

**DETERMINĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND REUTILIZAREA  
BETOANELOR REZULTATE DIN DEMOLAREA CONSTRUCȚIILOR**

**Teză de doctorat – Rezumat**  
pentru obținerea titlului științific de doctor la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul de doctorat Inginerie Civilă și Instalații

**autor ing. Remus V. Chendeș**  
conducător științific Prof.univ.dr.ing. Corneliu Bob

februarie 2017

## CUPRINS

CUPRINS .....	2
<b>1. INTRODUCERE .....</b>	<b>5</b>
<b>2. MANAGEMENTUL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI (CDW) .....</b>	<b>7</b>
<b>3. RECICLAREA BETONULUI.....</b>	<b>9</b>
<b>4. AGREGATELE DIN BETON RECICLAT (RCA) .....</b>	<b>11</b>
<b>5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE BETOANE REALIZATE CU RCA 13</b>	
<b>5.1. Descrierea programului experimental .....</b>	<b>13</b>
<b>5.2. Materiale utilizate și rețete propuse.</b> Error! Bookmark not defined.	
5.2.1. Materiale utilizate.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.2. Rețete propuse .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>5.3. Caracteristicile agregatelor utilizate</b> Error! Bookmark not defined.	
5.3.1. Caracteristicile betonului demolat.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.2. Tehnologie utilizată la obținerea RCA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.3. Analiza granulometrică a agregatului RCA .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.4. Caracteristici fizice ale agregatelor utilizate .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.4.1. Densitatea agregatelor .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.4.2. Porozitatea intergranulară .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.4.3. Absorbția de apă .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.4.4. Rezistența la strivire .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>5.4. Caracteristicile betonului proaspăt...</b> Error! Bookmark not defined.	
5.4.1. Clasa de consistență .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.4.2. Densitatea betonului proaspăt ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

<b>5.5. Caracteristicile betonului întărit.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.5.1. Masa volumică normală a betonului întărit.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.5.2. Porozitatea și absorbția de apă ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.5.3. Rezistențe mecanice .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.5.4. Modulul de elasticitate .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.5.5. Adâncimea de pătrundere a apei sub presiune .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.5.6. Rezistența la îngheț-dezghet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>5.6. Carbonatarea betonului.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.6.1. Carbonatarea în condiții normale	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.6.2. Carbonatarea în condiții accelerate .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>5.7. Mortare utilizând parte fină reciclată (RCF).....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.7.1. Caracteristici ale RCF.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.7.1.1. Granulometrie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.7.1.2. Caracteristici fizico-chimice .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.7.2. Rezistențe mecanice ale mortarelor cu RCF	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.7.2.1. Grupul M1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.7.2.2. Grupul M2: Mortare de reparații .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>6. SUSTENABILITATEA UTILIZĂRII AGREGATELOR RCA .....</b>	<b>15</b>
<b>6.1. Modele de sustenabilitate....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>6.2. Studiu de caz privind aplicabilitatea modelului specific</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>7. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....</b>	<b>17</b>
<b>7.1. Agregate RCA obținute din reciclarea betonului ...</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>7.2. Mortare utilizând parte fină reciclată (RCF).....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>7.3. Beton de clasă C16/20 și C20/25 .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>7.4. Carbonatarea betonului studiat .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>7.5. Sustenabilitatea rețetelor studiate ...</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

<b>7.6. Recomndări .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>7.7. Contribuții personale.....</b>	<b>18</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>19</b>
<b>ANEXA A. Condiții de păstrare la carbonatare accelerată .....</b>	<b>Error!</b>
Bookmark not defined.	
<b>ANEXA B. Informații pentru parametrii sustenabilității.....</b>	<b>Error!</b>
Bookmark not defined.	



## 1. INTRODUCERE

Industria construcțiilor este considerată a fi, la nivel mondial, una dintre sursele principale ale creșterii economice. Institutul de statistică Eurostat, estimează pentru primele trei luni ale anului 2016 o producție în domeniul construcțiilor cu 3% mai mare decât în primele trei luni ale anului 2015, pentru statele Uniunii Europene (UE). În cazul României, creșterea este chiar mai mare, de 4.25% pentru primele luni ale anului 2016.

Pe de altă parte, această industrie, este una din principalele surse ale poluării, începând cu extragerea materiei prime și până la demolarea construcțiilor existente, furnizând cantități uriașe de deșeuri CDW (construction and demolition waste). Eurostat estimează că în anul 2014, cantitatea totală de deșeuri rezultate în urma proceselor economice și casnice, pentru cele 28 de state membre la momentul respectiv a fost de 2598 milioane de tone, fiind cea mai mare valoare înregistrată începând cu anul 2004 [1]. Din această cantitate, 33,5% a reprezentat CDW.

Termenul CDW alături de două noțiuni în definitiv foarte diferite, atât prin acțiunile tehnologice pe care le implică, cât și prin cantitatea și tipul de deșeuri rezultate. Deșeurile rezultate în urma proceselor de construcție sunt compuse din materiale mult mai actuale decât cele rezultate din demolări, deoarece în foarte puține situații se recurge la demolarea construcțiilor noi. Din punct de vedere cantitativ, procesele de demolare produc o cantitate de deșeuri raportată la metru pătrat de aproximativ 30 de ori mai mare decât procesele de construire. Volumul de CDW produs de către un stat depinde de o multitudine de factori, printre care se pot aminti gradul de educație al statului respectiv și populația în creștere.

Deșeurile produse de industria construcțiilor sunt foarte variate la nivel global, în funcție de structura construcției, dar și de materialele și procesele tehnologice folosite; clădirile de locuit unifamiliale din Statele Unite ale Americii prezintă structuri de rezistență realizate preponderent din cadre din lemn, în timp ce în Europa predomină cărămida arsă ca și material folosit în structură [2].

Analizând principala sursă a deșeurilor rezultate din demolări, aceasta este fără doar și poate reprezentată de clădiri a căror durată de viață a fost depășită și care nu mai corespund standardelor de conformare seismică din prezent, unele dintre ele fiind considerate chiar un pericol. Cea mai convenabilă variantă din punct de vedere economic este demolarea lor și valorificarea terenului pe care acestea se află construite. Deșeurile rezultate din demolarea construcțiilor sunt de cele mai multe ori contaminate [3] cu materiale din tâmplăria clădirii, cu adezivi, cu materiale din finisajele suprafețelor, cu materiale de termo și hidroizolație sau cu alte resturi, care îngreunează reciclarea acestora. Metoda folosită pentru demolarea unei construcții este un aspect deosebit de important; metode care asigură demolarea selectivă sau chiar o deconstrucție totală implică totodată și costuri mai ridicate decât procesele clasice de demolare.

Atât în industria construcțiilor cât și în cea a demolărilor, unul dintre cele mai întâlnite materiale este betonul, fie el simplu sau armat. Acesta este al doilea cel mai folosit material la nivel mondial, primul fiind considerat apa. Consumul de beton este într-o continuă creștere [4]: de la mai puțin de 2 miliarde de tone în anul 1950 la 21 de miliarde de tone în anul 2006.

Organizația numită „Intergovernmental Panel on Climate Change” sau IPCC, a raportat în anul 2005 [5] existența procesului de încălzire globală ca urmare a activităților umane și, prin urmare, îngrijorarea cu privire la acest fenomen a început să fie tot mai mare, an după an. Începând cu anul 2005, la nivel internațional, s-a adus în discuție tot mai des subiectul reciclării ca una dintre soluțiile pentru fenomenul de încălzire globală și tot mai multe cercetări în această direcție au fost realizate în ultimii ani. În prezent politica la nivel global se concentrează pe recuperarea, reciclarea și refolosirea diferitelor deșeuri de tip CDW, sau așa numita politică RRR.

Refolosirea, reciclarea și reducerea cantității de deșeuri sunt considerate a fi singurele metode de recuperare a deșeurilor generate, însă mai este loc de îmbunătățiri în această direcție [6].

Potrivit **Directivei Europene 2008/98/CE** [7], pînă la finele anului 2020, procentul minim al pregătirii în vederea reciclării deșeurilor de tip CDW „nepericuloase”, exceptând solul și rocile ce au în componență substanțe periculoase, definite în categoria 170504 în Catalogul European al Deșeurilor, să fie minim 70% din cantitatea totală. Această directivă subliniază aspirațiile Uniunii Europene de încurajare a procesului de reciclare, cu toate că în anul 2010 procentul de deșeuri CDW reciclate la nivelul țărilor membre a fost de doar 47% [8].

În legislația românească, **Legea Nr. 211/2011** republicată în 2014 [9] se referă la problema deșeurilor din punct de vedere tehnologic, al mediului înconjurător, dar și economic.

În momentul de față, principala formă de valorificare a deșeurilor de tip CDW este ca umplutură pentru drumuri și platforme. La nivel mondial, consumul de agregate este în jurul valorii de 20 000 milioane tone/an, cu o rată a creșterii de 4.7% [10].

Toate argumentele menționate mai sus constituie motivația efectuării programului teoretic și experimental care stă la baza tezei de doctorat, având un spectru larg de aplicabilitate.

Obiectivul principal al tezei îl constituie studiul betoanelor obținute cu agregate reciclate (RCA), a metodei tehnologice de obținere a agregatelor reciclate, a proprietăților RCA, precum și a sustenabilității folosirii acestor tipuri de agregate. De asemenea, o altă preocupare în cadrul studiului efectuat a fost folosirea părții fine din betonul reciclat (RCF) ca și liant. Nu în ultimul rând, prezenta lucrare realizează o analiză a sustenabilității utilizării RCA .

## 2. MANAGEMENTUL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI (CDW)

Într-o societate în care se pune tot mai mult accentul pe mediul urban, creșterea cantității deșeurilor, în special CDW (deșeuri provenite din lucrări de construcții și demolări), a dus la probleme majore privind depozitarea acestora atât la nivel local cât și la nivel global [11].

Deșeurile produse de **industria construcțiilor** sunt foarte variate la nivel global, în funcție de structura construcției, dar și de materialele și procesele tehnologice folosite.

Problemele de mediu rezultate din depozitarea necorespunzătoare a CDW sunt un motiv de îngrijorare, deoarece acestea afectează atât orașele, cât și împrejurimile acestora, ridicând discuții tot mai dese cu privire la adoptarea unor măsuri sustenabile de evacuare a acestora. Toate acestea au dus la adoptarea unor măsuri legale mult mai stricte, pentru a-i face responsabili, pe cei care generează deșeuri, de evacuarea sustenabilă a acestora, în cele din urmă fiind adoptată politica de minimizare a cantității de deșeuri rezultate, precum și politica reciclării acestora [12].

Deșeurile rezultate din **demolarea construcțiilor** sunt de cele mai multe ori contaminate cu materiale din tâmplăria clădirii, cu adezivi, cu materiale din finisajele suprafețelor, cu materiale de termo și hidroizolație sau cu alte resturi.

Deșeurile de tip CDW pot avea diverse compoziții, în funcție de proporțiile diferitelor materiale naturale folosite, precum și de tipul acestora. Compoziția acestora poate varia în funcție de soluțiile constructive adoptate, precum și de perioada în care construcția a fost edificată.

În ultimii 15 ani, cercetarea în domeniul CDW s-a concentrat pe trei teme principale și anume: generarea de deșeuri, reducerea acestora și reciclarea lor. Cu toate acestea, subiectul este mult mai amplu: reducerea la zero a deșeurilor necesită o abordare mai largă a problemei în ceea ce privește industria într-o continuă dezvoltare, noi politici cu privire la acest subiect, o educație formală în acest sens încă de la cele mai fragede vârste, sensibilizarea opiniei publice precum și subiecte de cercetare care să aducă o schimbare de atitudine și să reducă consumul inutil.

Managementul CDW este o problemă tratată diferit de fiecare țară în parte, fiind în strânsă legătură cu legislația țării respective. Cu toate acestea, generalizând, putem spune că managementul CDW se realizează corespunzător dacă se întreprind cel puțin următoarele acțiuni:

- eliminarea corectă a CDW, urmărindu-se tipul și cantitatea de deșeuri din fiecare tip, deoarece aceasta ne poate furniza informații cu privire la performanța echipamentelor folosite și a echipelor de lucru.
- investigarea pe plan local a condițiilor și opțiunilor de evacuare a CDW cu prioritizarea creerii pentru companiile de construcții de sisteme de preluare, colectare, sortare și reciclare a acestora.
- urmărirea reducerii, re folosirii și reciclării CDW, numită și „politica celor 3R”.

Raportul **Comisiei Europene (DG ENV)** [13] are ca una din concluzii faptul că definirea CDW în cadrul **Directivei Europene 2008/98/CE** nu este suficient de explicită pentru a putea, în cel mai clar mod posibil, identifica 100% corect CDW.

Se recomandă încadrarea deșeurilor în categoria CDW în funcție de natura lor precum și de proveniența acestora (activități de construcție sau demolare), indiferent de cine



întreprinde activitatea respectivă. Cele două probleme de interpretare care derivă de la această încadrare sunt:

1. Includerea deșeurilor generate de domeniul construcțiilor prin activități conexe ce se desfășoară pe perioada executării lucrărilor de către personalul aflat în incinta șantierului (ambalaje de alimente, resturi de alimente, etc.) care nu sunt incluse de directivă prin definiție în cadrul CDW.
2. Excluderea CDW generate de alte sectoare economice (ex: industrie), dar care sunt incluse de către directivă prin natura lor în cadrul CDW.

Cu toate acestea, cantitățile ce apar în plus sau în minus datorită celor două fenomene sunt neglijabile în comparație cu cantitatea totală de CDW generată și vor fi neglijate în continuare.

Valorile prezentate în tabelul de mai jos sunt valori raportate de țările membre, existând posibilitatea apariției unor diferențe între cantitatea raportată și cea reală. Aceste diferențe pot apărea din interpretarea diferită la nivelul fiecărui stat membru în parte.

Un factor deosebit de important în raportarea corectă a cantităților de CDW este includerea sau nu, a deșeurilor rezultate prin excavare în cadrul CDW. În multe din țările cu cantități mari de CDW generat, deșeurile rezultate din excavări reprezintă procente importante din cantitatea de CDW.

De asemenea, raportarea unor cantități mult prea mici de CDW, în cazul unora dintre state, poate reflecta lipsa unui control din partea autorităților, astfel s-a adoptat o cantitate minimă la nivelul țărilor membre U.E. de 0.94 t/locuitor [14]. Astfel, state ce declarau cantități mai mici, au fost luate în calculul statistic cu valoarea de 0.94 t/locuitor, ceea ce a dus la un total de CDW, generat la nivelul celor 27 de țări membre U.E. (UE 27), de 459,60 milioane tone pentru anul 2004 și de 461,37 milioane tone pentru anul 2005.

În cadrul proiectului Comisiei Europene denumit '*Resource Efficient Use of Mixed Waste*' demarat la începutul anului 2015 s-a propus analiza stadiului actual al managementului CDW în rândul țărilor membre ale U.E., evaluarea statisticilor oficiale cu privire la cantitățile de CDW, identificarea eventualelor surse de inexactitate cât și stabilirea celei mai bune gestionări în cadrul acestor țări. De asemenea se oferă recomandări care să asigure urmărirea efectivă a CDW, cât și acuratețea statisticilor.

Cea mai mare parte din CDW sunt în general deșeuri inerte [15] și din acest motiv nu reprezintă un pericol la fel de mare precum deșeurile periculoase sau deșeurile municipale. CDW sunt în general deșeuri amestecate, tipul lor depinzând în cea mai mare măsură de operația care a dus la generarea acestora, fie ea construire sau demolare.

Un procent de 35% din deșeurile solide generate la nivel mondial sunt obținute în urma proceselor de construire și demolare a construcțiilor [16], majoritatea ajungând ca umplutură, în mod necontrolat și neadecvat, în alte șantiere. În ultimii ani, numeroase studii s-au concentrat în direcția colectării de date referitoare la compoziția și cantitatea de CDW generată în diverse regiuni geografice și de diferitele sisteme constructive ale clădirilor.

Reciclarea constă în valorificarea deșeurilor și transformarea acestora în produse sau materiale care îndeplinesc aceeași funcție precum cea inițială sau o funcție nouă. Acest concept are un rol deosebit de important în folosirea eficientă a resurselor. În primul rând, eficiența reciclării depinde de volumul de material care este recuperat sau reciclat, acest volum putând să includă materialele generate pe parcursul procesului de producție sau la sfârșitul vieții unui produs.

Procesul reciclării este unul complex și cuprinde atât colectarea deșeurilor, cât și separarea acestora, procesarea și reintroducerea lor în piață sub aceeași sau aproape aceeași formă ca și cea inițială.

### 3. RECICLAREA BETONULUI

Agregatele obținute din reciclarea betonului (RCA) din demolări, constituie una dintre problemele importante în țările dezvoltate. Exploatarea abuzivă a agregatelor naturale a fost restricționată la nivel internațional datorită reducerii cantității de resurse primare în contextul protejării mediului înconjurător [17].

Domeniul construcțiilor este responsabil pentru o mare cantitate din deșeurile produse de omnire, precum și de o mare parte din consumul de energie [18]. RCA folosite în domeniul construcțiilor poate rezolva problema deficitului de agregate și poate reduce poluarea mediului înconjurător.

Cererea de agregate în această direcție poate ajunge la 83000 t/an, luând în considerare volumul mediu de agregate necesar pentru stratul de bază și fundația drumurilor (având la bază legislația construcției de drumuri din Portugalia), cu RCA având o densitate medie de  $1950 \text{ kg/m}^3$  și astfel având un factor de reducere de 44 % [19]. Necesarul de agregate pentru fabricarea betonului este estimat la 1 640 000 t/an, având la bază informații furnizate de stațiile de betoane din Portugalia [20]. Această valoare corespunde unui procent de 35% din ciment folosit de stațiile de betoane (din consumul la nivel național), în medie având densitatea de  $1870\text{-}2400 \text{ kg/m}^3$  pentru agregate și pentru betonul întărit, respectiv o medie de 20% pentru RCA folosite în fabricarea de betoane noi. Cu toate acestea, valorile prezentate au un grad mare de nesiguranță, atâta timp cât exista dovezi că RCA poate fi folosit în betoane noi cu proprietăți acceptabile în cantități mult mai mari [21], [22].

Tehnicile de demolare precum și managementul deșeurilor rezultate din construirea și demolarea construcțiilor sunt principalele probleme în dezvoltarea unei construcții sustenabile.

O altă problemă legată de gestionarea deșeurilor, mai ales în zonele aglomerate, este cantitatea de beton reciclat rezultată din demolarea construcțiilor, de două ori mai mare decât necesarul de beton reciclat. În general, apare cererea pentru beton reciclat, acolo unde resursele naturale sunt sărace în piatră naturală.

Cele două reguli de bază care trebuie respectate în cazul proceselor de demolare sunt:

- existența unui plan de management al deșeurilor, precum și posibilitatea reciclării;
- procesele de demolare trebuie să se desfășoare în condiții de siguranță, în baza unui proiect tehnic care să reducă riscul de apariție a accidentelor [23].

La sfârșitul perioadei de viață a unei construcții există trei posibilități de abordare a problemei, în funcție de bugetul avut la dispoziție precum și de restricțiile impuse de protecția mediului [24].

- **deconstruirea** presupune îndepărtarea elementelor care nu sunt de rezistență de pe structura clădirii și reconstruirea având la bază structura veche;
- **refolosirea structurii de rezistență** se face prin demontarea și re folosirea elementelor ce fac parte din structura de rezistență, acest fenomen fiind întâlnit mai ales în cazul construcțiilor metalice;
- **demolarea** poate fi completă sau parțială, cea completă fiind cea mai întâlnită dintre variante. Pentru evitarea generării de deșeuri și de materiale de umplură, trebuie luate în considerare re folosirea și reciclarea unora dintre materiale.

Principala metoda folosită în Europa este demolarea cu ajutorul excavatoarelor fie tragând la sol părți ale construcției cu ajutorul cupei, fie dezmembrând cu ajutorul foarfecelor hidraulice sau prin percuție.

În conformitate cu NP 55-88, procesul de demolare necesită o pregătire prealabilă, astfel încât să se poată gestiona în condiții de siguranță și cu o cantitate de deșeuri rezultată cât mai mică.

Betonul poate fi reciclat prin măcinarea acestuia și obținerea de agregate reciclate din beton (RCA) sau pulbere reciclată (RCF).

Odată concasat betonul, se realizează sortarea agregatelor, acestea putând fi folosite fie ca strat suport în industria drumurilor, fie pentru fabricarea de betoane noi.

Principiul instalațiilor de reciclare a betonului este același cu cel pentru reciclarea altor materiale minerale, fiind relativ simplu și presupune de obicei sortarea manuală a acestuia, mărunțirea acestuia, o separare magnetică de resturile de metale și în final cernerea. Instalațiile de reciclare a betonului pot fi fixe, cu mai multe procese de mărunțire și cernere sau mobile având avantajul că se elimină operații precum transportul atunci când se dorește reutilizarea betonului în cadrul aceluiași șantier.

Reciclarea betonului include de cele mai multe ori și operațiunea de mărunțire a acestuia la diferite dimensiuni cu ajutorul concasoarelor. În ultima perioadă aceste dispozitive au suferit îmbunătățiri care permit obținerea unei calități mai bune a betonului reciclat precum și creșterea cantității de material obținut.

#### 4. AGREGATELE DIN BETON RECICLAT (RCA)

Folosirea agregatelor reciclate în domeniul construcțiilor a început odată cu terminarea celui de-al Doilea Război Mondial când betonul rezultat din demolarea șoselelor degradate a fost folosit ca agregat reciclat, pentru stratul suport al noilor drumuri [25].

Când ne referim la agregate reciclate (RA), este important de știut conținutul acestora, existând o clasificare pentru acestea [26] care stabilește 3 tipuri principale:

- **Tipul I:** agregate din zidării reciclate (recycled masonry aggregates- **RMA**);
- **Tipul II:** agregate din beton reciclat (recycled concrete aggregates- **RCA**);
- **Tipul III:** agregate reciclate combinate cu agregate naturale (mixed recycled aggregates- **MRA**).

**Standardul Australian CSIRO** [27], definește clasa 1A de RCA ca fiind compusă din agregate de bună calitate, cu un conținut de resturi de zidărie nu mai mare de 0.5%, putând fi folosite într-un număr mare de aplicații, ulterior determinării caracteristicilor acestora în condiții de laborator. Acest standard permite înlocuirea agregatelor naturale în procent de până la 30% în producția de elemente nestructurale precum bordurile, fiind evitată folosirea RCA în elemente structurale. Restricțiile se aplică în ciuda faptului că se specifică atingerea unor rezistențe, ale betoanelor realizate cu RCA, de 30-40 Mpa în medii neagresive.

**Standardul Olandez VBT 1995** permite înlocuirea NAT de până la 20%, cu RCA sau MRA, în betoane noi, fără a fi necesară efectuarea de încercări de laborator suplimentare, pentru betoane a căror rezistență la compresiune nu este necesar să fie mai mare de 65 Mpa.

Pentru obținerea de agregate reciclate de bună calitate se utilizează instalații performante mobile sau fixe, acestea având ca și produs final agregate grosiere. Pentru ca aceste agregate să poată fi diferențiate în funcție de proprietățile lor, în agregate pentru industria drumurilor sau agregate pentru fabricarea de betoane noi, este necesară o sortare amănunțită a acestora [28], operațiune la care se utilizează un echipament de sortare.

Comparativ cu agregatele naturale (NA) folosite la fabricarea betonului, RCA prezintă, datorită pietrei de ciment mărunțite, o densitate mai mică precum și o absorbție de apă mai ridicată [29]. Conținutul pietrei de ciment variază de la o șarjă de RCA la alta, fiind direct influențat de rezistența pietrei

de ciment din betonul demolat, dimensiunea granulelor obținute precum și de modul de concasare și de numărul de concasări prin care trece betonul demolat în timpul procesului de producție [30]. Cercetările de până în prezent au stabilit o plajă destul de largă a conținutului de piatră de ciment, de 20% până la 70% din masa de RCA [31].

Un alt aspect important este faptul că pentru granulele de RCA conținând NA și piatră de ciment cu proprietăți similare, influența proprietăților pietrei de ciment asupra proprietăților RCA este un grafic liniar [32].

În ultima perioadă s-a pus accentul asupra studiului agregatelor din beton reciclat (RCA), datorită proprietăților superioare față de cele obținute din zidărie reciclată.

Agregatele obținute din betonul reciclat conțin de obicei într-o cantitate mai mică sau mai mare și particule de agregate naturale îmbrăcate parțial sau total de un strat de piatră de ciment; prezența pietrei de ciment este cea care influențează calitatea RCA.

Numeroși autori au studiat influența pietrei de ciment mărunțite, atașate de agregatele naturale din betonul reciclat, asupra proprietăților fizice ale RCA (densitate, absorbție de apă), precum și asupra proprietăților betonului proaspăt (lucrabilitatea) și betonului întărit (proprietăți mecanice și de durabilitate) realizat cu RCA [33], [34], [35].

De asemenea, până în prezent nu s-a remarcat nici o metodă practică de separare completă a agregatelor naturale de piatră de ciment, astfel cantitatea de piatră de ciment din cadrul RCA este variabilă [36].

Proprietățile pe care este necesar să le aibă RCA folosite într-un beton structural trebuie să fie aceleași cu cele ale NA, ceea ce duce la clasificarea RCA în funcție de următoarele proprietăți:

- fizice;
- mecanice;
- chimice;
- geometrice.

Toate aceste proprietăți sunt definite atât ca și valori și interpretare, cât și ca metodă de realizare a determinării în standarde caracteristice fiecărei țări.

## 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE BETOANE REALIZATE CU RCA

Scopul cercetării experimentale din acest capitol este de a realiza betoane de masă volumică normală (betoane obișnuite) utilizate pentru structuri de rezistență la care s-a înlocuit agregatul natural de râu cu 50% și 100% RCA (agregat obținut din reciclarea betonului întărit) sau fracțiuni din agregatul natural cu fracțiuni din agregat RCA. Dimensiunea maximă a agregatului utilizat a fost de 16 mm (Tabel 5.1).

Fractiunea	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Dimensiune, [mm]	0-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-4	4-8	8-16

Tabel 5.1 Notății fracțiuni

Au fost realizate determinări de laborator privind caracteristicile fizico-mecanice pentru:

- Agregate:
  - NAT (agregat natural de râu);
  - RCA (agregat rezultat din reciclarea betonului întărit).
- Betoane cu clasele de rezistență: C16/20 și C20/25.

Rețetele de beton s-au împărțit pe 3 grupuri, în funcție de clasa de beton și de utilizarea sau nu a aditivului superplastifiant, după cum urmează:

- **G1:** Clasa de rezistență C16/20 +aditiv superplastifiant;
- **G2:** Clasa de rezistență C16/20 (fără aditiv superplastifiant);
- **G3:** Clasa de rezistență C20/25 +aditiv superplastifiant.

Pentru grupurile G1 și G3 s-a propus clasa de consistență S3 a betonului proaspăt.

Toate cele 3 grupuri G1, G2 și G3 au o rețetă martor (M\_Gx) și câte 8 rețete cu agregat RCA. Modul de realizare al rețetelor se prezintă în **Error! Reference source not found.**

Principalele aspecte urmărite prin cercetarea experimentală se prezintă în continuare:

1. Influența înlocuirii agregatului natural de râu cu 50% și 100% agregatului RCA, asupra betoanelor cu masa volumică normală de clasă C16/20 și C20/25 (grupurile G1 și G3; rețetele M, R1 și R8);
2. Influența înlocuirii unei singure fracțiuni din agregatul natural de râu (NAT) cu agregat RCA, asupra betoanelor cu masa volumică normală de clasă C16/20 și C20/25 (grupurile G1 și G3; rețetele M, R1 și R8);
3. Comportarea și evoluția rețetelor de beton cu RCA fără adaos de aditiv superplastifiant (grupul G2);
4. Influența aditivului superplastifiant asupra rețetelor de beton cu RCA: Grupul G2 este identic ca și compoziție cu G1 dar fără aditiv superplastifiant;
5. Comportarea betoanelor cu masa volumică normală, realizate cu agregat RCA la creșterea de clasă, de la C16/20 la C20/25.

Materialele utilizate la prepararea rețetelor au fost:

- Ciment: CEM I 42,5R furnizat de către Holcim România;
- Agregate :
  - RCA (0-16mm)- obținute din reciclarea betoanelor;
  - NAT(0-16mm)- agregate naturale de râu;
- Aditiv: superplastifiant SikaPlast 421 (produs de firma SIKA) utilizat pentru betoane cu agregate cu proprietăți inferioare;
- Apă: din rețeaua de alimentare publică a orașului Timișoara.

Aditivul a fost ales la recomandările producătorului, avându-se în vedere faptul că în cadrul programului s-a propus înlocuirea agregatului de râu cu agregat reciclat, ale cărui caracteristici diferă de cele ale agregatului natural.

Materialul RCA utilizat în programul de cercetare propus, este rezultat în urma demolării unei construcții de tip industrial, având structura de rezistență din cadre de beton armat, situată în Timișoara. Anul de edificare al construcției este circa 1980, astfel vârsta fizică a betonului din structură fiind de circa 35 ani. În scopul de a avea un control cât mai mare asupra rezultatelor materialului RCA folosit pe de-alungul întregii cercetări, acesta a rezultat din mărunțirea unui singur tip de element al structurii, și anume grinzile acesteia, din beton armat .

A fost propusă de asemenea, realizarea unor rețete de mortare de ciment, care își propun înlocuirea unei părți din cimentul folosit la realizarea rețetei, cu pulbere de beton reciclat, acest lucru are la bază teoria conform căreia prin spargerea matricei liante din beton întărit se vor sparge și granulele de ciment rămase nehidratate rezultând anumite suprafețe din granulele de ciment,

potențial active hidraulic. Scopul este valorificarea acestor granule nehidratate de ciment rămase în piatra de ciment din betonul întărit.



## 6. SUSTENABILITATEA UTILIZĂRII AGREGATELOR RCA

Termenul de sustenabilitate a primit de-alungul timpului mai multe definiții, însă cea mai frecvent utilizată este aceea conform căreia, „dezvoltarea durabilă este dezvoltarea care urmărește satisfacerea nevoilor prezentului, fără a compromite posibilitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi” [37].

Pentru evaluarea sustenabilității clădirilor există la nivel internațional numeroase programe de certificare și încadrare în categorii de performanță.

Modelul specific ia în calcul cele trei dimensiuni: mediu înconjurător, factorul social și cel economic. Se pornește de la ecuația conform căreia, cele trei valori însumate au ca rezultat indicele de sustenabilitate SI, care în situația ideală are valoarea „1”.

$$SI = S_{env} + S_{eco} + S_{soc} \quad (6.1)$$

$$S_{env} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \frac{P_i^{Renv}}{P_i^{env}}; S_{eco} = \sum_{i=1}^n \beta_i \times \frac{P_i^{Reco}}{P_i^{eco}}; S_{soc} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \times \frac{P_i^{Rsoc}}{P_i^{soc}} \quad (6.2)$$

Unde:

SI- Indice de Sustenabilitate

$S_{env}$ ,  $S_{soc}$ ,  $S_{eco}$ - indici de sustenabilitate pentru dimensiunea mediului înconjurător, economic și social

$\alpha_i$ - factorul de multiplicare pentru fiecare parametru al dimensiunii de mediu înconjurător

$\beta_i$ - factorul de multiplicare pentru fiecare parametru al dimensiunii economice

$\gamma_i$ - factorul de multiplicare pentru fiecare parametru al dimensiunii factorului social

$P_i^{env}$ ,  $P_i^{eco}$ ,  $P_i^{soc}$  – valori calculate pentru fiecare parametru

$P_i^{Renv}$ ,  $P_i^{Reco}$ ,  $P_i^{Rsoc}$  – valori de referință pentru fiecare parametru

Plecând de la ecuația 6.1, aceasta a fost ajustată, astfel încât indicele de sustenabilitate va rezulta din ecuația:

$$SI = \left(0,2 \cdot \frac{E^R}{E} + 0,2 \cdot \frac{L_s}{L_s^R}\right) + \left(0,2 \cdot \frac{C^R}{C} + 0,1 \cdot \frac{M^R}{M}\right) + \left(0,05 \cdot \frac{N^R}{N} + 0,05 \cdot \frac{W}{W^R} + 0,05 \cdot \frac{D^R}{D} + 0,15 \cdot \frac{R}{R^R}\right) \quad (6.3)$$

Unde:

- E- energie [mJ/m<sup>3</sup>];
- L<sub>s</sub>- suprafață de teren salvată [%/m<sup>2</sup>];
- C- cost [euro/m<sup>3</sup>];
- M- forța de muncă [h/m<sup>3</sup>];
- W- pierderi [%/m<sup>3</sup>];
- D- praf [%/m<sup>3</sup>];
- N- zgomot [dB];
- R- rezistențe [N/mm<sup>2</sup>]

Pentru a putea fi calculați factorii de mediu, social și economic, s-a urmărit atât demolarea în ansamblu, cât și procesul de mărunțire a grinzilor din beton armat, din care s-a confecționat materialul.

## 7. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Densitatea în grămadă este superioară în cazul NAT, comparativ cu RCA, atât în stare afânată cât și în stare îndesată, fapt ce sugerează că în cazul RCA suma dintre volumul de goluri dintre granule și porozitatea granulelor este mai mare decât în cazul NAT.

Granulele de RCA sunt mai colțuroase comparativ cu agregatul natural de râu NAT pentru majoritatea fracțiunilor și prezintă o absorbție de apă mai mari decât agregatul natural NAT.

Rezistența la strivire (sortul F7 8-16 mm), înregistrează o scădere de circa 16% a rezistenței RCA comparativ cu agregatul NAT.

Caracteristicile agregatelor RCA sunt influențate atât de caracteristicile betoanelor din care s-au obținut, cât și de tehnologiile de obținere a acestora.

Înlocuirea cimentului cu 15%, 30% și 45% cu agregat reciclat RCF sau agregat natural NAT (dimensiuni  $<0,063$  mm și  $<1$  mm) a dat compoziții având rezistențe la compresiune, la 28 de zile, mai reduse cu 14% pentru o înlocuire de 15% și 49% pentru o înlocuire de 45% a cimentului. Nu se constată creșteri semnificative ale rezistențelor în cazul folosirii RCF, comparativ cu rețetele la care s-a folosit agregat nisip natural (NAT).

Rețetele studiate au înregistrat valori mari ale rezistențelor mecanice, atât la vârsta de 7 zile cât și la 28 zile, asemănătoare mortarelor clasice; prin utilizarea cenușii zburătoare de termocentrală alături de RCF s-au obținut rezistențe mecanice la 28 zile, de  $10 \text{ N/mm}^2$  pentru  $f_t$  și  $70 \text{ N/mm}^2$  pentru  $f_c$ .

Cercetarea asupra adâncimii de carbonatare în cazul betoanelor realizate cu agregate RCA, atât în condiții normale de dioxid de carbon ( $0,03\% \text{ CO}_2$ ), cât și în condiții de carbonatare accelerată ( $50\% \text{ CO}_2$ ), au dus la stabilirea următoarelor concluzii:

- Valoarea adâncimii de carbonatare ( $\bar{x}$ ) determinată experimental, cât și teoretic, este de circa 7 ori mai mare în cazul unei concentrații de  $50\% \text{ CO}_2$ , ceea ce înseamnă că prin creșterea concentrației de  $\text{CO}_2$  se poate simula carbonatarea betonului într-o perioadă mai lungă de timp.
- Pentru utilizarea de RCA, cu aceiași parametri de compoziție, fără să se utilizeze aditiv superplastifiant suplimentar, adâncimea de carbonatare crește odată cu înlocuirea fracțiunii fine, cazuri pentru care și rezistențele la compresiune sunt mai mici, între 1 și 18% față de martor.

- Determinările experimentale la un procent de CO<sub>2</sub> de 50%, corelate cu rezultatele din literatură aproximează o perioadă de expunere la 0,03% CO<sub>2</sub> de 5 ani în cazul rețetelor cu 100% RCA, și 9,5 ani în cazul celor cu 50% agregat înlocuit.

### **Contribuții personale**

Prin tema propusă și dezvoltată pe parcursul tezei de doctorat, au fost scoase în evidență următoarele contribuții personale importante:

1. Propunerea și realizarea unui program experimental vast care se referă la:
  - Demolarea unor construcții existente;
  - Realizarea unor mortare de reparații și a unor betoane de clasă C16/20 și C20/25 prin utilizarea de agregate reciclate.În cercetările viitoare există un plan de utilizare a rețetelor favorabile, în realizarea și încercarea de elemente din beton armat.
2. Determinarea experimentală, prin utilizarea unor tehnici de investigare moderne a proprietăților agregatelor și betoanelor întărite, cum ar fi:
  - agregate: proprietăți fizice și optice (prin analiză SEM, BET, microscopie optică), proprietăți mecanice (rezistențe la strivire), chimice (XRD);
  - beton proaspăt: condiții de malaxare, clasă de consistență, densitate;
  - beton întărit: rezistența la compresiune  $f_c$  și rezistența la întindere prin încovoiere  $f_t$ , modul de elasticitate, rezistența la îngheț-dezghet, adâncimea medie de carbonatare atât în condiții normale, cât și pentru o carbonatare accelerată.
3. Pentru implementarea unei folosiri extinse a agregatelor reciclate s-a calculat sustenabilitatea rețetelor experimentale prin stabilirea indicelui de sustenabilitate.
4. Contribuțiile teoretice ale autorului se referă la:
  - stabilirea unui coeficient propriu privind carbonatarea accelerată a betonului;
  - propunerea unor coeficienți proprii, folosiți la calculul indicelui de sustenabilitate;
  - interpretarea rezultatelor determinărilor experimentale prin comparare cu estimările teoretice date de literatura de specialitate și propunerile autorului.

## BIBLIOGRAFIE

1. **European Commission.** Eurostat Waste statistics. [Interactiv] 2016.  
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics).
2. **Merino, M. R., Gracia, P. I. and Azevedo, I. S. W.** Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. *Waste Management & Research*. 2010, Vol. 28.
3. **Falk, R. H. &McKeever, D. B.** *Recovering wood for reuse and recycling, a United States perspective*. s.l. : European COST E31 Conference, 2004.
4. **World Business Council on Sustainable Development.** *Concrete Recycling- A Contribution to Sustainability*. 2008. FullReport.
5. **IPCC.** *Carbon Dioxide Capture and Storage*. s.l. : IPCC Special Report, 2005.
6. *Evaluations of existing waste recycling methods: A Hong Kong study.* **Vivian W.Y. Tam, C.M. Tam.** s.l. : Building and Environment, 2006, Vol. 41.
7. **Directive 2008/98/ec.** <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework>. [Interactiv]
8. *Management of Construction and Demolition.* **Sonigo P, Hestin M and Mimid S.** s.l. : Stakeholders Workshop, 2010.
9. **Monitorul Oficial.** *Legea 211/2011 privind regimul deșeurilor, republicată 2014.*
10. *Aggregates and construction markets in Europe: Towards a sectorial action plan on sustainable resource management.* **B, Bleischwitz R and Bahn-Walkowiak.** s.l. : Minerals Engineering, 2011, Vol. 22.
11. **Rodriguez G, Alegre F, Martinez G.** The contribution of environmental management systems to the management of construction and demolition waste: the case of the Autonomous Community of Madrid. *Resources, Conservation and Recycling*. 2007, 50(3):334–49.
12. **Ekanayake L, Ofori G.** Building waste assessment score: design-based tool. *Building and Environment*. 2004, 39(7):851–61.
13. **European Commission.** *SERVICE CONTRACT ON MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE – SR1*. s.l. : Bio Intelligence Service, 2011. ENV.G.4/FRA/2008/0112.
14. **ENECO S.a.** *Stand und Perspektiven bei der Entsorgung von unbelasteten mineralischen*. 2003.
15. **Franklin Associates.** *Characterization of Building Related Construction and Demolition Debris in the United States*. s.l. : US Environmental, 1998. EPA-530-R-98-010.
16. **S, Hendriks C F and Pietersen H.** Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste. *Cachan Cedex*. RILEM Publication, 2000.
17. *Performance of recycled aggregate concrete.* **M.C. Limbachiya, A.Koulouris, J.J.Roberts, A.N.Fried.** Koriyama, Japan : Proceedings of the RILEM International Symposium on Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development, RILEM Publications SARL, 2004.
18. **D. Krajnc, P.Glavič.** *A model for integrated assessment of sustainable development*. s.l. : Resour.Conserv.Recycl, 2005.
19. **Domone, Illston J M and.** *Construction materials: their nature and behaviour*. s.l. : J M Illston and P L J Domone, 2011.

20. ), **APEB** ( 2011. <http://www.apeb.pt/news4.htm>. [Interactiv] Portuguese Association of Ready-Mixed Firms, 2011. [Citat: 28 November 2014.]
21. *Properties of steam cured recycled aggregate fly ash concrete*. **Kou S C, Poon C S and Chan D**. Barcelona : Rilem International Proceedings of the Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings, 2004.
22. *Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement*. **A, Richardson**. s.l. : Structural Survey, 2010, Vol. 28( 2).
23. *On the sustainability of deconstruction and recycling: A discussion of possibilities of end- of-lifetime measures*. **P, Kamrath**. Vienna : 3rd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, 2012.
24. *Design for recycling*. **Kowalczyk, Dorsthorst B J and**. Karlsruhe : Proceedings of the CIB TG39 Deconstruction Meeting, Design for Deconstruction and Materials Reuse, 2002.
25. *Early Age Properties of Recycled Aggregate Concrete*. **F.T., Olorusongo**. Scotland, UK : Proceeding of the International Seminar on Exploiting Wastes in Concrete held at the University of Dundee, 1999.
26. **RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures)**. *Specifications for concrete with recycled aggregates*. s.l. : Materials and Structures, 1994.
27. **CSIRO**. *Guide to the use of recycled concrete and masonry materials (HB 155) Standards Australia*. 2002.
28. *A sorting method to value recycled concrete*. **et.al., Regis Sebben Paranhos**. 112, s.l. : Journal of Cleaner Production, 2016.
29. *Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate*. **A, Sanchez de Juan M S and Gutierrez P**. s.l. : Construction and Building Materials, 2009, Vol. 23.
30. *Effects of the parent concrete properties and crushing procedure on the properties of coarse recycled concrete aggregates*. **Akbarnezhad A, Ong K C G , Tam C T and Zhang M H**. s.l. : Materials in Civil Engineering, 2013.
31. *Recycling and reuse of waste concrete in China. Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete*. **Li X, Akbarnezhad A**. s.l. : Resources, Conservation and Recycling, 2008, Vol. 53.
32. *Acid treatment technique for determining the mortar content of recycled concrete aggregates*. **Akbarnezhad A, Ong K C G , Zhang M H and Tam C T**. s.l. : ASTM, 2013.
33. *Influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate*. **Sanchez de Juan M, Alaejos Gutierrez P**. Barcelona : Proc Int RILEM Conf on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures, 2004.
34. *Performance and properties of structural concrete made with recycled concrete aggregate*. **Shayan A, Xu A**. s.l. : ACI Mater J, 2003, Vol. 100(5).
35. *Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete*. **Otsuki N, Miyazato SS, Yodsudjai W**. s.l. : J Mater Civ Eng, 2003, Vol. 15(5).
36. *Microwave assisted beneficiation of recycled concrete aggregates*. **Akbarnezhad A, Ong K C G , Zhang M H , Tam C T and Foo T W J**. s.l. : Construction and Building Materials, 2011, Vol. 25.
37. **Development, World Commission on Environment and**. *Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development* . 1987.