5.1. Generalități. După cum este cunoscut, ipsosul este un material de construcții larg folosit, în deosebi în lucrări interioare. Folosirea lui este însă limitată, datorită rezistențelor scăzute la întindere și șoc. Îmbunătățirea acestor proprietăți se poate realiza prin încorporarea fibrelor de sticlă în masa de ipsos. Asociind ipsosul cu fibre de sticlă după procedee tehnologice folosite și în cazul betonului armat cu fibre de sticlă, se obține un material nou cu însușiri deosebi-

te. Noul material, denumit prescurtat IAFS (Ipsos Armat cu Fibre de Sticlă), se caracterizează prin rezistență sporită la șoc, întindere și la foc. Mediul ipsosului permite folosirea pentru armare a fibrelor de sticlă de tip E [14].

IV.5.2. Materiale. Principalele materiale folosite sînt fibrele de sticlă, ipsosul, apa și diferitele adaosuri.

IV.5.2.1. Fibrele de sticlă. Fibrele de sticlă folosite sînt de tipul E, avînd următoarele proprietăți :

- diametrul filamentului 8 - 10 μm ;
- numărul filamentelor în fibră . 204 ;
- rezistența la întindere $(2,06-2,75)10^3 \text{N/mm}^2$;
- modulul de elasticitate $(6,89-7,58)10^4 \text{N/mm}^2$.

Compoziția oxidică pentru sticla E este dată în tabelul II.2.

Fibra de sticlă de tip E, borosilicatică, are rezistențe mari și stabilitate la acțiunea apei și a diferiților solvenți activi [25]. În stare neîncărcată, în apă, fibra de sticlă își micșorează rezistența, dar după uscare o recapătă.

Fibrele de sticlă sînt utilizate de regulă ca o armătură dispersă în masa ipsosului, lungimea lor fiind de 15 - 50 mm [59].

IV.5.2.2. Mortarul de ipsos. Pentru o bună legătură între fibrele de sticlă și matricea de ipsos, este necesar ca mărimea granulelor de ipsos să fie similară cu diametrul fibrelor, să nu se producă reacții chimice între fibre și matrice, să existe posibilitatea de a se realiza o bună legătură interfacială cu fibrele. Mortarul de ipsos, fiind alcalin, nu atacă fibrele de sticlă. De Vekey și Majumdar [41] au arătat că aderența dintre mortarul de ipsos și fibrele de sticlă este de același ordin de mărime ca și aderența dintre piatra de ciment și oțel, fiind dependentă de raportul apă/mortar al matricei.

Ipsosul folosit este un ipsos semihidratat, obținut prin deshidratarea parțială a ghipsului și are drept constituent principal sulfatul de calciu semihidratat ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$).

Deoarece procesul de fabricație al elementelor din IAFS durează 30 - 45 minute, timpul de priză al mortarului se cere a fi întîrziat, asigurîndu-se astfel o bună lucrabilitate. Ca întîrziatori de priză în experiențele proprii s-a folosit boraxul.

IV.5.3. Rezistențele ipsosului armat cu fibre de sticlă.

În condițiile utilizării unui ipsos semihidrat și a armării disperse cu fibre scurte de sticlă de 50 mm [2], rezultă următoarele caracteristici mecanice :

a) Rezistența la întindere din încovoiere, funcție de conținutul volumic de fibre de sticlă încorporată, este prezentată în fig. IV.33. Rezultă că amestecul a atins rezistența maximă la 6,5 % conținut fi-

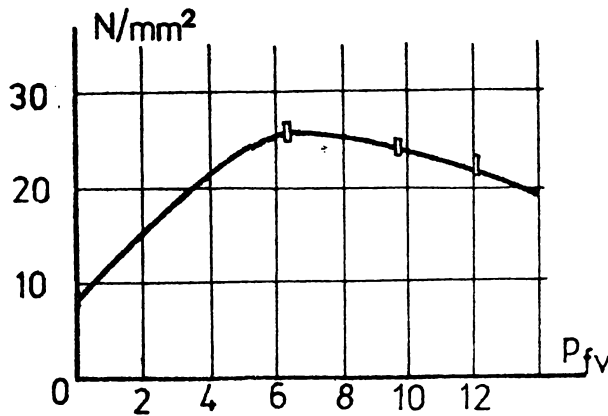


Fig. IV.33. Variația rezistenței la întindere din încovoiere funcție de procentul volumic de fibre de sticlă încorporate.

dere centrică funcție de conținutul volumic de fibre de sticlă încorporate este prezentată în fig. IV.34. Se constată un com-

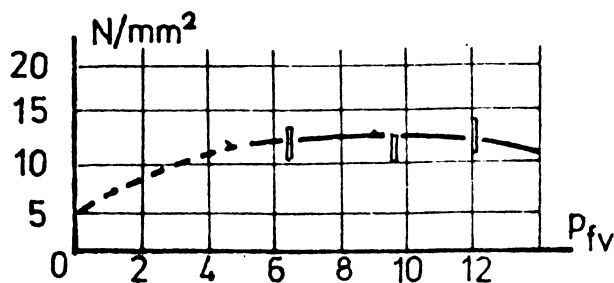


Fig. IV.34. Variația rezistenței la întindere centrică funcție de procentul volumic de fibre de sticlă încorporate.

portament asemănător ca în cazul precedent, cu deosebirea că rezistența maximă se obține pentru procente mai mari de fibre de sticlă și ea crește de 2 - 3 ori față de mortarul simplu.

c) Rezistența la compresiune scade odată cu creșterea cantității de fibre de sticlă încorporate în masa mortarului de ipsos așa cum se prezintă în fig. IV.35. Scăderea rezistenței este legată de scăderea densității odată cu creșterea cantității de fibre de sticlă încorporate, precum și de modul de compactare a amestecului. În condițiile utilizării

ximă la 6,5 % conținut fibre de sticlă și apoi rezistența scade. Această scădere a rezistenței se datorește scăderii densității și a rezistenței la compresiune a matricei odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă. Față de mortarul de ipsos simplu, rezistența la întindere prin încovoiere crește de circa 2 - 3 ori.

b) Rezistența la întin-

derii scade odată cu creșterea cantității de fibre de sticlă încorporate în

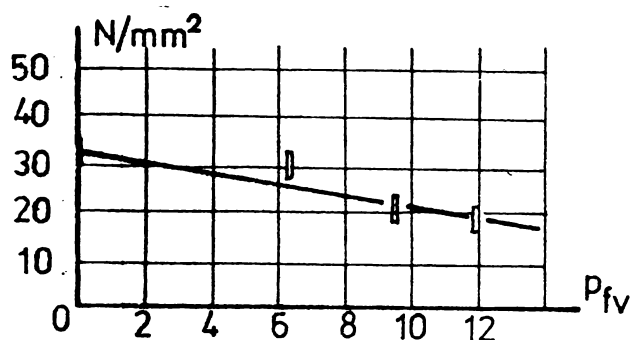


Fig. IV.35. Variația rezistenței la compresiune, funcție de procentul volumic de fibre de sticlă încorporate.

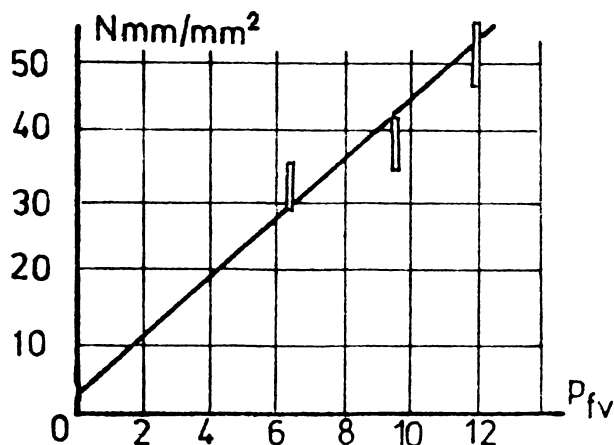


Fig. IV.36. Variația rezistenței la șoc funcție de procentul volumic de fibre de sticlă încorporate.

Creșterea masivă a rezistenței la șoc este urmarea încorporării fibrelor, care reduce posibilitatea fisurării. Curios, dar rezistența la șoc crește în condițiile unei legături slabe între fibrele de sticlă și matrice, energia de șoc fiind disipată de-a lungul zonei de separare fibră-matrice, fibrele fiind smulse.

Resistența la foc devine o particularitate foarte valoroasă a IAFS, avându-se în vedere restricțiile crescînde în utilizarea azbestului. Ținînd cont de rezistența ridicată la foc a IAFS, este bine a fi luat în considerare ca o alternativă pentru lemnul de construcție. Rezistența la întindere este mai mare decît un sfert din cea a lemnului pe direcția fibrelor, dar de 4 ori mai mare pe direcția perpendiculară fibrelor lemnului. Cele două materiale sînt comparabile din punct de vedere al rezistenței la șoc, în timp ce modulul de elasticitate al IAFS este de circa 1,5 ori decît cel al lemnului.

IV.5.4. Durabilitatea. Sînt puține informații asupra comportării în timp a ipsosului armat cu fibre de sticlă. Se poate

vibro-vacuumării, se poate îmbunătăți densitatea și deci se poate diminua reducerea rezistenței la compresiune.

d) Rezistența la șoc, în condițiile încorporării a 10 - 12 % fibre de sticlă, crește de 20 - 30 ori, așa cum se prezintă în fig. IV.36.

Creșterea masivă a rezistenței la șoc este urmarea încorporării fibrelor, care reduce posibilitatea fisurării. Curios, dar rezistența la șoc crește în condițiile unei legături slabe între fibrele de sticlă și matrice, energia de șoc fiind disipată de-a lungul zonei de separare fibră-matrice, fibrele fiind smulse.

e) Rezistența la foc devine o particularitate foarte valoroasă a IAFS, avându-se în vedere restricțiile crescînde în utilizarea azbestului.

totuși aminti faptul că rezistența liantului este influențată negativ de umiditate, deși ea este recuperabilă prin uscare. Totuși, se recomandă ca produsele din IAFS să nu fie folosite la lucrări exterioare în construcții [103].

IV.6. Capacitatea portantă a betoanelor armate cu fibre de sticlă

Determinarea capacității portante a betoanelor armate cu fibre de sticlă reprezintă o problemă complexă, ca urmare a numărului mare de factori care condiționează realizarea și comportarea sub încărcări a noului material.

După cum se știe, piatra de ciment și betonul simplu sînt materiale elastic-vîscos-plastice, cu rezistența la întindere foarte mică, cu o alungire la rupere foarte modestă și cu o curbă efort unitar - deformație specifică practic liniară, aproape pînă la rupere, chiar și numai prezența fenomenului de contracție va determina tensiuni interioare și microfisurarea în primul rînd a zonelor periferice, ceea ce desigur evidențiază lipsa de siguranță a rezistenței la întindere a materialului.

În cazul acestor materiale friabile, eliminarea neajunsurilor semnalate se poate realiza prin armarea cu fibre. Armarea cu fibre, a căror rezistență la întindere este mai mare și alungirea la rupere considerabil mai mare decît cele ale matricei, urmărește obținerea unor materiale compozite avînd rezistența la întindere mai mare și alungirea la rupere considerabil mai mare, comparativ cu cele ale matricei, conferind astfel noilor materiale mai multă siguranță.

Studiul capacității portante a elementelor de beton armat cu fibre de sticlă impune analiza în mod deosebit a comportării lor la solicitări de întindere centrică și întindere din încovoiere, definiții pentru capacitatea portantă a acestor materiale, așa cum sînt prezentate de comisia tehnică RILEM 19-FRC [85].

IV.6.1. Comportarea la întindere centrică. Curba caracteristică efort unitar - deformație specifică prezintă schimbări semnificative față de cazul betoanelor simple, în funcție de cantitatea de fibre de sticlă încorporate, fig. IV.37.

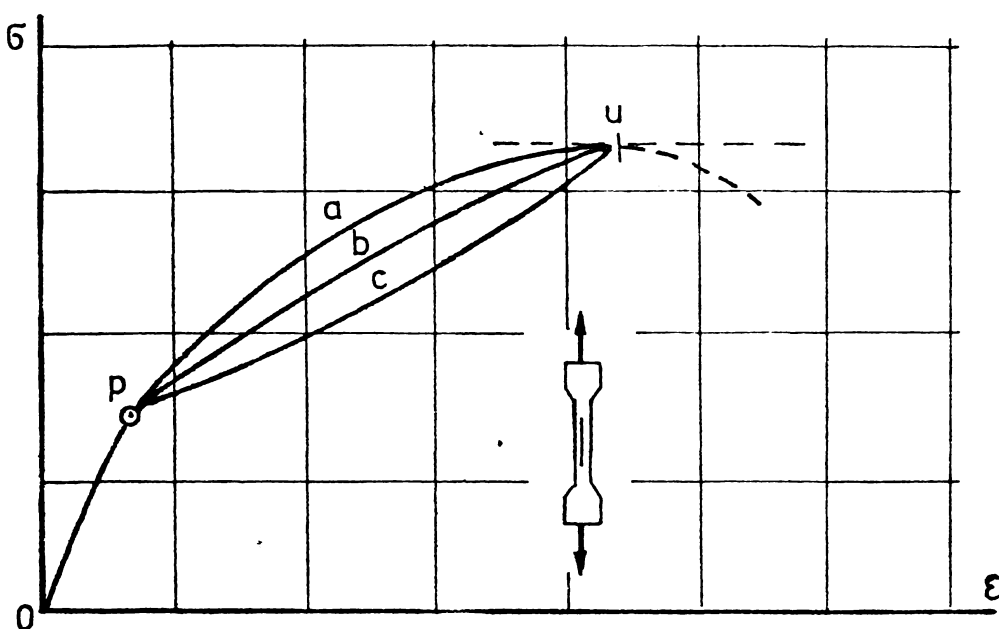


Fig.IV.37. Curbele efort unitar - deformație specifică pentru solicitarea de întindere centrică.

Prin punctele P și U se pot delimita, pe curba caracteristică, trei stadii de lucru distincte în comportamentul materialului. Punctul P indică localizarea primei fisuri în masa de bază; el poate fi mai mult sau mai puțin bine stabilit, în funcție de cantitatea de fibre încorporate în material, și poate fi considerat totodată ca limită a stadiului elastic (O-P). Se poate considera că punctul P corespunde deformației specifice limită a matricei nearmate. Trecerea în stadiul următor în condițiile unei perfecte continuități (prin curba a) conferă materialului cele mai bune proprietăți. În zona de la P la U - punct în care se atinge valoarea maximă a efortului unitar - relația între σ și ϵ este neliniară și panta curbei mult mai mică. Ultimul stadiu, post critic, reprezintă curba descendentă a diagramei.

Practic, abscisa punctului U este de circa 10 ori mai mare comparativ cu alungirea la rupere a masei de bază nearmată. În aceste condiții, este evident că masa de bază este fisurată, încărcările fiind preluate de către fibre.

Interacțiunea între fibre și matrice este evidențiată în mod deosebit în comportamentul produsului în stadiul 2, adică între punctele P și U. Dacă trecerea de la stadiul 1 la stadiul

2 este lină și continuă (curba a), aceasta indică o dezvoltare favorabilă a fisurilor și o bună ancorare a fibrelor. În schimb, o interacțiune slabă între componente duce la o ruptură clară în punctul P (curbele b sau c), fisurile sînt mai rare, ele se deschid și se dezvoltă asemănător ca la betonul armat obișnuit, influențînd negativ asupra durabilității materialului.

În funcție de o mai slabă sau o mai bună interacțiune între fibre și masa de bază, ruperea se produce prin smulgerea respectiv ruperea fibrelor.

IV.6.2. Comportarea la încovoiere. Curba caracteristică efort unitar - deformație specifică este prezentată în fig. IV. 38. Se constată o comportare diferită a zonei întinse (ϵ_t) de

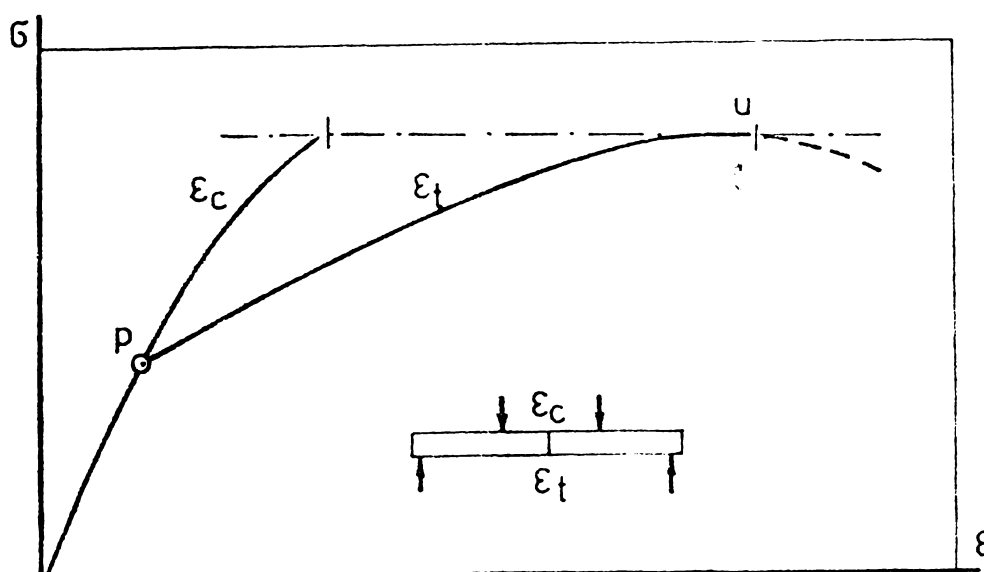


Fig. IV.38. Curbele efort unitar - deformație specifică pentru solicitarea la încovoiere.

cea a zonei comprimate (ϵ_c). Pînă la punctul P cele două curbe sînt identice, materialul este nefisurat, iar axa neutră se află în mijlocul înălțimii secțiunii. Porțiunea curbei de la O la P corespunde stadiului 1, stadiul elastic. După punctul P, cînd începe fisurarea, cele două curbe se despart, deformațiile din zona întinsă dezvoltîndu-se mai repede față de cele din zona comprimată, ceea ce indică deplasarea spre zona comprimată a axei neutre. La valoarea finală a încărcării de rupere, deformația specifică în zona întinsă este de 2 - 3 ori mai mare decît cea din zona comprimată.

Curba σ - ϵ , pentru deformațiile de pe latura întinsă, este similară cu cea obținută la solicitarea de întindere centrică, cu deosebirea că rezistențele din încovoiere sînt mai mari.

IV.6.3. Aspecte structurale ale cimentului armat cu fibre de sticlă. Cimentul armat cu fibre de sticlă, realizat prin tehnologia pulverizării constituentilor, are o microstructură complexă, determinată de geometria fibrelor, de penetrația cimentului între fibre, de structura însăși a matricei și în cele din urmă de caracteristicile fizico-mecanice ale produsului. Influența acestor factori se repercutează asupra relației efort unitar - deformație specifică a materialului, așa cum este prezentată în fig.IV.39.

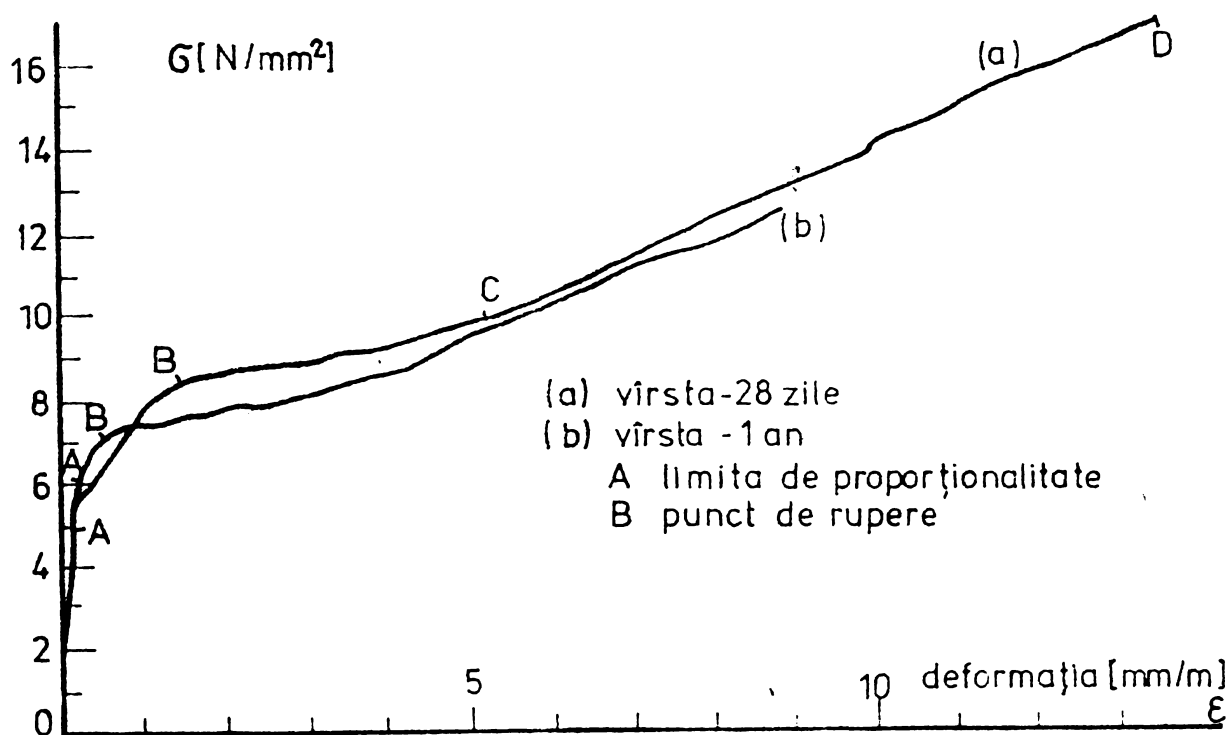


Fig.IV.39. Diagrama efort unitar - deformație specifică, la cimentul armat cu fibre de sticlă supus la întindere.

Armarea matricei de ciment cu fibre de sticlă are rolul de a împiedeca propagarea fisurilor în masa de bază, puțin elastică dar fragilă, mărind astfel energia de rupere și implicit micșorînd eforturile locale.

Microscopic, piatra de ciment are o structură poroasă, care în timp se modifică datorită proceselor de hidratare ale

cimentului. Piatra de ciment, după cum este cunoscut, are atât rezistența la întindere cât și deformația specifică la întindere foarte reduse. Modulii de elasticitate longitudinal și transversal, rezistența la compresiune a pietrei de ciment variază în funcție de porozitate. Piatra de ciment conține în structura sa goluri și fisuri microscopice, fisuri care sub efectul variațiilor de temperatură și umiditate se pot mări. Efectul tuturor golurilor, incluziunilor și microfisurilor face ca relația efort unitar - deformație specifică să fie neliniară, iar fisurile distribuite haotic.

Fibra de sticlă, spre deosebire de piatra de ciment, are modulul de elasticitate bine definit și o diagramă efort unitar - deformație specifică ovasiliniară pînă la rupere.

Conlucrarea dintre fibrele de sticlă și piatra de ciment are un rol important în determinarea comportării materialului compozit [62]. Astfel, după 28 zile, în mare parte conlucrarea se manifestă prin forțe de frecare, cu timpul însă, prin penetrația cimentului hidratat între filamentele de sticlă, se sporește aderența.

Deoarece fibrele sînt pulverizate sub formă de fascicule de 204 filamente și deoarece granulele de ciment cu mărimea de circa 20μ nu pot pătrunde în interiorul fasciculelor, acestea rămîn sub forma unor legături scurte sau straturi bogate în fibre și separate de piatra de ciment, ca în fig. IV.8. Conținutul scăzut de fibre de sticlă, alături de lipsa dispersiei filamentelor, face ca ponderea straturilor bogate în fibre să fie mică în comparație cu piatra de ciment. Fasciculul, la 28 zile, nu conține practic în interiorul lui produși de hidratare ai cimentului și de aceea tinde să acționeze ca un singur element de armare. În timp însă, produșii de hidratare pătrund în fascicul și filamentele, care se acoperă cu acești produși, tind să acționeze ca armături independente. În decurs de 6 - 12 luni, prin penetrația produșilor de hidratare ai cimentului, legătura dintre fibre se modifică efectiv, realizîndu-se un "compozit miniatural" [57]. Mărimea suprafeței de legătură crește de la aria inițială a fasciculului la aria totală a tuturor filamentelor din fascicul.

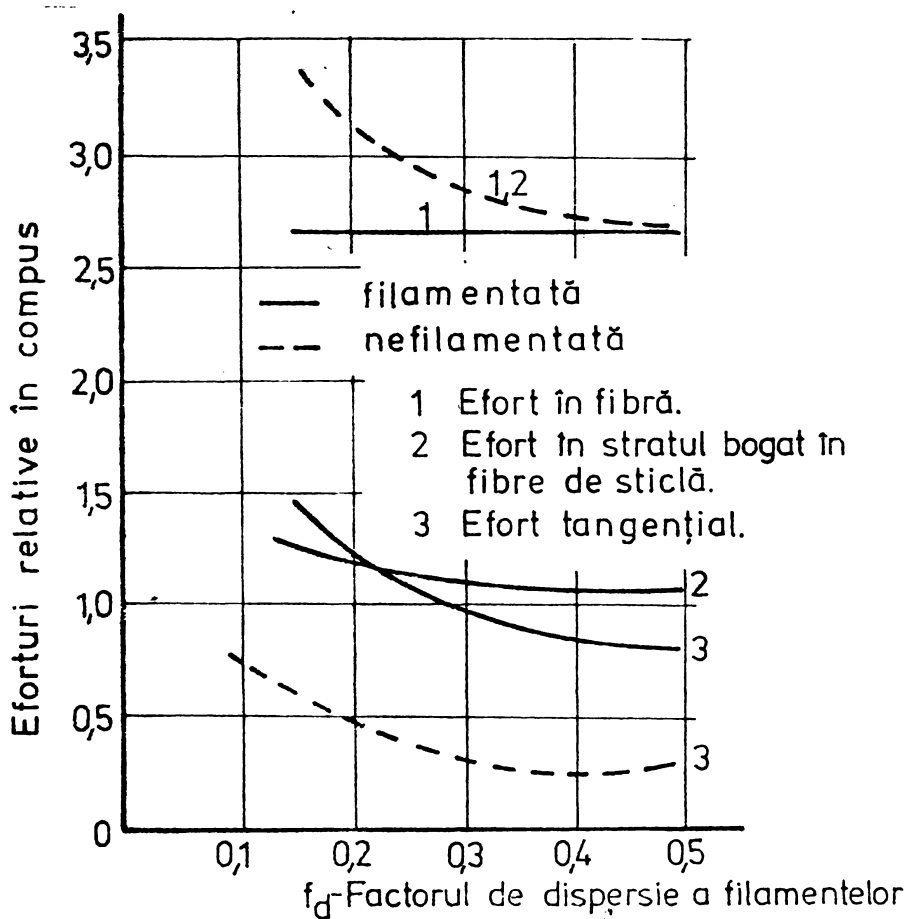
Studiul structurii are la bază o celulă unitate, care încorporează un fascicul de fibre de sticlă, putînd reda mai

real comportarea structurii față de studiile teoretice anterioare, care considerau celula unitate realizată cu o singură fibră încastrată în piatra de ciment [72] [5], așa cum se vede în fig. IV.8. Analizele au arătat că distribuția eforturilor în celula unitate este influențată de parametrii structurali ai materialului compozit. Transferul de încărcare nu este determinat de filamente ci de fascicul, la fel ca și de mărimea și elasticitatea stratului bogat în fascicule. Efortul maxim în fibră și în straturile bogate în fibre precum și efortul maxim de aderență la capătul fibrei sînt redată în fig. IV.40, în funcție de factorul de dispersie al filamentelor. Se constată că fibrele nefilamentate, mai ales cînd sînt strîns legate, suportă un efort mai mare decît fibrele filamentate. Pe de altă parte, efortul de aderență este mai mare în jurul fibrelor filamentate, ceea ce înseamnă că ele se vor șmulge într-un stadiu mai prematur decît fibrele nefilamentate.

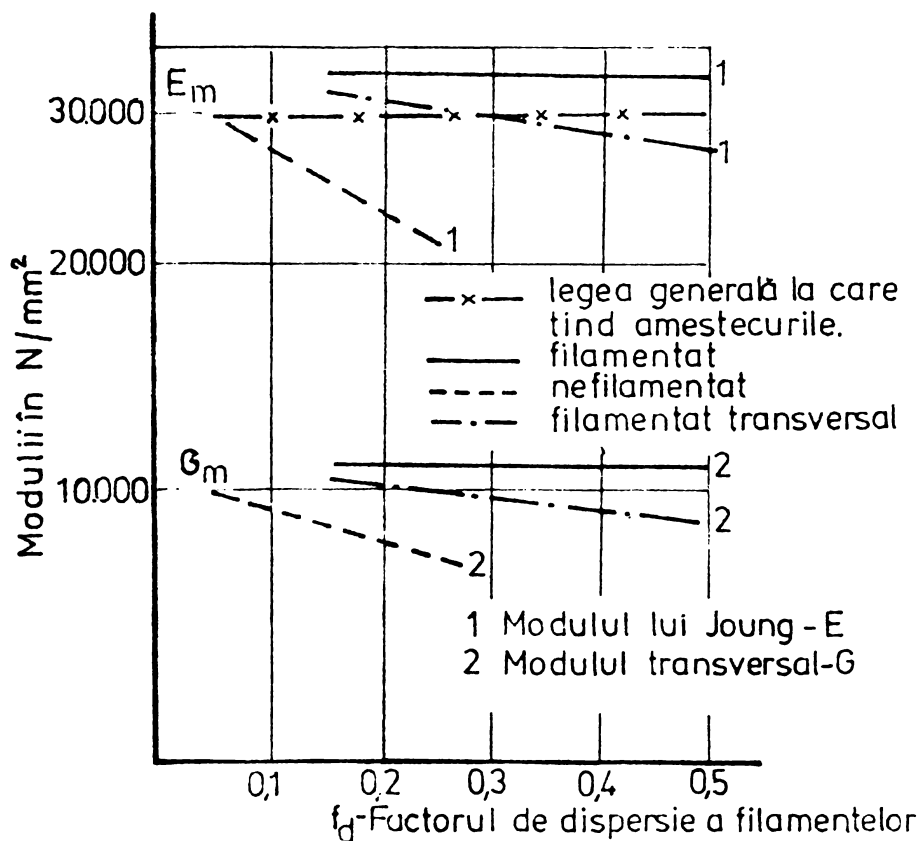
În figura IV.40b se prezintă variația caracteristicilor elastice ale materialului compozit funcție de filamentație și de dispersia filamentelor [9]. Se constată că în stare filamentată, E și G nu variază funcție de factorul de filamentizare, în timp ce pentru celelalte stări de filamentare, ei descresc ușor, odată cu creșterea lui f_d . Pentru starea de filamentare, modulul de elasticitate este superior modulului matricei de ciment. La starea nefilamentată, situația este inversă, deoarece golurile tind să reducă modulul de elasticitate.

Diagrama efort unitar - deformație specifică rămîne liniară, cu panta egală cu modulul de elasticitate E , pînă cînd apar primele fisuri, care modifică structura materialului compozit și deci și panta diagramei [4]. Microfisurarea pietrei de ciment se consideră stabilă și limitată între fasciculele de fibre. În cazul că microfisurile sînt mai mari și sînt traversate de fibre, ele au o mai mare rezistență, deoarece o parte din energia încărcărilor exterioare este disipată în distrugerea legăturii, iar energia disponibilă pentru fisurarea suprafeței este corespunzător mai mică. În acest ultim caz, poate fi aplicat criteriul de echilibru al energiei, folosit de Averston [10].

Pentru a elucidă mecanismul microfisurării pietrei de ciment, s-a folosit un model în care fisura apare sub formă de tunel situată între două straturi bogate în fibre, după cum es-



a) Efortul maxim în compus.



b) Proprietățile elastice.

Fig.IV.40. Efectul filamentizării și dispersiei filamentelor în materialul compozit.

te ilustrat în fig.IV.41. În cazul în care fasciculele sînt nefilamentate sau parțial filamentate, matricea de ciment devine discontinuă în planul stratului bogat în fibre și fisura, în acest caz, este practic limitată. Pe de altă parte, elasticitatea stratului bogat în fibre, perpendicular pe planul fisurii, poate exercita efecte de presiuni asupra fisurii, așa cum au presupus Romualdi și Batson [86] și poate duce la fisuri mai mici. Dimpotrivă, în cazul lățimii limitate a fisurii, are loc o reducere a presiunii din fisură

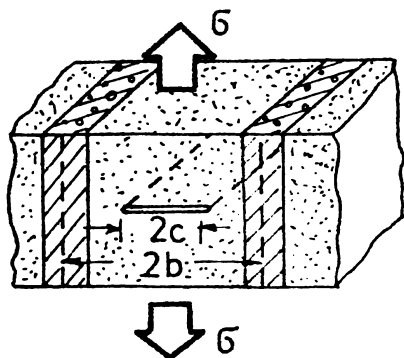


Fig.IV.41. Model pentru studiul microfisurării pietrei de ciment armată cu fibre de sticlă.

cu mai mult de 51 % [72]. Așa dar, Discontinuitățile sau golurile din fascicule acționează ca bariere în fața înaintării fisurilor, prevenind propagarea lor în curmezișul secțiunii.

Luînd în considerare structura descrisă, diagrama σ - ϵ , pentru o matrice de ciment armată cu fibre de sticlă și supusă la întindere, prezentată în fig.IV.39, poate fi interpretată pe baza studiilor lui Nair [72] astfel : punctul A corespunde limitei de proporționalitate, marchează începutul fisurării matricei; punctul B marchează limita de elasticitate și începutul formării fisurilor macroscopice; în zona dintre punctele A și B, denumită zonă de transmitere, se dezvoltă fisuri în partea de ciment, care însă nu străbat fasciculele de fibre. În cazul determinărilor la 28 zile, aceste fisuri sînt limitate de golurile din interiorul fasciculelor, goluri în care încă nu au pătruns produșii de hidratare ai cimentului și zona de transmitere este mai extinsă. Pentru determinările la un an, în condiții de păstrare în apă, fisurile nu mai sînt limitate, zona de transmitere este mai restrînsă și diagrama σ - ϵ devine practic liniară pînă în B. Peste limita de elasticitate B, procesul de fisurare continuă intens prin dezvoltarea de fisuri fine transversale pînă în punctul C. Zona C - D caracterizează deschiderea fisurilor, cedarea elementului făcîndu-se prin smulgerea sau ruperea fibrelor.

IV.6.4. Comportarea la fisurare multiplă. Fisurarea multiplă are loc în condițiile încorporării unei cantități mari de fibre de sticlă, distanța minimă dintre fisuri, X putînd fi dedusă din efortul corespunzător primei fisuri [10], adică :

$$X P_f \bar{\sigma}_b n = R_{tm} (1 - \mu_{fv}) = \mu_m R_{tm} \quad (IV.70)$$

unde : n este numărul fibrelor fasciculelor de sticlă pe unitatea de suprafață care traversează fisura;

R_{tm} - efortul unitar în matrice în momentul fisurării;

P_f - perimetrul fasciculului de fibre;

$\bar{\sigma}_b$ - efortul unitar mediu de aderență;

$\mu_m = (1 - \mu_{fv})$, este fracțiunea de matrice din volumul unitar.

În cazul unui singur filament, n devine :

$$n = \frac{\mu_{fv}}{\pi r^2} \quad \text{și} \quad X = \frac{\mu_m}{\mu_{fv}} \cdot \frac{R_{tm} \cdot r}{2 \bar{\sigma}_b} = \left(\frac{1}{\mu_{fv}} - 1 \right) \frac{R_{tm} \cdot r}{2 \bar{\sigma}_b} \quad (IV.71)$$

și din considerente statistice [12], media spațiilor de fisurare X poate fi luată circa 1,364 X . Aveston [11] [12] a sugerat că, în condițiile armării plane cu fibre continue dispuse haotic, distanța dintre fisuri va fi de $\pi/2$ ori distanța corespunzătoare orientării aliniate a fibrelor și că, în cazul armării disperse, distanța dintre fisuri nu va fi afectată practic de lungimea fibrelor dacă aceasta este mai mare decît de patru ori distanța dintre fisuri. S-a dedus că distanța dintre fisuri variază cu mărimea și forma fasciculului; astfel pentru un fascicul cu 200 filamente așezate pe grosimea de trei filamente, distanța va fi de 2,9 ori cea corespunzătoare unui material compozit identic, dar pe grosimea unui singur filament, iar dacă el se așează pe grosimea a 8 filamente factorul de multiplicare devine 6. Aceasta evidențiază dependența fisurării față de modul de aranjare a fibrelor în interiorul fasciculului.

IV.6.5. Comportarea după fisurare. Ca urmare a fisurării multiple, masa de bază nu mai preia încărcări, ele sînt preluate în aceste condiții numai de către fibre. În cazul utilizării fibrelor de sticlă continue, se poate scrie :

$$E_{bfm} = E_f \mu_{fv} \quad (IV.72)$$

și la rupere :

$$R_{tfm} = R_f \mu_{fv} \quad (IV.73)$$

unde : E_{bfm} - este modulul de elasticitate al materialului după fisurarea multiplă.

In cazul armării bidimensionale, folosind tehnologia pulverizării, se pot introduce factorii empirici K_1 și K_2 , care țin cont de dispersia fibrelor scurte, și se poate scrie :

$$E_{bfm} = K_1 E_f \mu_{fv} \quad (IV.74)$$

și

$$R_{tfm} = K_2 R_f \mu_{fv} \quad (IV.75)$$

Coeficienții K_1 și K_2 se determină folosind caracteristicile de rezistență ale produsului, de elasticitatea și rezistența fibrelor. Factorul de elasticitate K_1 este aproximativ 0,25 - 0,30 și este identic cu factorul de rezistență K_2 pentru produși cu un conținut scăzut de nisip, pînă la 0,7 raportul nisip/ciment [75].

Dață considerăm $K_1 = K_2$, atunci se poate scrie din ecuațiile (IV.74) și (IV.75) că :

$$R_f = \frac{E_f}{E_{bfm}} R_{tfm} \quad (IV.76)$$

adică rezultă rezistența fibrei funcție de caracteristicile de elasticitate la fisurare și rezistența materialului compozit.

IV.6.6. Capacitatea portantă a materialelor compozite armate cu fibre. Rezistența unui material compozit armat cu fibre discontinue, la apariția primei fisuri va fi dată de relația (IV.77), cu mici modificări :

$$R_{tf} = \epsilon_{bf} E_{bf} \quad (IV.77)$$

După fisurare, alungirea suplimentară a materialului va îndrepta restul fibrelor ce traversează fisura, ceea ce va însemna o creștere substanțială a factorului de eficiență a fibrei de la 0,41 la o valoare apropiată de 1 și implicit elementul va putea suporta o încărcare mai mare, fiind antrenate în lucru o cantitate mai mare de fibre.

Pentru elemente la care raportul de aspect este mai ma-

re decât valoarea critică dată de relația (IV.24), comportarea după fisurare tinde să fie ca aceea pentru elemente cu fibre continue, aliniate, rezultând capacitatea portantă :

$$R'_{tf} = \eta' \mu_{fv} R_f \quad (\text{IV.78})$$

unde : $0,41 < \eta' < 1,0$.

IV.7. Clasificarea produșilor armați cu fibre de sticlă.

Betoanele și mortarele armate cu fibre de sticlă se clasifică în funcție de densitatea lor, de orientarea fibrelor de sticlă în matrice, de poziția fibrelor de sticlă în element și de tehnologia de realizare.

După mărimea densității, se disting :

- betoane și mortare izolante, folosite ca materiale de izolare termică și fonică, densitatea în stare uscată fiind cuprinsă între 200 - 700 kg/m³;

- betoane ușoare, realizate prin folosirea unor adaosuri ușoare sau prin crearea artificială a unor pori de aer, cu densitatea cuprinsă între 700 - 1300 kg/m³;

- betoane grele, cu densitatea cuprinsă între 1300 - 2300 kg/m³.

După orientarea fibrelor de sticlă în matrice, se disting :

- betoane și mortare cu fibre lungi orientate monodimensional, după direcția de solicitare, ceea ce determină și un randament maxim în exploatarea fibrelor, de 100 %;

- betoane și mortare cu fibrele orientate bidimensional, întâmplător în plan, putându-se folosi fibre scurte sau lungi; dacă fibrele în plan sînt uniform distribuite în toate direcțiile, se ajunge, în cazul unei solicitări monoaxiale, la un randament de exploatare a fibrelor de 35 %;

- betoane și mortare cu fibre orientate tridimensional; se impune folosirea unor fibre de lungime mai redusă. În acest caz, la o solicitare monoaxială, randamentul de exploatare a fibrelor este de maxim 20 %.

După poziția fibrelor de sticlă în elemente, se disting:

- betoane și mortare armate dispers, fibrele scurte fiind uniform repartizate în element;

- betoane armate diferențiat, fibrele scurte sau lungi fiind dispuse numai în zonele elementelor solicitate la întindere:

După tehnologia de realizare a produșilor armați cu fibre de sticlă, se disting :

- produși realizați prin preamestec;
- produși realizați prin pulverizare;
- produși realizați prin contact;
- produși realizați prin bobinare.

CAP. V. STUDII EXPERIMENTALE DE LABORATOR

=====

Au fost efectuate studii experimentale asupra ipsosului armat cu fibră de sticlă (IAFS), a cimentului armat cu fibre de sticlă (CAFS) și a betoanelor armate cu fibre de sticlă (BAFS).

V.1. Ipsosul armat cu fibre de sticlă.

Cercetările în domeniul IAFS au fost efectuate în baza contractelor nr.667/1972, nr.9796/1973 și nr.934/1974, încheiate cu Institutul de Cercetări și Proiectări Tehnologii Sticlă și Ceramică Fină (I.C.P.T.S.C.F.) din cadrul M.I.U.

V.1.1. Programul studiului experimental. Studiul experimental a urmărit determinarea principalelor proprietăți fizico-mecanice ale ipsosului armat cu fibre de sticlă, în condițiile folosirii fibrelor de sticlă de producție românească și a tehnologiilor adecvate, în conformitate cu programul cuprins în tabelul V.1.

Obiectivele acestui studiu au fost :

- a) determinarea principalelor proprietăți ale pastei neîntărite de ipsos și a celei întărite;
- b) influența tehnologiilor de încorporare a fibrelor de sticlă;
- c) influența lungimii fibrelor de sticlă;
- d) influența procentului de armare cu fibre de sticlă.

V.1.1.1. Determinări asupra ipsosului. S-a folosit un ipsos semihidrat, obținut prin deshidratarea parțială a gipsului, având drept constituient principal sulfatul de calciu semihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$). Principalele proprietăți ale ipsosului folosit la realizarea IAFS sînt date în tabelul V.2, proprietăți determinate în conformitate cu STAS 545-66.

Pasta de ipsos, fiind nealcalină, nu atacă fibrele de sticlă și asigură o bună comportare a acestora în timp [2], [47]. Experiențele arată că aderența dintre fibrele de sticlă și piatra de ipsos este de același ordin de mărime ca și cea dintre oțel și ciment, depinzînd de raportul apă/ipsos [41].

Pentru o bună încorporare a fibrelor de sticlă în pasta de ipsos este necesară o cantitate mai mare de apă de amestec decît cea necesară unui amestec de consistență normală. De ase-

menea, deoarece procesul de fabricație al elementelor din IAFS durează 30 - 45 minute, este necesară folosirea unui întârzietor de priză și întărire, care să permită desfășurarea în condiții normale a acestui proces de fabricație. S-au făcut în acest scop determinări asupra timpului de început și sfârșit de priză la pasta de ipsos, în funcție de cantitatea de borax folosită ca întârzietor de priză. Rezultatele experiențelor efectuate sînt prezentate în tabelul V.3. Se desprinde concluzia că boraxul poate fi utilizat cu bune rezultate, cînd este folosit în proporție de 0,5 - 1,0 % din greutatea liantului în stare uscată, asigurîndu-se astfel întîrzierea prizei cu 0,5 - 2 ore [31].

Printre proprietățile de dorit ale pastei de ipsos este ca mărimea granulelor ipsosului să fie apropiată de cea a fibrelor de sticlă, pentru a se realiza o cît mai bună pătrundere și aderență între fibre și matrice, adică o finețe de măcinare cît mai pronunțată.

V.1.1.2. Particularitățile fibrelor de sticlă. Pentru armarea dispersă a ipsosului s-a folosit fibra de sticlă tip F, borosilicatică, ale cărei proprietăți sînt prezentate în paragraful IV.5.2.1. Tinînd cont de tehnologiile folosite, precum și de influența lungimii fibrelor de sticlă asupra proprietăților matricei armate, s-a urmărit influența lungimii fibrelor pentru lungimi de 15 mm, 30 mm și 45 mm.

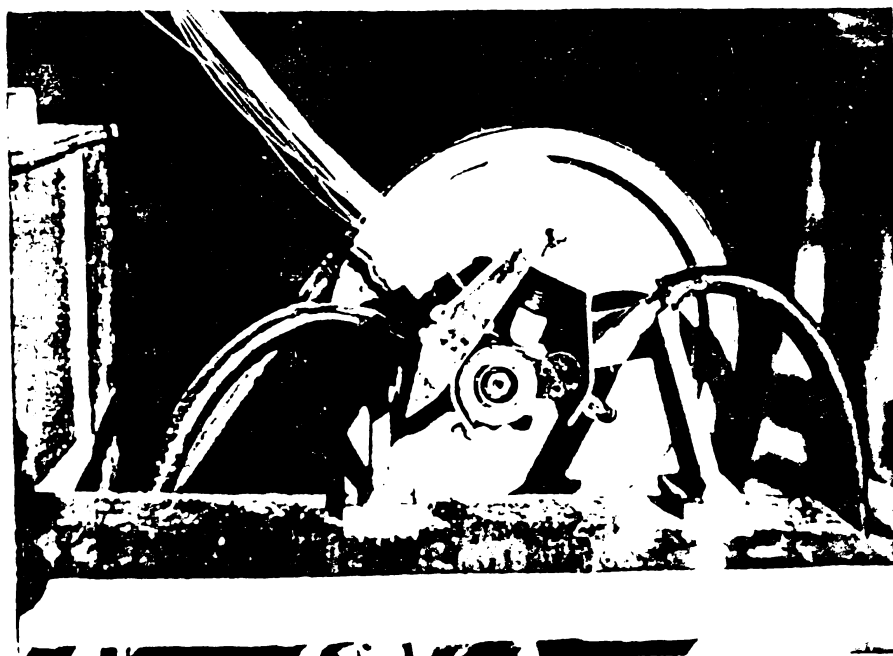


Fig.V.1. Tăietor pentru fibre de sticlă.

Tăierea fibrelor de sticlă la lungimile stabilite s-a făcut cu ajutorul tăietorului din fig.V.1, realizat prin auto-utilare. Ansamblul se compune din : tăietorul propriu-zis, alcătuit dintr-o rolă

cu lame și o rolă suport, cu posibilitatea de reglare a lungimii de tăiere; tamburul pe care se derulează fibra de sticlă (rowingul); motorul electric pentru deservirea tăietorului; compresorul de aer folosit pentru pulverizarea fibrelor tăiate; conductele pentru conducerea aerului sub presiune și a fibrelor tăiate. Caracteristicile tehnice ale tăietorului sînt : 2 - 4 kg fibre tăiate pe oră; motor electric de 0,8 kw cu 3000 turații pe minut; compresor de aer de 10 atm.

V.1.2. Confecționarea epruvetelor. Armarea dispersă a matricei de ipsos asigură o mai bună distribuție a eforturilor și o rezistență mai mare la microsifurare și la propagarea fisurilor în interiorul materialului compozit, motiv pentru care tehnologia de preamestec și în special cea de pulverizare sînt potrivite pentru IAFS.

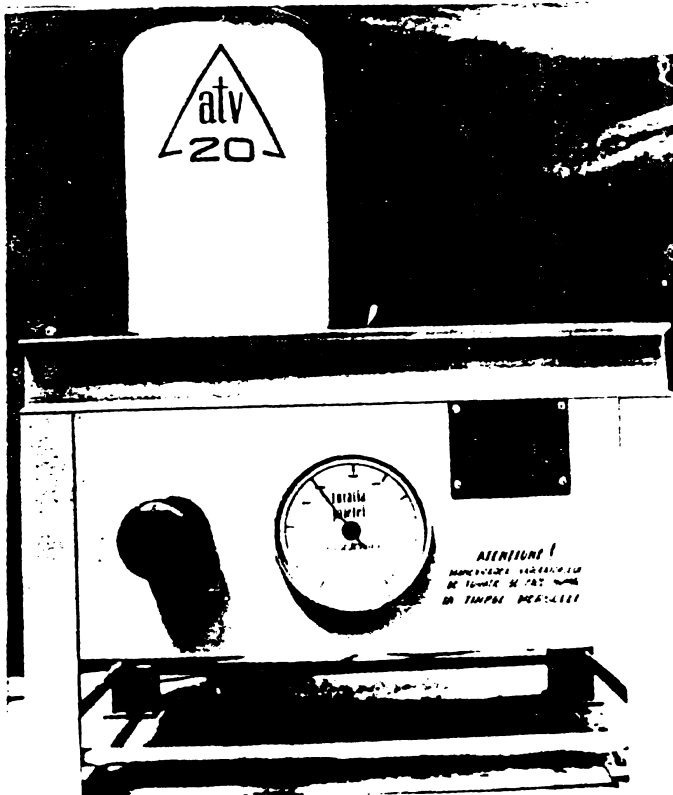


Fig.V.2. Amestecător cu turație variabilă (ATV).

boraxul - și introducerea treptată a fibrelor în amestec. Se folosesc rapoarte apă/ipsos mai mari, cuprinse între 0,6 - 0,8, în vederea ușurării procesului de amestecare, surplusul de apă

Este important ca în procesul de realizare a IAFS să se urmărească o bună impregnare și învelire a fibrelor cu pastă de ipsos, să se urmărească o dispersare uniformă a fibrelor și o compactare cât mai bună, pentru a obține un material cât mai omogen și dens.

a) Tehnologia de preamestec folosește pentru prepararea amestecului un amestecător (malaxor) cu turație variabilă (ATV), realizat prin autoutilare, fig.V.2. Materialul se prepară prin amestecarea ipsosului cu apa - în care în preajabil a fost dizolvat

fiind la urmă îndepărtat prin presare. Proporția de fibre de sticlă încorporată a fost cuprinsă între 3 - 12 % din greutatea ipsosului uscat. Timpul de amestec cu fibrele a fost cuprins între 20 - 40 secunde, limita inferioară corespunzând pentru rapoarte apă/ipsos mari și turații mari, iar limita superioară pentru rapoarte apă/ipsos mici și turații reduse, urmărindu-se prin variația turațiilor protejarea fibrelor de sticlă împotriva rupe-rilor și pentru o mai bună îmbrăcare a lor în pasta de ipsos. S-a apreciat, pe baza experiențelor, că turația indicată (t_i) pentru realizarea unei bune amestecări se poate determina cu relația (V.1) :

$$t_i = \frac{1}{4} t_b + l p'_{fg} t_b \quad (V.1)$$

unde : t_b este turația de bază la ATV;

l - lungimea în cm a fibrelor de sticlă;

p'_{fg} - cantitatea procentuală de fibre de sticlă raportată la greutatea liantului în stare uscată.

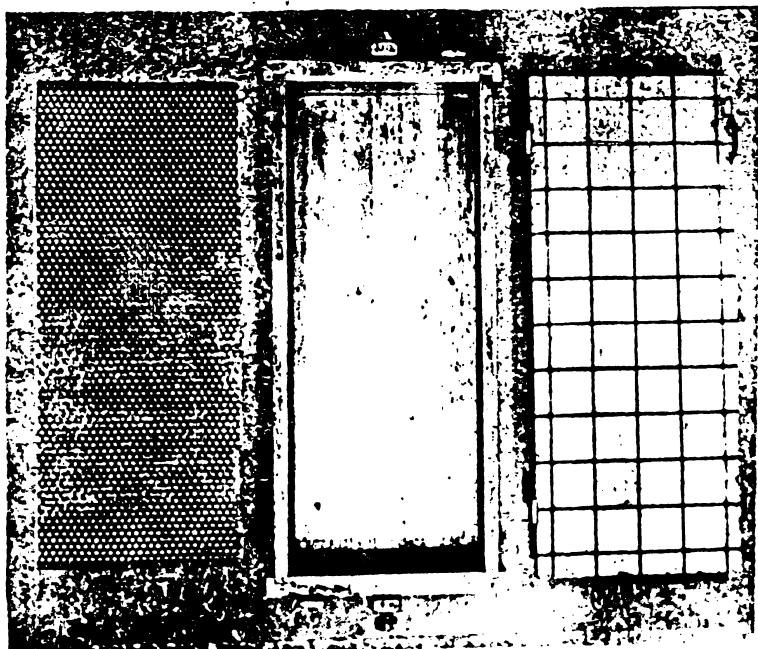
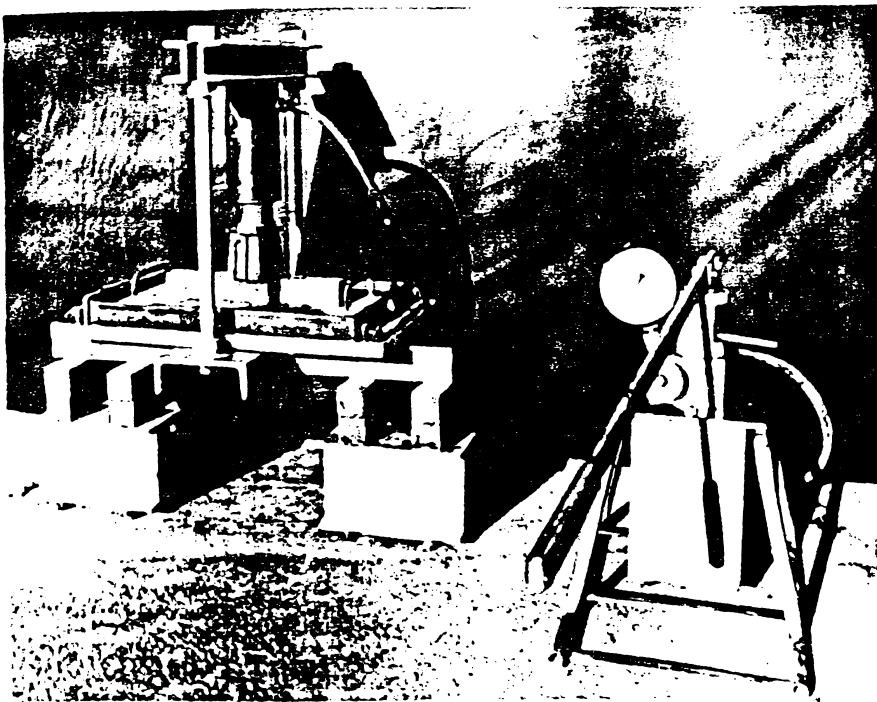


Fig.V.3. Detalii tipar metalic.

Pentru a împiedica antrenarea spre exterior a mortarului de ipsos în timpul presării, se utilizează hîrtie de filtru sau o pînză care se interpune între amestec și tipar. Intre pînză sau hîrtia de filtru și tipar se interpune o sită metalică pentru a împiedica deformarea amestecului după profilul canalelor.

Amestecul realizat se toarnă apoi în tipare speciale, astfel executate încît fiind supuse presării să favorizeze îndepărtarea apei în surplus. În acest scop, tiparul cuprinde o rețea rectangulară de canale destinate colectării și îndepărtării apei în surplus în timpul presării probelor, fig.V.3. Pentru a împiedica antrenarea spre exte-

În figura V.4 se prezintă procedeul de îndepărtare prin presare a apei în surplus. Presarea s-a realizat cu o forță de



o,5 daN/cm², ceea ce a asigurat îndepărtarea apei în surplus, față de apa conținută în condițiile unei consistențe normale îndepărtându-se (22 - 27)% din apa de amestec. În tabelul V.4 sînt date rezultatele experiențelor tehnologice privind extragerea excesu-

Fig.V.4. Aspect de la tehnologia de îndepărtare a apei în surplus prin presare.

lui de apă în funcție de conținutul procentual de fibre de sticlă încorporate în matrice. Se observă că pe măsura creșterii cantității de fibre de sticlă în pastă, crește și cantitatea de apă reținută de amestec în faza finală, adică după îndepărtarea prin presare a excesului de apă liberă. Situația este explicabilă prin creșterea suprafeței specifice a fibrelor în unitatea de volum. În paragraful III.7.2 sînt stabilite, pe baza experiențelor, relații aproximative pentru cantitățile de apă necesare inițial și rămase final în amestec (relațiile III.2 și III.1).

Probele astfel realizate au fost decofrate după circa o oră și ținute în condiții de laborator timp de 7 zile și apoi încercate.

b) Tehnologia de pulverizare are la bază utilizarea unui pulverizator realizat prin autoutilare, fig.V.5. Compoziția amestecului de ipsos, apă și fibre de sticlă este practic identică cu cea folosită în tehnologia de preamestec, surplusul de apă fiind la urmă îndepărtat tot prin presare. Dozarea constituenților compoziției s-a realizat cu un cilindru gradat pentru pasta de ipsos preparat în malaxorul ATV și prin cântărire pentru fibrele de sticlă. Constituenții sînt pulverizați direct în

tipar pe canale diferite, unul pentru pasta de ipsos și altul

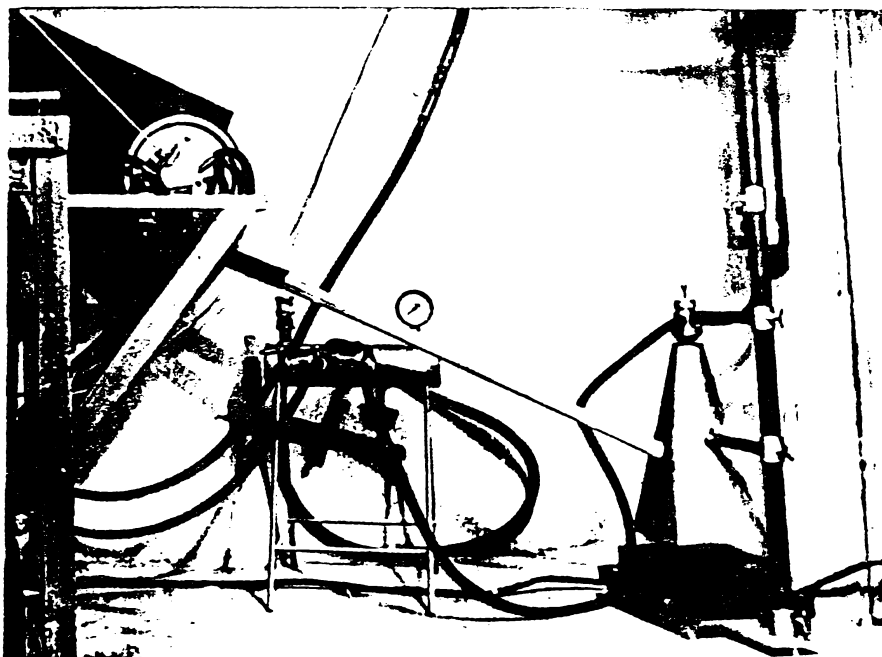


Fig.V.5. Pulverizator.

pentru fibrele de sticlă, presiunea de pulverizare fiind asigurată de un compresor de aer. Tiparele folosite au fost similare cu cele din fig.V.3, colectarea apei fiind făcută în canale dispuse în fundul tiparului. Extragerea surplusului de apă urmează același procedeu ca în cazul tehnologiei de preamestec.

Folosirea tehnologiei de pulverizare a favorizat încorporarea în mai bune condițiuni a fibrelor de sticlă mai lungi, comparativ cu tehnologia de preamestec. Probele astfel realizate au fost decofrate după circa o oră și ținute în condiții de laborator timp de 7 zile și apoi încercate.

V.1.3. Incercarea epruvetelor. Epruvetele supuse încercărilor au fost extrase prin tăiere din plăci de 10 - 13 mm grosime, realizate conform celor arătate la § V.1.2. În fig. V.6 se prezintă un exemplu de decupare a epruvetelor din placă, fiind folosită pentru tăiere o freză cu disc abraziv. Au fost decupate cinci tipuri de epruvete, corespunzător următoarelor determinări :

- întindere centrică 150/25 mm - tip I.1;
- compresiune centrică 75/25 mm - tip I.2;
- încovoiere 150/50 mm - tip I.3;
- șoc 100/25 mm - tip I.4;
- densi' 50/50 mm - tip I.5.

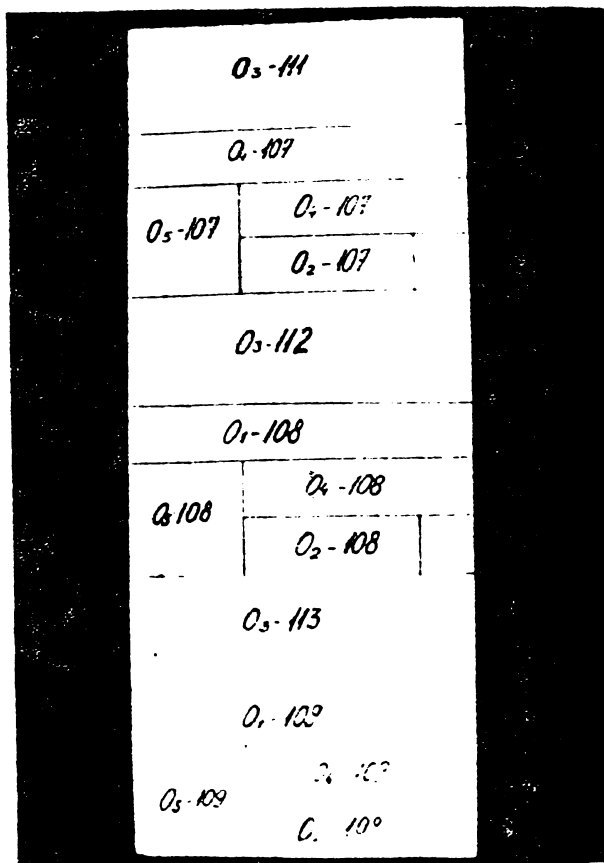


Fig.V.6. Decuparea epruvetelor din placă.

Epruvetele au fost cîntărite și măsurate dimensiunile reale. Epruvetele mar-tor au indicativul 0 și ce-le armate poartă indicati-vul I (ipsos).

Incercările la întindere centrică, compresiune cen-trică și încovoiere s-au e-fectuat cu presa universală din fig.V.7. Presa universa-lă a permis, pe lângă deter-minarea încărcării de rupe-re, și citirea deformațiilor epruvetelor.

a) Rezistența la întinde-re centrică s-a determinat pe epruvete I.1 sub o vite-ză constantă de încălcare de $1 \text{ daN/cm}^2/\text{s}$, la vîrsta de 7 zile. Prinderea epruvete-

lor în presă s-a realizat cu articu-lație pentru a se asigura o cît mai bună centrare a forței de întinde-re, fig.V.8. Sche-ma de prindere a epruvetei în presă este cea prezenta-tă în fig.V.9, lun-gimea supusă defor-mațiilor fiind de 20 mm.

Valorile absolu-te ale rezistențe-lor la întindere

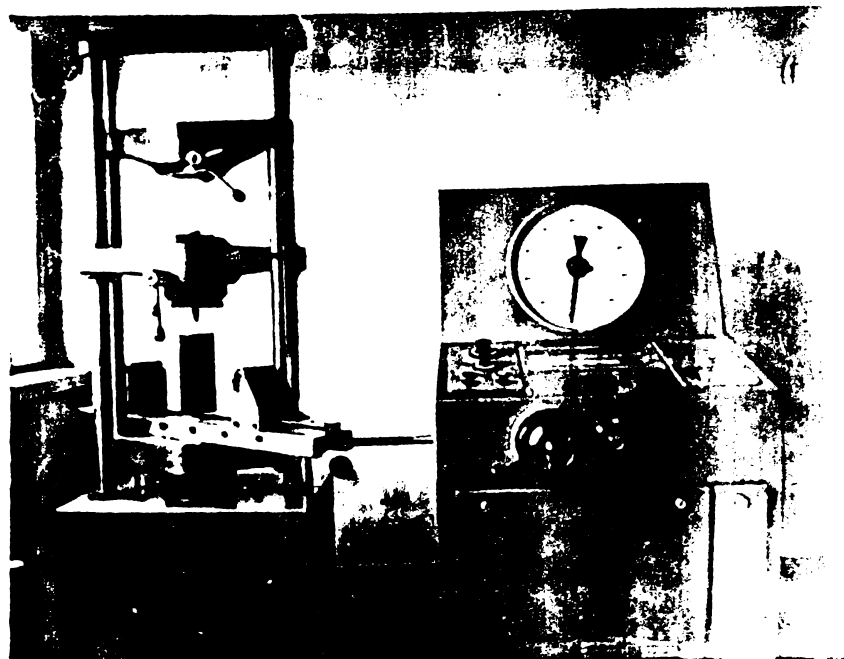


Fig.V.7. Presa universală - vedere generală.

centrică (R_t) au fost determinate cu relația (V.2) :

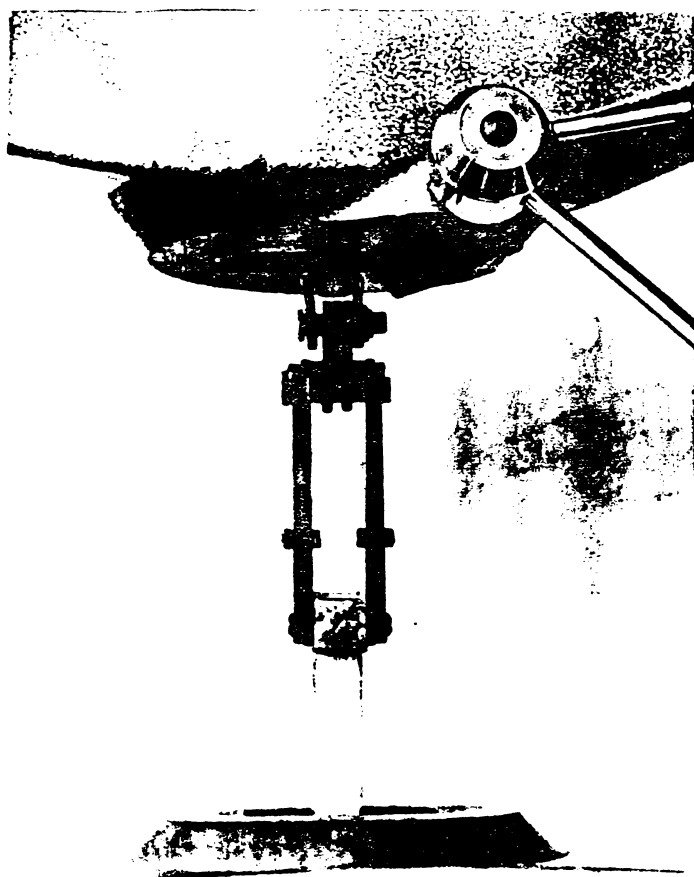


Fig.V.8. Centrarea epruvetei în presă.

$$R_t = \frac{P_r}{A}, \quad (V.2)$$

unde : P_r este încărcarea de rupere în daN;

A - aria secțiunii transversale a epruvetei în cm^2 .

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V.5, V.6, V.7, V.8 și V.9, ordonate în funcție de lungimea fibrelor folosite și de tehnologia de realizare a IAFS, iar în fig.V.10 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

Măsurarea deformațiilor epruvetelor la rupere a permis determinarea defor-

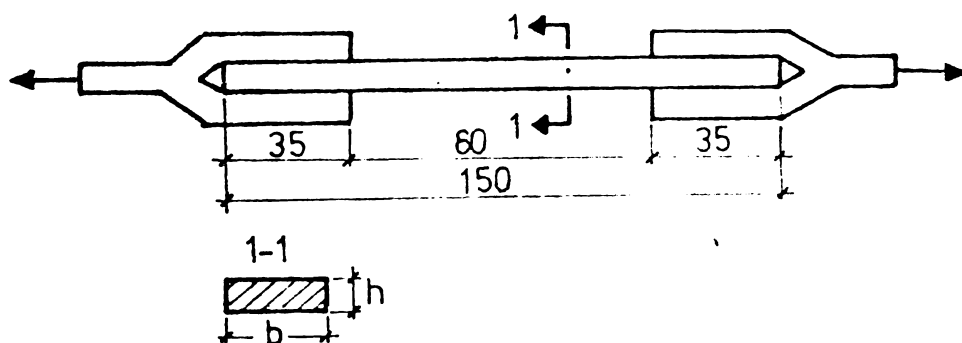


Fig.V.9. Detaliu de prindere a epruvetei în presă.

mațiilor specifice (\mathcal{E}) cu relația (V.3) :

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta l}{l} \quad (V.3)$$

unde : Δl este alungirea măsurată a epruvetei;

l - lungimea supusă întinderii conform detaliilor din fig.V.9.

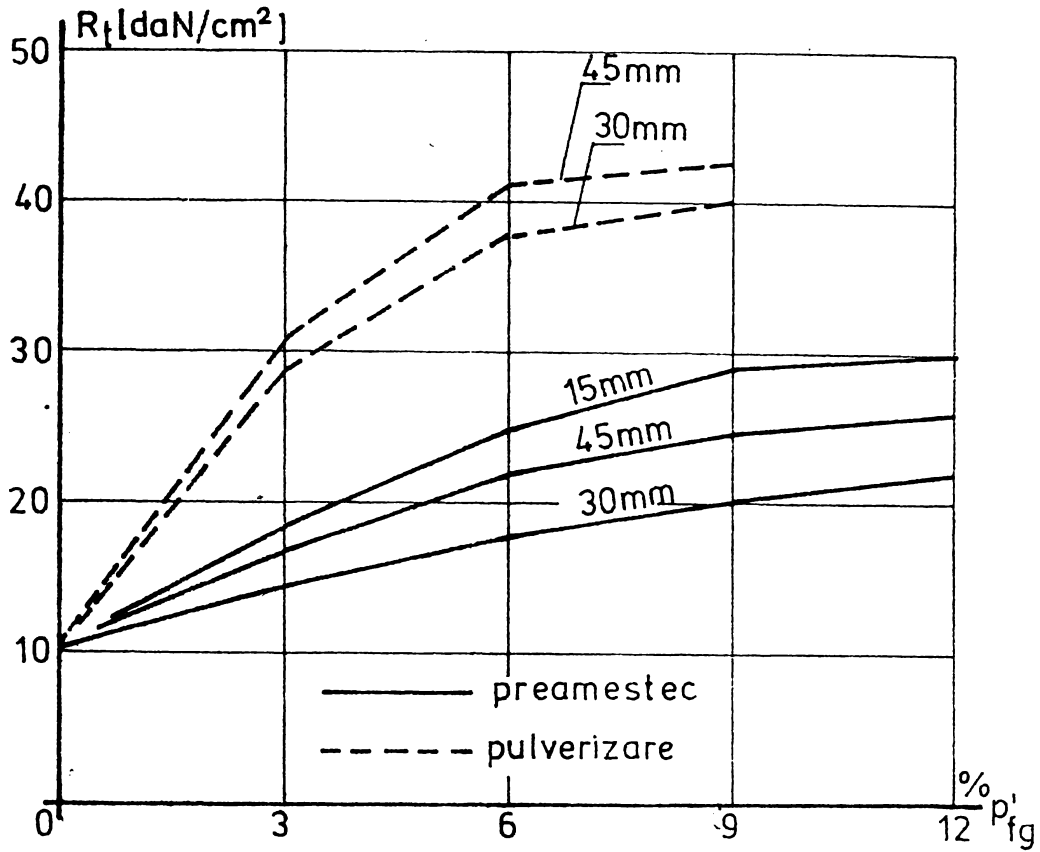


Fig.V.10. Variația rezistenței la întindere centrică (R_t) în funcție de lungimea fibrelor de sticlă, procentul de fibre (p'_{fg}) și tehnologia de realizare.

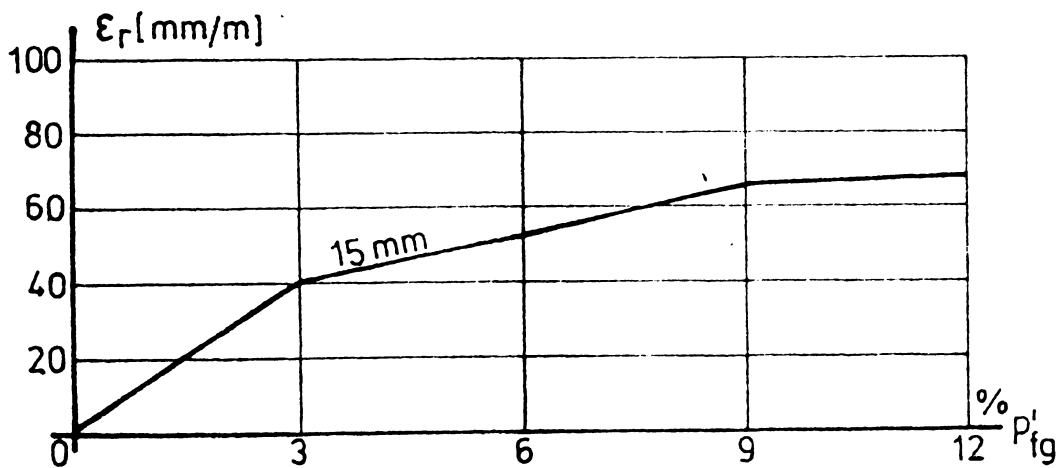


Fig.V.11. Dependența alungirii la rupere de cantitatea de fibre de sticlă încorporată.

În figura V.11 este reprezentată variația lungimii specifice la rupere în funcție de procentul de fibre de sticlă încorporate în matrice, pentru fibre de 15 mm lungime.

b) Rezistența la întindere din încovoiere s-a determinat pe epruvete de tip I.3, sub o viteză constantă de încărcare,

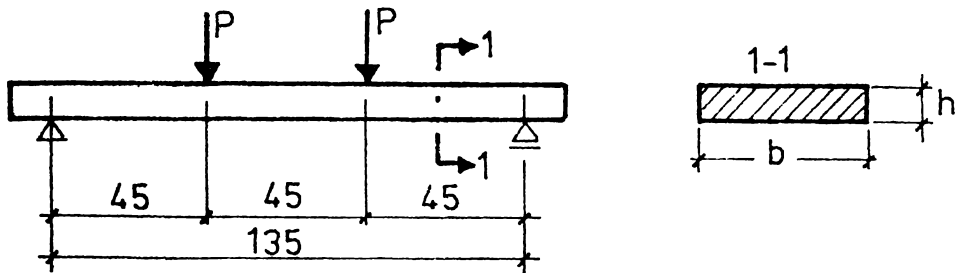


Fig.V.12. Schema de încărcare a epruvetelor supuse la încovoiere.

din fig.V.12, utilizând aceeași presă universală din fig.V.7. În fig.

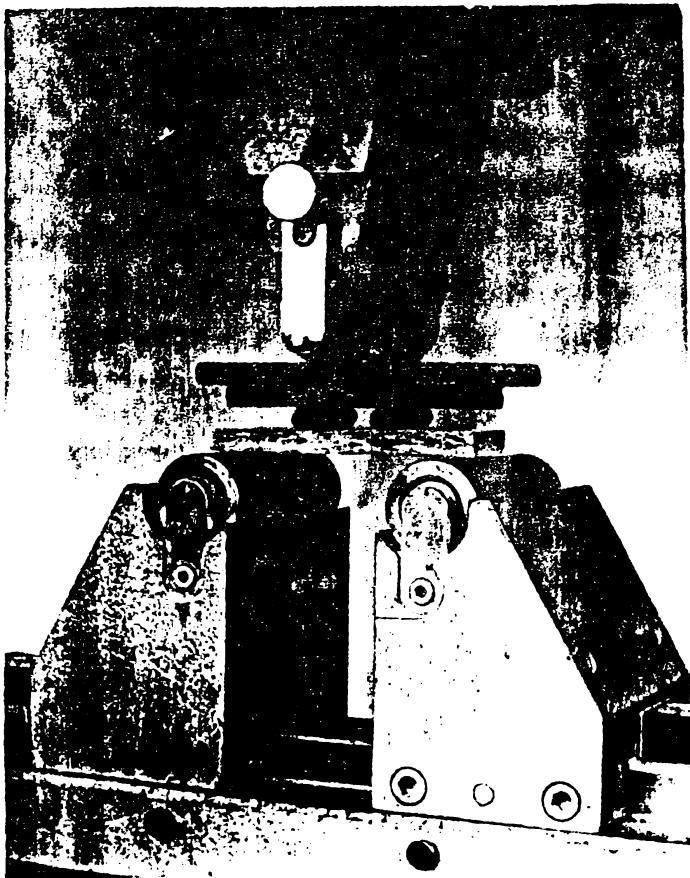


Fig.V.13. Aspect de la încercarea unei epruvete la încovoiere.

Fig.V.13 este prezentată încercarea epruvetei supusă la încovoiere, conform schemei de încărcare din fig.V.12.

Valorile absolute ale rezistențelor la întindere din încovoiere (R_{ti}) au fost determinate cu relația (V.4), acceptând ipoteza corpului elastic:

$$R_{ti} = \frac{M_r}{W} = \frac{6 M_r}{b h^2} \quad (V.4)$$

unde : M_r este momentul de rupere în daN.cm;
 W - modulul de rezistență al secțiunii în cm^3 .

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V.10, V.11, V.12, V.13 și V.14, ordonate în funcție de lungimea fibrelor folosite și de tehnologia de realizare a IAFS, iar în fig.V.14 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

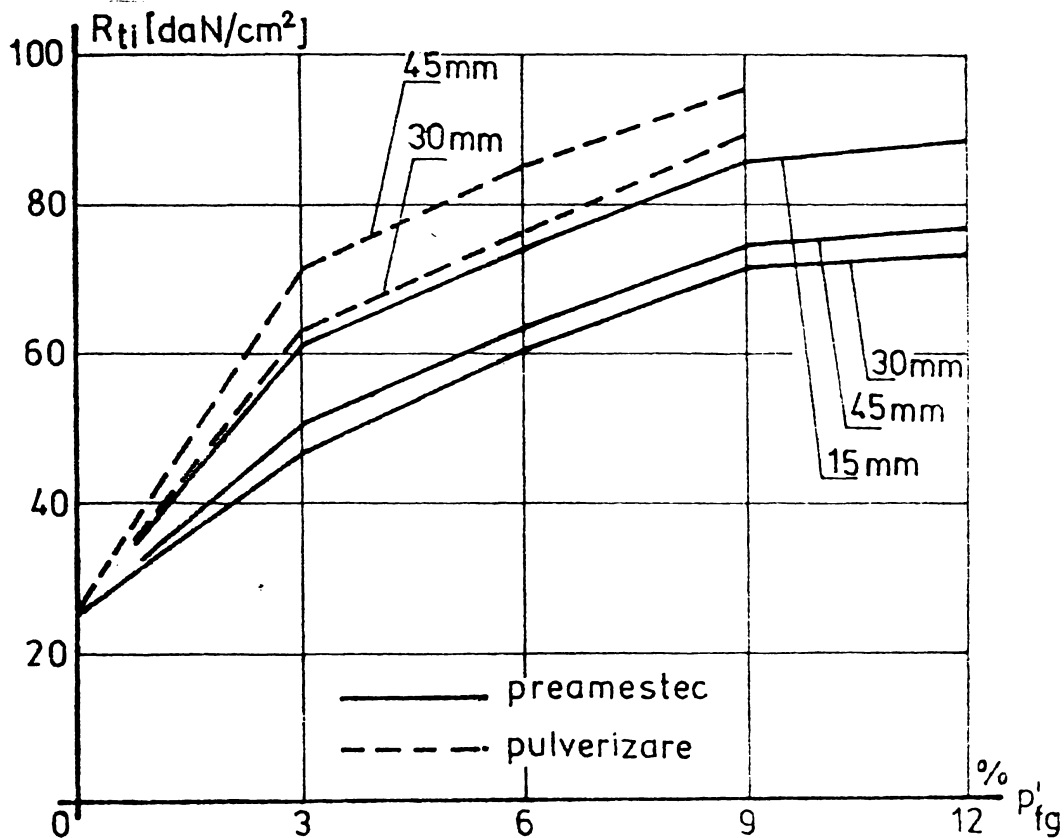


Fig.V.14. Variația rezistenței la întindere din încovoieră (R_{t_i}) în funcție de lungimea fibrelor de sticlă, procentul de fibre (p'_{fg}) și tehnologia de realizare.

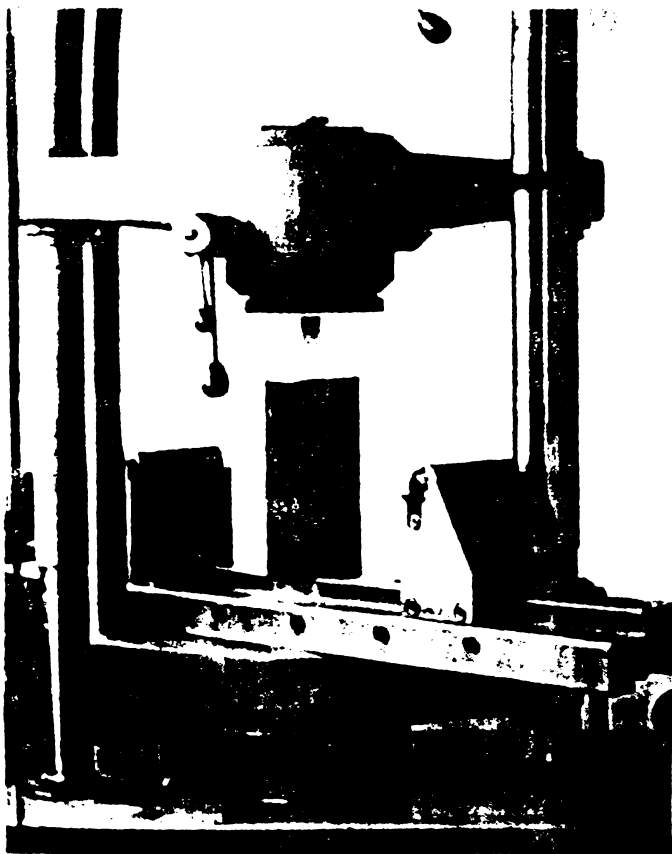


Fig.V.15. Aspect de la încercarea unei epruvete la compresiune centrică.

c) Rezistența la compresiune s-a determinat pe epruvete de tip I.2. Extremitățile epruvetelor au fost în prealabil șlefuite pentru a asigura o bună planeitate a fețelor în contact cu platanele preseii. În fig.V.15 este prezentată încercarea epruvetei la compresiune centrică.

Valorile absolute ale rezistențelor la compresiune centrică (R_c) au fost determinate cu relația (V.5) :

$$R_c = \frac{F_R}{A} \quad (V.5)$$

unde : F_R este încărcarea de rupere în daN;
 A - aria secțiunii transversale în cm².

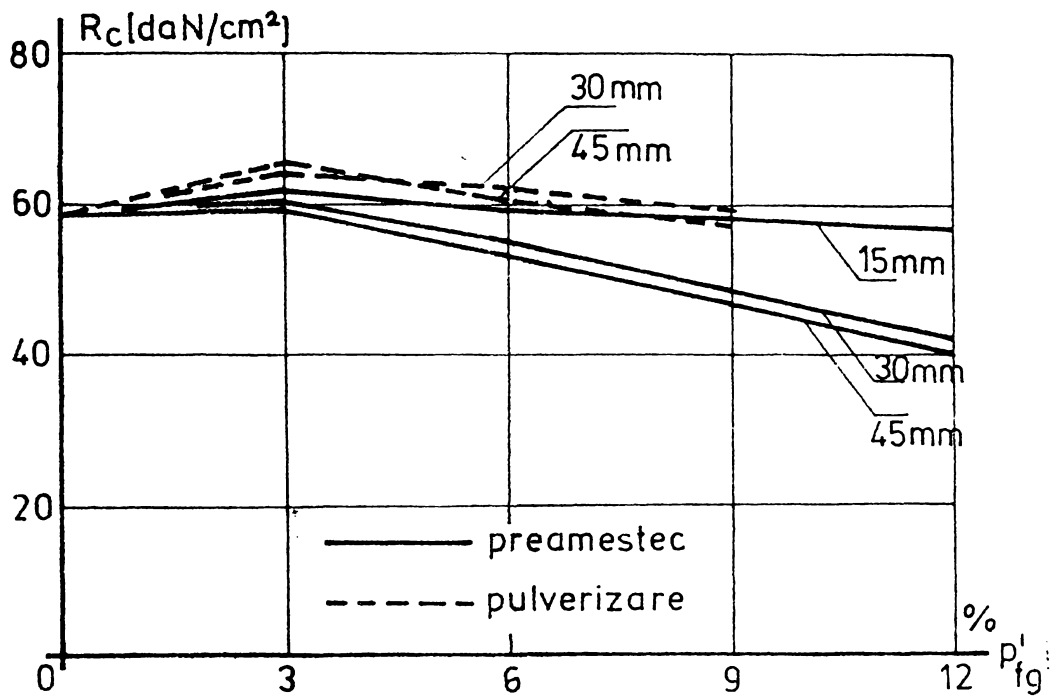


Fig.V.16. Variația rezistenței la compresiune (R_c) în funcție de lungimea fibrelor de sticlă, procentul de fibre (p'_{fg}) și tehnologia de realizare.

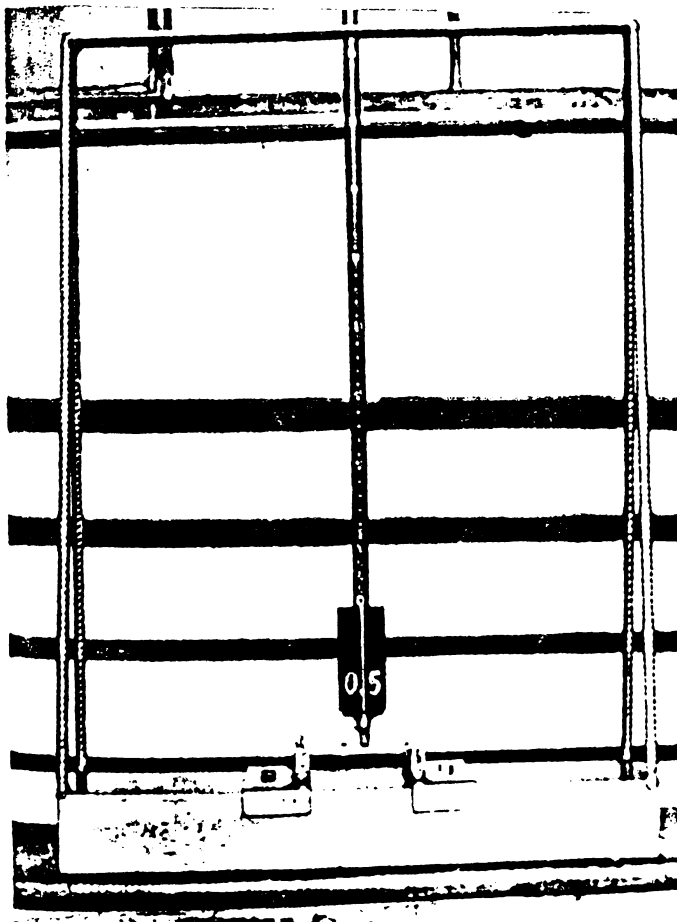


Fig.V.17. Aspect de la încercarea la șoc a unei epruvete.

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V.15, V.16, V.17, V.18 și V.19, iar în fig.V.16 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

d) Rezistența la șoc s-a determinat pe epruvete de tip I.4. Incercările au fost efectuate cu un aparat relativ simplu, realizat prin autoutilare, fig. V.17. Aparatul se compune dintr-o tijă metalică gradată pe care glisează o greutate de 0,5 kg putîndu-se marca înălțimea de la care căderea greutății produce ruperea epruvetei. În fig.V.18 este prezentată schema de încărcare a epruvet. i.

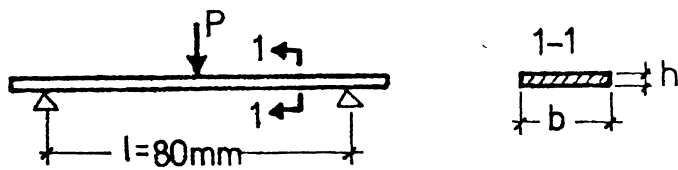


Fig.V.18. Șchema de încărcare a epruvetei la șoc.

șoc se determină din ipoteza egalării energiei de deformare a epruvetei solicitate cu energia corpului care produce șocul.

Elementul care caracterizează capacitatea unei epruvete de a rezista la șoc este lucrul mecanic de deformare pe care îl poate acumula epruveta. Rezistența la

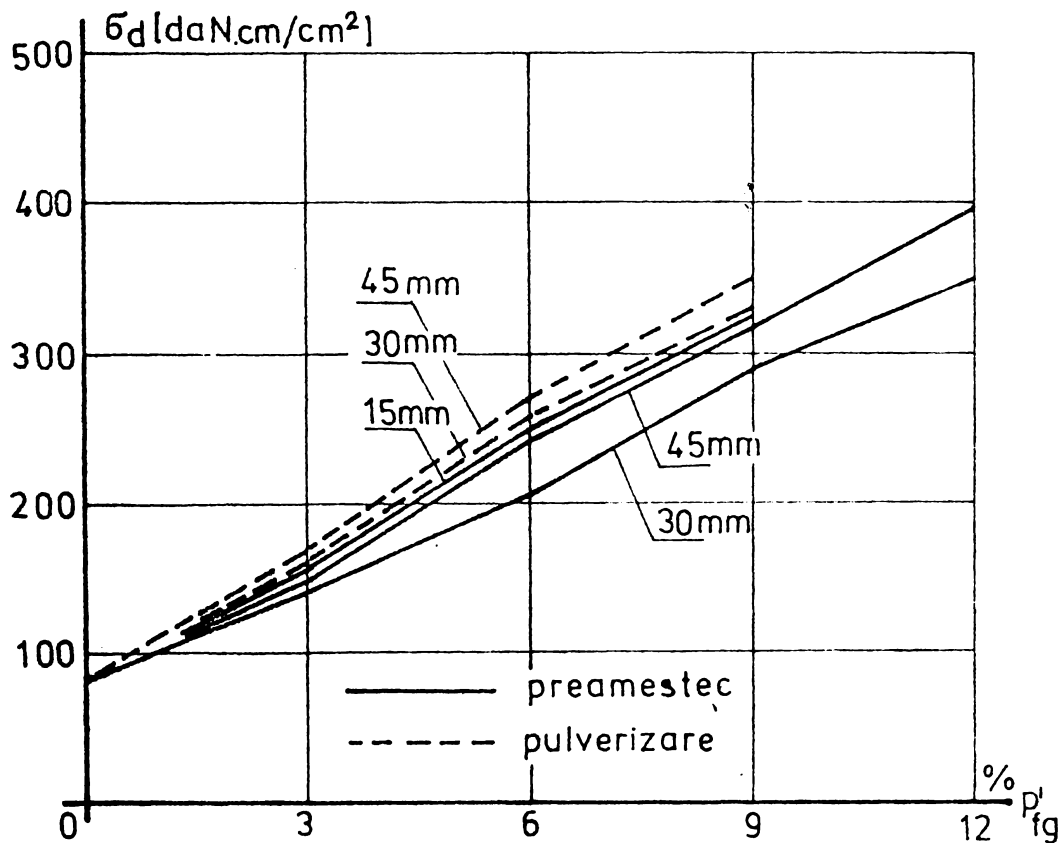


Fig.V.19. Variația rezistenței la șoc (σ_d) în funcție de lungimea fibrelor de sticlă, procentul de fibre (p_{fg}) și tehnologia de realizare.

Valorile absolute ale rezistențelor la șoc au fost determinate din relația (V.6) :

$$\sigma_d = \frac{1}{b} \sqrt{\frac{12 P_r h_r E_{if}}{l}} \quad (V.6)$$

unde : E_{if} este modulul de elasticitate al amestecului;
 P_r - încărcarea care rupe epruveta;
 h_r - înălțimea de cădere a încărcării care produce ruperea epruvetei;
 l - distanța între reazemele epruvetei;
 b - lățimea secțiunii epruvetei.

Rezultatele experimentale sînt înscrise în tabelele V. 20, V.21, V.22, V.23 și V.24, iar în figura V.19 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

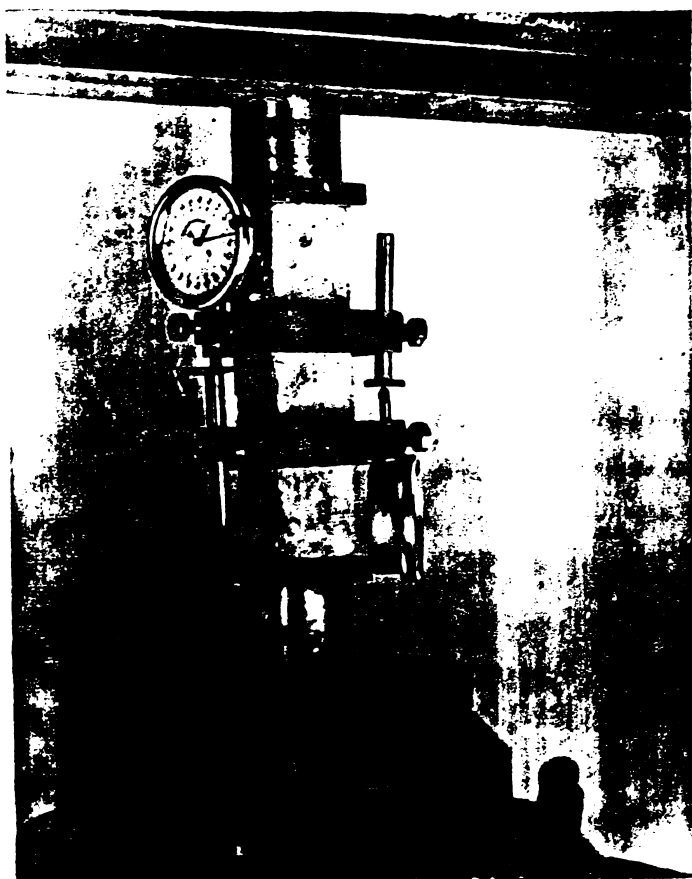


Fig.V.20. Aspect de la încercarea unei epruvete pentru determinarea modulului de elasticitate static. Surii comparatoare cu precizia de 0,001 mm.

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelul V.25, iar în figura V.21 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

f) Modulul de elasticitate dinamic (E_d) s-a determinat pe epruvete de 4 x 4 x 16 cm, realizate prin tehnologia de preamestec. Modulul de elasticitate dinamic reprezintă raportul dintre efort și deformație pentru eforturi foarte mici, în condiții

e) Modulul de elasticitate static (E) s-a determinat pe epruvete de 4 x 4 x 16 cm, realizate prin tehnologia de preamestec. Epruvetele au fost păstrate timp de 6 zile în condiții de laborator, apoi au fost supuse încercărilor.

Determinările experimentale au fost conduse similar ca în cazul betonului, adică conform STAS 5585-71. S-a folosit aceeași presă universală (fig.V.20), jugurile fiind amplasate între linia mijlocie a prismelor, la 5 cm depărtare unul de altul. Deformațiile sînt înregistrate pe două cea-

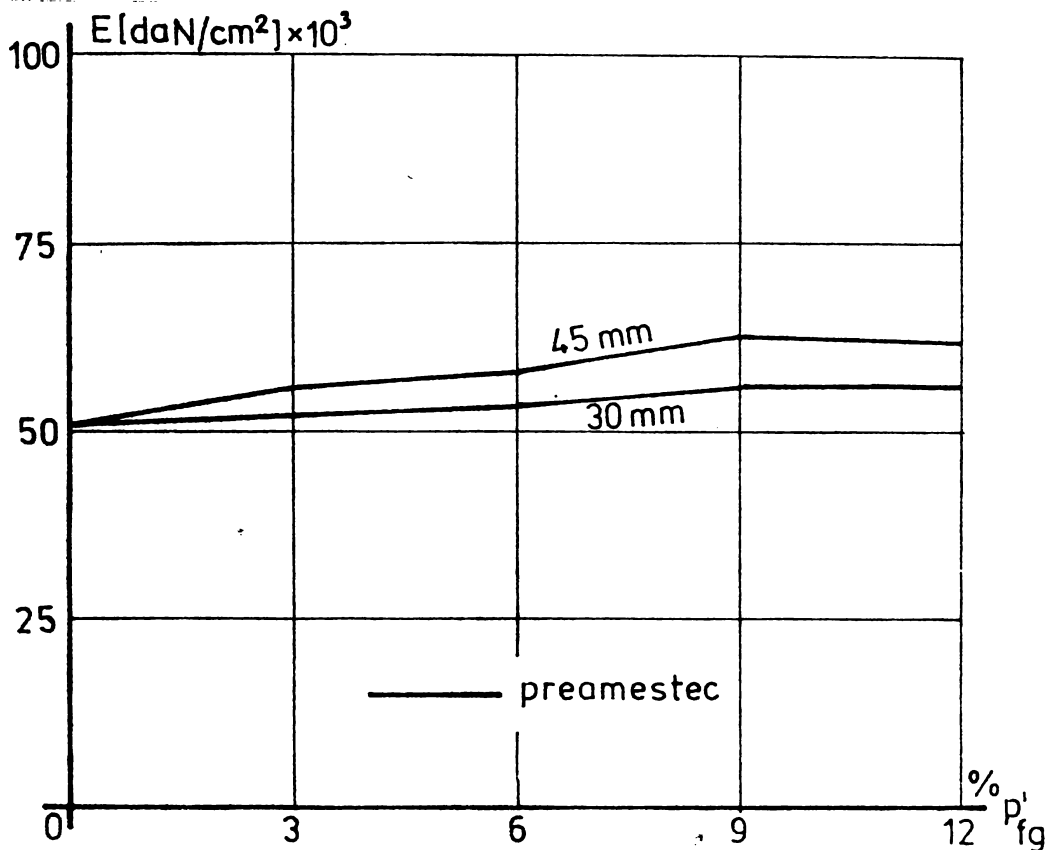


Fig.V.21. Variația modulului de elasticitate static (E) funcție de lungimea fibrelor de sticlă și procentul de fibre (p'_{fg}).

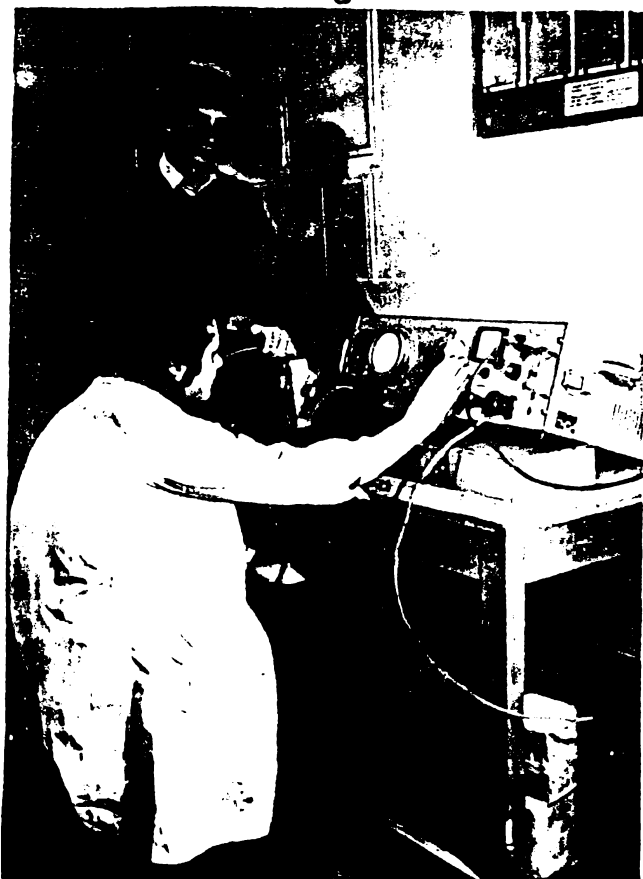


Fig.V.22. Aspect de la determinarea modulului de elasticitate

de solicitare dinamică. În acest scop încercările au fost efectuate utilizând un defectoscop ultrasonic, cu ajutorul căruia s-a determinat viteza longitudinală (v) a ultrasunetului, fig.V.22.

Valorile absolute ale modulului de elasticitate dinamic au fost determinate cu relația (V.7) :

$$E_d = \frac{\rho_{ap}}{g} \cdot v^2 \quad (V.7)$$

unde : ρ_{ap} este densitatea aparentă a amestecului;
 g - accelerația gravitației în m/s^2 ;
 v - viteza ultrasunetului în m/s .

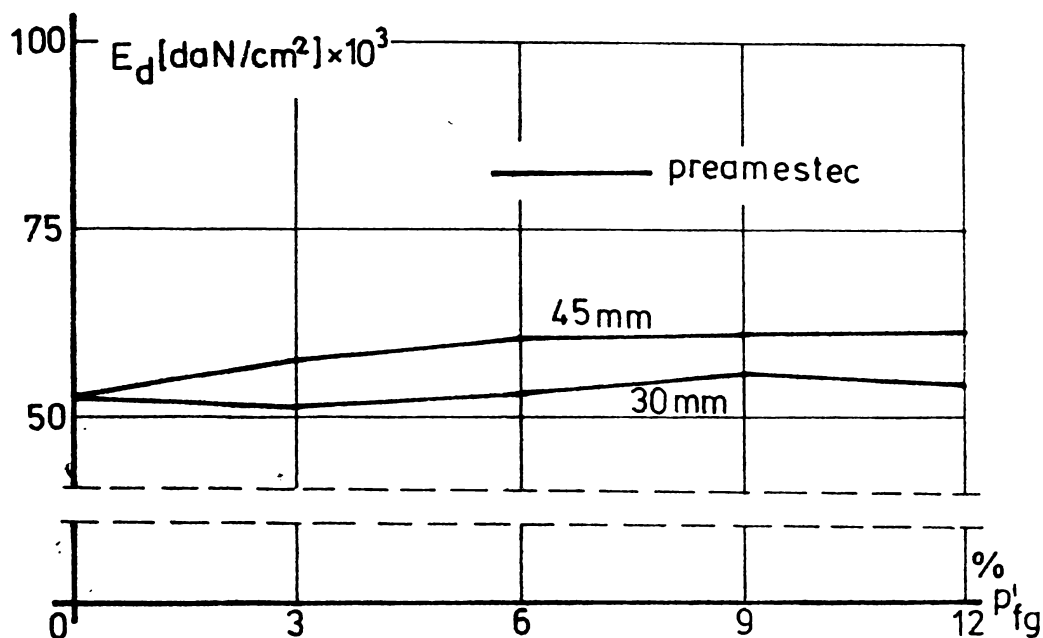


Fig.V.23. Variația modului de elasticitate dinamic funcție de lungimea fibrelor de sticlă și procentul de fibre (p'_{fg}).

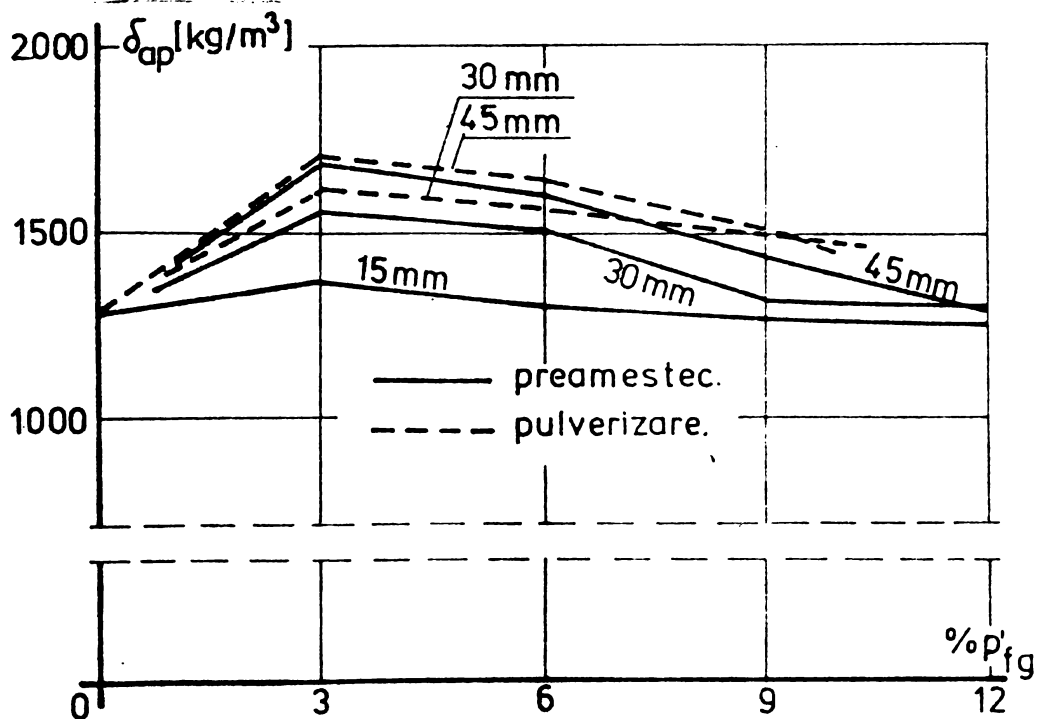


Fig.V.24. Variația densității aparente funcție de lungimea fibrelor de sticlă și procentul de fibre (p'_{fg}).

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelul V.25, iar în fig.V.23 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

g) Densitatea aparentă s-a determinat pe epruvete de

tipul I.5. Determinările au fost precedate de măsurarea dimensiunilor epruvetelor și a masei lor.

Densitatea aparentă (ρ_{ap}) s-a determinat cu relația (V.8):

$$\rho_{ap} = \frac{M}{V_{ap}} \quad (V.8)$$

unde : M este masa epruvetei în grame;

V_{ap} - volumul aparent al epruvetei, cm^3 .

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V. 26, V.27, V.28, V.29 și V.30, iar în fig.V.24 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

V.1.4. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale.

V.1.4.1. Calculul împrăștiilor. Mărimea împrăștiilor rezultatelor este caracterizată de abaterea medie patratică S, sau de coeficientul de variație C_v . Calculul lui S și C_v se face cu relațiile cunoscute (V.9) și (V.10) :

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (V.9)$$

în care : X este valoarea individuală a fiecărui rezultat;

\bar{X} - media aritmetică a rezultatelor determinărilor;

n - numărul determinărilor dintr-o serie.

$$C_v \% = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (V.10)$$

Cunoașterea coeficientului de variație permite compararea mărimii împrăștiilor între grupe de valori individuale, de diferite ordine de mărime, cum este cazul comparării mărimii împrăștiilor dintre rezistențele materialului.

În tabelele V.5 ... V.30 sînt indicate și valorile S și C_v pentru încercările efectuate asupra rezistențelor și densității materialului. Pentru comparare, sub aspectul împrăștiilor, s-au calculat mediile aritmetice ale coeficienților de variație, ale fiecărui tip de încercare, rezultatele fiind cuprinse în tabelul V.31.

V.1.4.2. Interpretarea datelor experimentale. Determină-

rile experimentale au condus la diferențierea rezultatelor, în funcție de tehnologia folosită la încorporarea fibrelor de sticlă și de lungimea lor. Rezultate superioare s-au obținut folosind tehnologia de fabricare a materialelor compozite prin pulverizarea constituentilor. Sporurile de rezistență rezultate față de tehnologia de preamestec sînt evaluate în tabelul V.32. Diferențierea sporurilor de rezistență se apreciază a fi datorate influenței mai mari care o are creșterea densității asupra rezistenței la întindere centrică față de celelalte caracteristici fizico-mecanice și în special față de rezistența la șoc.

Rezultatele cercetărilor efectuate asupra influenței lungimii fibrelor încorporate asupra caracteristicilor fizico-mecanice a materialelor compozite din IAFS sînt cuprinse în tabelul V.33, unde se prezintă sporurile de rezistențe obținute funcție de lungimea fibrelor de sticlă încorporate. Se constată că în condițiile utilizării tehnologiei de preamestec este mai indicată folosirea fibrelor cu lungimi de 15 mm, iar în condițiile utilizării tehnologiei de pulverizare lungimea cîmă de fibre de sticlă este cuprinsă între 30 - 45 mm. Explicația constă în faptul că în condițiile tehnologiei de preamestec fibrele mai lungi se pot fracționa în timpul amestecării constituentilor, ceea ce explică chiar scăderea valorilor rezistențelor în condițiile utilizării acestei tehnologii cu fibre de lungimi mai mari de 30 mm.

Din diagramele cuprinse în fig. V.10, rezultă că rezistența la întindere centrică a IAFS atinge valori maxime pentru procente de armare cu fibre de sticlă de 9 - 12 % din greutatea liantului, sau în jur de 5 - 6 % raportat la volumul produsului. Se observă că pentru valorile superioare ale acestor procente de armare, creșterea rezistenței la întindere este din ce în ce mai mică sau chiar scade. Această comportare se datorește descreșterii densității matricei odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă încorporată. Valoarea absolută a rezistenței la întindere crește în medie de 3 - 4 ori față de martor. Deformațiile specifice la rupere prezentate în fig.V.11 scot în evidență creșterea ductilității compozitului odată cu creșterea procentului de fibre de sticlă încorporată, pînă la procente de 10 - 12 %.

Dependența rezistenței la întindere din încovoiere de

cantitatea de fibre de sticlă încorporată, prezentată prin diagramele din fig.V.14, permite să se precizeze că ea atinge valorile maxime pentru procente de armare cu fibre de sticlă în jur de 9 % din greutatea liantului în stare uscată, sau în jur de 6 % raportat la volumul produsului. Pentru procente de armare mai mari, comportarea este asemănătoare ca la întinderea centrică, cu completarea că descreșterea rezistențelor este datorată și descreșterii rezistenței la compresiune a matricei odată cu creșterea procentuală de fibre de sticlă încorporată în matrice. Valoarea absolută a rezistenței la întindere din încovoiere crește în medie cu 2,5 - 3,5 ori față de martor.

Spre deosebire de rezistența la întindere centrică și din încovoiere, rezistența la compresiune prezintă o caracteristică aparte. Se înregistrează mai întâi creșteri mici ale rezistenței pentru procente relativ mici de armare, ca apoi odată cu creșterea cantității de fibre încorporate, să scadă și rezistența la compresiune (fig.V.16). Creșterea rezistenței poate fi explicată conform celor arătate la § IV.1 : fibrele de sticlă, prelunzind alungirile transversale, contribuie la creșterea rezistenței materialului; scăderea mai departe însă a rezistenței, odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă, se datorește în mare parte reducerii densității compozitului. În cazul unor procente de armare cu fibre de sticlă în jur de 9 % din greutatea liantului, scăderea rezistenței la compresiune este în medie de 10 %, ceea ce practic nu pune probleme deosebite.

Rezistența la șoc crește odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă, fig.V.19. Rezistența la șoc a crescut de 3 ... 5 ori la un conținut de 9 - 12 % fibre de sticlă raportat la greutatea liantului. Creșterea rezistenței la șoc este o consecință a faptului că prezența fibrelor de sticlă reduce posibilitatea fisurării și a propagării fisurilor în compozit, energia de șoc fiind disipată de-a lungul zonei de separare dintre fibre și matrice. A rezultat că o energie de legătură mică sporește rezistența la șoc. În condițiile însă a unei densități sporite, crește energia de legătură și scade rezistența la șoc.

Dependența dintre densitatea și cantitatea de fibre de sticlă încorporată, prezentată în fig.V.24, arată o ușoară creștere a densității la un conținut redus de fibră de sticlă. Cauza

este evidentă, deoarece sticla este mai densă ca mortarul (densitatea sticlei se consideră $2,5 \text{ g/cm}^3$). Pentru conținuturi mai mari de fibre de sticlă, compactitatea mai redusă a compozitului produce goluri în material și deci determină scăderea densității. Această scădere a densității este avantajoasă pentru rezistența la șoc, dar dezavantajoasă pentru rezistența la întindere și la încovoiere.

Modulii de elasticitate static și dinamic au arătat creșteri relativ mici, de 5 - 10 % (vezi fig.V.21 și V.23) față de probele martor nearmate, comportarea fiind legată în mare măsură de scăderea densității odată cu creșterea cantității de fibre de sticlă încorporate în matrice.

V.1.5. Concluzii și propuneri. Fibrele de sticlă de tip E, sau cu proprietăți apropiate, conlucrează bine cu pasta de ipsos, realizându-se un produs cu rezistențe sporite și o bună durabilitate în medii cu umiditate redusă.

Noul material IAFS are rezistențe la întindere și la încovoiere de 2 - 4 ori mai mari ca a mortarului simplu nearmat. Rezistența la șoc crește de asemenea de circa 3 - 5 ori față de probele martor. Față de noile performanțe pe care le dobîndește, IAFS poate fi utilizat cu bune rezultate la realizarea pereților despărțitori la clădiri, la realizarea cofrajelor pierdute, a ușilor și pereților antifoc, la realizarea de ornamente aplicate etc.

V.2. Cimentul armat cu fibre de sticlă.

Studiile experimentale asupra cimentului armat cu fibre de sticlă (CAFS) au fost efectuate în baza contractului nr.667/1972, nr.9796/1973, nr.934/1974, nr.24/1975, 296/1976-1978 și nr.12/1978-1979, încheiate cu I.C.P.T.S.C.F. din București (M.I.U.).

V.2.1. Programul studiului experimental. Studiul experimental a urmărit determinarea principalelor proprietăți fizico-mecanice ale CAFS în condițiile utilizării optime a fibrelor de sticlă alcalo-rezistente, de producție românească și a tehnologiilor adecvate în conformitate cu programul cuprins în tabelul V.34, [16], [36].

Studiul experimental a avut următoarele obiective de urmărit :

- a) Determinarea principalelor proprietăți ale CAFS.
- b) Influența tehnologiilor de încorporare a fibrelor de sticlă.
- c) Influența procentului de armare cu fibre de sticlă.
- d) Influența factorului timp.

V.2.1.1. Determinări asupra cimentului. S-a folosit în experiențe cimentul Pz 400 avînd caracteristicile din tabelul V.35 determinate conform STAS 227/68 și 5156/67.

Pasta de ciment folosită condiționează, pentru armarea ei cu fibre de sticlă, utilizarea unor fibre de sticlă rezistente în mediul alcalin al cimentului portland hidratat. Pentru a realiza o bună impregnare a fibrelor de sticlă cu produșii de hidratare ai cimentului, se recomandă utilizarea unor cimente cu finețe ridicată de măcinare, precum și a unui raport A/C ridicat, surplusul de apă fiind extras la sfîrșitul procesului de punere în operă prin presare sau vacuumare. S-a folosit în acest scop un raport A/C determinabil cu relația (V.11), stabilită experimental :

$$\frac{A}{C} = 0,30 + 5 p'_{fg} \quad (V.11)$$

unde : p'_{fg} este cantitatea procentuală de fibre de sticlă raportată la greutatea liantului în stare uscată.

V.2.1.2. Particularitățile fibrelor de sticlă. Pentru armarea cimentului cu fibre de sticlă, au fost folosite fibrele de sticlă zirconice, puse la dispoziție de I.C.P.T.S.C.F. București. Compoziția oxidică a acestor fibre corespunde sistemului $SiO_2 - CaO - Al_2O_3 - Na_2O - ZrO_2$ și reprezintă baza realizării fibrei de sticlă alcalo-rezistentă de producție românească.

Folosirea fibrei de sticlă este condiționată de rezistențele ei mecanice și de modulul de elasticitate. Fibra de sticlă utilizată are rezistența mari la tracțiune (21000 - 28000 daN/cm²) și un modul de elasticitate aproximativ 1/3 din modulul de elasticitate al oțelului, adică aproximativ 700.000 daN/cm². În funcție de tehnologia de încorporare folosită, s-au utilizat fibre de sticlă scurte și țesături din fir continuu. Fibrele de sticlă scurte au fost urmărite în cazul IAFS pentru lungimi de 15 mm, 30 mm și 45 mm, iar pe baza concluziilor desprinse privind lungimea optimă, experiențele au continuat în cazul CAFS cu fibre de 40 mm lungime.

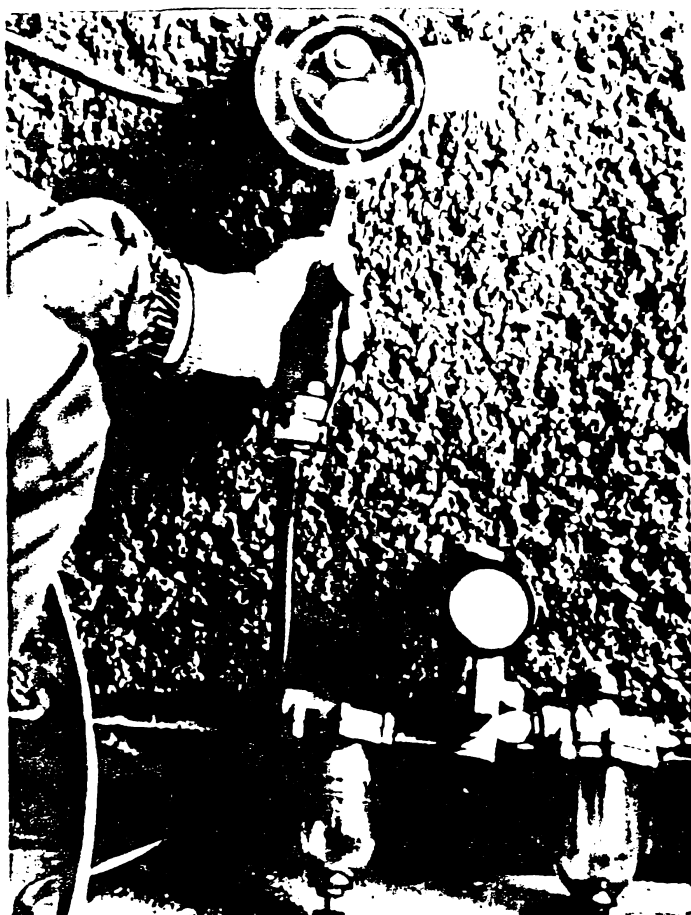


Fig.V.25. Pistol de tăiat și pulverizat fibre de sticlă.

Tăierea fibrelor de sticlă la lungimile stabilite s-a făcut cu ajutorul tăietorului din fig.V.1, precum și cu pistolul de tăiat și pulverizat, realizat prin autoutilare, fig.V.25.

Pistolul este acționat de un motor pneumatic, tăierea fibrelor la lungimile dorite fiind condiționată de distanța dintre lamele de tăiere fixate pe tamburul tăietor.

Țesăturile au fost realizate din rowinguri (cu 10 - 20 capete), ochiurile țesăturilor fiind cuprinse între 1 - 3 cm. Țesăturile au fost executate în condiții de laborator.

V.2.2. Confecționarea epruvetelor. Armarea pastei de ciment cu fibre de sticlă trebuie să asigure o bună impregnare și învelire a fibrelor cu produsele de hidratare ale cimentului și o dispersie uniformă a fibrelor în masa amestecului, ceea ce conduce la o mai bună distribuție a eforturilor și o rezistență mai mare la microfisurare și la propagarea fisurilor în material. Eficacitatea armării este condiționată de orientarea fibrelor, ea depinzând și de raportul modulilor $E_{fibră}/E_{amestec}$, de raportul de aspect (lungime/diametru) și de conținutul de fibre.

Confecționarea epruvetelor a fost condiționată de tehnologia folosită pentru încorporarea fibrelor de sticlă. Astfel, în cazul tehnologiei de preamestec, fibrele au primit o orientare haotică tridimensională, în cazul tehnologiei de pulverizare fibrele sînt orientate haotic în plan, bidimensional, iar în cazul tehnologiei prin contact, folosirea țesăturilor asigură orientarea ortogonală a fibrelor în plan, fibrele în acest ultim caz oferind cea mai mare eficiență.

a) Tehnologia de preamestec corespunde celor arătate la § V.1.2, în acest caz liantul fiind cimentul portland. Probele realizate au fost decofrate după 24 ore, apoi au fost marcate și tăiate la dimensiunile cerute, au fost păstrate 7 zile în mediu cu umiditate ridicată, iar apoi în condiții obișnuite de laborator pînă la încercare.

b) Tehnologia de pulverizare corespunde de ademenia celor arătate în § V.1.2, în acest caz liantul fiind cimentul portland. Tehnica pulverizării fibrelor de sticlă a fost însă îmbunătățit prin realizarea pistolului de tăiat și pulverizat fibre de sticlă, fig.V.25. Probele realizate au fost supuse aceluiași operațiuni ca în cazul punctului a.

c) Tehnologia formării prin contact corespunde celor arătate la § III.2; și în acest caz probele realizate au fost supuse aceluiași operațiuni ca în cazul a.

V.2.3. Incercarea epruvetelor. Epruvetele au fost extrase în mare parte - prin tăiere cu discuri abrazive - din plăci de 10 - 13 mm grosime, realizate conform celor arătate la § V.2.2. Decuparea epruvetelor s-a făcut după aceeași modalitate ca în cazul ipsosului, fig.V.6. Au fost decupate cinci tipuri de epruvete, pentru următoarele determinări :

- întindere centrică 150/25 mm - tip C 1 ;
- compresiune centrică 75/25 mm - tip C 2 ;
- încovoiere 150/50 mm - tip C 3 ;
- șoc 100/25 mm - tip C 4 ;
- densitate 50/50 mm - tip C 5.

Pentru determinarea modurilor de elasticitate și a contracției au fost confecționate epruvete aparte, după cum urmează:

- modulul de elasticitate static - 40 x 40 x 160 mm - tip C6;
- modulul de elasticitate dinamic - 40x40x160 mm - tip C7;
- contracția - 40x40x160 mm - tip C8.

Epruvetele martor au indicativul 0, iar cele armate cu fibre de sticlă indicativul C. Epruvetele au fost marcate și înregistrate, marcajul cuprinzînd cifra procentului de fibre de sticlă, lungimea în milimetri ai fibrei, numărul de ordine și tipul de epruvetă, ex. 8 - 40 - 1.251 - C 3. La toate epruvetele înregistrate au fost măsurate dimensiunile și cîntărite epruvetele de tip C 5.

Incercările la întindere centrică, compresiune centrică

și încovoiere s-au efectuat cu aceeași presă universală din figura V.7.

a) Rezistența la întindere centrică s-a determinat pe epruvete tip C 1, sub o viteză constantă de încărcare ($1 \text{ daN/cm}^2/\text{sec}$), la vîrstele de 28, 90 și 180 zile, epruvetele fiind realizate prin tehnologiile de preamestec, pulverizare și contact, în primele două tehnologii s-au utilizat fibre de sticlă scurte, iar în tehnologia de contact s-au utilizat țesături din fibre lungi de sticlă (rowing).

Prinderea epruvetelor în presa de încercare este identică cu cea prezentată în figura V.8 și figura V.9.

Valorile absolute ale rezistențelor la întindere centrică (R_t) au fost determinate cu relația (V.2).

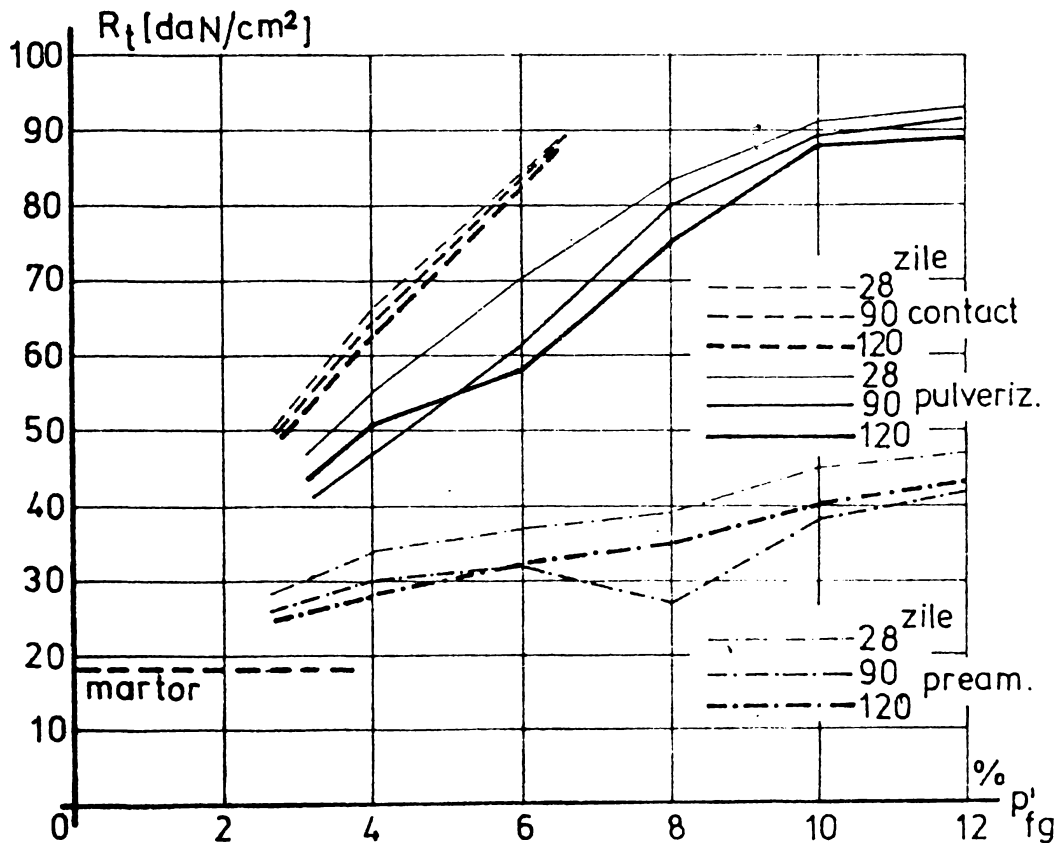


Fig.V.26. Variația în timp a rezistenței la întindere centrică (R_t) în funcție de procentul de fibre (p'_{fg}) și tehnologia de realizare.

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V.36, V.37 și V.38, iar în figura V.26 se prezintă diagramele de variație a efortului unitar de întindere R_t .

b) Rezistența la întindere din încovoiere s-a determinat pe epruvete tip C 3 sub o viteză constantă de încărcare, la vârstele de 28, 90 și 180 zile, după schema de încărcare din fig. V.12. Epruvetele realizate prin tehnologiile de preamestec și pulverizare au fost armate cu fibre scurte de sticlă, iar cele realizate prin contact au utilizat țesături din fibre lungi de sticlă.

Valorile absolute ale rezistențelor la întindere din încovoiere (R_{t1}) au fost determinate cu relația (V.4)

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V. 39, V.40 și V.41 iar în figura V.27 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

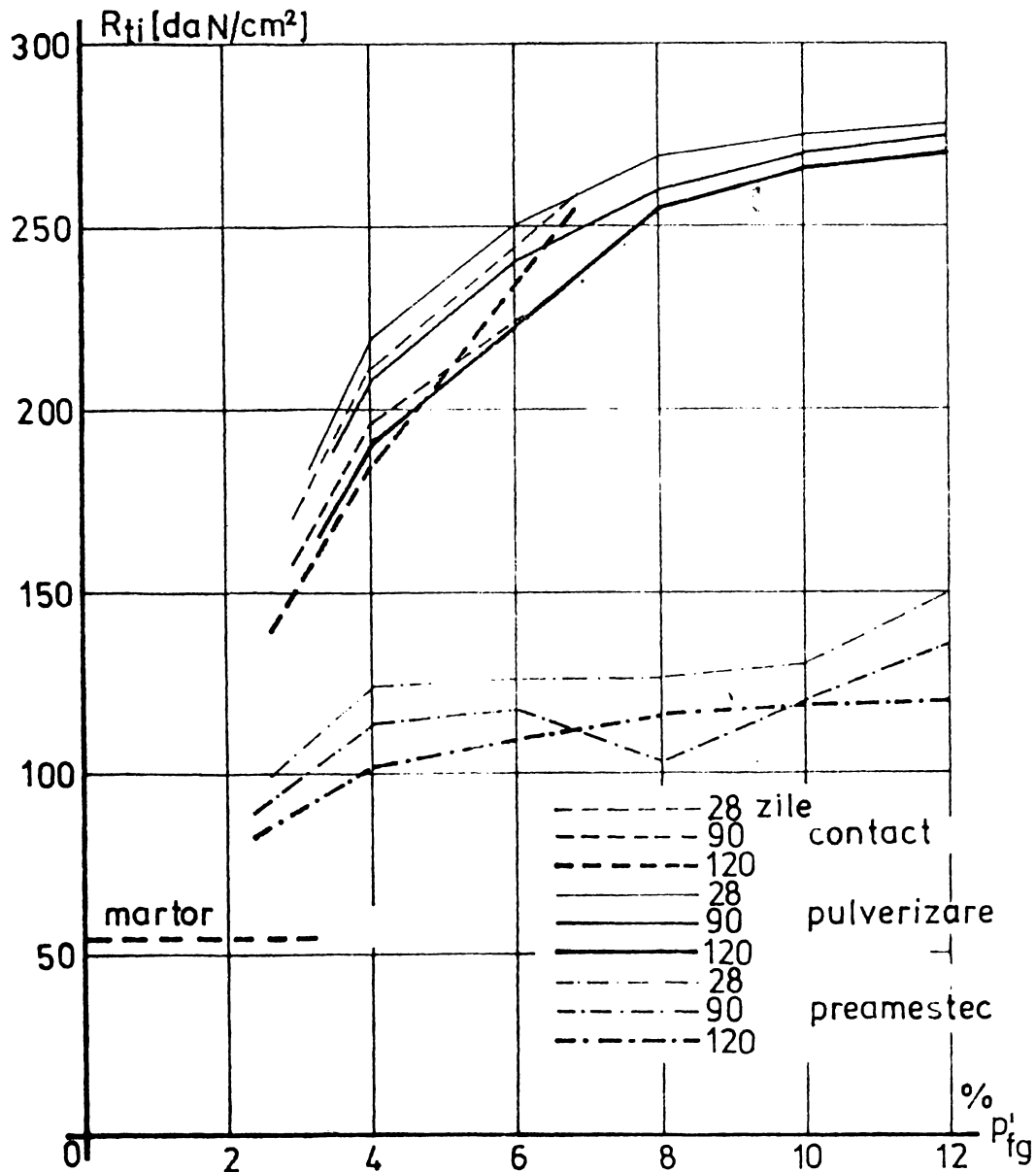


Fig.V.27. Variația în timp a rezistenței la întindere din încovoiere (R_{t1}) funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (P_{fg}) și tehnologia de realizare.

c) Rezistența la compresiune s-a determinat pe epruvete tip C 2, sub o viteză constantă de încărcare, la vârstele de 28, și 90 zile.

Valorile absolute ale rezistențelor la compresiune centrică (R_c) au fost determinate cu relația (V.5).

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V.42 și V.43, iar în figura V.28 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

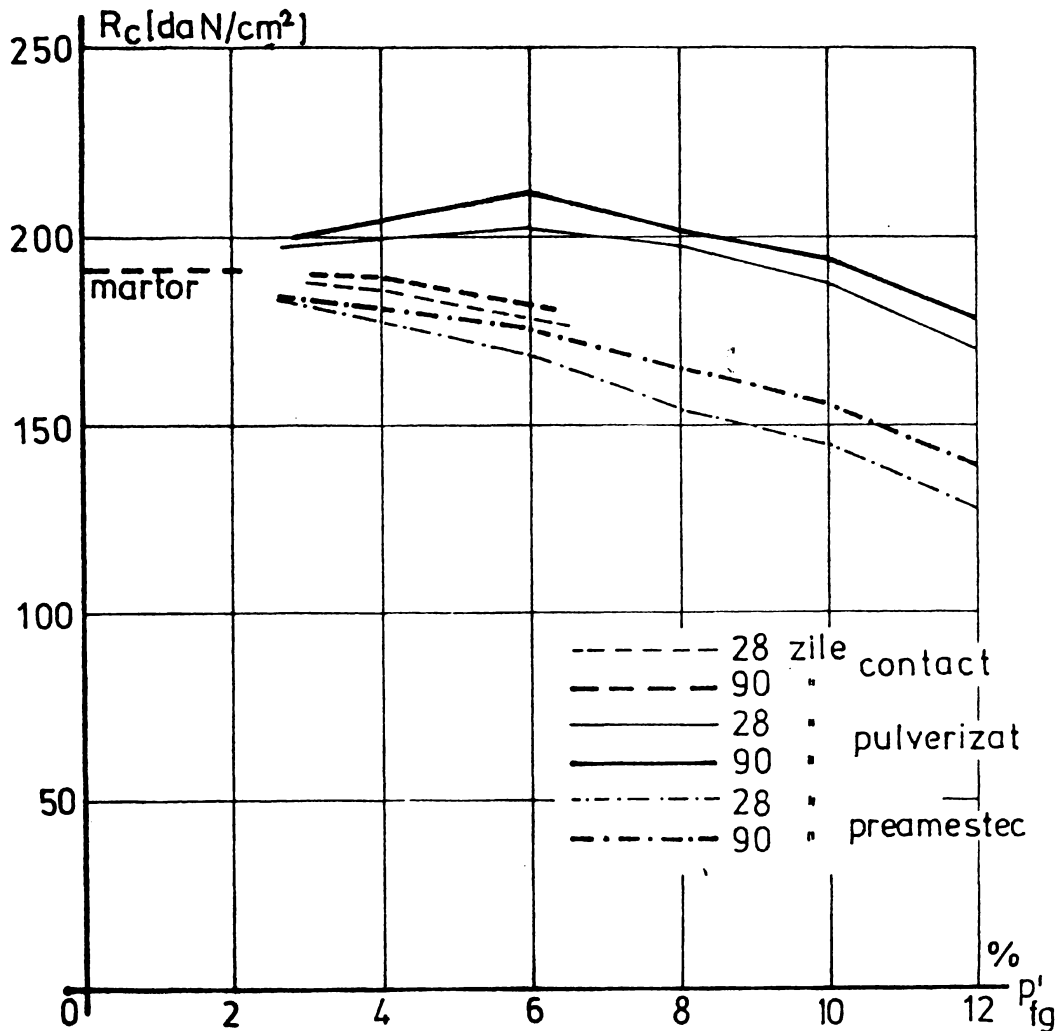


Fig.V.28. Variația în timp a rezistenței la compresiune (R_c) în funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (p'_{fg}) și tehnologia de realizare.

d) Rezistența la șoc s-a determinat pe epruvete tip C 4, la vîrstele de 28 și 90 zile. Incercările au fost efectuate ca ciocanul cu pendul prin măsurarea energiei consumate de pendul pentru ruperea epruvetei (fig.V.29). Schema de încărcare este

identică cu cea din figura V.18.

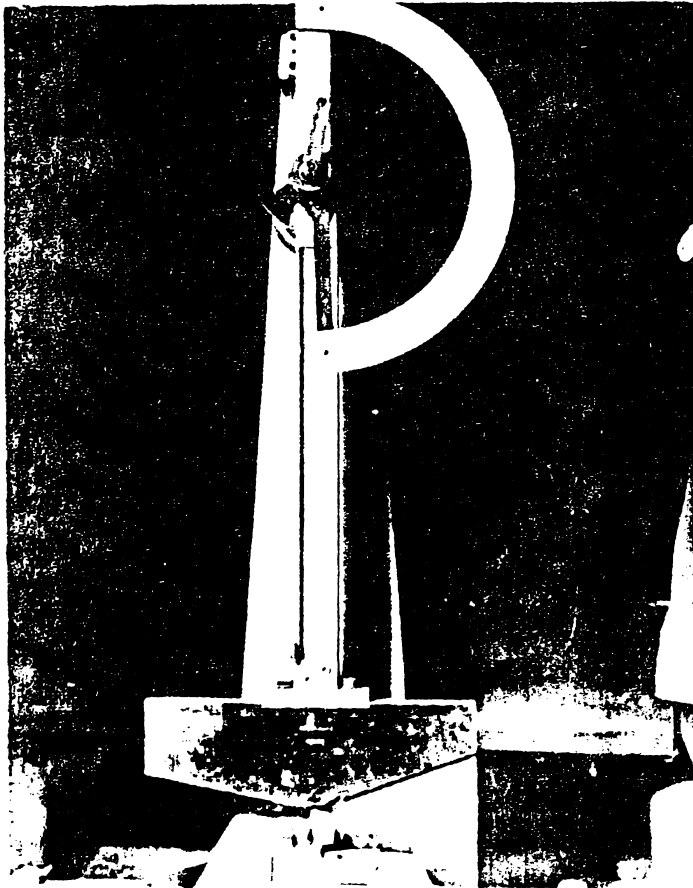


Fig.V.29. Aspect de la încercarea la șoc a epruvetelor, cu ajutorul ciocanului cu pendul. măsurarea dimensiunilor și a masei lor.

Densitatea aparentă (ρ_{ap}) s-a determinat cu relația V.8. Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V.46 și V.47, iar în figura V.31 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

f) Modulul de elasticitate static (E) s-a determinat pe epruvete tip C 6. Epruvetele au fost păstrate în primele 7 zile în mediu cu umiditate ridicată, iar apoi în condiții obișnuite de temperatură și umiditate în laborator. S-a folosit aceeași presă universală, deformațiile fiind măsurate cu ajutorul a două microcomparatoare fixate pe două juguri situate în treimea mijlocie a prismei, la distanța de 5 cm unul de altul, fig.V.20. Determinările experimentale au avut la bază STAS 5585-71.

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelul V.48, iar în figura V.32 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea rezultatelor.

Valorile absolute ale rezistenței la șoc (σ_d) au fost determinate cu relația (V.12) :

$$\sigma_d = \frac{L}{A}, \quad (V.12)$$

unde : L este lucrul mecanic consumat de pendul pentru ruperea epruvetei; A - aria secțiunii transversale a epruvetei.

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelele V.44 și V.45, iar în fig.V.30 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

e) Densitatea aparentă s-a determinat pe epruvete de tip C 5 la vârsta de 28 și 90 zile, prin mă-

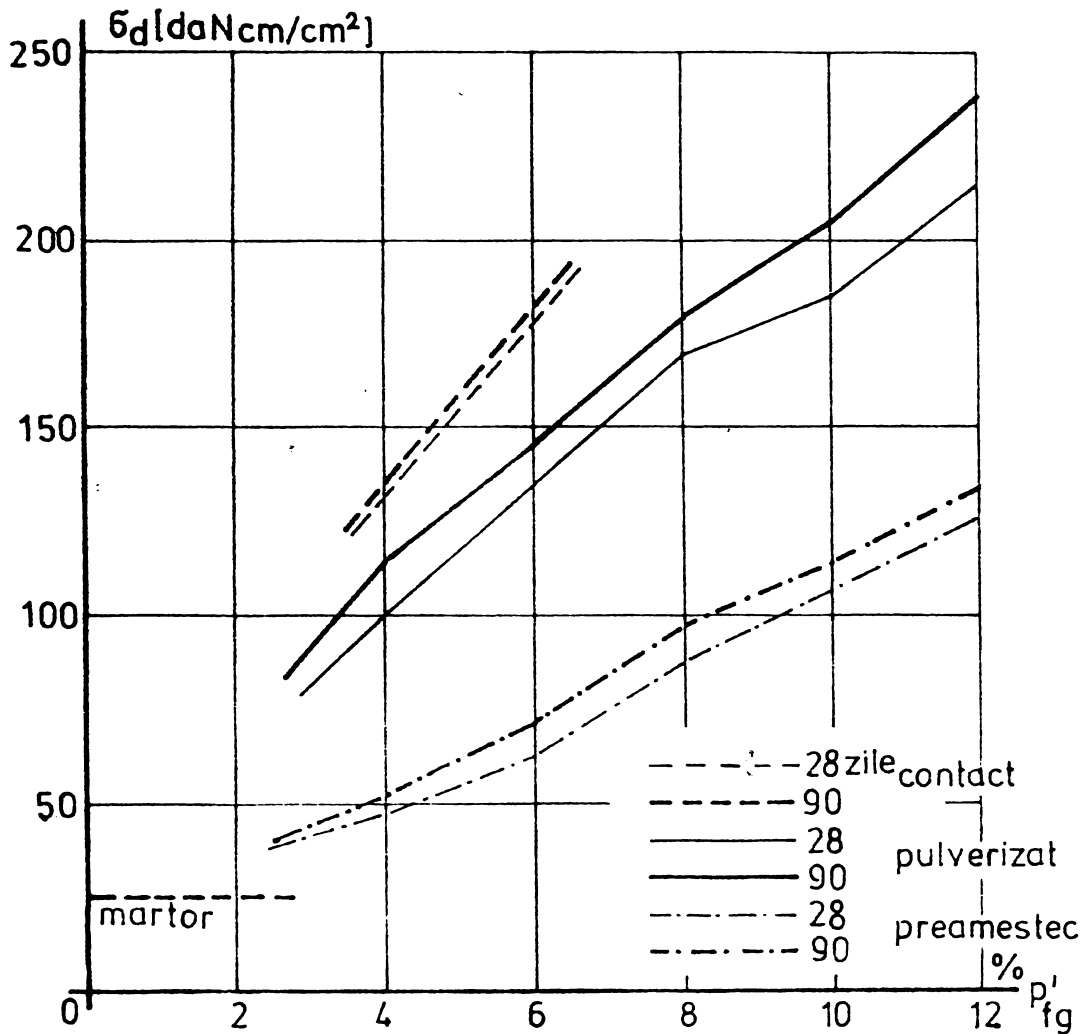


Fig.V.30. Variația în timp a rezistenței la șoc (σ_d) în funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (p'_{fg}) și tehnologia de realizare.

g) Modulul de elasticitate dinamic (E_d), s-a determinat pe epruvete tip C 7. Epruvetele au fost păstrate în primele 7 zile în mediu cu umiditate ridicată, iar apoi în condiții obișnuite de temperatură și umiditate în laborator.

S-a folosit același defectoscop ultrasonic ca în cazul ipsosului (fig.V.22).

Determinarea modulului dinamic s-a făcut cu relația (V.7).

Rezultatele experiențelor sînt cuprinse în tabelul V. 49, iar în figura V.33 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea rezultatelor.

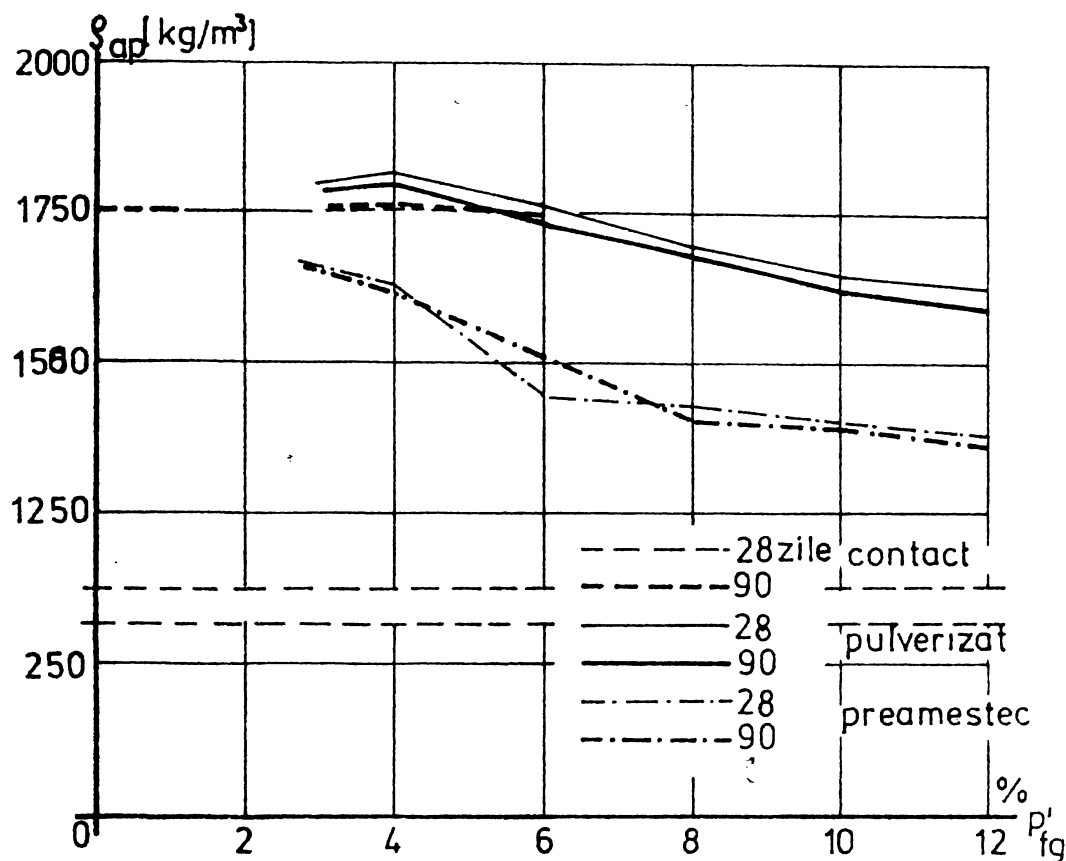


Fig.V.31. Variația în timp a densității aparente (ρ_{ap}) în funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (p'_{fg}) și tehnologia de realizare.

Deformațiile din contracție (ϵ_c) s-au determinat pe epruvete de tip C 8, comparativ cu piatra de ciment nearmată.

Determinarea deformațiilor din contracție s-a efectuat cu ajutorul dispozitivului din fig.V.34, prevăzut cu un micro-comparator de 1/1000 mm. În figura V.35 se prezintă un aspect din timpul experiențelor.

Rezultatele experiențelor sînt cuprinse în tabelul V. 50, iar în figurile V.36, V.37 și V.38 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea rezultatelor.

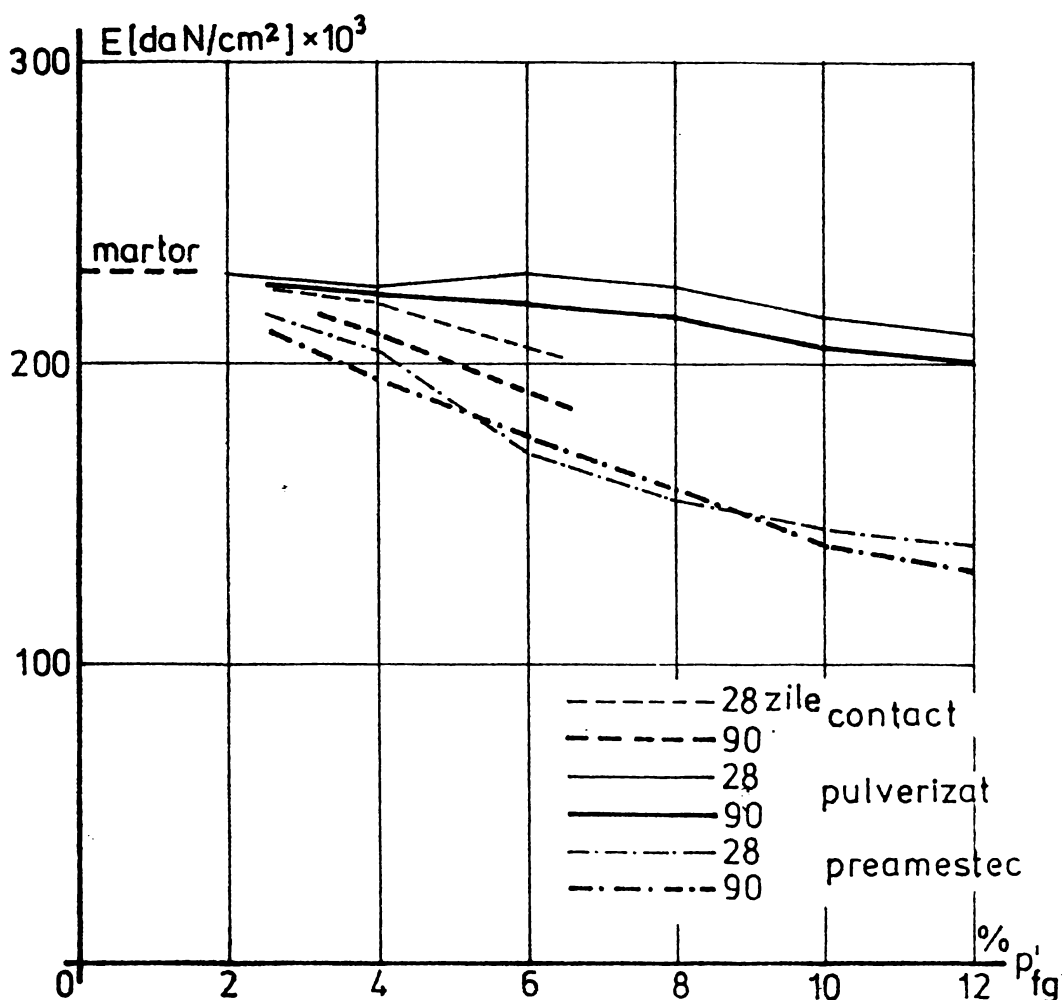


Fig.V.32. Variația în timp a modulului de elasticitate static (E) în funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (p'_{fg}) și tehnologia de realizare.

V.2.4. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale

V.4.2.1. Calculul împrăștiilor. Mărimea împrăștiilor rezultatelor este caracterizată prin abaterea medie patratică S sau de coeficientul de variație C_v . Calculul lui S și C_v se face cu relațiile (V.9) și (V.10) (vezi § V.1.4.1).

În tabelele V.36 - V.47 sînt determinate și valorile S și C_v pentru determinările efectuate asupra rezistențelor și densității materialului. Pentru comparare sub aspectul împrăștiilor, s-au calculat mediile aritmetice ale coeficienților de variație ale fiecărui tip de încercare, rezultatele fiind cu-

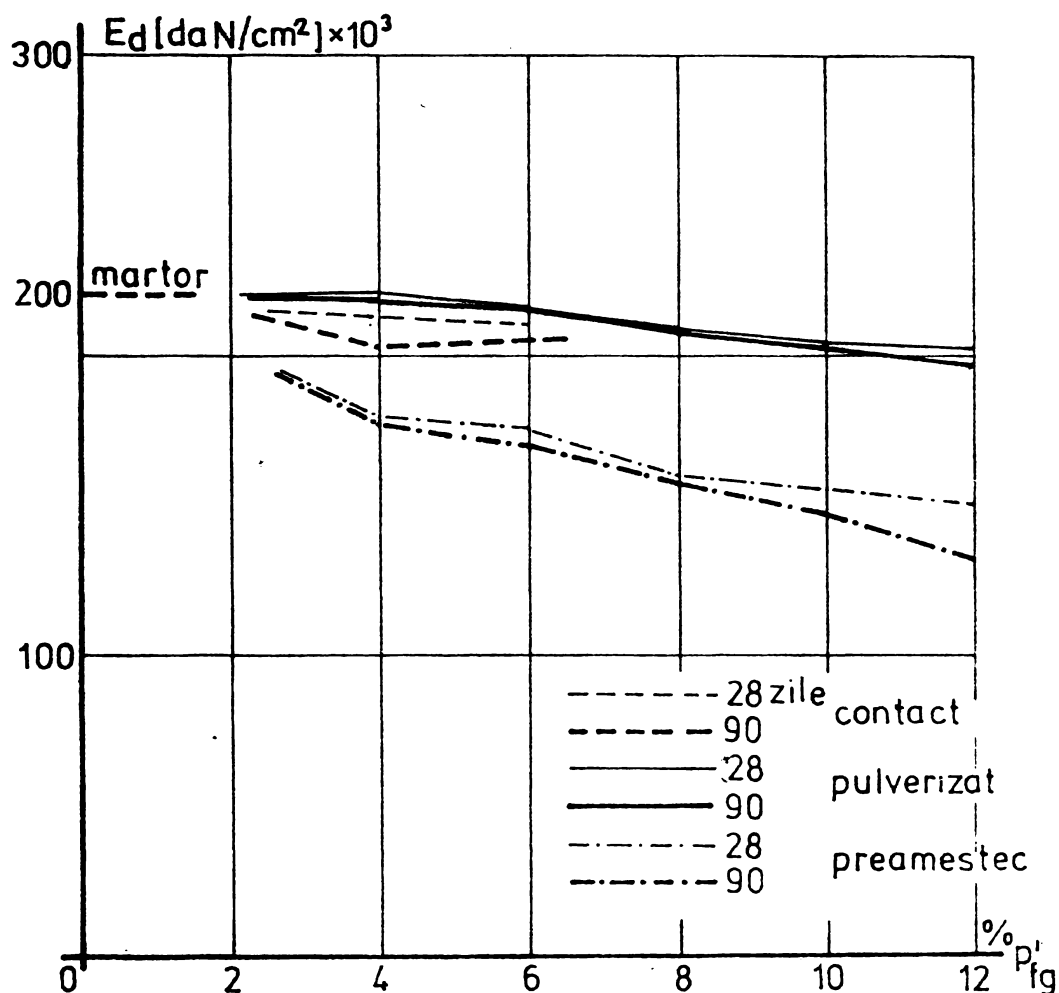


Fig.V.33. Variația în timp a modulului de elasticitate dinamic (E_d) în funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (p_{fg}) și tehnologia de realizare.

prinse în tabelul V.51.

V.2.4.2. Interpretarea datelor experimentale. Determină-

rile experimentale au condus la diferențierea rezultatelor în funcție de tehnologia de încorporare a fibrelor și de conținutul de fibre. Rezultate superioare s-au obținut folosind tehnologia formării prin contact și prin pulverizarea constituenților. Sporurile medii de rezistență rezultate față de tehnologia de preamestec se prezintă în tabelul V.52. Diferențierea sporurilor de rezistență este datorată în primul rînd orientării diferite a fibrelor de sticlă în cele trei tehnologii de fabrica-

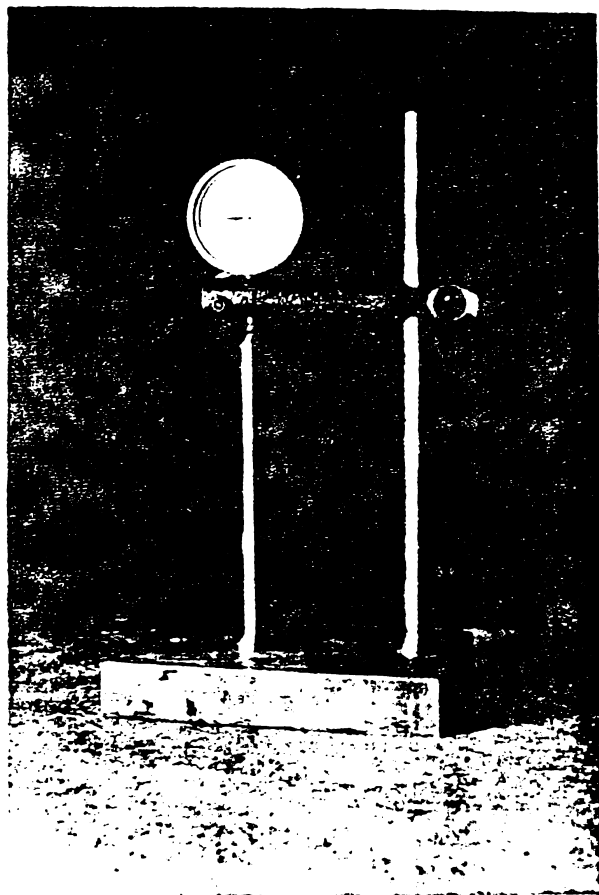


Fig.V.34. Dispozitiv etalonat pentru determinarea deformației din contracție.

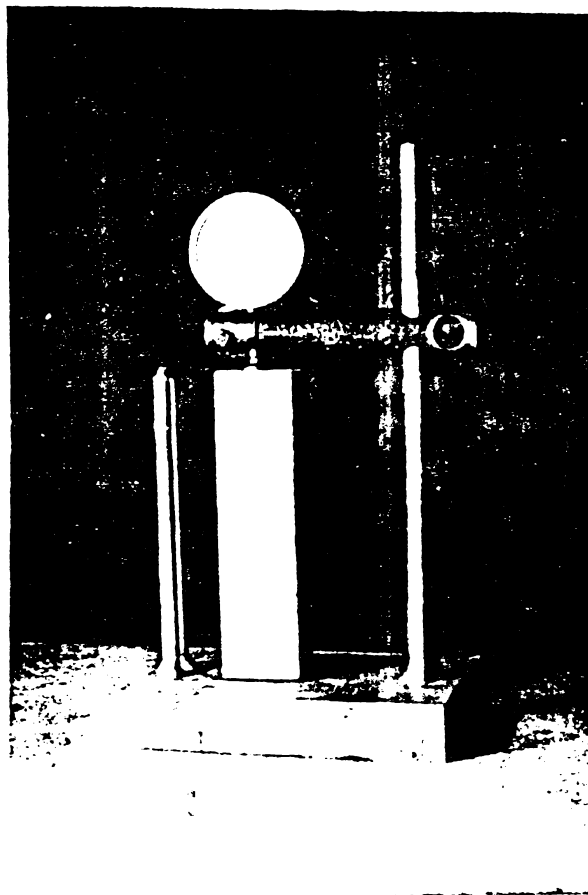


Fig.V.35. Aspect din pîmpul determinării deformațiilor din contracție.

ție. Astfel, în tehnologia de preamestec fibrele sînt orientate haotic în spațiu, în tehnologia de pulverizare sînt orientate haotic în plan, iar în cea de contact sînt orientate ortogonal în plan. Diferențierea sporurilor de rezistență este datorată și influenței pe care o are creșterea diferențiată a densității în cele trei tehnologii. Din analiza rezultatelor din tabelul V.52 rezultă că cele mai eficiente tehnologii sînt cele de pulverizare și contact.

Din diagramele cuprinse în fig.V.26 rezultă că rezistența la întindere centrică a CAFS atinge valori maxime pentru procente de armare cuprinse între 10 - 12 % din greutatea liantului sau circa 6 - 7 % raportat la volumul produsului. Pentru procente de armare mai mari, creșterea rezistenței la întindere este din ce în ce mai mică, cauza fiind în primul rînd descreșterea densității materialului odată cu creșterea conținutului de fi-

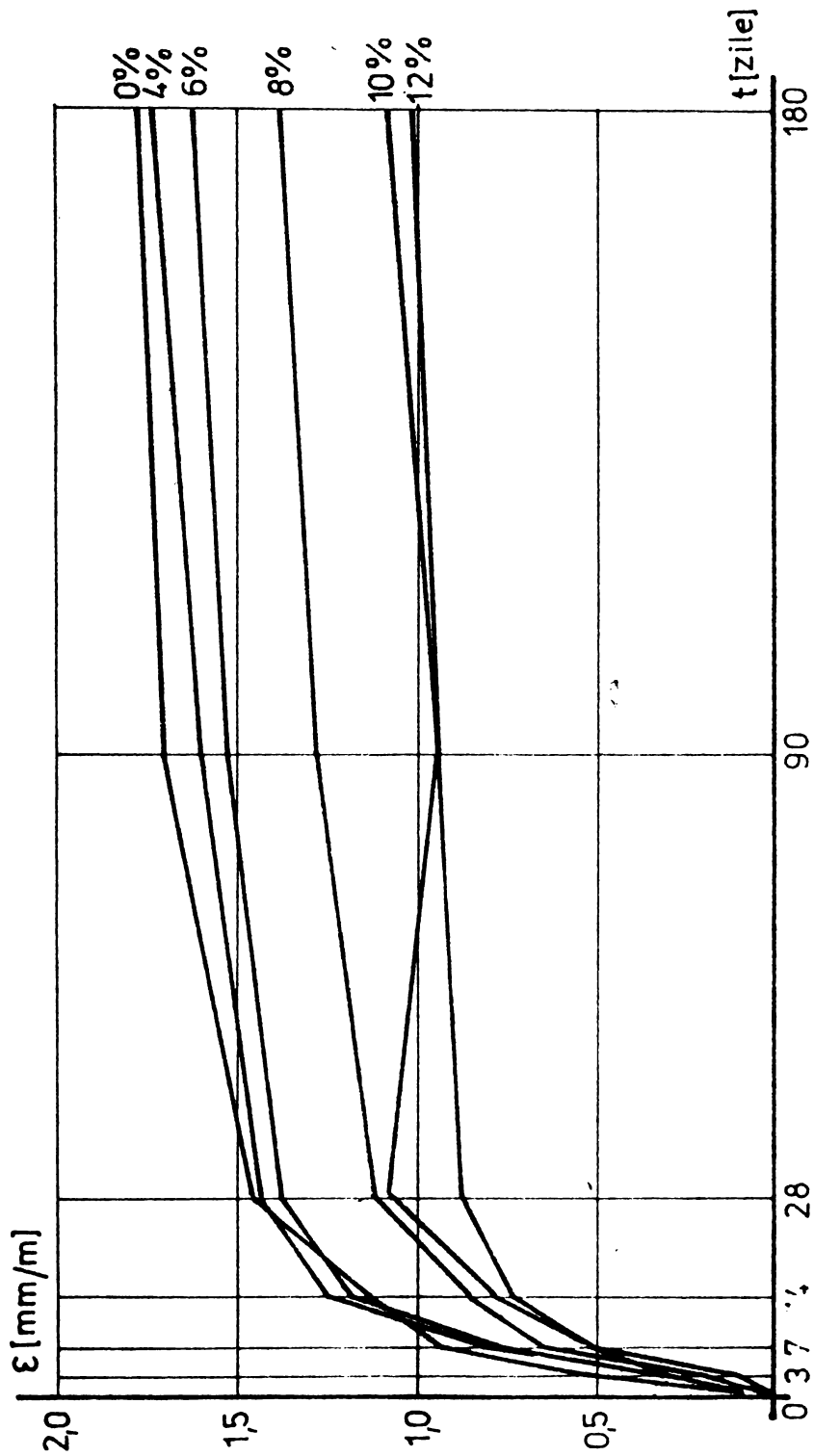


Fig.V.36. Variația în timp a deformației din contracție (ϵ_0) în funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (p_{fg}) incorporate prin tehnologia de preamestec.

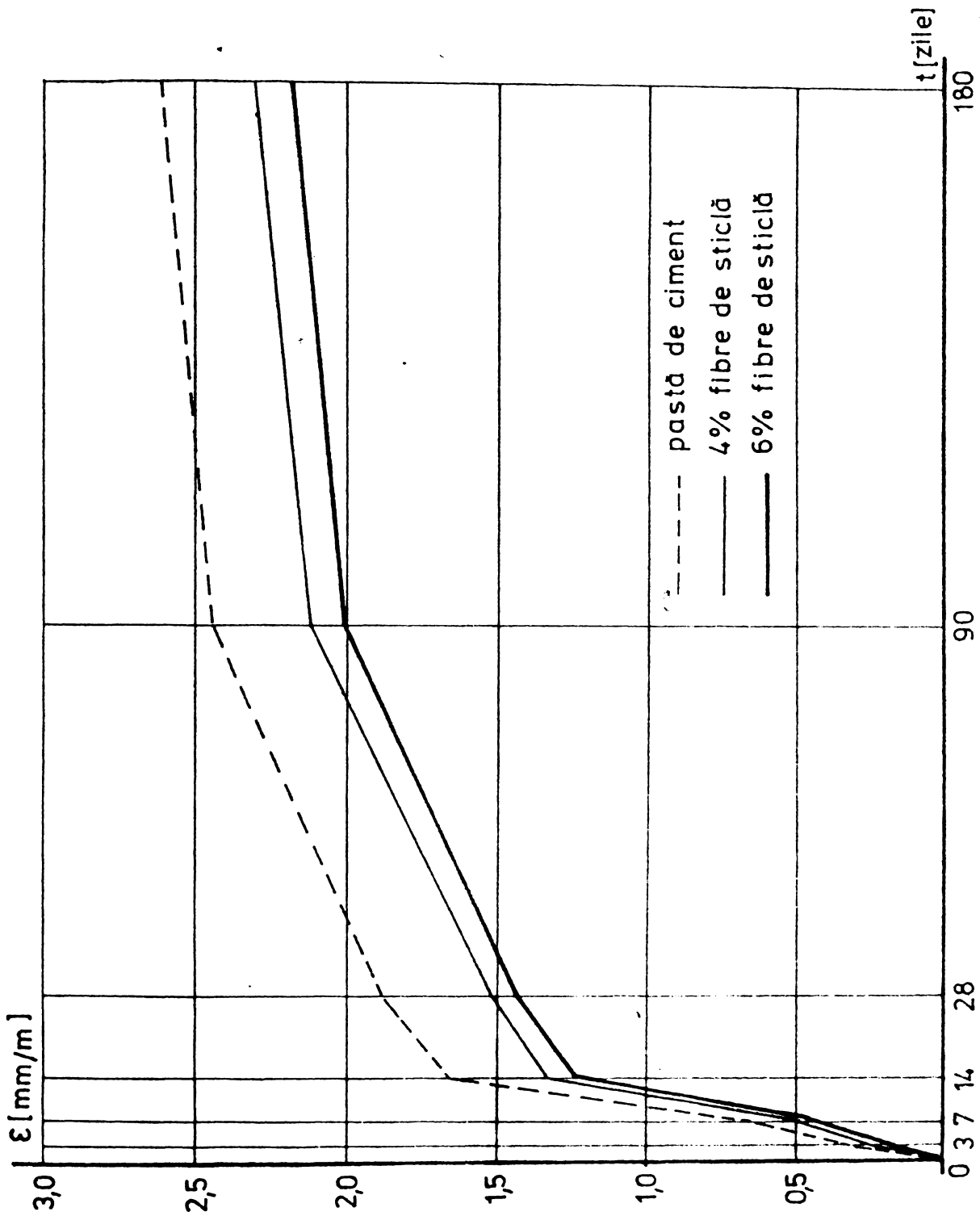


Fig.V.37. Variația în timp a deformației din contracție (ϵ_c) în funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (p_{fg}) incorporată prin tehnologia de contact.

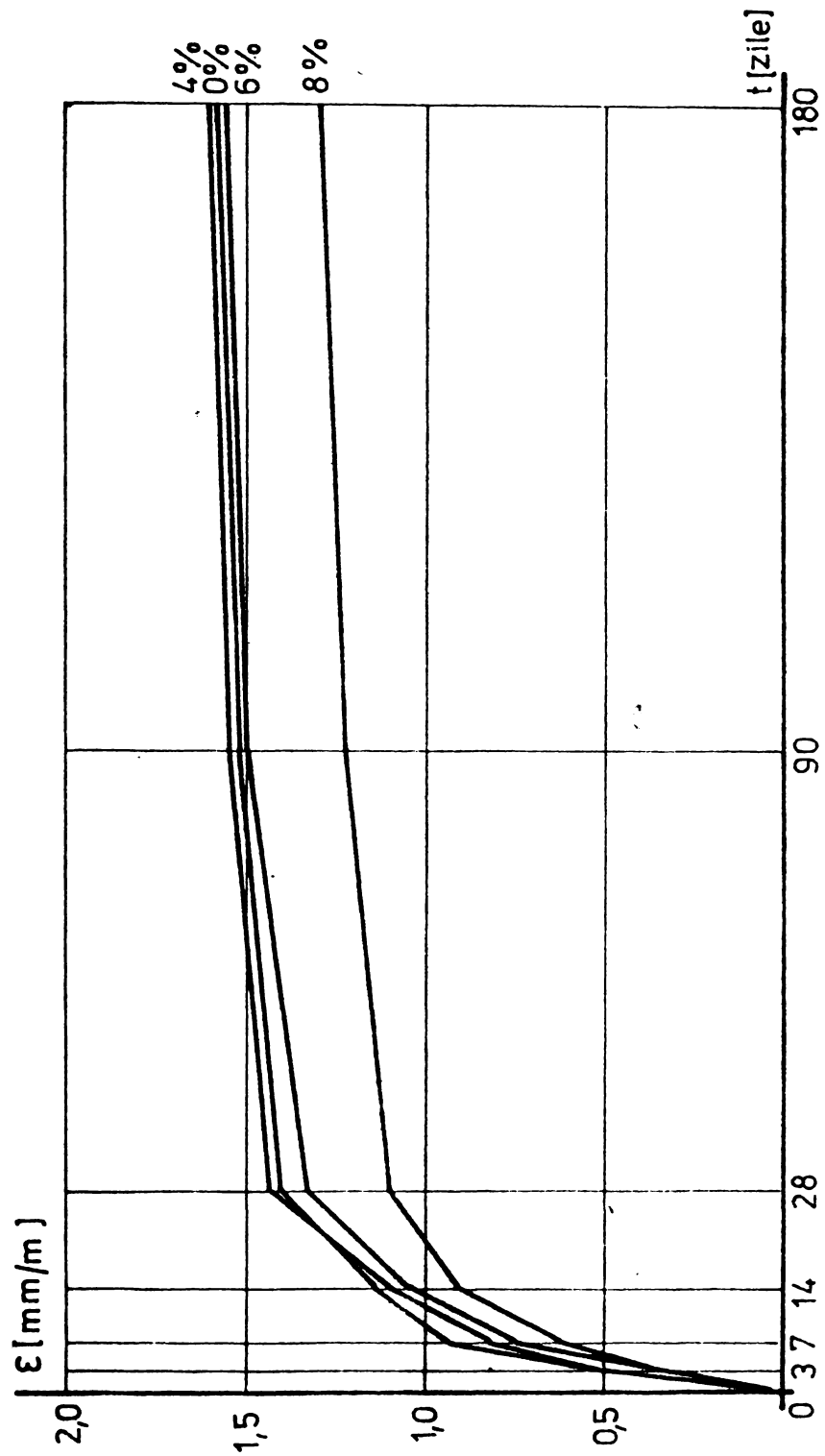


Fig.V.38. Variația în timp a deformației din contracție (ϵ_0) în funcție de cantitatea procentuală de fibre de sticlă (p'_{fg}) încorporată prin tehnologia de pulverizare.

bre de sticlă incorporată. Din diagramele V.26 rezultă că cele mai importante creșteri ale rezistențelor la întindere centrică se obțin în cazul tehnologiilor de pulverizare și contact. Valoarea absolută a rezistenței la întindere crește în medie de 3 - 5 ori față de martorul simplu.

Din diagramele cuprinse în fig.V.27 rezultă că rezistența la întindere din încovoiere la CAFS atinge valori maxime pentru procente de armare cu fibre de sticlă de circa 10 % din greutatea liantului sau de circa 6 % raportat la volumul produsului. Pentru procente de armare mai mari, comportarea este asemănătoare ca la întinderea centrică. Din diagramele din fig.V.27 rezultă că cele mai importante creșteri ale rezistenței la întindere din încovoiere se obțin în cazul utilizării tehnologiilor de pulverizare și contact. Valoarea absolută a rezistenței la întindere din încovoiere crește în medie de 2 - 5 ori față de martorul simplu.

Ca și în cazul IAFS și în cazul CAFS rezistența la compresiune prezintă o caracteristică aparte. Din diagramele cuprinse în fig.V.28 rezultă că în cazul utilizării tehnologiilor de pulverizare și contact, variațiile rezistențelor la compresiune sînt neesențiale, avînd valori de $\pm(5 - 15)\%$. În cazul unui conținut optim de fibre de sticlă, de 4 - 6 % din greutatea liantului, aceste variații sînt și mai reduse, de $\pm 5\%$. Factorii determinanți ai acestor variații sînt în esență aceleași ca în cazul IAFS (vezi § V.1.4.2).

Din diagramele din figura V.30 rezultă că rezistența la șoc a CAFS crește odată cu creșterea cantității de fibre de sticlă incorporată. Astfel, pentru un conținut de 6 - 8 % fibre de sticlă din greutatea liantului, rezistența la șoc a crescut de 5 - 7 ori în cazul utilizării tehnologiilor de pulverizare și contact. Pentru un conținut de 12 % fibre de sticlă, s-au obținut creșteri ale rezistenței la șoc de pînă la de zece ori față de probele martor. Factorii determinanți ai creșterii rezistenței la șoc sînt în esență aceleași ca în cazul IAFS (vezi § V.1.4.2).

Din diagramele din fig. V.31 rezultă că densitatea CAFS, în cazul utilizării tehnologiilor de pulverizare și contact, evidențiază creșteri reduse de 3 - 5 % pentru un conținut de 4 - 6 % fibre de sticlă din greutatea liantului, iar pentru un

conținut de 10 - 12 % fibre de sticlă, se remarcă scăderi ale densității de 6 - 10 %. Așadar, pentru procente optime de armare, densitatea este practic invariabilă, cauzele fiind aceleași ca la IAFS.

Modulii de elasticitate static (E) și dinamic (E_d), reprezentați în diagramele din fig.V.32 și V.33, evidențiază, în cazul tehnologiilor de pulverizare și contact, invariabilitatea mărimilor pentru conținuturi optime de fibre de sticlă de 4 - 6% din greutatea liantului în stare uscată. Pentru conținut mai mare de fibre de sticlă, modulii de elasticitate statici și dinamici scad cu 10 - 15 % față de probele martor, comportare care este strâns legată de scăderea densității materialului odată cu creșterea cantității de fibre încorporate.

Din analiza diagramelor din figurile V.36, V.37 și V.38 rezultă că în toate tehnologiile folosite, armarea cu fibre de sticlă reduce deformația din contracție. Contracția scade cu creșterea conținutului de fibre de sticlă încorporată, scădere care iese în evidență încă de la vârsta de 28 zile. Cele mai mici contracții se constată în cazul armării cu 8 - 10 % fibre de sticlă. Pentru procente optime de armare, cuprinse între 6 - 8% fibre de sticlă, deformațiile din contracție la 90 zile sînt cu 5 - 20 % mai mici ca a probelor martor.

V.3. Betonul armat cu fibre de sticlă

Studiile experimentale asupra betonului armat cu fibre de sticlă (BAFS), au fost efectuate în baza aceluiași contracte ca la subcapitolul V.2, precum și a contractelor nr.147/1975, nr.297/1976, nr.75/1977 și 102/1978 încheiate cu I.C.P.M.C. din cadrul M.F.F.M.C.

V.3.1. Programul studiului experimental. Studiile experimentale au urmărit determinarea principalelor proprietăți fizico-mecanice ale BAFS, utilizînd fibre de sticlă alçalo-rezistente de producție românească și agregate fine (0 ... 3 mm), conform programului cuprins în tabelul V.53.

Obiectivele cercetărilor experimentale au fost :

- a) determinarea principalelor proprietăți ale BAFS;
- b) influența procentului de armare cu fibre de sticlă;
- c) influența conținutului de agregate fine.

Determinările asupra cimentului folosit și a fibrelor de sticlă sînt identice cu cele prezentate la § V.2.1.1 și § V.2.1.2.

V.3.2. Confecționarea epruvetelor. Pe baza concluziilor desprinse de la cimentul armat cu fibre de sticlă (CAFS), în cazul BAFS s-a exemplificat determinarea proprietăților fizico-mecanice pe epruvete realizate prin tehnologia formării prin contact, utilizînd o armare cu țesătură din fibre de sticlă.

Pentru a pune mai bine în evidență prezența agregatelor, s-au utilizat două compoziții de betoane, cu rapoarte ciment/agregat de 1:1 și 1:2 în greutate (în stare uscată). Agregatele utilizate au fost nisipuri de râu, cu dimensiunea granulelor între 0 ... 3 mm, deci agregate fine.

Epruvetele au fost extrase în mare parte - prin tăiere cu discuri abrazive - din plăci de 10 - 15 mm grosime. Au fost decupate următoarele tipuri de epruvete :

- pentru întindere centrică . . . 150/25 mm tip B 1 ;
- pentru compresiune centrică . . . 75/25 mm - tip B 2 ;
- pentru încovoiere 150/15 mm - tip B 3 ;
- pentru șoc 100/25 mm - tip B 4 ;
- pentru densitate 50/50 mm tip B 5.

Pentru determinări asupra modulilor de elasticitate și a contracției au fost confecționate epruvete aparte, după cum urmează :

- modulul de elasticitate static . . 40/40/160 mm - tip B 6;
- modulul de elasticitate dinamic . . 40/40/160 mm - tip B 7;
- contracție 40/40/160 mm - tip B 8.

Epruvetele din BAFS au urmat același regim de păstrare pînă la încercare ca și epruvetele din CAFS.

V.3.3. Incercarea epruvetelor. S-a utilizat aceeași aparatură folosită și la CAFS (vezi § V.2.3).

a) Rezistența la întindere centrică s-a determinat pe epruvete tip B 1, la vîrsta de 28 zile.

Valorile absolute ale rezistențelor la întindere centrică R_t au fost determinate cu relația (V.2). Rezultatele sînt prezentate în tabelul V.54, iar în fig.V.39 se prezintă diagramele de variație a efortului unitar de întindere în funcție de procentul de fibre de sticlă încorporat raportat la greutatea liantului

în stare uscată, precum și de conținutul de agregate fine.

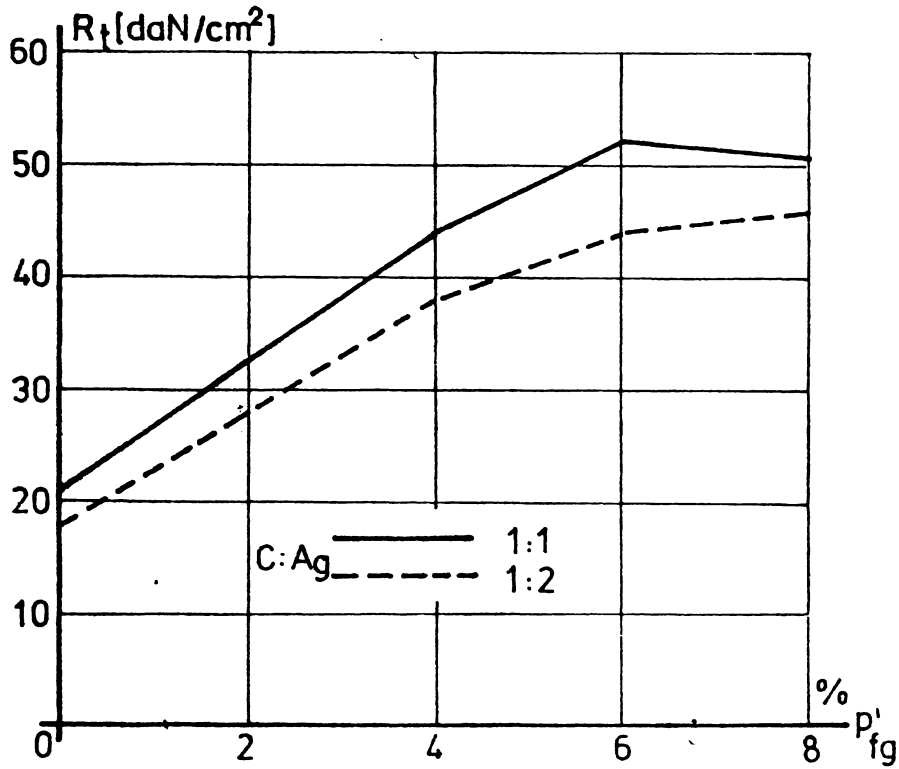


Fig.V.39. Variația efortului unitar de întindere (R_t) la BAFS.

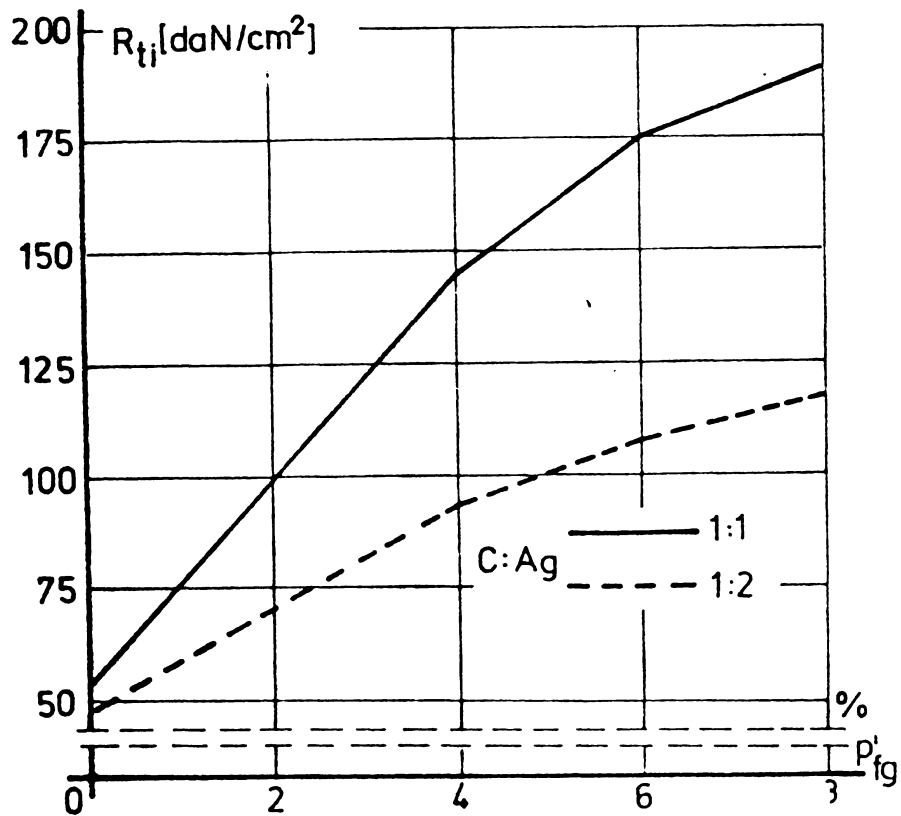


Fig.V.40. Variația efortului unitar de întindere din (R_{ti}) la BAFS.

b) Rezistența la întindere din încovoiere s-a determinat pe epruvete tip B 3, la vârsta de 28 zile.

Valorile absolute ale rezistențelor la întindere din încovoiere R_{t1} au fost determinate cu relația (V.4), acceptând ipoteza corpului elastic. Rezultatele sînt prezentate în tabelul V.55, iar în fig.V.40 se prezintă diagramele de variație a efortului unitar rezultate din prelucrarea datelor experimentale.

c) Rezistența la compresiune s-a determinat pe epruvete tip B 2, la vârsta de 28 zile.

Valorile absolute ale rezistențelor la compresiune centrică R_c au fost determinate cu relația (V.5). Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelul V.56, iar în figura V.41 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

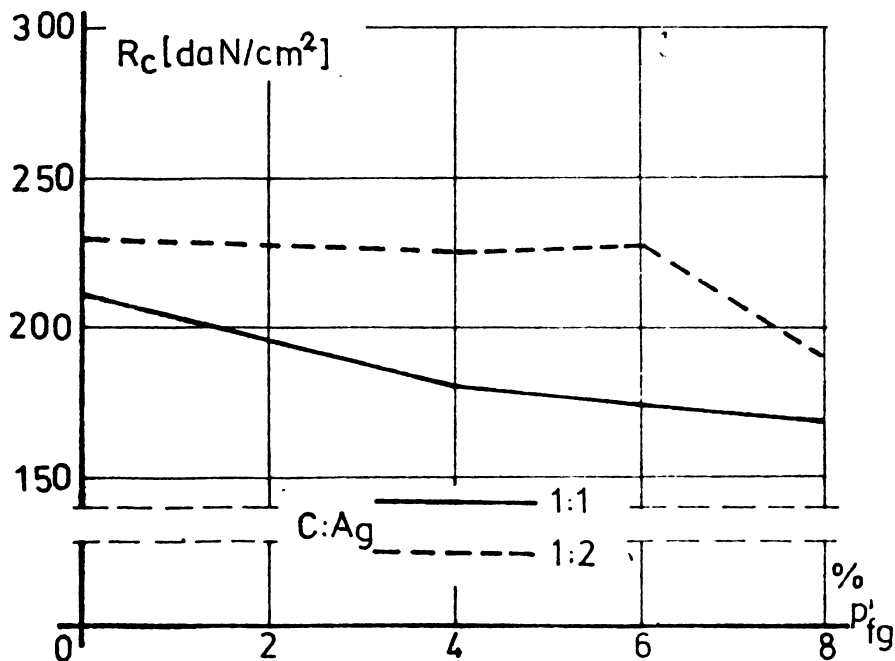


Fig.V.41. Variația efortului unitar de compresiune (R_c) la BAFS.

d) Rezistența la șoc s-a determinat pe epruvete tip B 4, la vârsta de 28 zile, utilizînd același ciocan cu pendul folosit la CAFS.

Valorile absolute ale rezistenței la șoc (R_d) au fost determinate cu relația (V.6). Rezultatele experiențelor sînt înscri-

se în tabelul V.57, iar în fig.V.42 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

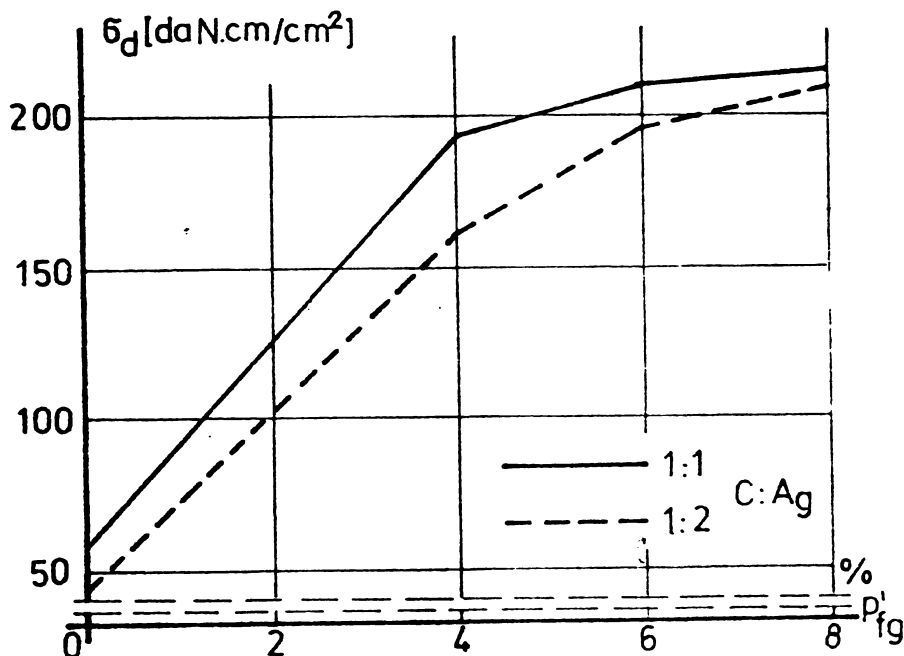


Fig.V.42. Variația rezistenței la șoc la BAFS.

e) Densitatea aparentă s-a determinat pe epruvete tip B 5, la vîrsta de 28 zile, prin măsurarea dimensiunilor și a masei lor.

Densitatea aparentă (ρ_{ap}) s-a determinat cu relația (V.8). Rezultatele măsurărilor sînt înscrise în tabelul V.58, iar în fig.V.43 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

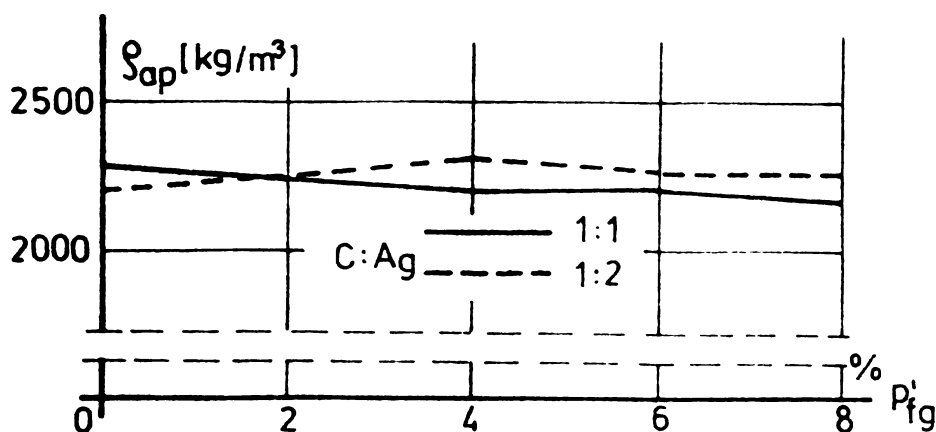


Fig.V.43. Variația densității aparente (ρ_{ap}) la BAFS.

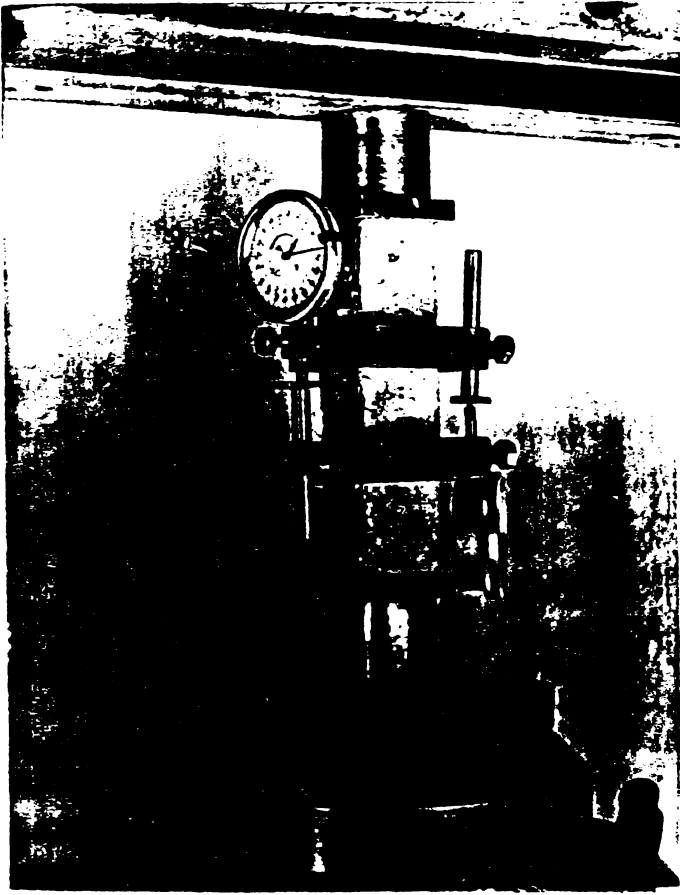


Fig.V.44. Aspect de la determinarea modului de elasticitate static.

f) Modulul de elasticitate static (E_{bf}) s-a determinat pe epruvete tip B 6, după aceeași metodologie ca la CAFS, fig.V.44.

Rezultatele experiențelor sînt înscrise în tabelul V.59, iar în fig.V.45 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea rezultatelor experimentale.

g) Modulul de elasticitate dinamic (E_d) s-a determinat pe epruvete tip B 7.

Determinarea modului dinamic s-a făcut cu relația (V.7). Rezultatele experiențelor sînt cuprinse în tabelul V.59, iar în fig.V.46 sînt prezentate diagramele obținute din prelucrarea datelor experimentale.

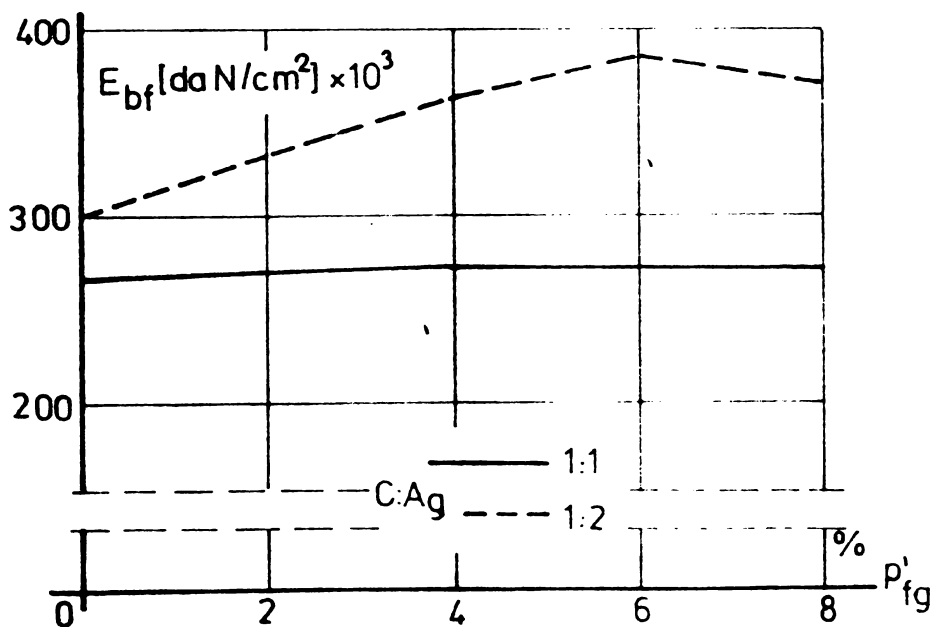


Fig.V.45. Variația modului de elasticitate static la BAFS.

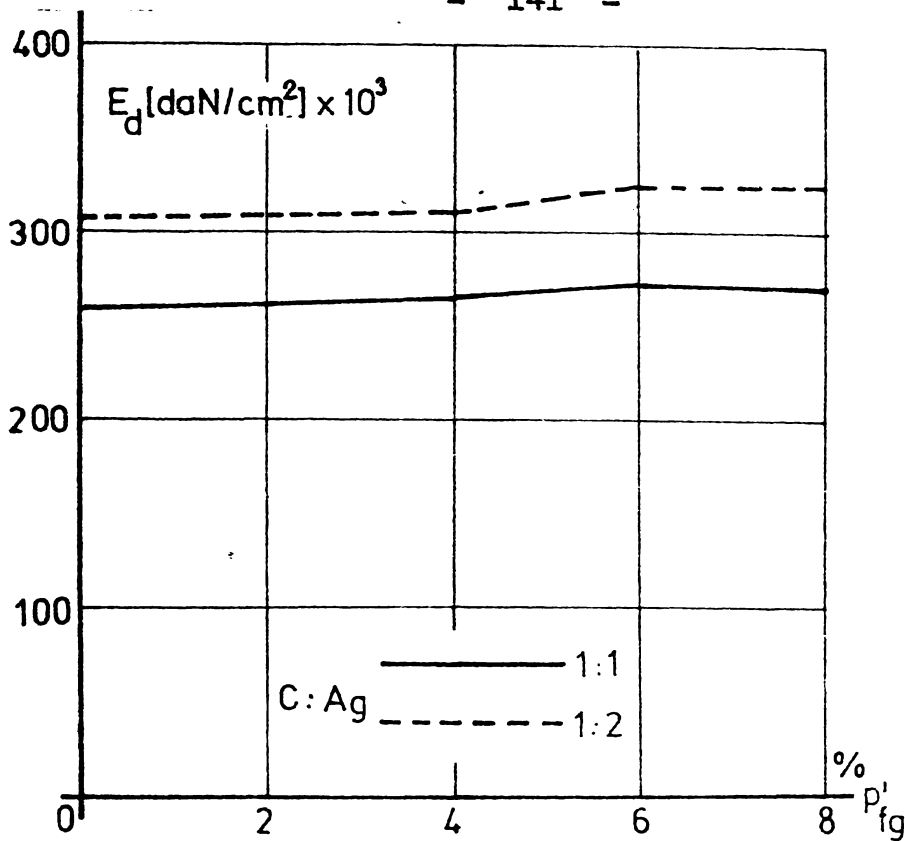
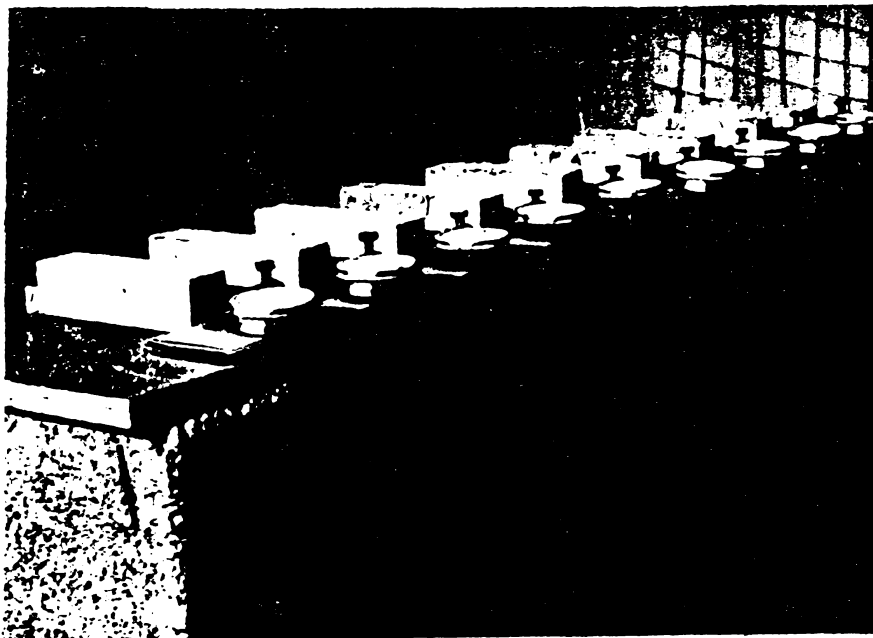


Fig.V.46. Variația moduluiui de elasticitate dinamic la BAFS.



h) Deformațiile din contracție

(ϵ_c) s-au determinat pe epruvete tip C 8, fig.V.47, pentru o compoziție ciment/agregat de 1:2.

Rézultatele experiențelor sînt redade în diagramele din fig.V.48.

Fig.V.47. Aspecte de la urmărirea deformațiilor din contracție la BAFS.

V.3.4. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale

V.3.4.1. Calculul împrăstierilor. Calculul împrăstierilor

a fost efectuat similar ca în cazul cimentului armat cu fibre de

sticlă (vezi § V.2.4.1).

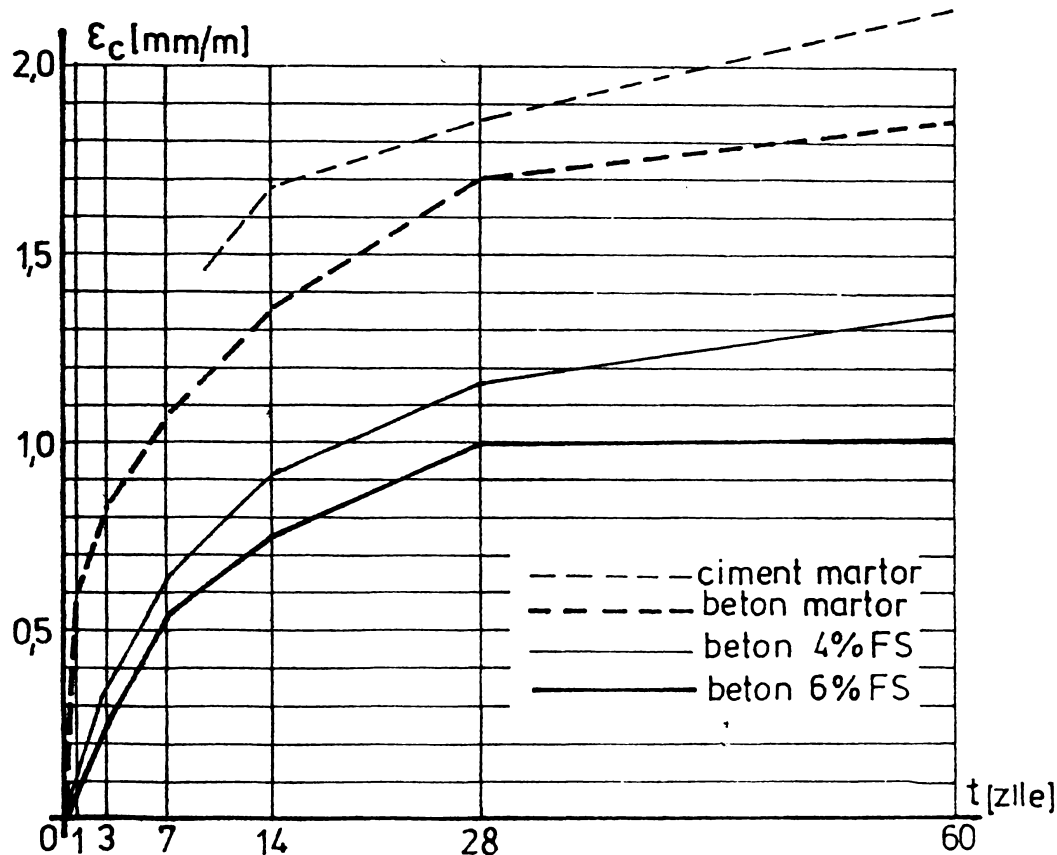


Fig.V.48. Variația deformației din contracție la BAFS.

În tabelele V.54 - V.58 sînt determinate atît abaterea medie patritică (S), cît și coeficientul de variație (C_v).

V.3.4.2. Interpretarea datelor experimentale. Determină-

rile experimentale au condus la diferențierea rezultatelor în funcție de conținutul de fibre de sticlă și de cantitatea de agregat fin (nisip între 0 ... 3 mm).

Din diagramele cuprinse în fig.V.39, rezultă că rezistența la întindere centrică a BAFS crește odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă și scăderea conținutului de agregate. Se recomandă utilizarea în proporții egale a cimentului și agregatelor în condițiile armării cu circa 6 - 8 % fibre de sticlă din greutatea liantului. Rezistența la întindere crește în medie de 2 - 3 ori față de martorul simplu, creșterile mai mari fiind înregistrate la probele cu un conținut mai mic de agregate fine.

Din diagramele cuprinse în fig.V.40 rezultă că rezistența la întindere din încovoiere la BAFS crește odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă și scăderea conținutului de agre-

gate. Cele mai mari valori se obțin pentru un conținut de circa 8 % fibre de sticlă din greutatea liantului și proporții egale de ciment și agregat fin. Rezistența la întindere din încovoiere crește în medie de 2 - 4 ori față de martorul simplu.

Rezistența la compresiune centrică are și în acest caz o caracteristică aparte. Din diagramele cuprinse în fig.V.41 rezultă o scădere a rezistențelor cu 10 - 20 % pentru conținuturi optime de fibre de sticlă. Scăderea rezistenței este în strînsă legătură cu scăderea densității, odată cu creșterea cantității de fibre încorporate, precum și cu scăderea conținutului de agregate fine din amestec. Creșterea însă în timp a rezistenței la compresiune a betonului simplu determină în cale din urmă diminuarea scăderii rezistenței la compresiune centrică a BAFS la valori apropiate de cele inițiale, astfel că se poate considera această mărime practic invariabilă pentru un conținut de fibre de sticlă cuprinse între 4 - 8 % din greutatea liantului.

Din diagramele din fig.V.42, rezultă că rezistența la șoc a BAFS crește odată cu creșterea cantității de fibre încorporate. Prezența agregatelor fine (nisip) în cantități mari diminuează rezistența la șoc a BAFS. Astfel, pentru un conținut de 6 - 8 % fibre de sticlă din greutatea liantului, rezistența la șoc a crescut de 4 - 5 ori, valorile absolute fiind mai mari cu 5 - 6 % pentru amestecuri conținând proporții egale de ciment și agregate față de amestecurile conținând două părți nisip și o parte ciment. Factorii determinanți ai creșterii rezistenței la șoc sînt în esență aceiași ca la CAFS (vezi § V.2.4.2).

Din diagramele din fig. V.43, rezultă că densitatea BAFS prezintă variații neesențiale de $\pm 3 \dots 5$ % pentru amestecuri conținând rapoarte ciment/agregat de 1:1 și 1:2. Creșterea ponderii agregatelor determină creșterea densității. Așadar, din punctul de vedere al densității, este posibilă utilizarea ambelor rapoarte ciment/agregat.

Modulii de elasticitate static (E_{bf}) și dinamic (E_d), reprezentați în diagramele din fig.V.45 și V.46, sînt practic egali cu cei ai martorilor în cazul utilizării unor proporții egale de ciment/agregat, evidențiind o creștere de 5 - 20 % pentru un conținut dublu de agregate.

Din diagramele prezentate în fig.V.47 rezultă că prezența agregatelor reduce efectele contracției, după cum și prezen-

ța fibrelor de sticlă reduce deformațiile din contracție ale be-
toanelor. In cazul de față, contracția a fost studiată pe ames-
tecuri realizate cu rapoarte ciment/agregat de 1:2, evidențin-
du-se astfel mai pregnant influența prezenței agregatului. Pen-
tru procente de armare de 6 % deformațiile din contracție la 60
zile sînt cu 30 - 40 % mai mici decît a probelor martor din be-
ton simplu și cu 40 - 50 % mai mici decît a probelor martor din
piatră de ciment.

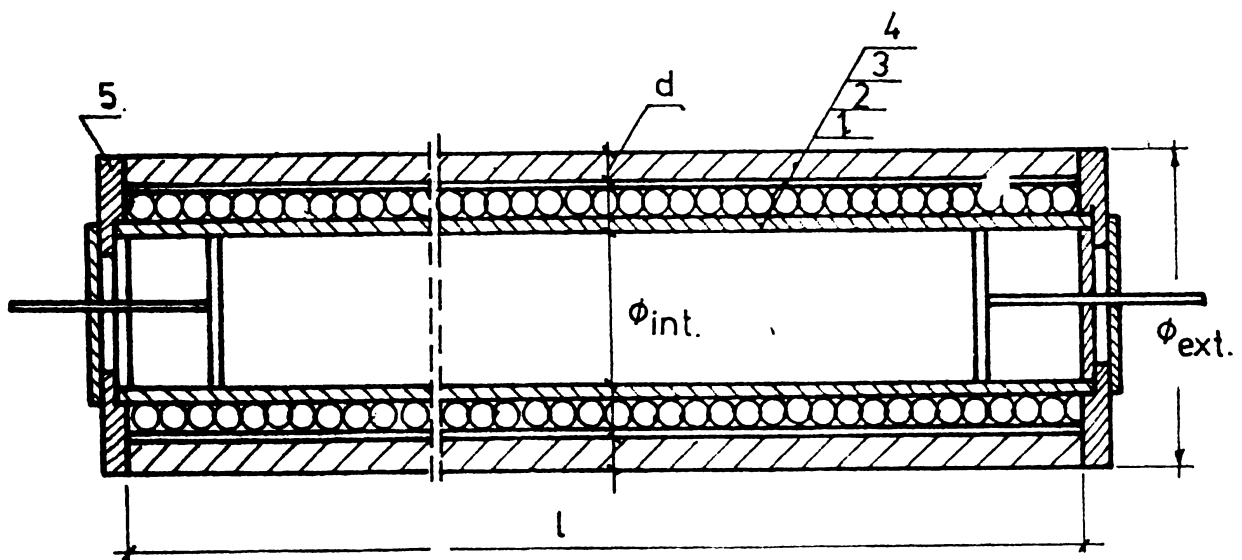
CAP. VI. EXPERIMENTARI ASUPRA PREFABRICATELOR

ARMATE CU FIBRE DE STICLA

VI.1. Tuburi din beton armat cu fibre de sticlă

Tuburile din beton armat cu fibre de sticlă sînt elemente de rezistență, destinate în mod deosebit în lucrări de canalizare, alimentări cu apă și irigații, putîndu-se astfel înlocui parțial sau chiar total tuburile din fontă de scurgere, tuburile ceramice, tuburile de presiune din beton armat, din azbociment sau chiar metalice.

VI.1.1. Realizarea tuburilor. La realizarea tuburilor, s-a utilizat tehnologia bobinării fibrelor de sticlă lungi (rowing) sau a țesăturilor din fibre lungi de sticlă, pe tiparul tubular în rotație. Tiparul este realizat dintr-un miez metalic (o țeavă), flancată la capete cu cîte o flanșă care delimitează grosimea peretelui tubului. Pentru realizarea unei decofrări ușoare - prin extragerea miezului din tub - pe suprafața exteri-



- 1 Țeavă metalică (miezul metalic).
- 2 Cameră pneumatică din tub de cauciuc.
- 3 Folie de P.V.C.
- 4 Tub din B.A.F.S. cu grosimea peretelui „d”
- 5 Flanșa de delimitare a grosimii peretelui tubului.

Fig.VI Secțiune longitudinală prin ansamblul tipar - tub.

oară a miezului metalic se circumscrie o cameră pneumatică din cauciuc în care se introduce și se menține aer sub presiune pe toată durata realizării tubului, pînă la decofrare. La decofrare, se depresionează camera pneumatică scăzînd diametrul exterior al tiparului și astfel se extrage cu ușurință întregul ansamblu al tiparului. În fig.VI.1 se prezintă o secțiune longitudinală prin antamblul tipar-tub; iar în fig.VI.2 se prezintă un aspect exterior al tiparului pentru realizarea elementelor de îmbinare (a mufelor), decofrarea făcîndu-se identic ca în cazul tuburilor [32].

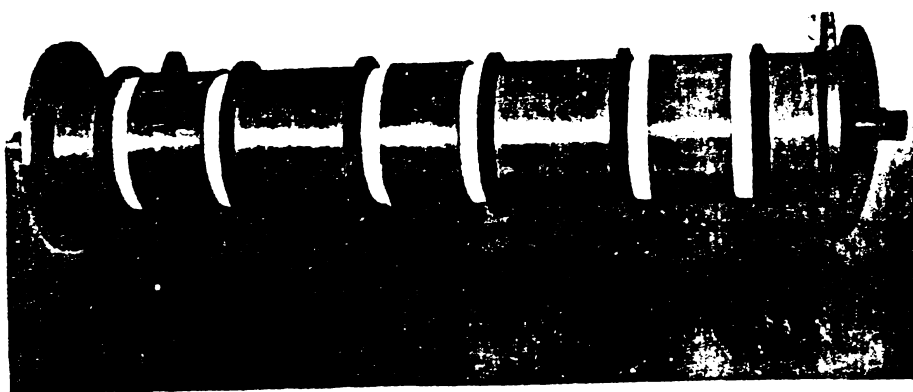


Fig.VI.2. Aspectul exterior al tiparelor pentru realizarea mufelor.

tuburi de 60 cm lungime, cu diametrul interior de 110 mm și 150 mm, armate atît cu rowing cît și cu țesătură din fibre de sticlă, în condițiile utilizării unor proporții egale de ciment și agregate fine în greutate. În fig. VI.3 sînt prezentate 2 tuburi realizate cu diametri diferiți. Principalele caracteristici ale țesăturilor sînt dimensiunile ochiurilor, de 1-2 cm pe direcția generatoarei și 5-7 cm pe cea a directoarei. S-a utilizat ciment Pz 400 și un conținut de 6 % fibre de sticlă din greutatea liantului în stare uscată ($p_{fg}^i = 6\%$).

Mufele au fost realizate la lungimi de 20 cm, armate în să cu 8 % fibre de sticlă din greutatea liantului în stare uscată. În figura VI.4 se prezintă o mufă realizată din BAFS.

Tuburile realizate în cele două variante, adică prin bobinarea fibrelor de sticlă lungi (rowing) și prin bobinarea țesăturilor, au fost decofrate după 48 ore și apoi timp de 7 zile au fost păstrate în mediu cu umiditate ridicată.

Au fost realizate cîte 12

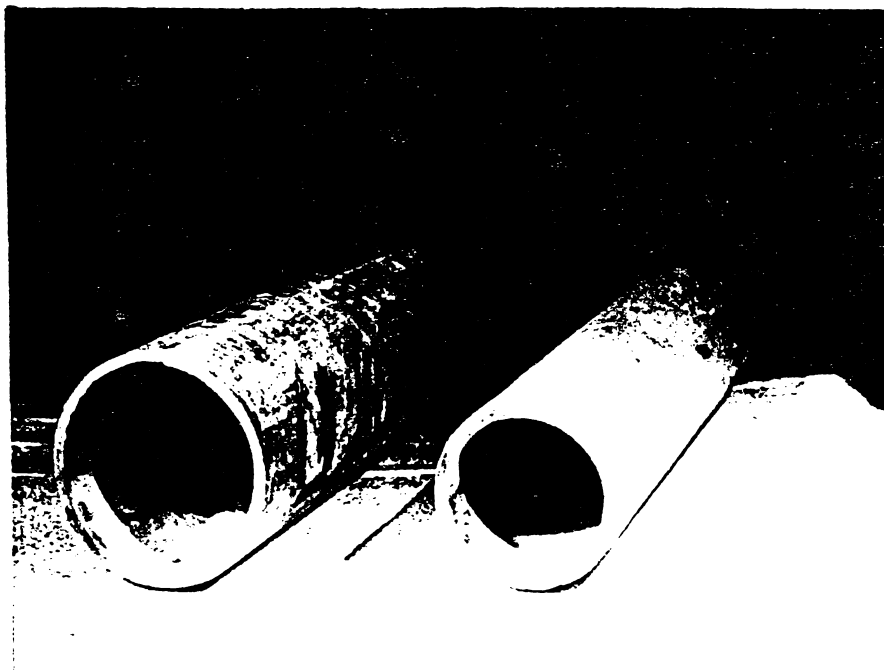


Fig.VI.3. Tuburi din BAFS cu diametri interiori de 110 mm și 150 mm.



Fig. VI.4. Mufă din BAFS.

VI.1.2. Determinări experimentale. Determinările experimentale asupra tuburilor din BASF au fost efectuate la vârștele de 28, 90 și 180 zile, respectînd în mare măsură indicațiile referitoare la tuburile de azbociment din STAS 7345/2-75 [106].

VI.1.2.1. Determinări la presiune hidraulică interioară.

S-a considerat presiunea hidraulică utilă interioară de fabrică (P_u), presiunea imediat înainte de apariția primei umede sau a primelor picături de apă pe peretele tubului (fără lovitură de berbec), încercările au fost făcute cu ajutorul dispozitivului din fig.VI.5; dispozitiv care asigură etanșarea capetelor

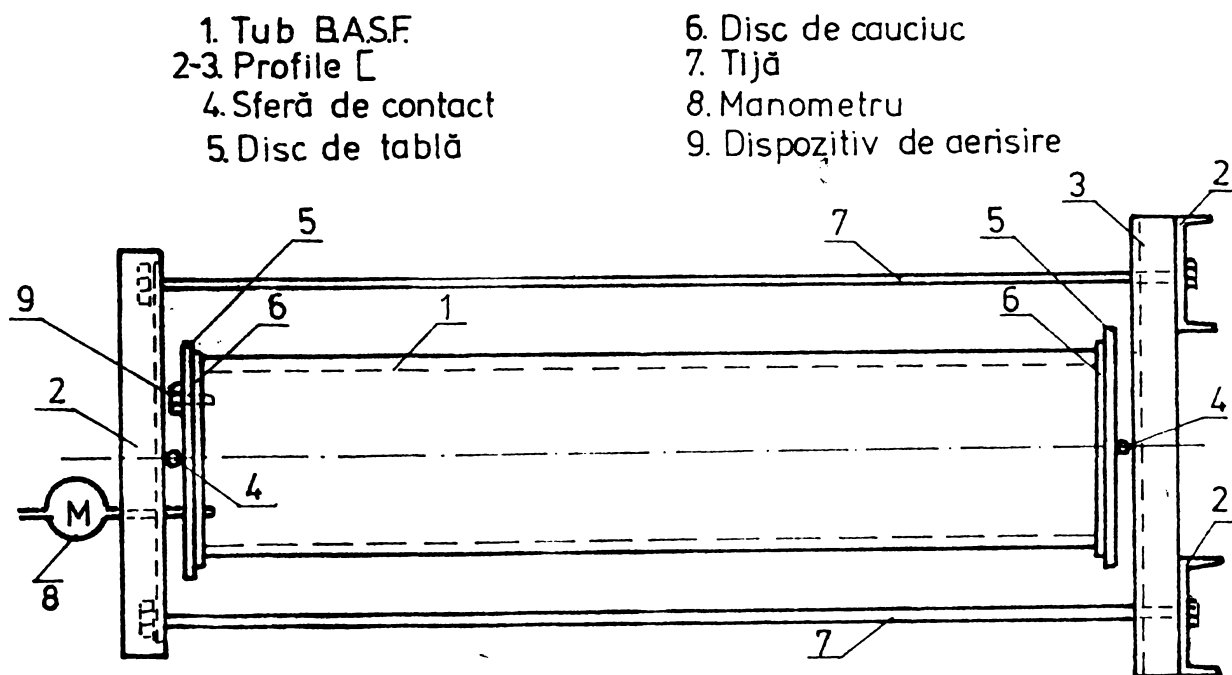
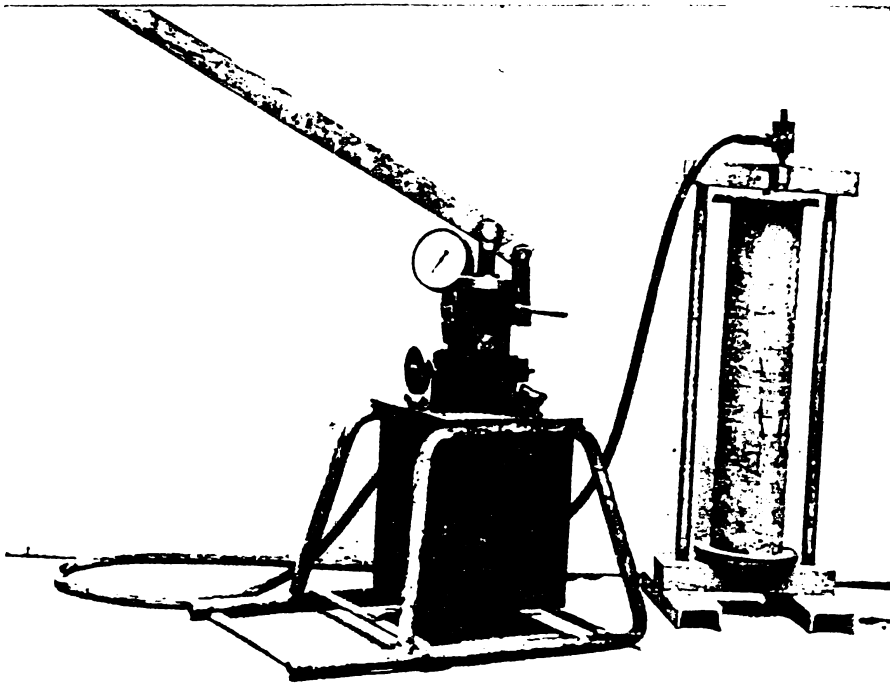


Fig.VI.5. Dispozitiv pentru încercat tuburi la presiune hidraulică interioară.

tubului. Presiunea apei din tub a crescut în trepte de $0,5 \text{ daN/cm}^2$, din 2 în 2 minute. S-a determinat presiunea hidraulică interioară la 28 de zile, obținîndu-se rezultatele cuprinse în tabelul VI.1.

VI.1.2.2. Determinări la spargerea la presiune hidraulică interioară (P_g). S-a folosit același dispozitiv ca la încerca-

rea la presiune hidraulică, urmărindu-se evitarea, pe cât posi-



bil, a compresiunii axiale a tubului, Fig.VI.6. Presiunea s-a aplicat cu o viteză constantă, iar rezistența la spargere s-a calculat cu relația (VI.1) :

$$R_t = \frac{P_s(d+g)}{2g}$$

(VI.1)

Fig.VI.6. Aspect de la încercarea la presiune a unui tub din BAFS.

unde : P_s este presiunea hidraulică interioară

în momentul spargerii, în N/mm^2 ;

d - diametrul interior al tubului în mm;

g - grosimea peretelui tubului în mm.

Rezultatele determinărilor sînt cuprinse în tabelul VI.1. În fig.VI.7 se prezintă un aspect al releveului fisurilor la un tub încercat, putîndu-se observa că fisurile sînt preponderent longitudinale.

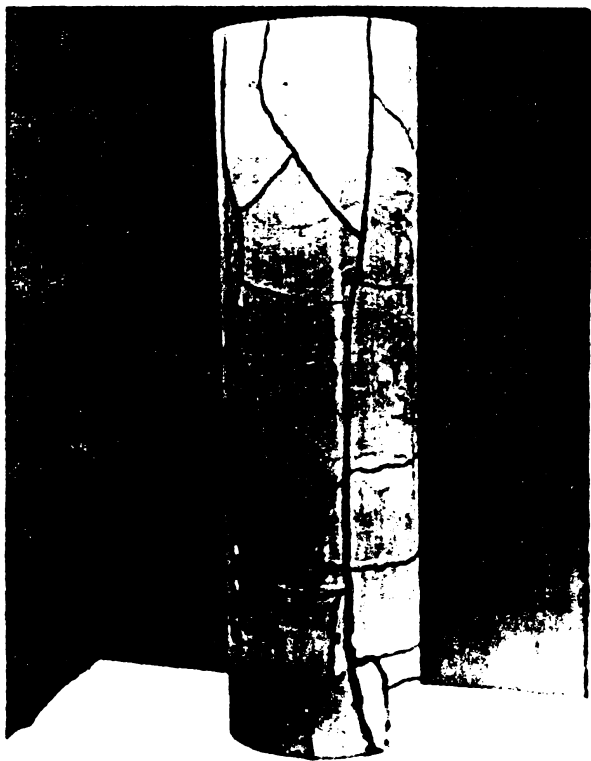


Fig.VI.7. Aspect al releveului fisurilor la un tub din BAFS.

VI.1.2.5. Determinări privind ruperea la strivire longitudinală. Încercările au fost efectuate pe tronsoane de tub de 20 cm lungime, obținute prin tăiere

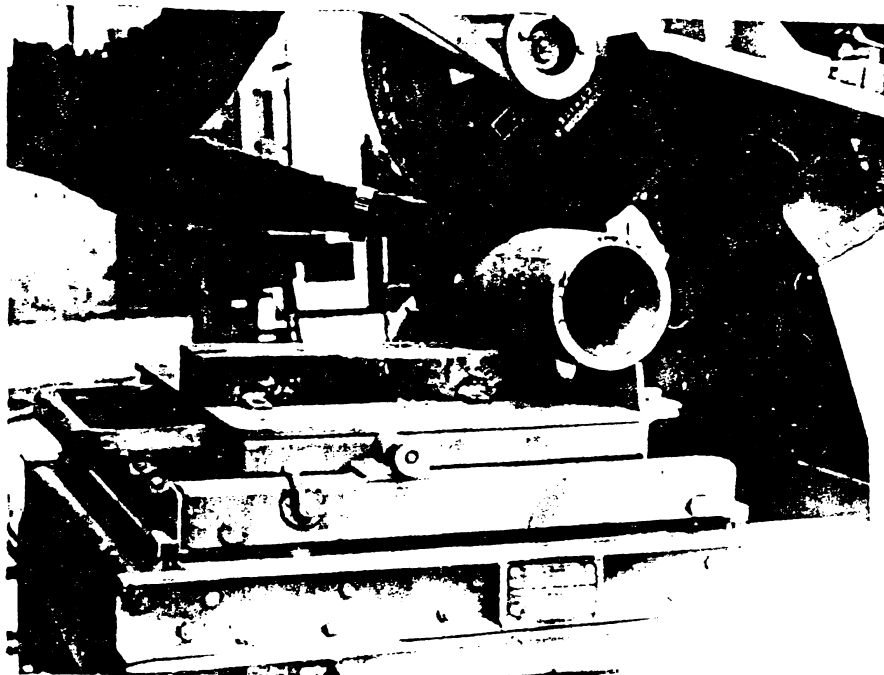


Fig.VI.8. Tăierea cu disc abraziv a unui tub din BAFS.

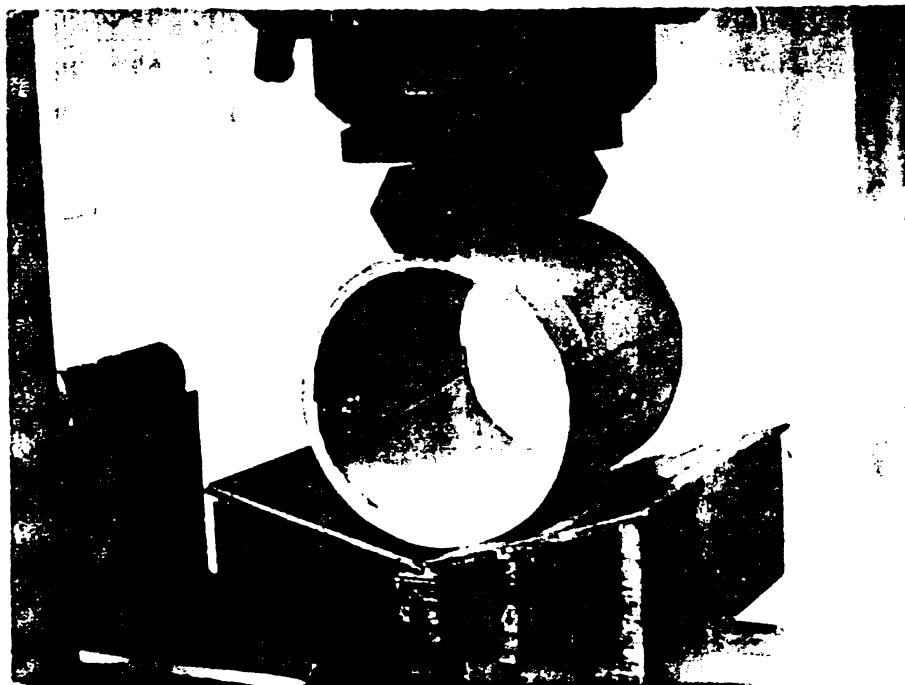


Fig.VI.9. Aspect de la încercarea tubului la strivire longitudinală.

cu disc abraziv, fig.VI.8. Încercările au fost efectuate cu dispozitivul de încercare din fig. VI.9.

Rezistența la rupere prin strivire (R_s) s-a determinat cu relația (VI.2), [106] :

$$R_s = n \frac{P_r}{l} \cdot \frac{(3d + 5g)}{g^2}$$

(VI.2)

inde : n este 0,30 pentru diametri mai mari de 100 mm;
 P_r - forța de rupere, în N;
 d - diametrul interior, în mm;
 g - grosimea peretelui în secțiunea de rupere, în mm;
 l - lungimea efectivă a epruvetei, în mm.

Rezultatele determinărilor sînt cuprinse în tabelul VI.1. Analizînd ruperea, s-a observat că prima fisură longitudinală apare într-un plan orizontal perpendicular pe planul vertical al forțelor, apoi apar și alte fisuri longitudinale. Ruperea nu es-

te casantă, dimpotrivă, tuburile au suferit importante deformații; unele, la descărcare, au înregistrat chiar oarecari reveniri.

VI.1.2.4. Interpretarea rezultatelor experimentale. Rezultatele obținute dovedesc că, practic, s-au realizat presiunile prescrise corespunzătoare tuburilor de azbociment din clasa de 6 atm, conform STAS 7345/1-75 [106]. Se cunoaște că, în prezent, în industria azbocimentului se fabrică tuburi din clasele de 6 atm și 20 atm. Așadar, tuburile de azbociment din clasa de 6 atm pot fi înlocuite cu tuburi din beton armat cu fibre de sticlă.

Analizând rezultatele obținute, se constată o bună concordanță între presiunile utilă P_u , nominală P_n și de spargere P_g ; astfel, presiunea nominală în nici un caz nu coboară sub limita de $0,30 \text{ N/mm}^2$, iar raportul între presiunea de spargere și presiunile utilă și nominală se încadrează în limitele admise, fiind mai mare de 1,75 și respectiv de 3,5 [106].

VI.1.3. Elemente de calcul. Tuburile reprezintă elemente de construcții care, prin specificul destinației lor, sînt de regulă pozate în teren și deci nu pot fi considerate ca fiind sprijinite continuu, pe toată lungimea lor. În aceste condiții, în tuburi nu se dezvoltă eforturi de încovoiere longitudinală. În cazul însă a rezemării pe capete, tuburile devin autoportante și se comportă ca niște grinzi, fiind solicitate la încovoiere și forfecare.

Calculul static și de rezistență al tuburilor de presiune din BAFS constă din rezolvarea următoarelor probleme: evaluarea încărcărilor exterioare posibile maxime și a presiunii hidraulice interioare, care acționează asupra tubului; determinarea eforturilor de calcul și calculul de rezistență.

Principalele încărcări care acționează asupra tuburilor provin din: greutatea și presiunea pămîntului; încărcarea suplimentară provenită din circulația autovehiculelor sau de la materialul rulant de cale ferată; greutatea proprie a tubului; greutatea și presiunea interioară a apei din tub.

Calculul de rezistență al tuburilor se conduce conform metodologiei teoriei elasticității [24]. Se consideră tubul cilindric din fig.VI.10, supus unei presiuni uniforme pe fețele sale interioare și exterioare conform soluției date de Lamé în

lucrarea "Leçons sur la théorie de l'élasticité" [99]. Se notează cu a și b raza interioară și exterioară a tubului și prin p_i și p_o presiunile uniforme, interioară și exterioară. Cu ajutorul a două plane perpendiculare pe axa tubului se izolează un inel

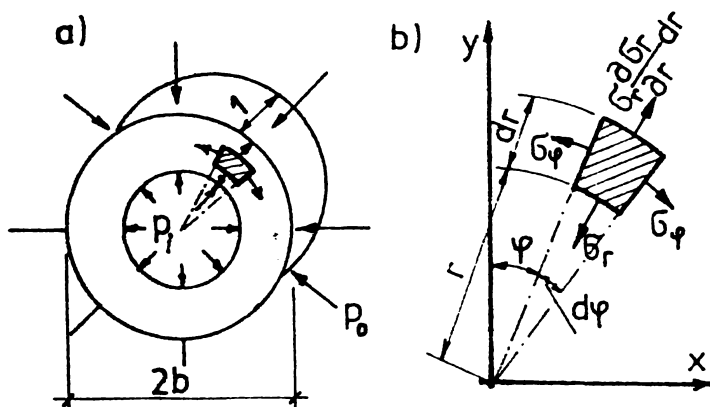


Fig.VI.10. Tub cilindric supus la presiunea exterioară p_o și la presiunea interioară p_i . a - vedere axonometrică; b - starea de tensiune a unui element.

de grosime egală cu unitatea în vederea studierii problemei plane. Studiul eforturilor se face pe un element din acest inel, limitat de două plane care trec prin axa tubului, făcînd un unghi $d\varphi$ între ele (fig.VI.10b).

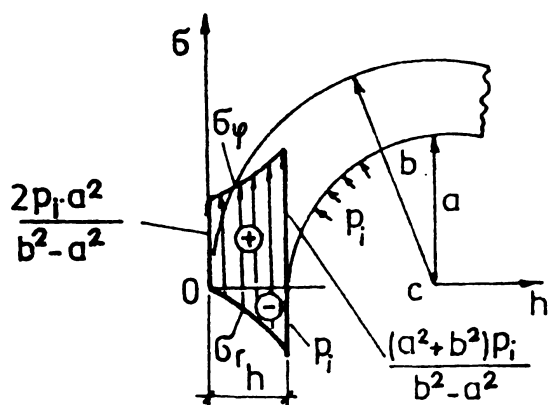


Fig.VI.11. Variația eforturilor unitare pe secțiunea peretelui tubului.

Se notează cu σ_r efortul unitar radial și cu σ_φ efortul unitar normal pe raza vectoroară. Datorită simetriei, efortul unitar σ_φ este invariabil, în timp ce σ_r variază cu creșterea razei.

În fig.VI.11 se prezintă diagramele de variație ale eforturilor unitare σ_r și σ_φ pe grosimea peretelui tubului.

După teoria de rupere a efortului unitar normal maxim, rezultă următoarea ecuație generală de rezistență pentru tubul cilindric supus numai la presiunea interioară :

$$\sigma_{\varphi_{\max}} = \frac{(a^2 + b^2) p_i}{b^2 - a^2} \leq \sigma_a \quad (\text{VI.3})$$

După teoria de rupere a efortului unitar tangențial maxim, rezultă că diferența cea mai mare dintre eforturile unitare principale are loc în punctele de pe suprafața interioară a tubului (fig.VI.11), iar ecuația generală de rezistență va fi de forma :

$$(\sigma_{\varphi} - \sigma_r)_{\max} = (\sigma_{\varphi \max} + p_i) = \frac{2 b^2 p_i}{b^2 - a^2} \leq \sigma_a \quad (\text{VI.4})$$

deci :

$$\sigma_{\varphi \min} = \frac{2b^2 p_i}{b^2 - a^2} \quad (\text{VI.5})$$

Pentru grosimi relativ mici, nu există diferențe sensibile între valorile maxime și minime ale lui σ_{φ} . Ca urmare se poate aproxima că în cazul tuburilor de diametrii mai mari, eforturile unitare de întindere σ_{φ} sînt uniform repartizate pe grosimea peretelui și se pot determina cu relația (VI.6) :

$$\sigma_{\varphi} = \frac{p r}{h} \quad (\text{VI.6})$$

Efortul unitar σ_r este întotdeauna un efort de compresie, iar σ_{φ} un efort de întindere în cazul tuburilor cilindrice fără presiune interioară.

Efortul unitar σ_r este nul în fibrele de pe suprafața exterioară, deci :

$$\sigma_{r \max} = - p_i \quad (\text{VI.7})$$

VI.2. Dale prefabricate din beton armat cu fibre

de sticlă

Dalele din beton armat cu fibre de sticlă sînt destinate căptușirii canalelor în sistemele de irigații din agricultură. Lucrările de irigații au luat o mare amploare în ultimul timp, ceea ce poate fi exemplificat și prin "Legea planului unic de dezvoltare economico-socială a României pe perioada 1976-1980", lege care prevede amenajarea pentru irigații a unei suprafețe de 1,25 mil. ha. Pentru ilustrarea dezvoltării irigațiilor, se redă în tabelul VI.2 dinamica suprafețelor irigate în R.S.R.

Practic, cele mai frecvente soluții de irigare se realî-

zează în canale amplasate deasupra nivelului apelor freactice, caracterizate prin pierderi de apă din canal în teren, motiv pentru care se impun condiții de impermeabilitate.

Regimul de funcționare al canalelor este condiționat de destinația lor : astfel, în marile sisteme de irigații canalele de aducțiune se dimensionează pentru debitul maxim, calculat în regim de funcționare de 24 ore pe zi, cu debit de cel puțin 1-2 m³/sec, în timp ce pentru canalele de distribuție cu debite mai mici, dimensionarea se face în regim de 20 ore pe zi.

VI.2.1. Realizarea dalelor. Față de soluția clasică de dale din beton armat, realizate la dimensiuni în plan de 50 x 50 cm și grosimi de 6 ... 10 cm, dalele din BAFS sînt alese la dimensiuni de 100 x 100 cm și grosimi de 1 ... 2 cm, cu nervuri la partea inferioară. În fig. VI.12 se prezintă cele două tipare metalice folosite la realizarea dalelor cu nervuri ortogonale și nervuri diagonale, alese ca soluții de realizare pentru două tipuri de dale [35].

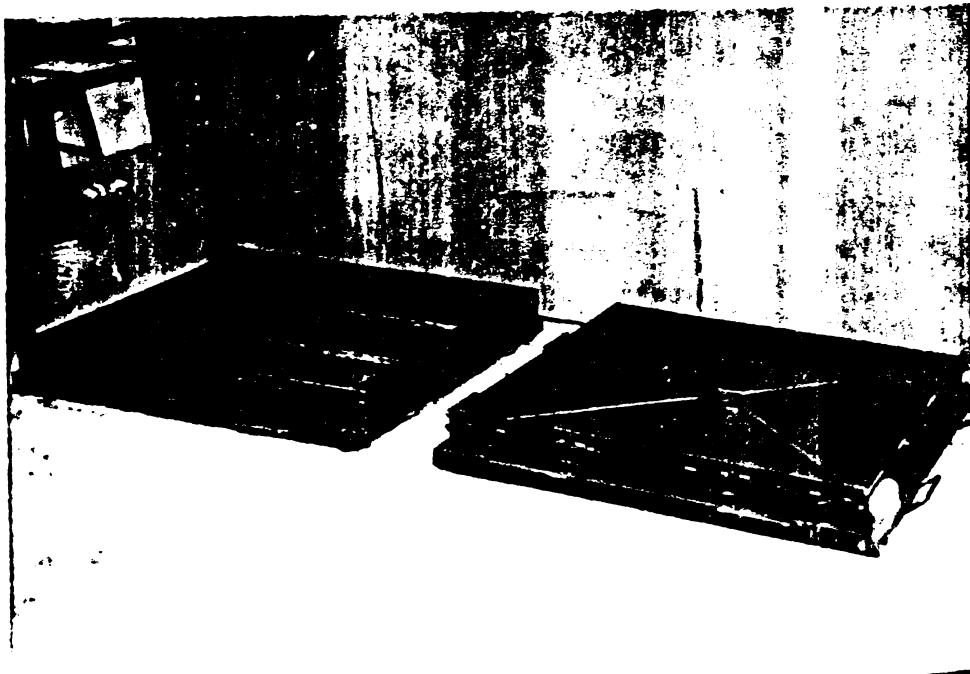


Fig.VI.12. Tiparele dalelor din BAFS.

Tiparele au fost astfel realizate, încît să satisfacă cerințele procesului de vacuumare și ca urmare au fost realizate etanș pentru a evita infiltrarea aerului fals în instalația de cavuum. Instalația de vacuum, descrisă la § III.6.3, a fost adaptată la cerințele vacuumării dalelor prin realizarea după același principiu a unei camere de vacuum de 1 x 1 m². În fig. VI.13 și VI.14 se dau detalii pentru camera de vacuum.

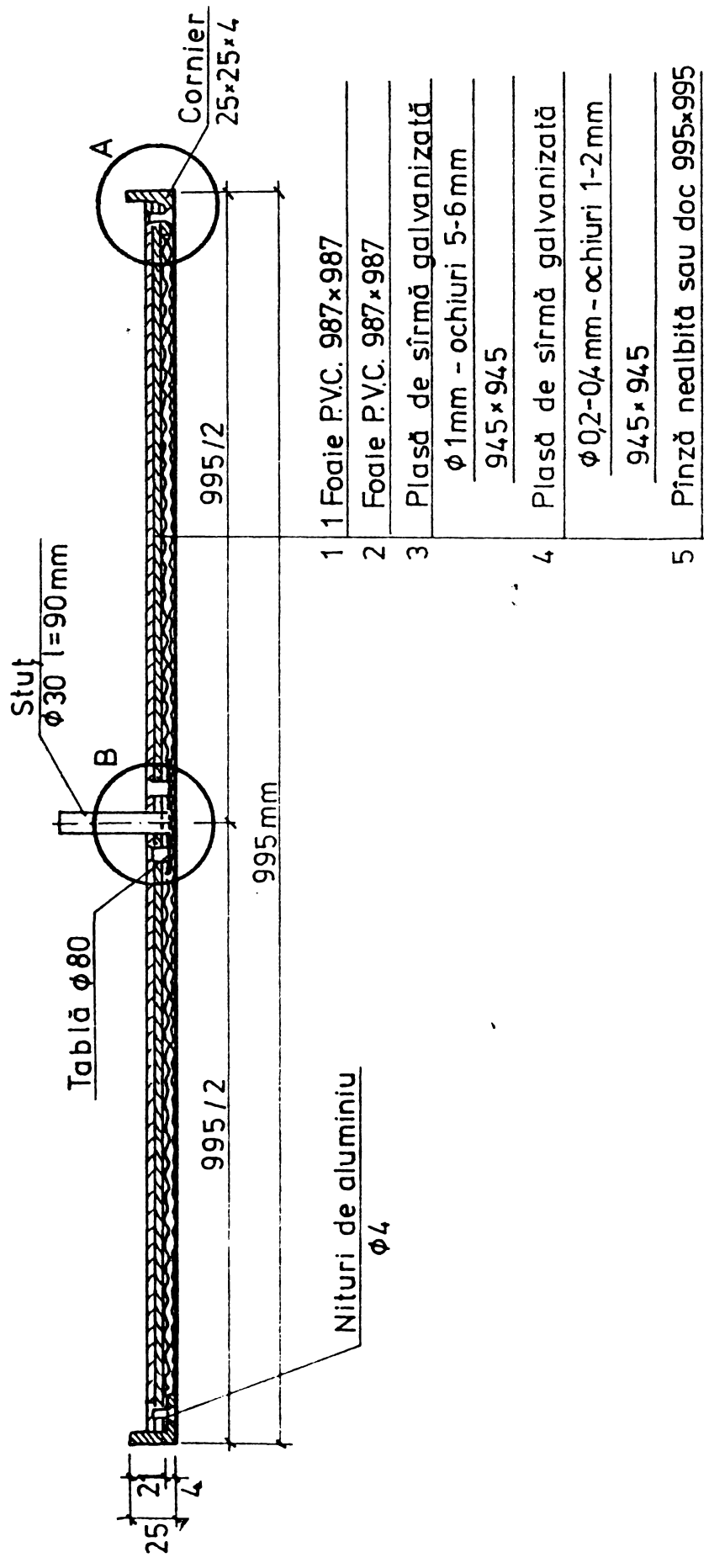


Fig. VI-13
Secțiune prin camera de vacuum.

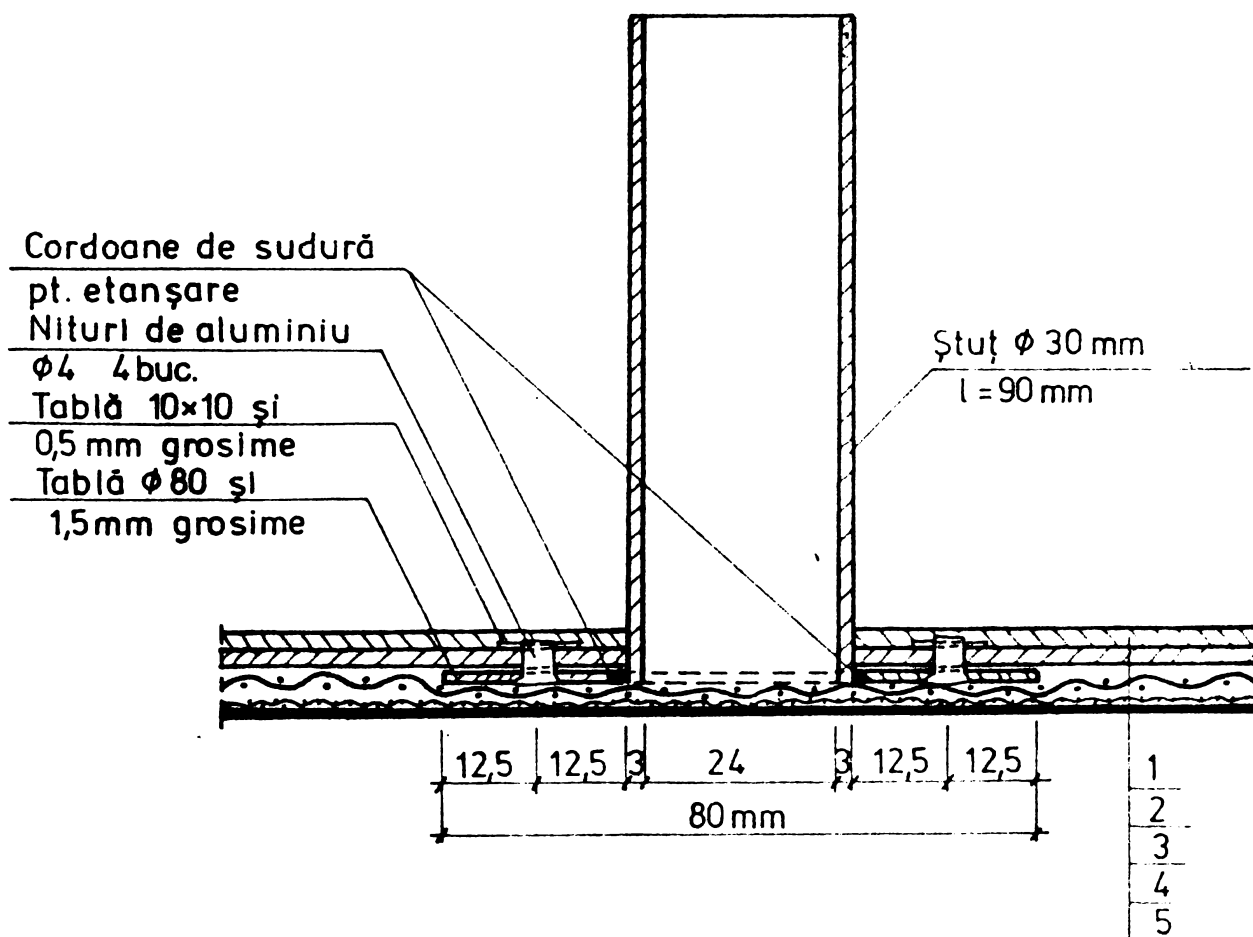
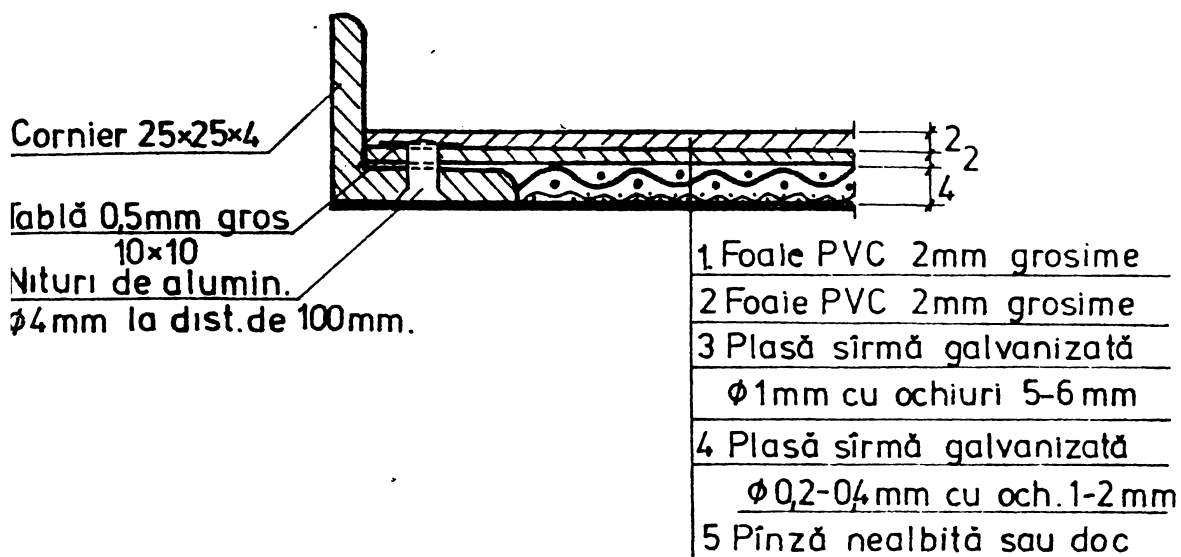


Fig. VI-14
Detalii cameră vacuum.

S-a utilizat ciment RIM 200, ale cărui caracteristici fizico-mecanice sînt date în tabelul VI.3, fiind determinate pe mortare plastice conform STAS 5156/74 [105]. Față de dalele clasice, consumul de ciment în cazul dalelor din BAFS s-a redus cu 10 ... 20 % pe m².

Agregatele folosite au fost din categoria nisipuri de râu cu granulația cuprinsă între 0...3 mm, utilizîndu-se 2,5 părți de agregate la o parte ciment în greutate.

Dalele au fost realizate folosind tehnologia de încorporare a fibrelor prin contact. S-au utilizat pentru armare fibre lungi de sticlă (rowing) în proporție de 2 % și 3 % din cantitatea de ciment în stare uscată, nervurile fiind armate, în cadrul limitelor sus menționate, cu fibre lungi (rowing).

Grosimea finală a plăcii dalei este de 1,5 - 2 cm, rezultată în urma vibro-vacuumării amestecului din tipare. În fig.VI.15 se prezintă cele două tipuri de dale cu nervuri ortogonale și diagonale, așezate cu fața în jos.



Fig.VI.15. Dale din BAFS cu nervuri ortogonale și diagonale.

Au fost realizate cîte 6 dale din fiecare tip de nervurare și procent de armare deci în total 24 bucăți armate cu fibre de sticlă, plus 6 dale martor, nearmate. Dalele au fost păstrate primele 7 zile în condiții de umiditate ridicată și apoi în condiții obișnuite de laborator pînă la încercare. Greutatea unei

dale este de $55 - 60 \text{ kg/m}^2$, adică de 2,5 ... 4 ori mai mică față de dalele clasice.

VI.2.2. Determinări experimentale. Determinările experimentale asupra dalelor din BAFS au fost efectuate la 28 de zile, urmărind comportarea lor sub acțiunea încărcărilor de scurtă durată precum și impermeabilitatea lor.

VI.2.2.1. Comportarea sub încărcări statice de scurtă durată. Încercările s-au efectuat pe un suport metalic (Fig.VI.16), acceptând ipostaza cea mai defavorabilă a rezemării dalei numai pe nervurile de contur, deși practic rezemarea pe teren se face prin toate nervurile sau pe toată suprafața dalei. Încercările

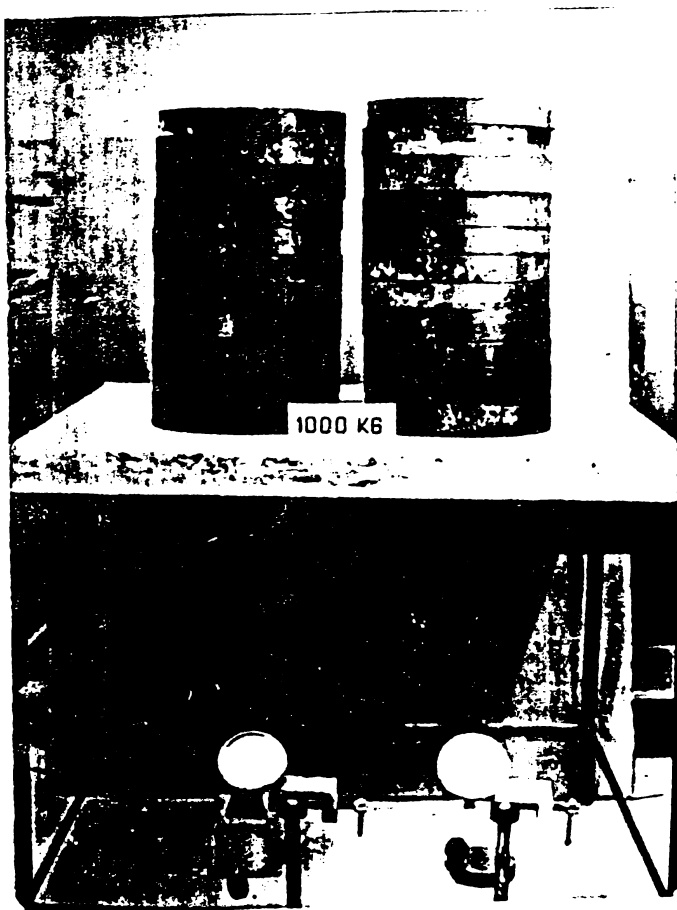


Fig.VI.16. Aspect de la încercarea unei dale din BAFS.

ceasuri comparatoare tip Maximov (M).

În tabelul VI.4 și fig.VI.17 și VI.18 se dau rezultatele experiențelor pentru ambele tipuri de dale cu nervuri.

Dalele au fost supuse încărcărilor și în condiții de rezemare totală elastică pe nisip, urmărind rezistența lor la co-

au permis determinarea încărcării de rupere și a săgeților în diverse puncte ale dalei.

Încercările au fost aplicate prin intermediul discurilor metalice de 20 - 25 kg, deasupra celor patru puncte de intersecție ale nervurilor dispuse ortogonal, respectându-se aceste zone de încărcare și în cazul dalelor cu nervuri diagonale. Treptele de încărcare au fost de 80 - 100 kg. După fiecare treaptă de încărcare, s-a lăsat dala sub sarcină timp de circa 5 minute și apoi au fost făcute citirile asupra mărimii săgeților, folosind

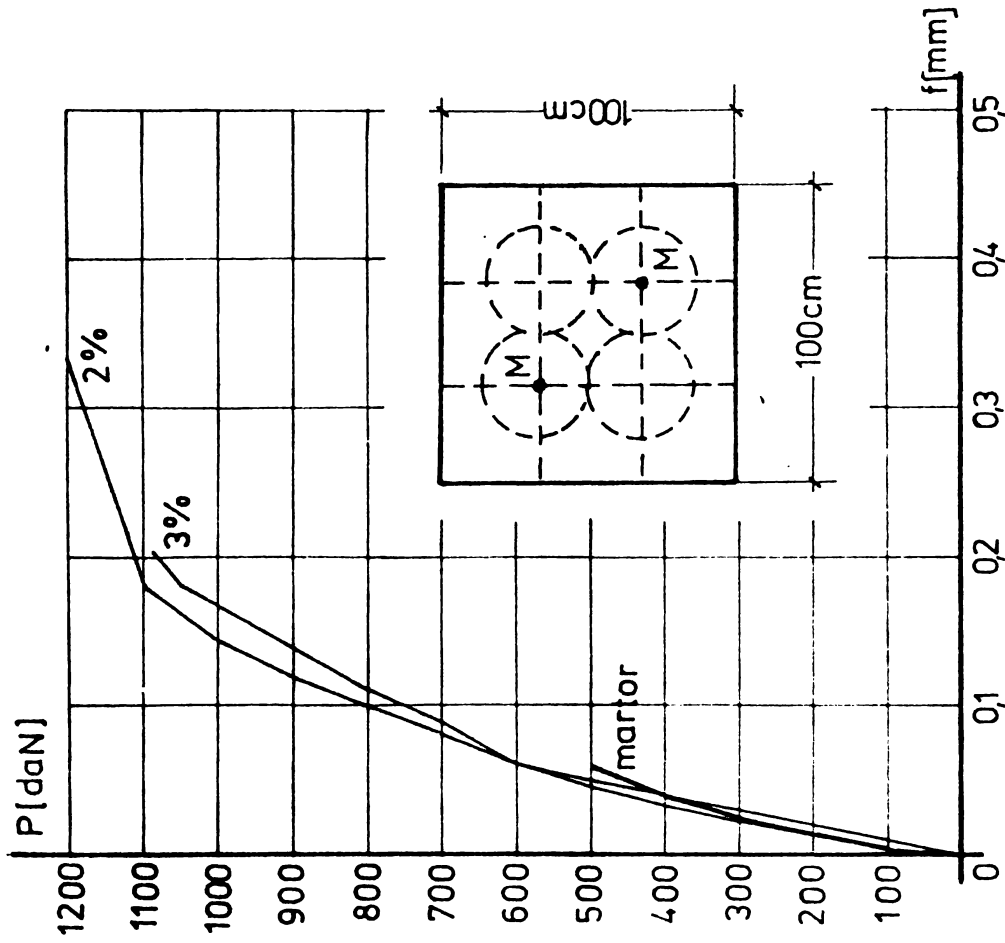


Fig. VI-17

Dependența dintre încărcări și săgeți la dale nervurate ortogonale.

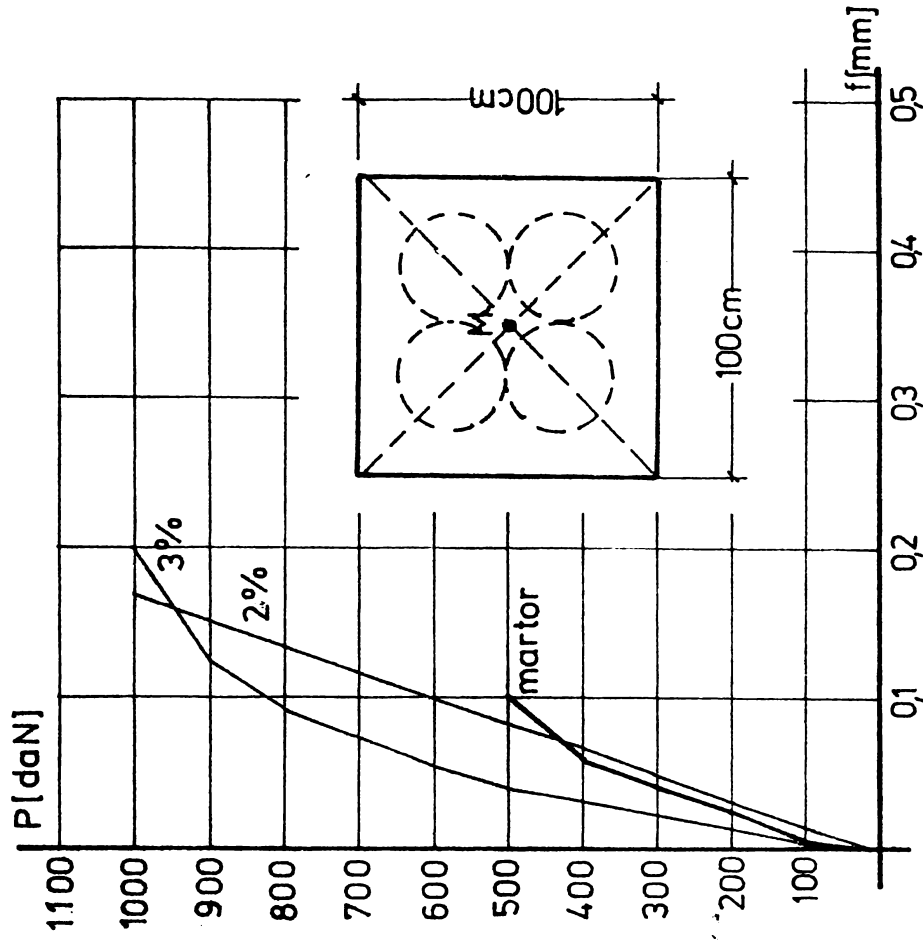


Fig. VI-18

Dependența dintre încărcări și săgeți la dale nervurate diagonale.

loană de apă aplicată deasupra. Coloana de apă de 2 m nu a determinat fisurarea dalelor; ele s-au comportat foarte bine la această încărcare uniform distribuită.

VI.2.2.2. Determinarea impermeabilității. Impermeabilitatea a fost urmărită, folosind un procedeu similar celui pentru țiglele de acoperiș, STAS 515/71 [104]. Practic, dalele au fost așezate cu nervurile în sus și spațiile dintre ele au fost umplute cu apă. După o oră și apoi din sfert în sfert de oră s-au făcut observații pe partea inferioară a dalei, dacă se formează sau nu picături de apă, fig.VI.19. După 5 ore de încercare nu

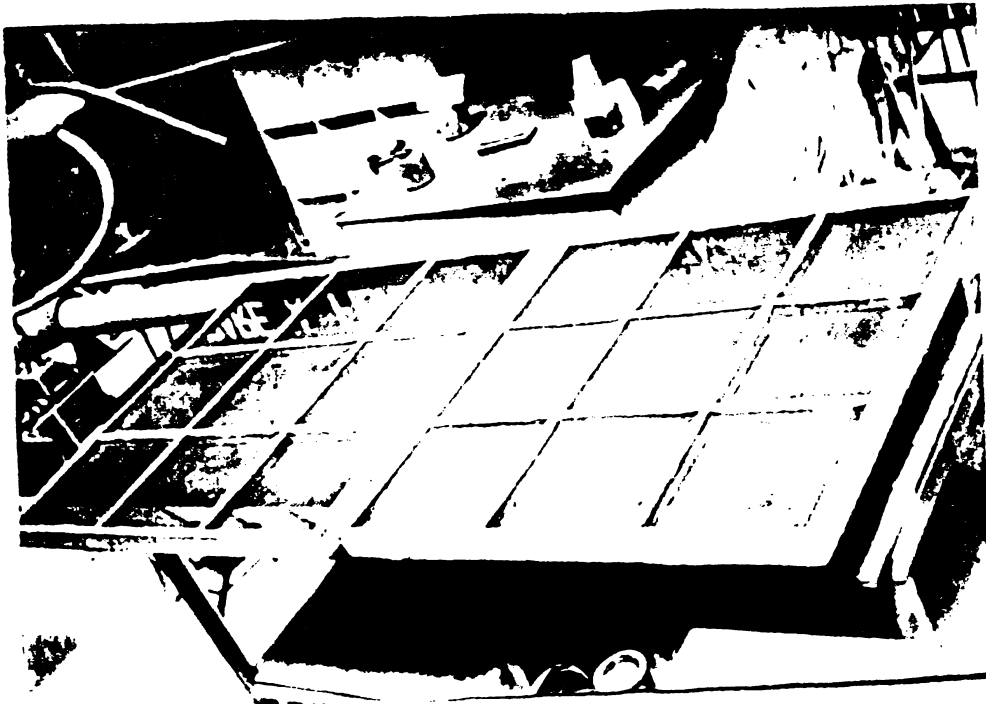


Fig.VI.19. Aspect de la urmărirea impermeabilității la dale.

s-au observat picături de apă la cele 3 dale luate în studiu. Conform STAS 515/71, la țiglele de acoperiș prima picătură de apă nu trebuie să apară mai devreme de 3 ore.

VI.2.2.3. Interpretarea rezultatelor experimentale. Din analiza diagramelor din fig.VI.17 și VI.18 rezultă că dalele cu nervuri ortogonale, cum și cele cu nervuri diagonale au practic aceeași rigiditate pentru o armare cu 2 - 3 % fibre de sticlă din greutatea liantului. Un nesemnificativ spor al rigidității se remarcă totuși la dalele cu nervuri ortogonale. Dalele cu un conținut de 2 % fibre de sticlă au dovedit o mai rațională com-

portare sub încărcări, de aceea unele sporuri obținute la dalele cu un conținut de 3 % fibre de sticlă nu justifică suficient utilizarea în practică a acestui procent de armare.

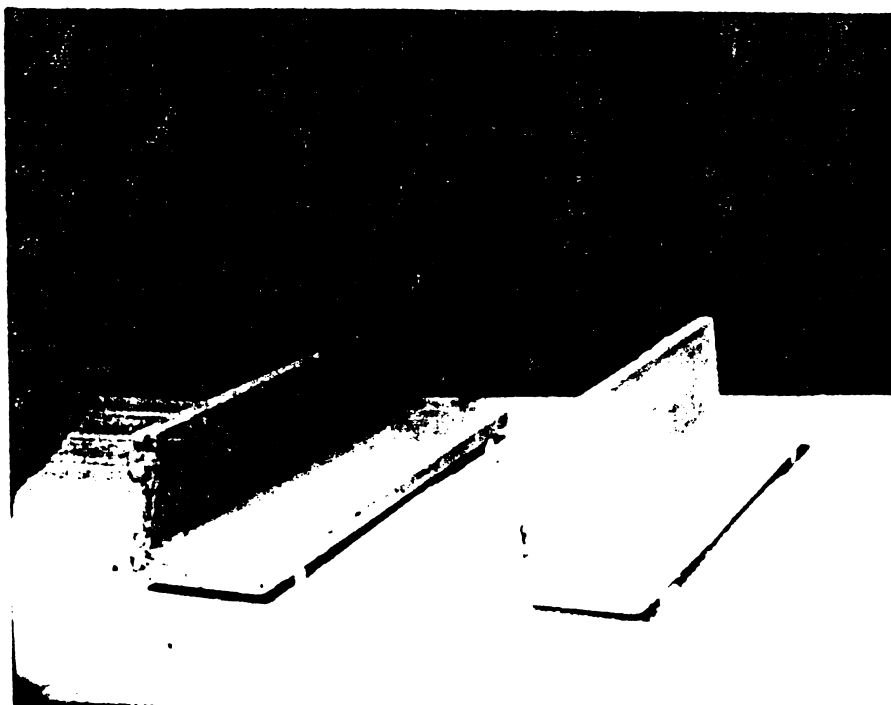
Dalele au dovedit, sub acțiunea încărcării, o comportare elastică pînă aproape de rupere, limita de microfisurare fiind aproape de limita de rupere, încărcarea de rupere a dalelor cu nervuri diagonale a fost cu 10 - 20 % mai mare față de dalele cu nervuri ortogonale. De asemenea, încărcarea de rupere a crescut, față de dalele martor, cu 70 - 75 % pentru un conținut de 2 % fibre de sticlă și cu 90 - 100 % pentru 3 % fibre de sticlă.

Încercările dalelor rezemate elastic pe pat de nisip au reliefat capacitatea lor portantă ridicată, ele menținîndu-se în domeniul elastic la 2 m coloană de apă, ceea ce satisface necesitățile impuse canalelor pentru irigații.

Avînd în vedere și impermeabilitatea ridicată a dalelor, precum și rezultatele celorlalte încercări, se recomandă fabricarea în fază industrială a dalelor cu nervuri diagonale armate cu 2 % fibre de sticlă din greutatea liantului în stare uscată.

VI.3. Fermă din profile de beton armat cu fibre de sticlă.

Realizarea profilelor din BAFS, similare profilelor meta-



lice, au permis abordarea problemei acoperișurilor ușoare realizate din ferme din beton armat cu fibre de sticlă și plăci ondulate de acoperiș din același material, similare plăcilor ondulate din azbociment. În fig.VI.20 și VI.21 se prezintă profilele și plăcile on-

Fig.VI.20. Profile cornier din BAFS. Profilele realizate au permis investigarea u-



Fig.VI.21. Plăci ondulate din BAFS. la clădiri de locuit; pereți monostat; învelitori la acoperișuri și jghiaburi pentru sistemele de irigații din agricultură.

VI.3.1. Realizarea fermei. S-au realizat două ferme de

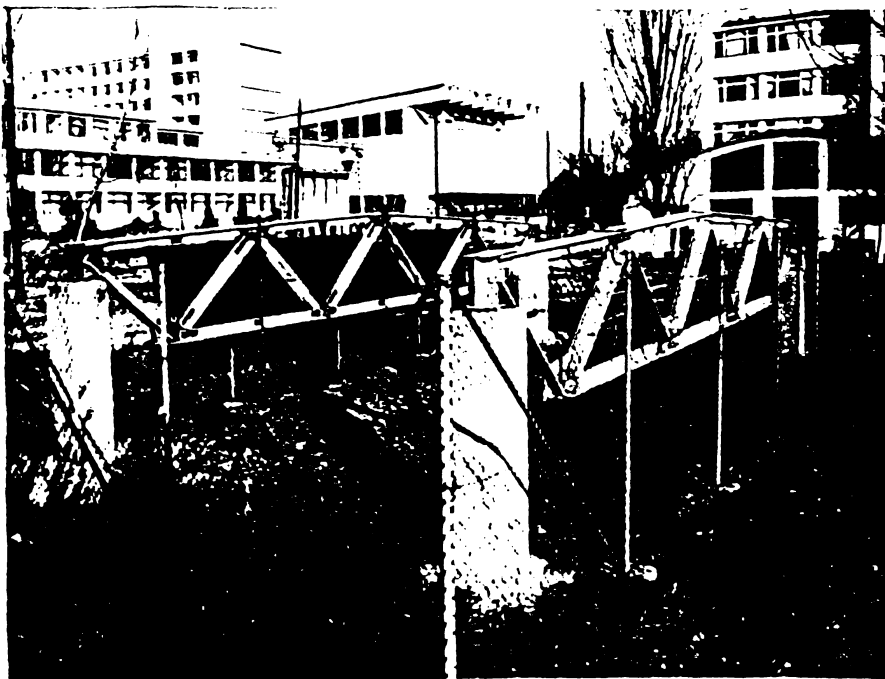


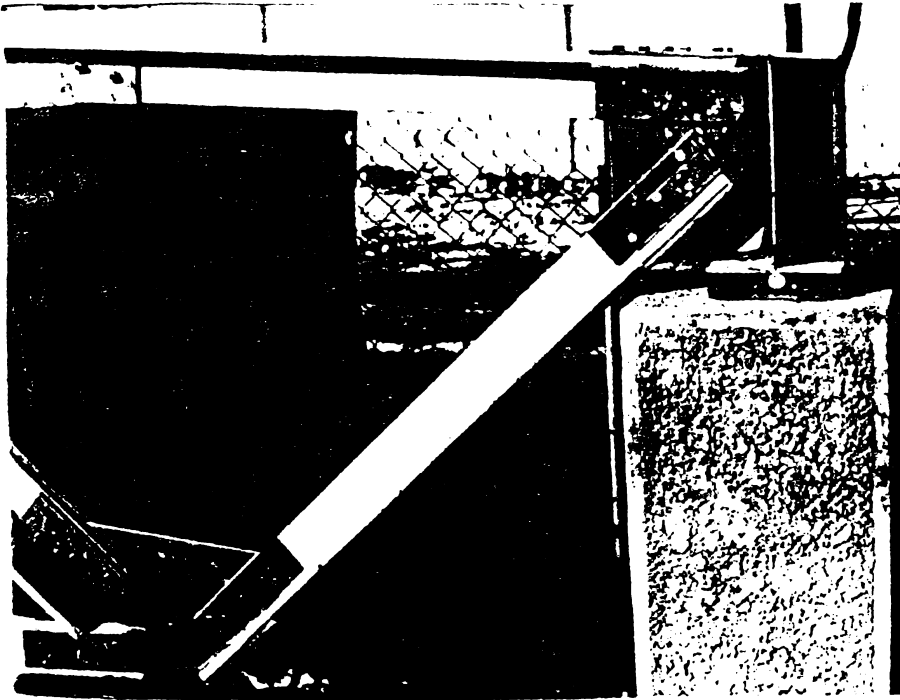
Fig.VI.22. Ferme de 9 m deschidere din profile de BAFS.

losit ciment Pz 400 în proporții de 2:1 în greutate față de agregatele utilizate cu granulozitatea de 0... 3 mm. Pentru fa-

nor idei noi privind aplicarea acestui material la : cofraje pierdute pentru elemente de rezistență; armarea diferențiată a unor elemente de rezistență; realizarea șarpantelor

cîte 9 m deschidere, cu secțiunea transversală a tălpilor și diagonalelor formată din cîte 2 corniere de 100 x 100 x 15 mm, fig.VI.22. Cornierele au fost armate cu țesătură din fibre de sticlă, utilizînd pentru încorporarea lor în beton tehnologia prin contact. S-a fo-

bricarea cornierelor s-a utilizat un tipar metalic special realizat, rabatabil în jurul unei axe, astfel încât prin rabatare



să se poată forma profilul cornier după ce în prealabil a fost vibro-vacuumat. Decofrarea s-a făcut după 48 ore, iar apoi profilele au fost ținute timp de 7 zile în mediu cu umiditate ridicată.

Tăierea cornierelor la lungimile din proiect

Fig.VI.23. Realizarea nodurilor fermei. s-a făcut cu disc abraziv - ca în cazul tuburilor - iar găurirea lor cu burghiu cu vîrf videă.

Imbibarea cornierelor în noduri s-a realizat cu gusee și buloane metalice, fig.VI.23. În viitor se va studia utilizarea guseelor din BAFS și eventual din PAS (poliesteri armați cu fibre de sticlă).

VI.3.2. Determinări experimentale. Pentru încercare, ferma a fost montată pe 2 stîlpi din zidărie de cărămidă, avînd talpa inferioară la circa 1 m deasupra terenului.

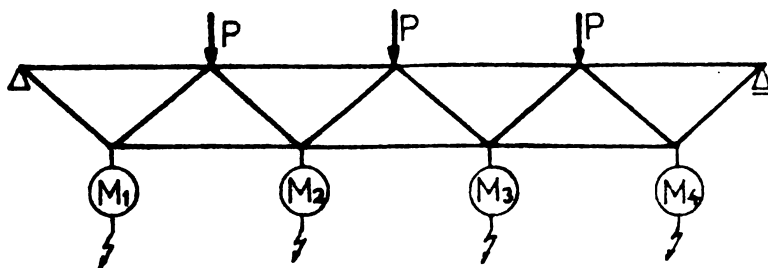


Fig.VI.24. Schema de încărcare și de măsurare a săgeților fermei.

Ferma a fost încărcată în nodurile superioare, fiind dispuse sub talpa inferioară 4 ceașuri comparatoare de tip Maximov pentru măsurarea săgeților fermei în cele 4 noduri inferioare, fig.VI.24.

Încercarea fermei s-a făcut la încărcări statice de scurtă durată, încărcarea realizându-se în trepte, prin aplicarea concomitentă a unor discuri metalice etalonate pe cele 3 plat-



Fig.VI.25. Aspect de la încercarea unei ferme.

forme suspendate de talpa superioară și amplasate sub talpa inferioară a fermei, fig.VI.25. Treptele de încă care au fost de câte 20 kg pe nod pînă la sarcina de 230 kg pe nod, apoi de 25 kg pe nod. La fiecare treaptă de încărcare s-au citit deplasările tăl-

pii inferioare, încărcarea menținându-se constantă în acest scop circa 5 minute la fiecare preaptă. Ferma a fost încărcată pînă la 505 kg pe nod, fără să se încarce pînă la rupere. În fig.VI.26 și VI.27 sînt prezentate rezultatele încercărilor, adică săgețile în dreptul celor 4 ceasuri comparatoare și variația lor funcție de încărcare.

VI.3.3. Interpretarea rezultatelor experimentale. Analizînd diagramele cuprinse în fig. VI.26 și VI.27, se desprinde concluzia că pe întreaga durată a încărcării, ferma, în ansamblu, s-a aflat practic în domeniul elastic. De asemenea s-a constatat o bună comporrare a nodurilor.

Încercarea a demonstrat posibilitatea abordării acoperișurilor ușoare din ferme de beton armat cu fibre de sticlă. Se recomandă folosirea acestei soluții de fermă la construcțiile agricole, depozite, magazii. Invelitoarea se va realiza astfel încît transmiterea încărcărilor la ferme să se realizeze numai prin forțe concentrate aplicate în nodurile tălpii superioare.

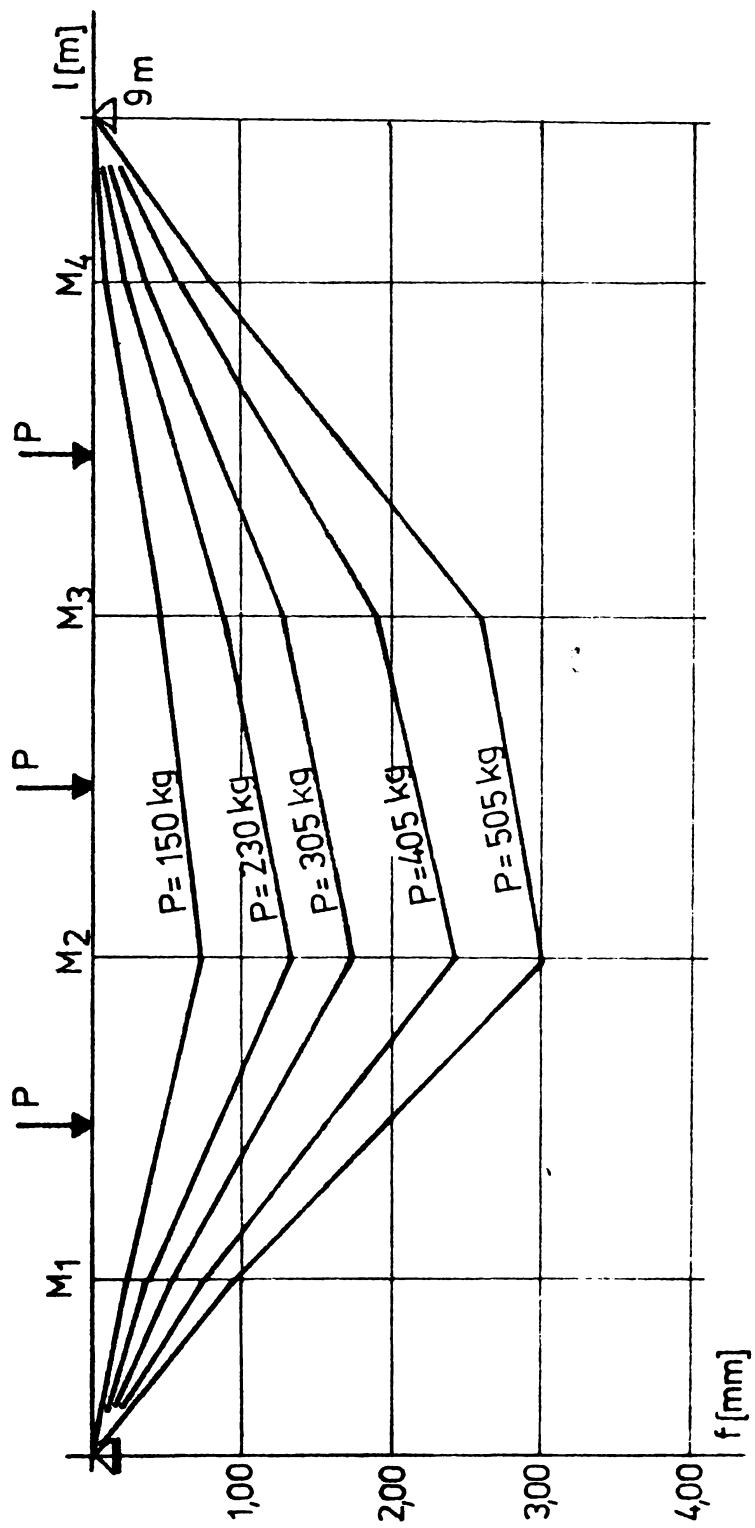


Fig. VI-26
Sagețile fermei sub încărcări.

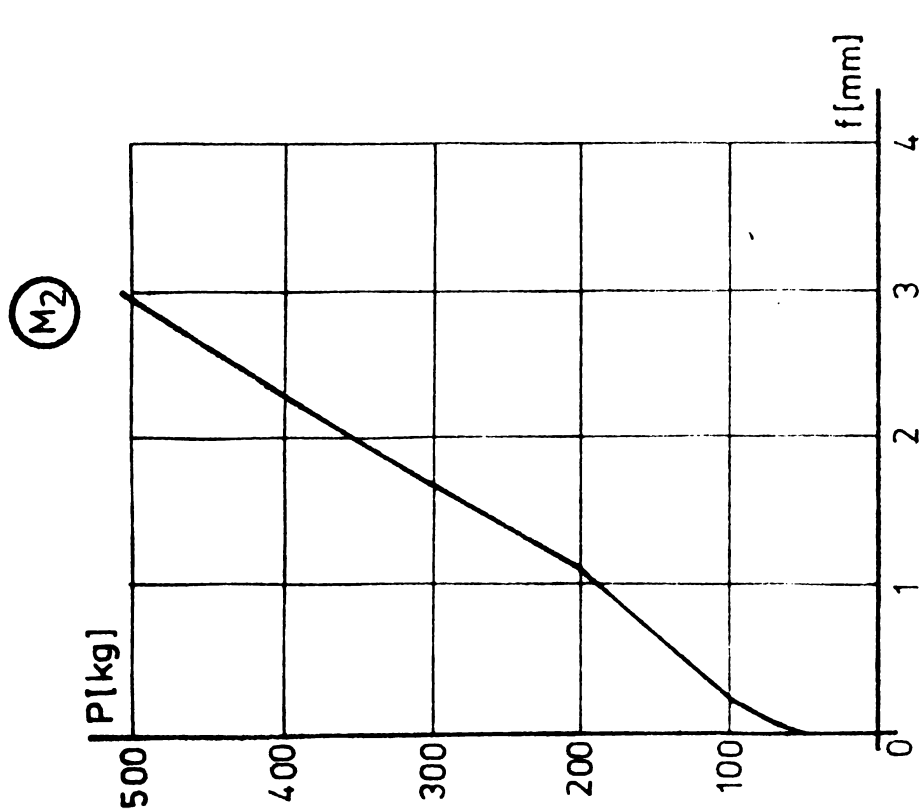
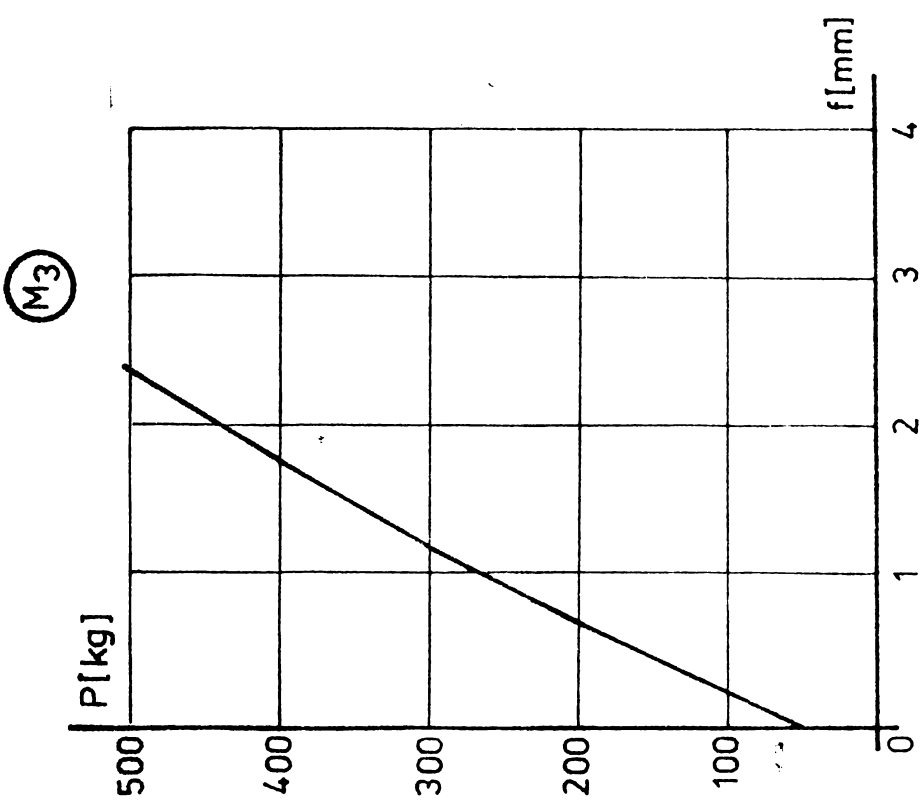
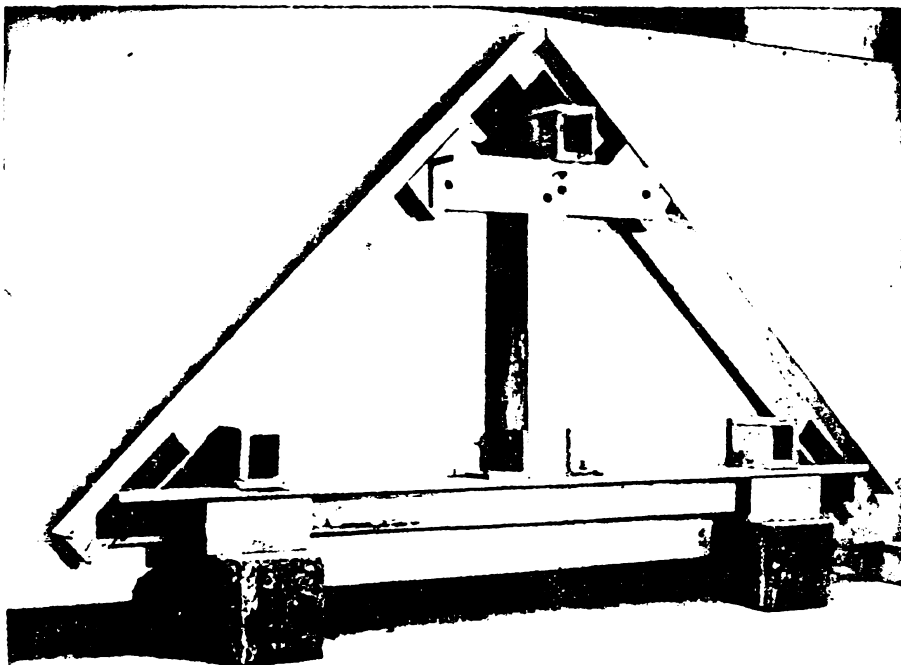


Fig. VI-27
Dependența dintre încărcări și săgeți la fermă.

VI.4. Sarpantă din profile de beton armat cu fibre de sticlă

Sarpantele pentru acoperișuri la clădiri pot fi realizate, în afară de soluțiile clasice cunoscute (din lemn, beton armat, oțel etc),



și din profile de beton armat cu fibre de sticlă. Soluția are avantajul că se obțin șarpante ușoare, rezistente la foc, economisindu-se totodată față de soluțiile clasice lemnul și oțelul.

Realizarea profilelor se face, principial, identic ca în ca-

Fig.VI.28. Sarpantă de acoperiș din profile de BAFS,

zrul fermelor (vezi subcap.VI.3). În cazul șarpantelor, se recomandă utilizarea profilelor cornier cu brațe inegale, ținând cont de distanțele uneori destul de mari între noduri.

Imbinarea profilelor în noduri se face tot prin gusee și buloane metalice. În fig.VI.28 se prezintă o șarpantă la scară redusă din profile cornier de beton armat cu fibre de sticlă.

VI.5. Panouri termoizolante

În baza contractului nr.75/24.VI.1977, ICPMC - București a realizat, după o concepție proprie, și a pus la dispoziția cercetătorului (Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara) 4 panouri termoizolante realizate din profile închise de ciment armat cu fibre de sticlă și polistiren expandat în interior, fig. VI. 29.

VI.5.1. Încercarea la încovoiere a panourilor. Două din cele 4 panouri au fost încercate la încărcări statice de scurtă durată, conform schemei de încărcare din fig.VI.30. S-a urmărit

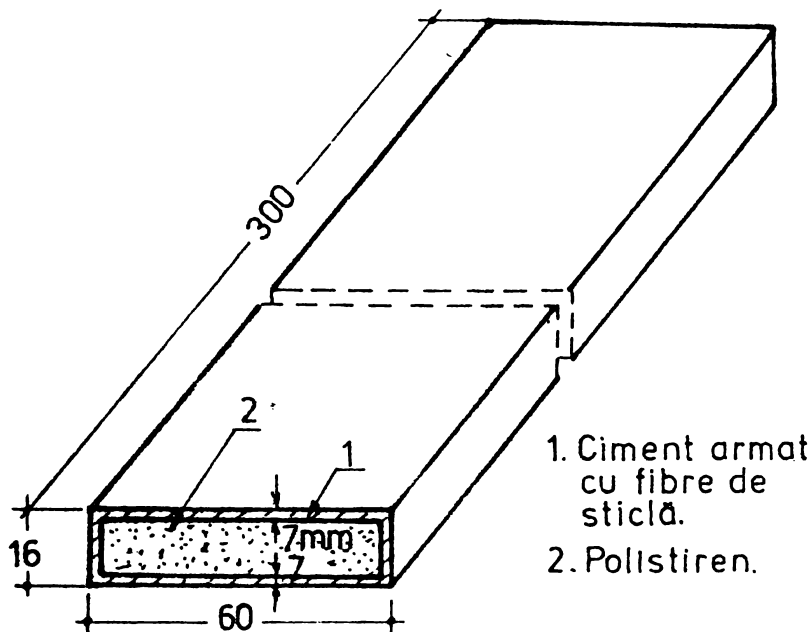


Fig.VI.29. Panou termoizolant.

de asemenea, cunoașterea comportării elementului în cât mai multe puncte de pe toată durata încercării. În acest scop, au fost dispuse 27 timbre tensometrice după schema din fig.VI.31 și 3 ceasuri comparatoare tip Maximov (M) pentru măsura-

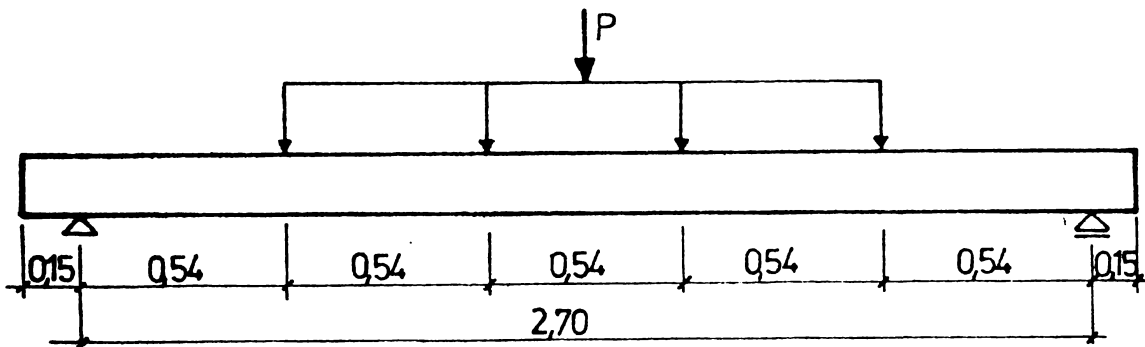


Fig.VI.30. Schema de încărcare la încovoiere a panourilor.

rea săgeților la jumătatea și la sferturile deschiderii.

Rezultatele măsurărilor cu timbre tensometrice sînt redate, pentru unul din panourile încercate, în diagramele din fig. VI.32. În fig. VI.33 este prezentată variația săgeții la mijlocul elementului, în funcție de încărcare.

Ruperea elementelor s-a produs la o încărcare de 600 daN/m². Deformațiile limită la rupere au rezultat foarte mici, atîngînd valori de 3 - 5 mm/m.

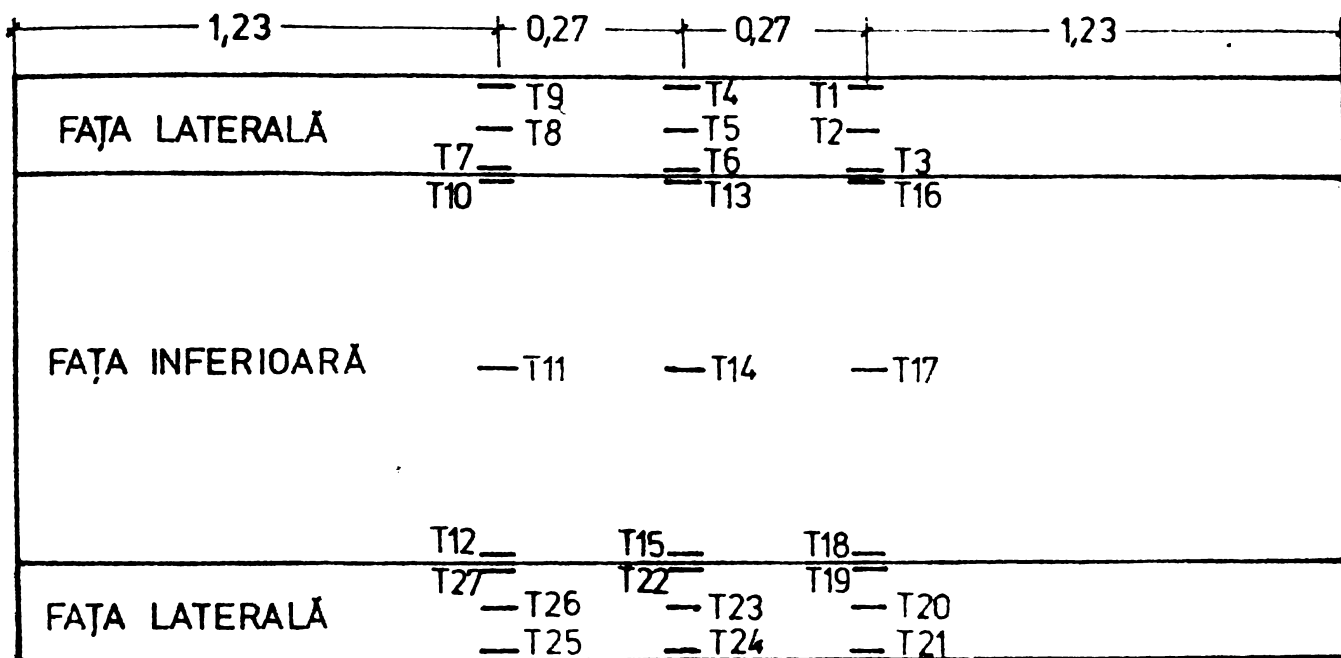


Fig.VI.31. Poziția timbrelor tensometrice.

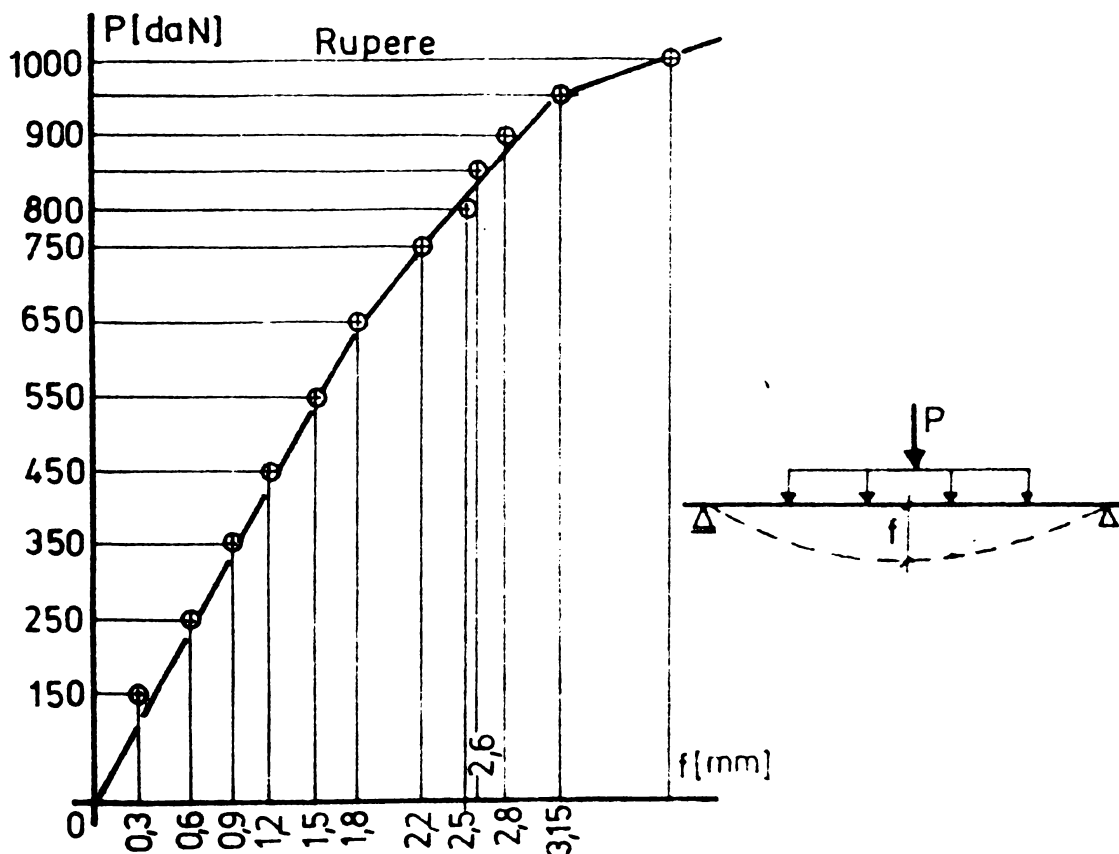


Fig.VI.33. Variația săgeții panoului.

INSTITUTUL DE RESEARCH
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

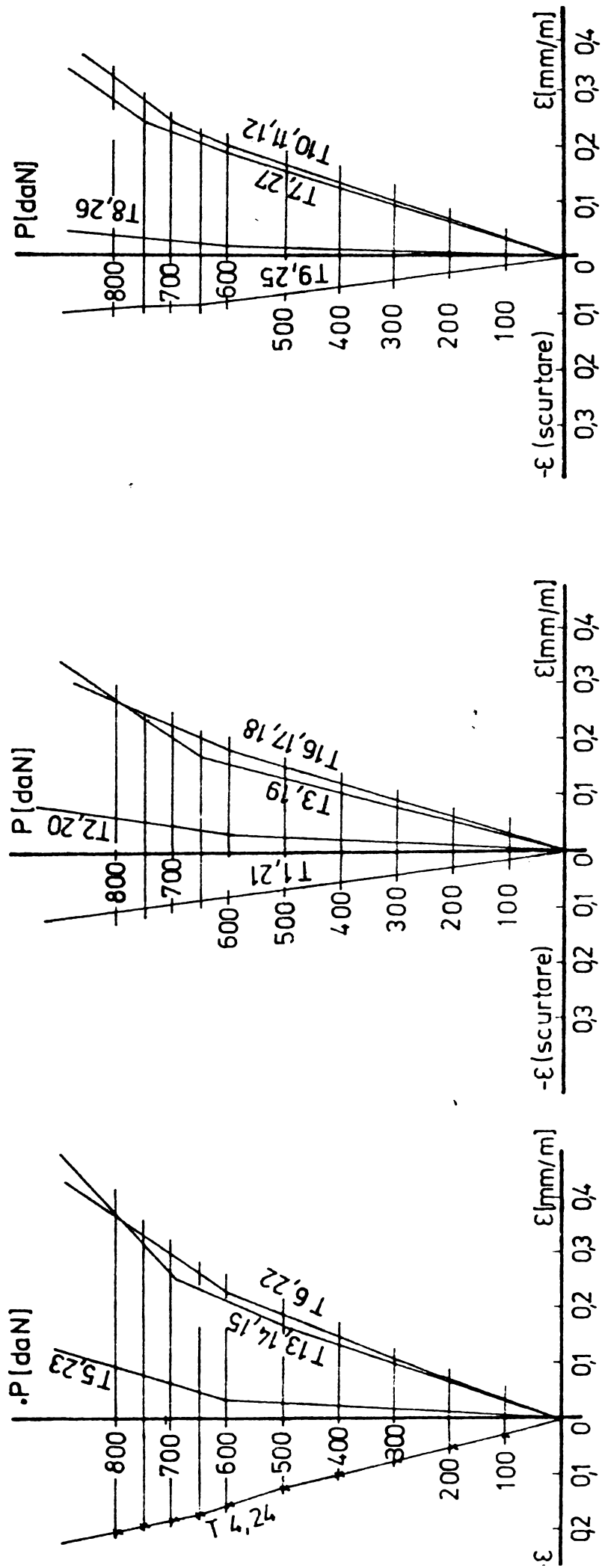


Fig. VI-32

Variația deformațiilor specifice în funcție de încărcări pe înălțimea secțiunii transversale a panoului termoizolant.

VI.5.2. Incercarea la încărcări de lungă durată. Incercarea se realizează și în prezent pe un panou armat cu fibre de sticlă CEM-FIL, după schema de încărcare din fig.VI.34.

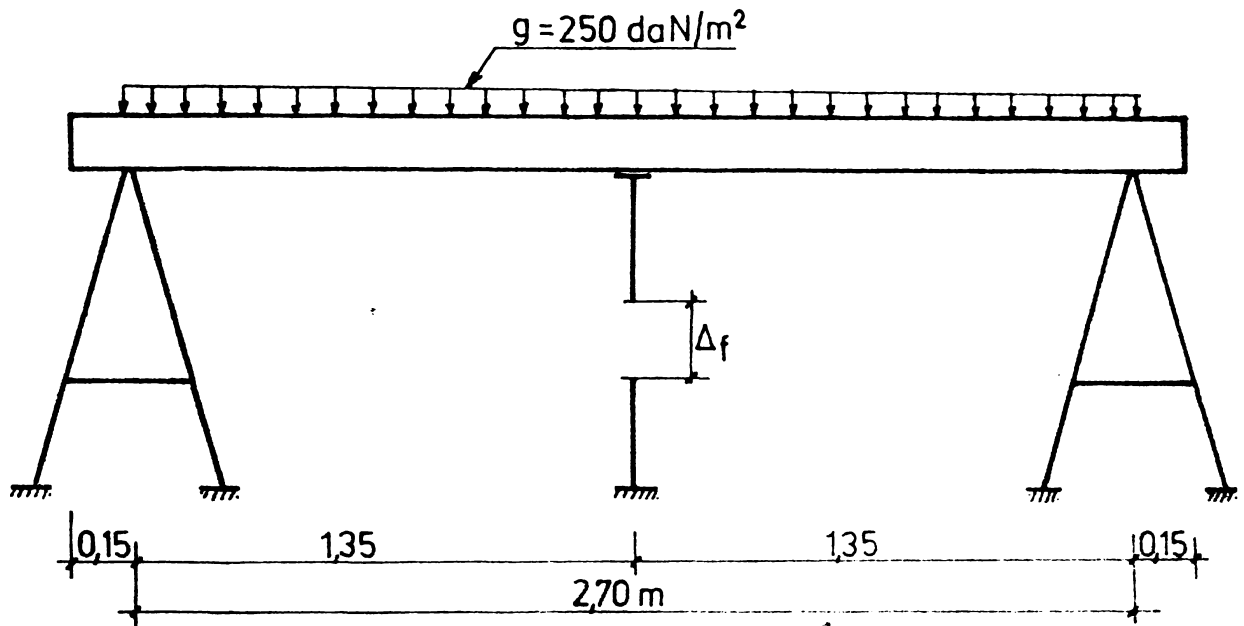


Fig.VI.34. Schema de încărcare a panoului la sarcină de lungă durată.

Panoul este încărcat din 27.X.1977, măsurându-se periodic săgeata f . În fig.VI.35 este prezentată variația în timp a săgeții pînă în ianuarie 1980.

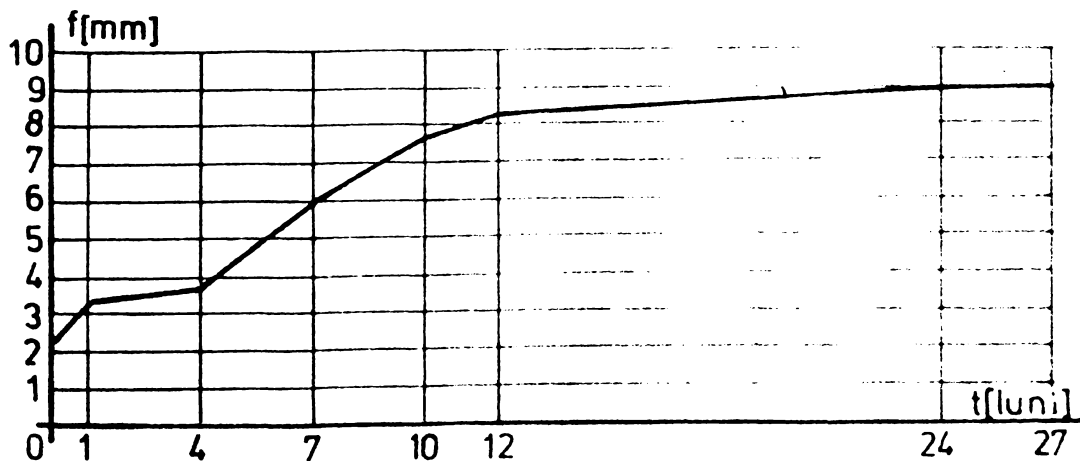


Fig.VI.35. Variația săgeții panoului în timp.

VI.5.3. Interpretarea rezultatelor experimentale. Din analiza modului de comportare sub încărcări de scurtă durată, a relației dintre săgeată și încărcare, rezultă că limita de microfisurare este destul de ridicată, 65 - 75 % din încărcarea de rupere, limită pînă la care panourile se comportă practic elastic. O astfel de comportare se observă și din analiza diagrameilor din fig.VI.32.

Sub acțiunea încărcărilor de lungă durată se observă amortizarea deformațiilor practic după vîrsta de 1 an.

VI.5.4. Elemente de calcul. Calculul panourilor termoizolante se propune a se efectua după teoria corpului elastic, ținînd cont de faptul că limita de microfisurare este destul de ridicată. Elementul de rezistență se va considera profilul închis din ciment armat cu fibre de sticlă, fără să se țină cont de aportul polistirenului expandat.

Se impune acceptarea ipotezelor simplificatoare ale secțiunilor plane ale lui Bernoulli și valabilitatea legii lui Hooke pînă la limita de microfisurare.

Calculul la încovoire, din punct de vedere al rezistenței, se recomandă a se face cu relațiile (VI.8) și (VI.9).

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_{ti}/c = \sigma_{ad} \quad (VI.8)$$

și

$$\tau = \frac{T S}{b I} \leq R_f/c = \sigma_{ad} \quad (VI.9)$$

unde : M este momentul încovoiitor de calcul ;

T - forța tăietoare de calcul ;

W - modulul de rezistență al secțiunii ;

S - momentul static al secțiunii care luăm în raport cu axa neutră ;

R_{ti} - rezistența de calcul la încovoire ;

R_f - rezistența de calcul la forfecare ;

c - coeficient de siguranță.

Pentru exemplificare, se considera secțiunea transversală din fig.VI.29, unde înălțimea secțiunii transversale $h = 16$ cm, grosimea pereților $t = 0,7$ cm și lățimea interioară a secțiunii $b = 58,6$ cm.

Caracteristicile geometrice ale secțiunii transversale vor fi :

$$I = \frac{1}{12} th^3 + \frac{bt(h-t)^2}{2} = 5040 \text{ cm}^4 \quad (\text{VI.10})$$

$$W = \frac{1}{6} th^2 + \frac{bt(h-t)^2}{h} = 630 \text{ cm}^3 \quad (\text{VI.11})$$

$$S = \frac{1}{8} th^2 + \frac{bt(h-t)}{2} = 336 \text{ cm}^3 \quad (\text{VI.12})$$

Se consideră încărcarea din greutatea proprie de 100 daN/m², utilă de 150 daN/m²; încărcarea totală rezultă :

$$q = 250 \cdot 0,60 = 150 \text{ daN/m}, \quad (\text{VI.13})$$

iar eforturile :

$$M = 136,7 \text{ daNm}; \quad T = 202,5 \text{ daN}. \quad (\text{VI.14}, \text{VI.15})$$

Eforturile unitare determinate cu relațiile (VI.8) și (VI.9) au valorile :

$$\sigma = \frac{13670}{630} = 21,7 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{VI.16})$$

$$\tau = \frac{202,5 \cdot 336}{60 \cdot 5040} = 0,23 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{VI.17})$$

Așa cum s-a arătat la § VI.5.1, ruperea elementului s-a produs la o încărcare de 600 daN/m² ceea ce este echivalent cu un moment de rupere de 405 daNm. Momentul de rupere capabil al secțiunii transversale, care echilibrează momentul de rupere exterior, se deduce din momentul rezultantei întinderilor din talpa inferioară față de rezultanta compresiunilor din talpa superioară, adică :

$$M_r = t(b + 2t)R_{t1}(h - t) = 642,6 R_{t1} \quad (\text{VI.18})$$

și rezultă :

$$R_{t1} = \frac{40500}{642,6} = 63 \text{ daN/cm}^2. \quad (\text{VI.19})$$

Acceptînd pentru coeficientul de siguranță valoarea 2,5, corespunzător unei ruperi casante, rezultă :

$$\sigma_{ad} = \frac{R_{t1}}{c} = \frac{63}{2,5} = 25,2 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{VI.20})$$

și deci :

$$\sigma = 21,7 \text{ daN/cm}^2 < 25,2 \text{ daN/cm}^2, \quad (\text{VI.21})$$

iar ζ este neglijabil (ca la plăcile de beton armat).

VI.6. Eficiența economică a unor prefabricate.

În studiile și cercetările efectuate privind problemele de eficiență economică au fost adoptate următoarele ipoteze :

1. Prefabricatele se realizează prin tehnologii semi-manuale și apoi, treptat, semi-mecanizate, bazate pe actualele concepții tehnologice.

2. Se folosesc materiale de bună calitate, utilaje de productivitate medie și în stare normală de funcționare, precum și forță de muncă de calificare corespunzătoare operațiilor ce trebuie executate.

3. Producția are un caracter semi-industrial, cel puțin de serie mică, eliminându-se timpii pierduți ca urmare a reorganizărilor locurilor de muncă, reluării și întreruperii activității.

4. Materialele se livrează în sistemul cerut de producție.

5. Costurile materialelor sînt cele aprobate de industria republicană pentru materialele din producția curentă și costuri comparabile cu cele de pe piața mondială pentru fibrele de sticlă.

6. Structura cheltuielilor de producție este cea în vigoare în industria construcțiilor și a materialelor de construcții.

7. Pierderile de materiale, ca urmare a manipulărilor, debitărilor etc, sînt cele aprobate prin normativele în vigoare.

În conformitate cu ipotezele descrise, au fost adoptate tehnologii corespunzătoare pentru tuburi, pentru ferme, pentru dale și pentru panouri, începînd cu pregătirea și curățirea tiparelor și pînă la obținerea produsului finit.

Evaluarea cheltuielilor directe de producție s-a făcut pe baza consumurilor reale de materiale, a volumului de muncă depus și a utilajelor folosite.

Procedeul de calcul al eficienței economice a urmărit determinarea, în primul rînd, al costurilor unitare de producție pentru tuburi, pentru fermă, pentru dale și pentru panourile termoizolante. S-a stabilit apoi baza de comparație, luîndu-se în considerare produsele înlocuite. Astfel : tuburile din BAFS pot

înlocui tuburile de fontă, de azbociment și de gresie artificială; fermele din profile de BAFS pot înlocui fermele metalice ușoare ; dalele din BAFS pot înlocui dalele din beton armat; panourile termoizolante pot înlocui panourile pentru pereți din plăci plane de azbociment cu miez de poliestiren și fîșii cu goluri pentru planșee.

Din comparația costurilor, se desprind următoarele concluzii :

- tuburile din BAFS cu diametrul interior de 200 mm pot înlocui cu eficiență economică ridicată tuburile similare din fontă, de gresie artificială și de azbociment, economia minimă fiind de 6 lei/m. La o producție de 1 mil. m/an, rezultă o economie minimă de 6 mil. lei/an;

- fermele din profile de BAFS pot înlocui cu succes fermele metalice echivalente, rezultând o economie de circa 1000 lei/bucată fermă. La o producție medie de circa 10 mii bucăți ferme pe an, se poate obține o economie anuală de 10 mil. lei, plus economia de oțel;

- dalele din BAFS pot înlocui cu succes dalele din beton armat, rezultând o economie de 2 lei/m². La o producție medie de circa 1 mil. m²/an rezultă o economie de 2 mil. lei.

În toate calculele, costul fibrei de sticlă s-a considerat la 40 lei/kg, comparabil cu cel de pe piața mondială.

Economiile evidențiate, se bazează în mare măsură și pe importante economii de materiale; astfel de pildă, în cazul tuburilor se înlocuiește total azbestul din import, se economisește fontă și oțel, în cazul fermelor se fac importante economii de oțel, iar în cazul dalelor, economii de ciment.

CAP. VII. SINTEZA. CONCLUZII SI PROPUNERI DE APLICARE

VII.1. Sinteza

Lucrarea "Mortare și betoane armate cu fibre de sticlă" prezintă cercetările efectuate în Laboratorul de Beton armat al Facultății de Construcții din Timișoara, în perioada 1971 - 1979, asupra ipsosului armat cu fibre de sticlă (IAFS), a cimentului armat cu fibre de sticlă (CAFS), și a betonului armat cu fibre de sticlă (BAFS), precum și asupra unor elemente structurale prefabricate realizate din aceste materiale.

Studiile și cercetările efectuate pentru realizarea mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă au fost determinate de necesitatea reducerii consumului de oțel din unele elemente de beton armat, de reducerea greutateii construcțiilor și de realizarea unui material cât mai omogen sub aspectul rezistențelor mecanice (cu rezistențe sporite la întindere).

Mortarele și betoanele armate cu fibre de sticlă sînt materiale noi de construcții, materiale compozite cu alcătuire fibroasă, diferind de betoanele clasice atît din punct de vedere al proprietăților fizico-mecanice, cît și al tehnologiei de fabricație. Spre deosebire de betoanele obișnuite, mortarele și betoanele armate cu fibre de sticlă se realizează prin tehnologii diferite, determinate de modalitatea de încorporare a fibrelor de sticlă în masa amestecului. Dacă în cazul betonului clasic tehnologia de realizare se rezumă la amestecarea constituenților în betonieră după reguli bine cunoscute, în cazul mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă încorporarea fibrelor în masa amestecului este una din cele mai importante probleme, deoarece ea determină gradul de omogenitate al amestecului precum și orientarea fibrelor. Din aceste motive, realizarea mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă are la bază folosirea tehnicilor de producție a materialelor plastice armate cu fibre de sticlă și mai puțin cele din industria azbocimentului.

Materialele folosite la realizarea mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă sînt legate în special de particularitățile liantului și ale fibrelor de sticlă utilizate.

Deoarece cimentul portland este un mediu puternic bazic ($\text{pH} = 12 - 13$), utilizarea lui conduce la distrugerea în timp a fibrelor de sticlă, dacă acestea nu sînt rezistente la alcalii. Din acest motiv, folosirea cimentului portland este posibilă numai dacă fibrele de sticlă se acoperă cu un material protector sau se folosesc fibre de sticlă rezistente la alcalii (RA) prin însăși compoziția lor. Se precizează că fibrele de sticlă tip E, cu o compoziție borosilicatică, folosite obișnuit la armarea materialelor plastice, nu pot fi utilizate în amestec cu cimentul portland, deoarece aceste fibre nu sînt rezistențe la alcalii.

I.C.T.S.C.F. (Institutul de Cercetări și Proiectări Tehnologii Sticlă și Ceramioă Fină) - București, din cadrul M.I.U., a pus la punct crearea unei fibre de sticlă zirconice, rezistentă la alcalii (RA), folosită la armarea mortarelor și betoanelor din prezenta lucrare. Deoarece ipsosul este un mediu neutru, a fost posibilă și utilizarea fibrelor tip E pentru realizarea ipsosului armat cu fibre de sticlă.

În general, betoanele armate cu fibre de sticlă diferă de betonul clasic - convențional și prin aceea că au un conținut mai mare de ciment ($350 - 500 \text{ kg/m}^3$), un conținut redus de agregate ($350 - 700 \text{ kg/m}^3$) cu dimensiunea maximă a granulei de $5 \dots 7 \text{ mm}$. Conținutul volumic de fibre de sticlă variază în general între $(0,3 - 6) \%$. Fibrele de sticlă pot fi încorporate sub formă de fibre scurte dispersate în masa amestecului (beton cu armare dispersă), sub formă de fir lung (rowing) și sub formă de țesătură. Rezistența la tracțiune a fibrelor de sticlă, avînd diametre de $10 - 12 \mu$, este cuprinsă între $9000 - 40000 \text{ daN/cm}^2$, cu deformații limită reduse de $3 - 4 \%$.

Incorporarea fibrelor de sticlă în masa amestecului de bază trebuie să asigure o bună impregnare și învelire a fibrelor cu pastă de ciment, să asigure o dispunere uniformă a acestora în masa amestecului, piatra de ciment (matricea) avînd și funcția de a transfera eforturi la și de la fibre, astfel încît fibrele de sticlă să-și poată exercita rolul lor funcțional de întîrziatori sau opritori ai fisurării materialului. Fibrele de sticlă pot fi dispuse în masa amestecului orientate unidimensional, respectiv pe direcția efortului principal de

întindere, bidimensional în plan și tridimensional în spațiu, eficiența intrării lor în lucru fiind condiționată de această orientare.

Din tehnologiile cunoscute privind înglobarea fibrelor de sticlă în mortare și betoane, au fost folosite cu bune rezultate tehnologiile de preamestec, a formării prin contact, a pulverizării și a bobinării. În acest scop, au fost realizate prin autoutilare următoarele, utilaje : amestecător cu turație variabilă (ATV), fig.III.1; tăietor pentru fibre de sticlă, fig.III.2; pistol pentru tăiat și pulverizat fibre de sticlă, fig.III.3; instalație de pulverizat mortare și betoane; instalație de vacuum, fig.III.7; diverse tipare metalice.

Având la bază structura betonului obișnuit, structura mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă se prezintă ca un rezultat a interacțiunii între fibrele de sticlă și matrice, fiecare având caracteristici proprii bine definite. Prezența fibrelor de sticlă sporește rezistența la întindere și energia de rupere și asigură un grad sporit de ductilitate în comportarea materialului. Mortarele și betoanele armate cu fibre de sticlă se situează, din punct de vedere a proprietăților fizico-mecanice, între azbociment și masele plastice armate cu fibre de sticlă.

Au fost efectuate studii experimentale de laborator asupra IAFS, CAFS și BAFS. Intregul volum de cercetări s-a realizat pe bază de contracte cu I.C.P.T.S.C.F. - București (din cadrul M.I.U.) și I.C.P.M.C. (din cadrul M.E.F.M.C.), lucrările fiind predate la timp și în bune condițiuni. Cercetările au urmărit determinarea principalelor proprietăți ale noilor materiale, influența tehnologiilor de încorporare a fibrelor de sticlă, influența lungimii fibrelor de sticlă, influența cantității de fibre de sticlă încorporate și influența conținutului de agregate fine. Au fost studiate peste 2.500 epruvete de dimensiuni reduse.

Au fost făcute experimentări asupra mai multor tipuri de prefabricate din beton armat cu fibre de sticlă, ca de pildă: tuburi de presiune (similare tuburilor din azbociment); dale prefabricate pentru sisteme de irigații; forme pentru acoperișuri ușoare; șarpante pentru acoperișuri de clădiri; plăci on-

dulate pentru învelitori, toate realizate după concepție proprie. Au mai fost făcute experimentări și asupra panourilor termoizolante, realizate de către I.C.P.M.C. - București.

VII.2. C o n c l u z i i

Cercetările întreprinse în domeniul mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă corelate cu studiul eficienței lor economice, au condus la următoarele concluzii :

1. Mortarele și betoanele armate cu fibre de sticlă se constituie în noi materiale de construcții, ale căror proprietăți permit reducerea consumului de oțel din unele elemente de beton armat. Conduc de asemenea la reducerea greutateii construcțiilor, implicit la scăderea prețului de cost.

2. Lucrările de cercetare efectuate au contribuit și, la testarea în mortare și betoane a fibrelor de sticlă alcalo-rezistente (RA) de proveniență românească, realizate la început în fază laborator, apoi în fază pilot de către I.C.P.T.S.C.F. - București, în perspectiva trecerii la fabricarea lor în fază industrială.

3. Cercetările în domeniul mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă își au începuturile, pe plan național, în Laboratorul de Beton Armat din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, din inițiativa prof.C. Avram, începând cu anul 1971.

4. Cercetările în domeniul mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă s-au desfășurat pe bază de contracte încheiate, începând din 1972, cu I.C.P.T.S.C.F. - București - din cadrul M.I.U., începând din 1975 cu I.C.P.M.C. (Institutul de Cercetări și Proiectări pentru Materiale de Construcții) - București - din cadrul M.F.F.M.C., începând din 1978 cu I.E.L.I.F. (Intreprinderea de Exploatarea Lucrărilor de Îmbunătățiri Funciare) - Călărași - din cadrul M.A.I.A.

5. Cercetările pe plan mondial în domeniul betoanelor armate cu fibre de sticlă au început în 1950 în S.U.A., Anglia, U.R.S.S, și Japonia; primele aplicații se realizează în Anglia în 1970.

6. Lucrarea realizează-și o sinteză completă și utilă a stadiului cercetărilor pe plan mondial în domeniul mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă.

7. Fibrele de sticlă rezistente la alcalii (RA), de proveniență românească, pot fi utilizate la armarea mortarelor și betoanelor realizate cu cimenturi portland, fibrele dovedind o bună stabilitate. Fibrele de sticlă E pot fi utilizate în amestec cu ipsosul.

8. Agregatele folosite sînt de tipul nisipurilor cu dimensiunea granulelor pînă la 7 mm. Nu se recomandă folosirea unor agregate mai mari deoarece îngreunează lucrabilitatea amestecului, rup fibrele de sticlă, iar pe de altă parte produsele realizate au în general grosimi mici de 10 - 15 mm.

9. Tehnologiile de încorporare a fibrelor de sticlă în masa mortarelor și betoanelor sînt hotărîtoare asupra posibilităților de orientare a fibrelor. Fibrele de sticlă pot fi dispuse în masa amestecului orientate unidimensional, bidimensional în plan și tridimensional în spațiu, eficiența utilizărilor fiind în strînsă legătură cu orientarea realizată. În cazul utilizării tehnologiei de preamestec se asigură o orientare haotică în spațiu a fibrelor, în cazul tehnologiei de pulverizare a constituenților se asigură o orientare haotică în plan a fibrelor scurte de sticlă, în cazul tehnologiei prin contact se asigură, utilizînd țesături din fibre de sticlă, o orientare ortogonală în plan, iar în cazul bobinării cu rowing sau cu țesătură se asigură o eficiență și mai ridicată în exploatarea fibrelor de sticlă.

10. Au fost aduse contribuții la punerea la punct a tehnologiilor, prin realizarea prin autodotare a următoarelor utilaje : amestecător cu turația variabilă (ATV); pistol pentru tăiat și pulverizat fibre de sticlă; instalația pentru pulverizat mortare și betoane; instalație de vacuum; diverse tipare metalice.

11. Betonul fibros proaspăt se caracterizează, între altele, și prin aceea că fibrele de sticlă, avînd o suprafață specifică mare, rețin o mare cantitate de apă la amestec, surplusul trebuind îndepărtat în cele din urmă.

Experiențele au arătat că pe măsura creșterii cantității de fibre de sticlă încorporate în amestec, crește și cantitatea de apă reținută în amestec, după îndepărtarea surplusului de apă liberă. Se presupune, ca urmare, determinarea cantității de apă rămasă în final în amestec, cu relația(III.1), relație dedusă experimental. De asemenea, experiențele au condus la posibilitatea stabilirii, cu relația (III.2), a cantității de apă folosită inițial.

12. Structura mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă se prezintă ca un rezultat a interacțiunii între fibrele de sticlă și matrice, fiecare având caracteristici proprii bine definite. Rolul fibrelor de sticlă a fost definit în strînsă legătură cu particularitățile structurale ale mortarelor și betoanelor simple, astfel ca fibrele de sticlă să-și poată exercita rolul lor funcțional de întîrziatori sau opritori ai fisurării materialului.

13. Microstructura materialului se modifică în timp. Dacă la 28 de zile produții de hidratare încă nu au pătruns în fascicul și fasciculul de fibre acționează ca un singur element de armare, după 6 - 12 luni produții de hidratare pătrund în interiorul fasciculului, astfel că filamentele fasciculului devin acoperite și tind să acționeze ca armături independente, ceea ce determină o creștere a suprafețelor de aderență și fasciculul se transformă practic într-un element compus în miniatură.

14. Aderența dintre fibrele de sticlă și piatra de ciment este de același ordin de mărime ca și cea dintre oțel și piatra de ciment. De același ordin de mărime este și aderența dintre fibrele de sticlă E și ipsos. Aderența în timp crește.

15. Studiile efectuate au condus la folosirea fibrelor de sticlă scurte de 40 mm lungime. Această lungime satisface cerințele lungimii de aderență și a lungimii critice a fibrei. Dacă nu se asigură lungimea de aderență, fibra se smulge în loc să se rupă și betonul va ceda la efortul de fisurare.

16. Distanța dintre fibre, dintre centrele lor de greutate, devine factor determinant a mecanismului de frînare a fisurării, ea depinzînd de numărul de fibre precum și de poziția

lor reciprocă. Cele mai mici distanțe dintre fibre se obțin în condițiile aranjării lor hexagonale, apoi pătrate și triunghiulare.

17. Incorporarea rațională a fibrelor de sticlă poate fi elucidată prin analiza factorului de dispersie a filamentelor, a factorului de filamentizare, a factorului de eficiență a fasciculului și a factorului de orientare a fibrelor.

18. Au fost întreprinse cercetări pentru prima dată în țară asupra proprietăților ipsosului armat cu fibre de sticlă E, fiind încercate peste 800 epruvete de dimensiuni reduse. Au fost făcute determinări asupra comportării la întindere centrică, întindere din încovoiere, compresiune centrică, șoc, densitate, modulul de elasticitate static și dinamic, precum și asupra lungimii optime a fibrelor și a tehnologiilor de încorporare.

Rezistențele la întindere cresc în medie de 2 - 4 ori, rezistența la șoc crește în medie de 5 - 16 ori, față de probele martor, în condițiile încorporării unor cantități de fibre de sticlă de 5 - 6 % din volum. Rezistența la compresiune centrică și modulii de elasticitate static și dinamic pot fi considerați practic egali cu cei ai martorului, la procente obișnuite de armare cu fibre de sticlă.

Experiențele au dovedit că fibrele de sticlă E și cu proprietăți apropiate conlucrează bine cu piatra de ipsos, realizându-se noul material denumit IAFS, cu rezistențe la întindere și șoc sporite și o bună durabilitate în medii cu umiditate redusă.

Din punct de vedere al lungimii fibrelor, experiențele au dovedit că, în condițiile utilizării tehnologiei de preamestec, este indicată utilizarea fibrelor cu lungimi sub 30 mm, iar în condițiile utilizării tehnologiei de pulverizare lungimea optimă de fibre de sticlă este cuprinsă între 30 - 45 mm.

19. Au fost întreprinse cercetări pentru prima dată în țară asupra proprietăților cimentului armat cu fibre de sticlă alcalo-rezistentă (RA) de proveniență românească, fiind încercate peste 1400 epruvete de dimensiuni reduse. Au fost făcute determinări asupra comportării la întindere, compresiune, șoc, contracție, asupra densității, modulilor de elasticitate static

și dinamic, precum și asupra influenței factorului timp și a tehnologiilor de încorporare.

Rezistențele la întindere cresc în medie de 2 - 5 ori, rezistența la șoc de 5 - 7 ori, față de probele martor, în condițiile încorporării unei cantități de fibre de sticlă de 5-6% din volum. Deformațiile din contracție scad față de probele martor cu 5 - 20 % pentru aceleași procente de armare. Rezistența la compresiune centrică, modulii de elasticitate static și dinamic se pot considera egali cu cei ai martorului pentru procentele uzuale de armare. Densitatea scade cu 5 - 10 odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă încorporate.

Influența factorului timp atestă o bună stabilitate a fibrelor.

Experiențele au dovedit că tehnologia formării prin contact și prin pulverizare corespunde în cele mai bune condiții pentru realizarea noului material de construcții, denumit ciment armat cu fibre de sticlă (CAFS).

20. Au fost întreprinse cercetări pentru prima dată în țară asupra proprietăților betonului armat cu fibre de sticlă alcalo-rezistentă (RA) de proveniență românească, fiind încercate peste 400 epruvete de dimensiuni reduse. Au fost făcute determinări asupra comportării la întindere, compresiune, șoc, contracție, asupra densității, modulilor de elasticitate static și dinamic, în funcție de conținutul de fibre de sticlă și de agregatele fine cu granulația cuprinsă între 0 ... 3 mm.

Rezistențele la întindere cresc în medie de 2 - 4 ori față de probele martor odată cu creșterea conținutului de fibre de sticlă, creșterile mai mari fiind înregistrate în probele cu un conținut mai mic de agregate fine. Rezistența la șoc crește de 4 - 5 ori față de probele martor, creșterile fiind puțin mai mari (cu 5 - 6 %) la amestecurile cu părți egale de ciment/agregat, față de varianta utilizării a două părți agregate și o parte ciment. Densitatea prezintă variații nesemnificative, creșterea însă a ponderii agregatelor determină creșteri mari importante a densității. Si valorile modulilor de elasticitate pot fi considerate practic invariabile pentru conținuturi egale de agregat și ciment; dublarea ponderii agregatelor a determinat o creștere cu 5 - 20 % a modulilor de elasticitate.

Prezența agregatelor reduce efectele contracției, după cum prezența fibrelor de sticlă reduce deformațiile din contracție ale betonului. Pentru un conținut de 6 % fibre de sticlă, utilizând în amestec două părți agregate și o parte ciment, deformațiile din contracție la 60 zile sînt cu 30 - 40 % mai mici decît a probelor martor din beton simplu și cu 40 - 50 % mai mici față de probele martor din piatra de ciment.

21. Au fost realizate, pentru prima oară, tuburi de presiune similare tuburilor de azbociment, destinate lucrărilor de alimentări cu apă, irigații, canalizări. Soluția conduce la diminuarea importului de azbest.

S-au realizat tuburi și mufe prin bobinarea țesăturii din fibre de sticlă pe un tipar în rotație, pe care în paralel se pulverizează betonul.

Tiparul reprezintă o soluție originală, astfel realizat încît decofrarea să se facă ușor. În acest scop, pe miezul metalic al tiparului este amplasată o cameră pneumatică, care prin depresionarea ei asigură extragerea ușoară a întregului ansamblu al tiparului.

Experiențele efectuate au evidențiat o bună concordanță între presiunile, utilă, nominală și de spargere, rezultînd că tuburile de azbociment din clasa de 6 atm pot fi înlocuite cu tuburi din beton armat cu fibre de sticlă.

Se propune, pe baza cunoașterii materialului și a încărcărilor care pot acționa asupra tuburilor, o metodologie de calcul. Calculul de rezistență se propune să se facă conform metodologiei teoriei elasticității, dîndu-se relațiile pentru calculul eforturilor unitare din secțiunea transversală a tuburilor.

Eficiența economică a soluției permite să se evidențieze reducerea costului cu 6 lei/ml față de tuburile de azbociment, ceea ce, în condițiile unei producții de 1 mil. m/an, conduce la o economie de 6 mil. lei pe an. Față de tuburile de fontă și ceramice, costul lor este pe jumătate.

22. Au fost realizate pentru prima dată dale prefabricate din beton armat cu fibre de sticlă, destinate lucrărilor de căptușire a canalelor în sistemele de irigații din agricultură. Soluția conduce la eliminarea totală a consumului de oțel față de dalele clasice din beton armat de 50 x 50 cm suprafață

și 6 ... 10 cm grosime, la diminuarea cu 60 % a greutateii proprii, la reducerea cu 10 % a consumului de ciment pe m^2 și la reducerea cu 50 % a rostuirii spațiilor dintre dale, ca urmare a creșterii de 4 ori a suprafeței pe bucată.

Dalele au fost realizate la dimensiunea de $1 \times 1 \text{ m}$ și $1 - 2 \text{ cm}$ grosime, și nervurate la partea inferioară. Au fost studiate două soluții de nervurare, una cu nervurile dispuse ortogonal și alta cu nervurile în diagonală. Fibrele de sticlă au fost încorporate sub formă de țesătură și rowing.

Tiparul este o soluție originală, astfel realizat încît să permită vacuumarea amestecului proaspăt.

Experiențele efectuate asupra dalelor rezemate pe contur au dovedit o comportare elastică sub sarcină pînă aproape de rupere. Încărcarea de rupere a dalelor cu nervuri diagonale a fost cu 10 - 20 % mai mare decît a dalelor cu nervuri ortogonale. De asemenea, încărcarea de rupere a crescut, față de dalele martor, cu 70 - 75 % pentru un conținut de 2 % fibre de sticlă și cu 90 - 100 % pentru 3 % fibre de sticlă.

Experiențele efectuate asupra dalelor rezemate elastic pe pat de nisip au evidențiat o foarte bună comportare sub încărcarea din coloană de apă. Astfel, sub o încărcare de 2 m coloană de apă, dalele s-au comportat elastic, ceea ce satisface cerințele canalelor pentru irigații.

Dalele au manifestat și o foarte bună impermeabilitate.

Analiza eficienței economice evidențiază o economie de 2 lei/ m^2 față de dalele clasice, ceea ce, în condițiile unei producții medii de 1 mil. m^2 /an, rezultă o economie de 2 mil. lei/an.

23. S-au realizat pentru prima oară ferme de 9 m deschidere din profile de beton armat cu fibre de sticlă, destinate acoperișurilor ușoare. Soluția duce la diminuarea cu 80 % a consumului de metal și cu 20 % a greutateii, comparativ cu o fermă metalică echivalentă.

Fermele au fost realizate cu secțiunea transversală a tălpilor și diagonalelor din cîte două corniere de $100 \times 100 \times 15 \text{ mm}$ din beton armat cu fibre de sticlă. Imbinarea în noduri s-a făcut cu eclise și buloane metalice.

Tiparul pentru corniere reprezintă o soluție originală,

astfel concepută încît să permită, într-o primă etapă, vibro-vacuumarea într-o poziție orizontală a amestecului proaspăt și, în etapa următoare, rabaterea unei laturi a tiparului pentru formarea profilului.

Experiențele de testare asupra unor ferme, pînă la încărcarea de 500 kg/nod, au arătat o comportare o comportare în domeniul elastic al ansamblului fermelor. Incercarea a demonstrat posibilitatea abordării acoperișurilor ușoare din ferme de beton armat cu fibre de sticlă.

Analiza eficienței economice evidențiază o economie de 1000 lei/ bucată fermă, ceea ce, în condițiile unei producții de 10.000 bucăți pe an, conduce la economii de 10 mil.lei/an.

24. S-au realizat plăci ondulate din beton armat cu fibre de sticlă similare plăcilor ondulate de azbociment, destinate la învelitori pentru acoperișuri și la pereți monostrat. Soluția elimină importul de azbest.

25. S-a realizat pentru prima oară o șarpantă din profile de beton armat cu fibre de sticlă, destinată acoperișurilor la clădiri. Se elimină astfel consumul de lemn și metal față de soluțiile clasice.

26. S-a efectuat încercarea unor panouri termoizolante sub încărcare statică de scurtă și lungă durată. Panourile au fost realizate la I.C.P.M.C. - București; ele se compun dintr-un chenar de 3 - 10 mm grosime din beton armat cu fibre de sticlă și umplut cu polistiren expandat, putînd fi folosite ca elemente de închidere la clădiri, avînd bune proprietăți termo și fonoizolatoare, și ca fișii de planșeu.

Experiențele au arătat că limita de microfisurare este destul de ridicată (65 - 75 % din încărcarea de rupere), limită pînă la care panourile se comportă elastic. Ruperea la încărcare de scurtă durată s-a produs la 600 daN/m². Sub încărcarea de lungă durată, deformațiile se amortizează practic după un an. Se propune o metodologie de calcul a panourilor termoizolatoare pe baza cunoașterii comportării lor sub încărcări.

27. Se prezintă studii de eficiență economică pentru tuburi, dale și ferme din beton armat cu fibre de sticlă, urmărind prin aceasta înțelegerea eficientizării cercetărilor științifice în acest domeniu.

VII.3. Propuneri de aplicare

Rezultatele cercetărilor în domeniul mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă arată destul de bine locul și rolul noilor materiale în ierarhia betonului. Se desprinde concluzia că noile materiale nu exclud betonul clasic, ele coexistă și se completează reciproc, în condițiile satisfacerii unor exigențe sporite ale construcțiilor viitorului.

Posibilitățile de aplicare a noilor materiale sînt multiple, fiind condiționate de particularitățile și de competitivitatea lor; pe baza cercetărilor efectuate se pot face următoarele propuneri de aplicare :

1. Realizarea în fază industrială a tuburilor de presiune, similare tuburilor de azbociment, prin creerea în prima etapă a unei stații pilot.
2. Realizarea de dale pentru sistemele de irigații din agricultură.
3. Realizarea de ferme pentru acoperișuri ușoare.
4. Realizarea de șarpante pentru acoperișuri la clădiri.
5. Realizarea plăcilor ondulate, similare plăcilor de azbociment, pentru învelitori și pereți monostrat.
6. Realizarea panourilor termoizolante pentru închidere la pereții clădirilor și pentru planșee de acoperiș.
7. Realizarea jghiaburilor pentru sistemele de irigații.
8. Realizarea elementelor armate diferențiat cu fibre de sticlă.
9. Realizarea de cofraje autoportante pierdute și cofraje tubulare pentru stâlpi.
10. Intocmirea de recomandări și instrucțiuni pentru realizarea mortarelor și betoanelor armate cu fibre de sticlă.

B I B L I O G R A F I E

- 1 Ceaușescu N., - Raport la Conferința Națională, a Partidului Comunist Român, 7-9 decembrie 1977, Editura Politică, 1977.
- 2 Ali M.A., Grimer F.J., - Mechanical Properties of Glass Fiber - Reinforced Gypsum, Journal of Materials Science, Vol. 4, No.5, England, 1969.
- 3 Allen H.G., - Fabrication and properties of glass fibre reinforced Cement Composites, 1969.
- 4 Allen H.G., - Stiffness and strength of two glass fiber reinforced cement laminates, Journal of Composite materials, Vol.5, 1971.
- 5 Allen H.G., - The strength of thin composites of finite width with brittle matrices random discontinuous reinforcing fibres, J. Phys D. : Applied Physics, Vol. 5, 1972.
- 6 American Concrete Institute - ACI, State of the art raport on fibre reinforced concrete, Detroit, JACI, Vol. 40, 1973.
- 7 American Concrete Institut - ACI, Fiber reinforced Concrete, Proceedings - International Symposium - Ottawa - oct. 1973, Detroit, ACI - Publication SP-44, 1974.
- 8 Argon A.S., Shack W.J., - Theories of fibre cement and fibre concrete, RILEM Symposium, London, 1975.
- 9 Ashton J.F., et al, - Primer on composite materials analysis, Technomic Publishing Co, 1969.
- 10 Aveston J., Cooper G.A., Kelly A., - Single and multiple fracture, The properties of fibre composites, IPC Science and technology press, 1971.
- 11 Aveston J., Kelly A., - Theory of multiple fracture of fibrous composites, J. Materials Science, Vol. 8, 1973.
- 12 Aveston J., Mercer R.A., Sillwood J.M., - Fibre reinforced cements - scientific foundations for specifications, Composites Standards, 1974.

- 13 Avram C., Făcăoaru I., Filimon I., Mîrșu O., Terteza I.,
- Rezistențele și deformațiile betonului, Ed. Tehnică,
București, 1971.
- 14 Avram C., Cadar I., Szentkirályi A., Rădulescu A., - Mor-
tare și betoane armate cu fibre de sticlă, Referat
M.I.U. - I.C.P.T.S.C.F., 1973.
- 15 Avram C., Cadar I., Velica P., Szentkirályi A., Rădulescu
A., - Mortare și betoane armate cu fibre de sticlă,
Referat M.I.U. - I.C.P.T.S.C.F., 1974.
- 16 Avram C., Cadar I., Velica P., Tudor A., Florea A., - Mor-
tare și betoane armate cu fibre de sticlă, Referat
M.I.U. - I.C.P.T.S.C.F., 1975.
- 17 Avram C., Cadar I., Pătcaș I., Florea A., - Prefabricate
din beton armat cu fibre de sticlă, Referat M.E.F.M.C.
- I.C.P.M.C., 1976.
- 18 Avram C., Cadar I., Pătcaș I., Florea A., Rafiroiu M.,
- Prefabricate din beton armat cu fibre de sticlă,
Referat M.E.F.M.C. - I.C.P.M.C., 1977.
- 19 Avram C., Bob C., Cadar I., Andonie M., Ionescu E., - Be-
toane cu armare dispersă, Referat de sinteză, Confe-
rința a VIII-a de Betoane, Cluj-Napoca, 1977.
- 20 Avram C., Bob C., - Noi tipuri de betoane speciale, Bucu-
rești, Ed. Tehnică, 1980.
- 21 Bache H.H., - Morphology of calcium hydroxide in cement
paste, Symposium on Structure of Portland Cement
Paste and Concrete, Highway Research Board Special
Report 90.
- 22 Bartos P., - Glass reinforced cement, CIRIA Raport, 1970.
- 23 Berg O.I., - Fiziceskie osnovî teorii procinosti betona i
jelezobetona, Moskva, Gosstroizdat, 1962.
- 24 Bezuhov I., - Teoria elasticității și plasticității, Ed.
Tehnică, București (traducere din l.rusă), 1952.
- 25 Birjukovici K.L., Birjukovici J.L., Birjukovici D.L., -
Steklocement, Budivelnik - Kiev, 1964.

- 26 Blackman L.C.F., - Development of glass fibre reinforced cement, The international Congress on Glass, Japan, 1974.
- 27 Bob C., Velica P., - Materiale de construcții, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
- 28 Buckley F.L., - Accelerated trials of glass fiber reinforced rigid pavements, The Construction Research Center, University of Texas at Arlington, 1974.
- 29 Cadar I., Szentkirályi A., Florea A., - Utilizarea fibrelor de sticlă în construcții, Buletinul Științific și Tehnic al I.P. "Traian Vuia" Timișoara, 1976.
- 30 Cadar I., Tudor A., Florea A., Avram C., - Betoane armate cu fibre de sticlă, Conferința a VIII-a de Betoane, Cluj-Napoca, 1977.
- 31 Cadar I., Tudor A., Florea A., - Ipsos armat cu fibre de sticlă, Buletinul Științific și Tehnic al I.P. "Traian Vuia" Timișoara, 1977.
- 32 Cadar I., Păteș I., Florea A., Irhașiu A., Avram C., - Prefabricate din beton armat cu fibre de sticlă, Volum special, I.P. Timișoara, Cântarea României, 1977.
- 33 Cadar I., Florea A., - Instalație de Vacuumare, Timișoara, 1978.
- 34 Cadar I., Păteș I., Rafiroiu M., Florea A., - Prefabricate armate cu fibre de sticlă, Referat M.E.F.M.C. - I.C.P.M.C., 1978.
- 35 Cadar I., Filimon I., Deutsch I., Velica P., Păteș I., Jiva C., Săbăreanu B., - Jghiaburi și dale prefabricate din beton armat cu fibre de sticlă, Referat M.A.I.A. - I.E.L.I.F. Călărași, 1978.
- 36 Cadar I., Velica P., Păteș I., Tudor A., - Mortare și betoane armate cu fibre de sticlă realizate cu concentrate zirconice indigene, Referat M.I.U. - I.C.P.T.S. C.P., 1978.
37. Carrié C., Lefebvre R., - Les bétons de fibres, Division Développement de C.E.B.T.B., Paris.

- 38 CDCAS - Produse din beton armat cu fibre de sticlă, Informare tehnico-economică, Journal of the Prestressed Concrete Institute, București, 1977.
- 39 Cohen E.B., - Validity of flexural strength reduction as an indication of alkali attack on glass in fibre reinforced cement composites, RILEM Symposium, London, 1975.
- 40 Cook Y., Gordon Y.E., - Royal Society, Proceedings, 1964.
- 41 De Vekey R.C., Majumdar A.J., - Determining bond strength in fibre reinforced composites, London, Magazine of concrete research, Vol.20, No.65, 1968.
- 42 De Vekey J.C., Majumdar A.J., - Interfacial bond strength of glass fiber reinforced cement composites, Journal of Materials Science, Vol.5, No.2, 1970.
43. Efsen A., Krenchel H., - Tensile Cracks in reinforced concrete, Ingeniøren, Copenhagen, No.3, 1959.
- 44 Eshelby J.D., - The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion and related problems, London, 1957.
45. Făcăoaru I., - Aspecte ale fisurării și ruperii betonului la compresie determinate cu ajutorul măsurătorilor cu ultrasunete, Rev. Constr. și Mat. de Constr., București, 7/1966.
- 46 Fibreglass limited : "CEM-FIL" Cementitious Composites, England, 1971, pp. 78-84.
- 47 Goeman F., - Performance of E-glass fibers as reinforcement for portland cement mortar, Symposium - Ottawa, 1973.
- 48 Grimer P.I., Ali M.A., - The Strength of cements reinforced With glass fibres, London, Magazine of Concrete Research, Vol.21, No.66, 1969.
- 49 Harcevhikov V.I., - Armarea betonului cu fibre de sticlă cu rășină furfural-acetonică, Apărut în "Beton și lezobeton" No.1, 1970, URSS.
- 50 Hobbs C., - Beton de comandă - prima țintă a dezvoltării, Concrete, England, 1971.

- 51 Jaras A.C., Litherland K.L., - Microstructural features in glass fibre reinforced cement composites, RILEM Symposium, London, 1975.
- 52 Krenchel H., - Fibre reinforcement, Akademisk Forlang, Copenhagen, 1964.
- 53 Krenchel H., Hejgard O., - Can asbestos be completely replaced one day, RILEM Symposium, 1975.
- 54 Krenchel H., - Fibre spacing and specific fibre surface, RILEM Symposium, London 1975.
- 55 Lankard D.R. - Applications of fibre concrete, RILEM Symposium, 1975.
- 56 Laws V., Lawrence P., Nurse R.W., - Reinforcement of brittle matrices by glass fibre, J.Phys. D: Appl.Phys., Vol. 6, 1973.
- 57 Litherland K.L., Jaras A.C., - Microstructural features of glass fibre reinforced cement and composites.
- 58 Majumdar A.J., Ryder J.P., - Glass fibre reinforced of cement products, England, Glass Tehnology, Vol. 9(3), 1968.
- 59 Majumdar A.J., - Glass fiber reinforced cement and gypsum products, London, 1970.
- 60 Majumdar A.J., - Ordinary portland cement concrete reinforced with glass fibres, London, Precast Concrete, 1972.
- 61 Majumdar A.J., Tallentire A.G., - Glass fiber reinforced cement base materials, Symposium - Ottawa, 1973.
- 62 Majumdar A.J., - The role of the interface in glass fibre reinforced cement, Cement and Concrete Research, Vol. 4, No.2, March 1974.
- 63 Majumdar A.J., Nurse R.W., - Glass fibre reinforced cement, Materials Science and Engineering, Vol. 15, 1974.
- 64 Majumdar A.J., Properties of fibre cement composites, RILEM Symposium, London, 1975.
- 65 Marsch H.N., - Glass fibre reinforced cement base materials, Detroit, ACI - Fibre reinforced Concrete, SP-44, 1974.

- 66 Marsh H.N., Jr., Clarke L.L., Jr., - Glass fibres in concrete, A.C.I. Publication SP-44,, Fiber Reinforced Concrete, 1974.
- 67 McCurrich L.H., Adams M.A.,- Fibres in cement and concrete, London, Concrete, Vol. 7, No. 4, 1973.
- 68 Meyer A., - Glasfaserbeton, Vorträge Betontag 1973, Deutscher Beton-Verein F.V., Berlin 9/11 Mai 1973.
- 69 Mihul A., Hobjilă V., - Asupra unor aplicații ale betoanelor armate cu fibre metalice, Conferința a VIII-a de Betoane, Cluj-Napoca, 1977.
- 70 Mihul A., Hobjilă V., - Considerațiuni asupra betoanelor ușoare cu granolit armate cu fibre de oțel, Conferința a VIII-a de Betoane, Cluj-Napoca, 1977.
- 71 Mihul A., - Procedeu de dirijare a eforturilor inițiale introduse în elementele de beton în vederea măririi capacității de rezistență și a îmbunătățirii comportării în exploatare, Teză de doctorat, Iași, 1971.
- 72 Nair N.G., - Mechanics of glass fibre reinforced cement, RILEM Symposium, London 1975.
- 73 Nervi P.L., - Aesthetics and technology in building, Cambridge, 1965.
- 74 Nicolau V., ș.a., - Introducere în teoria betonului, Vol.I, Editura de Stat pentru Arhitectură și Construcții, 1954.
- 75 Oakley D.R., Prector B.A., - Tensile stress-strain behaviour of glass fibre reinforced cement composites, RILEM Symposium, London, 1975.
- 76 Onea N., Cadar I., - Betoane armate cu fibre de sticlă, Revista Materiale de Construcții, Nr.4, 1976.
- 77 Pecuil T.E., Marsh H.N., - Fiberglass surface bonding, Symposium, Ottawa, 1973.
- 78 Pell F.R., - The effects of pozzolanas and autoclaving on the mechanical properties of glass fibre reinforced portland cement, MSc Thesis, University of Bristol, 1969.
- 79 Pilkington Cem - Fil, Alkali-resistant glass fibre for glass reinforced cement, The Kynoch Press, Birmingham, England.

- 80 Pomeroy C.D., - Evaluating modified concretes, Concrete, May, 1973.
- 81 Pomeroy C.D., - Tailoring fibre concretes to special requirements, RILEM - Symposium, London, 1975.
- 82 Proctor B.A., Oakley D.R., Wiechers W., - Tensile stress-strain characteristics of glass fibre reinforced cement, 1974.
- 83 RILEM, - Fibre-reinforced cement composites, RILEM Symposium, Garston, 1973.
- 84 RILEM, - Fibre reinforced cement and concrete, RILEM Symposium, London - 1975, The Construction Press Ltd.
- 85 RILEM, - Fibre concrete materials, A report prepared by RILEM Technical Committee 19 - FRC, Paris, RILEM - Mat. et Constr., No. 56, 1977
- 86 Romualdi J.P., Batson G.B., - Mechanics of Crack Arrest in Concrete, Journal of the Engineering Mechanics Division Proc., ASCE, Vol. 89, No. EM3, 1963.
- 87 Romualdi J.P., Batson G.B., - Behaviour of reinforced concrete beams with closely spaced reinforcement, Detroit, A.C.I., No. 6, 1963.
- 88 Romualdi J.P., Mandel J.A., - Tensile strength of concrete effected by uniformly distributed and closely spaced short length of wire reinforcement, Detroit, JACI, No.6, 1964.
- 89 Roper H., Stitt D., Lawrance P., - Properties of resin coated glass fibres reinforcement in concretes, mortars and pastes, Symposium, Ottawa, 1973.
- 90 Roşca V., Dumitrescu D., - vacuumarea betonului, Editura Tehnică, Bucureşti, 1957.
- 91 Ryder J.F., - Applications of fibre cement, RILEM Symposium, 1975.
- 92 Schlaich J., - Die Glasfaserbetonschale für die Bundesgartenschau 1977 in Stuttgart, Vorträge Betontag 1977, Wiesbaden, Deutscher Beton-Verein E.v., 1977.

- 93 Shah S.P., Key W.H., - Impact resistance of ferro-cement, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 98, 1972.
- 94 Steopoe Al., - Durabilitatea betoanelor, Ed. Tehnică, București, 1965.
- 95 Swamy R.N., Mangat P.S., Rao C.V., - The mechanics of fiber reinforcement of cement matrices, International Symposium, Ottawa, oct., 1973.
- 96 Timoshenko S., Goodier J.N., - Theory of elasticity, New York, 1951.
- 97 Tokagi J., - Some properties of glass fiber reinforced concrete, Symposium - Ottawa, 1973.
- 98 UNITED NATION PUBLICATION : Comisia Economică pentru Europa : "Aspectul concurenței dintre oțel și alte materiale" (CDCAS - D. 6694).
- 99 Untu R., Soare S., Arhire I., - Tuburi din beton precomprimat, Editura Tehnică, București, 1966.
- 100 x x x - Cem - Fil, Information Bulletin, Basic capital equipment necessary for commercial production of GRC by the hand spray process, Information Bulletin, No.6, 1978.
- 101 x x x - Experimental house uses fibrous concrete floors slab., Engineering News Record, Vol. 193, 1975.
- 102 x x x - Fibre reinforced concrete, Publication SP-44, American concrete Institute, Detroit, 1974.
- 103 x x x - Glass reinforced gypsum - Development and application in building GO - CON; 1972.
- 104 x x x - STAS 515/1979 - Tigle și coame din argilă arsă.
- 105 x x x - STAS 227/1978 - Ciment portland. Incercări fizice și mecanice.
- 106 x x x - STAS 7345/1,2 - 1975 - Tuburi și mufe din azbociment pentru conducte sub presiune.

Tabelul I.1.

Domenii de folosire a betonului armat cu fibre de sticlă

Nr. crt.	Elementul	Domenii de folosire
1.	Monolit	Imbrăcăminți rutiere Terenuri de aviație Tencuieli exterioare și interioare Planșee industriale
2.	Prefabricat	Panouri de închidere la clădiri Chesoane pentru planșee și garaje Garduri Plăci subțiri la acoperișuri Conducte de presiune și tuburi Pontoane Elemente decorative Bârci Dale pentru sisteme de irigații Jgheaburi pentru irigații Șarpante la acoperișuri Timplărie la clădiri Jardiniera Cămine de vizitare Carcase cu diverse întrebuințări Cofraje autoportante pierdute Palplanșe Pereți monostrat antifoc Bariere împotriva zgomotului Elemente armate diferențiat Mobilier de șantier Gianduri Cutii pentru cabluri electrice Semnalizatoare pe străzi Coșuri pentru hârtie Tuburi pentru ventilație Stâlpi tubulari pentru garduri Cofraje tubulare pentru stâlpi Grinzi și nervuri pînă la 6 - 8 m

Tabelul II.1.

Clasificarea fibrelor de sticlă

Natura materialelor	Procedee de obținere	Tipul de fibră
Anorganice (minerale)	Naturale	Azbest
	Artificiale	Oțel, sticlă, carbon
Organice	Naturale	Bambac, in, sisal
	Artificiale	Polietilenă, polipropilenă

Tabelul II.2.

Compoziția oxidică a sticlelor cercetate

Tipul de fibre	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	CaO	B ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Li ₂ O	MaO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Fe
E	55,2	14,8	-	17,7	7,3	4,3	0,3	-	-	0,2	0,3	0,3
G4	55	21	-	19	-	5	-	-	-	-	-	-
G20	71	1	16	-	-	-	11	1	-	-	-	-
G22	55	17	-	18	-	5	-	-	5	-	-	-
G26	64,5	15,5	-	10	-	10	-	-	-	-	-	-

Tabelul II.3.

Caracteristici fizico-mecanice ale fibrelor

Tipul fibrei	Densitatea kg/m ³	Rezistența la întindere GN/m ²	Modulul de elasticitate GN/m ²	Alungirea la rupere %	$I_0 = \frac{R_{max}}{\varnothing}$ MN.m/kg
Azbest	3200	0,5...1,0	80...150	0,6	0,30
Vată minerală	2700	0,5...0,8	70...120	0,6	0,30
Carbon (grafit)	1740	1,9...2,5	190...240	-	1,44
Oțel	7850	0,3...4,2	210	0,5...35	0,53
Sticlă	2500	1,0...4,0	70	1,5...3,5	1,80
Bumbac	1500	0,4...0,7	5,0	3 ... 10	0,48
Polietilenă	950	0,7	0,14...0,42	10	0,74
Polipropilenă	900	0,5...0,8	3,5	25	0,89
Poliesteri	950	0,7...0,9	8,4	11 ... 13	0,95
Rășini poliamidice	1100	0,7...0,9	4,2	16 ... 20	0,82

Tabelul III.1.

Eficacitatea folosirii fibrelor

Orientarea fibrelor		Eficacitatea fibrelor
	Unidirecțională	100 %
	Ortogonală în plan	40 + 50 %
	Intîmplătoare în plan	30 + 37 %
	Intîmplătoare în spațiu	0 + 20 %

Tabelul V.1.

Programul experimental privind determinările
fizico-mecanice asupra IAFS

Tehnologia folosită	Lungimea fibrelor mm	p, fg %	Caracteristici fizico-mecanice							Nr. total epruvete buc	
			R _t	R _{ti}	R _c	σ _d	ρ _{ap}	E	E _d		
Pre-amestec	15	3	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		6	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		9	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		12	6	6	6	6	6	6	12	6	48
	30	3	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		6	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		9	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		12	6	6	6	6	6	6	12	6	48
	45	3	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		6	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		9	6	6	6	6	6	6	12	6	48
		12	6	6	6	6	6	6	12	6	48
Pulverizare	30	3	6	6	6	6	6	-	-	30	
		6	6	6	6	6	6	-	-	30	
		9	6	6	6	6	6	-	-	30	
	45	3	6	6	6	6	6	-	-	30	
		6	6	6	6	6	6	-	-	30	
		9	6	6	6	6	6	-	-	30	
Probe martor		6	6	6	6	6	6	12	6	48	
TOTAL :			114	114	114	114	114	156	78	804	

Tabelul V.2.

Proprietăți fizico-mecanice ale ipsosului

Calitatea	Culoarea	Finețea de măcinare		Timpul de priză (min)		Rezist. la tracțiune la 7 zile daN/cm ²	Rezist. la încoviere la 7 zile daN/cm ²	Rezist. la compresiune la 7 zile daN/cm ²
		rest sită nr. 0,75	rest sită nr. 0,20	început	sfârșit			
Ipsos de construcții	alb genușiu	4	12	4	9	17,5	-	62

Tabelul V.3.

Influența boraxului asupra procesului de priză și întărire

Cantitatea de ipsos gr	Apa de consistență normală gr	Cantitatea de borax		Începutul prizei minute	Sfârșitul prizei minute	Obs.
		% din ipsos	gr			
200	104	0	0	4	9	
200	104	0,40	0,8	35	65	
200	104	0,50	1,0	45	80	
200	104	0,75	1,5	155	260	

Tabelul V.4.

Determinări asupra excesului de apă din compozit

Lungimea fibrelor (mm)	Raport a/1 inițial	3 %	6 %	9 %	12 %
	Raport a/1 final				
15	inițial	0,7	0,8	0,8	-
	final	0,47	0,57	0,6	-
30	inițial	0,8	0,8	0,8	0,8
	final	0,55	0,53	0,58	0,60
45	inițial	0,8	0,8	0,8	0,8
	final	0,55	0,53	0,6	0,61

Tabelul V.5.

Rezultatele încercărilor la întindere centrică pentru IAFS
 cu fibre de 15 mm, realizat prin preamestec.

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tă	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Aria sec- țiu- nii A cm ²	Sar- cina de rupe- re P _r daN	Alun- girea Δl mm	Alun- girea speci- fică ϵ mm/m	ϵ med. mm/m	$R_t = \frac{P_r}{A}$ $\frac{daN}{cm^2}$	R _t mediu daN/cm ²
O ₁	0	101	24,2	12,3	3,12	37	-	-	11,80	11,90	10,5 s=1,21 C _v =11,5%
		102	23,3	13,7	3,20	38	-	-		11,80	
		103	23,5	14,1	3,30	36	-	-		10,30	
		104	24,1	14,5	3,49	33	-	-		9,45	
		105	22,7	14,0	3,20	30	-	-		9,38	
		106	24,2	13,2	3,19	30	-	-		9,40	
I ₁	3	107	23,5	15,5	3,64	72	3,0	37,5	40,2	19,80	18,2 s=1,43 C _v =7,90%
		108	24,0	16,5	3,96	73	3,2	40,0		18,43	
		109	24,8	15,2	3,77	68	3,4	42,5		18,05	
		110	23,3	15,1	3,52	60	3,2	40,0		17,05	
		111	24,1	16,1	3,88	63	3,3	41,2		16,23	
		112	23,8	14,9	3,55	70	3,2	40,0		19,70	
I ₁	6	113	23,9	13,0	3,11	74	5	62,5	52,7	23,80	24,9 s=1,36 C _v =5,46%
		114	25,0	12,7	3,18	82	4	50,0		25,79	
		115	23,6	13,6	3,21	78	3,9	48,8		24,30	
		116	23,5	13,2	3,10	81	3,5	43,8		26,13	
		117	23,4	13,7	3,21	74	4,8	60,0		23,05	
		118	24,4	13,9	3,39	89	4,1	51,3		26,30	
I ₁	9	119	24,1	12,5	3,01	92	5,9	73,7	66,1	30,56	29,3 s=0,79 C _v =2,70%
		120	24,0	12,5	3,00	87	4,9	61,3		29,00	
		121	24,3	12,3	2,99	89	5,5	68,8		29,76	
		122	24,1	12,2	2,94	83	5,0	62,5		28,23	
		123	24,0	12,6	3,02	88	5,3	66,3		29,13	
		124	23,9	12,5	2,99	87	5,1	65,8		29,10	
I ₁	12	125	24,0	12,0	2,88	90	5,2	65	68,6	31,25	30,0 s=0,95 C _v =3,20%
		126	24,5	12,2	2,99	85	5,0	62,5		28,43	
		127	24,1	12,8	3,08	91	5,7	71,3		29,55	
		128	24,0	13,0	3,12	95	5,6	70,0		30,45	
		129	24,8	12,8	3,17	96	5,9	73,7		30,28	
		130	24,5	12,6	3,09	93	5,5	68,8		30,09	

Tabelul V.6.

Rezultatul încercărilor la întindere centrică pentru IAFS
cu fibre de 30 mm, realizat prin preamestec.

In- di- ca- tiv	p fg %	Nr. e- pru- ve- tă	Lăți- mea b mm	Grosi- mea h mm	Aria secți- unii A cm ²	Sarci- na de rupere P _r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _t mediu daN/cm ²
I ₁	3	251	24,1	12,5	3,01	45	15,0	14,7 s=0,97 C _v =6,6%
		252	24,4	12,8	3,12	51	16,3	
		253	24,0	13,0	3,12	43	13,8	
		254	24,9	12,7	3,16	48	15,2	
		255	24,1	12,8	3,08	43	14,0	
		256	24,5	12,3	3,01	42	14,0	
I ₁	6	257	24,1	12,0	2,89	48	16,6	17,8 s=1,30 C _v =7,3%
		258	23,8	12,2	2,90	54	18,5	
		259	24,0	11,9	2,86	51	17,8	
		260	24,6	12,3	3,03	48	15,9	
		261	24,9	12,1	3,01	57	18,9	
		262	24,0	12,3	2,95	56	19,0	
I ₁	9	263	23,8	13,1	3,12	60	19,3	20,3 s=1,88 C _v =9,3%
		264	24,5	13,0	3,19	65	20,4	
		265	24,1	12,8	3,08	64	20,8	
		266	24,3	13,2	3,21	69	21,5	
		267	23,8	13,8	3,05	68	22,3	
		268	24,5	13,4	3,28	58	17,6	
I ₁	12	269	24,5	12,8	3,14	71	22,6	22 s=1,30 C _v =5,9%
		270	24,0	12,5	3,00	66	22,0	
		271	24,4	13,0	3,17	67	21,1	
		272	23,9	12,7	3,06	61	19,9	
		273	24,7	12,3	3,04	71	23,4	
		274	24,3	12,1	3,18	73	23,0	

Tabelul V.7.

Rezultatele încercărilor la întindere centrică pentru IAFS
cu fibre de 45 mm, realizat prin preamestec

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Grosi- mea h mm	Aria secți- unii A cm ²	Sarci- na de rupere P _r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _t mediu daN/cm ²
I ₁	3	371	25,1	12,8	3,21	56	17,4	16,8 s=1,2 C _v =7,10%
		372	24,8	12,3	3,05	53	17,4	
		373	25,2	12,7	3,20	50	15,6	
		374	24,6	12,5	3,08	49	15,9	
		375	25,0	12,7	3,18	51	16,0	
		376	25,2	13,0	3,28	61	18,6	
I ₁	6	377	24,4	13,0	3,17	65	20,5	22,00 s=2,5 C _v =11,40%
		378	24,7	12,9	3,19	71	22,2	
		379	24,5	12,8	3,14	75	23,9	
		380	25,0	13,0	3,25	84	25,8	
		381	24,8	12,7	3,15	60	19,0	
		382	24,9	12,8	3,19	66	20,7	
I ₁	9	383	24,3	13,2	3,21	78	24,3	24,8 s=2,2 C _v =8,90%
		384	24,4	13,4	3,27	88	26,9	
		385	25,0	12,9	3,23	71	22,0	
		386	24,3	13,4	3,26	91	27,9	
		387	24,8	13,0	3,22	76	23,6	
		388	24,7	12,8	3,16	76	24,1	
I ₁	12	389	24,5	12,6	3,08	75	24,2	26,1 s=1,6 C _v =6,10%
		390	24,6	12,8	3,15	85	26,8	
		391	25,0	12,4	3,10	78	25,2	
		392	24,3	12,8	3,11	89	28,6	
		393	24,9	12,8	3,19	83	26,0	
		394	24,7	12,7	3,12	80	25,6	

Tabelul V.8

Rezultatul, încercărilor la întindere centrică pentru IAFS
cu fibre de 30 mm, realizat prin pulverizare

In- di- ca- tiv	ν , p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Grosi- mea h mm	Aria secți- unii A cm ²	Sarci- na de rupere P _r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _t mediu daN/cm ²
I ₁	3	501	24,1	12,1	2,92	85	29,11	28,8 s = 1,20 C _v = 4,2 %
		502	24,3	12,0	2,92	86	29,45	
		503	24,0	12,0	2,88	83	28,81	
		504	24,6	12,2	3,00	84	28,00	
		505	24,5	12,4	3,04	82	26,97	
		506	24,7	12,1	2,99	91	30,43	
I ₁	6	507	24,0	12,5	3,00	115	38,33	37,9 s = 1,87 C _v = 4,9 %
		508	24,3	12,8	3,11	121	38,91	
		509	24,2	12,7	3,07	114	37,13	
		510	23,9	12,4	2,96	111	37,50	
		511	24,9	12,7	3,16	123	38,92	
		512	24,7	12,6	3,11	114	36,65	
I ₁	9	513	24,1	12,8	3,08	127	41,23	40,1 s = 1,00 C _v = 2,5 %
		514	24,6	13,0	3,20	125	39,06	
		515	24,0	12,7	3,05	126	41,31	
		516	24,2	12,9	3,12	126	40,38	
		517	24,5	13,1	3,21	127	39,56	
		518	24,4	13,0	3,17	124	39,12	

Tabelul V.9.

Rezultatele încercărilor la întindere centrică pentru IAFS cu fibre de 45 mm, realizat prin pulverizare

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Grosi- mea h mm	Aria secți- unii A cm ²	Saeci- na de rupere P _r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _t mediu daN/cm ²
I ₁	3	591	24,3	12,3	2,99	90	30,10	30,7 s = 1,1 C _v = 3,6%
		592	24,7	12,0	2,96	88	29,73	
		593	24,8	11,9	2,95	88	29,83	
		594	25,0	12,5	3,13	95	30,35	
		595	24,9	12,2	3,04	98	32,24	
		596	24,8	12,2	3,03	97	32,01	
I ₁	6	597	24,9	12,8	3,19	135	42,31	41,2 s = 1,00 C _v = 2,5%
		598	24,7	12,4	3,06	130	42,48	
		599	24,7	12,6	3,11	128	41,16	
		600	24,3	12,5	3,04	121	39,30	
		601	24,8	12,6	3,12	127	40,71	
		602	25,0	12,5	3,13	127	40,58	
I ₁	9	603	24,3	12,9	3,13	144	46,00	42,8 s = 2,9 C _v = 6,8%
		604	24,5	12,8	3,14	139	44,27	
		605	23,9	13,0	3,10	122	39,35	
		606	24,1	13,1	3,16	123	38,92	
		607	24,7	12,9	3,19	141	44,20	
		608	24,8	13,0	3,22	142	44,10	

Tabelul V.10.

Rezultatele încercărilor la întindere din încovoiere pentru IAFS cu fibre de 15 mm, realizat prin preamestec

In- di- ca- tiv	p fg %	Nr. e- pru- ve- lei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Aria sec- țiu- nii A cm ²	W = $\frac{bh^2}{6}$ cm ³	Sarci- na de rupere P _r =2P daN	M = 4,5P daNcm	R _{ti} = $\frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{ti} mediu daN/cm ²
O ₃	0	161	50,4	13,2	6,65	1,46	17	38,25	26,2	25,4 s= 1,08 C _v =4,25%
		162	50,0	13,8	6,90	1,59	17	38,25	24,1	
		163	49,8	14,0	6,97	1,63	18	40,50	24,8	
		164	50,3	13,7	6,89	1,57	17	38,25	24,4	
		165	49,3	14,1	6,95	1,63	19	42,75	26,2	
		166	50,2	14,2	7,13	1,69	20	45	26,6	
I ₃	3	167	50	15,6	7,80	2,03	55	123,75	61,0	61,3 s= 2,55 C _v =4,20%
		168	50,3	16,2	8,15	2,20	56	126	57,3	
		169	49,8	15,0	7,47	1,87	53	119,25	63,8	
		170	50,8	15,3	7,77	1,98	53	119,25	60,2	
		171	50,0	16,0	8,00	2,13	58	130,50	61,3	
		172	50,4	15,0	7,56	1,89	54	121,50	64,3	
I ₃	6	173	49	12,7	6,22	1,32	45	101,25	76,7	74,2 s= 3,2 C _v =4,30%
		174	49	12,8	6,27	1,34	44	99	73,9	
		175	50	13,5	6,75	1,52	50	112,50	74,0	
		176	50,1	13,8	6,91	1,59	50	112,50	70,8	
		177	49,8	13,0	6,47	1,40	49	110,25	78,8	
		178	50,4	13,9	7,01	1,62	51	114,75	70,8	
I ₃	9	179	50,2	12,5	6,28	1,31	50	112,5	85,9	86 s= 1,97 C _v =2,29%
		180	50,0	12,1	6,21	1,25	48	108	86,4	
		181	49,8	12,6	6,27	1,32	52	117	88,6	
		182	50,4	12,8	6,45	1,38	53	119,25	86,4	
		183	50,3	12,4	6,24	1,29	48	108	83,7	
		184	50,0	12,5	6,25	1,30	49	110,25	84,8	
I ₃	12	185	49,6	12,1	6,00	1,21	50	112,50	92,9	88,6 s= 3,16 C _v =3,57%
		186	50,1	12,4	6,21	1,28	51	114,75	89,6	
		187	50,0	12,2	6,10	1,24	48	108	87,1	
		188	50,8	13,0	6,60	1,43	55	123,75	86,5	
		189	50,3	12,8	6,44	1,37	53	119,25	87,0	
		190	49,9	12,5	6,24	1,30	51	114,75	88,3	

Tabelul V.11.

Rezultatele încercărilor la întindere din încovoiere pentru IAFS cu fibre de 30 mm, realizate prin preamestec

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- lei	Lăți- mea b mm	Cro- si- mea h mm	Aria sec- țiu- nii A cm ²	W = $\frac{bh^2}{6}$ cm ³	Barci- na de rupere P _r =2P daN	M = 4,5P daNcm	R _{ti} = $\frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{ti} mediu daN/cm ²
I ₃	3	299	50,2	12,4	6,22	1,24	30	67,50	52,3	46,5 s= 3,3 C _v =7,10%
		300	50,0	12,6	6,30	1,32	27	60,75	46,0	
		301	50,5	12,7	6,41	1,36	228	63,00	46,3	
		302	49,8	12,9	6,42	1,38	28	63,00	45,7	
		303	50,3	13,1	6,59	1,44	27	60,75	42,2	
		304	50,1	12,3	6,16	1,26	26	58,50	46,4	
I ₃	6	305	50,0	12,1	6,05	1,22	31	69,75	57,2	60,2 s= 4,0 C _v =6,60%
		306	50,3	11,9	5,99	1,19	29	65,25	54,8	
		307	50,1	12,0	6,01	1,20	34	76,5	63,8	
		308	49,9	12,3	6,14	1,26	32	72,00	57,1	
		309	50,2	12,1	6,07	1,22	35	78,75	64,5	
		310	50,2	12,3	6,17	1,27	36	81,00	63,8	
I ₃	9	311	50,0	12,8	6,40	1,37	44	99,00	72,3	71,6 s= 2,2 C _v =3,10%
		312	49,9	13,0	6,48	1,41	43	96,75	68,6	
		313	50,4	13,1	6,60	1,44	48	108,00	75,0	
		314	50,4	12,9	6,50	1,40	45	101,25	72,3	
		315	50,2	13,3	6,68	1,48	46	103,50	69,9	
		316	50,0	13,2	6,60	1,45	46	103,50	71,4	
I ₃	12	317	50,2	12,7	6,38	1,35	43	96,75	71,7	73,5 s= 4,2 C _v =5,70%
		318	49,8	13,0	6,47	1,40	45	101,25	72,3	
		319	50,1	12,9	6,46	1,39	44	99,00	71,2	
		320	50,5	12,8	6,46	1,38	42	94,50	68,5	
		321	50,4	13,0	6,55	1,42	50	112,50	79,2	
		322	50,3	12,6	6,34	1,33	46	103,50	77,8	

Tabelul V.12.

Rezultatele încercărilor la întindere din încovoiere
pentru IAFS cu fibre de 45 mm, realizate prin preamestec

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- lei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Aria secți- unii A cm ²	W = $\frac{bh^2}{6}$ cm ³	Sarci- na de rupere P _r =2P daN	M = 4,5P daNcm	R _{ti} = $\frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{ti} mediu daN/cm ²
I ₃	3	419	49,3	13,1	6,46	1,41	34	76,50	54,3	50,3 s= 2,4 C _v =4,80%
		420	49,6	13,0	6,45	1,40	31	69,75	49,8	
		421	50,4	12,9	6,50	1,40	32	72,00	51,4	
		422	49,6	12,5	6,20	1,29	27	60,75	47,1	
		423	49,8	12,7	6,32	1,34	29	65,25	48,7	
		424	50,1	12,6	6,31	1,33	30	67,50	50,7	
I ₃	6	425	48,9	12,1	5,92	1,19	37	83,25	70,0	63,6 s= 3,9 C _v =6,10%
		426	49,8	12,0	5,98	1,20	33	74,25	61,9	
		427	49,3	12,5	6,16	1,28	34	76,50	59,8	
		428	49,0	11,9	5,83	1,17	34	76,50	65,4	
		429	49,6	12,7	6,30	1,33	37	83,25	62,6	
		430	50,1	12,4	6,21	1,28	34	76,50	59,8	
I ₃	9	431	49,6	13,2	6,55	1,44	49	110,25	76,6	74,6 s= 5,0 C _v =6,70%
		432	50,1	13,0	6,51	1,41	44	99,00	70,2	
		433	48,8	13,4	6,54	1,46	47	105,75	72,4	
		434	49,7	12,9	6,41	1,38	42	94,50	68,4	
		435	49,8	13,1	6,52	1,42	50	112,50	79,2	
		436	50,2	13,3	6,68	1,48	53	119,25	80,6	
I ₃	12	437	48,9	12,8	6,26	1,34	51	114,75	85,6	77,1 s= 5,1 C _v =6,60%
		438	49,7	13,1	6,51	1,42	50	112,50	79,2	
		439	49,4	12,9	6,37	1,40	44	99,00	70,7	
		440	49,7	12,7	6,31	1,34	44	99,00	73,9	
		441	49,5	13,0	6,44	1,40	47	105,75	75,5	
		442	49,9	12,8	6,39	1,36	47	105,75	77,8	

Tabelul V.13.

Rezultatele încercărilor la întindere din încovoiere
pentru IAFS cu fibre de 30 mm, realizat prin pulverizare.

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Aria sec- țiu- nii A cm ²	W = $\frac{bh^2}{6}$ cm ³	Sarci- na de rupere P _r =2P daN	M = 4,5P daNcm	R _{ti} = $= \frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{ti} mediu daN/cm ²
I ₃	3	537	50,0	12,1	6,21	1,25	38	85,50	68,4	62,8 s= 3,8 C _v =6,1%
		538	50,2	12,5	6,23	1,31	36	81,00	61,8	
		539,	49,6	12,1	6,00	1,21	36	81,00	66,9	
		540	49,9	12,5	6,24	1,30	35	78,75	60,6	
		541	50,0	12,2	6,10	1,24	32	74,25	59,9	
		542	50,1	12,4	6,21	1,28	34	76,50	99,80	
I ₃	6	543	49,0	12,8	6,27	1,34	46	103,50	77,2	76 s= 3,3 C _v =4,3%
		544	49,0	12,7	6,22	1,32	44	99,00	75,0	
		545	49,8	12,6	6,27	1,32	42	94,50	71,6	
		546	50,0	12,9	6,45	1,39	45	101,25	72,8	
		547	50,1	12,5	6,26	1,30	46	103,50	79,6	
		548	49,8	12,4	6,18	1,28	45	101,25	79,1	
I ₃	9	549	49,8	13,0	6,47	1,40	55	123,75	88,4	89 s=2,15 C _v =2,4%
		550	49,9	12,8	6,39	1,36	56	126,00	92,6	
		551	50,1	13,1	6,56	1,43	55	123,75	86,5	
		552	48,8	12,9	6,30	1,35	53	119,25	88,3	
		553	49,5	13,0	6,44	1,39	56	126,00	90,6	
		554	49,8	13,0	6,47	1,40	55	123,75	88,4	

Tabelul V.14.

Rezultatele încercărilor la întindere din încovoiere
pentru IAFS cu fibre de 45 mm, realizat prin pulverizare

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Aria sec- țiu- nii A cm ²	W = $\frac{bh^2}{6}$ cm ³	Sarci- na de rupere P _r =2P daN	M = 4,5P daNcm	R _{ti} = $\frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{ti} mediu daN/cm ²
I ₃	3	627 _m	49,5	12,0	5,94	1,19	40	90,00	75,6	71 s= 4,0 C _v =5,6%
		628	50,1	12,4	6,21	1,28	36	81,00	63,3	
		629	48,9	12,1	5,92	1,19	38	85,50	71,8	
		630	49,8	12,2	6,08	1,24	39	87,75	70,8	
		631	49,7	12,2	6,06	1,23	40	90,00	73,2	
		632	50,0	12,0	6,00	1,20	38	85,50	71,3	
I ₃	6	633	49,8	12,6	6,27	1,32	55	123,75	93,8	85 s= 6,1 C _v =7,2%
		634	49,6	12,5	6,20	1,29	51	114,75	89,0	
		635	49,5	12,5	6,19	1,29	45	101,25	78,5	
		636	49,9	12,7	6,34	1,34	52	117,00	87,3	
		637	50,1	12,4	6,21	1,28	45	101,25	79,1	
		638	50,0	12,6	6,30	1,32	43	108,00	81,8	
I ₃	9	639	49,3	12,9	6,36	1,37	60	135,00	98,5	95,1 s= 3,0 C _v =3,2%
		640	49,2	13,1	6,45	1,41	59	132,75	94,1	
		641	49,2	13,0	6,40	1,39	60	135,00	97,1	
		642	49,8	13,1	6,52	1,42	57	128,25	90,3	
		643	49,7	12,9	6,41	1,38	58	130,50	94,6	
		644	49,8	12,9	6,42	1,38	59	132,75	96,2	

Tabelul V.15.

Rezultatele încercărilor la compresiune centrică pentru IAFS
cu fibre de 15 mm, realizat prin preamestec

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Grosi- mea h mm	Aria secți- unii A cm ²	Sarci- na de rupere P _r daN	$R_c = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _c mediu daN/cm ²
O ₂	0	131	24,2	12,9	3,12	197	63,1	58,7 s = 2,45 C _v = 4,20%
		132	24,3	13,7	3,33	195	58,6	
		133	25,6	13,9	3,60	207	57,5	
		134	23,7	14,9	3,53	210	59,5	
		135	24,6	14,0	3,44	195	56,7	
		136	24,1	14,1	3,40	193	56,8	
I ₂	3	137	24,6	14,5	3,58	219	61,2	62 s = 1,35 C _v = 2,20 %
		138	24,8	15,5	3,85	246	63,9	
		139	24,1	15,5	3,74	232	62,0	
		140	23,7	14,0	3,32	204	61,6	
		141	24,0	13,8	3,32	200	60,2	
		142	24,5	13,3	3,26	206	63,2	
I ₂	6	143	24,1	13,2	3,18	190	59,7	60 s = 1,54 C _v = 2,60%
		144	23,9	13,5	3,23	201	62,2	
		145	24,0	13,0	3,12	130	57,7	
		146	23,6	13,6	3,21	192	59,8	
		147	24,4	13,5	3,29	197	59,9	
		148	24,8	13,0	3,22	196	60,8	
I ₂	9	149	24,0	12,8	3,07	183	59,6	58 s = 0,54 C _v = 0,93%
		150	23,9	12,6	3,01	172	57,1	
		151	24,3	12,4	3,01	175	58,1	
		152	24,0	12,5	3,00	173	57,7	
		153	24,2	12,8	3,10	180	58,1	
		154	24,4	12,4	3,03	174	57,4	
I ₂	12	155	24,2	12,7	3,07	172	56,0	56,7 s = 1,88 C _v = 3,3 %
		156	24,0	12,2	2,93	162	55,3	
		157	24,9	12,8	3,04	165	54,3	
		158	23,9	12,5	2,99	170	56,8	
		159	24,5	12,3	3,01	178	59,1	
		160	24,7	12,7	3,14	184	58,6	

Tabelul V.16.

Rezultatele încercărilor la compresiune centrică pentru IAFS cu fibre de 30 mm, realizat prin preamestec

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Grosi- mea h mm	Aria secți- unii A cm ²	Sarci- na de rupere P _r daN	$R_c = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _c mediu daN/cm ²
I ₂	3	275	23,8	12,9	3,07	177	57,7	60,2 s = 7,1 C _v = 11,8%
		276	24,2	12,7	3,07	211	68,7	
		277	23,9	13,0	3,11	213	68,5	
		278	24,0	12,6	3,02	182	60,3	
		279	24,0	13,0	3,12	165	52,9	
		280	24,5	12,8	3,14	167	53,2	
I ₂	6	281	24,1	12,1	2,92	185	63,4	55,1 s = 5,37 C _v = 9,7%
		282	23,8	12,0	2,86	151	52,8	
		283	24,5	12,4	3,04	183	60,2	
		284	23,9	12,1	2,81	144	49,8	
		285	24,4	11,9	2,90	151	52,1	
		286	24,3	12,0	2,92	153	52,4	
I ₂	9	287	24,0	12,9	3,10	152	49,0	48,5 s = 1,4 C _v = 2,9%
		288	24,4	13,4	3,27	150	45,9	
		289	24,3	13,7	3,33	161	48,3	
		290	24,0	13,2	3,17	158	49,8	
		291	23,9	13,5	3,23	158	48,9	
		292	24,4	13,0	3,17	156	49,2	
I ₂	12	293	24,3	12,7	3,16	117	37,0	42 s = 3,1 C _v = 7,5%
		294	24,1	13,0	3,13	123	39,3	
		295	24,1	12,9	3,11	134	43,1	
		296	24,0	13,2	3,17	142	44,8	
		297	23,8	13,2	3,14	136	43,3	
		298	24,0	13,0	3,12	139	44,6	

Tabelul V.17.

Rezultatele încercărilor la compresiune centrică
pentru IAFS cu fibre de 45 mm, realizat prin preamestec

Indicativ	p, fg %	Nr. e-pruvei	Lățimea b mm	Grosimea h mm	Aria secțiunii A daN	Sarcina de rupere P _r daN	$R_c = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _c mediu daN/cm ²
I ₂	3	395	24,1	12,3	2,96	186	62,8	59,3 s = 3,5 C _v = 5,90%
		396	23,3	12,5	2,98	191	64,1	
		397	24,5	12,6	3,09	175	56,6	
		398	24,0	12,7	3,05	183	60,0	
		399	24,8	13,0	3,22	180	55,9	
		400	24,5	12,3	3,01	170	56,5	
I ₂	6	401	24,9	13,0	3,24	171	52,8	53,3 s = 2,7 C _v = 5,00%
		402	24,3	12,9	3,13	166	53,0	
		403	24,5	13,1	3,21	179	55,8	
		404	24,7	12,6	3,11	153	49,2	
		405	24,3	12,9	3,13	176	56,2	
		406	24,5	12,7	3,11	174	55,9	
I ₂	9	407	23,9	13,2	3,15	139	44,1	47,0 s = 1,98 C _v = 4,20%
		408	23,8	13,0	3,09	147	47,6	
		409	24,1	13,3	3,21	153	47,7	
		410	24,2	12,8	3,10	155	50,0	
		411	24,0	12,8	3,07	141	45,9	
		412	24,3	13,0	3,16	148	46,8	
I ₂	12	413	24,0	12,8	3,07	129	42	40 s = 1,85 C _v = 4,60%
		414	24,1	12,5	3,01	117	38,9	
		415	24,3	12,7	3,09	124	40,1	
		416	24,1	12,8	3,08	131	42,5	
		417	24,4	13,0	3,17	122	38,5	
		418	24,1	12,6	3,04	116	38,1	

Tabelul V.18.

Rezultatele încercărilor la compresiune centrică
pentru IAFS cu fibre de 30 mm, realizat prin pulverizare

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Grosi- mea h mm	Aria secți- unii A cm ²	Sarci- na de rupere P _r daN	$R_c = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _c mediu daN/cm ²
I ₂	3	519	24,6	12,1	2,98	198	66,4	64,2 s = 1,86 C _v = 2,9%
		520	24,7	12,4	3,06	202	66,0	
		521	24,6	12,0	2,95	193	65,2	
		522	24,1	12,3	2,96	187	63,2	
		523	24,8	12,2	3,03	191	63,0	
		524	24,5	12,0	2,94	181	61,6	
I ₂	6	525	24,3	12,6	3,06	194	63,4	62,0 s = 1,34 C _v = 2,2%
		526	24,5	12,4	3,04	190	62,5	
		527	24,6	12,7	3,12	191	61,2	
		528	24,5	12,3	3,01	188	62,5	
		529	24,4	12,5	3,05	182	59,7	
		530	24,8	12,6	3,12	196	62,8	
I ₂	9	531	24,3	13,0	3,16	189	59,8	59 s = 1,01 C _v = 1,7%
		532	24,4	12,8	3,12	189	60,6	
		533	24,6	12,9	3,17	185	58,4	
		534	24,3	13,0	3,16	184	58,2	
		535	24,5	12,7	3,11	183	58,8	
		536	24,6	12,8	3,15	183	58,1	

Tabelul V.19.

Rezultatele încercărilor la compresiune centrică
 pentru IAFS cu fibre de 45 mm, realizat prin pulverizare

Indi- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Grosi- mea h mm	Ariă secți- unii A cm ²	Sarci- na de rupere P _r daN	$R_c = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _c mediu daN/cm ²
I ₂	3	609	24,5	12,0	2,94	199	67,7	65,4 s = 2,2 C _v = 3,4%
		610	24,7	12,3	3,04	201	66,1	
		611	24,4	12,3	3,00	185	61,7	
		612	24,8	12,2	3,03	198	65,3	
		613	24,6	12,1	2,98	192	64,4	
		614	24,5	12,2	2,99	201	67,2	
I ₂	6	615	24,7	12,4	3,06	184	60,1	59,6 s = 3,1 C _v = 5,2%
		616	24,8	12,7	3,15	196	62,2	
		617	24,4	12,5	3,05	180	59,0	
		618	24,1	12,5	3,01	178	59,1	
		619	24,3	12,4	3,01	176	58,5	
		620	24,0	12,6	3,02	177	58,6	
I ₂	9	621	24,3	12,9	3,14	175	55,7	57,2 s = 0,97 C _v = 1,7%
		622	24,3	13,1	3,18	179	56,2	
		623	24,0	13,0	3,12	179	57,4	
		624	24,1	13,0	3,13	182	58,1	
		625	24,5	12,9	3,16	183	57,9	
		626	24,8	12,8	3,17	183	57,7	

Tabelul V.20.

Rezultatele încercărilor la șoc pentru IAFS cu
fibre de 15 mm, realizat prin preamestec
(E = 60.000 daN/cm²)

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Inăl- țimea de că- dere h _r cm	$\sigma_d =$ $\frac{1}{d} \sqrt{\frac{12P_r h_r E}{l}}$ daN.cm/cm ²	σ_d mediu daN.cm/cm ²
O ₄	0	191	25,0	13,7	0,8	73,1	83,8 s = 6,37 C _v = 7,60%
		192	23,2	13,3	0,8	84,2	
		193	24,4	13,8	0,8	76,0	
		194	23,0	13,9	1,0	93,0	
		195	23,5	14,0	1,0	85,0	
		196	24,2	14,1	1,0	83,7	
I ₄	3	197	23,6	15,4	3,4	165	159 s = 5,36 C _v = 3,4%
		198	24,1	16,0	3,2	158	
		199	24,7	15,3	3,0	150	
		200	24,0	15,3	3,4	163	
		201	23,8	15,0	3,7	156	
		202	24,0	15,9	3,3	160	
I ₄	6	203	24,0	13,1	8,5	258	252 s = 7,25 C _v = 2,90%
		204	24,8	13,0	9,3	261	
		205	23,9	13,5	8,1	252	
		206	24,0	13,2	8,3	255	
		207	23,6	13,5	7,6	248	
		208	24,3	13,8	7,6	241	
I ₄	9	209	24,2	12,7	14,00	326	326 s = 6,40 C _v = 2,0%
		210	24,1	12,7	13,6	324	
		211	24,4	12,3	14,4	330	
		212	24,1	12,2	12,7	314	
		213	24,0	12,7	14,1	332	
		214	24,0	12,4	13,6	325	

Tabelul V.21.

Rezultatele încercărilor la șoc pentru IAFS cu fibre de 30 mm, realizat prin preamestec ($E = 60.000 \text{ daN/cm}^2$)

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Inăl- țimea de că- dere h_r cm	$\sigma_d =$ $\frac{1}{b} \sqrt{\frac{12P_r h_r E}{l}}$ daN.cm/cm ²	σ_d mediu daN.cm/cm ²
I ₄	3	323	24,3	12,3	2,8	148	141 s = 12,7 C _v = 9,00%
		324	24,9	12,3	2,6	136	
		325	25,1	12,0	2,7	139	
		326	24,8	12,7	2,2	120	
		327	24,7	12,5	2,9	146	
		328	25,0	12,4	3,4	157	
I ₄	6	329	25,1	12,1	5,8	203	209 s = 8,90 C _v = 4,3 %
		330	24,9	11,9	6,2	213	
		331	24,3	12,0	6,0	214	
		332	24,8	12,2	6,8	222	
		333	24,9	12,0	5,6	201	
		334	25,0	12,1	5,5	200	
I ₄	9	335	24,3	12,8	12,0	302	291 s = 9,30 C _v = 3,2 %
		336	24,9	13,0	11,1	283	
		337	24,8	13,2	10,6	278	
		338	25,2	13,1	12,6	299	
		339	25,0	13,0	12,0	293	
		340	24,7	13,4	11,4	289	
I ₄	12	341	24,4	12,7	17,5	365	350 s = 10,90 C _v = 3,1 %
		342	24,9	12,9	15,8	339	
		343	24,7	13,2	16,3	347	
		344	24,5	12,8	15,1	337	
		345	24,8	13,0	17,3	356	
		346	25,1	13,1	17,7	356	

Tabelul V.22.

Rezultatele încercărilor la șoc pentru IAFS cu fibre de 45 mm, realizat prin preamestec ($E = 60.000 \text{ daN/cm}^2$)

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Inăl- țimea de că- dere h _r cm	$\sigma_d =$ $\frac{1}{b} \sqrt{\frac{12P_r h_r E}{l}}$ daN.cm/cm ²	σ_d mediu daN.cm/cm ²
I ₄	3	443	24,5	12,6	3,2	155	152 s = 6,2 C _v = 4,10%
		444	24,3	12,9	2,9	148	
		445	24,4	13,0	3,1	153	
		446	24,9	12,5	3,6	162	
		447	25,0	12,8	2,9	144	
		448	24,8	12,5	3,1	150	
I ₄	6	449	24,8	12,1	8,2	224	243 s = 11,7 C _v = 4,80%
		450	24,6	12,4	8,9	257	
		451	25,1	11,8	7,8	236	
		452	25,2	12,0	9,3	257	
		453	24,6	12,2	7,2	251	
		454	24,8	12,3	7,4	233	
I ₄	9	455	24,6	13,1	13,5	317	317 s = 11,2 C _v = 3,50%
		456	24,5	12,8	14,8	333	
		457	24,8	13,0	14,2	323	
		458	24,6	12,9	13,7	319	
		459	24,9	12,8	12,4	300	
		460	25,1	12,6	13,4	310	
I ₄	12	461	24,6	12,8	20,0	386	390 s = 13,4 C _v = 4,60%
		462	24,7	12,5	23,0	412	
		463	24,7	12,9	24,5	425	
		464	24,8	13,0	19,5	373	
		465	24,5	12,8	20,0	388	
		466	24,6	12,7	20,0	386	

Tabelul V.23.

Rezultatele încercărilor la șoc pentru IAFS cu fibre de 30 mm, realizat prin pulverizare ($E = 60.000 \text{ daN/cm}^2$)

In- di- ca- tiv	p. fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Inăl- țimea de că- dere h_r cm	$\sigma_d =$ $\frac{1}{b} \sqrt{\frac{12P_r h_r E}{l}}$ daN.cm/cm ²	σ_d mediu daN.cm/cm ²
I ₄	3	555	24,4	12,3	3,2	156	161 s = 3,9 C _v = 2,4%
		556	24,8	12,1	3,6	162	
		557	24,6	12,4	3,3	157	
		558	24,7	12,1	3,7	165	
		559	24,5	12,2	3,6	164	
		560	24,9	12,3	3,6	164	
I ₄	6	561	25,1	12,7	9,3	258	259 s = 3,4 C _v = 1,3%
		562	24,8	12,8	8,9	255	
		563	24,7	12,5	9,5	264	
		564	24,6	12,9	9,2	261	
		565	24,8	12,6	9,0	256	
		566	24,6	12,5	9,1	260	
I ₄	9	567 _m	24,1	13,0	14,8	339	332 s = 9,7 C _v = 2,9%
		568	24,3	12,9	15,4	345	
		569	24,1	12,8	14,1	331	
		570	24,4	13,1	13,3	318	
		571	24,3	13,0	14,0	325	
		572	24,2	13,2	14,5	334	

Tabelul V.24.

Rezultatele încercărilor la șoc pentru IAFS cu fibre de 45 mm, realizat prin pulverizare ($E = 60.000 \text{ daN/cm}^2$)

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Lăți- mea b mm	Gro- si- mea h mm	Inăl- țimea de că- dere h _r cm	$\sigma_d =$ $\frac{1}{b} \sqrt{\frac{12P_r h_r E}{l}}$ daN.cm/cm ²	σ_d mediu daN.cm/cm ²
I ₄	3	645	24,4	12,1	3,6	165	169 s = 3,3 C _v = 2,0%
		646	24,5	11,9	3,9	171	
		647	24,1	12,2	3,7	169	
		648	24,7	12,1	4,1	174	
		649	24,0	12,0	3,6	168	
		650	24,6	12,2	3,7	166	
I ₄	6	651	24,8	12,6	10,0	271	271 s = 10,4 C _v = 3,8%
		652	24,1	12,4	10,8	290	
		653	24,5	12,5	9,9	273	
		654	24,9	12,5	9,6	264	
		655	24,5	12,6	9,0	260	
		656	24,6	12,7	9,7	269	
I ₄	9	657	24,2	12,9	16,0	350	350 s = 5,7 C _v = 1,6%
		658	24,4	12,8	15,2	339	
		659	24,0	13,0	15,6	349	
		660	24,2	13,1	16,4	355	
		661	24,3	12,9	16,4	353	
		662	24,7	13,0	16,8	352	

Tabelul V.25.

Rezultatele determinărilor asupra modurilor de elasticitate static (E) și dinamic (E_d) pentru IAFS cu fibre de 30 și 45 mm, realizat prin preamestec.

$\frac{p}{f_g}$ %	Lungimea fibrei mm	E daN/cm ²	E_d daN/cm ²
0	30	49.000	52.000
	45	49.000	52.000
3	30	50.000	-
	45	56.000	57.000
6	30	53.000	53.000
	45	58.000	60.000
9	30	55.000	56.000
	45	63.000	62.000
12	30	56.000	54.000
	45	62.000	61.000

Tabelul V.26.

Rezultatele măsurătorilor pentru determinarea densității la IAFS cu fibre de 15 mm, realizat prin preamestec.

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Dimensiunile epru- vetelor			Volu- mul V cm ³	Ma- sa M gr	Densi- tatea $\rho_{ap} = M/V$ gr/cm ³	Densitatea medie ρ_{ap} gr/cm ³
			b mm	ℓ mm	h mm				
0 ₅	0	221	48,9	49,3	13,1	31,6	43	1,36	1,22 s = 0,045 C _v = 3,50%
		222	48,5	48,4	13,7	32,2	41	1,27	
		223	48,9	51,0	13,4	33,4	43	1,29	
		224	48,1	50,0	13,3	32,2	40	1,24	
		225	49,5	50,0	13,3	32,9	42	1,28	
		226	50,0	49,3	13,0	32,0	41	1,28	
I ₅	3	227	49,2	49,5	16,4	39,9	55	1,38	1,36 s = 0,044 C _v = 3,30%
		228	49,9	48,9	15,3	37,3	51	1,37	
		229	50,4	50,9	15,5	39,8	51	1,28	
		230	48,5	49,3	16,3	39,0	52	1,33	
		231	49,9	50,4	16,4	41,2	57	1,38	
		232	50,2	49,8	14,3	35,7	50	1,40	
I ₅	6	233	49,4	49,5	12,5	30,6	40	1,31	1,29 s = 0,02 C _v = 1,70%
		234	48,2	50,0	13,5	32,5	42	1,29	
		235	49,3	49,1	12,8	31,0	40	1,29	
		236	49,6	49,9	13,5	33,4	42	1,26	
		237	48,9	49,1	13,0	31,2	41	1,31	
		238	49,7	49,6	13,0	32,0	41	1,28	
I ₅	9	239	48,3	49,2	12,8	30,4	38	1,25	1,27 s = 0,02 C _v = 1,70%
		240	48,1	49,0	12,3	28,9	37	1,27	
		241	49,0	49,0	12,0	28,8	37	1,28	
		242	49,0	48,8	13,0	31,1	40	1,29	
		243	49,7	49,0	12,7	31,1	39	1,25	
		244	48,9	49,1	13,0	31,2	40	1,28	
I ₅	12	245	49,9	49,7	12,3	30,5	38	1,24	1,25 s = 0,02 C _v = 1,60%
		246	49,5	49,8	12,1	29,8	37	1,24	
		247	48,9	49,5	12,5	30,0	39	1,29	
		248	49,2	49,9	12,0	29,5	37	1,25	
		249	49,5	49,3	12,7	31,0	38	1,23	
		250	49,7	49,4	12,5	31,0	39	1,26	

Tabelul V.27.

Rezultatele măsurătorilor pentru determinarea densității
la IAFS cu fibre de 30 mm, realizat prin preamestec.

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Dimensiunile epru- vetelor			Volu- mul V cm ³	Ma- sa M gr	Densi- tatea $\rho_{op} = M/V$ gr/cm ³	Densitatea medie ρ_{op} gr/cm ³
			b mm	l mm	h mm				
I ₅	3	347	50,2	49,5	12,1	30,1	44	1,46	1,56 s = 0,09 C _v = 5,80%
		348	50,0	49,4	12,8	31,6	47	1,49	
		349	50,0	50,0	12,0	30,0	50	1,67	
		350	49,6	49,8	12,6	31,1	52	1,67	
		351	50,0	49,5	12,7	30,7	47	1,53	
		352	49,8	49,2	12,4	30,4	47	1,55	
I ₅	6	353	49,3	49,6	11,8	28,8	42	1,46	1,50 s = 0,11 C _v = 7,50%
		354	50,1	49,5	12,1	30,0	47	1,57	
		355	49,9	50,0	12,0	30,2	39	1,29	
		356	50,3	50,2	12,2	30,8	50	1,62	
		357	49,9	50,1	11,9	29,7	45	1,52	
		358	50,0	50,1	12,6	31,6	48	1,52	
I ₅	9	359	50,3	50,1	12,9	32,5	42	1,29	1,30 s = 0,12 C _v = 9,20%
		360	50,2	50,0	13,1	32,9	46	1,40	
		361	49,9	49,8	13,0	32,3	46	1,42	
		362	50,4	50,1	13,1	33,1	49	1,48	
		363	50,2	50,5	13,2	33,5	47	1,40	
		364	50,0	50,1	12,8	32,1	39	1,21	
I ₅	12	365	49,8	49,8	12,5	31,0	36	1,16	1,28 s = 0,09 C _v = 11,50%
		366	50,1	49,9	12,8	32,0	38	1,19	
		367	50,0	50,3	13,0	32,7	42	1,28	
		368	49,9	50,2	12,9	32,3	42	1,30	
		369	50,0	50,1	13,1	32,8	47	1,43	
		370	50,4	50,2	12,7	32,1	42	1,31	

Tabelul V.28.

Rezultatele măsurătorilor pentru determinarea densității
la IAFS cu fibre de 45,mm, realizat prin preamestec

In- di- ca- tiv	p- fg	Nr. e- pru- ve- tei	Dimensiunile epru- vetelor			Volu- mul V cm ³	Ma- sa M gr	Densi- tatea $\rho_{ap} = M/V$ gr/cm ³	Densitatea medie ρ_{ap} gr/cm ³
			b mm	l mm	h mm				
I ₅	3	467	49,5	48,9	12,5	30,3	54	1,78	1,67 s = 0,08 C _v = 4,80%
		468	49,8	49,2	12,6	30,9	52	1,68	
		469	50,1	48,8	12,4	30,3	53	1,75	
		470	48,9	49,7	13,0	31,6	50	1,58	
		471	50,0	49,8	12,8	31,9	52	1,63	
		472	49,7	49,5	12,8	31,5	51	1,62	
I ₅	6	473	50,0	49,9	12,1	30,2	47	1,56	1,59 s = 0,10 C _v = 6,30%
		474	49,6	49,5	12,0	29,5	43	1,46	
		475	49,7	49,3	12,1	29,6	49	1,66	
		476	49,7	49,9	12,3	30,5	53	1,74	
		477	49,3	48,9	12,2	29,4	46	1,54	
		478	50,1	49,2	11,9	29,3	46	1,57	
I ₅	9	479	48,9	49,9	13,0	31,7	50	1,58	1,42 s = 0,14 C _v = 9,80%
		480	49,3	49,7	12,9	31,6	40	1,27	
		481	49,7	49,2	12,9	31,5	39	1,24	
		482	49,1	49,5	13,2	32,1	49	1,55	
		483	49,0	49,7	13,1	31,9	47	1,47	
		484	50,0	49,3	13,1	32,3	46	1,42	
I ₅	12	485	49,8	49,3	12,8	31,4	41	1,31	1,26 s = 0,06 C _v = 4,80%
		486	49,1	49,8	12,6	30,8	41	1,33	
		487	49,5	48,9	12,9	31,2	40	1,28	
		488	49,1	49,3	13,0	31,5	39	1,24	
		489	49,7	49,6	12,5	30,8	37	1,20	
		490	49,4	49,5	12,7	31,0	37	1,19	

Tabelul V.29.

Rezultatele măsurătorilor pentru determinarea densității la IAFS, cu fibre de 30 mm, realizat prin pulverizare

Indicativ	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Dimensiunile epru- velelor			Volu- mul V cm ³	Ma- sa M gr	Densi- tatea $\rho_{op} = M/V$ gr/cm ³	Densitatea medie ρ_{op} gr/cm ³
			b mm	l mm	h mm				
I ₅	3	573	49,5	49,8	12,1	29,8	53	1,78	1,71 s = 0,06 C _v = 3,5%
		574	49,2	49,9	12,0	29,5	50	1,6	
		575	49,7	49,4	12,5	31,0	54	1,74	
		576	49,9	49,7	12,3	30,5	51	1,67	
		577	49,8	49,5	12,2	30,0	49	1,63	
		578	49,4	49,3	12,1	29,5	52	1,76	
I ₅	6	579	48,3	49,2	12,8	30,4	46	1,51	1,55 s = 0,07 C _v = 4,9%
		580	49,7	49,0	12,7	31,1	49	1,58	
		581	49,4	49,5	12,5	30,6	48	1,57	
		582	49,5	49,9	12,4	30,6	43	1,41	
		583	50,0	48,9	12,1	29,6	48	1,62	
		584	49,7	49,3	12,8	31,4	50	1,59	
I ₅	9	585	48,9	49,1	13,0	31,2	46	1,47	1,48 s = 0,04 C _v = 2,7%
		586	49,0	48,8	13,0	31,1	46	1,48	
		587	48,9	49,1	13,0	31,2	44	1,41	
		588	49,3	49,2	13,1	31,8	47	1,48	
		589	49,9	49,4	12,8	30,5	46	1,42	
		590	49,7	49,6	12,9	31,8	43	1,51	

Tabelul V.30.

Rezultatele măsurătorilor pentru determinarea densității la IAFS cu fibre de 45 mm, realizat prin pulverizare.

In- di- ca- tiv	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	Dimensiunile epru- vetelor			Volu- mul V cm ³	Ma- sa M gr	Densi- tatea $\rho_{op} = M/V$ gr/cm ³	Densitatea medie ρ_{op} gr/cm ³
			b mm	l mm	h mm				
I ₅	3	663	49,4	49,3	12,1	29,5	51	1,73	1,70 s = 0,04 C _v = 2,3%
		664	49,2	49,9	12,0	29,5	50	1,69	
		665	49,5	49,8	12,1	29,8	52	1,74	
		666	49,8	49,6	12,2	30,1	52	1,73	
		667	49,3	49,8	12,0	29,5	48	1,63	
		668	50,1	48,9	12,2	29,8	50	1,68	
I ₅	6	669	49,6	49,3	12,6	30,8	51	1,66	1,64 s = 0,04 C _v = 2,4%
		670	49,5	49,4	12,4	30,3	51	1,63	
		671	50,1	49,2	12,5	30,8	49	1,59	
		672	49,8	49,4	12,6	31,0	50	1,61	
		673	49,3	49,6	12,7	31,1	51	1,64	
		674	49,1	49,6	12,5	30,4	50	1,64	
I ₅	9	675	50,0	49,1	12,9	31,7	48	1,51	1,50 s = 0,05 C _v = 3,1%
		676	49,2	49,7	13,0	31,8	45	1,42	
		677	49,1	49,1	13,0	31,3	48	1,53	
		678	49,6	49,2	12,9	31,5	49	1,56	
		679	49,9	49,3	12,8	31,5	47	1,49	
		680	49,8	50,1	12,8	31,9	48	1,50	

Tabelul V.31.

Valorile medii pentru C_v % la IAFS.

Determinări	P. fg %	R _t			R _o			R _{ti}			G _d			S _{op}		
		15	30	45	15	30	45	15	30	45	15	30	45	15	30	45
Tehnologia	3	7,90	6,60	7,10	2,20	11,8	5,9	4,20	7,10	4,80	5,36	9,00	4,1	3,3	5,8	4,8
Preamestec	6	5,46	7,30	11,40	2,60	9,7	5,00	4,30	6,60	6,10	2,90	8,90	4,8	1,7	7,5	6,3
	9	2,70	9,30	8,90	0,93	2,9	4,20	2,29	3,10	6,70	2,00	9,30	3,5	1,7	9,2	9,8
	12	3,20	5,90	5,10	3,30	7,5	4,60	3,16	5,70	6,60	6,30	10,9	4,6	1,6	11,5	4,8
Media parțială		4,82	7,28	8,38	2,26	7,98	4,93	3,49	5,63	6,05	4,14	9,53	4,25	2,08	8,5	6,43
Media totală			6,83			5,06			5,06			5,97			5,67	
	3	-	4,2	3,6	-	2,9	3,4	-	6,1	5,6	-	2,4	2,0	-	3,5	2,3
	6	-	4,9	2,5	-	2,2	5,2	-	4,3	7,2	-	1,3	3,8	-	4,9	2,4
	9	-	2,5	6,8	-	1,7	1,7		2,4	3,2	-	2,9	1,6	-	2,7	3,1
	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Media parțială		-	3,87	4,3	-	2,27	3,43	-	4,27	5,33	-	2,20	2,47	-	3,7	2,6
Media totală			4,09			2,85			4,80			2,36			3,15	

Tabelul V.32.

Sporuri de rezistență la IAFS în funcție de tehnologia folosită

Rezistențe Lungimi de fibre Tehnologii	R_t daN/cm ²		R_{ti} daN/cm ²		σ_d daNcm/cm ²	
	30 mm	45 mm	30 mm	45 mm	30 mm	45 mm
Preamestec	18,7	22,4	63,0	66,4	223	253
Pulverizare	36,5	38,2	30,0	83,7	251	263
Creșteri %	95%	71%	30%	26%	13%	4%
Creșteri medii %	81		28		8	

Tabelul V.33.

Sporuri de rezistență la IAFS în funcție de lungimea fibrelor

Rezistențe Lungimi de fibre Tehnologii	R_t daN/cm ²				R_{ti} daN/cm ²				σ_d daNcm/cm ²						
	13 mm	30 mm	45 mm	%	15 mm	30 mm	45 mm	%	15 mm	30 mm	45 mm	%			
Preamestec	25,6	18,7	-	22,4	20	77,5	83	7	66,4	-	245	223	-	253	13
Pulverizare	-	36,5	-	38,2	5	-	80	-	83,7	5	-	251	-	263	5

Tabelul V.34.

Programul experimental privind determinările fizico-mecanice asupra CAFS armat cu fibre de 40 mm.

Mărimi fizico-mecanice	Vârsta în zile	Mar-tor	T e h n o l o g i i f o l o s i t e												Nr. total epru-vete buc.
			Preamestec					Pulverizare					Contact		
			4%	6%	8%	10%	12%	4%	6%	8%	10%	12%	4%	6%	
R _t	28	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
	90	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
	180	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
R _{ti}	28	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
	90	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
	180	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
R _c	28	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
	90	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
G _d	28	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
	90	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
E	28	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	156
	90	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	156
E _d	28	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
	90	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
E _c	180	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
σ _{op}	28	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
	90	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78
TOTAL GENERAL :															1482

Tabelul V.35.

Proprietăți fizico-mecanice ale cimentului

Apa de consistență normală %	Finețea de măcinare Rest pe sita de 0,09 %	Priza în h		Constante de volum pe turte	Rezistențele mecanice pe mortare plastice la 28 zile daN/cm ²	
		Inceput	Sfârșit		R _{ti}	R _c
		24 - 26	6 - 10		2-3	3,45-4,50

Tabelul V.36.

Determinări asupra lui R_t la CAFS, la 28 zile

P R E A M B S T E C						P U L V E R I Z A R E						C O N T A C T					
Nr. probei	A	P_r	$R_t = \frac{P \cdot I}{A}$	R_t mediu	P_{fg} %	Nr. probei	A	P_r	$R_t = \frac{P \cdot I}{A}$	R_t mediu	P_{fg} %	Nr. probei	A	P_r	$R_t = \frac{P \cdot I}{A}$	R_t mediu	
	cm ²	dan	dan/cm ²	dan/cm ²			cm ²	dan	dan/cm ²	dan/cm ²			cm ²	dan	dan/cm ²	dan/cm ²	
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1001	3,31	112	33,8			1501	3,12	161	51,6			2001	3,38	65	19,2		
1002	3,12	98	31,4			1502	3,07	165	53,7			2002	3,47	59	17,0		
1003	3,20	116	36,3	33,9	4	1503	3,10	182	58,7	55,0	4	2003	3,27	57	17,4	18	
1004	3,09	108	35,0	s=1,68		1504	3,02	170	56,3	s=2,39		2004	3,12	52	16,7	s=1,09	
1005	3,00	99	33,0	$C_v=4,9\%$		1505	2,98	164	55,0	$C_v=4,4\%$		2005	3,09	58	18,8	$C_v=6,1\%$	
1006	3,15	107	34,0			1506	3,15	173	54,9			2006	3,22	61	18,9		
1007	2,96	113	38,0			1507	2,99	219	73,2			2007	3,28	213	64,9		
1008	3,01	113	37,5			1508	3,11	221	71,1			2008	3,30	242	73,3		
1009	2,95	104	35,3	37,0	6	1509	3,03	202	66,7	70,1	6	2009	3,24	219	67,6	66,2	
1010	3,12	102	32,7	s=2,55		1510	3,06	209	68,3	s=2,52		2010	3,25	232	71,4	s=6,08	
1011	3,15	122	38,7	$C_v=6,9\%$		1511	3,11	225	72,3	$C_v=3,6\%$		2011	3,19	201	63,0	$C_v=9,1\%$	
1012	3,07	117	38,1			1512	3,09	213	68,9			2012	3,21	182	56,7		

Tabelul V.36. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
	1013	3,24	134	41,4			1513	3,01	242	80,4			2013	3,20	275	85,9		
	1014	3,19	128	40,1			1514	3,13	259	82,7			2014	3,14	294	93,6		
	1015	3,20	117	36,6	39,0	8	1515	3,12	241	77,2	83,2	6	2015	3,10	269	86,6	84,1	
	1016	3,15	122	38,7	s=1,62		1516	3,07	286	93,2	s=6,12		2016	3,12	252	80,8	s=5,94	
	1017	3,09	119	38,5	C _v =4,2%		1517	3,18	249	78,3	C _v =7,4%		2017	3,16	244	77,2	C _v =7,1%	
	1018	3,26	126	38,7			1518	3,14	275	87,6			2018	3,20	256	80,0		
	1019	3,25	141	43,4			1519	3,19	292	91,5								
	1020	3,31	149	45,0			1520	3,14	306	97,5								
10	1021	3,28	153	46,6	45,0	10	1521	3,22	298	92,5	90,8							
	1022	3,24	138	42,6	s=1,73		1522	3,18	273	85,8	s=5,51							
	1023	3,30	155	47,0	C _v =3,8%		1523	3,20	265	82,8	C _v =6,1%							
	1024	3,26	148	45,4			1524	3,17	300	94,6								
	1025	3,28	170	51,8			1525	3,28	293	89,3								
	1026	3,21	157	48,9			1526	3,30	285	86,4								
12	1027	3,25	139	42,8	47,0	12	1527	3,25	319	98,2	93,1							
	1028	3,32	146	44,0	s=3,29		1528	3,27	328	100,3	s=5,10							
	1029	3,29	154	46,8	C _v =7,3%		1529	3,31	309	93,4	C _v =5,5%							
	1030	3,24	156	47,8			1530	3,24	295	91,0								

Tabelul V.37.

Determinări asupra lui R_t la CAFS, la 90 zile

P R E A M E S T E C				P U L V E R I Z A R E				C O N T A C T									
Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_r daN	$\frac{P_r}{A}$ $R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R_t mediu daN/cm ²	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_r daN	$\frac{P_r}{A}$ $R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R_t mediu daN/cm ²	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_r daN	$\frac{P_r}{A}$ $R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R_t mediu daN/cm ²	
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1031	3,23	92	28,0			1531	3,11	357	50,5			2021	3,32	66	19,9		
1032	3,30	116	35,2			1532	3,03	141	46,5			2022	3,28	57	17,4		
1033	3,27	107	32,7	30,0	4	1533	3,07	149	48,5	47,0	0	2023	3,36	60	17,9	18,1	
1034	3,14	93	31,2	s=3,26		1534	3,10	132	42,6	s=3,53		2024	3,25	54	16,6	s=1,32	
1035	3,12	90	28,3	$C_v=12,9\%$		1535	3,12	140	44,9	$C_v=7,5\%$		2025	3,16	62	19,6	$C_v=7,3\%$	
1036	3,21	78	24,3			1536	3,15	255	49,2			2026	3,17	55	17,4		
1037	3,03	87	28,7			1537	3,00	196	65,3			2027	3,12	202	64,7		
1038	2,99	98	32,7			1538	2,98	179	60,1			2028	3,21	227	70,7		
1039	3,00	109	36,3	32,0	6	1539	3,12	188	60,3	60,8	4	2029	3,14	214	68,2	64,2	
1040	3,14	94	29,9	s=2,64		1540	3,04	159	52,3	s=2,66		2030	3,09	193	62,5	s=4,72	
1041	3,09	101	32,7	$C_v=8,25\%$		1541	3,05	194	63,6	$C_v=4,4\%$		2031	3,18	185	58,2	$C_v=7,4\%$	
1042	3,14	100	31,8			1542	3,10	195	62,9			2032	3,25	197	60,6		

Tabelul V.37. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
8	1043	3,21	81	25,2			1543	3,12	258	82,7	
	1044	3,20	98	30,6			1544	3,15	234	74,3	
	1045	3,24	76	23,5	26,9	6	1545	3,09	230	74,4	79,9
	1046	3,17	69	21,8	s=3,88		1546	3,10	267	86,1	s=5,30
	1047	3,19	96	30,1	C _v =14,4%		1547	3,14	242	77,1	C _v =6,6%
	1048	3,15	95	30,2			1548	3,16	268	84,8	
10	1049	3,11	121	38,9			1549	3,20	282	88,1	
	1050	3,23	136	42,1			1550	3,18	318	100,0	
	1051	3,14	118	37,6	38,1	10	1551	3,22	307	95,3	89,0
	1052	3,09	106	34,3	s=2,66		1552	3,17	271	85,5	s=7,18
	1053	3,10	113	36,5	C _v =7,0%		1553	3,21	264	82,2	C _v =8,1%
	1054	3,20	125	39,1			1554	3,19	264	82,8	
12	1055	3,27	129	39,4			1555	3,20	296	92,5	
	1056	3,31	143	43,1			1556	3,18	263	82,7	
	1057	3,29	150	45,6	41,8	12	1557	3,25	276	84,9	91,7
	1058	3,25	127	39,1	s=4,9		1558	3,31	302	91,2	s=7,02
	1059	3,30	116	35,2	C _v =11,7%		1559	3,27	325	99,4	C _v =7,1%
	1060	3,24	158	48,8			1560	3,25	323	99,4	

Tabelul V.38.

Determinări asupra lui R_t , CAFS, la 180 zile

P R E A M E S T I C										C O N T A C T						
Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R_t mediu daN/cm ²	P. fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R_t mediu daN/cm ²	P. fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R_t mediu daN/cm ²
1061	3,14	93	29,6			1561	3,01	147	48,8			2041	3,30	61	18,5	
1062	3,20	85	26,6			1562	3,12	164	52,6			2042	3,21	68	21,2	
1063	3,23	110	34,1	23,0	4	1563	3,17	179	56,5	50,7	0	2043	3,27	66	20,0	18,2
1064	3,19	84	26,3	3,4		1564	2,99	139	46,5	3,5		2044	3,12	50	16,0	s=2,14
1065	3,20	85	26,6	12,1%		1565	3,07	151	49,2	6,9%		2045	3,21	52	16,2	$C_v=11,8\%$
1066	3,16	78	24,7			1566	3,14	158	50,3			2046	3,18	55	17,3	
1067	3,04	98	32,2			1567	3,05	152	49,8			2047	3,13	209	66,8	
1068	2,98	83	27,9			1568	3,20	183	57,2			2048	3,15	183	58,1	
1069	3,06	90	29,4	3,3	6	1569	3,11	178	57,2	58,1	4	2049	3,09	179	57,9	62,1
1070	3,12	116	37,2	4,1		1570	3,24	209	64,5	5,09		2050	3,20	214	64,8	s=4,44
1071	3,10	92	29,7	12,7%		1571	3,18	198	62,3	8,8%		2051	3,19	186	58,3	$C_v=7,1\%$
1072	3,17	118	37,2			1572	3,09	178	57,6			2052	3,24	216	66,7	

Tabelul V.38. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
8	1073	3,20	122	38,1			1573	3,03	221	72,9			2053	3,12	245	78,5	
	1074	3,18	109	34,3			1574	3,00	218	72,7			2054	3,17	279	88,0	
	1075	3,21	98	30,5	34,9	8	1575	3,12	251	30,4	75,0	6	2055	3,20	283	88,4	93,2
	1076	3,29	110	33,4	s=3,59		1576	3,10	243	78,4	s=3,71		2056	3,07	242	78,8	s=4,86
	1077	3,30	133	40,3	C _v =10,3%		1577	3,07	224	73,0	C _v =4,9%		2057	3,11	268	86,2	C _v =5,8%
	1078	3,24	107	33,0		1578	3,07	222	72,3			2058	3,10	245	79,0		
10	1079	3,15	139	44,4			1579	3,21	312	97,2							
	1080	3,17	110	34,7			1580	3,18	271	85,2							
	1081	3,20	113	35,3	40,1	10	1581	3,30	276	83,6	88,0						
	1082	3,28	147	44,8	s=5,22		1582	3,15	268	85,1	s=4,21						
	1083	3,30	150	45,5	C _v =13,0%		1583	3,24	272	84,0	C _v =4,8%						
	1084	3,27	118	36,1		1584	3,30	307	93,0								
12	1085	3,33	152	45,6			1585	3,25	299	92,0							
	1086	3,29	126	38,9			1586	3,28	307	93,6							
	1087	3,30	161	48,8	43,0	12	1587	3,18	265	83,3	89,1						
	1088	3,33	156	46,8	s=4,58		1588	3,11	264	84,9	s=4,85						
	1089	3,13	124	39,0	C _v =10,7%		1589	3,27	282	86,2	C _v =5,4%						

Tabelul V.39.

Determinări asupra lui R_{ti} la CAFS, la 28 zile

P R E A M E S T E C						P U L V E R I Z A R E						C O N T A C T					
Nr. probe-ve-tei	$W = \frac{bh^2}{6}$ cm ³	M = 4,5P daNcm	$R_{ti} = \frac{M}{W}$ daN/cm ²	R_{ti} mediu daN/cm ²	p-fg %	Nr. probe-ve-tei	$W = \frac{bh^2}{6}$ cm ³	M = 4,5P daNcm	$R_{ti} = \frac{M}{W}$ daN/cm ²	R_{ti} mediu daN/cm ²	p-fg %	Nr. probe-ve-tei	$W = \frac{bh^2}{6}$ cm ³	M = 4,5P daNcm	$R_{ti} = \frac{M}{W}$ daN/cm ²	R_{ti} mediu daN/cm ²	
1	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1091	1,56	218	139,7			1591	1,36	327	240,4			2061	1,96	112	57,1		
1092	1,42	162	114,1			1592	1,45	293	205,5			2062	2,10	109	51,9		
4 1093	1,43	171	115,5	124,0	4	1593	1,40	302	215,7	220,0	0	2063	2,20	121	55,0	55,0	
1094	1,62	214	132,1	s=11,43		1594	1,53	365	238,6	s=15,8		2064	1,80	94	52,2	s=3,62	
1095	1,70	221	130,0	$C_v=9,2\%$		1595	1,59	342	215,1	$C_v=7,2\%$		2065	1,96	119	60,7	$C_v=6,6\%$	
1096	1,53	172	112,4			1596	1,48	303	204,7			2066	1,89	100	52,9		
5 1097	1,45	204	140,7			1597	1,73	480	277,5			2067	1,78	395	221,9		
1098	1,56	184	117,9			1598	1,49	355	238,3			2068	1,71	354	207,0		
6 1099	1,49	179	120,1	126,2	6	1599	1,56	365	234,0	251,0	4	2069	1,58	310	196,2	212,2	
1100	1,53	204	129,1	s=8,66		1600	1,60	452	282,5	s=22,88		2070	1,96	453	231,1	s=15,36	
1101	1,60	207	129,4	$C_v=5,3\%$		1601	1,51	358	237,1	$C_v=9,1\%$		2071	1,88	419	222,9	$C_v=7,2\%$	
1102	1,51	181	119,9			1602	1,43	335	234,3			2072	1,83	355	194,0		

Tabelul V.39. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
8	1103	1,81	219	121,0			1603	1,62	455	280,9			2073	1,72	410	238,4			
	1104	1,92	261	135,9			1604	1,47	428	291,2			2074	1,79	439	245,3			
	1105	1,78	203	114,0	126,3	8	1605	1,51	396	262,3	126,3	269,5	2075	1,84	437	264,7	245,0		
	1106	1,87	257	137,4	s=11,17		1606	1,71	461	269,6	s=11,17	s=14,22	2076	1,71	451	263,7	s=17,05		
	1107	1,98	268	135,4	C _v =8,8%		1607	1,60	410	256,5	C _v =8,8%	C _v =5,3%	2077	1,59	378	237,7	C _v =7,0%		
	1108	1,69	193	114,2			1608	1,58	404	255,7			2078	1,80	396	220,0			
	10	1109	1,74	226	129,9			1609	1,60	434	271,3								
		1110	1,49	212	142,3			1610	1,56	402	257,7								
1111		1,61	197	116,1	130,0	10	1611	1,32	339	256,8	130,0	275,2							
1112		1,30	234	130,0	s=12,4		1612	1,41	367	260,3	s=12,4	s=21,84							
1113		1,91	278	145,5	C _v =9,5%		1613	1,57	471	300,0	C _v =9,5%	C _v =7,9%							
1114		1,05	192	116,4			1614	1,60	433	363,0									
12	1115	1,59	278	174,8			1615	1,47	398	270,7									
	1116	1,60	216	135,0			1616	1,42	360	267,0									
	1117	1,72	234	136,0	149,9	12	1617	1,53	469	287,7	149,9	278,0							
	1118	1,39	293	155,0	s=16,1		1618	1,55	478	308,4	s=16,1	s=17,04							
	1119	1,78	285	160,1	C _v =10,7%		1619	1,39	372	267,6	C _v =10,7%	C _v =6,1%							
	1120	1,59	220	138,4			1620	1,40	372	265,7									

Tabelul V.40:

Determinări asupra lui R_{t1} la CAFS, la 90 zile

P R E A M B S T E C				P U L V E R I Z A R E				C O N T A C T								
Nr. p- te	$W = \frac{bh^2}{6}$ cm ³	M = 4,5P daNcm	$R_{t1} = \frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{t1} mediu daN/cm ²	p- fg %	Nr. p- te	$W = \frac{bh^2}{6}$ cm ³	M = 4,5P daNcm	$R_{t1} = \frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{t1} mediu daN/cm ²	p- fg %	Nr. p- te	$W = \frac{bh^2}{6}$ cm ³	M = 4,5P daNcm	$R_{t1} = \frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{t1} mediu daN/cm ²
2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1121	1,48	160	108,1			1621	1,40	280	200,0			2081	1,92	96	50,0	
1122	1,55	179	115,5			1622	1,33	287	215,8			2082	2,18	112	51,4	
4	1,32	140	106,1	114,1	4	1623	1,39	296	212,9	209,0	0	2083	2,10	141	67,1	55,2
	1,74	198	113,8	s=6,41		1624	1,30	293	225,4	s=10,84		2084	1,90	120	63,2	s=7,88
	1,61	190	118,0	C _v =5,6%		1625	1,47	298	202,7	C _v =5,2%		2085	1,86	93	50,0	C _v =14,3%
	1,59	196	123,3			1626	1,50	296	197,3			2086	1,93	95	49,2	
6	1,72	220	127,9			1627	1,70	390	229,4			2087	1,72	379	220,3	
	1,70	194	120,5			1628	1,61	416	258,4			2088	1,81	360	198,9	
	1,61	175	108,7	118,0	6	1629	1,55	408	263,0	241,2	4	2089	1,77	326	184,2	197,0
	1,30	201	111,7	s=9,91		1630	1,80	408	226,7	s=16,02		2090	1,61	345	214,3	s=17,09
	1,75	229	130,9	C _v =8,4%		1631	1,75	400	228,6	C _v =6,6%		2091	1,88	342	181,9	C _v =8,7%
	1,64	178	108,5			1632	1,73	417	241,0			2092	1,80	328	182,2	

Tablul V, 40. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
8	1133	1,78	204	114,6			1633	1,80	446	247,8			2093	1,72	407	236,6		
	1134	1,70	153	90,0			1634	1,53	429	280,4			2094	1,79	413	230,7		
	1135	1,89	225	119,0	103,2	8	1635	1,59	438	275,5	260,0		2095	1,62	396	244,4	224,1	
	1136	1,72	156	90,7	s=12,67		1636	1,60	421	263,1	s=15,39		2096	1,87	392	209,6	s=14,94	
	1137	1,69	152	89,9	C _v =12,3%		1637	1,69	414	245,0	C _v =5,9%		2097	1,93	412	213,3	C _v =6,7%	
	1138	1,90	218	114,7			1638	1,71	424	248,0			2098	1,90	400	210,5		
10	1139	1,85	232	125,4			1639	1,92	478	249,0	269,8							
	1140	1,77	236	133,3			1640	1,90	479	252,1								
	1141	1,70	184	108,2	119,0	10	1641	1,88	470	250,0	269,8							
	1142	1,68	180	107,1	s=12,56		1642	1,60	465	290,6	s=21,62							
	1143	1,00	173	100,1	C _v =10,6%		1643	1,59	468	294,3	C _v =8,0%							
	1144	1,88	248	131,9			1644	1,68	475	282,7								
12	1145	1,71	255	149,1			1645	1,77	448	253,1								
	1146	1,93	240	124,4			1646	1,91	556	291,1								
	1147	1,87	230	123,0	134,9	12	1647	1,98	514	260,0	275,0							
	1148	1,80	260	139,0	s=13,61		1648	1,77	520	293,8	s=21,78							
	1149	1,77	269	152,0	C _v =10,1%		1649	1,80	538	298,9	C _v =7,9%							
	1150	1,90	232	122,1			1650	1,84	468	253,0								

Tabelul V.41.

Determinări asupra lui R_{ti} la CAFS, la 180 zile.

P R E A M B S T E C				P U L V E R I Z A R E				C O N T A C T								
Nr. probe	$\frac{bh^2}{w}$	M	$R_{ti} = \frac{M}{W}$	R _{ti} mediu	%	Nr. probe	$\frac{bh^2}{w}$	M	$R_{ti} = \frac{M}{W}$	R _{ti} mediu	%	Nr. probe	$\frac{bh^2}{w}$	M	$R_{ti} = \frac{M}{W}$	R _{ti} mediu
1	cm ³	daN	daN/cm ²	daN/cm ²		1	cm ³	daN	daN/cm ²	daN/cm ²		2	cm ³	daN	daN/cm ²	daN/cm ²
1151	1,53	167	109,2			1651	1,47	291	198,0			2101	2,17	102	47,0	
1152	1,41	162	114,9			1652	1,50	305	203,3			2102	1,99	124	62,3	
1153	1,49	164	110,0	102,2	4	1653	1,71	302	176,6	190,0	0	2103	2,08	105	50,5	55,3
1154	1,72	154	89,5			1654	1,54	274	177,3			2104	1,91	113	59,2	s=6,08
1155	1,00	246	91,3			1655	1,68	292	173,8			2105	1,88	99	52,7	C _v =11,0%
1156	1,58	155	98,1			1656	1,61	339	210,6			2106	1,30	114	60,0	
1157	1,70	167	97,1			1657	1,75	309	220,0			2107	1,70	344	202,4	
1158	1,87	206	123,4			1658	1,80	430	238,9			2108	1,73	305	176,3	
1159	1,87	225	120,3	109,7		1659	1,91	417	210,3	233,0		2109	1,34	323	175,5	185,1
1160	1,90	166	97,9			1660	1,71	429	250,9			2110	1,90	300	189,5	s=12,76
1161	1,65	201	121,8			1661	1,61	403	246,8			2111	1,78	349	196,1	C _v =6,9
1162	1,70	166	95,8			1662	1,78	353	220,8			2112	1,55	316	170,8	

Tabelul V.41. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
8	1163	1,95	201	103,1			1663	1,81	484	267,4	
	1164	1,90	265	139,5			1664	1,86	448	248,9	
	1165	1,70	223	131,2	116,1	8	1665	1,74	435	250,0	256,0
	1166	1,71	173	101,2	s=17,07		1666	1,90	500	263,2	s=14,07
	1167	1,63	198	121,5	C _v =14,7%		1667	1,83	499	272,7	C _v =5,5%
	1168	1,66	166	100,0			1668	1,66	401	241,6	
10	1169	1,78	183	102,8			1669	1,91	529	277,0	
	1170	1,81	235	129,8			1670	1,84	530	288,0	
	1171	1,98	220	111,1	118,0	10	1671	1,79	450	251,4	266,2
	1172	1,72	196	114,0	s=12,51		1672	1,61	452	280,7	s=17,62
	1173	1,63	222	136,2	C _v =10,6%		1673	1,88	466	247,9	C _v =6,6%
	1174	1,30	205	113,9			1674	1,30	454	252,2	
12	1175	1,90	202	106,3			1675	1,98	550	277,8	
	1176	1,81	255	140,9			1676	1,90	567	298,4	
	1177	1,78	191	107,3	120,0	12	1677	1,78	501	281,5	270,0
	1178	1,95	235	127,0	s=15,37		1678	1,87	475	254,0	s=18,89
	1179	1,81	172	106,1	C _v =12,8%		1679	1,85	470	254,0	C _v =7,0%
	1180	1,70	225	132,4			1680	1,96	498	254,1	
											236,9
											s=13,87
											C _v =5,8%
											226,1
											238,9
											257,5
											222,8
											248,4
											227,6

Determinări asupra lui R_0 la CAFS, la 28 zile

PULVERIZARE											
PREAMESTEC					CONTACT						
P fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P _r daN	$R_0 = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R ₀ mediu daN/cm ²	P fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P _r daN	$R_0 = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R ₀ mediu daN/cm ²
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	1181	3,12	518	166,0			2121	3,01	593	197,0	
	1182	3,29	637	197,9			2122	3,10	580	187,1	
	1183	3,14	537	171,0	176,9	0	2123	3,05	637	208,9	193,7
	1184	3,09	601	194,5	s=13,01 C _v =7,4%		2124	3,18	589	185,2	s=10,22 C _v =5,3%
	1185	3,29	595	180,9			2125	3,21	645	200,9	
	1186	3,40	548	161,2			2126	3,13	573	183,1	
	1187	3,21	575	179,1			2127	3,40	674	198,2	
	1188	3,42	533	156,4			2128	3,36	596	174,4	
6	1189	3,10	593	191,9	193,1	4	2129	3,42	687	200,9	186,0
	1190	3,48	539	154,9	s=12,93 C _v =7,7%		2130	3,44	599	174,1	s=12,75 C _v =6,9%
	1191	3,60	572	158,9			2131	3,51	615	175,2	
	1192	3,30	575	174,2			2132	3,60	695	193,1	

Tabelul V.42. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
8	1193	3,45	549	159,1	153,9 s=12,00 C _v =7,8%	8	1693	3,43	704	204,1	198,1 s=15,56 C _v =7,9%	6	2133	3,63	613	168,9	178,0 s=12,63 C _v =7,1%
	1194	3,37	492	146,0			1694	3,61	653	180,9			2134	3,57	675	189,1	
	1195	3,41	587	172,1			1695	3,60	788	218,9			2135	3,66	620	169,4	
	1196	3,80	543	140,9			1696	3,55	644	181,4			2136	3,64	706	194,0	
	1197	3,72	545	146,5			1697	3,58	691	193,0			2137	3,75	611	162,9	
	1198	3,66	604	165,0			1698	3,60	756	210,0			2138	3,70	680	183,8	
10	1199	3,79	561	148,0	145,1 s=10,12 C _v =7,0%	10	1699	3,80	737	193,9	188,1 s=14,24 C _v =7,6%						
	1200	3,53	484	137,1			1700	3,75	670	178,7							
	1201	3,66	582	159,0			1701	3,71	652	175,7							
	1202	3,81	518	136,0			1702	3,59	714	198,9							
	1203	3,49	538	154,2			1703	3,86	668	173,1							
	1204	3,88	528	136,1			1704	3,77	784	208,0							
12	1205	3,63	494	136,1	127,0 s=23,90 C _v =18,8%	12	1705	3,90	601	154,1	170,3 s=21,62 C _v =12,7%						
	1206	3,88	419	108,0			1706	3,81	728	191,1							
	1207	3,91	410	104,9			1707	3,74	561	150,0							
	1208	3,69	550	149,1			1708	3,55	703	198,0							
	1209	3,71	393	105,9			1709	3,88	583	150,3							
	1210	3,80	600	157,9			1710	3,90	695	178,2							

Tabelul V.43.

Determinări asupra lui R_c la CAFS la 90 zile

PREAMESTEC						PULVERIZARE						C O N T A C T					
Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_T daN	$R_c = \frac{P_T}{A}$ daN/cm ²	R_c mediu daN/cm ²	p. fg. %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_T daN	$R_c = \frac{P_T}{A}$ daN/cm ²	R_c mediu daN/cm ²	p. fg. %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_T daN	$R_c = \frac{P_T}{A}$ daN/cm ²	R_c mediu daN/cm ²	
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	1211	3,21	533	166,0			1711	3,10	595	191,9		2141	3,15	580	184,1		
	1212	3,12	525	168,3			1712	3,07	685	223,1		2142	3,06	645	210,8		
4	1213	3,29	621	188,8	181,0	4	1713	3,12	621	199,0	205,0	2143	3,00	555	185,0	194,0	
	1214	3,08	620	201,3	s=15,26 $C_v=8,4\%$		1714	3,20	695	217,2	s=12,54 $C_v=6,1\%$	2144	3,19	655	205,3	s=12,35 $C_v=6,4\%$	
	1215	3,01	507	168,4			1715	3,17	620	195,6		2145	3,20	580	189,3		
	1216	3,18	614	193,1			1716	3,13	654	208,9		2146	3,14	620	197,5		
	1217	3,26	616	189,0			1717	3,20	646	201,9		2147	3,21	700	218,1		
	1218	3,31	533	161,0			1718	3,25	757	232,9		2148	3,28	560	170,7		
6	1219	3,21	534	181,9	176,1	6	1719	3,17	660	208,2	212,0	2149	3,31	670	202,4	189,8	
	1220	3,41	570	167,2	s=14,34 $C_v=8,1\%$		1720	3,21	703	219,0	s=11,82 $C_v=5,6\%$	2150	3,42	635	185,7	s=1,45 $C_v=9,7\%$	
	1221	3,34	648	194,0			1721	3,32	680	204,8		2151	3,51	600	170,9		
	1222	3,50	572	163,4			1722	3,41	700	205,3		2152	3,40	650	191,2		

Tabelul V.44.

Determinări asupra lui σ_d la CAFS, la 28 zile

P- fg %	PREAFESTEC					PULVERIZARE					CONTRACT						
	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d = L/A$ daNcm cm ²	σ_d mediu daNcm cm ²	P- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d = L/A$ daNcm cm ²	σ_d mediu daNcm cm ²	P- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d = L/A$ daNcm cm ²	σ_d mediu daNcm cm ²
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	1241	3,14	160	51,0			1741	3,08	340	110,4		2161	3,35	100	29,9		
	1242	3,10	170	54,8			1742	3,00	350	116,7		2162	3,48	110	31,6		
4	1243	3,20	130	40,6	47,3	4	1743	3,04	260	85,5	100,0	2163	3,50	90	25,7	25,1	
	1244	3,07	130	42,3	s=6,57		1744	3,16	270	85,4	s=14,7	2164	3,45	70	20,3	s=4,9	
	1245	3,16	170	53,8	C _v =13,9%		1745	3,10	350	112,9	C _v =14,7%	2165	3,50	80	22,9	C _v =	
	1246	3,13	130	41,5			1746	3,12	280	85,7		2166	3,51	70	19,9	19,6%	
	1247	3,18	210	66,0			1747	3,17	380	119,9		2167	3,30	490	148,5		
	1248	3,22	180	55,9			1748	3,20	480	150,0		2168	3,41	470	137,8		
6	1249	3,25	240	73,8	63,3	6	1749	3,09	400	129,4	135,7	2169	3,35	420	125,7	131,1	
	1250	3,17	180	56,8	s=7,34		1750	3,15	470	149,2	s=14,75	2170	3,40	400	117,6	s=12,73	
	1251	3,15	220	69,8	C _v =11,6%		1751	3,20	470	146,9	C _v =10,9%	2171	3,52	490	139,2	C _v =9,7%	
	1252	3,30	190	57,6			1752	3,20	380	118,8		2172	3,49	410	117,5		

Tabelul V.44. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	1253	3,35	310	92,5			1753	3,21	590	183,2			2173	3,51	700	195,5	
	1254	3,60	290	80,6			1754	3,18	610	191,8			2174	3,68	630	171,2	
	1255	3,00	300	100,0	87,4	8	1755	3,40	540	158,8	170,0	6	2175	3,70	680	183,8	177,3
	1256	3,19	270	84,6	s=8,22		1756	3,35	520	155,2	s=16,22		2176	3,61	590	163,4	s=12,52
	1257	3,70	330	89,2	C _v =9,4%		1757	3,41	600	176,0	C _v =9,5%		2177	3,80	700	184,2	C _v =7,1%
	1258	3,61	200	77,6			1758	3,45	530	153,6			2178	3,74	620	165,8	
10	1259	3,81	400	105,0			1759	3,50	690	197,1	185,1		2179				
	1260	3,68	440	119,7			1760	3,48	500	172,4							
	1261	3,70	360	97,3	106,2	10	1761	3,56	700	196,6							
	1262	3,58	470	131,3	s=16,14		1762	3,60	620	172,2	s=13,52						
	1263	3,25	340	93,2	C _v =13,2%		1763	3,67	720	196,2	C _v =7,3%						
	1264	3,75	340	90,7			1764	3,58	630	176,0							
12	1265	3,85	560	145,6			1765	3,80	740	194,6	214,9						
	1266	3,90	480	123,1			1766	3,70	910	245,9							
	1267	3,56	420	118,0	127,0	12	1767	3,71	740	199,5	s=19,58						
	1268	3,61	540	150,0	s=16,76		1768	3,84	170	226,7	C _v =9,1%						
	1269	3,84	440	114,6	C _v =13,2%		1769	3,75	760	202,7							
	1270	3,90	430	110,3			1770	3,78	830	219,6							

Tabelul V.45.

Determinări asupra lui σ_d la CAFS, la 180 zile

		P R E A M B L E						P U L V E R I Z A R E						C O N T A C T										
P. fg %	Nr. probe- teii	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d=L/A$ $\frac{daNcm}{cm^2}$	σ_d mediu $\frac{daNcm}{cm^2}$	P. fg %	Nr. probe- teii	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d=L/A$ $\frac{daNcm}{cm^2}$	σ_d mediu $\frac{daNcm}{cm^2}$	P. fg %	Nr. probe- teii	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d=L/A$ $\frac{daNcm}{cm^2}$	σ_d mediu $\frac{daNcm}{cm^2}$	P. fg %	Nr. probe- teii	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d=L/A$ $\frac{daNcm}{cm^2}$	σ_d mediu $\frac{daNcm}{cm^2}$	
																								1
	2	3,20	4	62,5		1	1771	3,02	370	122,5		1	2181	3,70	110	29,7								
	1271	3,18	150	47,2			1772	3,08	330	107,1			2182	3,58	70	19,6								
4	1273	3,22	140	43,5	51,9	4	1773	3,16	370	117,1	114,1	0	2183	3,61	100	27,7						25,7		
	1274	3,07	180	58,6	s=7,85		1774	3,10	400	129,0	s=10,44		2184	3,67	80	21,8						s=4,04		
	1275	3,12	140	44,9	$C_V=$		1775	3,13	330	105,4	$C_V=9,1\%$		2185	3,59	100	27,9						$C_V=15,7\%$		
	1276	3,10	170	54,8	15,1%		1776	3,10	320	103,2			2186	3,60	100	27,8								
	1277	3,25	240	73,8			1777	3,18	400	125,8			2187	3,42	490	143,3								
	1278	3,27	210	64,2			1778	3,26	530	162,6			2188	3,49	430	123,2								
6	1279	3,18	270	84,9	71,0	6	1779	3,20	430	134,4	144,5	4	2189	3,61	550	152,4						134,9		
	1280	3,30	200	60,6	s=10,31		1780	3,28	440	134,1	s=15,07		2190	3,70	480	129,7						s=12,18		
	1281	3,25	270	80,6	$C_V=$		1781	3,40	500	156,8	$C_V=$		2191	3,66	510	139,3						$C_V=9\%$		
	1282	3,40	210	61,8	14,5%		1782	3,31	500	151,1	10,4%		2192	3,79	460	121,4								

Tabelul V.45. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
8	1283	3,41	340	99,7			1783	3,42	670	195,9			2193	3,30	770	202,6		
	1284	3,28	290	88,4			1784	3,48	560	160,9			2194	3,65	610	167,1		
	1285	3,34	300	89,8	96,6	8	1785	3,61	720	199,4	179,9	6	2195	3,59	670	186,6	181,0	
	1286	3,50	400	114,3	s=11,63		1786	3,48	570	159,2	s=22,51		2196	3,78	650	179,0	s=16,63	
	1287	3,61	300	83,1	C _v =12%		1787	3,70	760	205,4	C _v =12,5%		2197	3,90	630	161,5	C _v =9,2%	
	1288	3,55	370	104,2			1788	3,66	580	158,5			2198	3,67	720	196,2		
10	1289	3,41	490	143,7			1789	3,70	800	216,2			2199					
	1290	3,71	380	102,4			1790	3,92	750	191,3								
	1291	3,80	510	134,2	114,1	10	1791	3,88	890	229,4	205,2							
	1292	3,66	390	106,6	s=19,81		1792	3,90	720	184,6	s=16,41							
	1293	3,78	360	95,2	C _v =		1793	3,72	750	201,6	C _v = 8%							
	1294	3,90	400	102,6	17,4%		1794	3,60	750	208,3								
12	1295	3,96	440	111,1			1795	3,96	830	209,6								
	1296	3,75	610	162,7			1796	3,91	870	222,5								
	1297	3,98	460	115,6	133,9	12	1797	3,79	990	261,2	239,9							
	1298	3,85	610	158,4	s=25,47		1798	3,85	990	257,1	s=21,80							
	1299	3,90	580	148,7	C _v =19%		1799	3,90	900	230,8	C _v =9,1%							
	1300	3,75	400	106,7			1800	3,80	980	257,9								

Tabelul V.46.

Determinări asupra lui ρ_{op} la CAFS, la 28 zile

P R E A M F S T E C				P U L V E R I Z A R E				C O N T A C T								
Nr. e- pru- ve- tei	V cm ³	G gr	$\rho_{op} = \frac{G}{V}$ gr/cm ³	ρ_{op} mediu gr/cm ³	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	V cm ³	G gr	$\rho_{op} = \frac{G}{V}$ gr/cm ³	ρ_{op} mediu gr/cm ³	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	V cm ³	G gr	$\rho_{op} = \frac{G}{V}$ gr/cm ³	ρ_{op} mediu gr/cm ³
1	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1301	30,0	50	1,650			1801	29,2	51	1,747			2201	32,0	53	1,656	
1302	28,9	43	1,488			1802	30,1	51	1,694			2202	34,2	64	1,871	
1303	29,7	44	1,481	1,628	4	1803	28,8	50	1,736	1,826	0	2203	33,4	62	1,856	1,752
1304	31,0	55	1,774	s=0,14		1804	32,0	61	1,906	s=0,10		2204	33,8	62	1,834	s=0,11
1305	30,8	50	1,823	$C_V=8,6\%$		1805	31,5	61	1,937	$C_V=5,5\%$		2205	32,4	52	1,605	$C_V=$
1306	32,0	56	1,750			1806	30,9	58	1,877			2206	31,9	54	1,692	6,3%
1307	31,8	47	1,478			1807	28,9	49	1,696			2207	32,3	55	1,708	
1308	33,0	48	1,455			1808	30,6	50	1,634			2208	30,1	51	1,694	
1309	30,9	45	1,456	1,445	6	1809	33,0	62	1,878	1,752	4	2209	31,8	55	1,730	1,774
1310	31,2	45	1,442	s=0,12		1810	32,1	60	1,869	s=0,11		2210	31,1	60	1,929	s=0,11
1311	29,8	42	1,400	$C_V=8,5\%$		1811	30,9	55	1,780	$C_V=6,3\%$		2211	32,0	61	1,906	$C_V=$
1312	29,4	42	1,429			1812	32,0	53	1,656			2212	30,4	51	1,678	6,2%

Tabelul V.46. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
9	1313	30,0	39	1,300			1813	32,4	59	1,821			2213	29,8	47	1,577		
	1314	31,1	46	1,479			1814	30,9	57	1,845			2214	30,2	47	1,556		
	1315	30,9	41	1,327	1,427	8	1815	30,1	48	1,595	1,690	6	2215	31,2	58	1,859	1,740	
	1316	29,8	40	1,342	$s=0,11$		1816	29,3	48	1,638	$s=0,10$		2216	32,5	55	1,692	$s=0,15$	
	1317	32,1	50	1,558	$C_v=7,7\%$		1817	28,5	46	1,614	$C_v=5,9\%$		2217	31,9	59	1,850	$C_v=8,6\%$	
	1318	31,5	48	1,524			1818	30,7	50	1,629			2218	32,0	61	1,906		
10	1319	30,1	39	1,296			1819	33,0	56	1,697			2219					
	1320	32,2	51	1,584			1820	32,7	59	1,804								
	1321	31,9	48	1,505	1,403	10	1821	31,1	47	1,511	1,640							
	1322	29,5	38	1,288	$s=0,13$		1822	32,2	57	1,770	$s=0,13$							
	1323	29,0	37	1,276	$C_v=9,3\%$		1823	30,9	47	1,521	$C_v=7,9\%$							
	1324	30,6	45	1,471			1824	29,9	46	1,538								
12	1325	32,3	47	1,455			1825	30,0	46	1,533								
	1326	32,0	45	1,406			1826	30,2	46	1,523								
	1327	33,1	50	1,511	1,372	12	1827	32,7	59	1,804	1,621							
	1328	30,4	37	1,217	$s=0,11$		1828	30,9	48	1,553	$s=0,15$							
	1329	32,7	44	1,346	$C_v=8\%$		1829	31,4	57	1,815	$C_v=9,3\%$							
	1330	30,9	40	1,294			1830	30,1	45	1,495								

Tabelul V.47.

Determinări asupra lui ρ_{op} la C.A.F.S. la 90 zile

P R E A M E S T E C				P U L V E R I Z A R E				C O N T A C T								
Nr. e- pru- ve- tei	V cm ³	G gr	$\rho_{op} = \frac{G}{V}$ gr/cm ³	ρ_{op} mediu gr/cm ³	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	V cm ³	G gr	$\rho_{op} = \frac{G}{V}$ gr/cm ³	ρ_{op} mediu gr/cm ³	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	V cm ³	G gr	$\rho_{op} = \frac{G}{V}$ gr/cm ³	ρ_{op} mediu gr/cm ³
2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
4					4						0					1,749 s=0,11 C _v =6,3%
6					6						4					1,772 s=0,09 C _v =5,1%

Tabelul V.47. (continuare)

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
8	1343	29,8	39	1,309		1843	29,8	51	1,711	2233	29,8
	1344	30,7	40	1,303		1844	30,7	50	1,629	2234	30,7
	1345	30,1	40	1,329	1,402	1845	33,5	60	1,791	2235	34,0
	1346	32,1	51	1,589	s=0,14	1846	31,8	52	1,635	2236	33,1
	1347	31,8	41	1,290	C _v =10%	1847	32,7	59	1,804	2237	32,0
	1348	32,0	51	1,594		1848	34,0	52	1,529	2238	32,5
10	1349	31,5	40	1,270		1849	30,8	48	1,558	2239	
	1350	33,0	52	1,576		1850	32,7	58	1,774		
	1351	32,5	51	1,569	1,391	1851	31,2	51	1,635		
	1352	31,1	41	1,318	s=0,14	1852	30,7	47	1,531		
	1353	30,9	40	1,294	C _v =10,1%	1853	33,2	60	1,807		
	1354	30,3	40	1,320		1854	32,1	48	1,495		
12	1355	33,1	51	1,541		1855	30,3	46	1,518		
	1356	32,4	51	1,574		1856	33,1	53	1,601		
	1357	30,8	42	1,364	1,357	1857	31,5	46	1,460		
	1358	32,1	37	1,153	s=0,17	1858	30,8	46	1,494		
	1359	30,7	38	1,238	C _v =	1859	32,0	56	1,750		
	1340	31,5	40	1,274	12,5%	1860	32,3	56	1,734		
											1,759
											s=0,08
											C _v =4,5%

Tabelul V.48.

Rezultatele determinărilor asupra modulului
de elasticitate (E) în daN/cm²

p- fB %	Vîrsta în zile	T e h n o l o g i i f o l o s i t e		
		Preamestec	Contact	Pulverizare
0	28	230.000	220.000	230.000
	90	-	-	-
4	28	205.000	220.000	225.000
	90	195.000	210.000	223.000
6	28	170.000	205.000	230.000
	90	175.000	190.000	220.000
8	28	155.000	-	224.000
	90	158.000	-	215.000
10	28	145.000	-	215.000
	90	140.000	-	205.000
12	28	140.000	-	208.000
	90	132.000	-	200.000

Tabelul V.49.

Rezultatele determinărilor modulului de elasticitate
dinamic (E_d) în daN/cm²

p- fB %	Vîrsta în zile	T e h n o l o g i i f o l o s i t e		
		Preamestec	Contact	Pulverizare
0	28	220.000	220.000	220.000
	90	-	-	-
4	28	180.000	210.000	225.000
	90	177.000	204.000	216.000
6	28	173.000	206.000	215.000
	90	170.000	210.000	214.000
8	28	160.000	-	209.000
	90	158.000	-	208.000
10	28	156.000	-	205.000
	90	147.000	-	203.000
12	28	150.000	-	203.000
	90	132.000	-	198.000

Tabelul V.50.

Rezultatele determinărilor asupra contracției (ϵ_c)
în mm/m

Tehnologie	p _{fg} %	Vârsta în zile	0	4	6	8	10	12
PREAMBTEC	3		0,55	0,32	0,35	0,26	0,12	0,29
	7		0,94	0,83	0,79	0,66	0,62	0,53
	14		1,17	1,25	1,18	0,35	0,78	0,74
	28		1,46	1,44	1,38	1,12	1,08	0,88
	90		1,52	1,60	1,52	1,28	0,94	0,94
	180		1,77	1,73	1,62	1,38	1,08	1,01
CONTACT	3		0,35	0,31	0,28	-	-	-
	7		0,68	0,52	0,48	-	-	-
	14		1,67	1,33	1,24	-	-	-
	28		1,89	1,52	1,44	-	-	-
	90		2,44	2,12	2,00	-	-	-
	180		2,61	2,31	2,19	-	-	-
PULVERIZARE	3		0,55	0,37	0,37	0,36	-	-
	7		0,94	0,82	0,77	0,64	-	-
	14		1,13	1,11	1,07	0,90	-	-
	28		1,40	1,43	1,32	1,10	-	-
	90		1,52	1,55	1,50	1,22	-	-
	180		1,58	1,60	1,56	1,29	-	-

Tabelul V.51.

Valorile medii pentru C_v % la CAPS

Determinări	p. f. %	R_t			R_c			R_{t1}			G_d			S_{op}																																																	
		28	90	180	28	90	180	28	90	180	28	90	28	90	28	90																																															
		Tehnologii	4	4,9	12,9	12,1	7,4	8,4	10,4	9,2	5,6	10,4	13,9	15,1	8,6	7,4	6	6,9	8,25	12,7	7,7	8,1	12	11,6	14,5	8,3	9,3	8	4,2	14,4	10,3	7,8	8	14,7	9,4	12	7,7	10	3,8	7	13	10,6	9,5	10,6	15,2	17,4	9,3	10,1	12	7,3	11,7	10,7	18,8	12,4	10,7	12,8	13,2	19	8	12,5			
Media parțială		5,42	10,85	11,76	9,74	9,38	12,1	8,9	9,4	12,1	12,66	15,6	8,38	9,86	Media totală		9,34	9,56	10,13	14,13	9,12																																										
PULVERISARE	4	4,4	7,5	6,9	7	6,1	7,2	5,2	8,3	14,7	9,1	5,5	5	6	3,6	4,4	3,3	6,6	5,6	6,5	10,9	10,4	6,3	7	8	7,4	6,6	4,9	7,9	6,5	5,3	5,9	5,5	9,5	12,5	5,9	6,5	10	6,1	3,1	4,0	7,6	3,5	7,9	6	6,6	7,3	8	7,9	8	12	2,5	7,7	3,4	12,7	7,7	6,1	7,9	7	9,1	9,1	9,3	7,5
Media parțială		5,40	6,86	6,16	6,36	6,88	7,12	6,72	6,78	10,3	9,82	6,98	6,80	Media totală		6,14	7,62	6,87	10,06	6,89																																											
CONTACT	4	9,1	7,4	7,1	6,9	9,7	7,2	8,7	6,9	9,7	9	6,2	5,1	6	7,1	3,3	5,8	7,1	9,8	7	5,8	7,1	9,2	8,6	4,5	8	8,10	5,35	6,45	7	9,75	7,1	7,7	6,35	3,4	9,1	7,4	4,8	4,8																								
Media parțială		6,63	8,38	7,05	8,75	6,1																																																									

Tabelul V.52.

Sporuri de rezistență la CAFS în
funcție de tehnologia folosită

Rezistența	Vârsta în zile	Preamestec a	Pulverizare b	Contact c	Creșteri % b/a	Creșteri % c/a	Creșteri mediu % b/a	Creșteri mediu % c/a
R _t	28	40,38	78,44	75,15	194	186	205	202
	90	33,76	73,68	73,1	218	216		
	180	35,66	72,18	72,65	202	204		
R _{t1}	28	131,28	258,74	228,6	197	174	208	180
	90	117,84	251,00	210,55	213	179		
	180	113,24	243,04	211,00	214	186		
R _a	28	86,24	161,16	154,2	187	179	188	178
	90	93,5	176,72	157,95	189	169		

Tabelul V.53.

Programul experimental privind determinările fizico-mecanice asupra BAFS.

Caracteristici fizico-mecanice	p. fg %	C/Ag		Nr. total epruvete buc.
		1:1	1:2	
R_t	0	6	6	12
	4	6	6	12
	6	6	6	12
	8	6	6	12
R_{ti}	0	6	6	12
	4	6	6	12
	6	6	6	12
	8	6	6	12
R_c	0	6	6	12
	4	6	6	12
	6	6	6	12
	8	6	6	12
G_a	0	6	6	12
	4	6	6	12
	6	6	6	12
	8	6	6	12
E_{bf}	0	12	12	24
	4	12	12	24
	6	12	12	24
	8	12	12	24
E_d	0	6	6	12
	4	6	6	12
	6	6	6	12
	8	6	6	12
ϵ_e	0	6	6	12
	4	6	6	12
	6	6	6	12
	8	6	6	12
ρ_{op}	0	6	6	12
	4	6	6	12
	6	6	6	12
	8	6	6	12
T O T A L :				432

Tabelul V.54.

Determinări asupra lui R_t la EAFS la 28 zile

p_{fg} %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R_t mediu daN/cm ²	p_{fg} %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P_r daN	$R_t = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R_t mediu daN/cm ²
0	3001	3,35	72	21,5	20,1 s=2,58 $C_v=12,8\%$	0	4001	3,71	69	18,6	17,1 s=2,26 $C_v=13,2\%$
	3002	3,45	64	18,6			4002	3,70	63	17,0	
	3003	3,70	74	20,0			4003	3,63	51	14,0	
	3004	3,62	88	24,3			4004	3,60	55	15,3	
	3005	3,42	65	19,0			4005	3,70	75	20,3	
	3006	3,65	60	16,9			4006	3,68	64	17,4	
4	3007	3,44	159	46,2	44,5 s=3,01 $C_v=6,8\%$	4	4007	3,60	130	36,1	38,0 s=2,63 $C_v=6,9\%$
	3008	3,71	170	45,8			4008	3,72	153	41,1	
	3009	3,66	178	48,6			4009	3,70	141	38,1	
	3010	3,60	145	40,3			4010	3,63	150	41,3	
	3011	3,56	150	42,1			4011	3,59	130	36,2	
	3012	3,55	155	43,7			4012	3,68	130	35,3	
6	3013	3,50	208	59,4	52,1 s=3,93 $C_v=7,5\%$	6	4013	3,59	151	42,1	44,3 s=2,08 $C_v=4,7\%$
	3014	3,48	182	52,3			4014	3,64	160	44,0	
	3015	3,61	187	51,8			4015	3,60	153	42,5	
	3016	3,54	174	49,2			4016	3,71	170	45,8	
	3017	3,44	166	48,3			4017	3,74	176	47,6	
	3018	3,64	187	51,4			4018	3,66	160	43,7	
8	3019	3,44	165	48,0	50,2 s=4,18 $C_v=8,3\%$	8	4019	3,70	180	48,6	48,1 s=3,39 $C_v=7,0\%$
	3020	3,56	188	52,8			4020	3,65	190	52,1	
	3021	3,62	197	54,4			4021	3,68	171	46,5	
	3022	3,50	191	54,6			4022	3,72	164	44,1	
	3023	3,48	160	46,0			4023	3,58	186	52,0	
	3024	3,60	164	45,6			4024	3,66	166	45,4	

Tabelul V.55.

Determinări asupra lui R_{ti} la BAFS la 28 zile

C/A _g = 1:1						C/A _g = 1:2					
p _{fg} %	Nr. e- pru- ve- tei	W = $\frac{bh^2}{6}$ cm ³	M = 4,5P daNcm	R _{ti} = $\frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{ti} mediu daN/cm ²	p _{fg} %	Nr. e- pru- ve- tei	W = $\frac{bh^2}{6}$ cm ³	M = 4,5P daNcm	R _{ti} = $\frac{M}{W}$ daN/cm ²	R _{ti} mediu daN/cm ²
0	3049	1,58	90	56,9	52,9 s=3,03 C _v =5,7%	0	4049	1,60	75	46,9	48,0 s=2,96 C _v =6,2%
	3050	1,72	95	55,2			4050	1,75	80	45,7	
	3051	1,70	85	50,0			4051	1,71	75	43,9	
	3052	1,65	90	54,5			4052	1,68	85	50,6	
	3053	1,68	85	50,6			4053	1,80	90	50,0	
	3054	1,70	85	50,0			4054	1,76	90	51,1	
4	3055	1,74	240	137,9	145,1 s=6,08 C _v =4,2%	4	4055	1,71	145	84,8	91,8 s=7,64 C _v =8,3%
	3056	1,80	270	150,0			4056	1,80	180	100,0	
	3057	1,80	270	150,0			4057	1,75	150	85,7	
	3058	1,75	245	140,0			4058	1,74	160	92,0	
	3059	1,70	240	141,2			4059	1,81	185	102,2	
	3060	1,78	270	151,7			4060	1,68	145	86,3	
6	3061	1,67	280	167,7	175,3 s=8,12 C _v =4,6%	6	4061	1,72	175	101,7	107,1 s=6,39 C _v =6,0%
	3062	1,71	305	178,4			4062	1,67	185	110,8	
	3063	1,63	270	165,6			4063	1,65	165	100,0	
	3064	1,70	310	182,4			4064	1,70	195	114,7	
	3065	1,75	325	185,7			4065	1,73	195	112,7	
	3066	1,83	315	172,1			4066	1,66	170	102,4	
8	3067	1,72	350	203,5	190,0 s=8,55 C _v =4,5%	8	4067	1,80	230	127,8	117,9 s=9,21 C _v =7,8%
	3068	1,60	290	181,3			4068	1,82	235	129,1	
	3069	1,58	295	186,7			4069	1,75	195	111,4	
	3070	1,62	295	182,1			4070	1,79	215	120,1	
	3071	1,65	315	190,9			4071	1,68	180	107,1	
	3072	1,66	325	195,8			4072	1,70	190	111,8	

Tabelul V.56.

Determinări asupra lui R_c la BAFS, la 28 zile

C/Ag = 1:1						C/Ag = 1:2					
p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P _r daN	$R_c = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _c mediu daN/cm ²	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	A cm ²	P _r daN	$R_c = \frac{P_r}{A}$ daN/cm ²	R _c mediu daN/cm ²
0	3025	3,66	795	217,2	210,1 s=8,15 C _v =3,9%	0	4025	3,50	780	222,9	229,9 s=10,01 C _v =4,4%
	3026	3,70	820	221,6			4026	3,62	800	221,0	
	3027	3,61	760	210,5			4027	3,54	775	218,9	
	3028	3,60	745	206,9			4028	3,68	885	240,5	
	3029	3,74	765	204,5			4029	3,70	875	236,5	
	3030	3,58	715	199,7			4030	3,63	870	239,7	
4	3031	3,72	685	184,1	180,1 s=10,58 C _v =5,9%	4	4031	3,48	760	218,4	225,1 s=9,30 C _v =4,1%
	3032	3,70	705	190,5			4032	3,56	780	219,1	
	3033	3,62	600	165,7			4033	3,50	760	217,1	
	3034	3,64	700	192,3			4034	3,62	855	236,2	
	3035	3,60	620	172,2			4035	3,60	800	222,2	
	3036	3,55	625	176,0			4036	3,64	865	237,6	
6	3037	3,58	565	157,8	174,2 s=11,32 C _v =6,5%	6	4037	3,63	820	225,9	224,9 s=6,88 C _v =3,1%
	3038	3,64	640	175,8			4038	3,70	865	233,8	
	3039	3,60	595	165,3			4039	3,68	855	232,3	
	3040	3,71	705	190,0			4040	3,61	790	218,8	
	3041	3,66	645	176,2			4041	3,57	785	219,9	
	3042	3,69	665	180,2			4042	3,59	785	218,6	
8	3043	3,70	635	171,6	169,0 s=13,93 C _v =8,2%	8	4043	3,71	740	199,5	190,0 s=9,15 C _v =4,8%
	3044	3,62	650	179,6			4044	3,60	650	180,6	
	3045	3,67	675	183,9			4045	3,69	725	196,5	
	3046	3,73	655	175,6			4046	3,65	675	184,9	
	3047	3,60	545	151,4			4047	3,61	650	180,1	
	3048	3,61	550	152,4			4048	3,70	735	198,6	

Tabelul V.57.

Determinări asupra lui σ_d la BAFS, la 28 zile

C/Ag = 1:1						C/Ag = 1:2								
Gr.	Nr. e-pruve- tei	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d = \frac{L}{A}$	σ_d mediu $\frac{daNcm}{cm^2}$	p. fg %	Nr. e-pru- ve- tei	A cm ²	L daNcm	$\sigma_d = \frac{L}{A}$	σ_d mediu $\frac{daNcm}{cm^2}$			
				$\frac{daNcm}{cm^2}$						$\frac{daNcm}{cm^2}$				
G	3073	3,65	205	56,2	57,1 s=4,96 C _v =8,7%	0	4073	3,70	140	37,8	43,1 s=6,02 C _v =14,0%			
	3074	3,69	210	56,9			4074	3,78	170	45,0				
	3075	3,60	205	56,9			4075	3,65	140	38,4				
	3076	3,71	230	62,0			4076	3,81	190	49,9				
	3077	3,70	180	48,6			4077	3,80	190	50,0				
	3078	3,78	235	62,2			4078	3,75	140	37,3				
	3079	3,59	650	181,1			193,0 s=16,82 C _v =8,7%	4	4079	3,72		540	145,2	160,2 s=14,36 C _v =9,0%
	3080	3,67	655	178,5					4080	3,70		645	174,3	
3081	3,70	790	213,5	4081	3,58	540			150,8					
3082	3,81	805	211,3	4082	3,60	615			170,8					
3083	3,75	660	176,0	4083	3,68	535			145,4					
3084	3,80	750	197,4	4084	3,71	645			173,9					
B	3085	3,66	695	190,0	210,0 s=11,77 C _v =5,6%	6	4085	3,80	795	209,2	197,0 s=13,92 C _v =7,1%			
	3086	3,71	810	218,3			4086	3,76	790	210,1				
	3087	3,54	725	204,8			4087	3,82	800	209,4				
	3088	3,51	745	207,5			4088	3,63	660	181,8				
	3089	3,70	815	220,3			4089	3,65	670	183,6				
	3090	3,65	800	219,2			4090	3,70	695	187,8				
B	3091	3,60	740	205,6	214,8 s=9,50 C _v =4,4%	8	4091	3,61	690	191,1	210,1 s=13,65 C _v =6,5%			
	3092	3,51	705	200,9			4092	3,69	740	200,5				
	3093	3,70	805	217,6			4093	3,83	840	219,3				
	3094	3,77	845	224,1			4094	3,80	840	221,1				
	3095	3,68	800	217,4			4095	3,71	835	225,1				
	3096	3,65	815	223,3			4096	3,74	760	203,2				

Tabelul V.53.

Determinări asupra lui ρ_{op} la BAFS, la 28 zile

G/Ag = 1:1						C/Ag = 1:2					
p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	V cm ³	G gr	$\rho_{op} = \frac{G}{V}$ gr/cm ³	ρ_{op} mediu gr/cm ³	p- fg %	Nr. e- pru- ve- tei	V cm ³	G gr	$\rho_{op} = \frac{G}{V}$ gr/cm ³	ρ_{op} mediu gr/cm ³
0	3097	35,5	80	2,254	2,282 s=0,14 C _V =6,1%	0	4097	37,5	93	2,480	2,200 s=0,24 C _V =10,9%
	3098	36,2	84	2,320			4098	36,8	73	1,984	
	3099	35,8	86	2,402			4099	37,1	90	2,426	
	3100	36,9	75	2,033			4100	37,0	86	2,350	
	3101	37,0	90	2,432			4101	36,6	74	2,022	
	3102	36,0	81	2,250			4102	36,1	70	1,939	
4	3103	34,8	76	2,184	2,181 s=0,14 C _V =6,4%	4	4103	37,0	84	2,270	2,302 s=0,10 C _V =4,3%
	3104	35,1	73	2,080			4104	36,9	84	2,276	
	3105	35,0	70	2,000			4105	37,3	90	2,412	
	3106	37,2	90	2,419			4106	36,2	87	2,403	
	3107	36,6	80	2,186			4107	35,8	77	2,150	
	3108	36,0	80	2,222			4108	36,0	83	2,306	
6	3109	36,2	73	2,017	2,201 s=0,23 C _V =10,5%	6	4109	37,0	85	2,297	2,260 s=0,12 C _V =5,3%
	3110	37,5	95	2,533			4110	36,8	81	2,201	
	3111	37,1	90	2,426			4111	36,2	78	2,155	
	3112	36,8	80	2,174			4112	36,5	80	2,192	
	3113	35,7	71	1,989			4113	37,6	89	2,367	
	3114	36,3	75	2,066			4114	37,1	87	2,345	
8	3115	36,1	75	2,078	2,150 s=0,21 C _V =9,7%	8	4115	36,3	79	2,176	2,249 s=0,10 C _V =4,4%
	3116	37,5	95	2,533			4116	37,0	85	2,297	
	3117	36,0	82	2,278			4117	37,3	88	2,359	
	3118	36,8	80	2,174			4118	35,8	77	2,151	
	3119	35,2	70	1,989			4119	36,1	78	2,161	
	3120	35,8	68	1,899			4120	36,6	86	2,350	

Tabelul V.59.

Rezultatele determinărilor asupra
lui E_{bf} și E_d la BAFS.

E daN/cm ²	p _{fg} %	C O N T A C	
		1:1	1:2
E_{bf}	0	265.000	300.000
	4	272.000	362.000
	6	274.000	385.000
	8	272.000	371.000
E_d	0	261.000	309.000
	4	265.000	313.000
	6	271.000	326.000
	8	270.000	325.000

Tabelul VI.1.

Rezultatele determinărilor asupra tuburilor din BAFS.

g mm	d mm	Tipul fibrei de sticlă	Presiuni N/mm ²			Rezistențe N/mm ²	
			P _u	P _n	P _s	R _t	R _s
10	110	rowing	0,64	0,32	1,68	35,3	10,1
		țesătură	0,70	0,35	1,67	38,1	11,0
8	150	rowing	0,60	0,30	1,05	31,0	10,3
		țesătură	0,62	0,31	1,09	32,0	10,3

Observații : 1) P_u - presiunea hidraulică interioară ;
 2) P_n - presiunea nominală ;
 3) P_s - presiunea de spargere.

Tabelul VI.2.

Dinamica suprafețelor irigate în R.S.R.

Anul	1944	1950	1955	1960	1965	1970	1976	1980	după 1980
Irigații mii ha	19	425	93	200	230	730	1729	3000	5360

Tabelul VI.3.

Proprietăți fizico-mecanice ale cimentului

Apa de consistență normală %	Rest pe sita 0,09 %	Timp de priză		Consist. de volum pe turme	Rezistențe mecanice (daN/cm ²)			
		început	sfârșit		3 zile		28 zile	
					R _{ti}	R _c	R _{ti}	R _c
26	12	1h 30'	2h 30'	bună	47,8	190	74	298

Tabelul VI.4.

Rezultatele determinărilor asupra dalelor

Poziția nervurilor în dală	Conținutul procentual de fibre de sticlă		
	0 %	2 %	3 %
ortogonală	600 kg	1040 kg	1150 kg
diagonală	650 kg	1125 kg	1350 kg