

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎMBRĂCĂMINȚILOR RUTIERE RIGIDE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul Inginerie Civilă

ing. Radu POPA

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing Sorin DAN

Ziua susținerii tezei: 16 septembrie 2020

CUPRINS

1. INTRODUCERE	5
1.1. Noțiuni generale.....	5
1.2. Motivația cercetării	7
1.3. Obiectivele tezei de doctorat	8
1.4. Actualitatea și importanța temei.....	9
2. DEZVOLTAREA BETOANELOR RUTIERE ÎN SECOLUL XXI	12
2.1. Scurtă prezentare a betoanelor rutiere.....	12
2.2. Tipuri de fibre utilizate la betoane	14
2.2.1. Tipul I: Beton armat cu fibre de oțel - Fibre metalice	15
2.2.2. Tipul II: Beton armat cu fibre de sticlă- Fibre de sticlă	18
2.2.3. Tipul III: Beton armat cu fibre sintetice - Fibre de carbon.....	20
2.2.4. Tipul IV: Beton armat cu fibre sintetice - Fibre de polipropilenă	22
2.2.5. Tipul V: Beton armat cu fibre naturale – Fibre de celuloză.....	25
2.2.6. Caracteristici fizico -mecanice ale fibrelor.....	26
2.2.7. Distanța dintre fibre și suprafața specifică a fibrelor	27
2.2.8. Avantajele utilizării fibrelor în beton.....	30
3. CRITERII DE STABILIRE A SUSTENABILITĂȚII UNUI BETON	33
3.1. Noțiunea de sustenabilitate în domeniul materialelor de construcții.	33
3.2. Factori decizionali în stabilirea sustenabilității unui material de construcții	36
4. DETERMINĂRI DE LABORATOR PE BETOANE CU FIBRE	42
4.1. Betoane cu fibre de oțel	42
4.1.1. Norme de proiectare pentru betoanele armate dispers cu fibre de oțel	43
4.1.2. Tipul probelor testate și moduri de testare	44
4.1.3. Studiu experimental pe betoanele armate dispers cu fibre de oțel.....	45
4.1.4. Concluzii asupra betoanelor armate dispers cu fibre de oțel	50
4.2. Betoane cu fibră de sticlă	51
4.2.1. Noțiuni introductive. Caracteristici ale betoanelor cu fibre de sticlă.....	51
4.3. Betoane cu fibre de polipropilenă	55
4.3.1. Betoane cu fibre fibrilate din polipropilenă, RoNet	56

4.3.2. Betoane armate dispers cu fibre monofilament din polipropilenă, RoWhite.....	58
4.3.3. Betoane armate dispers cu macrofibre din polipropilenă, Readymesh PF 540....	60
4.4. Concluzii ale programului experimental pe betoane armate dispers cu fibre	62
5. STUDIU DE CAZ - PLATFORMĂ BETONATĂ TIMIȘOARA	65
5.1. Optimizarea compoziției betoanelor utilizate pentru realizarea îmbrăcăminții rutiere	65
5.2. Tehnologia punerii în operă a betoanelor cu fibre utilizate pentru realizarea îmbrăcăminții rutiere	68
5.3. Urmărirea comportării în timp a platformei betonate	69
5.3.1. Încercări pe carote extrase din platformele reabilitate	71
5.4. Concluzii asupra durabilității tronsoanelor experimentale	79
6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	82
ANEXA FOTO.....	86
BIBLIOGRAFIE.....	89

1. INTRODUCERE

1.1. Noțiuni generale

Betonul este definit ca fiind un amestec artificial, cu aspect de conglomerat, bine omogenizat, de liant (de obicei - ciment), agregat, apă și aditivi. În urma unor procese fizico-chimice, pasta formată de către liant și apă se rigidizează și leagă astfel agregatul. De aici rezultă caracterul de „monolit” al betonului.

Ca și material de construcții a fost utilizat, pentru prima dată, de către romani, sub forma unui amestec între ciment, var, argilă și balast, fiind denumit pe atunci: *opus caementicum*. Cu ajutorul acestui nou material, romanii au construit structuri impunătoare ce s-au dovedit a avea o durabilitate extraordinară de-a lungul timpului. Se poate aminti aici: Colosseumul, băile publice romane, blocurile de locuințe, sistemele romane de canalizare, podurile și multe altele.

În anul 1756, britanicul John Smeaton, a descoperit varul hidraulic – material care a stat la baza dezvoltării ulterioare a cimentului portland și deci a betonului. Cimentul portland, așa cum este el cunoscut astăzi, a fost utilizat pentru prima dată în anul 1824, de către englezul Joseph Aspdin. Acesta a ars la o temperatură de aproximativ 1000⁰ C, un amestec de calcar și argilă, pe care l-a măcinat fin după ardere. Apoi, în anul 1867, grădinarul francez Joseph Monier, a realizat primele elemente de construcții din beton armat.

Se observă că betonul are o compoziție unică, compoziție care îi asigură o excelentă comportare la încărcări precum compresiune, dar rezistențele sale devin limitate atunci când este supus la încărcări precum întindere/încovoiere. Acest fapt a condus la dezvoltarea cercetărilor efectuate pentru a îmbunătăți rezistența la întindere a betonului. În acest scop s-au dezvoltat noi tipuri de cimenturi, s-au introdus fibre, aditivi și adaosuri în compozițiile cercetate.

Principala caracteristică a betonului întărit o reprezintă clasa acestuia. Clasa betonului se definește ca fiind rezistența minimă la compresiune determinată la 28 de zile de la prepararea betonului, pe forme sub formă de cub sau cilindru, pe epruvete păstrate în condiții standardizate.

În țara noastră, de-a lungul anilor, s-au folosit diverse notații pentru a specifica calitatea betoanelor. Astfel, Normativul C140/79, a folosit ca și notație pentru clasa betonului litera B, urmată de cifre (de exemplu B250- beton cu o rezistență minimă la compresiune, determinată

la 28 de zile de 20 N/mm^2). În anul 1986, același normativ folosea ca notații pentru clasa aceluiși beton Bc 20.

Astăzi este în vigoare normativul NE012-99, care utilizează notații precum C16/20 pentru a desemna rezistența la compresiune determinată la 28 de zile, pe probe sub formă de cilindri cu înălțimea de 30 de cm, respectiv cu diametrul de 15 cm și pe cub cu latura de 15 cm.

Utilizarea betonului la realizarea drumurilor a fost un nou domeniu care s-a dovedit a deschide direcții de cercetare privind îmbunătățirea caracteristicilor acestui material. Primul drum rutier s-a realizat din beton în anul 1865, în Scoția, Inverness. În America, prima stradă care avea un pavaj realizat din beton a fost în anul 1893.



Fig. 1. Bellefontaine, Ohio, United States [1] – prima stradă betonată din America

În anul 1909 s-au realizat primii kilometri de autostradă în America, Detroit.



Fig. 2. Woodward Avenue, Detroit 1909 [2] – primii kilometri de autostradă

Sustenabilitatea utilizării betonului la drumuri, parcări aeroporturi, tuneluri, în comparație cu îmbrăcămințile rutiere asfaltice, se poate justifica prin următoarele proprietăți ale acestui material:

- capacitate portantă sporită în comparație cu îmbrăcămințile rutiere asfaltice;
- vizibilitatea eventualelor obstacole este superioară pe culoarea deschisă oferită a îmbrăcăminților rutiere realizate cu beton;
- durabilitate sporită precum și costuri reduse de mentenanță;
- reducerea uzurii pneurilor autovehiculelor;
- utilizarea betonului la drumuri este indicată în zonele cu variații mari de temperatură, deoarece acest tip de îmbrăcămințe rutieră nu suferă deformații datorate variațiilor de temperatură.

Consumul de combustibil este un factor major în economia rutieră, rezistența la rulare a pavajului contribuind în mod semnificativ la consumul de carburant și la producția corespunzătoare de CO₂. Rezistența la rulare poate fi atribuită parțial lipsei rigidității pavajului. Utilizarea pavajului din beton rigid are ca și rezultat un consum mai mic de combustibil și de aici scăderea emisiilor asociate.

Avantajul major pe care îl prezintă îmbrăcămințile rutiere realizate din beton îl constituie reducerea costurilor de întreținere a acestor tipuri de drumuri în comparație cu cele realizate din asfalt.

Totuși, există și limitări în utilizarea lor, cum ar fi:

- nu este posibilă reabilitarea unei astfel de îmbrăcăminți rutiere care prezintă fisuri sau crăpături decât cu investiții financiare mari;
- în timp, suprafața îmbrăcăminților rutiere realizate din beton, este probabil să devină prea netedă și alunecoasă pe parcursul duratei lungi de funcționare și înlăturarea unui astfel de tip de îmbrăcămințe rutieră este dificilă sau prea scumpă.
- costul inițial al construcției este ridicat.

1.2. Motivația cercetării

În cadrul tezei se prezintă tipuri de betoane rutiere realizate cu diferite fibre, tehnologia de amestecare și de punere în operă a acestora. Ca și în cazul aproape tuturor deciziilor financiare în domeniul lucrărilor civile, alegerea materialelor presupune cântărirea performanțelor și a costurilor. Considerațiile privind costurile pot include costurile inițiale, costurile de întreținere, costurile pe durata de viață și finanțarea proiectelor.

Dezvoltarea societății este strâns corelată cu dezvoltarea căilor de comunicații terestre și aeriene. O țară care are o infrastructură bine dezvoltată este considerată, în prezent, o țară „bogată”. Drumurile joacă un rol important în dezvoltarea economică și socială a unei țări, asigurând posibilitatea de a ajunge repede și în siguranță la destinația propusă. Durabilitatea acestora este o problemă stringentă la ora actuală.

În Anglia, s-au investit numai în ultimul an, în lucrările de reparații ale drumurilor peste 2,6 bilioane de dolari, sumă ce reprezintă o parte considerabilă din bugetul acestei țări. Cifre asemănătoare se investesc și de către alte țări din Europa.

Pentru a reduce costurile de întreținere a căilor de comunicație terestre, în ultimele decenii s-au dezvoltat noi tipuri de betoane cu aplicabilitate în acest domeniu. În scopul de a obține betoane care fac față cu performanță la condițiile de mediu dar și la traficul intens, compoziția acestora trebuie bine stabilită și, totodată trebuie să ia în considerare numeroși alți factori, cum ar fi: prezența agenților chimici, acțiunea înghețului-dezghetului, condițiile de întărire, modul de turnare și vibrare și așa mai departe.

Astfel, pentru a stabili compoziția optimă a unui beton sunt necesare studii aprofundate asupra componentelor acestuia, precum și asupra tehnologiei de fabricare a betonului.

Compoziția betoanelor utilizate în prezent a cunoscut o evoluție rapidă în decursul ultimilor 20 de ani. Introducerea pe piața specifică a unor substanțe chimice specifice acestui domeniu (aditivi), precum și a unor adaosuri revoluționare, a făcut ca acest tip de material să devină un material sustenabil, cu caracteristici și proprietăți mult îmbunătățite.

Perioada obișnuită de design pentru acest tip de betoane este de 40 de ani, iar costurile reduse de întreținere determină o răspândire fulgerătoare, pe întreg mapamondul, a acestui tip de îmbrăcăminte rutieră.

1.3. Obiectivele tezei de doctorat

Principalul obiectiv al tezei de doctorat a fost acela de a obține o rețetă optimă a unor betoane rutiere, armate cu diferite tipuri de fibre dispersate în masa acestora. Cercetările au avut la bază studiul asupra fibrelor de oțel, de polipropilenă, precum și a fibrelor de sticlă. S-a urmărit optimizarea dozajului de fibre în volumul de beton precum și, a procedurii de amestecare a acestora în betonul proaspăt.

S-a executat și urmărit în timp durabilitatea unei platforme betonate cu un strat de 5 cm grosime de beton armat cu fibre de oțel, cu o tehnologie de amestecare și de punere în operă

optimizate în cadrul studiului efectuat în prezenta temă de cercetare. S-au mai efectuat largi studii biografice asupra evoluției în lume a betoanelor utilizate la drumuri și autostrăzi.

Ca și obiectiv s-a urmărit și participarea la conferințe în domeniul de cercetare, precum și publicarea de articole științifice ce au la bază cercetările bibliografice și experimentale ale autorului prezentei teze de doctorat. Elementele de noutate prezentate în teză, constau în optimizarea materialelor de tip compozit precum și a construcțiilor ce se pot realiza cu acest tip de materiale și, corelarea cu baze științifice a problematicii betoanelor armate dispers.

1.4. Actualitatea și importanța temei

Optimizarea compoziției betoanelor utilizate la drumuri, autostrăzi și alte tipuri de căi de comunicații terestre reprezintă o direcție de cercetare actuală la nivel global. Betonul are o rezistență redusă la întindere și este, de asemenea un material ce prezintă o cedare bruscă, când este supus la acest tip de încărcări. Pentru menținerea competitivității acestui material, cercetările din ultimii 50 de ani au introdus în compoziția clasică a betonului un „al- 5- lea element” (pe lângă cele clasice: apă, ciment, agregate, aditivi/adaosuri), diverse tipuri de fibre. Acest fapt a condus la îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului.

Folosirea fibrelor pentru consolidarea materialelor din beton este un concept bine cunoscut. A fost practică din cele mai vechi timpuri, cu paie amestecate în cărămizi de noroi și păr de cal inclus în mortare. Cu toate acestea, în practicile noastre moderne de construcție, am uitat practicile antice de a controla fisurile din beton. Fisurarea betonului este normală. Cimentul Portland este considerat a fi un material relativ fragil și este susceptibil de a se fisura atât în stare proaspătă, precum și în stadiul întărit. Con tracția din beton în stare proaspătă, se produce atunci când evaporarea apei de pe suprafața betonului este mai mare decât apa de hidratare. Deoarece betonul nu are rezistențe semnificative atunci când este supus la eforturi de întindere în stadiul său de plastic, o schimbare a volumului determină spargerea, fisurarea suprafeței. Pe măsură ce se întărește, apa prezentă în porii de beton începe să se evapore. Aceasta determină slăbirea betonului datorită schimbării volumului, care este restrânsă de substrat și armătură. Acest lucru duce la dezvoltarea unei solicitări de întindere în betonul întărit, determinând din nou fisurarea betonului. Crăpăturile duc la o percepție negativă asupra calității, durabilității și utilizabilității, însă în majoritatea cazurilor acestea devin doar probleme estetice. Crăpăturile generează, de asemenea, dispute între proprietar, arhitect, inginer proiectant și constructor, ceea ce duce la întârzieri la locul de muncă și la

creșterea costurilor din cauza opririlor din execuție. Una dintre soluțiile la această problemă este adăugarea fibrelor în beton.

Betonul armat cu fibre disperse a apărut în jurul anilor 1960, iar apoi, începând cu anul 2000 au apărut și normative privind compoziția, tehnologia de fabricare și utilizarea acestuia. S-a dezvoltat acest material pentru a reduce costul structurilor tradiționale executate cu elemente din beton armat, structuri ce devin nesustenabile în timp, datorită coroziunii armăturilor, în principal. Totuși, fibrele nu pot înlocui complet armăturile tradiționale din beton. Armarea cu fibre a betonului are scopul principal de a asigura transmiterea eforturilor de fisurare ce apar în elementele de beton atunci când acestea sunt supuse eforturilor.

În ultimii 40 de ani, utilizarea fibrelor în compoziția cimenturilor și a betoanelor a crescut, ajungând astăzi la aproximativ 100 de milioane de metri cubi anual. Din această cantitate, 65% o reprezintă betoanele armate cu fibre utilizate la plăci, 25% la betoanele torcretate, 5% la elementele prefabricate [3]. Fibrele adăugate în masa betonului au rolul de a împiedeca formarea micro-fisurilor care, în final devin crăpături. Trebuie menționat faptul că nu toate tipurile de fibre se pot folosi în betoane (datorită riscului de interacțiune chimică a acestora cu componenții mineralogici ai cimentului) și nu toate fibrele pot conduce la înlocuirea completă a armăturilor din beton.

Analizând avantajele betonului armat cu fibre în comparație cu cel simplu, nearmat, se pot distinge următoarele caracteristici ale acestor tipuri de materiale [4]:

- betoanele armate cu fibre au o durabilitate, rezistențe mecanice și stabilitate sporite;
- întreținerea betoanelor armate cu fibre este mai economică;
- betoanele armate cu fibre se pot utiliza cu ușurință la realizarea elementelor/structurilor cu design special.

Ideea de armare a materialelor de construcții cu fibre, datează cu secole în urmă, când, pentru a reduce fisurarea cărămizilor arse, se introduceau în compoziția acestora fibre precum paie sau păr de animale. În anul 1874, A. Bernand, SUA, introduce pe piață primul patent al betonului armat cu fibre, prin introducerea în compoziția betonului proaspăt a unor resturi de oțel inegale. După aproximativ 50 de ani, G. C. Martin, realizează, în California, prima conductă din beton armat cu fibre de oțel, iar Meischke – Smith cercetează corelația dintre forma fibrelor și aderența acestora în compoziția betonului.

Câțiva ani mai târziu, Etheridge, 1933, pune în evidență ameliorarea fisurării betonului prin utilizarea de fibre inelare cu diferite diametre. Inginerul român Gogu Constantinescu cercetează, la începutul anilor '40, conceptul de beton armat dispers cu fibre, introducând acest concept și în țara noastră.

Cercetările asupra acestui tip de beton au luat avânt abia la începutul anilor 1970. Atunci, la Universitatea Ruhr din Bochum, Germania, s-a realizat o compoziție de beton armat cu fibre metalice ce s-a utilizat la torcretarea pereților tunelurilor de metrou.

Introducerea diverselor tipuri de fibre în compoziția betoanelor au condus la controlarea procesului de dezvoltare a fisurilor, lucru ce este strâns legat de îmbunătățirea rezistenței la impact, la variații de temperatură, la foc. Fibrele asigură o armare tridimensională a betonului, fapt ce asigură o mai bună flexibilitatea a acestuia. Astfel, deși betonul armat cu fibre poate înlocui numai în anumite situații armătura clasică, datorită avantajelor constructive și economice prezentate de aceste tipuri de betoane, se pot folosi alternativ sau împreună cu betonul armat cu armătură clasică.

Betonul este un material care se supune actualmente necesităților societății în a obține clădiri și structuri economice, durabile și în nevoia de a putea fi realizate într-o perioadă de timp cât mai scurtă. S-au conturat deja, în diferite studii și aplicații, avantajele utilizării armărilor disperse, care au condus la obținerea unei durabilități crescute a acestui tip de material de construcție.

Cercetările din prezent asupra diverselor compoziții de betoane armate dispers au la bază scopul comun de a spori rezistențele mecanice ale acestora până la valori ce vor permite eliminarea completă a armăturilor clasice. Astfel, de exemplu, la Universitatea Nova din Lisabona, în anul 2019, au început două programe de cercetare sub conducerea profesorilor Valter Lucio și António Manuel Pinho Ramos. Tema este în plin trend ascendent și în Japonia, unde se estimează că numai în anul 1981 s-au utilizat peste 3000 de tone de betoane armate cu fibre de carbon și de oțel.

Luând în considerare faptul că nu există o rețetă unică de beton ce se poate utiliza la toate lucrările de construcții, prezenta teza de doctorat are ca și scop optimizarea tehnologiei și a compozițiilor unor betoane armate dispers cu diverse tipuri de fibre, pentru a fi utilizate la realizarea îmbrăcăminților rutiere.

2. DEZVOLTAREA BETOANELOR RUTIERE ÎN SECOLUL XXI

2.1. Scurtă prezentare a betoanelor rutiere.

Betoanele rutiere se proiectează cu o durată de serviciu de minimum 40 de ani, iar costurile de întreținere a suprafețelor sunt reduse. În ultimul deceniu, datorită adăugării de fibre de diverse tipuri, durabilitatea acestor tipuri de îmbrăcămînți rutiere a fost mult extinsă. În plus, se dezvoltă tendința reutilizării acestor betoane, procedeu ce presupune decopertarea drumurilor, măcinarea materialului rezultat, amestecarea lui cu ciment și apă și returnarea îmbrăcămînții rutiere. Se poate observa tendința globală de reducere pe cât posibil a costurilor de realizare a căilor de rulare prin reutilizarea materialelor.

În compoziția betoanelor rutiere se utilizează agregate de la fața locului, fapt ce le face mai economice decât soluția asfaltică, mai ales, luând în considerare prețul petrolului în continuă creștere.

Capacitatea portantă a acestor tipuri de îmbrăcămînți rutiere este net superioară celor asfaltice, ceea ce conduce la răspândirea utilizării lor la autostrăzi și alte căi de rulare cu trafic intens și greu.

Se utilizează, în prezent, următoarele tipuri de îmbrăcămînți rutiere:

1. Îmbrăcămînți rutiere realizate cu rosturi de turnare – acestea se realizează prin turnarea unor plăci de beton cu grosimi între 20-30 cm ce au rosturi de turnare la 5-10 m. În rosturi se pot introduce armături de legătură sau nu.

2. Îmbrăcămînți rutiere realizate prin pulverizare – au în compoziția lor beton vârtos amestecat cu asfalt. Principalul avantaj al acestui tip de îmbrăcăminte rutieră este timpul scurt de rigidizare/întărire și deci de punere în funcțiune a drumului.

3. Îmbrăcămînți rutiere armate cu armături continue – plăcile de beton utilizate sunt armate cu armături flexibile ce au rolul de a reduce contracția acestora și deci de a controla fisurarea lor. Se poate renunța, în acest caz, la rosturile orizontale de turnare, rezultând o suprafață continuă.

4. Îmbrăcămînți rutiere compozite – peste stratul de beton se adaugă un strat de îmbrăcăminte asfaltică, se obține astfel atât o capacitate portantă sporită cât și beneficiile aduse de stratul de mixtură asfaltică.

5. Îmbrăcămînți rutiere din betoane realizate cu pietriș ce au aproape 20% porozitatea, fapt ce asigură o permeabilitate sporită dar și reducerea zgomotului produs de autovehicule.

6. Pavaje de 5-10 cm grosime cu beton realizate peste straturile vechi de asfalt. Se poate obține prin această metodă un strat cu rezistență sporită la frecare.

7. Betoane armate cu fibre care prin adaosul de fibre își sporesc rezistența la întindere, încovoiere dar își reduc și tendința de fisurare.

8. Betoane cu întărire rapidă – principalul avantaj constituindu-l timpul scurt de dare în folosință a acestui tip de îmbrăcăminte rutieră.

9. Plăci de beton prefabricate, precomprimate sau nu, pentru drumuri – utilizarea acestora face ca punerea în funcțiune a drumului să fie posibilă imediat.

Variațiile de volum în beton cauzează formarea de fisuri, deoarece forțele dezvoltate în interiorul betonului depășesc rezistența la întindere a acestuia la momentul respectiv. Creșterea acestor micro-fisuri datorate contracției, este inhibată de acțiunea mecanică de blocare a fibrelor adăugate în compoziția betonului. Sistemul de susținere internă al fibrelor, inhibă formarea fisurilor. Distribuția uniformă a fibrelor pe toată suprafața betonului descurajează dezvoltarea capilarelor mari, cauzate de migrarea apei de hidratare la suprafață. Fibrele reduc astfel permeabilitatea betonului prin reducerea fisurilor din contracție la uscare a betonului.

Abilitatea de a rezista forțelor de rupere este mult îmbunătățită prin introducerea fibrelor în beton. Atunci când betonul simplu este comprimat, acesta se va sparge și va eșua la prima fisură. Fibrele fabricate special pentru beton, împiedică efectul forțelor de întindere, prin legarea strânsă a componentelor din interiorul betonului. Rezistența la abraziune a betonului este sporită atunci când se utilizează fibre, deoarece raportul apă/ciment de la suprafața acestuia, nu este redus de variația cantității de apă de hidratare. Rezistența la impact și alte sarcini aplicate brusc reprezintă, de asemenea, una dintre îmbunătățirile semnificative ale proprietăților betonului armat cu fibră. Fibrele ajută la distribuirea forțelor de impact asupra întregului volum de beton, reducând astfel concentrația forțelor de fisurare.

Introducerea diverselor tipuri de fibre în compoziția betoanelor a condus la obținerea unor caracteristici superioare ale acestui tip de beton. Astfel în anul 1999, în Franța a fost redactat un cod interimar pentru structuri ce sunt realizate cu betoane cu fibre, iar în anul 2004, în Japonia s-au publicat recomandări pentru proiectare, reguli pentru selectarea proprietăților materialelor în vederea proiectării, testării și obținerii durabilității dorite, tehnologii de execuție.

2.2. Tipuri de fibre utilizate la betoane

Fibrele ce se utilizează în beton pot fi fibre micro sau macro, în funcție de dimensiunea relativă a fibrei. Se consideră o microfibră, o fibră care are un diametru mai mic de 0,3 mm, respectiv, o macrofibră, o fibră care are un diametru egal sau mai mare de 0,3 mm. În bibliografia din domeniu s-a efectuat o clasificare pe patru categorii principale pentru betonul armat cu fibre pe baza materialului utilizat pentru fabricarea fibrei, astfel [5]:

Tipul I: Beton armat cu fibre de oțel – ce pot fi din: oțel inoxidabil, oțel aliat sau fibre de oțel carbon în conformitate cu ASTM A820;

Tipul II: Beton armat cu fibre de sticlă, conform cu ASTM C1666;

Tipul III: Beton armat cu fibre sintetice – ce pot fi fibre artificiale (de exemplu: carbon, nailon, poliester și polipropilene);

Tipul IV: Beton armat cu fibre naturale – de exemplu: fibre de celuloză dintr-o varietate de plante.

Betonul armat cu fibre disperse are o multitudine de avantaje, cum ar fi:

- fibrele asigură o armare tridimensională în întregul volum;
- se împiedică propagarea fisurilor și crăpăturilor ce sunt posibile a se produce în masa betonului în momentul așa numitei *prize false a cimentului* sau în timpul uscării acestuia;
- prin reducerea fisurării crește considerabil durabilitatea precum și rezistența la îngheț-dezghet;
- se îmbunătățește rezistența la uzură și la impact;
- se reduce permeabilitatea betoanelor;
- reduc tendința de segregare a betonului proaspăt;
- îmbunătățesc rezistența la întindere a betonului întărit.

Caracteristicile betonului armat cu fibre depind de: tipul de fibră utilizată, volumul proporțional al fibrei, raportul dintre lungimea și diametrul fibrei, dispersia, direcția și concentrația fibrelor.

Fibrele se împart în două categorii:

1) Fibre structurale ce pot fi metalice (RFC 45/50; RFC 80/60 RFO 1×50; etc) sau polipropilene (Forta Ferro sau RoFero) și au rolul de armare dispersă a betoanelor. Dozajul acestor fibre se realizează de proiectant sau se pune la dispoziție de către producători.

2) Fibrele ne structurale sunt acele fibre care se folosesc împreună cu altă armare și sunt complementare cu armarea dispersă. Ca și exemplu se pot menționa aici: fibrele pentru eliminarea microfisurilor sau fibrele utilizate în supra-betonări și/sau șape. Aceste fibre au o rezistență medie, având rolul de armare dispersă dar preiau foarte bine contracțiile termice ale betonului.

2.2.1. Tipul I: Beton armat cu fibre de oțel - Fibre metalice

Fibre metalice se obțin prin diferite procedee în industria metalurgică, cum ar fi: prelucrarea sârmelor tari din oțel carbon, a sârmelor pentru beton precomprimat sau prin proiectarea jetului de metal lichid pe un tambur umed care se rotește cu viteză mare.

Cercetările făcute de omul de știință român George Constantinescu în anii 1950, au condus la promovarea noii metode de ranforsare a betonului cu fibre. În urma acestor cercetări au început să se întrevadă schimbări și în domeniul construcțiilor din România. Deși fibrele metalice erau folosite deja în toate proiectele mari din Europa (porturi, tuneluri, diguri, autostrăzi etc.), acestea au început să fie utilizate în România abia după revoluție, la început doar în proiectele implementate sau finanțate de investitori străini. Betonul armat dispers cu fibre metalice - BFM, material obținut prin amestecul cimentului, agregatelor, fibrelor metalice, aditivilor, adaosurilor minerale și apei la preparare, în proporțiile prestabilite, ale cărui proprietăți se dezvoltă prin hidratarea și întărirea cimentului și interacțiunea dintre fibrele metalice și matrice. BFM cu agregate 0-1; 0-2; 0-3; 0-5; 0-7 (8) mm etc. și rezistențe de minim 30 N/mm^2 sunt denumite și microbetoane armate dispers cu fibre metalice – MBFM.[6]

Fibrele metalice utilizate la armarea dispersă poate fi produsă și livrată pe piața specifică în mai multe forme și dimensiuni, după cum urmează [6]:

- cu secțiune circulară, pătrată sau dreptunghiulară;
- forma care poate fi cu ciocuri la capete, rectilinie sau lisă, ondulată, etc.;
- lungimea fibrelor care poate fi de la 5mm până la 80 mm;
- diametrul fibrelor circulare ce poate fi de la 0,13 mm până la 1,2 mm.
- raportul lungime/diametru;
- rezistența la tracțiune a sârmelor din oțel carbon din care sunt fabricate fibrele, care variază frecvent între 1000 și 3000 N/mm^2 ;
- tratamente de suprafață pentru unele fibre prin galvanizare, acoperire cu pelicule epoxi etc.;
- fibre fabricate din oțeluri speciale, oțel inoxidabil, oțel refractar;
- fibre fabricate din fontă;
- densitatea fibrelor de oțel este de 7850 kg/m^3 ;
- modulul de elasticitate $E = 210 \text{ kN/mm}^2$;
- alungirea la rupere de 3 – 4%. [6]

Matricea slabă din beton când este întărită cu fibre de oțel, uniform distribuite pe întreaga masă, își mărește rezistența semnificativ, conducând astfel la comportarea acesteia ca un material compozit cu proprietăți semnificativ diferite de betonul convențional. Datorită îmbunătățirilor imense obținute prin adăugarea fibrelor în beton, există mai multe aplicații în care betonul armat cu fibre de oțel poate fi utilizat în mod inteligent și benefic.

Normativele românești [6], prezintă dozajul maxim ce poate fi utilizat în betoanele armate dispers cu fibre metalice, având o clasă de rezistență cuprinsă între C16/20 până la C45/55, după cum urmează (Tabelul 1):

Tabelul 1. Dozaj maxim fibre în betoanele uzuale

D _{agregat} (mm) l/d	Dozaj de fibre (kg/m ³)							
	Beton turnat normal	Beton turnat prin pompare	Beton turnat normal	Beton turnat prin pompare	Beton turnat normal	Beton turnat prin pompare	Beton turnat normal	Beton turnat prin pompare
0 – 4 / 45	200	160	160	120	130	95	95	70
0 – 8 / 60	160	120	125	95	100	75	75	55
0 – 16 / 75	120	80	85	65	70	55	55	40
0 – 32 / 100	80	60	50	40	40	30	30	25

Fibrele metalice cel mai des utilizate pentru armarea structurală dispersă a betoanelor sunt:

- 1) Fibre metalice cu ciocuri – RFC (Fig. 3);
- 2) Fibre metalice ondulate – RFO (Fig. 4);
- 3) Fibre metalice rectangulare (plate) (Fig. 5);
- 4) Fibre metalice circulare (Fig. 6);
- 5) Fibre frezate cu secțiune triunghiulară (Fig 7).



Fig. 3. Fibre metalice cu ciocuri – RFC



Fig. 4. Fibre metalice ondulate – RFO

Tabelul 2. Exemplu de caracteristici pentru fibre metalice ondulate – RFO[7]

Parametri	Unitate de masura	Valoare declarata UM	Abateri limita	Metodologie
Diametru, D	mm	1.05	±0.04	EN14889-1/2007
Lungime, L	mm	30	±5.0	
Rezistenta la rupere Rm	N/mm ²	min. 1100	±15%	
Incercare la indoire		min. 3 indoiri		



Fig. 5. Fibre metalice rectangulare (plate)



Fig. 6. Fibre metalice circulare



Fig. 7. Fibre frezate cu secțiune triunghiulară

Domeniile de utilizare ale tuturor acestor tipuri de fibre sunt vaste și variate:

- armarea dispersă a betoanelor rutiere utilizate în execuția și reparația îmbrăcăminții drumurilor și aeroporturilor, a parcărilor și a pardoselilor industriale;

- armarea dispersă a betoanelor hidrotehnice și pentru torcretat, utilizate la execuția și reparațiile îmbrăcăminților tunelurilor de șosea, cale ferată, metrou, elemente de protecție a cheiurilor;

- armarea dispersă a betoanelor utilizate la construcții civile, industriale, lucrări de gen militar, infrastructura și suprastructura podurilor de șosea și de cale ferată.

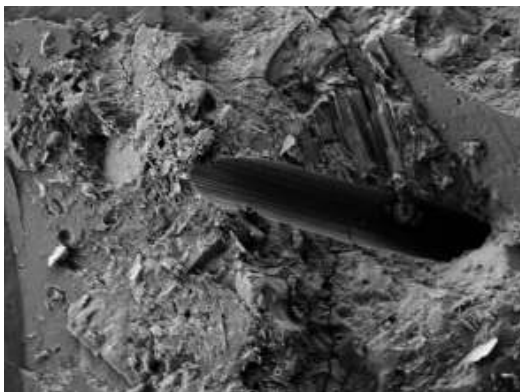


Fig. 8. Imagine SEM- Microstructura betonului armat cu fibre de carbon [8]

2.2.2. Tipul II: Beton armat cu fibre de sticlă- Fibre de sticlă

Fibrele de sticlă se obțin din sticle speciale, cum ar fi: sticla borosilicatică, denumită sticla E, sticla zirconică denumită și alcali-rezistentă (AR).



Fig. 9. Fibre de sticlă boro-silicatică, denumită sticla E

Primul beton cu fibre de sticlă a fost obținut în anul 1940 în Rusia, dar s-a dovedit a avea o durabilitate scăzută. Abia 30 de ani mai târziu, în Anglia, apare un beton cu fibre de sticlă alcali rezistente ce au o rezistență sporită la mediul alcalin dezvoltat în matricea de ciment.

La hidratarea cimentului se formează un mediu bazic care atacă fibrele de sticlă. Din acest motiv, dacă se utilizează fibrele de sticlă, se recomandă a se introduce un ciment aluminos sau magnezian sau, bineînțeles, să se utilizeze fibrele de sticlă tip AR.

Rezistența la întindere a firului de sticlă crește invers proporțional cu diametrul. Rezistența la întindere, pentru fire obținute prin turnare, este diferită de cea a fibrelor obținute prin tragere din topitura aceleiași sticle (tehnologia clasică de obținere a fibrelor).

Fiind un material obținut artificial, betonul cu fibre de sticlă, poate avea proprietăți diferite în funcție de volumul, forma și tipul fibrelor utilizate în compoziția sa. S-au efectuat cercetări experimentale asupra acestui tip de betoane ce au fost expuse la medii cu umiditate sporită sau cu salinitate ridicată. Rezultatele arată că acest tip de beton este superior betonului armat clasic din cauză că nu prezintă coroziune, nu arde, ba mai mult protejează materialele pe care le acoperă de foc.

Adăosul de fibre de sticlă de aproximativ 10% în volumul betonului, mărește rezistența la tracțiune a acestuia de aproximativ două ori, iar rezistența la impact de aproximativ 10 ori. Testele de încărcare ciclice efectuate pe laminatele din fibră de sticlă au arătat că rezistența la oboseală a betonului armat cu fibră de sticlă este aproximativ comparabilă cu cea a betonului armat cu fibră de oțel. Conținutul de fibre de sticlă ce se adaugă în compoziția betonului este relativ scăzut, fiind limitat prin creșterea dificultăților de amestecare și compactare. Pentru orice metodă de amestecare și turnare a amestecului, există o valoare optimă a conținutului de fibre de sticlă în raport cu rezistența la încovoiere. Rezistența la impact crește constant cu conținutul de fibre de sticlă. Se recomandă pre amestecarea cu un aditiv, de obicei oxid de polietilenă sau metilceluloză. Betoanele cu fibre de sticlă pre mixate pot fi plasate prin presare și vibrare, pompate sau extrudate. S-a observat, de asemenea, că există o creștere treptată a rezistenței timpurii la compresiune și a rezistenței la încovoiere a betoanelor armate cu fibră de sticlă în comparație cu betonul simplu și, de asemenea, există o creștere bruscă a rezistenței finale la despicare a betonului armat cu fibră de sticlă[9].

Betonul armat cu fibră de sticlă poate cântări până la 75% mai puțin decât betonul tradițional. Acest lucru face ca acesta să fie un material versatil pentru utilizarea în aplicații rezidențiale și, de asemenea, să reducă costurile finale. Materialele mai ușoare sunt mai ușor de transportat, instalate și întreținute. Betonul armat cu fibră de sticlă se poate utiliza la producerea de elemente prefabricate mult mai subțiri - în mod obișnuit de 10 mm - decât ar fi

posibil cu beton prefabricat, armat cu oțel tradițional, în care o acoperire de beton de 30 mm sau mai mult pentru armăturile din oțel este esențială pentru protecția împotriva coroziunii. Secțiunile subțiri sunt, de asemenea, posibile prin raportul scăzut de apă/ciment al materialului, lipsa agregatului grosier și permeabilitatea scăzută. Drept rezultat, panourile prefabricate cu aceeași rezistență pot fi produse cu secțiuni mai subțiri și, prin urmare, cu o greutate mai redusă [10].

Cercetările din ultimii ani asupra efectului fibrelor de sticlă în amestecuri hibride, a fost investigat pentru betonul de înaltă performanță (HPC), o tehnologie emergentă, care a devenit populară în industria construcțiilor.

2.2.3. Tipul III: Beton armat cu fibre sintetice - Fibre de carbon

În anul 1957, Barneby-Cheney și National Carbon au produs primul tip de fibre de carbon ,în cantități mici însă. În 1961, au fost produse fibrele de carbon din fibre poliacrilonitrilice (PAN). Apoi, 6 ani mai târziu, compania de autovehicule Rolls Royce, a realizat componentele unui motor cu reacție utilizând acest tip de fibre.

Fibra de carbon se caracterizează printr-o structură anatomică alcătuită din panglici spiralate de atomi de carbon ce sunt aliniate paralel cu axele longitudinale ale fibrelor. Fibrele de carbon se obțin prin procedeul numit piroliză controlată la 1000-1700⁰C. Acest procedeu presupune descompunerea termică, într-un mediu fără aer, a unor materiale organice, cum ar fi: celuloză, fibre acrilonitrilice, reziduuri rezultate din distilarea gudroanelor.

Fibrele de carbon ce se obțin, au forma unor fascicule formate din 10.000-20.000 de filamente cu lungimi nedeterminate și cu diametre $d=7.9 - 9.2 \mu\text{m}$. La utilizarea acestor fascicule pentru armarea matricilor de ciment – apă, acestea se desfac unele de altele, funcționând individual. Având o rezistență sporită la acțiunea chimicalelor, acestea sunt inerte la compușii chimici din beton, ceea ce conduce la posibilitatea utilizării acestora în orice dozaj rezultat în urma proiectării. Prin capacitatea fibrelor de carbon de a prelua eforturi de întindere semnificative, rezistențele mecanice.

Clasificarea fibrelor de carbon, în funcție de proprietățile lor mecanice se poate face după cum urmează:

- Fibre de carbon cu modulul de elasticitate superior;
- Fibre de carbon cu modul de elasticitate moderat;
- Fibre de carbon cu rezistență sporită la tracțiune.

Fibra de carbon se caracterizează cu un modul de tracțiune de aproximativ 200-700 Gpa și o densitate de aproximativ 1.5-2.0 g/cm³. Având un coeficient de dilatare redus, o rezistență sporită la agresivitatea chimică, fibrele de carbon asigură betonului o durabilitate sporită.

Utilizarea fibrelor de carbon la drumuri, în Europa, a început cu construirea podului peste autostrada din nordul Spaniei, Asturia. Acest pod s-a realizat având la bază testele efectuate în Italia, la Ispra. Podul cântărește cât jumătate din greutatea unui pod realizat din beton armat tradițional și a fost executat în două zile. S-a montat construcția portantă realizată în întregime din beton cu fibre de carbon și fibre de sticlă în prima zi, apoi, în cea de-a doua zi s-a realizat îmbrăcămintea rutieră a părții carosabile. Podul folosește module sandwich din fibre de carbon și din fibre de sticlă. Prototipul finanțat de Uniunea Europeană, testat acum cu succes, se află pe drumul spre aeroportul Oviedo pe Costa Verde și are o întindere de peste 46 m.

Eugenio Gutierrez Tenreiro, directorul proiectului "materiale compound" arăta că fibrele de carbon se evidențiază ca material de construcție prin două însușiri esențiale: sunt ușoare, iar construcția are loc cu costuri reduse.

Rapiditatea de execuție, costurile reduse de întreținere, fac din utilizarea fibrelor de carbon, la construcții similare celei menționate anterior, o soluție sustenabilă chiar dacă prețul inițial al acestor tipuri de betoane este mult mai ridicat în comparație cu cel al betoanelor uzuale.

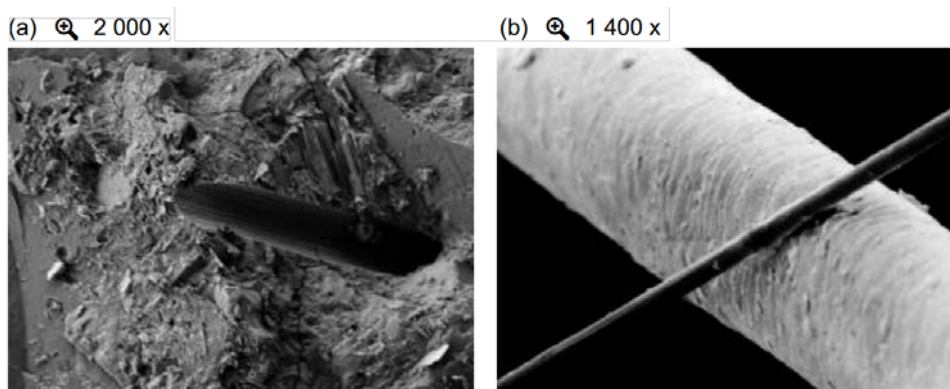


Fig. 10. Fibre de carbon; (a) Imagine SEM – microstructura betonului armat cu fibre de carbon și micro-fisuri în matricea cimentoasă, (b) Imagine SEM – fibra de carbon (culoare închisă) comparată cu părul uman [11]

2.2.4. Tipul IV: Beton armat cu fibre sintetice - Fibre de polipropilenă

Fibrele din polipropilenă oferă o rezistență mecanică sporită prin închiderea fisurilor, care se datorează acțiunilor multiple care au loc atât în starea proaspătă cât și în starea întărită a betonului în compoziția căruia sunt utilizate.

Polipropilena este unul dintre cei mai ieftini și disponibili polimeri. Fibrele de polipropilenă sunt rezistente la cele mai multe substanțe chimice. Punctul său de topire este ridicat (aproximativ 165 de grade Celsius). Deci, o temperatură de lucru de 100 grade Celsius, poate fi susținută pentru perioade scurte de timp, fără a aduce atingere proprietăților fibrelor.

Fibrele de polipropilenă au aplicații multiple, cum ar fi: pardoseli industriale, parcări, tabliere de poduri, shotcrete, rampe încărcare/descărcare, ele fiind hidrofobe și pot fi ușor amestecate, deoarece nu au nevoie de contact îndelungat în timpul amestecării și trebuie doar să fie dispuse în mod uniform în amestec. Aceste fibre pot înlocui complet armarea clasică cu oțel beton ori cu fibră metalică. Capacitatea de absorbție în beton poate crește cu mult aceea dată de utilizarea de fibră metalică (dacă la fibra metalică se pot îngloba în beton max. 40 kg, la fibra de polipropilenă se pot îngloba până la 7,5 kg, rezultând armări de înaltă performanță cu eliminarea rosturilor ori încărcări mari). În prezent, fibrele de polipropilenă sunt utilizate în special în betoanele amprentate, dar faptul că au o comportare bună la incendiu le-a făcut să fie tipul de fibre des recomandat a se folosi în compoziția betoanelor utilizate la tuneluri sau alte construcții masive.



Fig. 11. Fibre de polipropilenă

Tabelul 3 prezintă proprietățile fibrelor de polipropilenă utilizate pentru armarea dispersă a betoanelor rutiere, a suprabetonărilor, a dalelor etc.

Tabelul 3. Caracteristici ale fibrelor de polipropilenă

Densitate (g/cm ³)	Absorbție de apă a _m (%)	Rezistență la rumere f _r (N/mm ²)	Rezistență la alcalinitate	Inerte chimic	Coroziune	Rezistență mecanică
0,9	0	> 400	100%	da	nu	medie

Adaosul de fibre de polipropilenă în compoziția betonului prezintă următoarele avantaje:

- mărirea rezistențelor la impact, uzură, precum și la șocurile termice;
- se poate înlocui complet utilizarea armării tip plasă sudată;
- se obține o reducere în cantitatea necesară de armătură;
- conduce la posibilitatea măririi distanței între rosturile de turnare, sau, în unele cazuri, chiar eliminarea acestora;
- greutatea elementelor este redusă;
- împiedică producerea microfisurilor și a fisurilor, sporind deci durabilitatea elementelor;
- se mărește considerabil rezistența la uzură, impact și la cicluri îngheț-dezghet;
- crește indicele de tenacitate.

Fibrele din polipropilenă nu sunt fibre de armare (dispersă) de rezistență, ele nu înlocuiesc fibrele de armare metalice, ci le completează; am putea spune că sunt fibre de „armare la contracție“ în perioada de întărire a betonului. Acest tip de fibre se utilizează cu succes la plăcile de beton, pardoseli industriale, plăcile de fundare a căilor de comunicații și a pistelor aeroportuare, precum și la alte aplicații, deoarece toate elementele din beton sunt solicitate la încovoiere.

Betonul armat cu fibre este avantajos în realizarea fundațiilor de mașini cu solicitări dinamice, a fundațiilor pentru liniile de tramvai datorită rezistenței sporite la șoc, a comportării favorabile la amortizare și la deformare.

Clasificarea fibrelor de polipropilenă utilizate la armarea dispersă a betoanelor în funcție de tipul de diametru:

a) Fibre de polipropilenă monofilament

- lungimi de la 3- 18 mm;
- utilizate la: șape, pardoseli din beton, tencuieli, prefabricate din beton, stâlpi de beton, suprafețe betonate exterioare, suplimentar cu alte tipuri de armături;
- sunt tratate la suprafață cu agent tensioactiv pentru dispersie uniformă;

- sunt un adaos de material folosit pentru prevenirea fisurilor de contracție, mărirea durabilității și rezistenței betonului și mortarului;
- conferă betonului rezistență la foc, eliminând astfel pericolul de explozie.



Fig. 12. Fibre de polipropilenă monofilament

b) Fibre fibrilate de polipropilenă

- lungimi de la 3- 18 mm;
- suprafață tratată cu agent tensioactiv pentru dispersie uniformă;
- previn dezvoltarea fisurilor de contracție;
- conduc la mărirea durabilității și rezistenței betonului și a mortarului;
- sporesc rezistența la abraziune și impact.



Fig. 13. Fibre fibrilate de polipropilenă

c) Macrofibre sintetice de polipropilenă

- se obțin din fibrele monofilament, care sunt extrudate special și tăiate cu precizie pentru a forma o fibră de înaltă performanță;
- lungimi 30- 50 mm;
- suprafață tratată cu agent tensioactiv pentru dispersie uniformă;
- previn dezvoltarea fisurilor de contracție;

- conduc la mărirea durabilității și rezistenței betonului și a mortarului;
- sporesc rezistența la abraziune și impact.



Fig. 14. Macrofibre de polipropilenă

2.2.5. Tipul V: Betonarmatcu fibrenaturale – Fibredeceluloză

Datorită creșterii prețului la oțelul-beton și în urma unor studii tehnico-economice elaborate s-a optat, ca soluție modernă, simplă și eficientă, pentru folosirea ca armatură în dispersie a fibrelor din diverse materiale.

Noua generație de fibre, intens experimentate de către cercetătorii din domeniul materialelor revoluționare, ecologice și economice pentru construcții, dar care pot prezenta o provocare complicată și complex pentru a putea fi utilizate eficient și pentru a obține rezultate competitive și sustenabile, sunt fibrele din celuloză. Acestea, prin caracteristicile pe care le au, intră în competiție cu vechea generație de fibre utilizate pe scară largă în produsele specifice.

Caracteristicile fizico-mecanice raportate la costul relativ redus ale fibrelor din celuloză, în comparație cu fibrele clasice și cunoscute până mai acum câțiva ani, au condus la o creștere exponențială a utilizării și implicit a cererii acestui tip de material pe piața mondială a construcțiilor și a produselor specifice cu fibre.

Apariția noii generații de fibre, cele din celuloză, folosite la armarea dispersă a betoanelor, vine să ducă mai departe eficiența acestui tip de armare. Cercetările experimentale efectuate pe acest tip de fibre introduce dispers în betoane au condus la rezultate care au reliefat faptul că fibrele din celuloză țin fisurile de contracție la uscare închise și previn apariția acestora, ceea ce conduce la concluzia firească că aceste fapte constituie unul dintre avantajele noii generații de fibre din celuloză. Avantajul extraordinar, prin faptul că aceste fibre prezintă proprietatea de a absorbi apă, apă care apoi are rolul de a hidrata betonul o perioadă mai îndelungată din interior, conduce la eliminarea cu până la 85% a microfisurilor.



Fig. 15. Fibre de celuloză

Fibrele din celuloză sunt în prezent utilizate la armarea unor mixturi asfaltice și a unor betoane cu module de elasticitate înalte, devenind o clasă de materiale de sine stătătoare în multe state.

Prima mixtura asfaltică cu fibre de celuloză a apărut în urmă cu 30 de ani. Aceasta era compusă dintr-un mastic asfaltic ce conținea pe lângă clasica criblură, fibre de celuloză care au fost utilizate pentru stabiliza amestecul, mai exact, fibrele de celuloză împiedică curgerea liantului de pe agregatele minerale. Proprietatea fibrelor de celuloză de a avea o structură tridimensională, conduce la micșorarea formării segregărilor bituminului la temperaturi ridicate, în timpul transportului, sau a depozitării amestecului. Fibrele de celuloză formează un strat mai gros de bitum în jurul fiecărei granule de agregat și astfel pătrunderea umidității în materialul finit este redusă semnificativ, deci durabilitatea sporită.

Prin utilizarea fibrelor de celuloză se obțin următoarele avantaje: rezistență mărită la acțiunea traficului (rezistența la deformații, rezistența la uzură, rezistența la oboseală) și a factorilor climatici (rezistența la îmbătrânire, rezistența la acțiunea apei).

2.2.6. Caracteristici fizico -mecanice ale fibrelor

Caracteristicile fizico-mecanice ale fibrelor utilizate pentru armarea dispersă a betoanelor influențează în mod considerabil proprietățile betonului și deci domeniul de utilizare al acestuia. Tabelul 4 prezintă unele dintre proprietățile fibrelor. Mecanismele de propagare a fisurilor locale sunt împiedicate de prezența fibrelor care absorb parțial energia necesară propagării acestora și împiedică fenomenul de multifisurare a sistemului ce duce întotdeauna la degradări ireversibile.

Tabelul 4. Caracteristici fizico-mecanice ale unor fibre

Tip fibră	d (μm)	ρ_a (kg/m^3)	f_{ct} (KN/mm^2)	$E = \sigma/\varepsilon$ (kN/mm^2)
Azbest	0.02-20	3200	0.5-3	80-150
Carbon	8-9	1900	1.8-2.6	250-300
Oțel	5-800	7850	1.0-3.0	210
Sticlă	9.15	2500	1.0-4.0	70-80
Polipropenă	20-200	900	0.5-0.8	3.5-5.0
Poliester	20-200	950	0.7-0.9	8.4

2.2.7. Distanța dintre fibre și suprafața specifică a fibrelor

Distanța medie dintre fibre și suprafața totală a acestora, pe unitatea de volum a materialului compozit, constă din doi factori de decisivi, care guvernează sistemul compozit ce rezultă, atât în faza inițială de amestecare cât și în faza finală, de priză și rigidizare. Proprietățile reologice ale materialului sunt în importanță măsură influențate de distribuția fibrelor în volumul său. De asemenea, direct proporțional, sunt afectate și proprietățile mecanice ale structurii rezultate. Suprafața specifică a fibrelor utilizate, influențează procesul de inițiere, formare și distribuție, a fisurilor datorate contracției la uscare materialul compozit. Suprafața specifică a fibrelor se calculează în funcție de perimetrul și aria secțiunii transversale a fibrei luând în considerare și numărul acestora pe unitatea de arie, independent de orientarea lor.

În literatura de specialitate, distanța medie dintre fibre este calculată pornind de la numărul fibrelor ce traversează o unitate de arie într-o secțiune oarecare a materialului. S-a constatat că acest număr depinde de aria secțiunii transversale, procentul volumic al fibrelor și tipul de orientare al ranforsării. Distanța dintre fibre afectează proprietățile materialului. Astfel, când apare o tensiune de rupere generată de aplicarea unei forțe de deformare asupra materialului armat dispers cu fibre, abilitatea fibrelor de a opri fisurarea depinde de cât de mult se propagă acea fisură până când întâlnește o fibră. În concluzie, se poate constata că distanța medie dintre fibre este un factor pur geometric, care se poate determina matematic prin determinarea numărului de fibre dintr-o secțiune transversală. O fisură arbitrară, de regulă se va dezvolta de-a lungul unui plan prin material și aproape niciodată nu se va evidenția propagându-se de la mijlocul fibrei către mijlocul altei fibre, dispuse aleatoriu, doar dacă aceste puncte sunt în același plan.

În două sisteme de compoziții de betondiferite, dar care au același procent volumic de fibre V_f , iar fibrele au același diametru, precum și aceeași orientare și structură, distanța medie dintre fibre este diferită și deci, armarea lor cu fibre va fi considerabil diferită. În cazul materialelor armate cu fibre, suma ariilor (S_f) tuturor fibrelor intersectate de acea secțiune într-o unitate de suprafață oarecare va fi întotdeauna echivalentă cu procentul volumic de fibre, indiferent de orientarea acestora. Dacă selectăm un grup de fibre ce formează un unghi Φ cu normala la secțiune, atunci ariile însumate S_f ale suprafețelor fibrelor tăiate în unitatea de suprafață, va fi egală cu procentul volumic de fibre din reciclat (V_f) [12]. Astfel, Krenchel, H., propune în lucrarea: “Fibre spacing and specific fibre surface”, publicată la Rilem Symposium în anul 1975, următoarele relații de calcul:

$$\sum \Delta S_f = \frac{V_f}{A_f} \quad (2.1)$$

$$\frac{A_s}{A_f} = V_s = 1 - V_f \quad (2.2)$$

$$\Delta S_f = \frac{A_f}{\cos \emptyset} \quad (2.3)$$

în care:

\emptyset = unghiul format de fibră față de direcția normală plană a secțiunii;

A_f = aria fibrei;

A_s = aria unitară a secțiunii din sistemul polifazic reciclat, armat cu fibre;

V_f = fracția de volum a fibrelor;

V_s = fracția de volum a materialului compozit.

Numărul de fibre – n, care trec printr-o unitate de suprafață de pe o secțiune transversală se determină astfel:

a. Toată armarea se împarte în grupuri de fibre, care fac un unghi Φ cu planul secțiunii investigate.

b. Pe unitatea de suprafață a secțiunii considerate, aria fețelor tăiate a fibrelor selectate este dată de relația (2.4):

$$S = V_f \cdot \emptyset \quad (2.4)$$

c. Aria secțiunii transversale a tuturor fibrelor ce formează un unghi drept față de normala la suprafață este cunoscută. Aria fibrelor ce traversează arbitrar secțiunea, depinde de unghiul Φ , fiind dată de relația (2.5):

$$\Delta S_f = \frac{A_f}{\cos \Phi} \quad (2.5)$$

d. Numărul fibrelor care traversează aria unitară la unghiul Φ cu perpendiculara la suprafață este dat de relația (2.6):

$$n_\Phi = \frac{S_{\Phi f}}{\Delta S_f} = \frac{V_f \cos \Phi}{A_{fr}} \quad (2.6)$$

e. Numărul total al fibrelor ce trec prin aria unitară având diverse unghiuri cu normala la suprafață este dat de relația (2.7):

$$n = \sum n_\Phi \quad (2.7)$$

Putem calcula distanța medie dintre fibre s , după Romualdi și Mandel [13], [14], astfel (2.8):

$$S = \frac{1}{n^{1/2}} \quad (2.8)$$

După modul de distribuție a fibrelor în materialul armat cu fibre, betoanele compozite pot fi:

- izotrope;
- cvasi-izotrope;
- anizotrope (acestea pot avea armături orientate unidirecționale sau pe mai multe straturi repartizate liniar) și stratificate (ranforsant bi- sau multi- dimensional).

Orientarea și distribuția fibrelor de armare în interiorul sistemului compozit decid izotropia compozitului.

Un material compozit, care are armătura dispersă uniform distribuită în interiorul materialului, având și dimensiuni egale, are un comportament izotrop. Pentru fibre sau particule orientate aleatoriu în masa matricei, putem considera că materialul compozit are un comportament cvasi-izotrop, conform studiilor efectuate în domeniu [15].

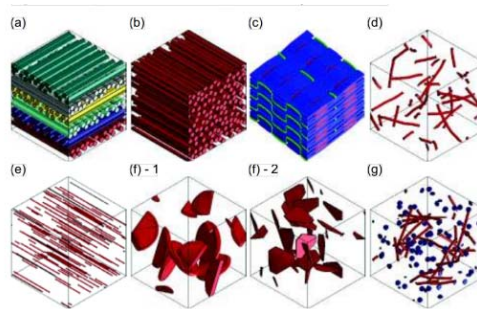


Figura. 16. Moduri de distribuție a fibrelor în materialele compozite [15]

Se disting (figura 16) următoarele tipuri de materiale compozite armate cu fibre [15]:

Compozite cu fibre	stratificate (lamelare) (a)	
	nestratificate fibre continue	uni-direcționale (b)
		multi-direcționale – țesături (c)
	fibre discontinue cu orientare aleatoriu (d)	
	cu orientare aliniată (e)	
Compozite cu particule	micro-particule (dimensiuni cuprinse între 10-100 nm)	(f)-1
	macro-particule ($d > 1\mu\text{m}$ până la ordinul de milimetri)	(f)-2
Compozite hibride	combinăția tipurilor de armături (g)	

Figura. 17. Tipuri de materiale compozite armate cu fibre (în corelare cu fig. 16)[15]

2.2.8. Avantajele utilizării fibrelor în beton

Adăugarea fibrelor de oțel, a fibrelor sintetice sau a unei combinații de ambele tipuri, mărește rezistența mecanică a elementelor structurale de beton, dar și rezistența la temperaturi și la foc.

Rezistența betonului convențional scade considerabil dacă este expus la foc mult timp. Pasta de ciment și legătura pe care acesta o face cu agregatul, sunt deteriorate la o temperatură de 202°C și aproximativ jumătate din rezistența betonului se pierde la o temperatură de 427°C, iar la o temperatură mai mare de 927°C, 90% din rezistența betonului este pierdută [16].

Utilizarea de fibre în compoziția betonului, nu împiedică degradarea betonului în condiții de mediu extreme, dar crește timpul de expunere la foc în condiții de siguranță. Extinderea timpului de expunere la foc în condiții de siguranță oferă mai mult timp în care evacuările și stingerea incendiilor pot fi efectuate. Când betonul este expus la foc, excesul de apă din interiorul betonului, care a fost folosit pentru a asigura lucrabilitatea în timpul

construcției, se transformă în aburi cu presiune. Dacă presiunea din interiorul betonului nu este eliberată și depășește rezistența la rupere a betonului, va apărea o explozie a suprafeței de beton, ceea ce va conduce la degradarea rapidă a stratului de acoperire al armăturilor. Un astfel de incident este foarte periculos, cunoscându-se faptul că oțelul se comportă slab la acțiunea focului. Testele experimentale au arătat că, atunci când betonul este armat cu fibre de polipropilenă și este totodată expus la temperaturi ridicate, fibrele de polipropilenă sunt topite iar porii și capilarele fine vor fi golite, acest lucru va duce la eliberarea presiunii aburului acumulat, iar betonul își va menține rezistența [17].

Pe de altă parte, când s-au realizat armări disperse cu fibre de sticlă, rezultatele obținute pe aceste tipuri de betoane au condus la concluzii precum că acest tip de adaos, de fibre de sticlă, într-un procent de aproximativ 10% în volumul betonului, conduce la sporirea rezistenței la tracțiune de aproximativ două ori, iar a rezistenței la impact în jur de 10 ori.

În plus, testele de încărcare ciclice efectuate pe laminatele din fibră de sticlă au arătat că rezistența la oboseală a betonului armat cu fibră de sticlă este aproximativ comparabilă cu cea a betonului armat cu fibră de oțel. Betonul armat cu fibre este mai puțin costisitor decât cel armat cu armătură clasică, legată manual, și conduce de cele mai multe ori la creșterea rezistenței la întindere a acestuia. Forma, dimensiunea și lungimea fibrei sunt importante. O fibră subțire și scurtă, de exemplu o fibră de sticlă scurtă în formă de păr, va fi eficientă numai în primele ore după turnarea betonului (reduce fisurarea betonului la întărire), dar nu va crește rezistența la întindere a betonului. Unele cercetări recente au arătat că utilizarea fibrelor în beton are un efect limitat asupra rezistenței la impact a materialelor din beton. Această constatare este foarte importantă deoarece tradițional oamenii cred că ductilitatea crește atunci când betonul este întărit cu fibre. Rezultatele au arătat, de asemenea, că fibrele tip micro sunt mai bune în ceea ce privește rezistența la impact în comparație cu fibrele lungi.

Utilizând armarea dispersă pentru realizarea îmbrăcămințiilor rutiere conduce la obținerea unor îmbunătățiri ale proprietăților fizico-mecanice.

Materialele de armare dispersă conduc la ridicarea parametrilor fizico-mecanici ai structurilor rutiere, iar proporția lor de adaos în masă și modul în care aderenței fibrelor cu scheletul mineral, liant și alte materiale de adaos influențează hotărâtor durabilitatea îmbrăcămințiilor rutiere. Fibrele constituie faza discontinuă în masa îmbrăcăminții rutiere și au rolul de a arma produsul finit dar și rol de umplere al spațiilor interstițiale dintre fracțiunile granulare datorită reducerii porozității și a tensiunilor superficiale care se dezvoltă la interfața componentelor. Acest fapt va conduce la reducerea riscului de apariție a microfisurilor și deci a degradării timpurii a îmbrăcăminții rutiere.

Funcția de armare pe care o au fibrele este îndeplinită numai dacă acestea prezintă rezistență la tracțiune și dacă au posibilitatea de a transfera eforturile preluate matricii din care fac parte. Un rol important în justificarea utilizării fibrelor ca și armare dispersă în stânsă corelare cu efectul de sporire al proprietăților fizico-mecanice al compozitului obținut, îl constituie modul prin care se asigură protecția fibrelor împotriva degradărilor mecanice sau prin coroziune.

Alegerea fibrelor ce se vor utiliza pentru ranforsarea îmbrăcăminții rutiere trebuie să ia în considerare condițiile generale dar și particulare, pe care acestea trebuie să le îndeplinească.

3. CRITERII DE STABILIRE A SUSTENABILITĂȚII UNUI BETON

3.1. Noțiunea de sustenabilitate în domeniul materialelor de construcții.

Termenul *sustenabilitate* se regăsește explicat în DEX ca fiind „calitatea unei activități atropice de a se desfășura fără a epuiza resursele disponibile și fără a distruge mediul, deci fără a compromite posibilitățile de satisfacere a nevoilor generațiilor următoare”. Ca sinonime ale acestui termen, se regăsesc: acceptabil, durabil, justificabil, plauzibil, posibil, suportabil, viabil. Comisia de la Brundtland, a Organizației Națiunilor Unite, la 20 martie 1987, afirma: „dezvoltarea durabilă este o dezvoltare care răspunde nevoilor actuale fără a compromite capacitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi”.

Sustenabilitatea este definită ca un concept bazat pe aspectele de mediu, economice și sociale și este unul dintre aspectele-cheie ale sectorului construcțiilor, care trebuie să fie bine luate în considerare în secolul XXI. Durabilitatea este direct legată de performanța structurală, adică de caracteristici cum ar fi siguranța și utilitatea.

Materialele utilizate în toate construcțiile reprezintă un consumator de energie important în timpul producerii, transportului, precum și al punerii în operă al acestora, fapt ce conduce la valoarea de aproximativ 40% din energia consumată în lume. Pentru a obține o construcție ce se poate clasifica ca fiind sustenabilă, proiectanții trebuie să ia în considerare ciclul de viață al materialelor de construcții utilizate complet, adică de la obținerea lor până la posibilitatea de a le refolosi în momentul în care devin deșeuri.

Prin urmare, baza unei construcții durabile realizată din beton, trebuie să fie compusă dintr-un material care are în compoziția sa un dozaj redus de ciment, mai multe materiale reciclate în locul agregatelor tradiționale, mai multe materiale suplimentare pe bază de ciment și ingrediente de nouă generație pentru a reduce posibilitatea de infiltrare a apei și a vaporilor de apă, factori care sunt principali în degradarea și deteriorarea betonului. Acest lucru va asigura că construcția este durabilă și, în același timp, va fi economică prin reducerea riscului de a fi necesare reparări asociate materialelor puse în operă, deci și a costurilor de întreținere.

Conceptul fundamental al modului de asigurare al performanțelor structurale trebuie să fie bine luat în considerare în stadiul de proiectare bazat pe condiții, durata de viață a

proiectului, caracteristicile structurale, proprietățile materialelor, dificultățile de evaluare a măsurilor de reabilitare, importanța socială și economică etc. Sustenabilitatea materialelor se bazează atât pe sustenabilitatea produselor finite obținute prin amestecarea mai multor materiale diferite cât și pe sustenabilitatea fiecărui material utilizat în produsul finit; mai mult, se ține cont în calculul sustenabilității și de durabilitatea materialelor.

Un material poate fi considerat sustenabil în domeniul construcțiilor dacă îndeplinește următoarele criterii:

- este eficient energetic, adică raportul consum de energie în procesul tehnologic pentru obținerea acestuia/beneficiu este scăzut;
- este economic;
- procedeul de obținere al acestuia presupune o folosire rațională a resurselor naturale;
- este reciclabil/reutilizabil;
- nu se produc deșeuri în timpul procesului de fabricare a acestuia, sau cantitatea de deșeuri rezultate este foarte scăzută;
- este ușor de procurat/produs, aproape de locul unde se dorește a fi pus în operă;
- presupune un consum de apă cât mai mic în timpul procesului tehnologic de fabricare;
- nu prezintă riscuri pentru sănătatea umană/animalelor;
- are o flexibilitate sporită în design.

În literatura de specialitate se regăsește termenul de **energie înglobată** a unui material de construcție. Acest termen reprezintă cantitatea de energie consumată pentru producerea, transportul și punerea în operă a materialului respectiv și se exprimă în MJ/tonă de material. Un material poate fi considerat sustenabil dacă are o energie înglobată redusă dar și emisivitatea de CO₂ scăzută.

Tabelul 5 prezintă energia înglobată, respectiv emisia de CO₂ a materialelor uzuale utilizate pe scară largă în construcții [18]. Se poate observa că tehnologiile pentru producerea cimentului necesită o energie înglobată cu mult inferioară celei necesare producerii oțelurilor, materialelor ceramic și celor din polipropilenă. Se constată deasemenea, contrar așteptărilor, că emisiile de dioxid de carbon sunt cuprinse între valori de aproximativ 200 – 600 kg de CO₂ /tonă, deci nu sunt valori superioare altor material des utilizate în prezent în domeniul construcțiilor.

Tabelul 5. Energia înglobată, emisia de CO₂ a materialelor de construcții

Material	Energie înglobată (MJ/tonă)	Emisie de CO₂ (kg de CO₂/tonă)
Calcar	240	12
Piatră/pietriș	300	16
Lut compactat	450	24
Beton simplu	990	134
Beton armat	1810	222
Cherestea de rășinoase	1971-2296	101-132
Ciment portland cu 64-73% zgură	2350	279
Ciment portland cu 25-35% cenușă zburătoare	3450	585
Granit	5900	317
Căramizi	8200	850
Țigle	9000	430
Oțel, bare și tije	19700	1720
Polipropilenă	115100	3900

Procesele care au loc în timpul producției de materiale de construcții sunt însoțite de poluare, astfel impunându-se evitarea acelor materiale care necesită o prelucrare laborioasă și alegerea de materiale de construcții mai puțin procesate dar care au aceleași caracteristici sau caracteristici similare. Reducerea poluării cauzate de arderea combustibililor fosili și reducerea costurilor energiei necesare pentru fabricarea unor materiale cu consum mare de energie, cum sunt: betonul, cărămizile, materialele plastice și metalele.

În prezent, se fac cercetări privind utilizarea, producerea și reutilizarea materialelor de construcții cât mai sustenabil. Principalele tendințe sunt de a eficientiza tehnologiile prin utilizarea unor deșeuri industriale, înglobarea de deșeuri rezultate în urma demolărilor în noul material, obținerea de soluții ce se pot pune ușor și rapid în operă și al căror cost de întreținere este unul scăzut.

3.2. Factori decizionali în stabilirea sustenabilității unui material de construcții

„Clădirile sunt răspunzătoare de o șesime din consumul de apă, de un sfert din consumul de lemn și de două cincimi din consumul global de materiale și de energie” (Roodman and Lenssen, 1995). În conformitate cu reglementările recente privind construcția în Europa privind eficiența energetică și Codul pentru locuințe durabile, sunt stabilite noi standarde pentru a produce clădiri neutre din punct de vedere al emisiilor de carbon [19,20]. În 2003, Comisia Europeană a lansat politica integrată a produselor, vizând identificarea în sectorul construcțiilor a produselor cu cea mai bună performanță de mediu [21]. Această politică ia în considerare întregul ciclu de viață al produsului. Există trei etape principale în această abordare: impactul asupra mediului al produselor; îmbunătățirea de mediu a produselor; implicații politice.

Extracția și consumul de resurse naturale ca materiale de construcții sau ca materie primă pentru producerea de materiale de construcții și a materialelor de construcție, în procesul de execuție, are un impact direct asupra biodiversității naturale, datorită fragmentării zonelor naturale și a ecosistemelor cauzate de activitățile de construcții [22]. În special, cantitățile mari de resurse minerale sunt consumate în mediul construit și majoritatea acestor resurse minerale nu sunt regenerabile. Prin urmare, este important să se reducă utilizarea materialelor neregenerabile. Potrivit lui Abeysundara și al. [23], aceasta ar trebui încorporată pentru a fi luată în considerare la etapele de inițiativă și proiectare ale proiectului, în care selectarea materialelor este foarte importantă și alegerea trebuie să se bazeze pe impactul asupra mediului al materialelor. La fazele de construcție și demolare pot fi utilizate și diverse metode pentru reducerea impactului consumului de materiale asupra mediului natural.

G. Blachere stabilește în anul 1996 un sistem de clasificare al materialelor care conduce la stabilirea profilului RCDPE al acestora, tabelul 6 (R-regenabilitatea, C – reciclabilitatea, D – biodegradabilitate, P – energia consumată, E – energia produsă prin arderea deșeurilor):

Tabelul 6. Stabilirea profilului RCDPE al materialelor de construcții

Caracteristica	Clase de material
R – regenerabilitatea	R1 – complet regenerabil (ex. lemnul) R2 – parțial regenerabil R3 - neregenerabil
C – reciclabilitatea	C1 – reciclabil pentru același produs (ex. oțel, aluminiu) C2 – reciclabil pentru alt produs (ex. sticlă, beton) C3 – nereciclabil (ex. beton armat, poliester)
D – biodegradabilitatea	D1 – biodegradabil D2 – nebiodegradabil, netoxic D3 – nebiodegradabil, toxic
P – energia consumată / tonă produs	P1 – $E < 2000$ kWh/t P2 – $E = 2000 - 5000$ kWh/t P3 – $E > 5000$ kWh/t
E – energia produsă prin arderea deșeurilor	E1 – combustibil, fără noxe rezultate prin ardere E2 – necombustibil E3 – combustibil, cu noxe gazoase (ex. PVC)

Pentru a putea considera un material de construcții sustenabil trebuie ca acesta să aibă la bază următoarele concepte în timpul producerii și utilizării lui:

1. Reducerea deșeurilor. Deșeurile pot rezulta atât în timpul extragerii materiilor prime din compoziția materialului de construcție cât și în timpul procesului de fabricare a acestuia. O cantitate semnificativă de deșeuri se va produce și în momentul demolării. În consecință, la proiectarea unei structuri trebuie urmăriți pașii de mai jos:

- a) Reutilizarea și reciclarea deșeurilor;
- b) Depozitarea deșeurilor nereciclabile.

2. Durabilitatea materialului. Mora [24] a definit durabilitatea ca indicator care informează despre măsura în care un material își menține cerințele inițiale în timp. Un material poate fi considerat durabil atunci când durata de viață utilă (performanța) este relativ comparabilă cu timpul necesar pentru impacturile aferente asupra mediului care urmează să fie absorbite de ecosistem. Materialele cu o durată de viață mai lungă față de alte materiale concepute pentru același scop trebuie folosite cu preponderență. Acest lucru reduce resursele naturale necesare pentru producție și suma de bani cheltuită pentru punerea lor în operă, dar și forța de muncă asociată. Cu cât este mai mare durabilitatea materialului, cu atât este mai mic timpul și resursele necesare pentru menținerea acestuia în condiții de exploatare normală.

3. Utilizarea materialelor disponibile la fața locului. Utilizarea materialelor de construcții provenite pe plan local , prin faptul că se reduc distanțele de transport contribuie la diminuarea poluării mediului.

4. Procesul tehnologic de fabricație ecologic a materialului prin adoptarea unor măsuri de prevenire a poluării poate contribui semnificativ la sustenabilitatea materialului.

5. Utilizarea de materiale cu toxicitate redusă.

6. Reducerea consumului de apă și protejarea mediului înconjurător.

7. Raportul cost/eficiență. Costul ciclului de viață al proiectului de construcție atât în ceea ce privește proiectarea cât și alegerea materialelor, va reduce la minimum costurile totale pentru proprietar și utilizatori. Designul adecvat poate reduce substanțial costurile de adaptare la noi utilizări ale materialelor. Astfel, creșterea eficienței costurilor unui material este o strategie critică pentru crearea unui material durabil [24].

Cerințele de durabilitate sunt într-o măsură mai mare sau mai mică interdependente. Provocarea pentru designeri este aceea de a reuni aceste cerințe de sustenabilitate diferite în moduri inovatoare. Noile tendințe de proiectare trebuie să ia în analiză impactul fiecărei soluții propuse asupra designului ,asupra resurselor naturale și culturale ale mediilor locale, regionale și globale. Aceste cerințe de durabilitate vor fi aplicabile pe parcursul diferitelor etape ale ciclului de viață al clădirii, de la proiectare, în timpul duratei de viață utilă ,până la gestionarea deșeurilor din construcții în etapa de demolare [24]. Unele materiale sustenabile pot necesita costuri mai mari de producție, acestea aduc însă cu ele economii pe termen lung datorită reducerii de energie și de transport, precum și beneficii pentru mediul înconjurător.

Atunci când se propun pentru utilizare anumite materiale pentru construcții, este important să se ia în considerare proprietățile lor fizice și mecanice, dar și de performanța acestora. Materialele durabile, utilizate în construcții ar trebui să nu provoace daune asupra calității aerului, sau să nu prezinte un risc de toxicitate pentru utilizatorii acestora. Betonul este cunoscut a avea o structură poroasă, fapt care favorizează distrugerea elementelor prin intermediul substanțelor ce pătrund în material din mediul înconjurător, betonul distrugându-se în acest caz, de la suprafață spre interior. Bibliografia analizată pe acest subiectconduce la utilizarea unei relații de calcul a degradării elementelor din beton ce ia în considerare atât adâncimea de distrugere a betonului cât și timpul de acțiune a mediului/agentului asupra materialului:

$$t = K \cdot x^2 \quad (3.1) - \text{calculul degradării betonului}$$

unde:

t- timpul;

x- adâncimea de distrugere;

K- constantă referitoare la caracteristicile betonului și la particularitatea procesului prin care se produce distrugerea acestuia

Valorile lui K se găsesc în tabele speciale.

Cercetătorii din domeniu se focusează în prezent pe metode și soluții inovative ce se bazează pe moduri de reciclare a deșeurilor industriale și a materialelor de construcție. Un astfel de concept aplicat larg astăzi se observă în designul autostrăzilor, unde nu se recomandă utilizarea materialelor virgine și a cantităților mari de energie.

Sustenabilitatea este conectată cu diferite domenii, iar pentru ca o țară să se dezvolte armonios și echilibrat din punct de vedere social și economic, este necesar să se promoveze un **sistem de transport sustenabil**. În cadrul sistemului de transport rutier, consumul cel mai mare de energie rezultă din exploatarea drumurilor ca urmare a vehiculelor care folosesc îmbrăcămintea rutieră. Totuși, având în vedere faptul că o parte din emisii nu este datorată numai exploatării drumurilor, în mod deliberat au fost abordate și tratate în detaliu aspectele energetice și ecologice legate de construcția infrastructurii de transport, și implicit a îmbrăcăminții rutiere (PIARC, 2015).

Un sistem de transport se poate considera sustenabil dacă întrunește următoarele caracteristici [25]:

- Costuri inițiale reduse;
- Întreținere facilă și reabilitare necostisitoare;
- Durată de viață sporită / Durabilitate;
- Impact redus asupra mediului evaluat în termeni de: emisii de gaze cu efect de seră diminuat, zgomot atenuat, calitatea aerului și a apei îmbunătățite;
- Creșterea siguranței circulației;
- Reducerea numărului de accidente.
- Acces facil, mobilitate ridicată și costuri reduse pentru transport;
- Confort și estetică îmbunătățite.

Se poate observa faptul că, în condiții de utilizare și întreținere normale, structurile rutiere clasice, au în general o durată de viață proiectată cuprinsă între 15-25 de ani pentru îmbrăcămințile flexibile și, respectiv, între 25-40 de ani pentru îmbrăcămințile rigide. Convențional, se consideră că durata de viață a unei structuri rutiere este liniară începând cu

producerea materialelor, proiectarea, execuția, exploatarea, întreținerea și terminând cu înlocuirea, reconstruirea, reciclarea sau reabilitarea[25]. Dam, Taylor, Fick, Gress, VanGeern, & Lorenz, 2012 prezintă principalele activități ce trebuie luate în considerare pentru a putea obține o structură rutieră sustenabilă (figura 18).

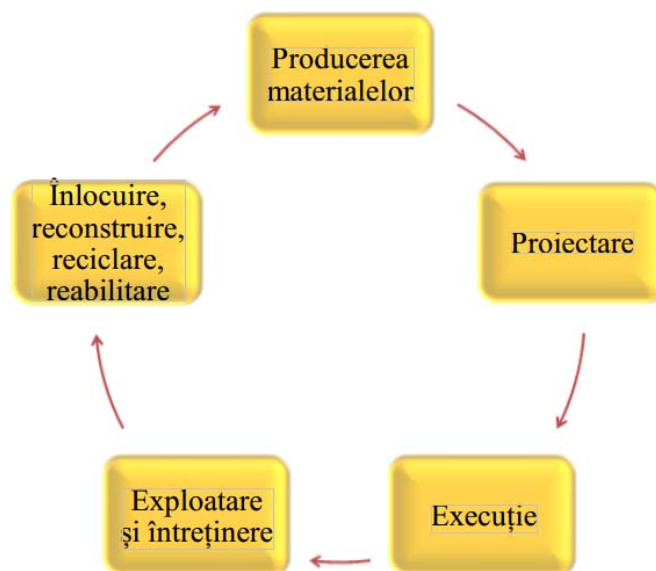


Figura 18. Activități implicate în realizarea și exploatarea structurilor rutiere sustenabile (Dam, Taylor, Fick, Gress, VanGeern, & Lorenz, 2012)

În anul 2010, Joumard & Gudmundsson, afirmă faptul că indicatorul de sustenabilitate al mediului, în domeniul transportului rutier, îl reprezintă impactul potențial sau real asupra mediului (sau factorii care pot determina astfel de efecte) ca urmare a activității de transport. În prezent, cele mai cunoscute și utilizate sisteme de evaluare a sustenabilității, ce se pot adapta pentru structurile rutiere, sunt:

- a) Metoda Evaluării Duratei de Viață - Life Cycle Assessment – LCA;
- b) Metoda Analizei Costurilor pe Durata de Viață - Life Cycle Cost Analysis – LCCA.

a) Metoda Evaluării Duratei de Viață - Life Cycle Assessment – LCA abordează aspectele legate de mediu și impactul potențial asupra mediului pe parcursul duratei de viață a unui produs, de la achiziția materiilor prime, producere, utilizare, până la reciclare și eliminare (cradle to grave)(ISO14040, 2006). Este o metodă ce se utilizează pentru analizarea și estimarea impactului pe care îl are structura rutieră asupra mediului, pe întreaga durată de viață, pentru selectarea indicatorilor de performanță și a tehnicilor de măsurare. Aceasta reprezintă un instrument util în procesele decizionale pe termen lung atât pentru

infrastructură, cât și pentru planificarea traficului. Rezultatul este exprimat în funcție de factori cheie de mediu (consum de energie și emisii de gaze cu efect de seră) [25].

b) Metoda Analizei Costurilor pe Durata de Viață - Life Cycle Cost Analysis – LCCA, este o metodă care ia în considerare numai componenta economică a sustenabilității, astfel costul inițial și costurile preconizate ale diferitelor variante de investiție pe întreaga durată de viață ale acestora sunt principalii factori ce stau la baza analizei.

Activitățile de concepție și proiectare sunt esențiale în obținerea unei infrastructuri de transport și implică a unor structuri rutiere eficiente și durabile, prin luarea în considerare a factorilor de trafic, climă, clasă tehnică și a metodelor de proiectare. Materialele utilizate în industria drumurilor sunt în continuă schimbare, adaptându-se la noile cerințe apărute. De asemenea, materialele reciclate sunt mai economice și au un impact pozitiv asupra mediului înconjurător. Tehnologiile utilizate pentru execuția, întreținerea și reabilitarea drumurilor sunt aplicate în scopul obținerii unor structuri rutiere sigure, economice și performante [25].

Structura rutieră alcătuită din îmbrăcăminte (dală) din beton de ciment, cu unul sau două straturi (strat de uzură – stratul superior și strat de rezistență – stratul inferior) sau macadam cimentat, din unul sau mai multe straturi de fundație (numit și strat portant) stabilizat sau nu cu lianți și, eventual, din strat de formă, se numește rigidă.

O îmbrăcăminte rutieră rigidă este compusă din: agregate naturale (nisip, pietriș), piatră spartă, cribluri, ciment, apă, aditivi, materiale pentru rosturi, oțel-beton, fibre de oțel. Dalele din beton, caracteristice unei îmbrăcăminti rutiere rigide, au grosimi între 18 și 20 cm și rosturi longitudinale (între cele două sensuri de circulație) și transversale – rosturi de contracție și dilatație. Durata medie de viață proiectată pentru acest tip de îmbrăcăminti rutiere este de aproximativ 20 de ani. La noi în țară se aplică Normativul de dimensionare a structurilor rutiere rigide NP 081-2002. Dezvoltarea infrastructurii de transport, nu se mai poate concepe fără a realiza o evaluare completă a impactului acesteia asupra mediului și fără minimizarea consecințelor negative pe care construirea și exploatarea unor căi de transport le-ar putea avea asupra mediului înconjurător și asupra calității vieții oamenilor. Trebuie avute în vedere și raționalizarea costurilor și eficientizarea rețelei de transport. Dezvoltarea infrastructurii de transport trebuie gândită astfel încât să se asigure costuri de transport cât mai mici, iar efectele asupra mediului să fie cât mai reduse [26]. Nivelul de securitate rutieră este în strânsă legătură cu starea infrastructurii de transport.

4. DETERMINĂRI DE LABORATOR PE BETOANE CU FIBRE

Structurile rutiere care sunt armate dispers cu fibre, trebuie să dezvolte următoarele caracteristici:

- a) să aibă o porozitate redusă, deci un grad de impermeabilitate mic;
- b) să permită redistribuirea deformațiilor și încărcărilor, fapt ce conduce la micșorarea posibilității de propagare a fisurilor în suprafața, dar și în adâncimea, stratului de îmbrăcăminte rutieră;
- c) să confere o creștere a modulului de elasticitate, a durabilității structurii rutiere;
- d) să aibă o bună stabilitate la variația temperaturii mediului ambiant.

4.1. Betoane cu fibre de oțel

Căile de rulare trebuie să prezinte o tendință de deformare și fisurare redusă la trecerea mijloacelor de transport cu tonaj mare, lucru ce poate conduce, la distrugerea carosabilului. Acest lucru se poate realiza prin turnarea unor plăci din beton de grosimi de 15-25 cm la suprafața carosabilului. Introducerea de fibre metalice în compoziția betonului, are ca și rezultat îmbunătățirea comportării la acțiuni dinamice dar și reducerea apariției fisurilor datorate contracției la uscare a betonului proaspăt. Micro-fisurile, care de obicei cresc în dimensiune proporțional cu creșterea efortului de întindere dezvoltat în material, sunt stopate de către fibrele din compoziția betonului, limitându-se micro-fisurarea dar și deteriorarea suprafeței.

În anul 1874 a fost brevetat în America, California de către A. Bernand, primul element din beton armat dispers cu fibre metalice. Acesta a probat îmbunătățirea rezistenței betonului prin adăugarea în compoziția betonului de resturi de oțel inegale. Peste aproximativ 50 de ani, G.C. Martin realizează conducte din beton armat cu fibre de oțel. Meischke – Smith în 1920 a folosit sârme plate și sârme răsucite cu fețe plane în compoziția betonului, iar în 1933, Etheridge a utilizat fibre inelare cu diferite mărimi și diametre pentru a ameliora rezistența la fisurarea și rupere a betonului [27].

Fibrele metalice îmbunătățesc durabilitatea și flexibilitatea betonului supus unor sarcini mari, pe perioade de timp îndelungate. Fibrele metalice asigură armarea tridimensională a betonului. Pentru a putea fi utilizate în betoane cu scopul de a îmbunătăți rezistențele

mecanice și de a întârzia procesul de fisurare, fibrele metalice trebuie să aibă caracteristici și proprietăți corespunzătoare în ceea ce privește rezistențe ridicate la alungire, modul de elasticitate adecvat, aderență sporită la matrice, stabilitate chimică; iar pe lângă toate cele menționate anterior, fibrele ar trebui să aibă calitatea de a suporta eforturile o perioadă mai mare de timp [27].

4.1.1. Norme de proiectare pentru betoanele armate dispers cu fibre de oțel

Fibrele de oțel utilizate la armarea dispersă a betoanelor sunt fabricate din sârma din oțel trasă la rece, cu conținut scăzut de carbon (ex: SAE1008 similar cu OL37) sau din oțel inox (ex: SS302/ SS304). Fibrele frezate din oțel pentru armarea dispersă a betoanelor sunt fabricate din brame de oțel carbon (ex: S355 similar cu OL52).

Betonul armat dispers cu fibre metalice – BFM este definit ca “material obținut prin amestecul cimentului, agregatelor, fibrelor metalice, aditivilor, adaosurilor minerale și apei la preparare, în proporțiile prestabilite, ale cărui proprietăți se dezvoltă prin hidratarea și întărirea cimentului și interacțiunea dintre fibrele metalice și matrice” [27].Betoanele armate dispers cu diverse fibre de oțel se pun în operă folosindu-se o tehnologie uzuală, conform prevederilor din reglementarea tehnică „Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat - Partea 2: Executarea lucrărilor din beton”, indicativ NE 012/2:2010, precum și din standardul SR EN 206-1:2002 cu amendamentele SR EN 206-1:2005/A1 și SR EN 206-1:2006/A2 și erata SR EN 206-1/C91:2008, cu completările necesare legate de dozarea fibrelor metalice, prepararea, compactarea și finisarea betoanelor armate dispers.

În vederea stabilirii compozițiilor betoanelor armate dispers cu fibre metalice, se aplică „Ghidul pentru stabilirea criteriilor de performanță și a compozițiilor, pentru betoanele armate dispers cu fibre metalice” - GP 075-02, cât și alte recomandări cum ar fi spre exemplu:

- compoziția betoanelor armate dispers se stabilește având la bază o serie de încercări inițiale;

- dozajele de ciment, procentul de fibre metalice și de agregate fine din beton se vor încadra în limitele indicate de proiectant (conform SR EN 206-1:2002 cu amendamentele SR EN 206-1:2005/A1 și SR EN 206- 1:2006/A2 și erata SR EN 206-1/C91:2008 și prin alte norme similare);

- armarea dispersă a betoanelor cu fibre frezate din oțel, cu rezistență de rupere la tracțiune $\sigma_t \geq 800 \text{ N/mm}^2$, presupune introducerea fibrelor în beton în dozajele prevăzute prin proiectul lucrărilor ce se execută, fără dificultăți, într-o tehnologie normală de preparare a betonului;

- dozajul minim recomandat este de 20 kg fibre/m³ beton, dozajul maxim fiind de 100 kg fibre/m³ beton;

- compoziția betoanelor armate dispers se stabilește în funcție de cerințele de performanță, pentru elementele și structurile ce se execută, având în vedere prevederile SR EN 206-1:2002 cu amendamentele SR EN 206-1:2005/A1 și SR EN 206-1:2006/A2 și erata SR EN 206-1/C91:2008 și GP 075-02 și documentelor naționale de aplicare a normelor europene;

- dozarea fibrelor de oțel, se face ori în stația de betoane (amestecând fibrele cu agregate în malaxor), ori direct în autobetonieră, tot în stația de betoane sau pe șantier;

- dozarea fibrelor în amestecul proaspăt de beton trebuie efectuată relativ cât mai uniform și timp de 8-10 minute energic amestecat (în cazul autobetonierei minim 10 minute cu turație maximă). După aceasta, betonul astfel obținut se pune în operă prin metode clasice cu o compactare intensivă [27].

În reglementarea 21/04/2003, publicată în Monitorul Oficial, Partea I, nr. 576bis din 12.08.2003- „Ghid pentru stabilirea criteriilor de performanță și a compozițiilor pentru betoane armate dispers cu fibre metalice”, indicativ GP-075-02, se recomandă limitarea conținutului de cloruri prezente în compoziția betoanelor armate dispers cu fibre metalice, iar dozajele de fibre metalice, corelate cu raportul lungime fibră/diametru fibră, este recomandat a fi între:

- 55 - 60 ... 160 - 200 kg/m³, pentru fibre lise;

- 25 - 30 ... 80 - 100 kg/m³, pentru fibre cu ciocuri la capete, sau cu diverse forme.

Aceeași reglementare limitează raportul A/C la 0,56.

4.1.2. Tipul probelor testate și moduri de testare

Programul experimental pe betoanele armate dispersa luat în studiu diverse procente de fibre metalice, poliuretanic și de sticlă. Scopul programului a constat în obținerea unei compoziții cu caracteristici cel puțin satisfăcătoare din punctul de vedere al rezistențelor mecanice ale acestora, astfel încât să poată fi utilizată pe scară extinsă la stratul de uzură al drumurilor.

Compozițiile au fost realizate în laborator, turnându-se probe prismatice cu dimensiunile de 150 x 150x 600 mm pentru determinarea rezistențelor la întindere, respectiv probe cubice cu latura de 150 mm pentru determinarea rezistenței la compresiune. Ambele tipuri de probe au constat din înlocuirea unui strat de 50 mm din înălțimea lor cu un beton armat dispers cu fibre metalice (figura 19).

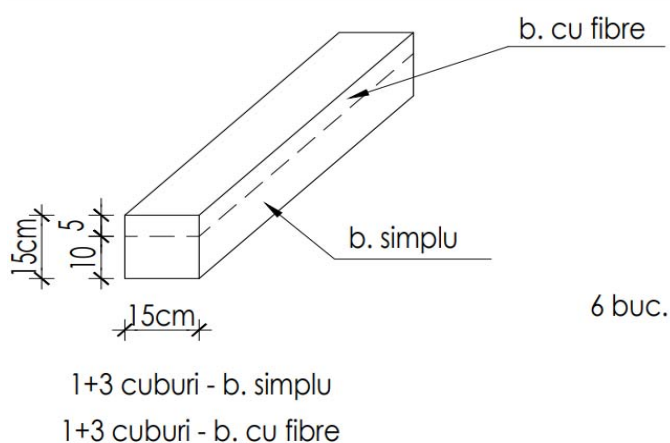


Figura 19. Modul de confectionare al probelor prismatice și cubice.

Testarea epruvetelor prismatice la întindere prin încovoiere s-a realizat având fie partea de beton martor în zona întinsă, fie cea armată cu fibre.

Caracteristicile fizico-mecanice ale betoanelor armate dispers cu fibre sunt influențate semnificativ de forma și dimensiunile materialelor fibrelor, de modalitatea de distribuție a acestora în masa de beton, de tipul liantului și agregatului utilizat. O influență importantă o are cantitatea de fibre pe unitatea volumică a produsului final.

4.1.3. Studiu experimental pe betoanele armate dispers cu fibre de oțel

Fibrele de oțel folosite au fost de tipul fibrelor *cu ciocuri*, acestea au avut un diametru de 0,4 mm, o lungime de 30 mm, raportul $l/\Phi = 75$ (figura 20). Au fost studiate două compoziții diferite ca și conținut de fibre metalice, mai exact un conținut de fibre metalice de 30 kg/m³ de beton și 60 kg/m³ de beton. Tabelul 7 prezintă compozițiile experimentale luate în considerare.



Figura 20. Fibre metalice cu ciocuri

Tabelul 7. Compoziții betoane armate dispers cu fibre metalice

Material [kg/m ³]	Compoziție	Martor (fără fibre)	FB30 (30 kg/m ³)	FB60 (60 kg/m ³)
Ciment tip CEM I 42,5R		390	390	390
Sort 0/4 mm		605	605	605
Sort 4/8 mm		249	249	249
Sort 8/16 mm		321	321	321
Sort 8/32 mm		605	605	605
Apă		172	172	172
Aditiv Flux Mix		3,5	3,5	3,5
Fibre metalice cu ciocuri		0	30	60

Notă: Aditivul ales la prepararea betonului a fost un aditiv superplastifiant FLUX MIX RM 101 care are un dozaj optim recomandat de către producător cuprins între 0,3 – 1,4% la 100 kg de ciment. Agregatul a fost de tip silicios de râu.

Caracteristicile betonului proaspăt sunt prezentate în tabelul 8. Betonul a fost amestecat în malaxorul de beton.

Tabelul 8. Proprietăți ale betoanelor armate dispers cu fibre metalice în stare proaspătă

Proprietate	Compoziția	Martor (fără fibre)	FB30 (30 kg/m ³)	FB60 (60 kg/m ³)
Tasare (cm) / Clasa de consistență		5 cm / S2	3 cm / S1	1cm/ S1
Densitate aparentă (kg/m³)		2330	2370	2400
Raport A/C		0,44	0,46	0,473

Notă: Se observă o necesitate de creștere a volumului de apă utilizat la prepararea betonului armat dispers cu fibre metalice. Acest lucru s-a dovedit a fi necesar pentru a obține consistența betonului proaspăt în clasa dorită (S1 sau S2).

Granulozitatea agregatului folosit a fost atent studiată, păstrându-se în proporțiile prezentate în figura 21.

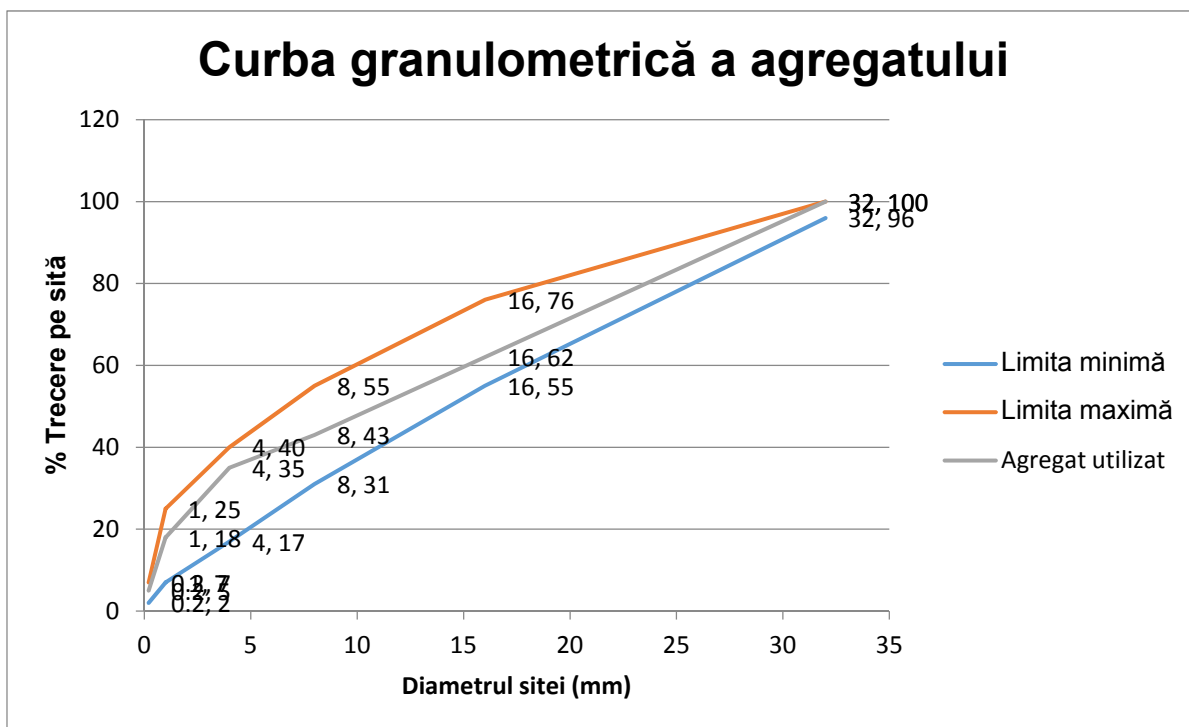


Figura 21. Curba granulometrică a agregatului utilizat

Aditivul FLUX MIX RM 101 (tabelul 9) este un superfluidizant care este recomandat pentru a se utiliza în scopul obținerii unor betoane reoplastice, fără tendință de segregare. Are rolul de a spori lucrabilitatea betonului proaspăt, de a crește rezistența la impermeabilitate și rezistențele mecanice ale betonului întărit.

Amestecul materialelor s-a făcut mai întâi cu 80% din cantitatea de apă de amestecare, apoi în restul de apă s-a introdus superplastifiantul.

Tabelul 9. Caracteristicile aditivului FLUX MIX RM 101

Caracteristica	Valoare
Culoare	maro
pH la 20 °C	4,0 – 6,0
Densitate la 20 °C	1,05 – 1,09 g/ml
Conținut de cloruri	Max 0,1%
Conținut de alcali	Max 2,0%



Figura 22. Materiale folosite la prepararea betoanelor cu fibre metalice



Figura 23. Tasarea betonului proaspăt armat dispers cu fibre metalice



Figura 24. Probe de beton armat cu strat de 5 cm cu fibre de oțel

Probele au fost păstrate în condiții de laborator, adică în apă, la aproximativ 20°C , iar la 28 de zile s-au testat rezistențele mecanice ale acestora. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 10.

Testarea betoanelor întărite la întindere prin încovoiere s-a făcut prin aplicarea încărcării în două zone (figura 25) ale probei testate, aceasta fiind poziționată pe reazemele preseii hidraulice fie având zona de beton armat dispers cu fibre metalice la partea inferioară, fie la partea superioară.

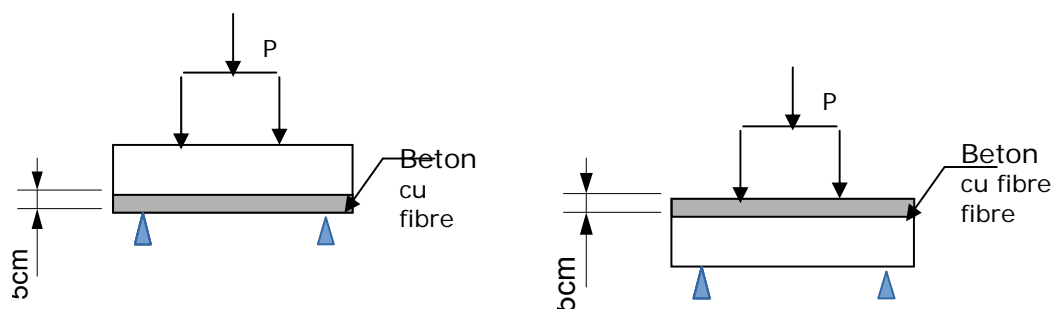


Figura 25. Încercarea la întindere prin încovoiere

Încercările efectuate pe prisme și cuburi au condus la rezultatele prezentate în Tabelul 10.

Tabelul 10. Caracteristici ale betoanelor întărite armate dispers cu fibre de metal.

Proba	Martor (fără fibre)	FB30 (30 kg/m ³)	FB60 (60 kg/m ³)
Densitate [kg/m ³]	2330	2400	2400
Rezistența la compresiune * [N/mm ²]	50,12	54,54	59,43
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona întinsă [N/mm ²]	3,20**	3,38	4,39
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona comprimată [N/mm ²]	3,20**	3,97	4,74

Notă:* Valorile la compresiune introduse în tabel sunt valorile medii obținute pe probe cu formă cubică testate la compresiune având stratul de 5 cm de beton armat dispers cu fibre metalice fie la fața superioară, fie la cea inferioară.

** Valori obținute pe probele din beton martor (fără fibre).



Figura 26. Proba după cedare



Figura 27. Smulgerea fibrelor de oțel

Se poate observa creșterea rezistențelor mecanice ale betonului întărit o dată cu creșterea procentului de armare dispersă a stratului de 5 cm, dar și creșterea rezistențelor la întindere atunci când betonul armat cu fibre de metal se află în zona comprimată. Acest rezultat este semnificativ pentru cercetarea efectuată în cadrul prezentei teze de doctorat deoarece scopul principal de utilizare a betoanelor studiate este acela al îmbrăcăminților rutiere rigide, mai precis, ca și strat de uzură la acestea.

Fibrele de oțel s-au smuls în zona de cedare a epruvetei testate, ceea ce conduce la concluzia unei aderențe superficiale între matrice și fibre (Figura 27).

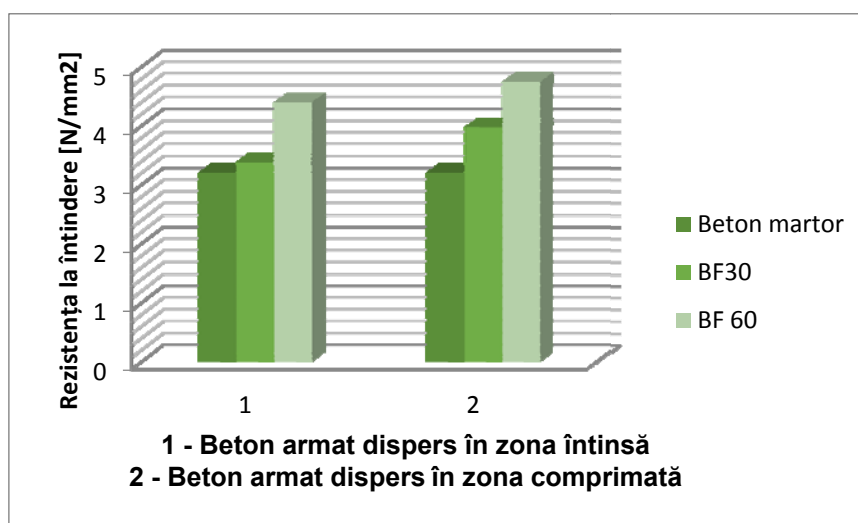


Figura 28. Rezistențe la întindere betoane armate dispers cu fibre metalice

Pentru efectuarea testelor au fost turnate câte 6 prisme, respectiv 6 cuburi pentru fiecare dintre cele 3 compoziții luate în studiu. La efectuarea încercării la întindere prin încovoiere s-a putut observa că cedarea probelor testate s-a realizat prin smulgerea fibrelor din matrice. De asemenea, cedarea nu a avut loc o dată cu apariția primei fisuri în zona întinsă a epruvetei, atât în cazul stratului de beton armat dispers cu fibre metalice poziționat la partea inferioară a prisme, cât și în cazul poziționării acestuia la partea superioară. Spre deosebire de modul de dezvoltare a fisurilor la betoanele simple, în cazul betoanelor armate dispers cu fibre metalice, densitatea fisurilor crește, dar deschiderea acestora este mult redusă.

4.1.4. Concluzii asupra betoanelor armate dispers cu fibre de oțel

Betoanele armate dispers cu fibre metalice se recomandă a se utiliza când turnarea betonului nu este obligatoriu a se realiza prin pompare. Utilizând acest tip de betoane se pot obține timpuri de execuție reduse, prin faptul că se poate elimina betonul de egalizare și chiar armătura. Suprafața betoanelor armate dispers cu fibre metalice se prelucrează ușor cu ajutorul sistemelor moderne de prelucrare a suprafețelor.

Datorită rezistențelor fibrelor de oțel, cu valori cuprinse între 600 - 1200 N/mm², betonul armat dispers cu fibre de oțel preia eforturi. Rezistența betonului armat dispers cu fibre de oțel, depinde bineînțeles și de forma fibrelor, de modul de ancorare al acestora, de diametrul lor ($\varnothing = 0,5-1,2$ mm; $L = 25-60$ mm) și de dozajul lor (20-100 kg/m³).

Fibrele și granulele de agregate conlucrează cu particulele fine de lianți și moleculele de apă, ceea ce influențează în mod decisiv structura rutieră obținută care va prezenta proprietăți fizico-mecanice superioare unei compoziții uzuale. Datorită ciocurilor fibrelor metalice, cantitatea de energie necesară smulgerii acestora din matrice este superioară. Astfel se constată, din studiul cercetărilor din domeniu, că pentru un conținut al fibrelor cuprins între 20 kg/m^3 la 45 kg/m^3 , creșterea rezultatului la încovoiere reziduală este de aproximativ 60%.

Prezența fibrelor împiedică dezvoltarea și propagarea fisurilor în masa betonului, fapt care conduce la creșterea durabilității acestora, inclusiv atunci când sunt supuse la încărcări ciclice. Această rezistență la oboseală, sporită considerabil, face ca în cazul pavajelor și a straturilor de uzură propriu-zise, să se folosească cu precădere acest tip de betoane.

Deoarece sporesc rezistența la compresiune a betonului și totodată absorb energie, fibrele conduc la sporirea rezistenței la impact a materialului compozit din care fac parte pe de o parte, pe de altă parte, din cauza orientării aleatorii și uniforme, a fibrelor în matrice, rezistența la abraziune a betonului este sporită și ea.

Utilizarea fibrelor de oțel în compoziția betoanelor poate înlocui chiar armarea acestora fapt ce reduce și costul manoperei asociat cu montajul armăturilor.

4.2. Betoane cu fibră de sticlă

4.2.1. Noțiuni introductive. Caracteristici ale betoanelor cu fibre de sticlă

Utilizarea fibrelor de sticlă pentru armarea dispersă a betonului prezintă numeroase avantaje cum ar fi:

- costul redus al fibrelor (acestea sunt de obicei deșeuri rezultate de la producerea obiectelor sanitare cu fibre de sticlă, de exemplu);
- rezistență la șoc;
- rezistență bună la întindere și compresiune;
- rezistență la atac chimic și biologic;
- rezistență la acțiunea apei și la umiditate timp îndelungat;
- rezistență la impact.

Principalele dezavantaje ale fibrelor de sticlă utilizate în scopul de armare sunt:

- rezistență scăzută la abraziune;
- aderență mică a liantului la fibră în prezența apei.

Aderența scăzută a liantului la fibră în prezența apei se poate îmbunătăți prin utilizarea unor agenți chimici cu rol de cuplare, sau prin reducerea cantității de apă din amestec.

Procedeul de fabricare al fibrelor de sticlă are la bază topirea la temperaturi de 1200 – 1600°C a unor compuși silicoși. Din topitura de sticlă rezultată se realizează mai întâi baghete sau bile de sticlă, care apoi se topesc și se filează în filamente subțiri. Filamentele se solidifică la răcire, fiind apoi înfășurate pe tamburi speciali sau se așează pe folii de poliester în straturi de diferite grosimi. Din punct de vedere al compoziției chimice, fibrele de sticlă conțin oxizi de magneziu, dioxizi de siliciu și trioxizi de aluminiu. Proporțiile acestor componente diferă de la un tip de fibră la altul. Stabilirea dozajului optim, pentru utilizarea fibrelor de sticlă la betoanele pentru îmbrăcăminti rutiere, trebuie să țină cont în primul rând de caracteristicile granulare ale amestecului din care vor face parte. Lungimea fibrelor poate conduce la probleme în prelucrarea și amestecarea materialului compozit în stare proaspătă, putând apărea aglomerarea acestora în amestec sau chiar fenomenul de flotare. Aceste aspecte conduc la probleme de uniformitate a distribuției fibrelor de sticlă în volumul de beton. Literatura de specialitate recomandă o lungime de tăiere a acestora între 8 și 26 mm.

Programul experimental prezentat în cadrul tezei de doctorat a avut la bază utilizarea în compoziția betoanelor a fibrelor de sticlă Anticrack cu o lungime de 12 mm.



Figura 29. Amestecarea în betonieră a matricei cu fibrele de sticlă

Pentru prepararea betonului armat dispers cu fibre de sticlă s-a folosit betoniera. S-au amestecat întâi materialele solide (cimentul și agregatele), apoi s-a introdus treptat apa de amestecare și aditivul. Amestecarea a continuat până la obținerea consistenței dorite, apoi s-au adăugat fibrele de sticlă.

Betonul proaspăt a fost vibrat ușor pe masa vibrantă, pentru a asigura o compactare corespunzătoare a acestuia și pentru a se evita aglomerarea, respectiv distribuția neuniformă a fibrelor în masa betonului.

În primele teste experimentale s-a încercat introducerea fibrelor de sticlă în compoziția testată, în timpul amestecării uscate a materialelor componente, adică o dată cu agregatele și cimentul. Menționez că acest fapt a condus în final la aglomerarea fibrelor în betonul proaspăt, formându-se gheme de fibre.

S-au realizat 2 compoziții, similare cu cele armate cu fibre metalice, adică o compoziție având 30 kg/m^3 fibre, respectiv 60 kg/m^3 .

Materialul compozit armat cu fibre de sticlă pe o grosime de 5 cm, s-a păstrat până la vârsta de 28 de zile în condiții de laborator, fiind apoi testat conform normativului SR EN 12390 – 5/2009, cu ajutorul prese hidraulice, în vederea determinării rezistenței la încovoiere, respectiv a rezistenței la compresiune. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 11.

Tabelul 11. Caracteristici ale betoanelor întărite armate dispers cu fibre de sticlă

Proba	Martor (fără fibre)	SB30 (30 kg/m^3)	SB60 (60 kg/m^3)
Proprietate			
Densitate [kg/m^3]	2310	2271,6	2274
Rezistența la compresiune * [N/mm^2]	40,02	39,51	42,28
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona întinsă [N/mm^2]	3,20**	3,35	3,54
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona comprimată [N/mm^2]	3,20**	3,25	3,45

Notă:* Valorile la compresiune introduse în tabel sunt valorile medii obținute pe probe cu formă cubică testate la compresiune, având stratul de 5 cm de beton armat dispers cu fibre metalice fie la fața superioară, fie la cea inferioară.

** Valori obținute pe probele din beton martor (fără fibre).

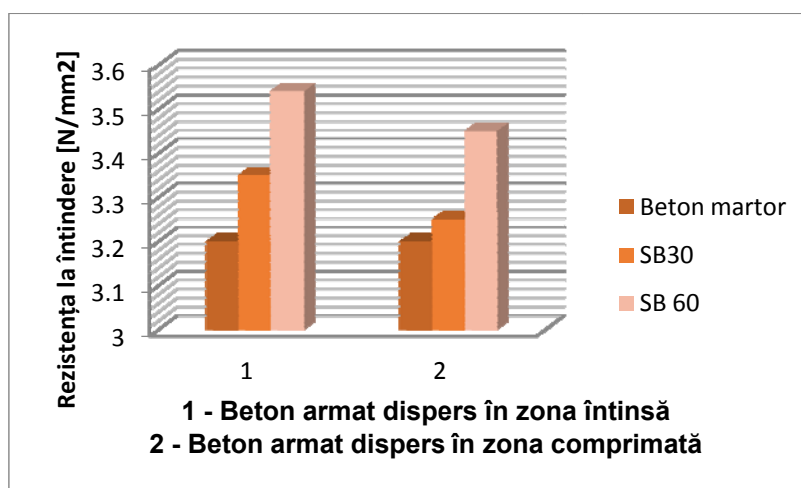


Figura 30. Rezistențe la întindere betoane armate dispers cu fibre de sticlă

4.2.2. Concluzii asupra betoanelor armate dispers cu fibre de sticlă

Se constată că la efectuarea încercării la întindere prin încovoiere a probelor armate dispers cu fibre de sticlă, se obține o rezistență superioară când stratul de armare este în zona întinsă. Deasemenea se constată că, deși prima fisură apare la aproximativ 30% din valoarea forței de rupere, datorită fibrelor de sticlă prezente în matrice, fisurarea este întârziată semnificativ, fisura 2 și 3 apărând foarte aproape de forța maximă. Fibrele împiedică deschiderea fisurilor, fapt ce conduce la impresia că proba nu este distrusă.



Figura 31. Încercarea la întindere prin încovoiere prisme cu fibre de sticlă



Figura 32. Probă armată dispers cu fibre de sticlă pe o grosime de 5 cm după rupere

La realizarea încercărilor experimentale pe compozițiile cu fibră de sticlă, au apărut diverse probleme tehnologice cum ar fi:

- ruperea parțială a fibrelor în malaxor;
- necesitatea de a controla tendința de aglomerare a fibrelor de sticlă precum și distribuția uniformă a acestora în masa betonului.

Adaosul de fibre de sticlă poate conduce la o creștere a rezistențelor mecanice la întindere prin încovoiere, atunci când stratul armat dispers cu fibre de sticlă este poziționat în zona comprimată, cu aproximativ 1,5 - 7% față de betonul martor.

4.3. Betoane cu fibre de polipropilenă

Utilizarea fibrelor de polipropilenă este larg răspândită la ora actuală în domeniul construcțiilor, datorită faptului că acest tip de fibre se pot considera ca fiind economice. Fibrele de polipropilenă au apărut în jurul anilor '50, utilizarea lor în compoziția betoanelor conduce la creșteri semnificative a durabilității betoanelor. Fibrele din polipropilenă pură se obțin printr-un proces de extrudare clasică, care prin diverse procese de transformare, ajung la rezistențe mari la rupere precum și la alungiri semnificative la întindere. Fibrele din polipropilenă se livrează de obicei cu dimensiuni cuprinse între 5 mm până la 70 mm. Polipropilena nu se corodează, având de asemenea alte caracteristici, precum rezistență la alcalii, ceea ce conduce la avantajele utilizării ca și armare dispersă în betoane cu acest tip de fibre. Fibrele de armare din polipropilenă pot suplimenta armarea constructivă a unui element din beton armat sau, în unele cazuri, o pot înlocui complet. Prezența fibrelor are și în acest caz rolul de a micșora fisurile din contracția la uscare a betonului.

Un domeniu important de utilizare a betoanelor armate dispers cu fibre din polipropilenă, îl constituie elementele de construcții solicitate dinamic.

Programul experimental a continuat cu scopul de a găsi tehnologia de amestecare și dozajul optim al fibrelor polipropilenice introduse în betoanele utilizate la îmbrăcămintele rutiere. S-au turnat compozițiile prezentate în tabelul 12.

Tabelul 12. Compoziția betoanelor armate dispers cu fibre poliuretanic

Material	Dozaj kg/m ³
Agregat 0-4 mm	605
Agregat 4-8 mm	249
Agregat 8-16 mm	321
Agregat 16-32 mm	605
CEM I 42,5 R	390
Apă	172
Aditiv	3,5
Fibre poliuretanic	30/60

4.3.1. Betoane cu fibre fibrilate din polipropilenă, RoNet

Fibrele fibrilate din polipropilenă au un conținut de 100% polipropilenă, culoare albă, iar suprafața acestora este tratată cu un agent tensioactiv pentru a asigura o dispersie uniformă a acestora în amestecul în care sunt introduse. Lungimea fibrelor fibrilate utilizată în cadrul programului experimental a fost de 19 mm (figura 33). S-au testat două compoziții având fie 30 kg de fibre la 1 m³ de beton, fie 60 kg la 1 m³ de beton. Acest tip de fibre este recomandat de către producător a se folosi în scopul de a reduce contracția plastică și contracția betonului întărit, îmbunătățind rezistența la impact, la uzură și duritatea betonului. Aceste fibre au proprietatea de a fi necorozive, nemagnetice, inerte chimic și au o rezistență de 100% la alcali. Fibrele fibrilate din polipropilenă asigură durabilitatea pe termen lung a betonului [28]. Pentru cercetarea experimentală prezentă s-au utilizat fibrele fibrilate din polipropilenă RoNet, care sunt recomandate pentru lucrări cum ar fi: fundații direct pe pământ, armarea plăcilor, bordurilor, pantelor, aleilor, trotuarelor, chiar și a plăcilor prefabricate, a betonului decorativ. Fiind un tip de fibre cu performanțe superioare, cu o capacitate ridicată de a controla contracția la uscare a betonului prin controlul fisurilor, fibrele din polipropilenă fibrilate se pot utiliza chiar și în compoziția betoanelor folosite la rezervoare de apă și facilități pentru tratarea apelor reziduale [28].

Modul de amestecare al materialelor componente (tabelul 12) a fost următorul:

1. se amestecă agregatul;
2. se introduce cimentul, continuându-se amestecarea;
3. se introduce apa și aditivul;
4. se introduc fibrele RoNet, amestecarea continuând timp de 5 minute.



Figura 33. Fibre fibrilate din polipropilenă, RoNet 19 mm [28]

La 28 de zile de la turnare, s-au obținut caracteristicile fizice prezentate în tabelul 13. Se poate observa că la un adaos dublu de fibre fibrilate din polipropilenă în betonul proaspăt, se obține o sporire a rezistenței la întindere prin încovoiere de 17% în cazul în care stratul de beton cu astfel de fibre este situat în zona comprimată a probei, respectiv de 11% când stratul cu armare dispersă este în zona întinsă.

Tabelul 13. Caracteristici ale betoanelor întărite armate dispers cu fibre RoNet, fibrilate din polipropilenă

Proprietate	Proba	Martor (fără fibre)	RNB30 (30 kg/m ³)	RNB60 (60 kg/m ³)
Densitate [kg/m ³]		2310	2241	2301
Rezistența la compresiune * [N/mm ²]		40,02	41,78	41,84
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona întinsă [N/mm ²]		2,38**	3,55	3,67
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona comprimată [N/mm ²]		2,38**	2,41	2,92

Notă:* Valorile la compresiune introduse în tabel sunt valorile medii obținute pe probe cu formă cubică testate la compresiune, având stratul de 5 cm de beton armat dispers cu fibre metalice fie la fața superioară, fie la cea inferioară.

** Valori obținute pe probele din beton martor (fără fibre).

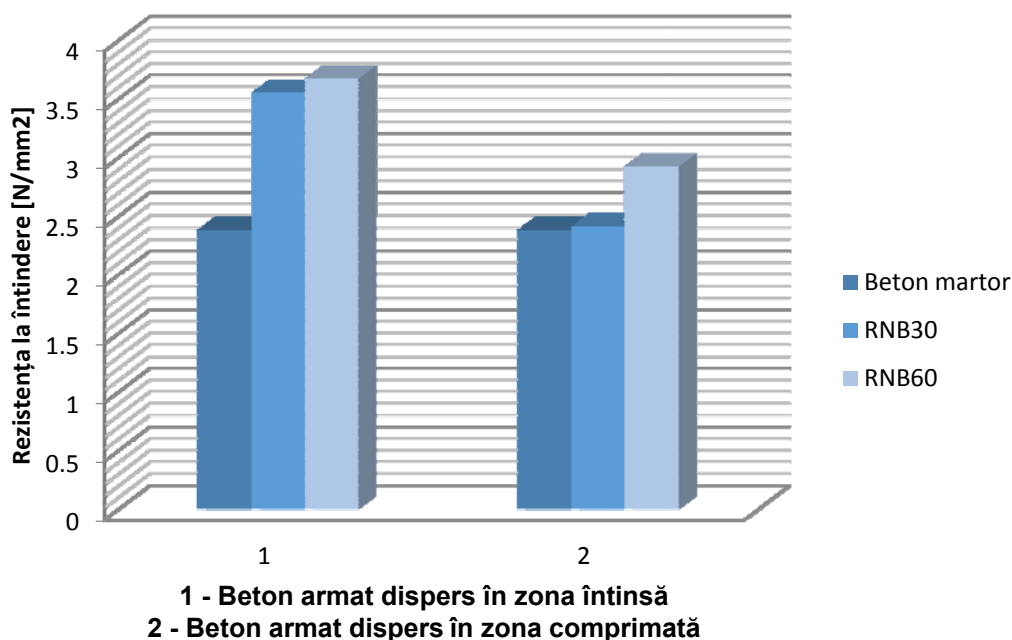


Figura 34. Rezistențe la întindere betoane armate dispers cu fibrilate din polipropilenă RoNet

4.3.1.1. Concluzii asupra betoanelor armate dispers cu fibre fibrilate din polipropilenă, RoNet

La testarea cu presa hidraulică, la vârsta de 28 de zile, a probelor din beton turnate cu un strat de 5 cm grosime armat cu fibre fibrilate din polipropilenă, se observă că la un adaos de acest tip de fibre în betonul proaspăt, se obține o sporire a rezistenței la întindere prin încovoiere cu 1 - 18% mai mare decât cea a betonului martor, în cazul poziționării stratului de beton armat dispers cu astfel de fibre în zona comprimată a probei, respectiv de 33 - 35% când stratul este în zona întinsă. Se notează faptul că un adaos de fibre fibrilate RoNet de 30 kg/m³ în stratul de 5 cm grosime în zona comprimată a betonului nu conduce la o creștere semnificativă a rezistenței la întindere a acestuia.

Scăderea densității betonului în stare proaspătă față de cea a betonului martor, fără stratul de 5 cm grosime armat dispers, conduce la creșterea rezistențelor la compresiune cu aproximativ 4%.

4.3.2. Betoane armate dispers cu fibre monofilament din polipropilenă, RoWhite

Fibrele de polipropilenă monofilament se utilizează în scopul de a preveni dezvoltarea fisurilor din contracție, măbind durabilitatea și rezistența betonului. Fibrele sunt extrem de fine, monofilament, fiind tratate la exterior cu agent tensioactiv, fibrele se dispersează tridimensional și uniform în beton și/sau mortar, formând o rețea ce împiedică segregarea agregatelor în timpul etapei de vibrare a betonului [28].

Ca și domenii de utilizare larg răspândite în lume, fibrele monofilament din polipropilenă s-au folosit cu succes la lucrări din beton precomprimat, beton extrudat, beton amprentat.



Figura 35. Fibre polimerice monofilament RoWhite 12 mm[28]

Tehnologia de obținere a probelor a fost similară cu cea prezentată anterior.

Tabelul 14. Caracteristici ale betoanelor întărite armate dispers cu fibre RoWhite, monofilament din polipropilenă

Proprietate	Proba	Martor (fără fibre)	RWB30 (30 kg/m ³)	RWB60 (60 kg/m ³)
Densitate [kg/m ³]		2310	2322	2334
Rezistența la compresiune * [N/mm ²]		40,02	41,63	42,24
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona întinsă [N/mm ²]		2,38**	2,87	3,07
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona comprimată [N/mm ²]		2,38**	2,50	2,625

Notă:* Valorile la compresiune introduse în tabel sunt valorile medii obținute pe probe cu formă cubică testate la compresiune, având stratul de 5 cm de beton armat dispers cu fibre metalice fie la fața superioară, fie la cea inferioară.

** Valori obținute pe probele din beton martor (fără fibre).

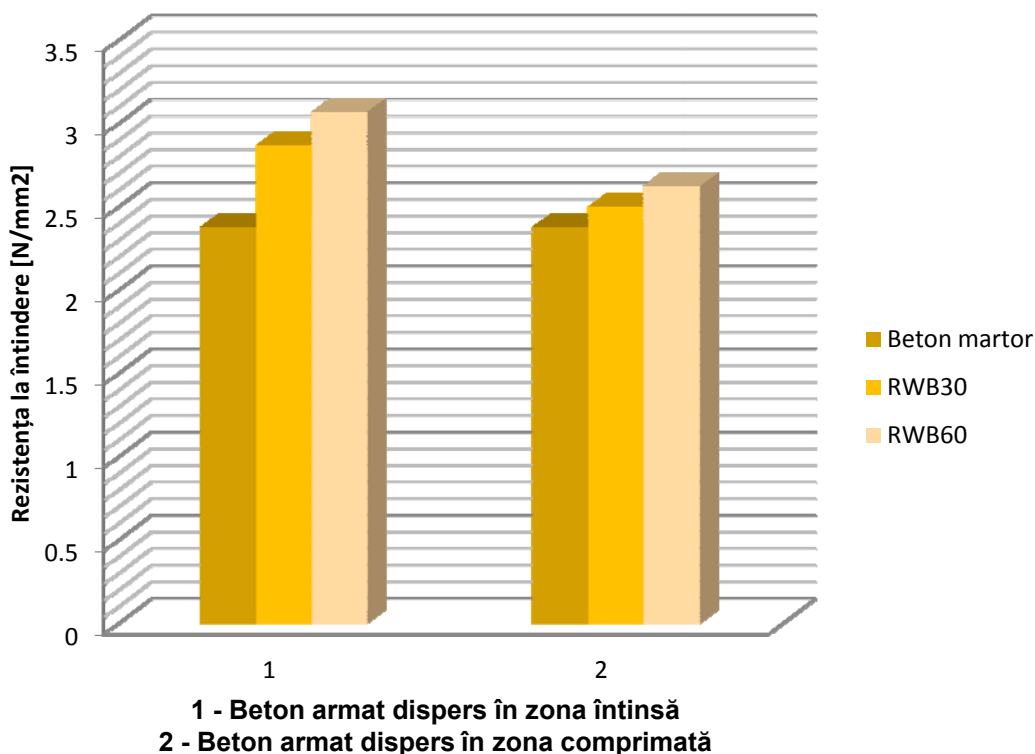


Figura 36. Rezistențe la întindere betoane armate dispers cu polimerice monofilament RoWhite 12 mm

4.3.2.1. Concluzii asupra betoanelor armate dispers cu fibre monofilament, RoWhite

La testarea probelor la întindere prin încovoire, se observă ruperea și nu smulgerea fibrelor în momentul cedării. Această constatare conduce la ideea unei bune aderențe a fibrelor în matrice.

Se observă că la un adaos de acest tip de fibre în betonul proaspăt, se obține o sporire a rezistenței la întindere prin încovoire cu 4,8 - 9% mai mare decât cea a betonului martor, în cazul poziționării stratului de beton armat dispers cu astfel de fibre în zona comprimată a probei, respectiv de 17 - 22% când stratul este în zona întinsă.

4.3.3. Betoane armate dispers cu macrofibre din polipropilenă, Readymesh PF 540

Macrofibrele din polipropilenă se caracterizează printr-un modul de elasticitate de 5,37 kN/mm² și se prezintă sub forma unor „toroane” realizate din mai multe fire de polipropilenă (figura 37). Acest tip de fibre este des utilizat la armarea dispersă a pardoselilor industriale elicoperizate în țări precum Italia și Portugalia. Studiile experimentale în domeniu arată că la introducerea unui kilogram de macrofibre poliuretanică în compoziția betonului rezultatele finale în ceea ce privește sporul obținut în rezistențele mecanice, este aproximativ similar cu cel ce se obține prin utilizarea a 10 kilograme de fibre de oțel. Datorită aspectului, a lungimii (54 mm), dar și a rezultatelor obținute prin utilizarea fibrelor macro, acest tip de fibre se consideră a fi fibre structurale.



Figura 37. Macrofibre din polipropilenă, Readymesh PF 540

Compozițiile testate au avut aceeași tehnologie de amestecare ca și în cazurile anterioare. Se observă (figura 38) desfacerea fibrelor din toron atunci când sunt introduse în betonul proaspăt.



Figura 38. Distribuția macrofibrelor Readymesh PF 540 după amestecare

Tabelul 15. Caracteristici ale betoanelor întărite armate dispers cu macrofibre Readymesh PF 540, monofilament din polipropilenă

Proprietate	Proba	Martor (fără fibre)	RMB30 (30 kg/m ³)	RMB60 (60 kg/m ³)
Densitate [kg/m ³]		2310	2329	2340
Rezistența la compresiune * [N/mm ²]		40,02	42,32	43,01
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona întinsă [N/mm ²]		2,38**	3,20	3,35
Rezistența la întindere prin încovoiere cu betonul cu fibre în zona comprimată [N/mm ²]		2,38**	2,70	2,96

Notă:* Valorile la compresiune introduse în tabel sunt valorile medii obținute pe probe cu formă cubică testate la compresiune, având stratul de 5 cm de beton armat dispers cu fibre metalice fie la fața superioară, fie la cea inferioară.

** Valori obținute pe probele din beton martor (fără fibre).

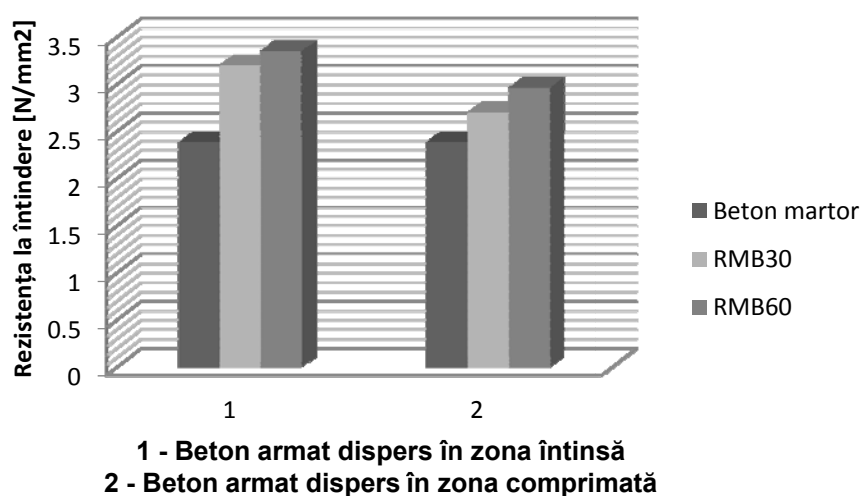


Figura 39. Rezistențe la întindere betoane armate dispers cu macrofibre Readymesh PF 540

4.3.3.1. Concluzii asupra betoanelor armate dispers cu macro-fibre Readymesh PF

540

La testarea probelor la întindere prin încovoire cu stratul de 5 cm grosime poziționat în zona întinsă, se observă apariția primei fisuri la 60% din valoarea maximă a forței de cedare.

Un adaos de acest tip de fibre în betonul proaspăt, conduce la o sporire a rezistenței la întindere prin încovoire cu 11 - 19% mai mare decât cea a betonului martor, în cazul poziționării stratului de beton armat dispers cu astfel de fibre în zona comprimată a probei, respectiv de 25 - 29% când stratul este în zona întinsă.

4.4. Concluzii ale programului experimental pe betoane armate dispers cu fibre

Analizând rezultatele determinărilor experimentale pe toate cele 10 compoziții testate, se constată că la utilizarea unei cantități de 30 kg de fibre la 1 m³ de beton, în cazul poziționării în zona supusă la întindere a stratului cu grosime de 5 cm, cea mai mare rezistență la întindere rezultă cu fibrele fibrilate din polipropilenă RoNet, respectiv cele din oțel atunci când sunt introduse în cantitate de 60 kg la mc de beton (figura 40).

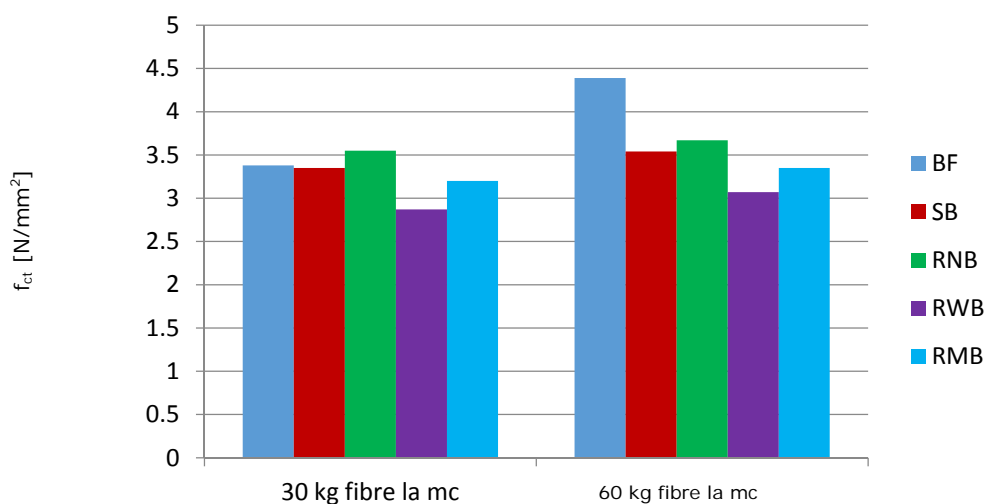


Figura 40. Strat de 5 cm grosime de beton armat dispers cu fibre poziționat în zona întinsă

La utilizarea unei cantități de fibre la 1 m³ de beton, în cazul poziționării în zona supusă la compresiune a stratului cu grosime de 5 cm, cea mai mare rezistență la întindere rezultă cu fibrele din oțel, urmând apoi fibrele de sticlă (figura 41).

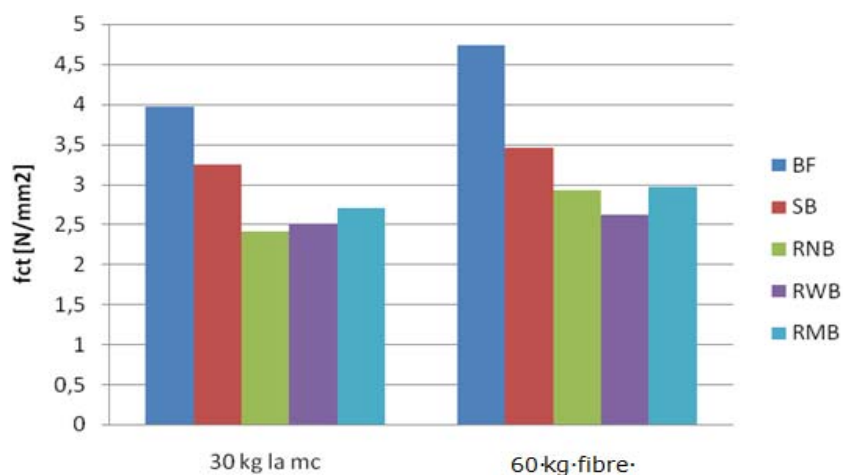


Figura 41. Strat de 5 cm grosime de beton armat dispers cu fibre poziționat în zona comprimată

Dacă se calculează capacitatea portantă a betoanelor armate cu fibre cu ajutorul formulelor de calcul din literatura de specialitate [35], și anume:

$$M_s = k_s \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{ct}^m \quad (4.1)$$

$$M_f = k_f \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{ct}^f \quad (4.2)$$

Unde:

M_s - momentul încovoietor limită pentru betonul simplu (martor);

M_f - momentul încovoietor limită pentru betonul armat dispers cu fibre;

$k_s = 0.236$, coeficient care ia în considerare plasticizarea parțială a betonului simplu în zona întinsă;

k_f - coeficient care ia în considerare plasticizarea parțială a betonului armat dispers în zona întinsă;

b, h - lățimea și înălțimea secțiunii transversale pentru care se face calculul;

f_{ct}^m, f_{ct}^f - rezistența la întindere a betonului simplu, respectiv a betonului armat dispers cu fibre.

$$f_{ct}^f = k \cdot f_{ct}^m \cdot (1 - \mu) + 0.57 \cdot k \cdot \frac{f_{ct}^m}{d} \quad (4.3)$$

Conform bibliografiei [35], $k = \frac{k_s}{k_f} = 0.99$

Tabelul 16 prezintă capacitatea portantă obținută pe toate cele 10 compoziții experimentate. Se observă ca valoarea maximă a capacității portante se obține, așa cum era de așteptat, în cazul armării disperse cu fibre de oțel.

Tabelul 16. Capacitatea portantă

Proba Proprietate	Martor (fără fibre)	FB30 (30 kg/m³)	FB60 (60 kg/m³)	SB30 (30 kg/m³)	SB60 (60 kg/m³)	RNB30 (30 kg/m³)	RNB60 (60 kg/m³)	RWB30 (30 kg/m³)	RWB60 (60 kg/m³)	RMB30 (30 kg/m³)	RMB60 (60 kg/m³)
Capacitatea portantă pentru probe având betonul cu fibre în zona întinsă [N/mm ²]	755,2 X10 ⁴	804,4 X 10 ⁴	1044,8 X 10 ⁴	797,3 X 10 ⁴	842,5 X 10 ⁴	844,9 X 10 ⁴	873,4 X 10 ⁴	683,0 X 10 ⁴	730,6 X 10 ⁴	761,6 X 10 ⁴	797,3 X 10 ⁴
Capacitatea portantă pentru probe având betonul cu fibre în zona comprimată [N/mm ²]	755,2 X10 ⁴	944,8 X 10 ⁴	1128,1 X 10 ⁴	773,5 X 10 ⁴	821,1 X 10 ⁴	573,6 X 10 ⁴	694,9 X 10 ⁴	595,0 X 10 ⁴	624,7 X 10 ⁴	642,6 X 10 ⁴	704,5 X 10 ⁴

5. STUDIU DE CAZ - PLATFORMĂ BETONATĂ TIMIȘOARA

5.1. Optimizarea compoziției betoanelor utilizate pentru realizarea îmbrăcăminții rutiere

Programul experimental, realizat în cadrul determinărilor din laborator, a condus la ideea aplicării în practică a betoanelor testate. S-a ales a se realiza refacerea unei zone de îmbrăcăminți rutiere rigidă în Timișoara, Calea Șagului, nr. 142/A la intrarea în parcul auto Dacia-Renault. Stratul de uzură al căilor de rulare îl constituie tocmai îmbrăcămintea rutieră, care de obicei au grosimi de aproximativ 20 cm și se realizează cu rosturi de turnare între ele. Cei 20 cm grosime pot fi realizați dintr-un singur tip de beton sau din două straturi, cel superior fiind considerat strat de uzură. În țara noastră se folosesc cu predilecție două tipuri de îmbrăcăminți rutiere rigide și anume fie cele cu macadam cimentat peste stratul de balast, fie cea compusă dintr-un strat de beton cu rezistență peste care se așterne, în grosimi de până la 6-10 cm, stratul de uzură [36, 37].

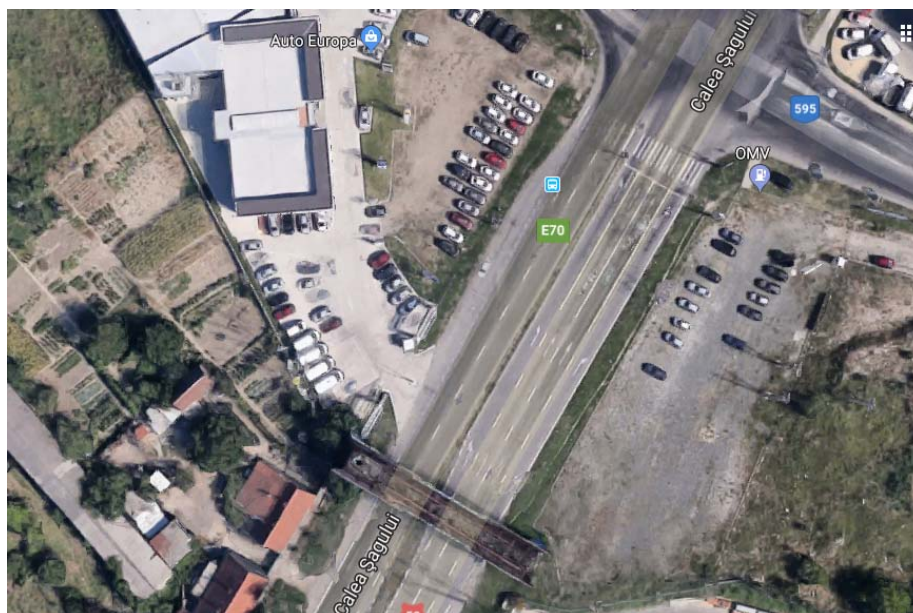


Figura 44. Poziționare platformă betonată Timișoara

Betonul existent al platformei avea suprafața fisurată, ceea ce a condus la necesitatea realizării unor lucrări de reparație. S-a propus înlocuirea acestuia pe porțiuni după cum arată Figura 45. Astfel, pe o suprafață de 27 mp s-a decapat în întregime betonul existent și s-a

înlocuit cu un beton armat dispers cu fibre de oțel tip HE55/35, adică pe o grosime de 20 cm (Figura 46, secțiunea A-A). Un alt tronson cu suprafața de 18 mp, a fost decapat în întregime și a fost înlocuit cu un beton armat dispers cu fibre din polimeri. Un tronson a fost decapat în întregime și a fost înlocuit cu un beton rutier martor. Cele din urmă tronsoane, cu o suprafață de 24 mp, s-a urutierdecatat parțial, adică pe o grosime de 7 – 8 cm și s-a înlocuit cu un strat de beton (Figura 47, secțiunea B-B) armat dispers cu fibre polimerice, respectiv cu fibre din oțel. De menționat că, pentru protecția betoanelor nou turnate, pe primele două tronsoane experimentale s-a aplicat hârtie Kraft peste stratul de balast compactat existent, iar în cel de-al treilea caz, pentru a asigura aderența dintre betonul existent și cel nou, s-a utilizat aditivul pentru aderență Sikalatex.

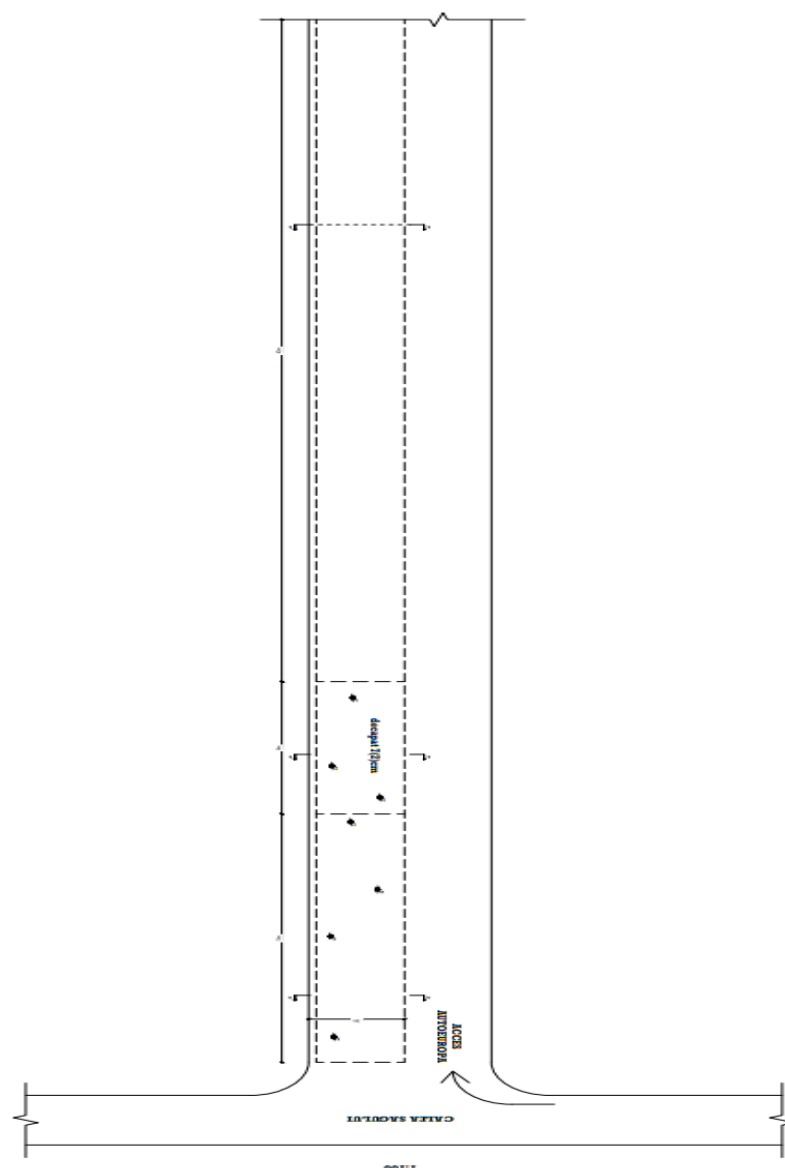


Figura 45. Platforma experimentală Călea Șagului, Timișoara

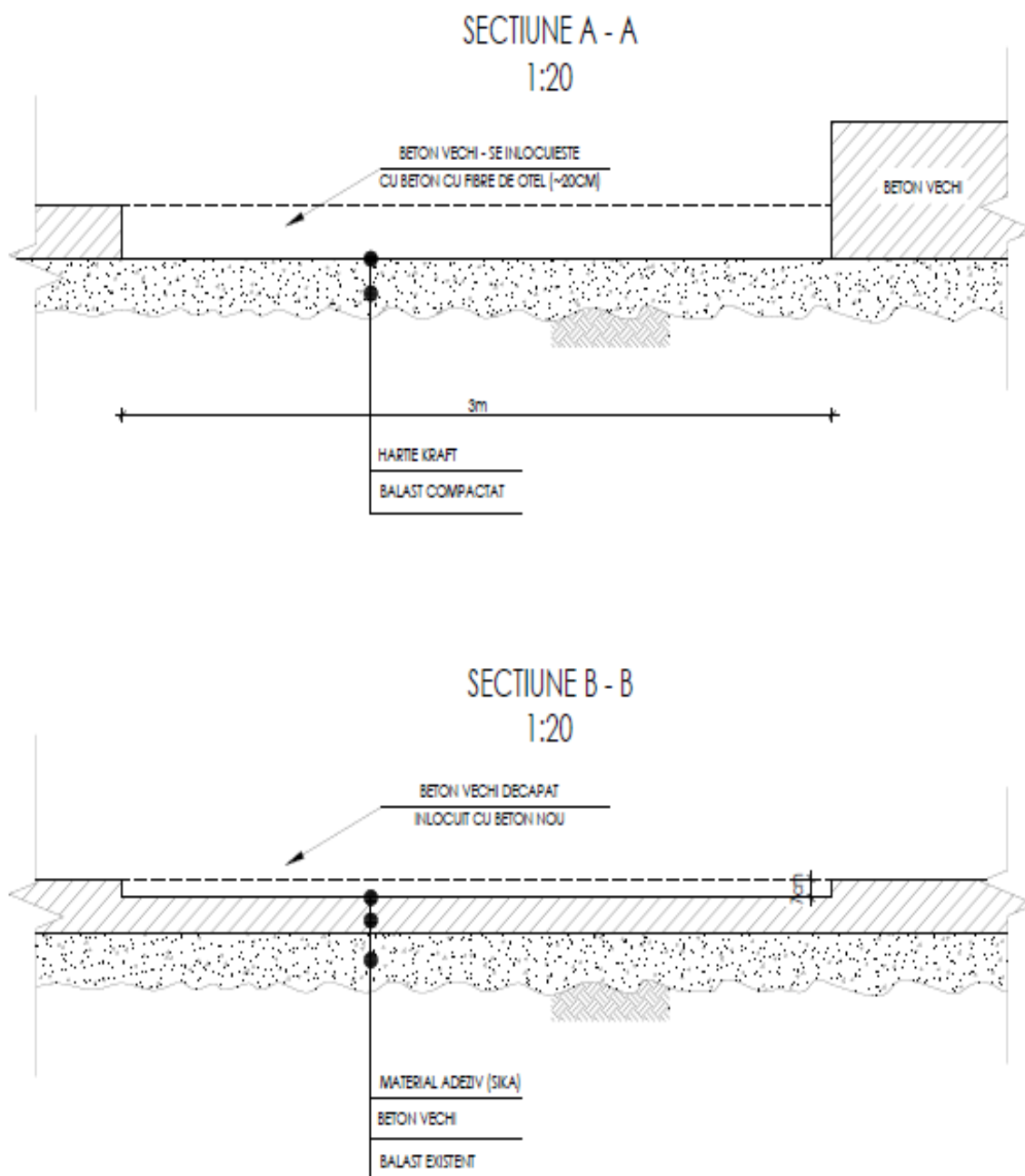


Figura 46. Detaliu înlocuire îmbrăcăminte rutieră

Betoanele turnate au fost produse la stația de betoane și au avut un agregat cu diametrul maxim de 16 mm, cimentul utilizat a fost CEM I 42,5 R, iar la prepararea betonului s-a utilizat aditivul antrenor de aer Daracem 550A și superplastifiantul Glenium 27. Lucrabilitatea betoanelor proaspete a fost S3, iar raportul A/C= 0,42. Clasa betonului martor a fost C20/25.

Fibrele s-au adăugat în cifele de beton când au ajuns la locul turnării, până la un dozaj dublu față de dozajul experimentat în laborator, adică 120 kg la 1 metru cub de beton.

S-a ales compoziția pe bază de beton armat cu fibre de oțel cu ciocuri, având un diametru de 0,5 mm și o lungime $L = 30$ mm, introdus în betonul proaspăt, respectiv un beton armat cu fibre din polipropilenă tip macrofibre, acestea dovedindu-se în cercetările din laborator având o creștere a rezistenței la întindere prin încovoiere atunci când stratul armat dispers este în zona comprimată de aproximativ 11-19%.

5.2. Tehnologia punerii în operă a betoanelor cu fibre utilizate pentru realizarea îmbrăcăminții rutiere

Punerea în operă a betoanelor cu fibre pentru realizarea îmbrăcămințiilor rutiere a urmărit etapele de mai jos:

1) spargerea stratului existent degradat de beton pe grosimea dorită, adică de 7cm în cazul zonei ce urma a fi betonată cu beton armat dispers cu fibre metalice, respectiv în totalitate în cazul zonelor ce urmau a fi betonate cu beton simplu rutier sau cu beton armat dispers cu fibre de poliuretan.

2) curățarea platformelor cu jet de aer.

3) amplasarea straturilor după cum urmează:

a) pentru zona unde s-a îndepărtat întreaga îmbrăcămințe, până la stratul de balast compactat, s-a aplicat o hârtie Kraft cu rolul de a împiedeca scurgerea laptelui de ciment din betonul proaspăt, după care s-a realizat turnarea betonului cu fibre metalice, respectiv turnarea betonului simplu rutier.

b) pentru zona unde s-a îndepărtat un strat de 7 cm grosime din îmbrăcămințea existentă, s-a aplicat aditivul pentru aderență Sikalatex, apoi s-a realizat turnarea betonului cu fibre.



Figura 47. Platforma betonată după întărire

4) compactarea finală a stratului proaspăt de beton.

Principalul scop urmărit prin realizarea acestei etape de cercetare în cadrul doctoratului a fost stabilirea metodei de reabilitare a drumurilor naționale și județene cea mai sustenabilă din punct de vedere al costului raportat la durabilitate, dar și creșterea capacității portante a îmbrăcăminților rutiere.

5.3. Urmărireacomportării în timp a platformei betonate

Pentru stabilirea durabilității și a comportării în timp a betoanelor cu fibre utilizate la reabilitarea îmbrăcăminților rutiere menționate anterior, s-a ales, pe lângă observațiile vizuale efectuate pe o perioadă de 5 ani și metoda de extragere de carote și testarea acestora.

La 5 ani de la turnarea îmbrăcăminților rutiere nu s-au observat fisuri în platformele experimentale turnate (Figura 48a, 48b, 48c).



Figura 48 a. Platforma reabilitată, vârsta 5 ani



Figura 48 b. Platforma reabilitată zona fibre de oțel pe toată grosimea, respectiv pe 5 cm grosime



Figura 48 c. Platforma reabilitată zona fibre polimerice pe toată grosimea, respectiv pe 5 cm grosime

5.3.1. Încercări pe carote extrase din platformele reabilite

5.3.1.1. Considerații generale

Încercările prin extrageri de carote s-au efectuat în conformitate cu SR EN12504-1, ținându-se cont de faptul că, datorită distrugerii structurii betonului pe suprafețele laterale dar și la capetele carotelor, acestea nu reprezintă echivalentul unei probe de beton turnată în timpul execuției lucrării în tipare standardizate. Astfel, se aplică factori de corecție la valorile obținute pe carote pentru a putea fi comparate cu valori similare obținute pe cuburi standardizate având latura de 15 cm.

Se cunoaște faptul că la evaluarea elementelor din beton in situ, acestea prezintă la suprafața lor o valoare a rezistenței inferioară celei din interiorul elementului, dacă ne referim însă la variația pe înălțime a rezistențelor unui beton, o diferență de până 20% în valoarea rezistenței betonului apare între partea inferioară a elementului și cea superioară.

Precizia de încercare și în consecință acuratețea rezultatelor obținute pe carote, depinde de respectarea unor tehnici de extragere a acestora (figura 48), după cum urmează:

- extragereacarotelor trebuie să se execute perpendicular pe suprafața de beton, astfel încât carotele să nu se rupă sau fisureze;
- pe tot timpul carotării se va asigura răcirea corespunzătoare a a betonului cu apă pentru a se evita degradarea excesivă prin încălzire;
- extragerea carotei se realizează pe toată grosimea elementului;

- numărul de carote extrase să fie suficiente pentru a calcula o rezistență care să caracterizeze o zonă specifică din același tip de beton
- diametrul carotelor extrase să fie corelat cu diametrul agregatului maxim din beton ($d \geq 3 \Phi_{\max.\text{agr.}}$).



Figura 48. Extragere carote

5.3.1.2. Pregătirea carotelor în vederea încercării

Pentru efectuarea încercărilor, fețele de capăt ale carotelor trebuie să fie plane, paralele între ele și perpendiculare pe generatoare (SR EN 12390-3). Pentru a îndeplini acest deziderat, suprafețele carotelor se prelucrează prin:

- polizarea sau tăierea suprafețelor de capăt;
- turnarea pe zonele de capăt a unui liant de adaos până la obținerea unei suprafețe plane, perpendiculare pe generatoare. Liantul trebuie să adere bine la betonul din carotă, să aiba un modul de elasticitate și o rezistență la compresiune apropiate de cele ale betonului. Grosimea stratului de liant pentru asigurarea planeității nu trebuie să depășească 1 cm.

În cazul de față s-a ales folosirea unui mortar epoxidic.

5.3.1.3. Testarea carotelor

Carotele extrase, după ce au fost prelucrate, s-au testat la compresiune și la întindere prin despicare, în conformitate cu SR EN 12390-3. Pentru testare s-a utilizat o presă hidraulică, în conformitate cu SR EN 12390-4. S-a determinat rezistența la compresiune pentru fiecare probă prin împărțirea forței maxime, F la aria secțiunii carotei, A_{car} calculată pe baza diametrului mediu, exprimând rezultatele la cea mai apropiată valoare de 0,5 MPa (N/mm^2).

Se menționează faptul că, datorită operației de extragere a carotei, suprafețele laterale și de capăt ale carotei, mortarul epoxid utilizat pentru planeitate, variabilitatea raportului înălțime/diametru de la o carotă la alta, conduc la diferențe între rezultatele ce se obțin pe carote și rezultatele ce se obțin în cazul încercării la compresiune a unor probe cu forme standardizate de cuburi cu latura de 150 mm, confecționate din betoane similare și păstrate în condiții de laborator.

Luând în considerare raportul înălțime carotă/diametru, se specifică faptul că în situația în care acest raport este egal cu 2, rezultatele obținute pot fi comparate cu rezistența cilindrică, iar dacă acest raport are valoarea 1, rezultatele obținute pot fi comparate cu rezistența obținută pe cuburi.

Determinarea rezistenței dintr-un element f_{is} , respectiv echivalența cu rezistențe obținute pe epruvete de forma cubică cu latura de 150 mm se face cu relația:

$$f_{is} = a \cdot b \cdot c \cdot e \cdot g \cdot f_{car} \quad (5.1)$$

unde:

a = coeficient de corecție ce ține seama de influența diametrului carotei;

b = coeficient de corecție ce ține seama de raportul h/d între înălțime și diametru;

c = coeficient de corecție ce ține seama de influența stratului degradat;

e = coeficient de corecție ce ține seama de influența naturii stratului de adăugat pentru prelucrarea suprafeței;

g = coeficient ce ține seama de umiditate;

$f_{car} = F_{car}/A_{car}$. Rezistența carotelor la compresiune,

f_{car} este rezistența la compresiune, în megapascali sau newtoni pe milimetri pătrați;

F_{car} este forța maximă la cedare, în newtoni;

A_{car} este secțiunea transversală a epruvetei în milimetri pătrați.

Carotele au fost încercate la o altă vârstă a betonului, diferită față de cea de la 28 de zile, astfel ca la rezultatele obținute s-au aplicat coeficienți de corecție, care depind de tipul de ciment și de viteza de întărire a acestuia. Coeficienții de corecție h , sunt subunitari la valori ale betonului mai mari de 28 de zile, iar valorile lor trebuie să țină seama de capacitatea mai mare de creștere în timp a rezistențelor cimenturilor cu adaosuri, în special de zgură. Orientativ, la o vechime a betonului de peste 1 an se pot considera următoarele valori ale coeficienților: 0,9 pentru cimenturi fără adaosuri, 0,85 pentru cimenturi având sub 20% adaosuri, și 0,80 pentru cimenturi cu peste 21% adaosuri.

Rezistența caracteristică la compresiune in-situ s-a efectuat, având la dispoziție un număr de 3 carote din fiecare tip de îmbrăcăminte rutieră, astfel că rezistența caracteristică in-situ estimată a zonei de încercare este cea mai mică dintre valorile:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \quad (5.2)$$

sau

$$f_{ck, is} = f_{is, min} + 4 \quad (5.3)$$

Limita k depinde de numărul n de rezultate ale încercării, valoarea adecvată fiind selectată din tabelul 17.

Tabelul 17. Valorile lui k în concordanță cu numărul de carote

Număr de carote	k
10-14	5
7-9	6
3-6	7

Având în vedere faptul că pentru realizarea îmbrăcăminților rutiere rigide se utilizează betoane de ciment rutiere, împărțite în clase pe baza criteriului rezistenței caracteristice la încovoiere $f_{ctk, sp}$, rezistența caracteristică la încovoiere se consideră în normativele în vigoare ca fiind valoarea rezistenței sub care se pot întâlni statistic cel mult 5 % din rezultatele obținute prin încercarea la încovoiere, la vârsta de 28 zile a epruvetelor prismatice de beton, având dimensiunile 150 x 150 x 600 mm, încărcate cu două forțe egale și simetrice ($f_{ctk, sp} = R_{inc}^k$).

Clasele de betoane rutiere, natura lor și valorile rezistențelor caracteristice la încovoiere sunt prezentate în tabelul următor.

Tabelul 18. Rezistențe caracteristice la încovoire ale betoanelor rutiere

Clasa de beton rutier	$f_{ctk,150}$ [N/mm ²]
BcR 5,0	5,5
BcR 4,5	4,9
BcR 4,0	4,4
BcR 3,5	3,8

Având în vedere criteriile de clasificare cunoscute ale betoanelor rutiere, betoanele uzual utilizate pentru realizarea îmbrăcăminților rutiere sunt cele de clasă BcR 4,0 și BcR 4,5.

În cazul îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment rezistența la întindere a betonului, care este cea mai mică dintre rezistențele sale mecanice, este hotărâtoare pentru durabilitatea lucrărilor. De aceea, pe carotele extrase s-au realizat teste în vederea stabilirii rezistenței la întindere cu ajutorul încercării la despicare a epruvetelor.

Încercarea la despicare utilizează epruvete în formă de cuburi sau fragmente de prismă, precum și carote cilindrice extrase din îmbrăcămintea rutieră, folosindu-se aceeași aparatură ca în cazul încercării la compresiune, transmiterea încărcării făcându-se în lungul a două generatoare diametral opuse.

Rezistența la întindere din despicare, $f_{ct,sp}$, se calculează cu relația:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot A} \quad (5.4)$$

$$A = L_x \cdot d \quad (5.5)$$

în care:

$f_{ct,sp}$ – rezistența la întindere prin despicare, în MPa sau N/mm²

F – sarcina maximă, în N

A – aria secțiunii transversale de rupere a epruvetei sau carotei, în mm²

L – lungimea liniei de contact a epruvetei, în milimetri

d – dimensiunea transversală desemnată (diametrul), în milimetri

Rezistența la întindere prin despicare se exprimă rotunjit la cel mai apropiat 0,05 MPa (N/mm²).

Betonul de ciment se rupe la valori ale eforturilor unitare mai mici decât cele rezultate din încărcări statice de scurtă durată, atunci când este sub acțiunea încărcărilor repetate. Reducerea rezistențelor betonului se datorează influenței pe care o exercită încărcările repetate asupra procesului de microfisurare a betonului. Astfel, în cazul betoanelor rutiere se impune reducerea rezistenței admisibile la întindere din încovoire. Acest lucru se realizează

prin aplicarea unui coeficient cu valori cuprinse în intervalul 0,6...0,7, coeficient care ține cont de frecvența încărcărilor (intensitatea traficului rutier).

Pentru alegerea clasei de beton a îmbrăcăminții rutiere trebuie să se ia în considerare factori cum sunt: categoria sau clasa drumului, intensitatea traficului și caracteristicile geometrice ale drumului.



Figura 49. Pregătirea carotelor pentru testare

Probele obținute au fost prelucrate conform normativului C54-81, suprafețele în contact cu platanele preseii fiind finisate cu rășină epoxidică.

Pentru determinarea forței de cedare la compresiune, epruvetele au fost încercate la presa hidraulică automată de 3000 kN din cadrul laboratorului de gradul I autorizat al Facultății de Construcții din Timișoara.



Figura 50. Presa hidraulică automată

Interpretarea datelor, în vederea stabilirii clasei betonului turnat în elementul de infrastructură rutieră, este prezentată în tabelul 18.



Figura 51. Testarea carotelor la compresiune



Figura 52. Testarea carotelor la despicare

5.4. Concluzii asupra durabilității tronsoanelor experimentale

Carotele testate conform procedurilor amintite la capitolul 5.3.1.3. au fost extrase la 28 de zile de la realizarea platformelor, respectiv la 5 ani. Analiza rezultatelor obținute a condus la identificarea următoarelor clase de beton rutier: (Tabelele 19, 20).

Tabelul 19. Rezultate obținute pe carote la 28 de zile

Elementele testate la 28 zile	$f_{ct,fl, is}$ [N/mm ²]	$f_{ct,fl, min}$ [N/mm ²]	$f_{ctmf, is}$ [N/mm ²]	Clasa
Carote Martor M28	2,515	2,50	2,61	BcR 2,5
	2,580			
	2,544			
	2,624			
	2,793			
Carote Beton fibre oțel BO28	2,619	5,365	5,578	BcR 5,0
	5,580			
	5,365			
Carote Beton Strat fibre oțel BOS28	5,790	4,345	4,508	BcR 4,0
	4,544			
	4,345			
Carote Beton fibre polimerice BP28	4,635	4,325	4,508	BcR 4,0
	4,325			
	4,678			
Carote Beton fibre polimerice strat BSP28	4,521	3,793	3,885	BcR 3,5
	3,793			
	3,987			
	3,877			

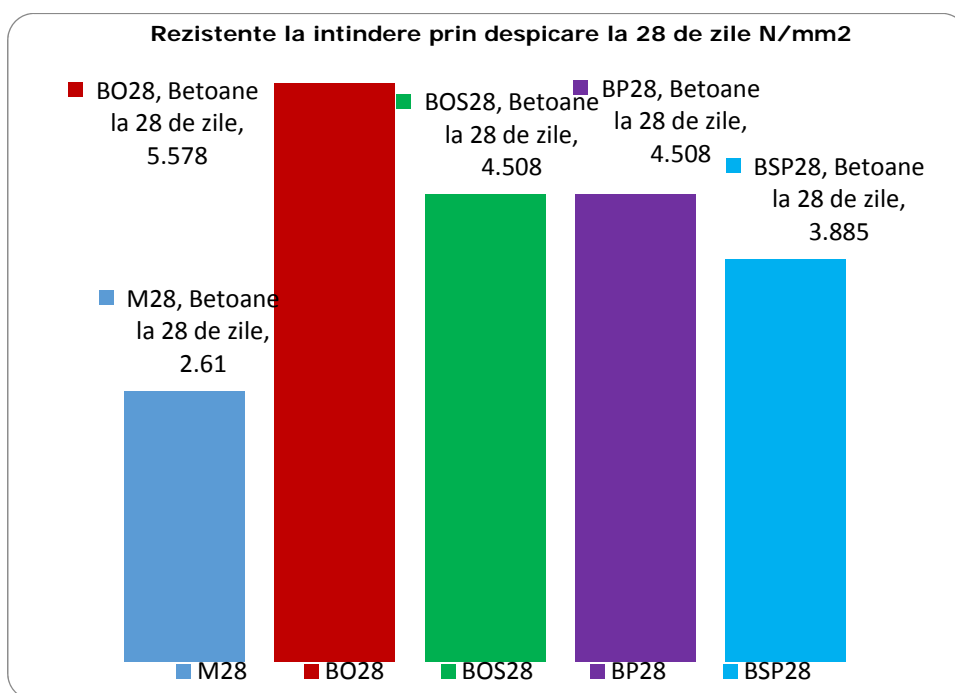


Figura 53. Rezultate obținute pe carote la 28 de zile

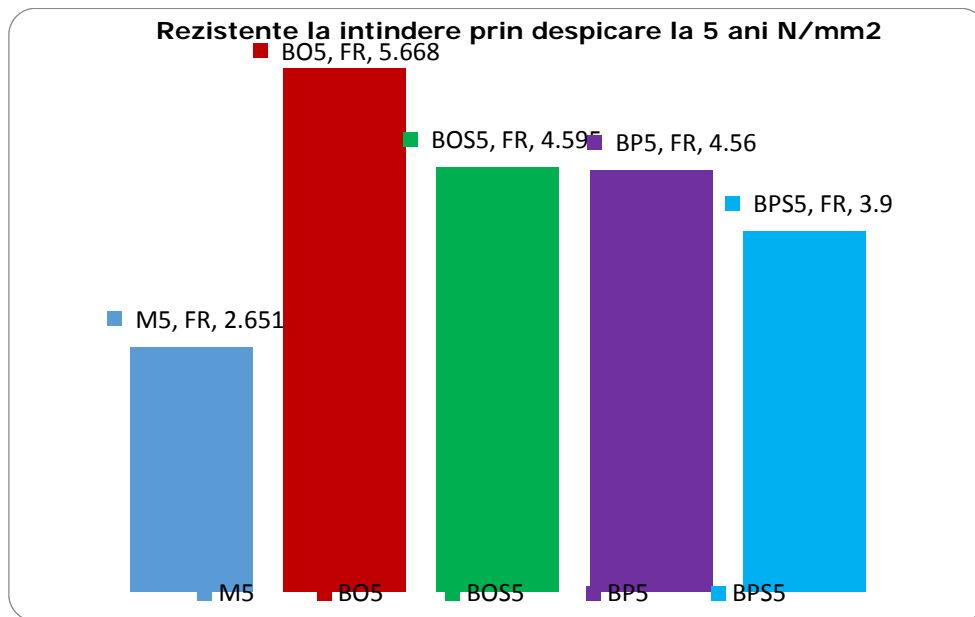


Figura 54. Rezultate obținute pe carote la 5 ANI

Tabelul 20. Rezultate obținute pe carote la 1825 de zile (5 ani)

Elementele testate la 1825 zile	$f_{ct,fl, is}$ [N/mm ²]	$f_{ct,fl, min}$ [N/mm ²]	$f_{ctmf, is}$ [N/mm ²]	Clasa
Carote Martor M5	2,615	2,560	2,651	BcR 2,5
	2,590			
	2,560			
	2,704			
	2,800			
	2,640			
Carote Beton fibre oțel BO5	5,600	5,590	5,668	BcR 5,0
	5,590			
	5,815			
Carote Beton Strat fibre oțel BOS5	4,590	4,505	4,595	BcR 4,0
	4,505			
	4,690			
Carote Beton fibre polimerice BP5	4,460	4,460	4,560	BcR 4,0
	4,690			
	4,530			
Carote Beton fibre polimerice strat BSP5	3,805	3,805	3,900	BcR 3,5
	3,995			
	3,900			

Se observă o creștere în timp a rezistenței la întindere prin despicare la toate tipurile de betoane, acest lucru este în concordanță cu literatura de specialitate din domeniu. În cazul betoanelor armate cu fibre metalice cu grosimea de 7 cm, rezistența obținută este similară, atât la vârsta de 28 de zile, cât și după 5 ani, cu cea obținută pe betoanele armate cu fibre polimerice pe toată grosimea stratului îmbrăcăminții rutiere. Introducerea fibrelor metalice în compoziția betoanelor rutiere conduce la dublarea rezistenței la întindere a acestora. Se

observă, în cazul utilizării fibrelor polimerice pentru armarea dispersă a betoanelor rutiere, o creștere de aproximativ 15% a rezistențelor în cazul armării disperse pe toată grosimea îmbrăcăminții rutiere, față de armarea numai a stratului de uzură, iar în cazul celor armate dispers cu fibre metalice de 15%. Această concluzie este semnificativă atunci când se ia în considerare raportul cost/beneficiu în stabilirea soluțiilor de reparare/consolidare a drumurilor.

6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Un accent important al viziunii noastre ar trebui să fie acela de a crește durabilitatea și durata de viață a diferitelor structuri. Durabilitatea tuturor căilor de rulare și a altor structuri din beton ar trebui să se dubleze în acest secol, mai ales luând în considerare faptul că resurse financiare majore ale țării noastre sunt investite în sectorul construcțiilor. Pentru a realiza acest deziderat se impune selectarea cu grijă a materialelor pentru optimizarea și controlul proprietăților și utilizarea specificațiilor bazate pe performanță, lucru ce va duce la creșterea durabilității betonului.

În prezent, se știe că, la un anumit moment al existenței unui drum, acesta are un nivel de siguranță diferit de cel proiectat inițial, mai ales dacă nu se acționează în sensul reducerii efectelor negative, care conduc inevitabil la degradarea acestuia.

Reducerea siguranței în exploatare a drumurilor, este cauzată de:

- erorile în execuție și exploatare;
- condițiile de mediu;
- supra sollicitările accidentale.

Accentuarea gravității și ireversibilității degradărilor structurii rutiere, poate avea loc și ca urmare a neasigurării unei protecții primare în etapele de execuție sau chiar renunțarea nejustificată la aplicarea acestora. Lucrările de întreținere și reparații curente neefectuate sau întârziate riscă să aibă consecințe grave și să genereze cheltuieli exagerate.

Pentru a analiza starea de degradare a drumurilor pe întreaga durată de serviciu se ține cont de mai mulți factori, cum ar fi:

- riscul seismic;
- calitatea materialelor de construcții;
- lipsa unui sistem riguros de asigurare a calității lucrărilor;
- exploatarea nerațională a unor drumuri sau sectoare de drum peste limita luată în considerare în faza de proiectare.

Pe baza studiilor teoretice, determinărilor experimentale precum și a propunerilor de aplicare, se pot stabili concluziile tezei de doctorat, prezentate în continuare.

Sporirea durabilității și sustenabilității structurilor din beton, prin reducerea costului de reparații și întreținere, prin sporirea rezistențelor la întindere a betoanelor realizate cu fibre, precum și prin posibilitatea eliminării, chiar dacă nu în totalitate, a armăturilor, este un obiectiv major al cercetărilor din domeniul ingineriei civile. În timpul construcției, diferența

de consum de combustibil pentru producerea de asfalt față de beton este imensă. Acest lucru se datorează în principal energiei necesare pentru încălzirea materialelor asfaltice.

Ca și dezavantaj al acestor betoane se poate menționa costul inițial sporit al materialelor componente, și anume al adaosului de fibre, dar acest dezavantaj se pierde în timp prin sporirea durabilității. Aceste betoane se dovedesc a fi eficiente la realizarea căilor de rulare la poduri, îmbrăcăminților rutiere, tuneluri sau conducte.

Testele experimentale efectuate asupra betoanelor armate cu diverse tipuri de fibre, pot sta la baza stabilirii unor direcții principale de optimizare a compozițiilor acestor betoane.

Betoanele armate dispers cu fibre trebuie să aibă o compoziție atent stabilită, o tehnologie de amestecare riguros respectată, deoarece, într-un material armat dispers cu fibre mai mult sau mai puțin distribuite uniform și la distanțe mici una de alta, distanțarea fibrelor afectează proprietățile acestuia.

S-a constatat că, dacă se compară două șarje de turnare diferite cu același procent volumic de fibre Vf, cu fibre de același tip și diametru, distanța medie dintre fibre este diferită și ranforsarea lor cu fibre va fi considerabil diferită.

Costul ridicat al materialelor din compoziție, cât și faptul că este necesar un control de calitate sporit asupra betonului și a agregatelor constituie un dezavantaj major al betoanelor cu fibre. Utilizarea fibrelor ajută la modificarea proprietăților atât în stadiul de beton proaspăt cât și în faza de beton întărit, ceea ce face din betonul cu fibre un material mai versatil pentru a fi utilizat pentru o varietate de aplicații.

Rezultatele experimentale obținute pe cele cinci tipuri de betoane cu fibre studiate în cadrul tezei de doctorat sunt în concordanță cu cele prezentate în lucrări de specialitate din țară și străinătate.

Se propune, pe viitor testarea influenței altor tipuri de fibre apărute pe piața specifică, în scopul reducerii contracției betoanelor întărite și stabilirea celei mai eficiente compoziții, lunând în considerare raportul cost produs final/efect de sporire a durabilității. De asemenea, se propune testarea celor cinci tipuri de fibre studiate pe alte tipuri de betoane (betoane cu agregate ușoare, beton celular autoclavizat, betoane autocompactante etc), sau înlocuirea în compozițiile analizate a unei cantități din masa cimentului cu pudră de silice sau cenușă de termocentrală.

Un studiu bibliografic și experimental asupra betoanelor autocompactante cu fibre poate constitui o principală direcție de cercetare postdoctorală.

Asupra betoanelor realizate se propune continuarea cercetărilor pentru determinarea: rezistenței la foc, ascensiunea capilară a apei, absorbția umidității din aer, contracția și umflarea, comportarea în timp, precum și redactarea unor instrucțiuni provizorii de aplicare a noilor materiale.

Testele realizate și concluziile care se desprind în urma interpretării rezultatelor obținute fac să se poată anticipa eventualele degradări ale îmbrăcăminților rutiere, fiind astfel posibil să se poată interveni din timp pentru limitarea costurilor suplimentare care apar în cazul unor intervenții majore de consolidare.

Sintetizând materialul prezentat anterior, principalele contribuții personale sunt:

1. Întocmirea unui studiu bibliografic reprezentativ pentru acest domeniu de cercetare, ilustrat prin lista de bibliografie.

2. Realizarea unui scurt istoric al folosirii fibrelor, respectiv a betonului armat cu fibre, în construcții.

3. Realizarea unui larg program de cercetare experimentală pe betoane armate dispers cu 5 tipuri diferite de fibre, cu adaos de fibre diferit, deci în total 10 rețete de betoane armate dispers cu fibre.

4. Optimizarea tehnologiei de amestecare a betoanelor cu fibre testate.

5. Realizarea unui studiu practic prin utilizarea betoanelor armate dispers cu fibre metalice și respectiv cu fibre polimerice la reabilitarea unei platforme din Timișoara.

6. Urmărirea comportării în timp, pe o durată de 5 ani, a platformei reabilitate.

7. Realizarea unui beton cu fibre ce poate fi utilizat la îmbrăcămințile rutiere, care se remarcă prin durabilitate sporită.

8. Studiul are ca beneficiari inginerii constructori din țara noastră implicați în toate etapele de realizare a îmbrăcăminților rutiere, cărora datele prezentate în această teză de doctorat le poate oferi informații utile despre comportarea betoanelor armate dispers cu fibre. Astfel, se pot concepe amestecuri de betoane cu o comportare superioară. Aceste cunoștințe pot contribui la realizarea unor drumuri mai durabile, la care costurile de întreținere în exploatare se pot reduce, astfel că, în timp se poate vorbi de un câștig din punct de vedere economic.

Valorificarea rezultatelor s-a făcut prin publicarea a de 8 articole cotate ISI, dintre care unul într-o revistă, alături de membri ai departamentului de Construcții Civile și Instalații ai Facultății de Construcții, Universitatea Politehnica Timișoara, după cum urmează:

1. THEORETICAL CONSIDERATIONS AND LAB DETERMINATIONS REGARDING CONCRETE SHRINKAGE, L. IUREȘ, C. BOB, R. CHENDES, C. BADEA, R. POPA - Revista Română de Materiale / Romanian Journal of Materials 2019, 49 (2),274 - 278

2. THERMOCONFORT PANEL FOR HOUSE INSULATION – CASE STUDY, L. IUREȘ, C. BOB, R. CHENDES, R. POPA - International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, 457-463, Bulgaria, 2017

3. CONDITION MONITORING OF THE REINFORCEMENT’S CORROSION IN STRUCTURAL ELEMENTS, L. IUREȘ, C. BOB, R. CHENDES, S. DAN, R. POPA, Transilvania University Press Brasov, 2015

4. COMPARISON BETWEEN RECYCLED CONCRETE AGGREGATES AND NATURAL AGGREGATES DENSITY AND WATER ABSORPTION, R. CHENDES, L. IURES, R. POPA, C. BOB, S. DAN, C. TANASIE – MODERN TECHNOLOGIES FOR 3RD MILLENIUM, ORADEA, 2018

5. USING THERMOCONFORT PLUS PANELS FOR BUILDING INSULATION, L. IURES, R. POPA, R. CHENDES, C. BOB – MODERN TECHNOLOGIES FOR 3RD MILLENIUM, ORADEA, 2018

6. PRACTICAL USE OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETES FOR ROADS, L. IURES, R. POPA, C. BOB, R. CHENDES - MODERN TECHNOLOGIES FOR 3RD MILLENIUM, ORADEA, 2017

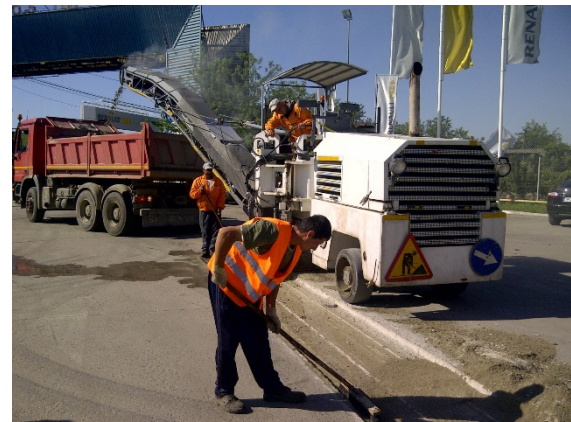
7. STEEL FIBRES REINFORCED CONCRETES USED FOR ROADS, R. POPA, C. BOB, L. IURES MODERN TECHNOLOGIES FOR 3RD MILLENIUM, ORADEA, 2016

8. USE OF RIGID POLYURETHENE WASTES IN INSULATING PANNELS, L. IURES, R. CHENDES, C. BADEA, R. POPA, C. BOB, - International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, Bulgaria, 2015

ANEXA FOTO

TURNAREA PLATFORMEI BETONATE

TIMIȘOARA, STR. CALEA ȘAGULUI, Nr. 142/a
Parcul auto Dacia Renault





BIBLIOGRAFIE

- [1] <https://www.asce.org/project/first-concrete-pavement>
- [2] <https://michpics.wordpress.com/2012/04/20/april-20-1909-the-worlds-first-mile-of-concrete-highway/>
- [3] S. MINDESS - *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete - Fibrous Concrete Cement*, University of British Columbia, Canada, 2008
- [4] A. CIOC, M. BADIU, D. IOFCEA – *Armarea dispersă a betoanelor cu fibre metalice. Proprietăți și aplicații*
- [5] Național Ready Mix Concrete Association – NRMCA, *Concrete în Practice -What , Why, How?*, 1994
- [6] Reglementare tehnică "Ghid pentru stabilirea criteriilor de performanță și a compozițiilor pentru betoanele armate dispers cu fibre metalice", indicativ GP-075-02-Monitorul Oficial, Partea I nr. 576bis din 12/08/2003
- [7] Romfracht <https://www.fibre-metalice.ro/>
- [8] G. Šahmenko, A. Krasnikovs, M. Eiduks –Ultra High Performance Concrete Reinforced with Short Steel and Carbon Fibers, *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference*, Vol. I: 193–199, 2015, ISSN 1691-5402.
- [9] Muhammet Iskender, Belir Karasu - Glass Fibre Reinforced Concrete (GFRC),DOI: 10.31202/ecjse.371950, 2018
- [10] Alan J. Brookes, “Cladding of Buildings”, Third Edition 2002, (pp 82). 544.5R-10: Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete
- [11] <https://theconstructor.org/concrete/durability-fiber-reinforced-concrete/16277/>
- [12] Calkins, M. *Materials for Sustainable Sites: A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2009.
- [13] Glass, J.; Dainty, A.R.J.; Gibb, A.G.F. New build: Materials, techniques, skills and innovation. *Energ. Policy* 2008, 36, 4534–4538. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [14] Communities and Local Government. *Code for Sustainable Homes*; 2008.
- [15] European Commission. *Environment. Identifying Products with Greatest Potential for Environmental Improvement*, 2003.
- [16] Spence, R.; Mulligan, H. Sustainable development and the construction industry. *Habitat Int.* 1995, 19, 279–292. [[Google Scholar](#)]

- [17] Abeysundara, U.G.Y.; Babel, S.; Gheewala, S. A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. *Build. Environ.* 2009, 44, 997–1004. [Google Scholar]
- [18] Mora, E. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. *Build. Environ.* 2007, 42, 1329–1334. [Google Scholar]
- [19] Peter O. Akadiri, Ezekiel A. Chynio, Paul O. Olomolaiye Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector
- [20] Dragoslav Diana Nicoleta, Strategii pentru structuri rutiere sustenabile, Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, 2017
- [21] Infrastructura de transport - Factor cheie în dezvoltarea durabilă a Regiunii Centru, Regio, ADR CENTRU, Str. Decebal, 12, 510093, Alba Iulia, România, 2011
- 544.8R-16: Report on Indirect Method to Obtain Stress-Strain Response of Fiber-Reinforced Concrete (FRC)
- [22] A. Cioc, M. Badiu, M. Iofcea – Armarea dispersă a betoanelor cu fibre metalice. Proprietăți și aplicații
- [23] Krenchel, H., “Fibre spacing and specific fibre surface”, Rilem Symposium 1975, The Construction Press LTD, 1975
- [24] Romualdi, J.P., Batson, G.B., “Mechanics of crack arrest in concrete”, *Journal of Engineering Mechanics*, 1963
- [25] N. Pop – Teză de doctorat, “Structuri rutiere reciclate la rece, armate dispers cu fibre sintetice din sticlă și poliesteri“, Universitatea Tehnică Cluj Napoca, 2015
- [26] Y. Liu, B. Zwingmann, M. Schlaich – Carbon Fiber Reinforced Polymer for Cable Structures, MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) - *Polymers*, Vol. 7 (10): 2078–2099, 2015, ISSN 2073-4360.
- [27] T. C. Madhavi, L. Raju Swamy, D. Mathur – Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 4 (4): 114–119, 2014, ISSN 2250-2459.
- [28] SC ULTRA DIVERS SRL, Bucuresti
- [29] R. R. Madke, S. Chakraborty, R. Chowdhury – Multiscale Approach for the Nonlinear Behavior of Cementitious Composite, *Computational Materials Science*, Vol. 93: 29–35, 2014, ISSN 0927-0256.
- [30] Bolander, J.E., Choi, S., Duddukuri, S.R.–Fracture of fiber-reinforced cement composites: effect of fiber dispersion. *International Journal of Fracture*, Springer, vol. 154, issue 1-2, pag 73-86, 2008.

[31] Bunsell, A.R. – Fibre Development for Composite Materials, in Fibre Reinforcements for Composite Materials, editor Bunsell, A.R., Composite Materials Series, vol. 2, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, ISBN 0 404 42801, pag. 1-17, 1988.

[32] Ganga R. et al. – Reinforced Concrete Design with FRP Composites. CRC Press, London, 2007.

[33] Badea, C. (2014) Recycling of Some Industrial Waste to Produce New Building Materials. WSEAS Proceedings of the 12th International Conference on Environment, Ecosystems and Development (EED 14), BRASOV ISSN 2227-4359.

[34] Buchman, I., Badea C. (2009). The Characteristics of Ultra High Performance Concrete. Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Sustainability in Science Engineering (pp. 191 -195).

[35] Avram, C., Bob, C. – Noi tipuri de betoane speciale, Editura Tehnică, 1980

[36] Iures, L., Popa, R., Bob, C., Chendes, R. – Practical Use of Steel Fibres Reinforced Concretes For Roads, Modern Technologies for the 3rd Millennium, Oradea, 2017 (pp. 169 - 172).

[37] Popa, R., Bob, C., Iures, L., - Steel Fibres Reinforced Concretes Used for Roads, Modern Technologies for the 3rd Millennium, Oradea, 2016 (pp. 153 - 156).

544.6R-15 Report on Design and Construction of Steel Fiber-Reinforced Concrete Elevated Slabs

544.2R-17: Report on the Measurement of Fresh State Properties and Fiber Dispersion of Fiber-Reinforced Concrete

440.2R-17: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures

549.5R-16 Report on Spray-up and Continuous Strand Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRC)

544.1R-96: Report on Fiber Reinforced Concrete (Reapproved 2009) 224R-01: Control of Cracking in Concrete Structures (Reapproved 2008)

Decizia: 99/469/EC, *Familia de produse, produsul/utilizarea preconizată: Produse aferente betonului, mortarului și pasteii de ciment (1/2): – Fibre (pentru utilizări structurale în beton, mortar și pasta de ciment)*

SR EN 14889-1:2007 “*Fibre pentru oțel. Partea 1: Fibre de oțel. Definiții, specificații și conformitate*”;

SR EN 206-1:2002 cu amendamentele SR EN 206-1:2005/A1 și SR EN 206-1:2006/A2 și erata SR EN 206-1/C91:2008. „Beton. Partea 1: *Specificație, performanță, producție și conformitate*”;

GP-075-02 „*Ghid pentru stabilirea criteriilor de performanță și a compozițiilor pentru betoanele armate dispers cu fibre metalice*”;

CP 012-1: 2007 „*Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: Producerea betonului*”;

NE 012/2-2010 „*Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat, Partea 2: Executarea lucrărilor din beton*”;

EN 14889-1:2006 – Fibres for Concrete. Steel Fibres. Definitions, specifications & conformity

EN 14845-1:2007 – Test methods for fibres in concrete

ASTM A820-16 – Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete (superseded)

ASTM C1018-97 – Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)

Extrageri, prelucrari, încercari carote STAS 1275 si C 54

NE 012/1-2007 - Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat.

NE 014-2002 - Normativ pentru executarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment în sistemele cofraje fixe și glisante.

SR EN 12390-1 – Încercare pe beton întărit. Formă, dimensiuni și alte condiții pentru epruvete și tipare

SR EN 12390-3 – Încercare pe beton întărit. Rezistența la compresiune a epruvetelor

SR EN 12390-6 – Încercare pe beton întărit. Rezistența la întindere prin despicare a epruvetelor