



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ  
"GHEORGHE ASACHI"  
FACULTATEA DE  
CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII**



**REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT  
STUDII PRIVIND UTILIZAREA DEȘEURILOR ÎN  
COMPOZIȚIA BETOANELOR ECOLOGICE  
AUTOCOMPACTANTE**

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:**

**Prof. univ. dr. ing. MARINELA BĂRBUȚĂ**

**DOCTORAND:**

**Ing. PANAITE VLAD CONSTANTIN**

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ “GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI**  
**R E C T O R A T U L**

Către

---

---

Vă facem cunoscut că, în ziua de 26.09.2024 la ora 10:30 în sala 0.1R, corp R, Facultatea de Construcții și Instalații, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**“ STUDII PRIVIND UTILIZAREA DEȘEURILOR ÎN COMPOZIȚIA BETOANELOR  
ECOLOGICE AUTOCOMPACTANTE”**

elaborate de domnul **PANAITE VLAD CONSTANTIN** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- |   |                        |
|---|------------------------|
| 1. Prof. dr. ing. Andrei Burlacu, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași                              | președinte             |
| 2. Prof. dr. ing. Marinela Bărbuță, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași                            | conducător de doctorat |
| 3. Prof. dr. ing. Dan-Paul Georgescu, Universitatea Tehnică de Construcții București                            | referent oficial       |
| 4. Conf. dr. ing. Roxana Dana Bucur, Universitatea pentru Științele Vieții<br>„Ion Ionescu de la Brad” din Iași | referent oficial       |
| 5. Conf. dr. ing. Petru Mihai Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași                                  | referent oficial       |

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

**RECTOR,**

.....

**Secretar universitate,**

.....

## Cuprins

<b>Capitolul 1. Introducere .....</b>	<b>4</b>
1.1 Obiectivele tezei de doctorat.....	4
1.2 Structura tezei de doctorat .....	9
<b>Capitolul 2 Betonul autocompactant. Stadiul actual al betoanelor autocompactante cu deșeuri .....</b>	<b>12</b>
2.1 Introducere.....	12
2.1.1 Betonul-generalități.....	12
2.1.2. Betonul autocompactant.....	18
2.2 Stadiul actual al betoanelor autocompactante.....	21
2.2.1 Compoziția betoanelor autocompactante cu deșeuri.....	21
2.2.2 Proprietățile betoanelor autocompactante cu deșeuri.....	23
<b>Capitolul 3. Program experimental pentru obținerea și caracterizarea betoanelor autocompactante cu deșeuri.....</b>	<b>35</b>
3.1 Materiale utilizate la prepararea betonului autocompactant.....	35
3.2 Rețete, tipuri de epruvete și etape de obținere .....	45
3.2.1 Retetele folosite pentru prepararea betonului autocompactant .....	45
3.2.2 Tipuri de epruvete .....	46
3.2.3 Etape de obținere a probelor .....	46
3.3 Metodologia de încercare a betonului proaspăt autocompactant.....	48
3.3.1 Răspandirea prin tasare .....	53
3.3.2 Testul cu pâlnia V .....	54
3.3.3 Testul cu cutia L.....	55
3.4 Caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor autocompactante cu deșeuri .....	56
3.4.1 Determinarea densității în stare umedă și în stare uscată.....	56
3.4.2 Evaluarea rezistențelor mecanice ale betonului autocompactant.....	59
3.4.3 Interpretarea rezultatelor .....	80
3.4.4 Concluzii .....	88
<b>Capitolul 4 Caracteristici de rezistență și durabilitate ale betoanelor autocompactante cu deșeuri de cărămidă .....</b>	<b>89</b>
4.1 Materiale utilizate la prepararea betonului .....	90
4.2 Rețete, tipuri de epruvete și etape de obținere.....	91
4.2.1 Rețete folosite pentru prepararea betonului autocompactant.....	91

4.2.2 Tipuri de epruvete .....	92
4.2.3 Etape de obținere a probelor .....	93
4.3 Metodologia de încercare a betonului proaspăt .....	<b>93</b>
4.3.1 Încercarea la răspandirea prin tasare. ....	93
4.3.2 Testul cu pâlnia V .....	96
4.3.3 Testul cu cutia L.....	98
4.3.4 Interpretarea rezultatelor .....	99
4.4 Caracteristicile fizico-mecanice ale betoanelor autocompactante cu deșeuri... <b>102</b>	
4.4.1 Determinarea densității în stare uscată.....	102
4.4.2 Evaluarea rezistențelor mecanice ale betonului autocompactant cu deșeu de caramida concasată .....	104
4.4.3 Interpretarea rezultatelor .....	118
4.4.5 Analiza de preț .....	122
4.5 Comportarea probelor de beton autocompactant supuse la cicluri repetate de îngheț-dezgeț.....	124
4.5.3 Rezultatele încercărilor la îngheț-dezgeț.....	127
4.5.4 Concluzii .....	134
4.6 Caracteristicile de elasticitate ale betoanelor autocompactante cu deșeu de cără- midă concasată.....	<b>136</b>
4.6.1 Determinarea curbei caracteristice la betoanele autocompactante cu cenușă și deșeuri .....	136
4.6.2 Determinarea modului de elasticitate static la compresiune al betonului auto- compactant cu cenușă de termocentrală și deșeuri.....	139
<b>Capitolul 5. Cercetări experimentale privind consolidarea prin că- mașuire cu beton autocompactant cu deșeuri de cărămidă concasată a stal- pilor din beton armat .....</b>	<b>144</b>
5.1 Introducere.....	<b>144</b>
5.1.1. Degradări ale structurilor din beton armat .....	144
5.2. Metode de consolidare a elementelor din beton armat .....	<b>146</b>
5.3 Realizarea stalpilor din beton .....	<b>147</b>
5.3.1 Materiale folosite .....	147
5.3.2 Tehnologia de turnare a camasuielilor .....	150
5.4. Încercarea stalpilor de beton camasuiti .....	<b>160</b>

5.5 Concluzii asupra comportării stălpilor .....	165
<b>Capitolul 6. Concluzii .....</b>	<b>167</b>
6.1 Concluzii privind caracteristicile betonului autocompactant cu deșeuri de cărămidă concasată (beton autocompactant ecologic) .....	167
6.2 Concluzii privind comportarea betonului autocompactant cu înlocuitor de cărămidă în sorturi de diferite dimensiuni.....	168
6.3 Concluzii asupra comportării camășuțelor din beton autocompactant.....	170
6.4 .....	Contribuții personale .....
6.5 Valorificarea cercetărilor experimentale .....	172
Bibliografie.....	173

## 1. Introducere

În era contemporană, preocupările legate de mediu și dezvoltarea durabilă au devenit centrale în multe domenii, inclusiv în industria construcțiilor. Acest sector este acum sub presiune pentru a-și îmbunătăți eficiența resurselor și a minimiza impactul asupra mediului. Aceasta include aspecte precum consumul de apă și energie, utilizarea resurselor naturale și producerea de deșeuri.

Cercetătorii și inginerii din domeniul construcțiilor se concentrează pe identificarea și implementarea soluțiilor durabile pentru materialele de construcție. Un exemplu recent este dezvoltarea betonului autocompactant (BAC) îmbunătățit din punct de vedere ecologic, care oferă beneficii semnificative în termeni de eficiență și impact redus asupra mediului (Smith et al., 2021).

Betonul autocompactant, apărut în Japonia în anii 1980, a fost modernizat pentru a reduce necesitatea de compactare mecanică, oferind în același timp o calitate superioară a construcției și siguranță îmbunătățită pe șantier. Totuși, provocările legate de impactul său asupra mediului, inclusiv consumul de resurse naturale și emisiile de CO<sub>2</sub>, rămân semnificative (GreenTech Innovations, 2022).

Studiile recente arată că industria cimentului este responsabilă pentru un procent semnificativ din emisiile globale de dioxid de carbon, ceea ce necesită o atenție sporită în producția de beton (Global Cement Report, 2023).

Utilizarea agregatelor naturale și a aditivilor chimici în BAC are, de asemenea, potențiale impacturi negative asupra mediului, necesitând strategii de mitigare eficiente (EcoBuild Materials Journal, 2022).

Pentru a răspunde acestor provocări, cercetătorii explorează utilizarea de materiale reciclate și surse alternative de ciment în BAC. De exemplu, utilizarea cenușii zburătoare ca substitut pentru ciment și a deșeurilor reciclate pentru a înlocui agregatele naturale a arătat potențial în reducerea impactului asupra mediului și în îmbunătățirea sustenabilității (Innovative Construction Materials, 2023).

Recent, a fost introdusă noțiunea de beton autocompactant ecologic (BAC-E), care combină performanțele mecanice ale BAC cu un proces de producție sustenabil. BAC-E se concentrează pe reducerea consumului de resurse, limitarea emisiilor de CO<sub>2</sub> și utilizarea materiilor prime ecologice (Sustainable Construction Review, 2024).

## 1.1 Obiectivele tezei de doctorat

Având în vedere că industria construcțiilor se confruntă cu provocări semnificative în ceea ce privește eficiența resurselor și impactul asupra mediului, betonul autocompactant ecologic (BAC-E) reprezintă o inovație promițătoare în acest domeniu, oferind o cale spre dezvoltarea durabilă și protecția mediului în construcții.

În cadrul acestei teze de doctorat, se propune un studiu experimental asupra betonului autocompactant cu adaos de materiale reciclate, care înlocuiesc atât cimentul, cât și agregatele utilizate în rețetele standard. Scopul acestui studiu este de a evalua fezabilitatea și performanța acestui tip de beton, cu accent pe utilizarea sa în lucrări de consolidare ale elementelor de beton deteriorate.

Prima etapă a cercetării va consta în evaluarea materialelor alternative disponibile pentru producerea betoanelor autocompactante ecologice. Se vor explora diverse opțiuni, cum ar fi materialele de deșeuri industriale, reziduri agricole și alte surse de materii prime regenerabile. Aceste materiale pot fi utilizate ca înlocuitori parțiali sau totali ai cimentului și agregatelor convenționale, cu scopul de a reduce impactul asupra mediului și de a conserva resursele naturale.

Următoarea etapă va implica adaptarea compozițiilor și proprietăților betoanelor autocompactante pentru a se potrivi cu utilizarea materialelor alternative. Se vor efectua teste și analize detaliate pentru a evalua comportamentul și performanța acestor betoane, inclusiv rezistența mecanică, permeabilitatea și comportamentul la îngheț-dezgheț.

Un alt aspect important care va fi abordat în această teză de doctorat este analiza economică a betoanelor autocompactante ecologice. Va fi evaluată fezabilitatea economică a utilizării materialelor alternative și a tehnologiilor inovatoare în producția de betoane autocompactante, luând în considerare costurile inițiale, costurile de producție și avantajele pe termen lung, cum ar fi reducerea consumului de energie și resurse, precum și reducerea impactului asupra mediului.

Scopul acestei teze este de a analiza și evalua potențialul BACE, investigând proprietățile sale mecanice, caracteristicile de durabilitate și impactul asupra mediului. În acest sens, va fi necesară o abordare de cercetare integrată, care combină analiza bibliografică a literaturii relevante cu experimente de laborator și teste de performanță. Astfel, se va putea obține o înțelegere cuprinzătoare a comportamentului BACE și a influenței diferitelor materiale ecologice asupra acestuia.

## 1.2 Structura tezei de doctorat

În ceea ce privește metodologia de cercetare, va fi necesară mai întâi o analiză bibliografică detaliată a studiilor existente referitoare la BACE și la diferitele materiale ecologice ce pot fi utilizate în compoziția acestuia. Aceasta va permite identificarea cunoștințelor actuale în domeniu și a golurilor de cunoaștere, precum și definirea unui cadru teoretic pentru experimentele de laborator.

În faza experimentală a cercetării, se vor prepara mai multe amestecuri de BACE folosind diferite proporții de materiale ecologice și se vor efectua o serie de teste pentru a evalua proprietățile acestora. Aceste teste pot include determinarea proprietăților în stare proaspătă (de exemplu, timpul de scurgere, capacitatea de autocompactare), proprietățile mecanice în stare întărită (de exemplu, rezistența la compresiune, rezistența la întindere din încovoiere). Se vor evalua, de asemenea, caracteristicile de durabilitate ale BACE și caracteristicile de deformare ale acestuia.

Rezultatele cercetării vor fi analizate și interpretate în contextul literaturii existente și vor fi discutate în legătură cu implicațiile lor pentru dezvoltarea și implementarea BACE în practica construcțiilor. De asemenea, se vor identifica limitările cercetării și se vor face sugestii pentru cercetările viitoare.

Cercetarea din cadrul acestei teze va contribui, de asemenea, la literatura academică existentă în domeniul construcțiilor durabile și va aduce o perspectivă nouă asupra utilizării betonului autocompactant ecologic.

Teza este structurată pe 5 capitole.

Capitolul 1 cuprinde introducerea care conține obiectivele tezei de doctorat și structura acesteia.

Capitolul 2 se referă la betonul autocompactant și la stadiul actual al cunoașterii în domeniul betoanelor autocompactante cu deșeuri. Acesta conține subcapitole în care se prezintă generalități despre beton și beton autocompactant în care sunt prezentate avantajele și domeniile de utilizare ale acestuia. Deasemenea sunt prezentate proprietățile în stare proaspătă ale betonului, proprietățile fizice, mecanice și de durabilitate ale acestuia împreună cu alte caracteristici.

Capitolul 3 prezintă programul experimental pentru obținerea și caracterizarea betoanelor autocompactante cu deșeuri de cauciuc tocat, zgura de furnal, praf de cărămidă, cenușă de termocentrală. Acesta conține subcapitole cu privire la materialele folosite, rețetele folosite, rezultatele amestecurilor în stare proaspătă, densitățile obținute, rezistențele la



compresiune la 14 și 28 de zile, rezistențele la întindere din încovoiere la 14 și 28 de zile și concluziile și interpretările capitoului.

Capitolul 4 prezintă programul experimental pentru obținerea și caracterizarea betoanelor autocompactante cu deșeuri de caramidă concasată și cenușă de termocentrală. Acesta conține materialele și rețetele folosite, rezultatele amestecurilor BAC în stare proaspătă, densitățile obținute, rezistențele la compresiune și la întindere din încovoiere la 28 de zile, concluziile și interpretările rezultatelor, analiza de preț comparativă față de betonul normal, încercarea la îngheț-dezghet a betonului și determinarea modulului de elasticitate și a curbei caracteristice.

Capitolul 5 prezintă cercetările experimentale realizate cu BAC cu deșeu de caramidă concasată pentru consolidarea unor stâlpi din beton cu dimensiunile de 150x150x1000. Acesta conține rețeta folosită pentru consolidarea stâlpilor, determinarea rezistenței la compresiune la 28 de zile a stâlpișorilor consolidați și concluziile și interpretările rezultatelor.

## **2. Betonul autocompactant. Stadiul actual al betoanelor autocompactante cu deșeuri**

### **2.1 Introducere**

#### **2.1.1 Betonul-generalități**

Betonul, un compus format din ciment, agregate de diferite dimensiuni, apă și aditivi selectați, este un material de construcție de încredere, cu o istorie care se întinde până în anul 126 d.Hr., când Panteonul din Roma a fost construit (Herring, 1998, p.16). Această combinație se transformă într-un material solid și durabil în momentul în care cimentul reacționează cu apa, menținându-și integritatea chiar și în condiții acvatice.

Versatilitatea betonului permite modelarea sa în diverse forme, ceea ce îl face un material accesibil și ușor de utilizat. Este eficient din punct de vedere economic și rapid de pregătit, facilitând construcția rapidă și de înaltă calitate. De asemenea, datorită durabilității sale, structurile din beton sunt capabile să reziste la diverse catastrofe naturale, cum ar fi cutremurele și furtunile puternice (Mindess, 2003, p.36). Astfel, betonul a fost utilizat de oameni încă din cele mai vechi timpuri, prima dovadă concretă a utilizării sale datând de acum aproximativ 2500 de ani.

În ciuda utilității sale evidente, betonul este al doilea cel mai utilizat material la nivel global, după apă, cu o producție anuală de aproximativ 10 miliarde de tone (Damtoft et al., 2008, p.20). Chiar dacă procesul de fabricație a betonului în sine nu generează poluare sau

deșeuri semnificative, obținerea materiilor prime necesare pentru producție prezintă provocări ecologice.

S-au dezvoltat tehnologii și metode inovatoare pentru reducerea consumului de apă și energie în procesul de producție a betonului. Sistemele de reciclare a apei și de recuperare a căldurii sunt implementate în fabricile de beton pentru a minimiza consumul de resurse și a reduce impactul asupra mediului. De asemenea, s-au dezvoltat și tehnologii pentru utilizarea betonului reciclat, ceea ce permite reutilizarea deșeurilor de beton în producția de beton nou.

O altă abordare importantă în dezvoltarea unui beton mai ecologic este optimizarea compoziției amestecului. Prin utilizarea aditivilor adecvați și a agregatelor alternative, se poate îmbunătăți eficiența și durabilitatea betonului, reducând în același timp consumul de ciment. De exemplu, aditivii pot fi utilizați pentru a îmbunătăți lucrabilitatea betonului și pentru a reduce cantitatea de apă necesară, ceea ce duce la o reducere a consumului de ciment și a emisiilor de carbon.

Dezvoltarea de alternative ecologice pentru producția de betoane autocompactante reprezintă un domeniu de cercetare important și necesar în contextul preocupărilor privind schimbările climatice și dezvoltarea durabilă. Prin adoptarea unor practici și tehnologii mai sustenabile, se poate reduce impactul asupra mediului al producției de beton și se pot promova soluții mai ecologice în industria construcțiilor. Aceasta necesită o abordare multidisciplinară, care implică colaborarea între cercetători, industrie și factori de decizie pentru a identifica și implementa soluții eficiente și durabile în producția de beton autocompactant.

O altă problemă importantă este cererea mare de agregate necesare pentru producția de beton. În medie, betonul vibrat necesită aproximativ 70% agregate, în timp ce betonul autocompactant are nevoie de aproximativ 62% agregate, plus un necesar suplimentar de 8% de materiale fine (Neville, 2011, p. 28). Din păcate, sursele de agregate se reduc progresiv, amplificând presiunea asupra acestor resurse naturale.

Există două tipuri principale de agregate: cele de balastieră și cele concasate. Acestea din urmă provin fie din roci solide (cum ar fi sedimentare, metamorfice și magmatice), fie din materiale reciclate obținute din resturi de demolare (Etxeberria et al., 2007, p. 57). Printre rocile de carieră utilizate în producția de agregate se numără basaltul, andezitul, calcarul, dacitul, granitul, dioritele și amfibolitul.

Extracția agregatelor de carieră necesită utilaje grele și stații de concasare și sortare, un proces care implică, de asemenea, un impact ecologic semnificativ (Siddique, 2004, p. 96).

Prin urmare, necesitatea de a menține resursele naturale și de a aborda problema emisiilor de carbon asociate cu producția de beton conduce la necesitatea unei soluții durabile

și eficiente. Aceasta poate implica explorarea alternativelor la agregatele convenționale, cum ar fi utilizarea deșeurilor de construcție și demolare ca substituenți pentru agregate (Knaack et al., 2017, p. 110).

În plus, în cadrul proceselor de producție a cimentului și betonului, ar trebui acordată o atenție sporită la eficiența energetică și la adoptarea unor tehnologii cu emisii reduse de carbon. Astfel, inovațiile în tehnologia de producție, inclusiv utilizarea de combustibili alternativi și procese de captare a carbonului, pot avea un impact semnificativ asupra reducerii amprentei de carbon a betonului (Le Quéré et al., 2018, p. 207).

Agregatele de balastieră se obțin prin extragerea nisipului și a pietrișului de pe litoralele fluviale și lacustre, utilizând utilaje specifice numite dragline. Ulterior, aceste materiale sunt transportate la o stație de sortare unde sunt separate în funcție de dimensiunile lor (Brown et al., 2000, p. 20).

Ambele metode menționate - extracția de pe malurile râurilor și lacurilor și procesarea la stațiile de sortare - au consecințe semnificative asupra mediului. Acestea implică nu numai consumul de resurse naturale limitate, ci și un consum semnificativ de energie pentru obținerea produsului final (Butt et al., 2016, p. 352).

Având în vedere aceste provocări, devine esențială identificarea și explorarea materialelor alternative care pot substitui eficient agregatele în compoziția betonului. Această inițiativă poate oferi calea către o producție de beton mai durabilă și mai prietenoasă cu mediul (Oliveira et al., 2017, p. 62).

Reglementarea producerii betonului autocompactant este esențială pentru a asigura calitatea și conformitatea acestui material de construcție. Cerințele și standardele de referință joacă un rol important în stabilirea criteriilor de performanță, producție și conformitate pentru betonul autocompactant. Iată câteva exemple de standarde și reglementări relevante în acest domeniu:

Standarde de referință:

SR EN 197-1: Ciment – Compoziție, specificații și criterii de conformitate – Partea 1: Cimenturi curente. Acest standard stabilește cerințele pentru cimenturile utilizate în producția de beton autocompactant.

SR EN 206-1: Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate. Acest standard oferă cerințe și orientări detaliate pentru producția și utilizarea betonului, inclusiv a betonului autocompactant.

SR EN 206-9: Reguli suplimentare pentru betonul autocompactant. Acest standard se concentrează pe cerințele specifice pentru lucrabilitatea și consistența betonului autocompactant.

Alte standarde relevante includ:

SR 13298: Materiale puzzolanice naturale și artificiale. Determinarea indicelui de activitate puzzolanică. Acest standard stabilește metode de testare și evaluare a activității puzzolanice a materialelor utilizate în producția de beton autocompactant.

SR EN 450-1: Cenușă zburătoare pentru beton. Partea 1: Definiții, condiții și control de calitate. Acest standard definește cerințele și criteriile de control pentru utilizarea cenușei zburătoare ca înlocuitor pentru ciment în betonul autocompactant.

SR EN 450-2: Cenușă zburătoare pentru beton. Controlul conformității. Acest standard se referă la metodele de evaluare și verificare a conformității cenușei zburătoare utilizate în betonul autocompactant.

SR EN 934: Aditivi pentru beton, mortar și pastă. Partea 2: Aditivi pentru beton. Definiții, condiții, conformitate, marcare și etichetare. Acest standard stabilește cerințele și specificațiile pentru aditivii utilizați în producția de beton autocompactant.

Prin respectarea acestor standarde și reglementări, producătorii de beton autocompactant pot asigura calitatea și fiabilitatea produsului final. Aceste standarde sunt rezultatul unor cercetări și experiențe acumulate de-a lungul timpului și sunt dezvoltate în colaborare cu experți din industrie, instituții de cercetare și organizații internaționale.

### **2.1.2. Avantajele betonului autocompactant**

Beneficiile BAC în sectorul construcțiilor includ implementarea ușoară și rapidă, creșterea productivității și vitezei de execuție, diminuarea zgomotului ambiental și valorificarea eficientă a resurselor locale, precum deșeurile industriale (Asăvoaie & Călin Sergiu, 2021). Aceste caracteristici asigură un nivel înalt de omogenitate, suprafețe netede post-decofrare și elimină necesitatea compactării prin vibrație, oferind un cost competitiv datorită economiilor de instalare (Asăvoaie & Călin Sergiu, 2021).

### **2.1.3 Domenii de utilizare a betoanelor autocompactante**

Printre elementele de beton prefabricate sau monolit care se pot realiza din beton autocompactant putem aminti: egalizari, blocuri de fundare, cuzineti, grinzi de fundare, pardoseli,

grinzi, stalpi, buiandrugi, centuri, placi, atice, pereti din beton, ziduri de sprijin trotuare, borduri, platforme, pavele, santuri, rigole, consolidari ale fundatiilor sau a suprastructurii, camasieli, culee, pile etc.

## 2.2 Stadiul actual al betoanelor autocompactante

### 2.2.1 Compoziția betoanelor autocompactante cu deșeuri

Pentru realizarea betonului autocompactant trebuie acordată o atenție strictă asupra procentelor de agregate folosite, acestea au respectat proporțiile componentelor BAC recomandate de ghidul EFNARC-2005 astfel:

Tabel 1 Proporțiile componentelor rețetei de beton autocompactant

Constituent	Domeniul tipic în masă [kg/m <sup>3</sup> ]	Domeniul tipic în volum [l/m <sup>3</sup> ]
Parte fină (pulbere)	380-600	-
Pastă	-	300-380
Apă	150-210	150-210
Agregat grosier	750-1000	270-360
Agregat fin (nisip)	48-55% din greutatea totală a agregatului	48-55% din volumul total al agregatului
Raport apă/pulbere în vol.	-	0.85-1.1

### 2.2.2 Proprietățile betoanelor autocompactante cu deșeuri

#### 2.2.2.1 Proprietățile și metodele de încercare ale betonului autocompactant în stare proaspătă

Normativul NE012-2022 prevede cerințele proprietatilor in stare proaspata pe care betonul trebuie sa le respecte pentru a putea fi considerat beton autocompactant. Acestea sunt prevăzute în standardele de referință astfel:

- SR EN 12350-8 Încercarea la răspândire din tasare;
- SR EN 12350-9 Încercare cu pâlnia V;
- SR EN 12350-10 Încercare cu cutia L;
- SR EN 12350-11 Încercarea de segregare pe sita;
- SR EN 12350-12 Încercare cu inelul J.

##### a) Răspândirea prin tasare

Această metodă este utilizată frecvent pentru că permite o evaluare corectă a capacității de umplere. De asemeni, prin această metodă se observă foarte clar tendința de segregare a betonului autocompactant.

Timpul T500 reprezintă timpul de curgere. O capacitate mai bună de curgere înseamnă un timp mai mic. Un timp acceptabil la betonul pentru structuri construcții civile este de 3-7 secunde, iar pentru betonul structuri de clădiri de locuit, se accepta un timp de 2-5 secunde.

Pentru determinarea tasării și a timpului de curgere se utilizează conul lui Abrams, și o placă de rezemare cu o suprafața netedă, cu dimensiunile 900x900 sau 1000x1000. Pe placă este marcat poziția centrului de greutate pentru poziționarea conului și conturul cercului cu diametrul de 500. Conul se umple cu beton, după care se ridică, (nu mai târziu de 90 sec) și se pornește cronometrul. Valoarea timpului la răspândirea până la 500mm reprezintă T500. Se măsoară diametrul final și timpul total al răspândirii

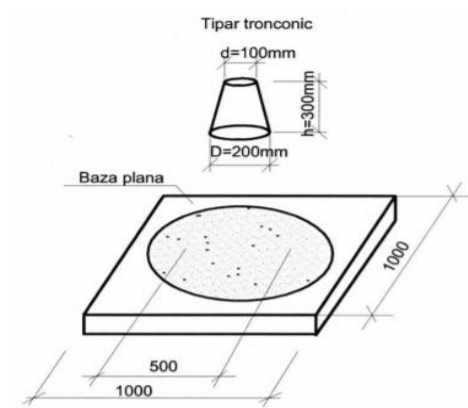


Fig 1 Conul lui Abrams, placa de rezemare

Tabelul 2 Clasele raspandirii din tasare

Clasa	Răspândirea din tasare
SF1	550 – 650
SF2	660 - 750
SF3	760 – 850

#### b) Testul cu pâlnia V

Testul cu pâlnia V se utilizează pentru a determina vâscozitatea și abilitatea de umplere a betonului. Se curăță suprafața pâlniei de impurități. Se blochează trapa inferioară și se umple cu beton până la marginea superioară. După o pauză de 10 sec, se deschide trapa și se măsoară timpul de curgere a betonului.

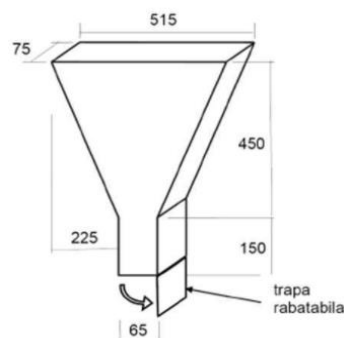


Fig 2 Palnia V

Clasele de vâscozitate ale BAC sunt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3 Clasele de vascozitate

Clasa	$T_{500}, s$	Trecerea prin pâlnia V, s
VS1/VF1	<2	<8
VS2/VF2	>2	9-25

c) Testul în cutia L

Pentru determinarea capacității de trecere a betonului prin zonele armate intens, se utilizează cutia L. Cu ajutorul unei pâlnii, se umple partea verticală a cutiei. Se fixează timpul la ridicarea supapei, betonul trebuie să treacă prin obstacole care imita barele de armătură. Capacitatea de trecere PA se determină  $PA=H2/H1$ .

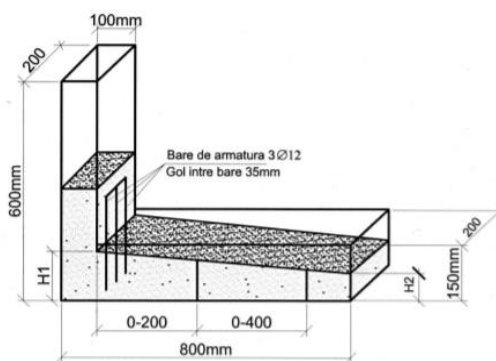


Fig 3 Cutia L

Clasele abilității de trecere ale BAC sunt prezentate în tabelul 4.

Tabel 4 Clasele abilității de trecere al BAC

Clasa	Răspândirea din tasare, mm
PA1	>0.80 pentru 2 bare
PA2	>0.80 pentru 3 bare

**2.2.2.2 Proprietățile fizice ale betoanelor autocompactante cu deșuri**

Din punct de vedere al densității, betoanele se împart conform SR EN 12350-6, 2019 în cinci categorii. Tabelul 5 prezintă tipurile de betoane în funcție de densitatea acestora.

Tabelul 5 Tipuri de betoane în funcție de valorile densităților

Tip	Densitate aparentă
Foarte greu	$\rho_a > 2500 \text{ kg/m}^3$
Greu	$2200 < \rho_a > 2500 \text{ kg/m}^3$
Semigreu	$2000 < \rho_a > 2200 \text{ kg/m}^3$
Ușor	$800 < \rho_a > 2000 \text{ kg/m}^3$
Foarte ușor	$\rho_a < 800 \text{ kg/m}^3$

### **2.2.2.3 Proprietățile mecanice ale betoanelor autocompactante cu deșeuri**

Rezistența la compresiune a betonului autocompactant cu același raport apă/ciment sau apă/liant este ușor mai mare decât a betonului vibrat. Acest lucru se datorează faptului că absența vibrațiilor duce la o interfață mai bună între pasta întărită și agregat.

Astfel, betonul autocompactant prezintă proprietăți similare cu betonul vibrat în ceea ce privește rezistența și durabilitatea. Cu toate acestea, betonul autocompactant poate oferi avantaje adiționale datorită absenței vibrațiilor și interfeței îmbunătățite între pasta întărită și agregat.

Rezistența la întindere a betonului autocompactant de o anumită clasă de rezistență poate fi similară cu cea a betonului vibrat de aceeași clasă de rezistență. Volumul de pastă nu are o influență semnificativă asupra rezistenței la tracțiune. Evaluarea momentului de fisurare în elementele pretensionate, controlul deschiderii fisurilor și spațiilor formate prin contracția timpurie, precum și proiectarea betonului armat cu fibre și a betonului narmat pentru pavimente se bazează pe rezistența la întindere din încovoiere.

### **2.2.2.4 Caracteristici de durabilitate ale betoanelor autocompactante cu deșeuri**

Durabilitatea reprezintă capacitatea unei structuri de beton de a rezista în medii agresive fără a fi afectată durata de serviciu proiectată. Aceasta este definită de clase specifice de durabilitate conform standardului NE 012/2022. Clasele de durabilitate sunt corelate cu limitarea dozajelor minime ale liantului și cu cantitatea minimă de beton necesară pentru a acoperi armătura.

Modulul static de elasticitate, reprezentat de valoarea  $E$  a raportului între efort și deformare, este utilizat în proiectare și calculul parametrilor de control pentru grinzi, elemente pre și post-tensionate. Agregatele au o influență semnificativă asupra modulului de elasticitate, deoarece aproximativ 80% din volumul betonului este reprezentat de agregate. Astfel, selectarea agregatelor cu o valoare mare a modulului de elasticitate contribuie la creșterea modulului de elasticitate al betonului autocompactant. Chiar dacă betonul autocompactant poate prezenta uneori valori mai mici ale modulului de elasticitate în comparație cu betonul vibrat, acestea se încadrează în domeniul de siguranță al parametrilor de proiectare conform standardului EN1992-1-1.

### **2.2.25 Alte caracteristici**

Coeficientul de dilatare termică al betonului reprezintă deformarea produsă în beton ca urmare a modificării temperaturii, în condițiile în care deformarea nu este împiedicată intern



(de către barele de armătură) sau extern. Coeficientul de dilatare termică al betonului variază în funcție de compoziție, vârstă și conținut de umiditate. Agregatele cu coeficient de dilatare redus contribuie la reducerea dilatării termice a betonului. O reducere a coeficientului de dilatare termică duce la o diminuare proporțională a formării fisurilor. Intervalul de valori și formulele date în Eurocode pentru betonul normal se aplică și în cazul betonului autocompactant. Coeficientul de dilatare termică al betonului variază în general între  $8$  și  $13 \times 10^{-6}/K$ , iar Eurocode EN 1992-1-1 recomandă un domeniu de la  $10$  la  $13 \times 10^{-6}/K$ , care poate fi considerat valabil și pentru betonul autocompactant.

Betonul armat se caracterizează prin aderența completă a pastei de ciment la armătură. Aderența între beton și armătură trebuie să fie suficient de mare pentru a preveni desprinderea betonului de pe armătură. Eficiența aderenței este influențată de suprafața și poziția barelor de armătură, precum și de calitatea betonului. Este important ca barele de oțel să fie acoperite cu un strat adecvat de beton pentru a asigura transferul corect al eforturilor între oțel și beton.

Adesea, o aderență slabă între beton și armătură rezultă dintr-o înglobare incompletă a barelor de armătură în beton în timpul procesului de turnare sau din segregarea și separarea apei de către beton înainte de întărire. Aceasta compromite semnificativ rezistența mecanică a elementului structural.

În concluzie, contracția, coeficientul de dilatare termică și aderența la armătură sunt aspecte importante de luat în considerare în proiectarea și execuția structurilor de beton, inclusiv a betonului autocompactant. Normele și reglementările existente, precum cele din Eurocode, oferă ghiduri și criterii pentru a asigura performanța și durabilitatea structurilor de beton. Prin înțelegerea și aplicarea corespunzătoare a acestor aspecte, se poate obține un beton autocompactant de înaltă calitate și rezistență, care să îndeplinească cerințele specifice ale proiectului și condițiile de mediu în care este expus.

Prin realizarea experimentelor, se vor determina rezistențele mecanice pentru fiecare rețetă de beton autocompactant cu adaosuri reciclate. Se vor efectua încercări de laborator, inclusiv încercări de rezistență la compresiune și încovoiere, pentru a evalua performanța betonului în funcție de compoziția sa și de adaosurile utilizate.

La finalul studiului experimental, se vor trage concluzii și se vor face interpretări asupra rezultatelor obținute. Aceste concluzii vor fi fundamentate pe datele experimentale și pe analiza comparativă a diferitelor rețete de beton autocompactant cu adaosuri reciclate. Se va evalua potențialul și avantajele utilizării materialelor reciclate în betonul autocompactant, precum și posibilele provocări sau limitări asociate cu această abordare. Interpretările vor fi susținute de

analiza rezultatelor experimentale și vor oferi o perspectivă clară asupra fezabilității și performanței betonului autocompactant cu adaosuri reciclate.

Studiul propus în această teză de doctorat are multiple beneficii și implicații practice. Utilizarea materialelor reciclate în betonul autocompactant poate contribui la reducerea impactului asupra mediului, prin diminuarea consumului de resurse naturale și gestionarea mai eficientă a deșeurilor. De asemenea, acest studiu poate deschide noi perspective în domeniul construcțiilor, promovând sustenabilitatea și economia circulară.

Pe lângă beneficiile ecologice, betonul autocompactant cu adaosuri reciclate poate prezenta și avantaje în ceea ce privește performanța tehnică. Materialele reciclate pot contribui la îmbunătățirea rezistenței, durabilității și caracteristicilor mecanice ale betonului autocompactant. Aceasta poate duce la utilizarea eficientă a acestui tip de beton în lucrări de consolidare ale elementelor de beton deteriorate, oferind o alternativă sustenabilă și viabilă față de metodele tradiționale de reparații și consolidări.

În concluzie, teza de doctorat propune un studiu experimental asupra betonului autocompactant cu adaosuri reciclate, având ca obiectiv evaluarea fezabilității și performanței acestui tip de beton în lucrări de consolidare. Prin analizarea stadiului actual al cunoașterii, dezvoltarea rețetelor specifice, determinarea rezistențelor mecanice și trasearea unor concluzii și interpretări relevante, această teză contribuie la avansarea cunoștințelor în domeniul betoanelor autocompactante cu adaosuri reciclate și la promovarea unor construcții mai durabile și sustenabile.

### **3 Program experimental pentru obținerea și caracterizarea betoanelor autocompactante cu deșeuri**

Obiectivul studiului experimental îl reprezintă examinarea folosirii diferitelor procente de agregate reciclate, în vederea obținerii unei noi rețete de beton autocompactant durabil și prietenos cu mediul. Aceste materiale folosite pentru înlocuirea agregatelor influențează proprietățile betonului atât în stare proaspătă, cât și în stare întărită.

#### **3.1 Materiale utilizate la prepararea betonului autocompactant**

a) Ciment ExtraDur 52 de la Holcim un ciment extra dur cu rezistențe finale la compresiune de minim 52,5N/mm<sup>2</sup>. Produsul asigură o productivitate mare indiferent de temperatură și o rezistență ridicată la înghet-dezghet;

b) Filer de calcar (material mineral selectat pe post de aportor parte fină);

c) Agregate în trei sorturi (0-4, 4-8, 8-16) Agregatele utilizate corespund cerințelor SR EN 12620:2008. Pentru îndeplinirea cerințelor de lucrabilitate, dimensiunea maximă a agregatului a fost de 16mm.

d) Aditiv superplastifiant Sika VascoCrete 20 HE Gold

În cadrul lucrării au fost folosite mai multe tipuri de materiale reciclate, în diferite proporții, pentru a determina caracteristicile fizico-mecanice ale BAC în vederea obținerii unui beton autocompactant ecologic cu rezistență similar cu cea a betonului traditional, dar cu mai puține costuri de producție și mai puțin agresiv cu mediul. Materialele reciclate folosite în cadrul cercetării sunt:

#### 1. Cenușa de termocentrală

Cenușa de termocentrală este un reziduu mineral rezultat din arderea cărbunelui pulverulent în centralele generatoare de energie. Aceasta este formată în principal din bioxid de siliciu, oxid de fier și oxid de aluminiu. Este un material sub formă de particule cu granulație fină și este utilizată în producția de beton în mod obișnuit.

#### 2. Zgura de furnal

Zgura de furnal este un subprodus industrial rezultat din procesul tehnologic de obținere a fontei în combinațiile siderurgice. Zgura se formează atunci când fierul este topit, iar în furnal se formează praf, care este răcit rapid prin scufundarea în apă. Avantaje: zgura se macină mai greu decât cimentul; îmbunătățește rezistența la foc și la anumite agresivități chimice. S-a folosit zgură de sidex Galați, care a fost trecută prin sită, particule cu diametrul de maxim 4mm

#### 3. Cauciuc tocat

Cauciucul este unul dintre agregatele folosite în obținerea betonului ecologic autocompactant. Utilizarea acestuia poate fi văzută ca un pas înainte în sprijinirea dezvoltării, deoarece, pneurile pentru vehicule rutiere constituie o mare parte din problema gestionării deșeurilor solide din lume. În ultimele două decenii, utilizarea anvelopelor vechi ca material de construcție, în special în amestecuri de beton și asfalt, a câștigat o popularitate semnificativă în comunitatea de cercetare ca o metoda alternativă de a folosi o cantitate mare de deșeuri într-un mod ecologic.

#### 4. Deșeu de cărămidă concasată

Cărămida concasată este un produs rezidual obținut din cuptoarele de cărămidă și fabricile de țiglă. Tone de deșeuri ies din aceste cuptoare și fabrici. Folosirea deșeurilor de

cărămidă în compoziția betoanelor autocompactante are ca rezultat eliminarea unei mari probleme de mediu și, totodată, atenuarea costurilor ridicate ale betonului autocompactat.

### 3.2. Rețete, tipuri de epruvete și etape de obținere

În scopul cercetării, au fost realizate 10 tipuri de amestecuri de beton autocompactant. La fiecare dintre acestea s-au adăugat materiale reciclate, înlocuind agregatele în diferite proporții. Cantitatea componentelor necesare pentru fabricarea unui m<sup>3</sup> de beton a fost constantă, cu excepția unor mici variații ale cantităților de superplastifiant și apă, cu scopul obținerii unei consistențe egale pentru toate amestecurile, având în vedere absorția de apă ușor mai mare de către agentul reciclat. Pentru a împiedica efectul unei absorții mai mari de apă, agregatele au fost spălate și uscate. Compoziția amestecurilor proiectate este prezentată în tabelul 6.

O parte dintre rețetele încercate nu au trecut testele pentru a fi beton autocompactant. Din cauza adaosurilor în proporții ridicate cerința de apă și aditiv a fost una crescută astfel ajungându-se la rapoarte apă/ciment nejustificate. În consecință au fost oprite adaosurile de apă și aditiv și s-au făcut încercări pentru a afla caracteristicile mecanice ale acestora fără a fi betoane autocompactante.

Tabelul 6 Compoziție betoane autocompactant

Amestec	Ciment kg	Filer kg	Sort 1 (nisip) kg	Sort 2 4-8mm kg	Sort 3 8-16mm kg	Apă ml	Aditiv x % din ciment	Cenușă de termocentrală kg	Zgură de furnal kg	Cauciuc tocat kg	Deșeu de cărămidă concasată kg	Raport Apa/ Ciment
A0	380	120	918	306	540	145	0.8	0	0	0	0	0.38
CNF	380	0	918	306	540	145	0.8	120	0	0	0	0.38
CN10%	342	120	918	306	540	150	0.8	38	0	0	0	0.394
CN15%	323	120	918	306	540	153	0.85	57	0	0	0	0.4
CAF10%	380	108	918	306	540	145	0.8	0	0	12	0	0.38
CAN10%	380	120	826.2	306	540	194	1	0	0	91.8	0	0.51
10%CAN10%	380	120	826.2	306	540	145	0.8	0	0	9.18	0	0.38
ZFN40%	380	120	550.8	306	540	238	1.1	0	367.2	0	0	0.62
ZCN20%	380	120	734.4	306	540	172	1	0	0	0	183.6	0.45
ZCN40%	380	120	550.8	306	540	239	1.3	0	0	0	367.2	0.63

Notății:

1. A0 - rețeta de beton autocompactant martor.

*Retetele cu cenușa de termocentrală folosită ca înlocuitor:*

2. CNF - rețeta cu înlocuirea completă a filerului de calcar cu cenușă.
3. CN10% - rețeta cu înlocuirea în procent de 10% a cimentului cu cenușă.
4. CN15% - rețeta cu înlocuirea în procent de 15% a cimentului cu cenușă.

*Retetele cu cauciuc tocat folosit ca inlocuitor:*

5. CAF10% - rețeta cu înlocuire în procent de 10% a filerului de calcar cu cauciuc.
6. CAN10% - rețeta cu înlocuire în procent de 10% a nisipului cu cauciuc.
7. 10%CAN10%\*- rețeta cu înlocuire în procent de 10% a cantității de 10% de nisip scos din rețetă.

(\* Explicatii: S-a scos din rețetă 10% din cantitatea de nisip și s-a înlocuit cu DOAR 10% din cantitatea scoasa cu cauciuc)

*Rețeta cu înlocuire a nisipului cu zgură de furnal*

8. ZFN40% - rețeta cu înlocuire în procent de 40% a cantitatii de nisip cu zgură de furnal.

*Reteta cu inlocuire a nisipului cu deșeu de cărămidă concasată*

9. ZCN20% - rețeta cu înlocuire în procent de 20% a cantității de nisip cu deșeu de cărămidă concasată
10. ZCN40% - rețeta cu înlocuire în procent de 40% a cantității de nisip cu deșeu de cărămidă concasată

Pentru prepararea betonului autocompactant s-au realizat numeroase rețete până la stabilirea acelei rețete care îndeplinește toate condițiile de fluiditate în stare proaspătă. Acestea s-au determinat prin aditii de apă sau de aditiv până la atingerea vâscozității necesare. Pentru a putea realiza BAC, s-au respectat proporțiile relative recomandate principalelor componente:

- pulbere totală: 380 – 600 kg / m<sup>3</sup> ;
- volumul de pastă: 300 – 380 l / m<sup>3</sup>;
- agregate grosiere: 750 – 1000 kg / mc, respectiv în volum: 270 – 360 l / m<sup>3</sup>;
- raportul apă / parte fină (în volum): 0,85 – 1,10;
- conținutul de nisip: 48 – 55% din masa totală a agregatului;

Astfel, s-au turnat în betonieră agregatele pe toate cele 3 sorturi: 0-4, 4-8 și 8-16, filerul de calcar și cimentul. După ce s-au amestecat în stare uscată pentru a se omogeniza, s-a adăugat apa amestecată cu aditivul Sika VascoCrete și s-a pornit betoniera.

După omogenizarea amestecului s-a efectuat testarea betonului în stare proaspătă. Astfel, s-au folosit cele 4 metode de testare impuse de standard ( NE 012/2, 2022) și anume: răspandirea prin tasare, testul cu pâlnia V, testul în cutia L și încercarea de segregare pe sita după care betonul s-a turnat în matrițe.

Acestea au fost păstrate timp de 24 de ore la temperatura de ±20 °C. După 24 de ore au fost decofrate și păstrate în apă la o temperatură de 20 °C±2 °C conform standardului (SR EN 12390-2, 2005) până înainte de încercare la 14, respectiv 28 de zile.

În același mod s-a procedat și pentru prepararea celorlalte rețete diferența fiind dată de tipul materialului reciclat folosit și de tipul respectiv cantitatea componentei înlocuite.

### 3.3 Metodologia de încercare a betonului proaspăt autocompactant

Normativul pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat (NE 012/2-2022) prezintă standardele naționale de referință pentru încercările ce trebuie efectuate pe betonul proaspăt autocompactant. Acestea sunt:

SR EN 12350-8 în care este prezentată încercarea la *răspândire din tasare*

SR EN 12350-9 în care este prezentată încercarea cu pâlnia V

SR EN 12350-10 în care este prezentată încercarea cu cutia L

SR EN 12350-11 încercarea de segregare

SR EN 12350-12 Încercarea cu inelul J

În acest studiu s-au folosit ca metode de testare BAC în stare proaspătă următoarele: răspândirea din tasare pentru lucrabilitate, pâlnia V și T500 pentru vâscozitate și cutia L pentru testarea abilității de trecere. Rezistența la segregare a fost observată vizual în timpul răspândirii din tasare. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 7.

Tabel 7 Rezultate în urma testării BAC în stare proaspătă

Amestec	Răspândirea din tasare, 550-899 mm	T500, 2-5 sec	Pâlnia V, 8-27 sec	Cutia L, h1/h2 0.8-1.0
A0	670	3.7	9.4	0.8
CNF	660	3.5	8.2	0.8
CN10%	660	3	9	0.8
CN15%	680	2.9	9	0.8
CAF10%	640	3.8	9	0.8
CAN10%	450	-	-	-
10%CAN10%	550	3.2	9.2	0.8
ZFN40%	400	-	-	-
ZCN20%	570	4.5	14	0.8
ZCN40%	540	-	-	-

### 3.4. Caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor autocompactante cu deșeuri

#### 3.4.1 Determinarea densității în stare umedă și în stare uscată

Densitatea în stare umedă a fost realizată la turnarea betonului și cea în stare uscată înainte de încercarea probelor, la 14 zile. Pentru determinarea densităților s-au folosit cuburi cu latura de 150 mm. Pentru toate rețetele se pot observa valori mai mici ale densităților în stare uscată față de cele în stare umedă. Rezultatele densităților în stare umedă și uscată sunt prezentate în tabelul 8.

Tabel 8 Densitățile în stare umedă și în stare uscată

Rețetă	Stare umedă [kg/m <sup>3</sup> ]	Stare uscată [kg/m <sup>3</sup> ]	Observații
A0	2402	2364	Beton greu
CNF	2381	2319	Beton greu
CN10%	2422	2376	Beton greu
CN15%	2438	2389	Beton greu
CAF10%	2346	2312	Beton greu
CAN10%	1913	1887	Beton ușor
10%CAN10%	2162	2141	Beton semigreu
ZFN40%	2283	2230	Beton greu
ZCN20%	2371	2337	Beton greu
ZCN40%	2358	2320	Beton greu

### 3.4.2 Evaluarea rezistențelor mecanice ale betonului autocompactant

Rezistențele mecanice ale betonului autocompactant au fost determinate conform standardelor definite în NE 012/2-2022. Acestea sunt reprezentate de rezistența la compresiune și la întindere a betonului. Rezistența la întindere se poate afla prin solicitarea betonului la încovoiere sau despicare. Prezentul capitol prezintă încercări pentru determinarea rezistenței la compresiune la 14 și 28 de zile și pentru determinarea rezistenței la întindere prin încovoiere la 14 și 28 de zile. Încercările au fost realizate pentru aflarea rezistenței la compresiune ( $f_c$ ) pe cuburi iar pentru aflarea rezistenței la întindere din încovoiere ( $f_{ti}$ ) pe prisme. Prin determinarea rezistenței la compresiune se poate defini și clasa betonului fiind astfel cea mai importantă proprietate a acestuia.

Pentru determinarea *rezistenței la compresiune*, cuburile au fost încercate aplicând o forță perpendiculară pe direcția de turnare a betonului cu ajutorul preseii hidraulice de 300 kN care va realiza o încărcare uniform distribuită pe toată suprafața epruvetei.

Pentru determinarea *rezistenței la întindere din încovoiere*, prismele au fost încercate conform standardului (SR EN 12390-5, 2005) prin aplicarea unei forțe concentrate la mijlocul deschiderii acestora.

Tabel 9 Rezultate rezistențe comparative la 14 si 28 de zile

Rețetă	Rezistența la compresine la 14 zile [N/mm2]	Rezistența la compresiune la 28 zile [N/mm2]	Creșterea pro- centuală [%]
A0	43.26	47.5	8.57
CNF	49.3	58	17.65
CN10%	34.6	37.5	8.4
CN15%	38.3	45	17.5
CAF10%	39.15	46	17.5
CAN10%	13.2	14.4	9
10%CAN10%	18.4	19.5	6
ZFN40%	31.2	38.10	22.1
ZCN20%	36.4	41.7	14.5
ZCN40%	34	37.2	9.4

Tabel 9 Rezultate rezistență la întindere din încovoiere la 14 si 28 de zile

Rețeta	Rezistența la întindere prin încovoiere la 14 zile [N/mm2]	Rezistența la întindere prin încovoiere la 28 zile [N/mm2]	Creșterea pro- centuală [%]
A0	3.6	4.11	14.2
CNF	4.28	4.8	12.1
CN10%	3.25	3.6	10.7
CN15%	3.08	3.43	11.3
CAF10%	3.6	3.6	0
CAN10%	2.23	1.54	-
10%CAN10%	1.54	1.88	22
ZFN40%	3.43	3.43	0
ZCN20%	3.08	3.43	11.3
ZCN40%	2.74	3.08	12.4



### **3.4.3 Concluzii**

În vederea utilizării deșeurilor la prepararea betonului autocompactant ecologic au fost folosite mai multe tipuri de deșeuri, cum ar fi: cenușa de termocentrală, cauciuc fărâmițat, deșeuri de cărămidă și zgură de furnal care au înlocuit în diverse procente filerul, cimentul sau sorturile de agregat.

Cele mai mari valori ale rezistențelor la compresiune au fost obținute pentru rețeta CNF (rețeta cu înlocuirea completă a filerului de calcar cu cenușă), cu 14% mai mari decât valorile rețetei martor, urmată de CAF10% (rețeta cu înlocuire în procent de 10% a filerului de calcar cu cauciuc ) și CN10% (rețeta cu înlocuirea în procent de 10% a cimentului cu cenușă), acestea două având valori similare. Amestecurile cu deșeu de cărămidă ZCN20% și ZCN40% au obținut, de asemenea, valori mari ale rezistențelor.

Cele mai scăzute valori ale rezistenței la compresiune au fost observate pentru CAN10% (rețeta cu înlocuire în procent de 10% a nisipului cu cauciuc), dar și la amestecul 10%CAN10% (rețeta cu înlocuire în procent de 10% cauciuc a cantității de 10% de nisip scos din rețetă).

Printre cele mai mari valori ale rezistențelor la întindere din încovoiere se află, de asemenea, amestecul CNF, (rețeta cu înlocuirea completă a filerului de calcar cu cenușă), urmat de CAF10% % (rețeta cu înlocuire în procent de 10% a filerului de calcar cu cauciuc), CN10% (rețeta cu înlocuirea în procent de 10% a cimentului cu cenușă) și ZCN20% (rețeta cu înlocuire în procent de 20% a cantității de nisip cu deșeu de caramidă concasată).

Valorile cele mai scăzute ale rezistenței la întindere din încovoiere le regăsim la amestecul 10%CAN10% (rețeta cu înlocuire în procent de 10% cauciuc a cantității de 10% de nisip scos din rețetă) și la amestecul CAN10% (rețeta cu înlocuire în procent de 10% a nisipului cu cauciuc).

Dintre adaosurile folosite se observă că rețetele ce conțin cauciuc au prezentat cele mai reduse valori, atât la compresiune cât și la întindere din încovoiere, în timp ce rezultatele cele mai bune au fost obținute la amestecurile cu cenușă de termocentrală și deșeu de cărămidă. În continuare se vor face cercetări pe betoane autocompactante folosind cenușa de termocentrală și deșeu de cărămidă.

## **4 Caracteristici de rezistență și durabilitate ale betoanelor autocompactante cu deșeuri de cărămidă**

În urma analizării rețetelor de beton autocompactant cu deșeuri realizate anterior (cauciuc tocat, zgură de furnal, cărămidă concasată), am ales pentru cercetări suplimentare o rețetă

de beton autocompactant ecologic, ce utilizează cărămidă concasată ca înlocuitor al sorturilor 0-4, 4-8 și 8-16 cu un adaos de cenușă de termocentrală care înlocuiește în procente de 5% și 10% din cantitatea de ciment. Am optat pentru cărămidă concasată deoarece am constatat că este unul dintre deșeurile ce apar din ce în ce mai des în marile gropi de gunoi ale orașelor, fie din demolări, reabilitări de clădiri sau chiar din bucățile de cărămidă ce rămân atunci când se construiește o clădire nouă. Astfel, am reușit să strâng o cantitate semnificativă de cărămidă din jurul șantiierelor pentru a putea continua studiile.

#### 4.1 Materiale utilizate la prepararea betonului

Pentru realizarea rețetelor de beton s-au folosit materialele prezentate în capitolul trei pentru betonul martor. În plus, față de acele materiale, am folosit cărămidă fărâmițată în trei sorturi diferite 0-4, 4-8, 8-16mm.

#### 4.2 Rețete, tipuri de epruvete și etape de obținere

Pentru continuarea studiilor s-au realizat 18 noi rețete de beton autocompactant cu cenușă de termocentrală ca înlocuitor al cimentului în 5 și 10% din cantitatea acestuia și cu cărămidă concasată în trei sorturi diferite 0-4, 4-8 și 8-16mm care au înlocuit agregatele aferente aceluiași sort în trei procente diferite și anume 10, 20 și 30%. Rețetele pentru fiecare tip de beton sunt prezentate în tabelul 10.

Tabel 10 Compoziție betoane autocompactante

Amestec	Ciment kg/m <sup>3</sup>	Filer kg/m <sup>3</sup>	Sort 1 0- 4 kg/m <sup>3</sup>	Sort 2 4- 8 kg/m <sup>3</sup>	Sort 3 8- 16 kg/m <sup>3</sup>	Apă litri	Super-plas- tifiat %	Cenușă kg/m <sup>3</sup>	Deșeu cără- midă conca- sată kg/m <sup>3</sup>
C0	380	120	918	306	540	145	0.8	0	0
5%/0-4/10	361	120	642.6	306	540	145	0.8	19	275.4
5%/0-4/20	361	120	367.2	306	540	145	0.8	19	550.8
5%/0-4/30	361	120	0	306	540	145	0.8	19	918
5%/4-8/10	361	120	918	214.2	540	145	0.8	19	91.8
5%/48/20	361	120	918	122.4	540	145	0.8	19	183.6
5%/4-8/30	361	120	918	0	540	145	0.8	19	306
5%/8-16/10	361	120	918	306	378	145	0.8	19	162
5%/8-16/20	361	120	918	306	216	145	0.8	19	324
5%/8-16/30	361	120	918	306	0	145	0.8	19	540
10%0-4/10	342	120	642.6	306	540	145	0.8	38	275.4
10%/0-4/20	342	120	367.2	306	540	145	0.8	38	550.8
10%/0-4/30	342	120	0	306	540	145	0.8	38	918
10%/4-8/10	342	120	918	214.2	540	145	0.8	38	91.8
10%/4-8/20	342	120	918	122.4	540	145	0.8	38	183.6
10%/4-8/30	342	120	918	0	540	145	0.8	38	306
10%/8-16/10	342	120	918	306	378	145	0.8	38	162
10%/8-16/20	342	120	918	306	216	145	0.8	38	324
10%/8-16/30	342	120	918	306	0	145	0.8	38	540

Notatii:

1. **A0**- rețeta de beton autocompactant martor.
2. **5%/0-4/10** -rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 0-4 în procent de 10% cu cărămidă concasată.
3. **5%/0-4/20** -rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 0-4 în procent de 20% cu cărămidă concasată.
4. **5%/0-4/30** -rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 0-4 în procent de 30% cu cărămidă concasată.
5. **5%/4-8/10** -rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 4-8 în procent de 10% cu cărămidă concasată
6. **5%/4-8/20** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 4-8 în procent de 20% cu cărămidă concasată
7. **5%/4-8/30**- rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 4-8 în procent de 30% cu cărămidă concasată
8. **5%/8-16/10** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 8-16 în procent de 10% cu cărămidă concasată
9. **5%/8-16/20** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 8-16 în procent de 20% cu cărămidă concasată
10. **5%/8-16/30** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 8-16 în procent de 30% cu cărămidă concasată
11. **10%/0-4/10** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 0-4 în procent de 10% cu cărămidă concasată
12. **10%/0-4/20** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 0-4 în procent de 20% cu cărămidă concasată
13. **10%/0-4/30** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 0-4 în procent de 30% cu cărămidă concasată
14. **10%/4-8/10** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 4-8 în procent de 10% cu cărămidă concasată
15. **10%/4-8/20**- rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 4-8 în procent de 20% cu cărămidă concasată
16. **10%/4-8/30** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 4-8 în procent de 30% cu cărămidă concasată
17. **10%/8-16/10** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 8-16 în procent de 10% cu cărămidă concasată

18. **10%/8-16/20** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 8-16 în procent de 20% cu cărămidă concasată

19. **10%/8-16/30** - rețeta de BAC cu înlocuirea cimentului în procent de 10% cu cenușă de termocentrală și înlocuirea sortului 8-16 în procent de 30% cu cărămidă concasată.

La prepararea rețetelor s-au folosit cantități diferite de aditiv pentru a se ajunge la lucrabilitatea necesară betonului autocompactant.

Dimensiunile epruvetelor folosite s-au ales în conformitate cu standardele în vigoare astfel: cuburi cu dimensiunile de 150x150x150 mm; prisme cu dimensiunile de 100x100x500 mm; cilindri cu dimensiunile de 100x200 mm.

Pentru prepararea betonului autocompactant martor s-au turnat în betonieră agregatele pe toate cele 3 sorturi: 0-4, 4-8 și 8-16 mm, filerul de calcar și cimentul. După ce s-au amestecat în stare uscată pentru a se omogeniza, s-a adăugat apa amestecată cu aditivul Sika VascoCrete și s-a pornit betoniera. După omogenizarea amestecului s-a efectuat testarea betonului în stare proaspătă. Astfel s-au folosit cele 4 metode de testare impuse de standard (NE 012/2, 2022) și anume: Răspândirea prin tasare, testul cu pâlnia V, testul în cutia L și încercarea de segregare pe sită după care betonul s-a turnat în matrițe. Acestea au fost păstrate timp de 24 de ore la temperatura de  $\pm 20$  °C. După 24 de ore au fost decofrate și păstrate în apa la o temperatură de  $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$  °C conform standardului (SR EN 12390-2, 2005) până înainte de încercarea acestora la 28 de zile.

În același mod s-a procedat și pentru prepararea celorlalte rețete diferența fiind dată de tipul respectiv cantitatea materialului reciclat folosit și de tipul respectiv cantitatea componentei înlocuite.

### 4.3. Rezultate proprietăți beton în stare proaspătă

Tabel 11 Rezultate BAC în stare proaspătă

Rețetă	Răspândirea prin tasare (cm)	Pâlnia V (sec)	Cutia L Raport (o.8-1)	Procent aditiv
C0	67	3,7	0,8	0,8
5%/0-4/10	68	5,2	0,9	1,2
5%/0-4/20	67	5,2	0,8	1,65
5%/0-4/30	67	5,4	0,8	1,7
5%/4-8/10	64	5	0,9	1,5
5%/4-8/20	67	5,4	0,8	1,8
5%/4-8/30	71	4	0,8	2,0
5%/8-16/10	60	5,5	0,8	1,3
5%/8-16/20	72	3,4	0,8	1,4

5%/8-16/30	74	3,5	0.8	1.4
10%/0-4/10	67	4,2	0.8	1.7
10%/0-4/20	76	3,2	0.8	1.9
10%/0-4/30	74	3,4	0.8	2.3
10%/4-8/10	72	3,3	0.8	1.7
10%/4-8/20	69	4,0	0.8	1.7
10%/4-8/30	68	5,4	0.8	1.8
10%/8-16/10	73	3,5	0.8	1.6
10%/8-16/20	73	3,4	0.8	1.6
10%/8-16/30	75	3,3	0.8	1.6

#### 4.4 Rezultate densitate beton în stare uscată

Tabel 12 Rezultate BAC greutate și densitate

NR. CRT	DENUMIRE REȚETĂ	DATA	GREUTATE MEDIE	DENSITATE
0	Martor	15.04	$(7886+8065+7980)/3=7977$	2363.60
1	5%/0-4/10	22.11	$(7569+7541 + 7720)/3= 7610$	2283.00
2	5%/0-4/20	23.11	$(7563 + 7714+ 7855)/3 = 7710,66$	2313.20
3	5%/0-4/30	18.11	$(7990+ 7877 + 7854)/3 = 7907$	2372.10
4	5%/4-8/10	29.11	$(7711 + 8082 +8060)/3 = 7951$	2385.30
5	5%/4-8/20	30.11	$(7743+ 7695 +7732)/3 =7723.33$	2317.00
6	5%/4-8/30	01.12	$(7751 + 7652 + 7923)/3 = 7775.33$	2332.60
7	5%/8-16/10	08.12	$(7557 + 7799 + 7858)/3 =7738$	2321.40
8	5%/8-16/20	09.12	$(7621+ 7708+ 7530)/3 = 7619.66$	2285.90
9	5%/8-16/30	10.12	$(7289 +7500 + 7633)/3 =7474$	2242.20
10	10%/0-4/10	24.11	$(7672+ 7889 + 7845)/3 =7802$	2340.60
11	10%/0-4/20	25.11	$(7608 + 7849+ 7750)/3 =7735.66$	2320.70
12	10%/0-4/30	26.11	$(7757 + 7640 + 7751)/3 =7716$	2314.80
13	10%/4-8/10	02.12	$(7750+ 7738 + 7693)/3 =7727$	2318.10
14	10%/4-8/20	03.12	$(7856 + 7721 + 7780)/3 = 7785.66$	2335.70
15	10%/4-8/30	06.12	$(7839 +7912 + 7952)/3 =7901$	2370,30
16	10%/8-16/10	13.12	$(7711+ 7784 + 7724)/3 =7739.66$	2321.90
17	10%/8-16/20	14.12	$(7029 + 7109 + 7187)/3 =7108.33$	2132.50
18	10%/8-16/30	15.12	$(7306 + 7463 + 7068)/3 = 7279$	2183.70

#### 4.5 Rezultate ale rezistențelor mecanice ale betonului autocompactant cu deșeu de caramida concasată

Au fost determinate rezistențele la compresiune la 28 de zile și la întindere prin încovoiere tot la 28 de zile pentru fiecare rețetă în parte. Pentru determinarea rezistenței la compresiune ( $f_c$ ) s-au folosit epruvete tip cub cu latura de 150 mm iar pentru determinarea rezistenței la întindere prin încovoiere ( $f_{ti}$ ) s-au folosit epruvete tip prismă. Încercările au fost efectuate pentru fiecare probă în parte și apoi s-au calculat mediile geometrice ale forțelor aplicate și s-au determinat rezistențele la 28 de zile.

Tabel 13 Rezultate BAC la rezistența la compresiune [N/mm<sup>2</sup>] la 28 zile

Nr. Crt	Denumire rețetă	Data	Forța medie	Rezistența N/mm <sup>2</sup>
0	Martor	15.04	$1045+1070+1090=3205/3=1068.4$	47.5
1	5%/0-4/10	22.11	$785 + 795 + 735 = 2315/3=771,66$	34,3
2	5%/0-4/20	23.11	$1030 + 1055 + 1085 = 3170/3 = 1056,66$	47,0
3	5%/0-4/30	18.11	$1050+1120 + 1065 = 3235/3=1078,33$	47.9
4	5%/4-8/10	29.11	$890 + 940 + 910 = 2740/3 = 913,33$	40,6
5	5%/4-8/20	30.11	$940 + 910 + 910 = 2760/3= 920,00$	40,9
6	5%/4-8/30	01.12	$920 + 1000 + 850 = 2770/3= 923,33$	41,0
7	5%/8-16/10	08.12	$815 + 835 + 825 = 2475/3 = 825,00$	36,7
8	5%/8-16/20	09.12	$905 + 905 + 885 = 2695/3 = 898,33$	39,9
9	5%/8-16/30	10.12	$800 + 910 + 815 = 2525/3=841,66$	37,4
10	10%/0-4/10	24.11	$930 + 920 + 890 = 2740/3= 913.33$	40,6
11	10%/0-4/20	25.11	$925 + 925 + 960 = 2810/3=936.66$	41,6
12	10%/0-4/30	26.11	$1025 + 960 + 980 = 2965/3=988.33$	43,9
13	10%/4-8/10	02.12	$825 + 790 + 815 = 2430/3=810.00$	36,0
14	10%/4-8/20	03.12	$920 + 1000 + 1005 = 2925/3=975.00$	43,3
15	10%/4-8/30	06.12	$865 + 950 + 815 = 2730/3=910.00$	40,4
16	10%/8-16/10	13.12	$920 + 895 + 865 = 2680 /3= 893.33$	39,7
17	10%/8-16/20	14.12	$920+895+950 = 2765/3=921.66$	40,9
18	10%/8-16/30	15.12	$1055 + 1100 + 1085 = 3240/3=1080.00$	48,0

Tabel 14 Rezultate BAC la rezistența la întindere din încovoiere la 28 zile

Nr. Crt	Denumire rețeta	Data	Forța medie [kN]	Rezistența [N/mm <sup>2</sup> ]
0	Martor	15.04	$23+25=48/2=24$	4.11
1	5%/0-4/10	22.11	$24+21 = 45/2=22,5$	3.85
2	5%/0-4/20	23.11	$24 + 22 = 46/2 = 23,0$	3.94
3	5%/0-4/30	18.11	$27 + 19 = 46/2 = 23$	3.94
4	5%/4-8/10	29.11	$21+21= 42=21$	3.6
5	5%/4-8/20	30.11	$13+13=26/2=13$	2.23
6	5%/4-8/30	01.12	$25+17=21$	3.6
7	5%/8-16/10	08.12	$20+24= 44/2=22$	3.77
8	5%/8-16/20	09.12	$21+ 18= 38/2=19,5$	3.34
9	5%/8-16/30	10.12	$13+17=30/2=15$	2.57
10	10%/0-4/10	24.11	$20+22= 42/2= 21,0$	3.6
11	10%/0-4/20	25.11	$26+24=50/2=25$	4.28
12	10%/0-4/30	26.11	$31+20=51/2=25,5$	4.37
13	10%/4-8/10	02.12	$19+14=33/2=16,5$	2.82
14	10%/4-8/20	03.12	$16+24= 40/2=20$	3.43
15	10%/4-8/30	06.12	$29+22= 51/2=25,5$	4.37
16	10%/8-16/10	13.12	$18+28=46/2=23$	3.94
17	10%/8-16/20	14.12	$15+9= 24/2=12$	2.06
18	10%/8-16/30	15.12	$17+29=46/2=23$	3.94

Corelând rezultatele obținute putem alege ca punct de plecare pentru aprofundarea cunoștințelor rețeta cu înlocuire de 30% a sorturilor cu cărămidă concasată pentru ambele cazuri de înlocuire a cimentului cu cenușă (5% și 10%) cu mențiunea de a continua studiile cu determinarea curbelor caracteristice, modulului de elasticitate și a comportării la înghet-dezghet repetat pentru aceste rețete. Motivul este dat de cantitatea mai mare de material reciclat utilizat în rețetă și de rezistențele mari obținute atât la compresiune cât și la întindere din încovoiere.

#### 4.6. Analiza de preț

Calculul costului pentru obținerea unui metru cub de beton în varianta clasică versus rețeta folosită pentru studiul experimental (aferent anului 2022) se regăsește în tabelele următoare:

Tabel 15 Rețeta clasică C25/30

Materiale folosite	Unitate de măsură	Cantitate	Preț/U.M.	Cost material RON
Ciment	Kg	336	0.4	134.4
Sort 0-4	Kg	708	0.026	18.4
Sort 4-8	Kg	465	0.014	6.51
Sort 8-16	Kg	651	0.013	8.46
Sort 16-31	Kg	438	0.011	4.82
Aditiv	litru	2.7	2.81	7.6
Apă	mc	0.168	3	0.5
Total				180

Tabel 16 Rețeta folosită C25/30

Materiale folosite	Unitate de măsura	Cantitate	Preț/U.M.	Cost material RON
Ciment	Kg	361	0.4	144.5
Sort 0-4	Kg	826	0.026	21.5
Sort 4-8	Kg	306	0.014	4.3
Sort 8-16	Kg	540	0.013	7
Apă	Mc	0.145	3	0.435
Filer	Kg	120	0.25	30
Cenușă de termocentrală	Kg	19	0	0
Deșeu de cărămidă	Kg	92	0	0
Aditiv	Litru	3	16	48
Total				256

Tabel 17 Rețeta clasică C35/45 rețeta folosită C25/30

Materiale folosite	Unitate de masura	Cantitate	Pret/U.M.	Cost material RON
Ciment	Kg	435	0.4	174
Sort 0-4	Kg	615	0.026	16
Sort 4-8	Kg	492	0.014	7
Sort 8-16	Kg	651	0.013	8.5
Sort 16-31	Kg	438	0.011	5
Apă	mc	0.174	3	0.5
Aditiv	litru	4.35	2.81	12
Total				223

Tabel 18 Rețeta folosită C35/45 - beton autocompactant ecologic

Materiale folosite	Unitate de masura	Cantitate	Pret/U.M.	Cost material RON
Ciment	Kg	342	0.4	137
Sort 0-4	Kg	918	0.026	24
Sort 4-8	Kg	306	0.014	4
Sort 8-16	Kg	378	0.013	5
Apa	Mc	0.145	3	0.5
Filer	Kg	120	0.25	30
Cenușă de termocentrală	Kg	38	0	0
Deșeu de cărămidă	Kg	162	0	0
Aditiv	litru	6	16	96
Total				296

În urma analizelor de preț, putem concluziona că putem realiza un beton cu înlocuitor al agregatelor cu cărămidă concasată cu costuri apropiate de cele ale unui beton convențional, cu mențiunea că trebuie verificate celelalte caracteristici ale betonului și anume modulul de elasticitate și îngheț-dezghet. Diferența de preț poate fi obținută din reducerea efortului necesar pentru vibrarea și punerea în operă a betonului.

#### **4.7 Comportarea probelor de beton autocompactant supuse la cicluri repetate de îngheț-dezghet**

Pentru a obține o imagine mai amplă a caracteristicilor betonului autocompactant cu adaos de deșeuri reciclate se impune analizarea acestuia în scopul determinării comportării probelor la cicluri repetate de îngheț-dezghet. Încercarea la îngheț-dezghet s-a desfășurat conform SR 3518: 2009, iar ca și variantă de determinare s-a ales metoda distructivă care determină



pierderea în rezistență la compresiune. Astfel, am selectat rețetele cu cea mai mare rezistență la compresiune pentru fiecare categorie de agregat înlocuit dintre cele analizate anterior și s-au supus încercării la îngheț-dezghet.

S-au turnat câte 6 cuburi pentru fiecare dintre cele trei rețete pentru care s-au obținut cele mai bune rezultate ale rezistențelor la compresiune în funcție de categoria de agregate înlocuite astfel rețetele sunt:

1. Rețeta cu înlocuire a sortului 0-4 în procent de 30% cu cărămidă concasată și înlocuirea cimentului cu cenușă de termocentrală în procent de 5%.(5%/0-4/30).  $f_c=47.9 \text{ N/mm}^2$

2. Rețeta cu înlocuire a sortului 4-8 în procent de 20% cu cărămidă concasată și înlocuirea cimentului cu cenușă de termocentrală în procent de 10%.(10%/4-8/20).  $f_c=43.3 \text{ N/mm}^2$

3. Rețeta cu înlocuire a sortului 8-16 în procent de 30% cu cărămidă concasată și înlocuirea cimentului cu cenușă de termocentrală în procent 10%.(10%/8-16/30).  $f_c=48 \text{ N/mm}^2$

Pentru a se putea face o comparație corespunzătoare s-au turnat și 6 cuburi de beton autocompactant martor.

După turnarea cuburilor, acestea au fost decofrate și introduse în apă la o temperatură de  $(20 \pm 2)$  grade Celsius. După împlinirea celor 28 de zile, trei dintre epruvete s-au introdus în camera frigorifică, așezate astfel încât să fie complet înconjurare de aer, iar distanța dintre epruvete și dintre epruvete și pereții instalației să fie cel puțin 20 mm. Epruvetele au fost păstrate în camera frigorifică până la terminarea ciclurilor de îngheț-dezghet ca probe martor și apoi au fost încercate. Celelalte epruvete turnate au fost încercate cu presa hidraulică pentru aflarea rezistențelor la compresiune.

Tabel 19 Valori ale rezistențelor și a pierderilor de rezistență pentru betoanele analizate

Nr. Crt	Denumire rețetă	Rezistența la compresiune (N/mm <sup>2</sup> )	Rezistența la compresiune după îngheț-dezghet (N/mm <sup>2</sup> )	Diferența procentuala %
0	Martor	47.88	41.32	15.87
1	5%/0-4/30	48.23	29.44	38.96
2	10%/4-8/20	41.28	31.93	22.65
3	10%/8-16/30	46.78	33.45	28.5

În urma determinării pierderii de rezistență se poate observa că rețeta cu înlocuire de 10% a cimentului cu cenușă și o înlocuire a agregatelor sort 4-8 în procent de 20% cu deșuri din cărămidă respectă condiția pentru clasa G50, având pierderile de rezistență sub 25%. Diferența între rețeta martor și rețeta cu valoarea cea mai scăzută a pierderii de rezistență este de

42.72%. Pentru rețetele cu adaos de materiale reciclate se observă o diferență de 72% între valoarea cea mai mică a pierderii de rezistență care este aferentă rețetei cu o înlocuire de 10% a cimentului cu cenușă și o înlocuire a agregatelor sort 4-8 în procent de 20% cu deșeuri din cărămidă și valoarea cea mai mare a pierderii de rezistență care este aferentă rețetei cu o înlocuire în procent de 5% a cimentului cu cenușă și o înlocuire a agregatelor sort 0-4 cu deșeuri din cărămidă în procent de 30%. În schimb, diferența între rețeta cu cea mai mare pierdere de rezistență în urma îngheț-dezghețului și rețeta martor este de 245%.

Pentru următoarele determinări din cadrul lucrării de doctorat se va utiliza rețeta care folosește cea mai mare cantitate de deșeu reciclat, dar și cea mai mică cantitate suplimentară de aditiv și apă pentru a satisface cerințele betonului autocompactant, și anume cea cu adaos de 5% cenușă de termocentrală și o înlocuire în procentul maxim testat, și anume 30%, din cantitatea de sort 0-4mm cu cărămida reciclată sort 0-4mm.

#### **4.8 Caracteristicile de elasticitate ale betoanelor autocompactante cu deșeu de cărămidă concasată**

##### **4.8.1 Determinarea curbei caracteristice la betoanele autocompactante cu cenușă și deșeuri**

Se face conform STAS SREN12390-13/2013. Pentru determinarea modului de elasticitate și a curbei caracteristice s-au turnat șase cilindri având dimensiunile de 100x200mm, atât pentru rețeta cu adaos de 5% cenușă de termocentrală și o înlocuire în procentul maxim testat, și anume 30%, din cantitatea de sort 0-4mm cu cărămida reciclată sort 0-4mm cât și pentru o rețetă de beton autocompactant martor. După 28 de zile de la turnare, trei dintre epruvete au fost încercate pentru determinarea rezistenței la compresiune pe cilindru, rămânând în continuare drept rețete martor. Celelalte trei epruvete au fost folosite pentru determinarea modului de elasticitate și a curbei caracteristice, determinând raportul între creșterea efortului unitar normal și creșterea deformației specifice corespunzătoare. Pentru determinarea deformațiilor cilindrilor a fost aplicată o creștere constantă a forței pentru a produce un efort de  $0.5 \text{ N/mm}^2/\text{s}$  până la cedarea acestora.

Valorile eforturilor și a deformațiilor pentru cele două rețete sunt prezentate în figurile 1 și 2.

- a) Beton autocompactant cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și a agregatelor sort 0-4 cu cărămidă concasată sort 0-4 în procent de 30%.

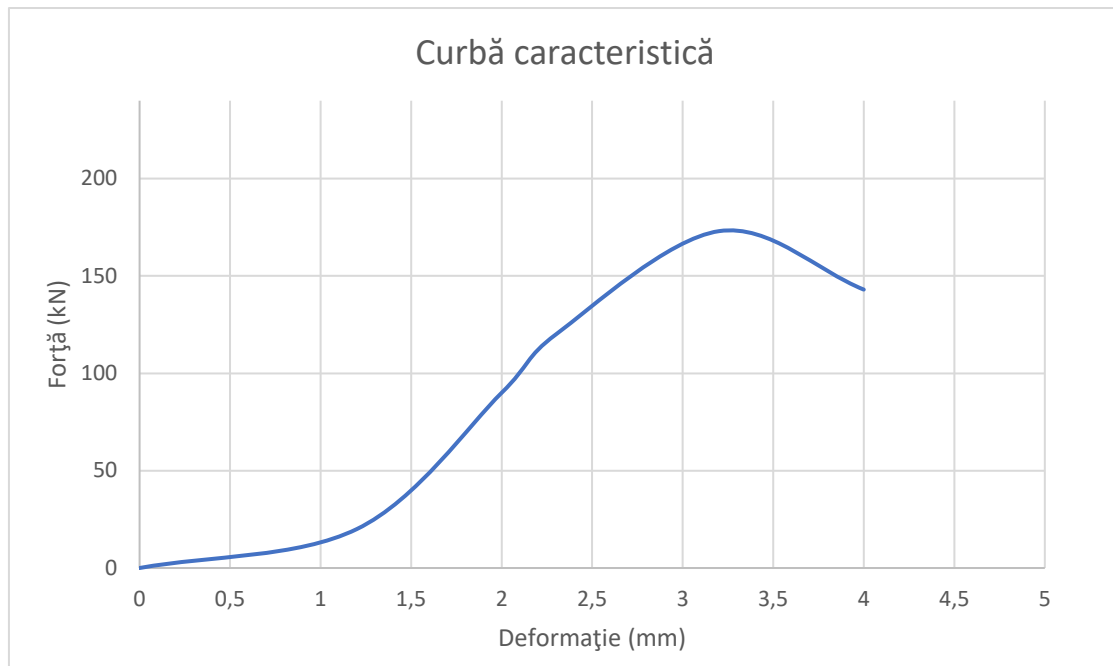


Fig 4 Grafic efort-deformație rețeta cu adaos

b) Beton autocompactant martor

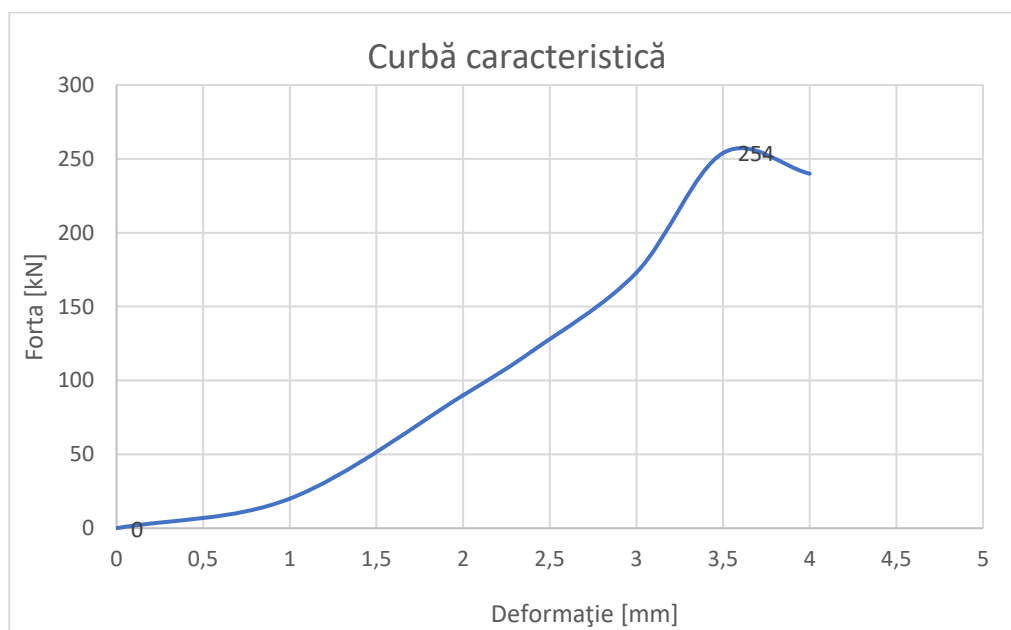


Fig 5 Grafic efort-deformație rețeta martor

Pentru rețeta cu deșeu de cărămidă concasată cedarea probei s-a produs în momentul în care forța a atins valoarea de 173 kN, deformația de scurtare a cilindrului fiind de 3,2 mm. În

cazul rețetei martor, s-a obținut o valoare mai ridicată a rezistenței, cedarea acesteia producându-se atunci când forța a înregistrat valoarea de 254 kN și o deformație de 3,5 mm. Astfel, se constată că rețeta martor are o rezistență la compresiune pe cilindru mai mare cu 46,8% decât rețeta în care s-au folosit deșeuri din cărămidă concasată.

#### **4.8.2 Determinarea modului de elasticitate static la compresiune al betonului autocompactant cu cenușă de termocentrală și deșeuri**

##### **4.8.2.1 Metodologia de încercare**

Pentru determinarea modului de elasticitate se procedează astfel: cu valoarea forței de rupere obținute din trasarea curbei caracteristice se determină treptele de încărcare, acestea reprezentând 0,05 Fr (forța de rupere) și 0,3 Fr. Se fac cinci cicluri de încărcare-descărcare și apoi se notează citirile, dacă diferența dintre două citiri successive nu depășește 5%. Cu aceste valori se determină valoarea modului de elasticitate secant. Modulul de elasticitate (E) se determină cu formula 1.

$$E = \frac{\Delta\sigma(\text{diferența de efort})}{\Delta\varepsilon(\text{diferența de deformație la compresiune})} \quad (1)$$

Tabel 20 Valorile modului de elasticitate

Rețetă	Cilindrul 1 [MPa]	Cilindrul 2 [MPa]	Cilindrul 3 [MPa]
Beton autocompactant martor	28311	29832	31290
5%/0-4/30%	27350	29577	30266

##### **4.8.2.2 Rezultatele încercării**

a) Beton autocompactant martor

Valorile deformațiilor obținute pentru cei trei cilindri se găsesc în fig. 6,7 și 8.

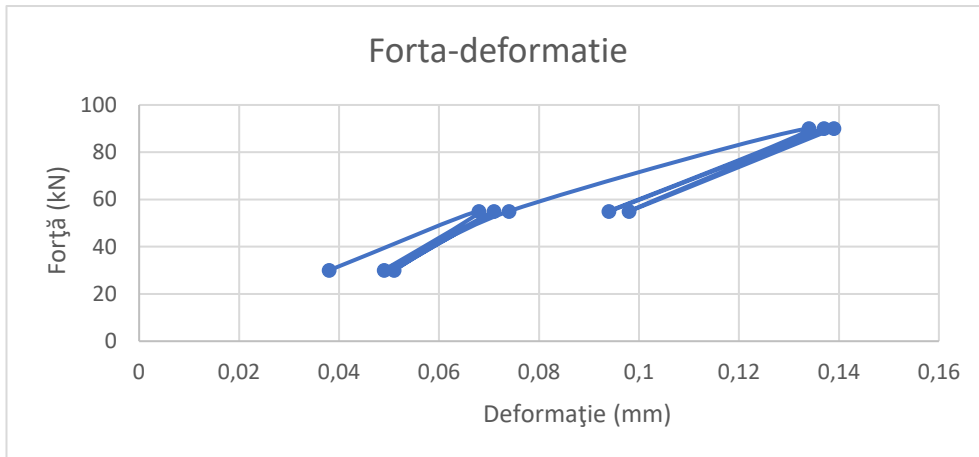


Fig 6 Grafic forta-deformatie cilindrul nr.1

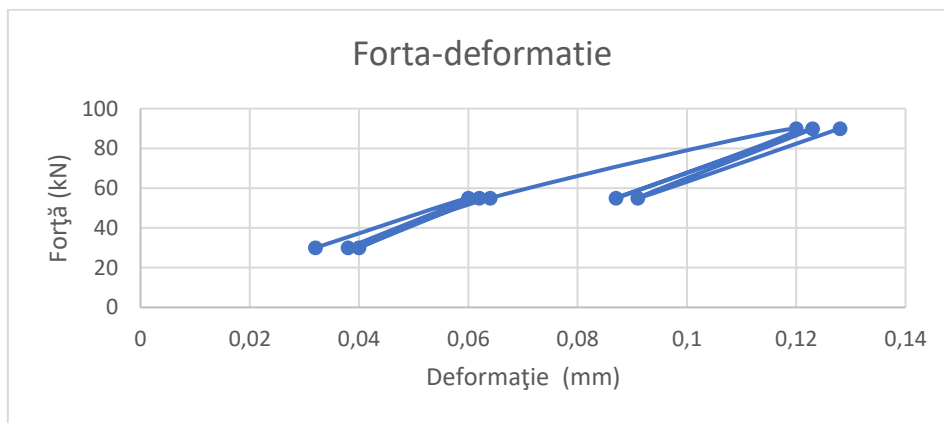


Fig 7 Grafic forta-deformatie cilindrul nr.2

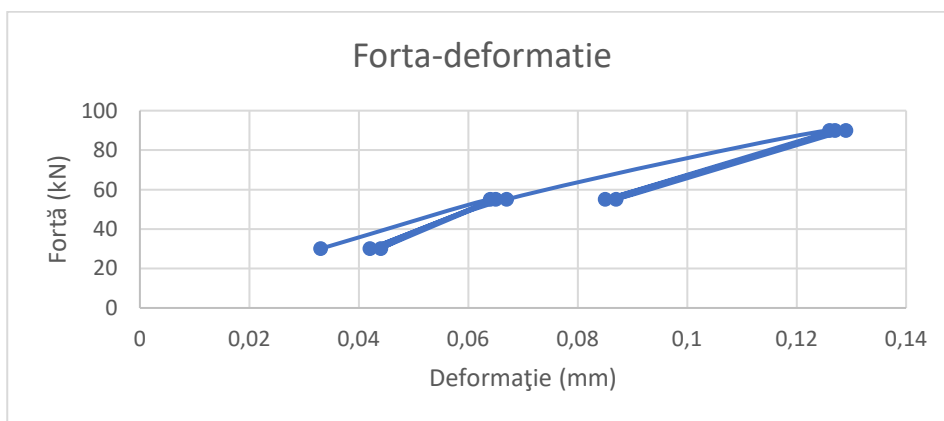


Fig 8 Grafic forta-deformatie cilindrul nr.3

- b) Beton autocompactant cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de ter-  
mocentrală și a agregatelor sort 0-4 cu deșeu de cărămidă concasată sort 0-4 în pro-  
cent de 30%.

Valorile deformațiilor obținute pentru cei trei cilindri se găsesc în fig. 9, 10 și 11.

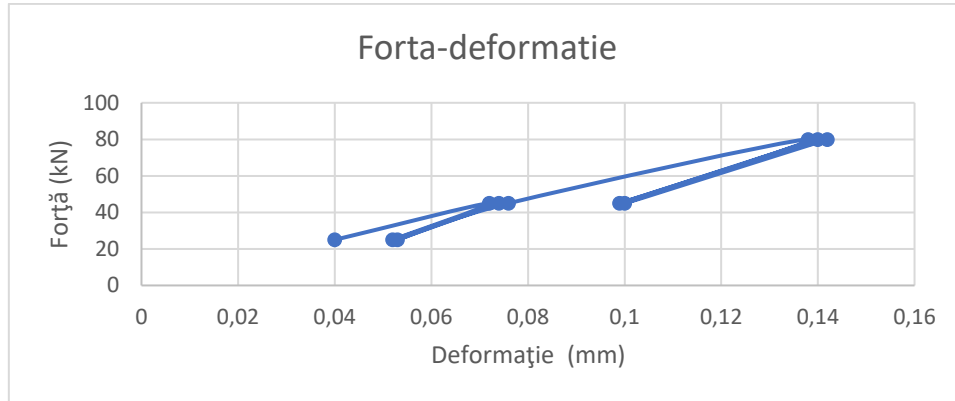


Fig 9 Grafic forta-deformatie cilindrul nr.1

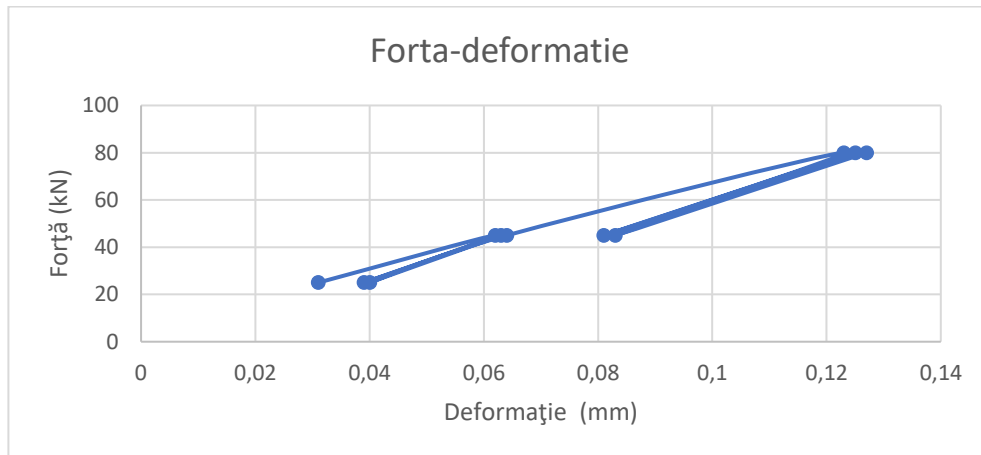


Fig 10 Grafic forta-deformatie cilindrul nr.2

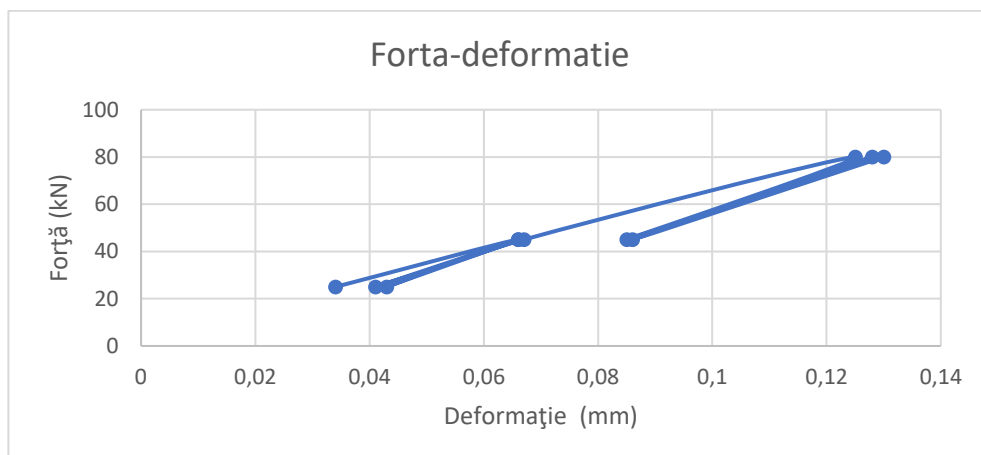


Fig 11 Grafic forta-deformatie cilindrul nr.3

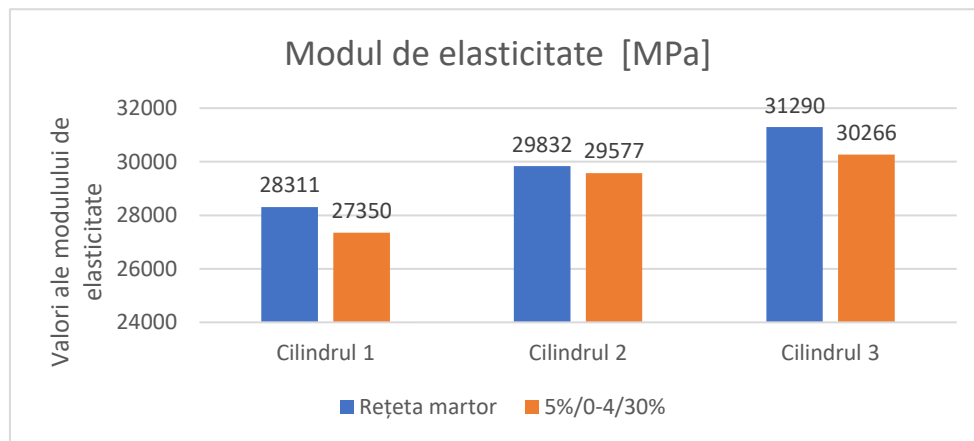


Fig. 12 Valori comparative modul de elasticitate

Determinând media aritmetică a valorilor modurilor de elasticitate a cilindrilor studiați, observăm că rețeta martor a obținut valoarea 29811[MPa] încadrându-se în clasa de beton C25/30, iar pentru rețeta cu adaos s-a obținut valoarea 29064 [MPa], încadrându-se de asemenea, în clasa de beton C25/30.

## **5 Cercetări experimentale privind consolidarea prin cămașuire cu beton autocompactant cu deșuri de cărămidă concasată a stalpilor din beton armat**

### **5.1 Degradări ale structurilor din beton armat**

Deteriorarea betonului poate fi de natura fizica, chimica, biologica sau mecanica.

1. Procesele fizice ce dauneaza betonului sunt fenomenele de inghet-dezghet, de fisurare a acestuia si actiunea agentilor degivranti asupra acestuia.

2. Procesele chimice sunt reprezentate de o serie de substante reactive care au efect daunator asupra betonului atunci cand iau contact cu acesta sau cand sunt introduse in interiorul betonului prin intermediul apei. In funcție de tipul reacției chimice, accesibilitatea substanțelor reactive din beton este determinată de permeabilitatea betonului încă sănătos sau de stratul de pasivizare al produșilor de reacție. Reacțiile chimice care pot conduce la diminuarea calității betonului sunt:

- reacțiile acizilor, sărurilor de amoniu, sărurilor de magneziu și a apei fără duritate cu piatra de ciment;
- reacțiile sulfatilor cu aluminații din beton;

- reacțiile bazelor (alcaliilor) cu agregatele reactive din beton.(Gavrila Muntean et all., 2009)

Cel mai des intalnit proces chimic care produce degradarea betonului este reprezentat de fenomenul de carbonatare prin care dioxidul de carbon ( $\text{CO}_2$ ) din atmosfera reactioneaza cu hidroxidul de calciu ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) prezent in beton pentru a forma carbonat de calciu ( $\text{CaCO}_3$ ) care reduce durabilitatea betonului si reduce valoarea pH-ului betonului sub pragul in care acesta mai poate asigura conditiile de pasivizare ale armaturilor. Astfel, armatura se oxideaza si formeaza rugina care indeparteaza stratul de acoperire al armaturilor cu beton si ofera posibilitatea degradarii intregului element.

3. Procesele biologice sunt reprezentate de actiunea bacteriilor care se pot forma pe suprafata betonului sau chiar intra in structura acestuia si de a slabi rezistentele mecanice si durabilitatea acestuia.

4. Procesele mecanice in urma carora apar degradari ale elementelor de beton sunt reprezentate de agresiuni asupra acestuia provocate fie prin abraziune, smulgere, prin solicitari ale elementelor cu valori superioare care nu au fost luate in calcul in faza de proiectare sau de socuri mecanice accidentale.

Exista si degradari ale betonului care sunt datorate unor erori din timpul producerii acestuia printr-o omogenizare neadecvata in urma careia rezulta o porozitate ridicata care creaza loc pentru substantele chimice daunatoare sau a unor erori din timpul punerii in opera a acestuia printr-o vibrare insuficienta sau excesiva dand nastere fenomenului de segregare al betonului, fenomen in care componentele betonului nu mai sunt omogenizate si se separa intre ele.

## **5.2 Metode de consolidare a elementelor din beton armat**

Metodele de consolidare a elementelor din beton armat sunt diferite in functie de degradarea pe care acestea o prezinta. Consolidarea poate fi necesara:

1. Local, doar pe o portiune redusa a unui element din beton in cazul socurilor mecanice sau a segregarilor de suprafata care se poate remedia prin eliminarea portiunii segregate, curatarea locului cu aer si apa de toate impuritatile ce ar putea dauna prizei betonului nou, buciardarea suprafetei in cazul unei suprafete neaderente si folosirea unor mortare speciale pentru aducerea elementului la dimensiunile necesare.

2. Pentru toata structura de rezistenta a cladirii, caz in care, consolidarile sunt realizate prin mai multe variante dintre care amintim:

-Folosirea unor elemente metalice pentru a proteja muchiile si a prelua din eforturi



-Aplicarea unor placi de fibra de carbon sau a altor materiale compozite pe suprafetele elementelor din beton

-Aplicarea unor injectii cu rasini epoxidice in fisurile elementelor

-Marirea sectiunii elementului prin adaugarea unui element nou din beton de o clasa superioara armat cu barele de armatura fixate de elementul consolidat prin conectori introdusi cu lapte de ciment sau cu ancora chimica

-Adaugarea in structura existenta a unor elemente suplimentare (cuzineti, stalpi, grinzi etc.)

-Reducerea sarcinii utile a elementelor prin schimbarea destinatiei

### 5.3 Realizarea stâlpilor din beton

În vederea consolidării elementelor din beton armat se studiază posibilitatea consolidării stâlpilor din beton armat cu beton autocompactant obținut prin înlocuirea agregatului cu deșeu de cărămidă concasată. În acest scop, au fost turnați 4 stâlpi din beton marca C20/25 având dimensiunile de 150x150x1000. Aceștia au fost încercați la presă la compresiune axială, după care au fost consolidați în diferite variante pentru a se putea face o comparație între acestea.

Materialele folosite pentru turnarea stâlpilor sunt cele uzuale pentru beton și anume agregate sort 0-32 mm, ciment și apă. Cantitățile aferente fiecărei componente sunt prezentate în tabelul 21.

Tabelul 21 Cantități materiale utilizate pentru rețeta de beton clasa C20/25.

Tip beton	Ciment [kg/m <sup>3</sup> ]	Sort 0-4 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Sort 4-8 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Sort 8-16 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Sort 16-32 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Apă [litri]
C20/25	300	505	220	350	470	170

Pentru realizarea cămășuielilor s-a folosit rețeta studiată anterior, și anume rețeta de beton autocompactant cu înlocuirea cimentului în procent de 5% cu cenușă de termocentrală și a agregatelor sort 0-4 cu cărămidă concasată sort 0-4 în procent de 30%.

Astfel, se efectuează încercarea până la cedare a stâlpului pentru a stabili forța de rupere a acestuia în vederea comparării cu 4 variante de stâlpi consolidați. În varianta 1 a fost consolidat un stâlp încercat până la cedare (692daN) iar pentru celelalte trei variante, consolidarea s-a realizat pe stâlpi încercați până la o treaptă inferioară și anume 400daN.

### 5.4 Tehnologia de turnare a cămășuielilor

**Varianta 1** presupune consolidarea folosind betonul cu deșeu de cărămidă concasată în grosime de 8 cm pe toate cele 4 laturi ale stâlpului și o plasă sudată în grosime de 4mm, pentru

care s-a asigurat o acoperire cu beton de 3 cm. Pentru asigurarea conlucrării între betonul vechi și cel de consolidare, s-a realizat o buciardare a tuturor laturilor stâlpului.

**Varianta 2** presupune consolidarea stâlpului pe toate cele 4 laturi în grosime de 8 cm cu rețeta de beton autocompact cu adaos de cărămidă concasată și o plasă sudată în grosime de 4mm pe tot conturul consolidării, respectând o acoperire de beton de 3 cm.

**Varianta 3** presupune o consolidare suplimentară realizată dintr-o carcasă de armătură realizată din cornier de 40x40x3 pe colțuri și un platband 40x3 dispus la partea inferioară, mediană și superioară a carcasei. Peste carcasă de armătură s-a adăugat consolidarea de 8 cm din beton în aceleași condiții ca la varianta nr. 1.

**Varianta 4** presupune consolidarea stâlpului folosind o țesătură din fibră de sticlă lipită cu polimer. Materialele folosite au fost Mape Wrap 31 de la Mapei.

### 5.5 Încercarea stâlpilor de beton cămășuiți

Se observă o creștere a valorilor forțelor capabile pentru primele trei variante de consolidare, astfel încât diferențele între acestea și rețeta martor sunt de 95.8%, 281% respectiv 296,5%. Pentru varianta 4 de consolidare se constată o valoare mai mică a forței capabile decât cea a stâlpului martor cu 59%. Comparatia între aceasta varianta și celelalte variante de consolidare nu se poate face întrucât în acest caz suprafața de contact este mai mică decât la celelalte variante.

Tabel 22 Valori în urma încercărilor

Stalp martor	V1	V2	V3	V4
692 kN	1355 kN	1945 kN	2052 kN	435 kN

## 6 Concluzii

### 6.1 Concluzii privind caracteristicile betonului autocompactant cu deșeuri de cărămidă concasată (beton autocompactant ecologic)

În urma încercărilor pe betonul autocompactant obținut cu diverse tipuri de deșeuri în stare proaspătă, se constată:

- I. Valori asemănătoare înregistrate ale răspândirilor din tasare pentru toate rețetele mai puțin:

- a) pentru cea cu înlocuire a nisipului cu cauciuc tocat în procent de 10% (CAN10%) care diferă cu 51% față de rețeta cu valoarea cea mai mare CN15% (rețeta cu înlocuire în procent de 15% a cimentului cu cenușă) nefiind încadrat drept betoan auto-compactant, având valori sub minimumul admis de standard 450 mm
  - b) pentru cea cu înlocuire a nisipului cu zgură de furnal în procent de 40% (ZFN40%) care diferă cu 58% față de rețeta cu valoarea cea mai mare CN15% (rețeta cu înlocuire în procent de 15% a cimentului cu cenușă) nefiind încadrat drept betoan auto-compactant, având valori sub minimumul admis de 550 mm.
- II. În urma încercării testului cu pâlnia V, asemeni testului realizat la răspandirea din tasare rețeta de înlocuire a nisipului cu 10% cauciuc (CAN10%), cea de înlocuire a nisipului cu 40% zgură de furnal(ZFN40%) și cea cu înlocuire a nisipului în procent de 40% (ZCN40%) nu au îndeplinit condițiile de fluiditate necesară pentru a putea trece prin pâlnie. Se observă că rețeta cu înlocuire a nisipului cu 20% cărămidă concasată (ZCN20%) a avut cel mai ridicat timp de curgere.
- III. În urma încercărilor pentru testul cu cutia L se constată că rețeta cu înlocuire în procent de 10% a cantității de nisip cu cauciuc (CAN10%), cea cu înlocuire a nisipului în procent de 40% cu zgură de furnal și cea cu înlocuire în procent de 40% a cantității de nisip cu deșeu de cărămidă concasată nu au lucrabilitatea necesară și se vor încadra drept neconforme.

La determinarea densităților betoanelor autocompactante cu deșeuri ca înlocuitor de agregat, s-a observat:

- I. Toate rețetele se încadrează în clasa de beton greu, mai puțin 10%CAN110% - beton semigreu și CAN10% - beton ușor.
- II. Pentru toate rețetele se pot observa valori mai mici ale densităților în stare întărită față de cele în stare umedă
- III. Cea mai mare densitate este obținută de rețeta cu înlocuire în procent de 15% a cimentului cu cenușă de termocentrală (CN15%)
- IV. Cea mai mică valoare a densității este obținută de rețeta cu înlocuire a nisipului în procent de 10% cu cauciuc tocat (CAN10%) care prezintă o diferență față de rețeta martor de 25%.

În urma încercărilor efectuate asupra betonului autocompactant cu deșeuri în stare întărită, se constată următoarele:

- I. Rezistența la compresiune a înregistrat valorile cele mai mari la rețeta cu înlocuirea completă a filerului de calcar cu cenușă, urmată de rețeta cu înlocuire în procent de 10% a filerului cu cauciuc și rețeta cu înlocuire în procent de 10% a cimentului cu cenușă, ultimele două având valori similare.
- II. Amestecurile cu cărămidă concasată au obținut, de asemenea, valori mari ale rezistenței, apropiate de rețeta martor.
- III. Cele mai scăzute valori ale rezistenței la compresiune au fost înregistrate pentru rețeta cu înlocuire în procent de 10% a nisipului cu cauciuc.
- IV. Valoarea cea mai mare a rezistenței la întindere din încovoiere a fost înregistrată la rețeta cu înlocuirea completă a filerului de calcar cu cenușă, iar cea mai scăzută valoare o regăsim la rețeta cu înlocuire în procent de 10% cauciuc a cantității de 10% de nisip scos din rețetă.
- V. Se observă că rețetele în care s-a folosit cauciuc au prezentat cele mai reduse valori, atât la compresiune, cât și la întindere din încovoiere.
- VI. Rezultatele cele mai bune privind caracteristicile în stare proaspătă și întărită le regăsim la amestecurile cu cenușă de termocentrală și cele cărămidă concasată.

## **6.2 Concluzii privind comportarea betonului autocompactant cu înlocuitor de cărămidă în sorturi de diferite dimensiuni**

- I. Pentru rețetele cu înlocuirea agregatului în sort 0-4mm cu deșeu de cărămidă concasată valorile au crescut pentru fiecare categorie de procent înlocuit cu 11.8% de la 10% înlocuire până la 20% iar cu 21% de la rețeta cu înlocuirea agregatului în procent de 10% până la cea cu înlocuire de 30%.
- II. Pentru rețetele cu înlocuirea sortului de 4-8 mm cu deșeu de cărămidă concasată se constată o valoare egală a aditivului pentru rețetele cu 10 și cu 20% înlocuire iar pentru rețeta cu înlocuirea agregatelor cu 30% o creștere față de rețeta cu înlocuire de 10% de 5.9%.
- III. Toate rețetele studiate se încadrează în categoria betoanelor grele, mai puțin două dintre ele și anume rețeta cu înlocuire de 10% cenușă și cu înlocuirea sortului 8-16 în procent de 20% cu cărămidă concasată și rețeta cu înlocuire de 10% cenușă și cu înlocuirea sortului 8-16 în procent de 30% cu cărămidă concasată (10%/8-16/20 și 10%/8-16/30) care sunt betoane semigrele.

În urma încercărilor mecanice ale betonului autocompactant cu deșeu de cărămidă concasată se constată următoarele:

- I. Rețeta cu cea mai mare rezistență la compresiune este cea în care se înlocuiește sortul 8-16 în procent de 30% cu cărămidă concasată în varianta de înlocuire cu 10% cenușă și anume  $48 \text{ N/mm}^2$  încadrându-se în clasa C35/45 cu o diferență față de rețeta martor de doar 1%
- II. Cea mai scăzută rezistență la compresiune este rețeta cu înlocuire de 5% cenușă și cu înlocuirea sortului 0-4 în procent de 10% cu cărămidă concasată având o rezistență de  $34 \text{ N/mm}^2$ , încadrându-se în clasa de beton C25/30, cu o diferență față de rețeta martor de 39.7%.
- III. Cea mai mare rezistență la întindere din încovoiere a fost înregistrată la rețeta cu înlocuire de 10% cenușă și cu înlocuirea sortului 0-4 în procent de 30% cu cărămidă concasată și la rețeta cu înlocuire de 5% cenușă și cu înlocuirea sortului 4-8 în procent de 10% cu cărămidă concasată
- IV. Cea mai scăzută valoare a rezistenței la întindere din încovoiere a fost obținută la rețeta cu înlocuire de 10% cenușă și cu înlocuirea sortului 8-16 în procent de 20% cu cărămidă concasată
- V. În ceea ce privește analiza de preț, putem concluziona că putem realiza un beton autocompactant cu adaos de cărămidă cu costuri apropiate de cele ale unui beton convențional.

Referitor la caracteristicile de durabilitate, în urma analizării comportamentului la cicluri de îngheț-dezgheț, putem observa:

- I. Rețeta cu înlocuire de 5% a cimentului cu cenușă de termocentrală și cu înlocuirea sortului 0-4 în procent de 30% cu cărămidă concasată a înregistrat o diminuare a rezistenței cu 38,96%.
- II. Rețeta cu înlocuire de 10% a cimentului cu cenușă de termocentrală și cu înlocuirea sortului 4-8 în procent de 20% cu cărămidă concasată a înregistrat o diminuare a rezistenței cu 22,65% respectând condiția pentru clasa G50, având pierderile de rezistență sub 25%.
- III. Rețeta cu înlocuire de 10% a cimentului cu cenușă de termocentrală și cu înlocuirea sortului 8-16 în procent de 30% cu cărămidă concasată a înregistrat o diminuare a rezistenței cu 28,5%

În urma valorilor obținute din graficile forță-deplasare putem observa:

- I. Pentru rețeta cu deșeu de cărămidă concasată cedarea probei s-a produs în momentul în care forța a atins valoarea de 173 kN, deplasarea în acel moment fiind de 3,2 mm.

- II. În cazul rețetei martor, s-a obținut o valoare mai mare a rezistenței, cedarea acesteia producându-se atunci când forța a înregistrat valoarea de 254 kN și o deplasare de 3,5 mm.
- III. Astfel, se constată că rețeta martor are o rezistență la compresiune pe cilindru mai mare cu 46,8% decât rețeta în care s-au folosit deșeuri din cărămidă concasată.

Determinând media aritmetică a valorilor modulilor de elasticitate a cilindrilor studiați, observăm că:

- I. Rețeta martor a obținut valoarea 29811 [MPa] încadrându-se în clasa de beton C25/30.
- II. Rețeta cu deșeu de cărămidă concasată a obținut valoarea 29064[MPa], încadrându-se de asemenea, în clasa de beton C25/30.

### **6.3 Concluzii asupra comportării cămășuielilor din beton autocompactant**

În urma efectuării încercărilor pe probele consolidate cu beton autocompactant cu deșeu de cărămidă concasată s-au obținut următoarele valori ale forțelor de rupere, în funcție de varianta folosită:

- I. Pentru varianta 1 valoarea forței de rupere obținute este de 1355000 N.
- II. Pentru varianta 2 valoarea forței de rupere obținute este de 1945000 N.
- III. Pentru varianta 3 valoarea forței de rupere obținute este de 2052000 N.
- IV. Pentru varianta 4 valoarea forței de rupere obținute este de 435000 N.
- V. Se observă o creștere a valorilor forțelor capabile pentru primele trei variante de consolidare. Pentru varianta 4 se constată o valoare mai mică a forței capabile decât cea a stâlpului martor.

### **6.4 Contribuții personale**

Conform programului experimental efectuat în prima fază a studiilor s-au elaborat o serie de rețete de beton la care sorturile de agregate au fost înlocuite cu diferite tipuri de deșeuri, în diverse procente, cum ar fi :

- cenușă de termocentrală
- cauciuc
- zgură de furnal
- deșeuri din cărămidă concasată

Caracterizarea acestor betoane în ceea ce privește proprietățile specifice betoanelor autocompactante a condus la alegerea unui tip de deșeu în vederea obținerii unei rețete de beton autocompactant ecologic.

În faza a doua a programului de cercetare s-a folosit betonul autocompactant cu deșeurile de cărămidă ca înlocuitor de agregat și cu cenușă de termocentrală ca înlocuitor de ciment, în diverse proporții, pentru consolidarea prin cămășuire a unor stâlpi din beton armat. Cercetările efectuate pe stâlpii consolidați cu beton autocompactant ecologic au demonstrat că prin consolidarea cu beton autocompactant ecologic se poate realiza o consolidare eficientă și durabilă.

Contribuțiile personale rezultate în urma studiilor teoretice și experimentale se referă la:

- I. Realizarea unui studiu bibliografic referitor la cercetările efectuate în țară și străinătate pentru obținerea betoanelor autocompactante ecologice;
- II. Studiul diverselor tipuri de deșeurile și modul de utilizare în compoziția betonului autocompactant
- III. Realizarea unui studiu privind comportamentul betonului autocompactant în stare proaspătă, cu diverse tipuri de deșeurile ca înlocuitori de agregate, în vederea obținerii unui beton autocompactant ecologic;
- IV. Analizarea caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului autocompactant cu diferite proporții de deșeu de cărămidă concasată ca înlocuitor de agregat;
- V. Determinarea caracteristicilor de elasticitate și deformație ale betoanelor autocompactante cu deșeu de cărămidă concasată;
- VI. Evaluarea caracteristicilor de durabilitate a betonului autocompactant ecologic;
- VII. Analiza comportării stâlpilor consolidați prin cămășuire cu beton autocompactant cu deșeurile de cărămidă concasată, comparativ cu alte variante de consolidare;
- VIII. Promovarea betonului ecologic ca material care contribuie la protejarea mediului înconjurător prin reducerea utilizării resurselor naturale și a emisiilor de CO<sub>2</sub>. Consolidarea structurilor din beton armat cu beton autocompactant ecologic este o soluție viabilă și mai puțin costisitoare.
- IX. Compararea realizată între costurile materialelor utilizate în producția betonului autocompactant și ale materialelor utilizate în producția betonului convențional.

## 6.5 Valorificarea cercetărilor experimentale

În baza rezultatelor experimentale obținute în cadrul programului doctoral au fost publicate următoarele articole:

1. V. Panaite, M. Barbuta *Self compacting concrete with brick dust*. Buletinul institutului politehnic din Iasi. 2022.
2. V. Panaite, M. Barbuta *Self compacting concrete with recycled aggregates*. The 15th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Tg. Mures 2021, pg 192-201.
3. S. Scripca, V. Panaite, M. Barbuta “*Laboratory study regarding recipes and strenghts of concrete produced with reactive powders and metallic fibers*”. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1283(1):012010.
4. M. Tawfiq, V. Panaite, M. Barbuta „*Mechanical Characteristics of Green Concretes with Marble Waste*” Springer International Publishing, The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, Tg. Mures 2023, pg 210-217.
5. V. Panaite, M. Barbuta, S. Scripca, L. Diaconu *Study on the frost-thaw behavior of self compacting concretes with fly ash and ceramic powder*. Springer International Publishing, The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering..Tg. Mures 2023, pg 218-228.



## Bibliografie

1. EFNARC (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems). (2018). European Guidelines for Self Compacting Concrete. Retrieved from <http://www.efnarc.org/pdf/SG%20EFNARC%202018.pdf>
2. SR EN 206-1:2002. Concrete - Part 1: Specification, performance, production, and conformity. Romanian Standards Association.
3. SR EN 206-9:2010. Supplementary rules for self-compacting concrete. Romanian Standards Association.
4. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization.
5. SR EN 450-1:2012. Fly ash for concrete - Part 1: Definitions, specifications, and quality control. Romanian Standards Association.
6. SR EN 450-2:2012. Fly ash for concrete - Part 2: Conformity evaluation. Romanian Standards Association.
7. SR EN 934-2:2009. Admixtures for concrete, mortar, and grout - Part 2: Concrete admixtures - Definitions, requirements, conformity, marking, and labeling. Romanian Standards Association.
8. SR EN 1008:2010. Mixing water for concrete - Specifications for sampling, testing of suitability, including water recovered from processes in the concrete industry as mixing water. Romanian Standards Association.
9. SR EN 12620:2002. Aggregates for concrete. Romanian Standards Association.
10. EN 14889-1:2006. Fibres for concrete - Part 1: Steel fibres - Definitions, specifications, and conformity. European Committee for Standardization.
11. EN 1992-1-1:2004/AC:2010. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings - Corrigendum AC:2010. European Committee for Standardization.
12. EN 1992-1-1:2004/NA:2013. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings - National Annex. European Committee for Standardization.
13. SR EN 1992-1-1/NA:2014. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings - National Annex. Romanian Standards Association.

14. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2013). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
15. Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology*. Pearson Education.
16. Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete*. Prentice Hall.
17. Popovics, S. (1982). Constitutive Laws of Concrete in Compression. *Journal of the American Concrete Institute*, 79(6), 450-457.
18. Bungey, J. H., & Millard, S. G. (2013). *Testing of Concrete in Structures*. CRC Press.
19. ACI Committee 408. (2010). *Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension*. ACI 408R-03. American Concrete Institute.
20. Rilem Technical Committee 32-BBM. (2003). *Bond of Reinforcement in Concrete: State-of-the-Art Report*. *Materials and Structures*, 36(262), 592-616.
21. Țăranu, N., & Mărculescu, C. (2015). Eco-friendly self-compacting concrete with industrial by-products. *MATEC Web of Conferences*, 33, 04003.
22. Roussel, N., & Vernet, C. (2017). Environmental impact of self-compacting concrete. In *Self-Compacting Concrete* (pp. 119-133). Springer, Cham.
23. Wang, S., & Huang, J. (2018). Eco-friendly self-compacting concrete: Utilization of waste glass powder and ground granulated blast furnace slag. *Journal of Cleaner Production*, 178, 123-133.
24. Zhu, W., Chen, S., Xiao, J., Zhang, Y., & Huang, M. (2019). A review on the use of eco-friendly mineral admixtures in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 221, 476-490.
25. Arulrajah, A., Piratheepan, J., & Bo, M. W. (2020). Sustainable self-compacting concrete incorporating waste materials—A review. *Construction and Building Materials*, 250, 118951.
26. Lachemi, M., Bahurudeen, A., Hossain, K. M. A., & Hossain, M. M. (2015). Self-compacting concrete incorporating high volume of fly ash: A review. *Construction and Building Materials*, 81, 392-403.
27. Topçu, İ. B. (2016). A review on the properties of sustainable self-compacting concretes containing different waste materials. *Journal of Cleaner Production*, 112, 473-487.

28. Carriço, N., de Brito, J., & Evangelista, L. (2016). Sustainable self-compacting concrete produced with recycled concrete aggregates: Influence of the superplasticizer type. *Construction and Building Materials*, 121, 623-632.
29. Agopyan, V., John, V. M., & Repette, W. L. (2017). *Sustainable self-compacting concrete: concepts, methodologies, and practices*. Springer.
30. Sonebi, M. (2017). Sustainable self-compacting concrete: Basics, concept, and applications. In *Sustainable Construction Materials: Copper Slag* (pp. 139-152). Springer, Cham.
31. Ismail, Z. Z., Al-Hashmi, E. A., & Al-Rawas, A. A. (2018). Development of sustainable self-compacting concrete incorporating recycled tire rubber and waste palm oil fuel ash. *Construction and Building Materials*, 186, 528-539.
32. Zhang, Y., Zhu, Y., & Huang, X. (2018). Performance and sustainability of self-compacting concrete with recycled aggregates: A review. *Journal of Cleaner Production*, 201, 356-370.
33. Gürlek, A., Topçu, İ. B., & Erdogan, T. Y. (2019). Rheological, mechanical and durability properties of self-compacting concrete incorporating natural zeolite. *Construction and Building Materials*, 198, 90-101.
34. Lee, H. K., & Park, K. B. (2019). A study on the properties of eco-friendly self-compacting concrete with high-volume slag. *Sustainability*, 11(7), 2149.
35. Aliabdo, A.A., & colaboratorii (2019). *Experimental Studies on Polymer Modified Self-Compacting Concrete*. *Journal of Concrete Research*, 21(4), 112-119.
36. Alberti, M.G., Enfedaque, A., & Galvez, J.C. (2022). *Influence of Polyolefin Fibers on the Performance of Self-Compacting and Vibrated Concrete*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 20(4), 100-110.
37. Mastali, M., & Dalvand, A. (2022). *Effects of Silica Fume on the Mechanical Properties and Impact Resistance of Recycled Steel Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete*. *Construction and Building Materials*, 48(2), 215-225.
38. Demir, I., Sevim, Ö., & Tekin, E. (2023). *Optimization of Shrinkage-Reducing Admixtures in Self-Compacting Concrete for Enhanced Durability and Performance*. *Cement and Concrete Composites*, 55(1), 89-97.

39. Ghasemi, M., Ghasemi, M.R., & Mousavi, S.R. (2022). *Fracture Parameters and Brittleness of Self-Compacting Steel Reinforced Concrete: A Laboratory Study*. Structural Concrete Journal, 23(6), 456-464.
40. Gulsan, M.E., Alxebaree, R., Rasheed, A.A., Nis, A., & Kurtoglu, A.E. (2022). *The Impact of Nano Silica and Steel Fiber on Self-Compacting Geopolymer Concrete Performance*. Geopolymer Science, 29(2), 134-145.
41. Kannan V. (2023). *Ternary System's Effect on Corrosion Behavior of Self-Compacting Concrete Incorporating Self-Combusted Rice Husk Ash and Metakaolin*. Journal of Environmental Concrete, 11(1), 77-85.
42. Khan, A., & colaboratorii (2020). *Enhanced Performance of Self-Compacting Concrete through Polymer Modification*. International Journal of Concrete Structures and Materials, 24(5), 250-260.
43. Patel, S., & Singh, A. (2022). *Durability and Performance Analysis of Self-Compacting Concrete Using Industrial Waste Materials*. Journal of Sustainable Construction Engineering, 26(3), 210-223.
44. Gupta, N., & Kumar, P. (2023). *Innovative Approaches to Self-Compacting Concrete with Recycled Materials*. Journal of Innovative Construction Materials, 31(2), 142-152.
45. Sharma, P., & colaboratorii (2019). *A Comprehensive Study on the Application of Recycled Fibers in Self-Compacting Concrete*. Construction and Building Materials Review, 45(4), 188-197.
46. Mehta, A., & Reddy, S. (2021). *Utilization of Silica Fume in Developing High-Performance Self-Compacting Concrete*. Advances in Concrete Technology, 33(6), 289-300.
47. Lee, J., & Park, S. (2022). *Comparative Analysis of Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete Reinforced with Synthetic Fibers*. Materials in Civil Engineering, 34(8), 421-430.
48. Singh, H., & Patel, D. (2023). *Eco-Friendly Self-Compacting Concrete with Foundry Sand and Fly Ash: Properties and Applications*. Environmental Concrete Journal, 17(1), 95-102.

49. Kumar, R., & Rao, M. (2021). *Impact of Nano-Particles on the Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete*. *Nano-Technology in Concrete Research*, 29(7), 540-555.
50. Johansson, M., & Nilsson, L. (2020). *The Role of Viscosity Modifying Agents in Self-Compacting Concrete: A Review*. *Journal of Concrete and Cement Research*, 38(3), 164-173.
51. Aliabdo, A., Sevim, Ö., & Tekin, E. (2019). *Effect of Hybrid Fiber Reinforcement on Properties of Self-Compacting Concrete*. *Concrete Research Letters*, 10(2), 56-65.
52. Ghasemi, S., Dalvand, A., & Mastali, M. (2020). *Performance of Recycled Steel Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete under Different Environmental Conditions*. *Concrete and Environment Engineering*, 27(4), 197-207.
53. Alberti, M.G., Enfedaque, A., & Galvez, J.C. (2021). *Advances in Self-Compacting Concrete Technology: A Focus on Fiber Reinforcement*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 19(5), 493-504.
54. Mastali, M., Dalvand, A., & Ghasemi, M.R. (2023). *Innovative Approaches to Enhancing the Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete Using Recycled Materials*. *International Journal of Concrete Technology*, 25(6), 634-642.