

Betoane armate dispers cu fibre de plastic

Ing. Răpiscă Petru *
 Ing. Tuns Ioan **
 Ing. Muntean Gavrilă ***
 Ing. Muntean Radu ****

Rezumat: se prezintă încercarea de realizare a unor betoane armate dispers cu fibre de plastic în contextul preocupărilor generale legate de betonul fibrat, detaliindu-se aspecte pivoale la betoanele armate cu fibre tip POLITON și FIBRIN.

Abstract: the paper presents the attempt to achieve of some reinforced concrete with plastic fibers in the context of general preoccupations referring to the concrete reinforced by fibers concerning the concrete reinforced by POLITON and FIBRIN types of fibers.

1. Introducere

Armarea dispersă a betoanelor are scopul de a îmbunătăți performanțele și caracteristicile de bază ale betoanelor simple și a celor armate tradițional.

Realizarea betoanelor cu armare dispersă este una din căile de menținere a competitivității betonului ca unul din principalele materiale pentru executarea structurilor de rezistență.

În primul raport din 1973 asupra acestui material, Institutul American de Betoane (ACI – Committee 544) a definit betonul armat cu fibre ca fiind „betonul făcut din cimenturi hidraulice care conțin agregate fine sau mari și fibre discontinue”.

RILEM (Committee 19 FRC) – organismul european de betoane – a definit betonul fibrat ca fiind „făcut din cimenturi hidraulice, cu sau fără agregate de diferite mărimi, care încorporează în principal armături din fibre discrete”.

În țara noastră utilizarea acestor betoane fibrante este încă foarte restrânsă, dar pe plan mondial acest material este folosit destul de frecvent la diferite tipuri de construcții. În acest sens, se remarcă multitudinea de norme elaborate în ultimul timp în diferite țări din lume: SUA – norme elaborate de AICI Committee 544, Committee 506, Japonia – norme elaborate de Societatea de Construcții Civile din această țară, ASTM - norme elaborate în unele țări din Comunitatea Europeană.

2. Proprietăți ale diferitelor betoane armate cu fibre

Betoanele cu armare dispersă rezultă prin înglobarea în masa betonului a unei cantități variabile de fibre discontinue. Aceste fibre pot fi de diferite tipuri și dimensiuni și prezintă diferite proprietăți evidențiate în tabelul 1.

* Conf. dr. ing. – Facultatea de Construcții, Universitatea „TRANSILVANIA” Brașov

** Conf. dr. ing. – Facultatea de Construcții, Universitatea „TRANSILVANIA” Brașov

*** Sef lucr. drd. ing. – Facultatea de Construcții, Universitatea „TRANSILVANIA” Brașov

**** Prep. drd. ing. – Facultatea de Construcții, Universitatea „TRANSILVANIA” Brașov

Tabelul 1 – Proprietăți ale diferitelor tipuri de fibre

Natura fibrei	Diametru (μ)	Densitate (Kg/m ³)	Modulul de elasticitate (KN/mm ²)	Rezistența la întindere (KN/mm ²)	Alungirea la rupere (%)	Rt / ρ _a (MNm/kg)
Azbest	0,02 – 20	2550	165	3 – 4,5	2 - 3	1,17 – 1,76
Carbon - tip I	8	1900	380 - 415	1,5 – 2,1	0,50	0,78 – 1,10
- tip II	9	1900	240 - 280	2,4 - 2,6	1,00	1,26 - 1,36
Polipropilenă	20 – 200	910	5 - 77	0,5 – 0,75	~ 20	0,54 – 0,82
Nailon (242)	> 4	1140	4	0,9	~ 15	0,78
Alumină policristalină	500 - 770	3900	245	0,65	-	0,16
Kelvar PRD49	~ 10	1450	133	2,9 - 2,9	2,6	2,00
PRD29	12	1440	69		4,0	2,01
Sisal	10 - 50	1500	-	0,80	3,0	0,53
Sticlă	9 - 15	~ 2600	70 - 80	2 – 4	2 - 3,5	0,76 – 1,53
Oțel	5 - 500	7840	200	1 – 3	3 – 4	0,12 – 0,38
Poliesteri	20 - 200	950	8,4	0,7 - 0,9	11 - 13	0,73 – 0,94

Majoritatea aplicațiilor din beton fibrat sunt bazate pe principiul îmbunătățirii proprietăților și caracteristicilor mecanice (de rezistență) ale materialului. Totuși, rolul armării betoanelor simple sau armate cu fibre nu consta numai în acest principiu al îmbunătățirii rezistențelor ci mai ales în controlul procesului de fisurare și prin aceasta a îmbunătățirii ductilității, a proprietăților de absorbție a energiei și a rezistenței la impact, șoc, variații de temperatură (gradient de temperatură), rezistență la foc.

Îmbunătățirea proprietăților, care la rândul lor influențează creșterile de rezistență la întindere sunt modeste, dar interesant din punct de vedere practic este creșterea rezistențelor la încovoiere și faptul că datorită fibrelor distribuția eforturilor în zona întinsă este aproape constantă (fig. 1.a, b).

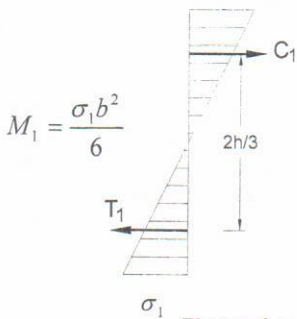


Figura 1.a.

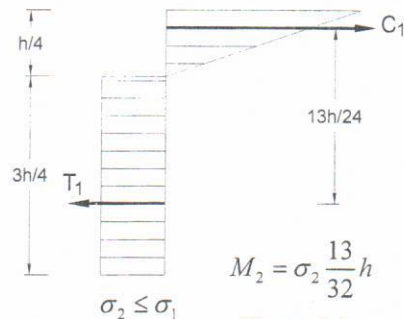


Figura 1.b.

Comportarea la momente încovoiătoare:

- a - nearmate cu fibre;
- b - armate cu fibre

3. Betoane armate dispers cu fibre de plastic

Betoanele armate dispers cu fibre de plastic sunt de mai multe categorii în funcție de natura materialelor plastice. Clasificarea următoare clarifică acest lucru:

- **betoane armate cu fibre de polipropilenă**; fibrele de polipropilenă au modulul de elasticitate $E = 18.000 \text{ N/mm}^2$ și rezistența la întindere $R_t = 600 \pm 700 \text{ N/mm}^2$.
- **betoane armate cu fibre de carbon**; fibrele de carbon pot fi produse prin carbonizarea fibrelor acrilice (poliacrilonitril sau mătase) la temperaturi înalte sau prin extragerea catranului din petrol. Vor rezulta fibre cu un modul de elasticitate scăzut.
- **betoane armate cu fibre de aramid**; aceste fibre au fost utilizate la început ca materii prime pentru realizarea frânghiilor, velor și anvelopelor. Ele sunt caracterizate printr-o rezistență foarte ridicată, un modul de elasticitate foarte mare și o excelentă stabilitate chimică, dar sunt foarte scumpe.
- **betoane armate cu fibre de polietilenă**; asemănător polipropilenei, polietilena obținută din molecule de mărime normală, are un modul de elasticitate scăzut, aderență redusă la pasta de ciment dar și o rezistență superioară în mediu alcalin. Se mai poate folosi sub formă de fibră de polietilenă de înaltă presare.
- **betoane armate cu fibre acrilice**; descrise din punct de vedere chimic ca poliacrilonitrilii, aceste fibre sunt folosite pentru elemente cu secțiuni reduse.
- **betoane armate cu fibre din poliester**; termenul de poliester cuprinde o gamă mai mare de materiale din cadrul fibrelor textile dezvoltate în anii 50 – 60. Dintre acestea o parte au început a fi luate în considerare pentru microarmarea betoanelor.

Remarcabil este faptul ca toate aceste betoane armate dispers cu fibre din materiale plastice sunt stabile din punct de vedere chimic, în sensul că sistemul activ din beton nu intră în combinații chimice cu armatura dispersă nici în faza de hidratare – hidroliză nici în faza de îmbătrânire a betonului.

4. Particularitățile structurale ale betonului

Plecând de la particularitățile structurale ale betonului putem avea o imagine asupra modului de apariție și dezvoltare a microfisurilor în beton. Se cunoaște că rețeaua spațială a betonului conține numeroase și diverse defecte de structură ca: goluri, pori, micropori, microfisuri, canale capilare, spații interstițiale, toate acestea umplute cu aer, vapori de apă, gaze, apă liberă, apă legată fizic.

În betonul armat există un element suplimentar, armatura de oțel. Armatura tradițională nu este un element dispers, din aceasta cauza efectul ei asupra microfisurării este redus.

Armarea dispersă sub formă de fibre distribuite în masa betonului exercită un efect total diferit, având rolul și posibilitatea de intervenție în procesul de apariție a microfisurilor și, în special, în cel de dezvoltare a acestora. Acest rol este reliefat cu pregnanță în cazul microfisurilor de contracție.

5. Procesul de apariție și dezvoltare a microfisurilor în beton.

Formarea și propagarea fisurilor

Din punct de vedere static, structura betonului poate fi imaginată ca un sistem spațial în rețea, cu un grad foarte mare de nedeterminare și totodată, de neomogenitate. Acest sistem alcătuit din componente cu rigidități diferite, legate între ele, sub efectul diverselor acțiuni statice și dinamice de scurta durată, se încarcă și se deformează într-un mod corespunzător legăturilor existente în rețeaua structurală proprie.

Eforturile și deformațiile sunt continuu redistribuite în timp, atât ca urmare a apariției deformațiilor vâscos-plastice ce caracterizează comportarea gelurilor, cât și sub efectul cedărilor locale, respectiv a modificării legăturilor elementelor structurale componente, prin apariția și dezvoltarea microfisurilor. După apariția rețelei de microfisuri are loc o accentuare a dezvoltării deformațiilor plastice.

Sursa de apariție a microfisurilor, care pregătesc ruperea betonului, sunt golurile, microfisurile deja formate, zonele mai slabe din vecinătatea suprafețelor de contact a granulelor de agregat cu piatra de ciment.

În procesul de cedare, microfisurile formate se dezvoltă progresiv sub efectul sporului de încărcare și a duratei de acțiune a sarcinilor, ajungând la granulele de agregat. În cazul unor agregate slabe, dar puternic aderente, ele sunt fisurate, iar în cazul unor agregate de foarte bună calitate, puternic aderente, microfisura poate fi oprită.

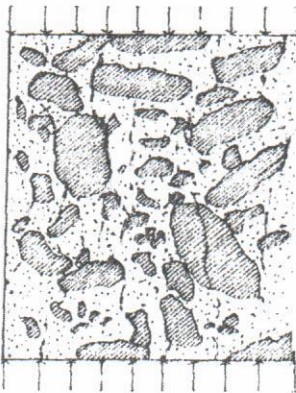


Figura 2 – Modul de cedare a structurii betonului cu agregate grele la compresiune

În cazul existenței unei zone slabe în jurul granulelor de agregat, așa cum se întâmplă în special la betoanele cu agregate de râu, microfisura le înconjoară și le desprinde de piatra de ciment. În acest proces, microfisurile se întâlnesc și, din aproape în aproape, formează fisuri longitudinale șerpuitoare adeseori, sau ușor înclinate față de direcția de acțiune a forței (fig.2), care produc, în final, distrugerea structurii betonului.

Folosirea microarmării este indicată în cazul betoanelor cu agregate grele, la care propagarea procesului de microfisurare are loc prin piatra de ciment și este mai puțin recomandată la betoanele cu agregate ușoare, când procesul de microfisurare are de obicei loc predominant în granulele de agregat și mai puțin în piatra de ciment.

După cum s-a menționat deja, unul din efectele cele mai importante ale încorporării în beton a fibrelor, este mărirea rezistenței la fisurare a materialelor compozite. Romualdi și Batson au pus în evidență acest efect arătând că fibrele cu o rezistență sporită față de a materialului de încorporare, descarcă parțial materialul de bază, declanșarea procesului de microfisurare și dezvoltare necesitând eforturi mai mari.

Formarea primelor microfisuri în materialul de bază, cu posibilități de propagare în jurul fibrelor, care pentru idealizare s-au considerat continue și paralele cu direcția eforturilor, vor elibera local o anumită energie elastică acumulată în materialul de bază. Fisurile vor genera zone de rupere prin lunecare de-a lungul fibrelor. Astfel, va avea loc o lunecare "plastică", fapt ce va conduce la mărirea energiei elastice înmagazinate în zonele înconjurătoare microarmate. Se vor forma zone noi în materialul de bază fisurat și, ca o consecință a conlucrării sporite dintre materialul de încorporare, respectiv beton și fibre, încărcările aplicate vor crește, determinând sporirea eforturilor în materialul compozit.

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

$$\sigma_{bf} = E_{bf} \times \varepsilon_{bf}$$

Rezistența elementului dată de relația de mai sus tinde către zero când procentul de fibre tinde către zero. În realitate, atunci când procentul de fibre tinde către zero, rezistența elementului, respectiv rezistența la întindere a elementului va fi rezistența betonului la întindere.

6. Particularități ale betoanelor armate cu fibre din mase plastice

Existența fibrelor într-o matrice (pastă de ciment, mortar sau beton) prezintă, în general, două efecte importante:

- pentru început, acestea tind să întărească amestecul sub toate formele de încărcare care induc efort de întindere, încovoiere și forfecare;
- ulterior, cresc ductilitatea și duritatea unei matrici, altfel inerent sfărâmicioasă.

Pentru obținerea unor betoane de calitate, la alegerea tipului de fibre trebuie să se aibă în vedere:

- lungimea minimă a fibrelor,
- aderența suprafeței fibrei la matrice,
- distribuția și orientarea fibrelor în matrice,
- intervalul dintre fibre,
- raportul sau aspectul geometric al fibrelor.

Cea mai importantă proprietate a fibrelor din compoziția betoanelor cu armare dispersă este de împiedicare și control a procesului de fisurare. Acest lucru duce la imediată îmbunătățire a tuturor celorlalte proprietăți dependente de procesul de fisurare (rezistență, tenacitate, ductilitate, rezistență la impact, oboseală, variații termice, etc). Nu întotdeauna se realizează faptul că rezistența este de cele mai multe ori singurul criteriu avut în vedere la proiectare. Deseori se trece cu vederea faptul că este destul de important în executarea elementelor de construcție controlul apariției și dezvoltării fisurilor, fenomen care reduce capacitatea de rezistență a elementelor de construcție, în evitarea căruia fibrele joacă un rol foarte important.

7. Despre betoane armate cu fibre POLITON și FIBRIN

Fibrele POLITON și FIBRIN sunt produse realizate și distribuite de KAPOSPLAST Ltd. din Ungaria și ADFIL UK Ltd. din Anglia.

Tipurile de fibre, dimensiunea lor, forma, materia primă, dozajul de beton și mortar precum și indicația de folosire a acestor fibre din mase plastice sunt prezentate în tabelul 2, respectiv tabelul 3.

Tabelul 2 – Fibrele POLITON

Tipul fibrei POLITON	Materia primă	Folosința generală	Dimensiunile fibrei	Forma fibrei	Dozaj informativ Kg/m ³ beton
BVD – 5	POLIPROPILENA	mortare	Ø 0,18 x 5 mm	împletură	2 – 3 kg
BVS – 15	- // -	mortare/betoane	Ø 0,18 x 15 mm	monofilament	1 kg
BVS – 20	- // -	betoane	Ø 0,18 x 20 mm	- // -	1 kg
BVS – 25	- // -	- // -	Ø 0,18 x 25 mm	- // -	1 kg
BVS – 40	- // -	- // -	Ø 0,18 x 40 mm	- // -	1 kg
BVS – 60	- // -	- // -	Ø 0,18 x 60 mm	- // -	2 kg
V - 40	- // -	- // -	Ø 1,1 x 40 mm	macro-fibră	8 kg

Tabelul 3 – Fibrele FIBRIN

Tipul fibrei FIBRIN	Materia primă	Folosința generală	Dimensiunile fibrei	Forma fibrei	Dozaj informativ Kg/m ³ beton
FIBRIN XT	polipropilena	betoane	Ø 22µm x 12-18mm	monofilament	0,90 kg
FIBRIN XT SPECIAL	- // -	- // -	Ø 22µm x 12-18mm	- // -	0,90 kg
FIBRIN 23D	- // -	mortare/betoane	Ø 22µm x 12,18mm	- // -	0,90 kg
FIBRIN 323	- // -	- // -	Ø 18µm x 3mm	- // -	0,90 kg
FIBRIN 623	- // -	- // -	Ø 18µm x 6mm	- // -	0,90 kg
FIBRIN 660F	- // -	- // -	Ø 60µm x 6mm	fibră fibrilată	0,90 kg
FIBRIN 1260F	- // -	- // -	Ø 60µm x 12mm	- // -	0,90 kg
FIBRIN 650	- // -	betoane	Ø 50µm x 6mm	- // -	0,90 kg
FIBRIN 1950	- // -	- // -	Ø 50µm x 19mm	- // -	0,90 kg
FIBRIN 1832	- // -	- // -	Ø 32µm x 18mm	monofilament	0,90 kg
FIBRIN DURUS	- // -	- // -	Ø 0,1mm x 40mm	macro-fibră	8 kg
IGNIS	- // -	mortare/betoane	Ø 18µm x 12mm	monofilament	1 – 3 kg
FIBRIN CRACKSTOP-50	- // -	- // -	Ø 22µm x 6,12mm	- // -	0,5% din dozajul de ciment

7.1. Factori care influențează comportarea betonului cu armare dispersă cu fibre de plastic

Conținutul de fibre. Pentru îmbunătățirea proprietăților betonului obișnuit, este necesară o cantitate de fibre de oțel de minim 25 Kg/m³, corespunzător la circa 1% din greutatea amestecului și 0,33% din volumul total al amestecului. Eficiența adaosului de fibre sporește odată cu creșterea conținutului său.

Orientarea fibrelor. Orientarea unei fibre față de planul fisurii influențează puternic capacitatea ei de a transmite sarcina prin fisură. O fibră care are o orientare paralelă cu fisura nu exercită nici un efect favorabil, în timp ce una perpendiculară pe fisură are un efect maxim.

Aspectul geometric. Este unul din factorii care influențează compactibilitatea betoanelor microarmate și, odată cu aceasta, rezistența și modul de comportare.

Textura, forma și natura suprafeței fibrei. Orice tehnică de creștere a rezistenței la forfecare a legăturii dintre suprafața fibrei și matrice mărește valoarea rezistenței în fibră și îi îmbunătățește eficiența. Astfel de tehnici includ procese de producere a unor fibre cu suprafețe deformate sau cu asperități, cu capete deformate sau profilate în lungul lor.

Agregatele. În afară de factorii menționați anterior, mărimea, forma și volumul fracțiunii agregatelor exercită, de asemenea, o anumită influență asupra proprietăților betonului cu armare dispersă. Cu cât dimensiunile agregatelor sunt mai mari, cu atât mai mari sunt și problemele de asigurare a aderenței dintre fibre și matrice.

Cimentul influențează comportarea betoanelor cu armare dispersă prin cantitatea adăugată. Astfel, o cantitate mai mare de ciment asigură o aderență mai bună între fibre și matrice, ceea ce determină o comportare mai bună a materialului în procesul de apariție a fisurilor, de comportare la acțiuni exterioare și la deformații.

Evaluarea dozajului la betoane armate cu fibre de plastic:

Evaluarea dozajului de materiale componente este indicat a se face pe baza unor încercări preliminare. Stabilirea dozajului inițial de materiale necesită următoarele faze:

- pentru cantitatea de apă A_1 se folosește relația:

$$A_1 = C_1 C_2 A_0 \quad [l \cdot m^3]$$

- cantitatea de ciment se evaluează cu relația:

$$C_1 = \frac{A_1}{\left(\frac{A}{C}\right)_{\min}} \quad [Kg/m^3]$$

- pentru evaluarea cantității totale de agregate se are în vedere relația:

$$1000 \text{ dm}^3 = \frac{G_{ag}}{\rho_{ag}} + \frac{C}{\rho_c} + \frac{A}{\rho_a} + a$$

- dozajul de fibre de plastic este cel din tabelele 2 și 3

- aditivii - în cazul betoanelor armate cu fibre de plastic se folosesc aditivi plastifianți care au un efect favorabil privind îmbunătățirea lucrabilității acestor betoane, știut fiind faptul că adaosul de fibre înrăutățește această caracteristică a betonului proaspăt.

Raportul Comitetului ACI - 544 a stabilit anumite limite a dozajelor materialelor componente pentru un beton obișnuit, armat cu fibre de plastic, date ce sunt cuprinse în tabelul 4.

Tabelul 4 - Evaluarea dozajelor betoanelor armate cu fibre de plastic

Material componente	U.M.	Rețeta normală	Rețeta cu cenușă
Dozaj de ciment	Kg/m ³	325 - 600	290
Cenușă de termocentrală	Kg/m ³	-	135
Raportul A/C	-	0,4 - 0,6	0,54
Agregate - dimensiune max.	mm	10	10
Agregate - parte fină	%	50 - 100	50
Conținut de aer	%	6 - 9	-
Proc. de armare volumetric	%	vezi tabelul 2 și 3	

7.2. Rezistențele mecanice ale betoanelor armate cu fibre de plastic

- **Rezistența la întindere.** Comportarea la întindere a betoanelor armate cu fibre de plastic, în cazul general, depinde de procentul de armare cu fibre și de alte caracteristici ale fibrelor cum ar fi: rezistența la întindere, elongația la rupere, modulul de elasticitate, rezistența legăturii dintre fibre și matrice, coeficientul lui Poisson, raportul geometric, textura, forma și suprafața fibrelor.

- **Rezistența la compresiune.** Creșterile maxime ale eforturilor de compresiune în cazul betoanelor armate cu fibre de oțel, sunt de aproximativ 30% față de rezistența la compresiune a betoanelor obișnuite.

Pentru volume de fibre de 1 - 2% din volumul total al betonului, efectul lor asupra rezistenței la compresiune este în general minim, dar capacitatea de preluare a eforturilor de întindere este în mod semnificativ îmbunătățită (îmbunătățire ce depinde de tipul fibrei și raportul geometric).

- **Rezistența la încovoiere.** În standardul ASTM rezistența la încovoiere este definită ca fiind rezistența la apariția primei fisuri pe proba testată.

Este de asemenea recunoscut că domeniul eforturilor directe sunt cele care apar

mai rar în exploatarea construcțiilor și că mult mai importante din punct de vedere al proiectării este comportarea la încovoiere.

S-a descoperit că în timp ce betonul simplu are deformații la rupere de aproximativ 100×10^{-6} m/m, betoanele armate cu fibre sunt capabile să preia eforturi mai mari și să prezinte deformații înainte de rupere cuprinse între 2000×10^{-6} m/m și 5000×10^{-6} m/m.

7.3. Beneficii ale armării betoanelor cu fibre de plastic

Folosirea recomandată a fibrelor duce la:

- mărirea consistenței și a stabilității betonului proaspăt ceea ce conduce la o micșorare a pierderilor (material căzut) atunci când betonul este folosit pentru torcretări;
- micșorarea segregării și a separării betonului proaspăt, lucru benefic pentru manipularea și transportul betonului;
- reducerea fisurilor din contractia betonului deoarece fibrele preiau întinderile din beton;
- creșterea durității și a rezistenței la impact a betonului (cu până la 163%);
- creșterea rezistenței la compresiune și încovoiere (cu până la 138%);
- creșterea rezistenței la întindere (cu până la 147%);
- o absorbție mai bună a sunetelor (fonoizolație);
- îmbunătățirea permeabilității prin scăderea capacității de absorbție a apei, ceea ce conduce la o îmbunătățire a rezistenței la îngheț;
- creșterea valorii construcțiilor prin reducerea nevoii de întreținere periodică și creșterea duratei de viață.

Concluzii:

Intrucât mai trebuie adâncită și extinsă cercetarea, datele privind experimentarea elementelor de beton armat și beton simplu armat dispers cu fibre de plastic vor fi publicate într-o altă comunicare.

Bibliografie:

1. ACI Committee 544 – State –of-the-Art – Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI Journal No 11, 1973, pp. 729 – 744
2. ACI Committee 544 – State –of-the-Art – Report on Fiber Reinforced Concrete, Detroit, Journal of the American Concrete Institute, vol. 40, November 1973
3. ACI Committee 544 – Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete. Report ACI 544.2R-78, USA 1978
4. ACI Committee 544 – State –of-the-Art – Second Revision, No 5, May 1982, pp.9-30
5. ACI Committee 544 – State –of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, Report ACI 544.1R-82, Concrete International, May 1982
6. ACI Committee 544 – Guide for Specifying, Mixing, Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete. Report ACI 544.3R-84, USA 1984
7. ACI Committee 544 – Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete. Report ACI 544.2R-86, ACI Materials Journal, No 6, November/December 1986
8. ACI Committee 544 – Design Considerations for steel Fiber Reinforced Concrete. Report ACI 544.4R-88, ACI Structural Journal, September/October 1988
9. Lușa Tulească – Contribuții la realizarea structurilor de rezistență cu ajutorul betoanelor fibratate – Teză de doctorat, Universitatea Tehnică "Gh.Asachi" Iași, 200045