

*Cojocaru E., inginer cercetător științific stagiar,  
Croitoru Gh., dr. ing. cercetător științific, ICȘC "INCERCOM" Î.S.*

## **Studiul comportării betonului armat cu fibre**

### **Abstract**

*This article discusses the study dispersed fiber reinforced concrete as structural elements and the main methods and techniques of structural and micro-structural analysis of the steel-concrete components, as well as the determination of the best composition of fiber reinforced concrete. This article reflect the influence and the characteristics of the dispersed fibers within a cement matrix, thus, the reinforcement with fibers vastly allows to average out the main deficiency of the cement which are low durability at tension and shortness at fracture.*

*According to our experiments the durability of elements from the steel-concrete, having long fibers, is almost twice bigger than the durability of reference beams, without fiber addition.*

### **Rezumat**

*Articolul se referă la studiul betoanelor dispers armate cu fibre ca elemente structurale, la stabilirea principalelor metode și tehnici de analiză structurală și micro-structurală a componentelor betonului dispers armat, precum și stabilirea compoziției optime a betonului cu adaos de fibre. Articolul reflectă caracteristica și influența fibrelor dispersate în matricea de beton, astfel că, armarea cu fibre să permită, în mare parte, să compenseze principalele deficiențe ale betonului – rezistența redusă la tracțiune și fragilitate la fracturare.*

*După cum se observă din datele experimentale rezistența elementelor din beton armat, cu fibre lungi, este aproape de 2 ori mai mare decât a grinzilor de referință, fără adaos de fibre.*

### **Резюме**

*В данной статье рассматриваются исследования дисперсных бетонов армированных волокном, в качестве структурных элементов в создании основных методов и методик структурного и микро-структурного анализа дисперсионных железобетонных конструкций, а также определения оптимального состава бетона с добавками волокна. Статья отображает характеристику и влияние дисперсных волокон в бетонной матрице, так, чтобы армирующие волокна позволяли, в значительной степени компенсировать основные недостатки бетона - низкую прочность на разрыв и хрупкость при разрушение.*

*Как видно из экспериментальных данных, прочность железобетонных элементов с длинными волокнами почти в 2 раза выше, чем без добавления волокон.*

## **Introducere**

În momentul de față au apărut tehnologii moderne, care permit producerea materialelor de construcții mai rezistente și mai de perspectivă în ceea ce privește durabilitatea. Un astfel de material, care are toate

criteriile, pentru a fi numit materialul noii generații este și betonul dispers armat cu fibre. La bază, acest material, are un beton obișnuit. Dar datorită faptului că în materialul compozițional se adaugă aditivi fibroși, care pot fi armatura, fibre de sticlă, aditivi polimerici, acesta capătă rezistență la tracțiune și rezistență la rupere timpurie.

Materialul compozit reprezintă un sistem obținut pe cale artificială, unind două sau mai multe materiale, diferite din punct de vedere chimic, legate între ele prin intermediul unei matrice, cu scopul de a se obține anumite proprietăți care nu pot fi obținute luând materialele separat.

Componentele de bază ale acestor materiale compozite sînt:

- fibrele, care reprezintă faza discontinuă avînd un rol de ranforsat sau material de armare ce conferă rezistență produsului final;
- matricea, care formează faza continuă cu rolul de a îngloba și lega fibrele. Aceasta protejează fibrele și contribuie la transferul încărcărilor către acestea.

Spre deosebire, de plasă și armătură care pot fi fixate într-un singur plan, fibrele, simultan, sînt distribuite în toată matricea de beton (dispersează). Fibrele pot îndeplini mai multe funcții, în dependență de proporțiile stabile. Una din cele mai importante funcții este reducerea micro și macrofisurilor. Determinînd fisurile în starea lor inițială, fibrele împiedică răspîndirea lor.

Există foarte multe metode de realizare a consolidărilor și renovării, structurilor de beton și beton armat, dar cea mai des folosită metodă, pînă în momentul de față, este utilizarea fibrelor de armare, care realizează un material compozit cu noi caracteristici, mult mai performante în comparație cu material componente. Pentru realizarea acestei tehnici speciale de consolidare a structurilor de beton și beton armat, sînt necesare ample cunoștințe despre comportarea în exploatare a celor două materiale folosite, dar și a întregului sistem astfel rezultat.

Avantaje:

- asigură o armare tridimensională în toata masa amestecurilor;
- elimină crăpăturile și fisurile datorate tensiunilor și contracțiilor;
- crește considerabil rezistență la uzură și la cicluri îngheț – dezgheț;
- reduce în mare măsură permeabilitatea betoanelor și mortarelor;
- fibrele de armare sînt neutre la componenții chimici corozivi;
- betoanele și mortarele pot fi aplicate manual sau prin injectare;
- mărește plasticitatea și lucrabilitatea betoanelor și mortarelor;
- sporește rezistența la foc a betoanelor și mortarelor;
- nu necesită adăugarea aditivilor superplastifianți.

Cele mai frecvent utilizate tipuri de fibre sunt cele din polipropilenă. Aceste fibre se adaugă și amestecă în beton și în ciment. Ele îmbunătățesc

proprietățile amestecurilor, furnizând o întărire suplimentară și în special controlează nevăzutele și neplăcutele contracției (formarea crăpăturilor).

Tendința betonului și a mortarului de a se crăpa a fost acceptată ca naturală în folosință pînă acum cîțiva ani. Crăpăturile din beton sau mortar care sînt formate în prima fază a contracției uscate (în starea plastică) cauzează în consecință probleme în ce privește scăderea integrității și rezistenței betonului.

Aceste crăpături se formează în primele 24 ore după turnarea betonului. Fisurile de turnare și de contracție pot să nu fie observate pînă peste cîteva zile. De obicei, suprafața pardoselii turnate este perfectă încă, în urma operației de finisare, sau pur și simplu nu sînt suficient de late pentru a fi observate pînă cînd betonul sau mortarul nu se contractă sau o sarcină determină ca aceste planuri slabe să escaladeze și să devină crăpături vizibile.

Motivul pentru care apar crăpăturile este că exista anumite tensiuni care depășesc rezistența betonului. Acest lucru poate fi evitat utilizînd fibrele polipropilenice în structurile din beton.

Aceste fibre sînt, mulțumită suprafeței lor specifice, capabile să absoarbă și să elibereze tensiunile din timpul contracției uscate (energia este distribuită în multe milioane de fibre). Reducerea sau eliminarea fisurilor plastice permite apoi betonului să-și dezvolte o integritate optimă pe termen lung.

Cînd fibrele de polipropilenă sînt adăugate la amestecul betonului, acțiunea de amestecare determină deschiderea și separarea acestora în milioane de fibre individuale, care se distribuie uniform în toată masa betonului în toate direcțiile, furnizînd o întărire secundară eficientă pentru controlul fisurării la contracție. În timp ce se întărește și contractă betonul, se dezvoltă fisuri microscopice. Cînd microfisurile înlînesc o fibră, ele sînt blocate și se previne dezvoltarea lor spre fază de macrofisuri și apariția de probleme. Adăugarea fibrelor de polipropilenă în tot betonul servește și la minimizarea lățimii și lungimii crăpăturilor care ar putea apărea în starea uscată.

Fibrele de propilenă se folosesc la construcția obiectelor de inginerie civilă, industrială, rutieră ca component a mortarelor și amestecurilor.

Pe parcursul experimentelor, s-a stabilit că adăugarea fibrelor de polipropilenă conduc la:

- reducerea segregării amestecului de beton – pînă la 25 %;
- reducerea timpului de priză și de întărire, adică creșterea vitezei de căpătare a formei – pînă la 45 %;
- creșterea mărcii betonului după rezistență – pînă la 25 %.

Principalele domenii de utilizare ale fibrelor de polipropilenă, sînt aceleași ca și la oricare alt tip de fibre:

- construcții monolitice și de înălțime;
- turnarea pardoselilor;
- pilonilor de fundație;
- fundamente supuse acțiunilor dinamice;
- plăci monolitice de trotuar, traverse de cale ferată.

Firul de polipropilenă este un adaos pentru înlocuirea eficace a fierului beton în unele cazuri (șape, pardoseli, parcări, tencuieli, etc.), care datorită structurii sale (legăturilor transversale dintre fire și a suprafeței aspre ce conferă aderență) se dispersează tridimensional, uniform, în beton și mortar.

Fibrele polipropilenice sînt adecvate pentru realizarea fațadelor, a aleilor cu trafic greu sau pietonal, a parcărilor, a pardoselilor industriale, a tancurilor septice, a zidăriei subterane, a depozitelor și zonelor aeroportuare etc.

### 1. Proprietăți principale ale betoanelor armate cu fibre

Comportamentul fizic și chimic este evaluat în conformitate cu următoarele fenomene: contracție pe termen scurt (plastică); contracție pe termen lung (hidraulică); durabilitate; îngheț-dezghet; carbonatare; coroziune fibrelor în prezența de clorurilor; expunerea la foc.

**Rezistența la compresiune** a betonului nu este în mod substanțial modificată de surplusul de fibre. O creștere moderată pentru o rată considerabilă de fibre de oțel (aproximativ nu mai puțin de 1,5 % din volum) poate fi observată. După atingerea vîrfului, materialul prezintă o ductilitate marcată, care depinde puternic de conținutul de fibre (Fig. 1):

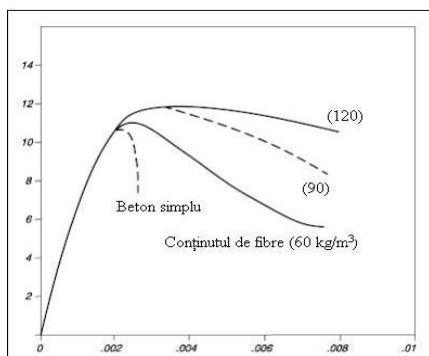


Figura 1. Diagrama: încărcare vs deformare, pentru betonul cu doze diferite de fibre

Betonul armat cu fibre are comportament la tracțiunea uniaxială ce este puternic afectat de prezența conținutului de fibre, în special în faza primei fisurări. Numai prin utilizarea măsurătorilor de înaltă precizie, mai ales în cazul microfibrilor (cu un conținut aproximativ de 1,5 – 2 % din volum și chiar mai mult), adăugări remarcabile de valoare maximă pot fi obținute (Fig. 2 și 3):

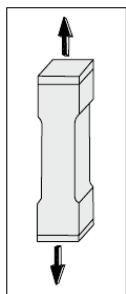


Figura 2. Poziția epruvetei pentru testul de rezistență la tracțiune directă

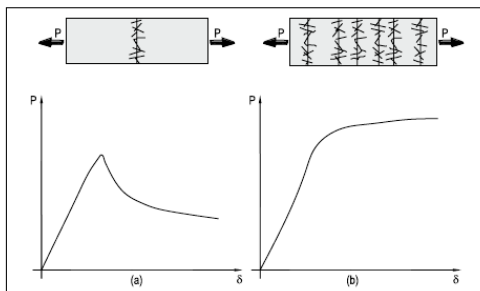


Figura 3. Curba de încărcare ( $P$ ) vs de deformare ( $\delta$ ), pentru beton cu dozaj scăzut de fibre (a) și pentru beton cu un dozaj ridicat de fibre (b)

### ***Tracțiune la despicare indirectă. Încercare braziliană.***

Dificultățile întâlnite, ce țin de ordin practic, pentru a efectua încercările la tracțiune directă au dus la proceduri alternative de testare, cum ar fi, de exemplu, tracțiunea la despicare indirectă, de asemenea, numit „test brazilian” (Fig. 4 – 6):

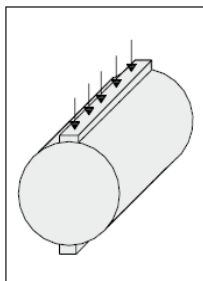


Figura 4. Aranjarea epruvetei pentru încercarea braziliană



Figura 5. Utilajul pentru testarea la despicare indirectă



Figura 6. Exemplu de configurație a epruvetei pentru testarea la despicare indirectă

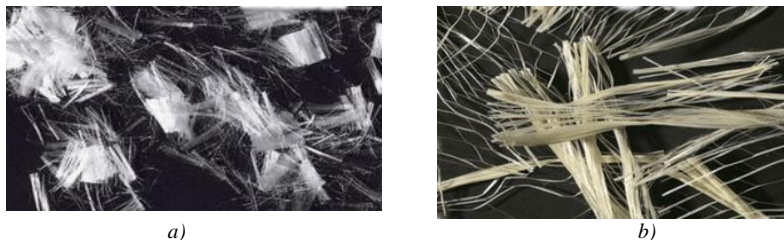
În imagine epruveta are formă cilindrică dar, de asemenea, este posibil să se testeze pe epruvete cubice sau prismatice.

### **3. Determinări experimentale privind cantitatea optimă de adaos de fibre pentru armarea dispersă a betonului**

Fisurile în beton se formează la etapa inițială de tasare (în stare plastică) și pot diminua integritatea și rezistența betonului. Aceste fisuri se formează în primele 24 h după turnarea betonului. Cauzele apariției fisurilor se datorează faptului că tensiunea existentă depășește rezistența betonului. Acest lucru poate fi evitat prin adăugarea unei cantități optime de fibră de polipropilenă în amestecul de beton. Fibrele, datorită suprafeței lor specifice, sînt capabile să asimileze forțele de întindere în timpul tasării (energia se repartizează pe milioane de fibre), ceea ce permite betonului să dezvolte o rezistență durabilă. În acest sens fibrele de polipropilenă datorită suprafeței sale mari este mult mai eficientă decît plasa din sîrmă de oțel.

Fibra din polipropilenă inertă – homopolimer, de culoare albă și bej (fig. 7), se prezintă ca un fir lenticular, fibrilat longitudinal, apoi răsucit, lucrează în masa amestecurilor ca o puzderie de holzșuruburi, asigurînd ca o punte potențialele porțiuni cu fisuri. Avînd o tenacitate și o rezistență la rupere mare, plus marginile tip lamă de fierăstrău și forma elicoidală a fibrei, aceasta face imposibilă extragerea lor din masa betonului. Firul de polipropilenă poate fi folosit ca adaos pentru înlocuirea eficace a fierului beton în unele cazuri (șape, pardoseli, parcări, tencuieli, etc.), care datorită structurii sale (legăturilor transversale dintre fire și a suprafeței aspre ce conferă aderență) se dispersează tridimensional, uniform, în beton și mortar. La producerea betonului trebuie respectate toate regulile și indicațiile din domeniu. Astfel trebuie examinată calitatea adaosului, granulația, calitatea cimentului, calitatea și puritatea apei. Utilajele de cîntărire și de adăugare, timpul de amestec, adăugarea de fibre și alte adaosuri trebuie verificate permanent.

Prin adăugarea lor la prepararea betonului sau mortarului și omogenizarea amestecului, fibrele vor conduce la realizarea unor legături suplimentare între particulele componente formînd un sistem de „microarmare” ce contribuie la îmbunătățirea sensibilă a principalelor caracteristici fizico-mecanice ale produselor în care vor fi încorporate.



a)  
Figura 7. Fibre din polipropilenă pentru armarea betoanelor și mortarelor  
a) scurte și b) lungi

Cerințele impuse la utilizarea fibrelor:

- chimic neutre;
- rezistența la întindere relativ mare;
- ancorare și aderență bună în beton.

Efectul presupus de armare cu fibre asupra betonului:

- creșterea rezistenței la întindere,
- obținerea unei rigidități sporite.

#### **4. Determinarea compoziției optime a betonului cu adaos de fibre**

Cunoscând compozițiile optime ale betonului cu adaos de fibre și caracteristicile mecanice (compresiune și întindere din încovoiere) vom încerca să stabilim compoziția optimă a betonului cu adaos de fibre.

Pentru aceasta s-au confecționat probe cubice (cilindrice) și prismatice, care au fost testate la compresiune cu diferite compoziții a amestecului de beton.

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

Pentru încercarea la fisurare s-au luat grinzile confecționate din beton simplu, care au fost încărcate treptat pînă la apariția primelor fisuri, înregistrîndu-se valoarea efortului și măsurîndu-se mărimea fisurilor. Starea limită de serviciu a fost înregistrată și încărcarea a fost oprită la o deschidere medie de fisură de 0,2 mm. După descărcare (relaxare), fisurile s-au închis la o deschidere remanentă de 0,03 – 0,04 mm. Distribuția fisurilor la starea limită de serviciu poate fi observată în fig. 8 pentru grinzile din beton simplu (a) și din beton armat cu fibre lungi (b), cu strat de acoperire cu beton de 50 mm.

După aceasta grinzile au fost încărcate pînă la distrugere, în stadiul limită ultim (SLU).

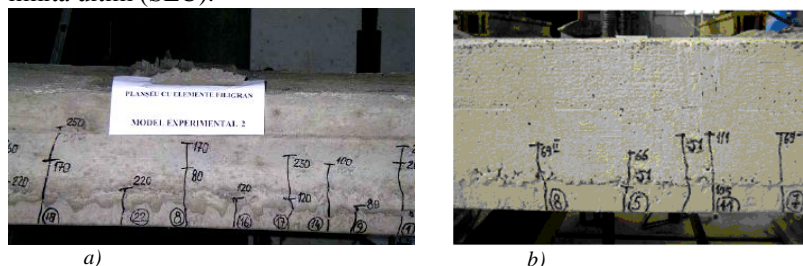


Figura 8. Grinzile din beton simplu (a) și armat cu fibre lungi (b), încercate la fisurare la SLS cu strat de acoperire cu beton de 50 mm

Testele au fost efectuate prin plasarea grinzilor pe instalația de încercări, în funcție de sistemul de testare prin încovoierea în două puncte, folosindu-se o distanță între dispozitivele de acționare de 160 cm, lăsându-se o suprafață cu o deschidere de 90 cm (aproximativ de 3 ori înălțimea utilă a secționării) și obținându-se o distanță între susținători de 340 cm.

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

După aceasta a fost continuată încărcarea, pînă la apariția primelor fisuri și din nou studiată prezența fisurilor. După descărcare (relaxare), fisurile s-au închis la o deschidere remanentă de 0,02 – 0,03 mm.

După aceasta grinzile au fost încărcate pînă la distrugere, în stadiul limită ultim (SLU).

S-a observat din analizele efectuate, că rezistența la întindere din încovoiere a grinzilor din beton armat, cu fibre lungi, este aproape de 2 ori mai mare decât a grinzilor de referință, fără adaos de fibre.

## Concluzii

Problemele legate de rezistența și durabilitatea betoanelor, au condus la efectuarea a mai multor studii teoretice și experimentale care să îmbunătățească aceste proprietăți și care să creeze medii de dezvoltare a unor noi domenii de studii.



Betoanele dispers armate sînt caracterizate în principal prin următoarele proprietăți principale:

- rezistențele la compresiune și modulul de elasticitate cu valori practic egale cu ale betonului martor și rezistențele sporite la compresiune locală și omogenitate în toate direcțiile;

- rezistențele la întindere și încovoiere superioare cu 20 – 200 % în funcție de clasa betonului, tipul și dozajul armăturii disperse;

- rezistențe la uzură mai mari cu 10 – 30 % și rezistențele la șoc mecanic de 2 - 12 ori mai mari ca la betonul martor;

- o bună durabilitate (capacitate de deformare sub sarcină crescută și comportare ductilă post vîrf de sarcină); impermeabilitate egală și rezistență la îngheț-dezgeț repetat superioară betonului martor;

- contracții ușor inferioare betonului martor; reducerea sau ameliorarea tendinței de fisurare a betonului și îmbunătățirea comportării elementelor sub aspectul deschiderii și reparației fisurilor;

- posibilități de reducere sau eliminare a armăturii cu bare din OB și etrieri la realizarea unor elemente și lucrări din beton armat și precomprimat; reducerea dimensiunilor unor elemente prin eliminarea stratului de acoperire cu beton;

- creșterea conductivității electrice a BFM de 4 - 10 ori datorită armării disperse;

- reducerea numărului și volumului fazelor la execuția unor lucrări etc.

## **Bibliografie**

1. Concrete Society Technical Report No. 55 Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials, edited by The Concrete Society, 2000;
2. NE 012-1:2007, Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat Partea I, Producerea betonului;
3. COLESNIC IGOR, Studii și cercetări asupra protecției anticorosive în industria materialelor de construcții, Teză de doctorat, Galați, 2011;
4. Making Better Use of the Strength of Advanced Materials in Structural Engineering (Îmbunătățirii cu privire la folosirea noilor materiale pentru consolidări, on ingineria structurală), Conferința

internațională a Fibrelor Polimerice Compozite, Hong Kong, 2001;

5. AVRAM CONSTANTIN, BOB CORNELIU, Noi tipuri de betoane speciale, Facultatea de Construcții Timișoara, Ed. Tehnică Buc. 1980;
6. CADAR IOAN, CLIPII TUDOR, TUDOR AGETA, Beton armat, Ediția I, Editura Orizontul Universitar, Timișoara, 1999;
7. В.В. БАБКОВ, В.Н. МОХОВ, М.Б. ДАВЛЕТШИН, А.В. ПАРФЕНОВ и др. Модифицированные бетоны повышенной ударной выносливости. Строительные материалы, 2002.