

**Contribuții referitoare la utilizarea deșeurilor refolosibile
la producerea unor noi tipuri de
materiale de construcții**

TEZA DE DOCTORAT

Autor: Ing. Cătălin BADEA

Conducător științific: Prof. dr. ing. Corneliu Bob

BIBLIOTECA CENTRALĂ
nr. volum 644 / 700
369 / 11

TIMIȘOARA

2004

CUPRINS

| | |
|---|----------|
| I. Capitolul 1. INTRODUCERE. SCOPUL ȘI OBIECTUL TEZEI | 1 |
| 1.1. Introducere..... | 1 |
| 1.2. Scopul și obiectul tezei..... | 3 |
| | |
| II. Capitolul 2. STUDIU DOCUMENTAR ASUPRA UNOR DEȘEURI INDUSTRIALE..... | 4 |
| 2.1 Introducere..... | 4 |
| 2.2. Cenușa de la centralele termoelectrice | 4 |
| 2.2.1. Generalități | 4 |
| 2.2.2. Obținerea cenușilor..... | 4 |
| 2.2.3. Proprietățile fizice | 5 |
| 2.2.3.1. Aspect exterior, formă..... | 5 |
| 2.2.3.2. Granulozitatea și suprafața specifică | 7 |
| 2.2.4. Compoziția chimică elementară | 10 |
| 2.2.5. Compoziția mineralogică..... | 12 |
| 2.2.6. Locul cenușilor în sistemul CaO -Al ₂ O ₃ -SiO ₂ | 14 |
| 2.2.8. Influența cenușii de termocentrală asupra proprietăților betonului..... | 15 |
| 2.2.9. Posibilitățile de utilizare și valorificare a cenușilor de termocentrală | 17 |
| 2.2.10. Condiții tehnice de admisibilitate ale cenușilor pe diferite domenii de utilizare | 20 |
| 2.2.11. Determinări pe cenușile utilizate la cercetări experimentale..... | 20 |
| 2.3. Fosfogips | 22 |
| 2.3.1. Generalități | 22 |
| 2.3.3. Caracteristici generale ale fosfogipsului | 23 |
| 2.3.3. Utilizări posibile ale fosfogipsului | 25 |
| 2.3.4. Limitări în utilizarea fosfogipsului..... | 26 |
| 2.4. Silice ultrafină | 27 |
| 2.4.1. Generalități | 27 |
| 2.4.2. Rolul silicei ultrafine | 28 |
| 2.4.3. Utilizarea silicei ultrafine | 29 |
| 2.4.4. Specificații pentru utilizarea silicei ultrafine..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5. Zgura de furnal | 31 |
| 2.5.1. Generalități | 31 |
| 2.5.2. Unele domenii de utilizare a zgurilor de furnal..... | 35 |
| 2.6. Concluzii..... | 38 |
| | |
| III. Capitolul 3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE MATERIALE REALIZATE CU ȘLAM DENS..... | 39 |
| 3.1. Introducere..... | 39 |
| 3.2. Proces tehnologic..... | 39 |
| 3.3. Stabilirea compozițiilor | 40 |
| 3.4. Porozitatea și absorbția de apă | 44 |
| 3.5. Densitatea aparentă și rezistențele mecanice..... | 46 |
| 3.6. Rezistența la îngheț-dezghet..... | 68 |
| 3.7. Radioactivitatea materialelor cercetate..... | 73 |
| 3.8. Studiu financiar informativ..... | 73 |
| 3.9. Concluzii generale | 74 |
| | |
| IV. Capitolul 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE MATERIALE REALIZATE CU CENUȘĂ DE TERMOCENTRALĂ, SILICE ULTRAFINĂ ȘI FOSFOGIPS | 76 |
| 4.1. Introducere..... | 76 |
| 4.2. Materiale componente și proces tehnologic. | 76 |
| 4.3. Materiale realizate cu cenușă zburătoare..... | 77 |
| 4.3.1. Stabilirea compozițiilor | 77 |
| 4.3.2. Caracteristici fizico-mecanice | 78 |
| 4.3.3. Concluzii referitoare la caracteristicile fizico-mecanice | 84 |
| 4.3.4. Contractia | 88 |
| 4.3.5. Coeficientul de conductivitate termică..... | 91 |
| 4.3.6. Studiu financiar informativ..... | 92 |
| 4.3.7. Concluzii generale | 96 |
| 4.4. Materiale realizate cu cenușă zburătoare și silice ultrafină. | 97 |
| 4.4.1. Stabilirea compozițiilor | 97 |
| 4.4.2. Caracteristici fizico-mecanice | 98 |
| 4.4.3. Concluzii referitoare la caracteristicile fizico-mecanice | 100 |
| 4.4.4. Concluzii generale | 104 |

| | |
|---|------------|
| 4.5. Materiale realizate cu cenușă zburătoare ultrafină și silice ultrafină..... | 105 |
| 4.5.1. Stabilirea compozițiilor | 105 |
| 4.5.2. Caracteristici fizico-mecanice | 106 |
| 4.5.3. Concluzii referitoare la caracteristicile fizico-mecanice | 112 |
| 4.5.4. Con tracția | 115 |
| 4.5.5. Concluzii generale | 117 |
| 4.6. Materiale realizate cu cenușă zburătoare ultrafină și fosfogips..... | 118 |
| 4.6.1. Stabilirea compozițiilor | 118 |
| 4.6.2. Caracteristici fizico-mecanice | 119 |
| 4.6.3. Concluzii referitoare la caracteristicile fizico-mecanice | 121 |
| 4.6.4. Concluzii generale | 122 |
| | |
| V. Capitolul 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE MATERIALE REALIZATE CU CENUȘĂ ZBURĂTOARE ULTRAFINĂ, CU ȘI FĂRĂ STICLĂ SOLUBILĂ..... | 123 |
| 5.1. Introducere..... | 123 |
| 5.2. Materiale realizate cu cenușă zburătoare ultrafină și sticlă solubilă | 123 |
| 5.2.1. Generalități | 123 |
| 5.2.2. Materiale componente și proces tehnologic | 123 |
| 5.2.3. Stabilirea compozițiilor | 125 |
| 5.2.4. Caracteristici fizico-mecanice | 126 |
| 5.2.6. Concluzii generale | 139 |
| 5.3. Materiale realizate cu cenușă zburătoare ultrafină, fără sticlă solubilă..... | 140 |
| 5.3.1. Materiale componente și proces tehnologic | 140 |
| 5.3.2. Stabilirea compozițiilor | 140 |
| 5.3.3. Densitatea aparentă și rezistențe mecanice..... | 143 |
| 5.3.4. Porozitatea și absorbția de apă | 161 |
| 5.3.5. Rezistența la îngheț-dezgheț..... | 162 |
| 5.3.6. Con tracția | 167 |
| 5.3.7. Uzura | 170 |
| 5.3.8. Conductivitatea termică..... | 171 |
| 5.3.9. Comportarea în medii agresive (Salinitate)..... | 171 |
| 5.3.10. Studiu financiar informativ..... | 173 |
| 5.3.11. Radioactivitatea materialelor cercetate..... | 179 |
| 5.3.12. Concluzii generale | 180 |

VI. Capitolul 6. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE..... 183

BIBLIOGRAFIE 186

**ANEAXA A Cercetări experimentale realizate în cadrul proiectului
 internațional COPERNICUS (confidențial)..... 194**

**ANEAXA B Fotografii cu modul de păstrare și starea materialelor realizate cu
 șlam dens din timpul derulării programului de cercetare.....219**

Capitolul 1

INTRODUCERE. SCOPUL ȘI OBIECTUL TEZEI

1.1. Introducere

Dezvoltarea industriei din ultimul secol, în special a industriei prelucrătoare a creat pe lângă problema asigurării materiilor prime în volume din ce în ce mai mari și pe cea a deșeurilor industriale rezultate în procesele de producție care au ajuns în cantități impresionante; aproape toate procesele industriale au ca și subprodus secundar deșeurile.

Reintroducerea în circuitul economic în toate sectoarele acestuia și în special în sfera construcțiilor, a deșeurilor, produselor secundare și a materialelor refolosibile de la exploatarea de materii prime și din procesele tehnologice de prelucrare a acestora, este una din problemele ce preocupă omenirea și pentru care în toate țările lumii și în special în țările puternic dezvoltate industrial se depun eforturi umane și materiale în vederea găsirii soluțiilor celor mai eficiente.

Problema valorificării acestor deșeuri este abordată în prezent sub multiple aspecte cum ar fi cele tehnico-economice și în special ecologice.

Domeniile de valorificare sunt foarte variate și încep cu industria ce le produce, care pe lângă măsurile de recuperare maximă a tuturor substanțelor utile, trebuie să asigure o depozitare, sortare și evacuare corespunzătoare nevoilor viitorilor potențiali beneficiari. În industria construcțiilor, ramura materialelor de construcții este unul din valorificatorii potențiali cei mai însemnați.

Dintre principalele tipuri de deșeuri și subproduse existente în țara noastră, ce se pretează utilizării în construcții, ale căror volume și caracteristici le justifică a fi cercetate, se menționează: cenuși de termocentrală, zguri metalurgice, subproduse pe bază de ipsos, silice ultrafină, sterile de la exploatarea de substanțe nemetalifere, sterile de mină de la exploatarea carbonifere, șlamuri, deșeuri de lemne, deșeuri de cauciuc, deșeuri de porțelan, faianță, gresie, deșeuri de materiale de construcții.

O categorie aparte de deșuri industriale este reprezentată de **deșeurile periculoase**.

În 1999, în România, au fost identificate 145 de tipuri de deșuri periculoase, din totalul de 237 înscrise în Catalogul European de Deșuri. Printre principalele tipuri de deșuri periculoase prezente în cantități apreciabile în țara noastră se numără și fosfogipsul /67/.

În general, ca urmare a lipsei de amenajări și a exploatării deficitare, depozitele de deșuri se numără printre obiectivele recunoscute ca generatoare de impact și risc pentru mediu și sănătatea publică. Principalele forme de impact și risc determinate de depozitele de deșuri orășenești și industriale, în ordinea în care sunt percepute de populație, sunt:

- modificări de peisaj și disconfort vizual;
- poluarea aerului;
- poluarea apelor de suprafață;
- modificări ale fertilității solurilor și ale compoziției biocenozelor pe terenurile învecinate.

Astfel, sunt necesare activitățile de monitorizare a factorilor de mediu afectați de prezența deșeurilor.

Atât în România, ca și în alte țări din Europa, deșeurile industriale cum ar fi cenușa de termocentrală, zgura de furnal, fosfogipsul ș. a. se găsesc în cantități importante. Principalele dezavantaje ale acestor deșuri industriale se referă atât la prezența lor ca și materiale poluante ale mediului înconjurător cât și la ocuparea unor terenuri însemnate în zonele în care acestea se produc. Aceste deșuri industriale și-au găsit o utilizare redusă în țara noastră; în unele țări din vestul Europei cenușa de termocentrală, se utilizează în proporție de 80%. Principalele domenii în care asemenea deșuri industriale se pot folosi sunt: cel al industriei materialelor de construcții și cel al amenajării teritoriului.

Realizarea unor noi investiții economice impune cercetării științifice să-și mărească aportul la promovarea materialelor și tehnologiilor noi cu consumuri reduse de materiale și energie cât și identificarea unor soluții optime pentru conservarea și protecția mediului înconjurător, prin valorificarea subproduselor reutilizabile (cenușă, zgură, fosfogips, silice ultrafină), existente în cantități mari.

În țara noastră și în alte țări sunt elaborate programe complexe de cercetare și valorificare a deșeurilor, finanțate și coordonate atât de organisme de stat cât și de organisme internaționale. Astfel, autorul a participat, pe această temă, la un program de cercetare internațional finanțat de Uniunea Europeană și a fost director la un program Grant finanțat de Ministerul Educației și Cercetării din România.

1.2. Scopul și obiectul tezei

Scopul acestei teze de doctorat constă în valorificarea deșeurilor industriale prin realizarea unor noi materiale de construcții.

Subprodusele industriale utilizate în cadrul cercetărilor sunt cenușa de termocentrală, fosfogipsul, silice ultrafină și zgura.

În figura 1.1 se prezintă distribuția principalelor categorii de deșeuri industriale, generate în anul 1999 /67/.

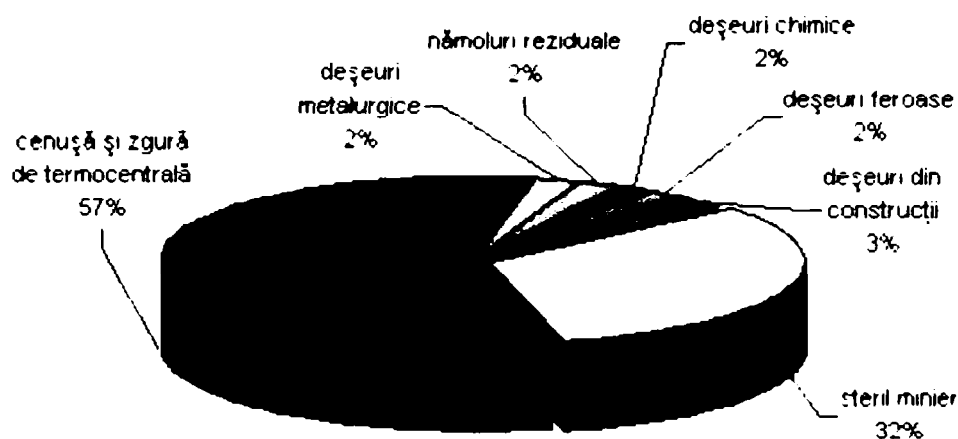


Figura 1.1 /67/

Se distinge un procent însemnat, de 57% (6,4 milioane tone), reprezentat de cenușa și zgura de termocentrală, astfel că realizarea noilor materiale de construcții s-a făcut cu lianți amestecați pe bază de cenușă de termocentrală.

Atingerea obiectivului tezei s-a făcut prin derularea unui program de cercetări teoretice și experimentale realizat în următoarele etape:

- studiu documentar asupra unor deșeuri industriale (cenușă de termocentrală, fosfogips, silice ultrafină și zgură de furnal);
- cercetări experimentale de laborator și in situ cuprinzând stabilirea de compoziții, realizarea probelor și efectuarea încercărilor experimentale;
- realizarea unui studiu comparativ între materialele noi și materialele de construcții clasice;
- întocmirea unui studiu financiar informativ.

Utilizarea unor materiale de construcții realizate cu deșeuri industriale se va face numai pe baza unor aprobări speciale cu avizul sanitar eliberat de organismele abilitate ale Ministerului Sănătății.

Capitolul 2

STUDIU DOCUMENTAR ASUPRA UNOR DEȘEURI INDUSTRIALE

2.1 Introducere

În cadrul acestui capitol s-a făcut un studiu documentar pe baza bibliografiei din literatura de specialitate privind următoarele deșeuri industriale: cenușa de termocentrală, fosfogipsul, silicea ultrafină și zgura. Acestea pot fi utilizate, în diferite proporții, la realizarea de materiale de construcții.

2.2. Cenușa de la centralele termoelectrice

2.2.1. Generalități

În România utilizarea cenușii este foarte redusă astfel că peste 95% din cantitatea rezultată trebuie depozitată. Cenușa și zgura de termocentrală creează mari dificultăți producătorilor de energie, sub aspectul captării și depozitării, care generează mari probleme referitoare la conservarea și protecția mediului înconjurător; în același timp prezintă rezerve importante de materii re folosibile neenergointensive mai ales pentru domeniul construcțiilor. Reprezintă puzzolana cea mai comună și cea mai utilizată în domeniul construcțiilor.

Din arderea cărbunilor de la centralele termoelectrice se obțin cantități de cenușă care constituie 10-15% din masa huilei și 80-85% din masa ligniților inferiori.

2.2.2. Obținerea cenușilor

Termocentralele ce folosesc drept combustibil cărbunele se bazează în cea mai mare parte pe producția internă de cărbune pentru producția de energie. Acestea folosesc în proporție de 90 % lignit și până la 10 % huilă.

Deoarece combustibilul solid este de calitate inferioară, cantitatea de zgură și de cenușă rezultată în urma arderii se ridică la cca 30-40 % din cantitatea de cărbune ars.

În centralele termoelectrice cărbunii se ard sub formă de pulberi fin măcinate într-un curent de gaze suflat prin injectoare. Cenușa rezultată este antrenată cu gazele de ardere, fiind captată printr-un sistem special prezentat în figura 2.1.

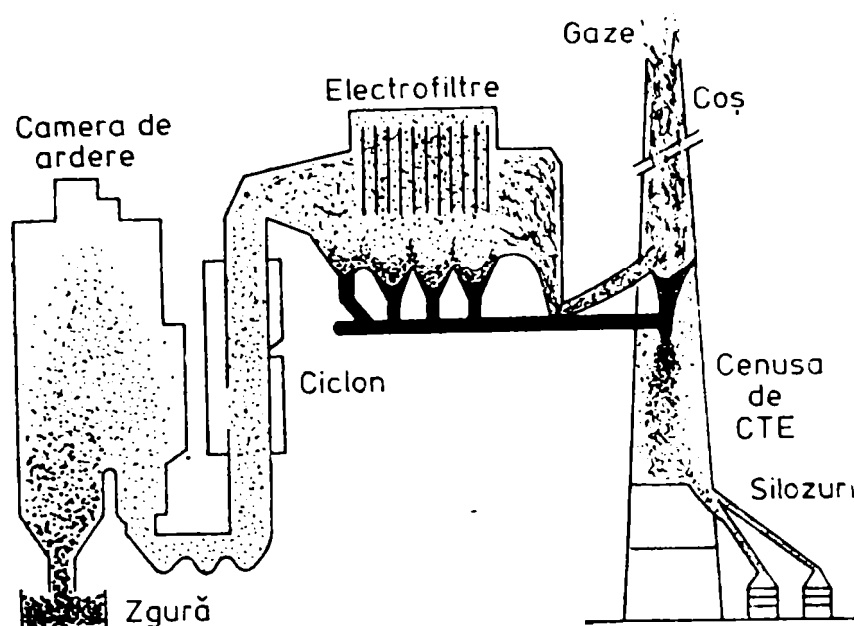


Figura 2.1 Sistem de captare a cenușii de termocentrală /5/

Fracțiunile grosiere (max. 20 %) se depun la partea inferioară a cazanului de ardere, putând fi aglomerate prin topituri parțiale sub formă de zgură de dimensiuni cuprinse între 3 și 100 mm, constituind zgura de focar. Partea fină este antrenată cu gazele, depunându-se în cicloane (separatoare mecanice). Frațiunea cea mai fină este reținută prin electrofiltre, constituind cenușa zburătoare activă /5/. Cenușa zburătoare captată uscat de la electrofiltre este cea mai valoroasă.

Instalația de separare a cenușii poate asigura o purificare a gazelor de evacuare de până la 97 %. Cu toate acestea gazele de ardere conțin multe "elemente de urmă" (germaniu, vanadiu, stronțiu, cobalt, beriliu etc.) în stare volatilă sau adsorbită de particulele fine de cărbuni, diminuând considerabil prezența lor în cenușă /5/.

Având în vedere zăcămintele de cărbuni, centralele termoelectrice din țara noastră au fost amplasate în vecinătatea acestora.

2.2.3. Proprietățile fizice

2.2.3.1. Aspect exterior, formă

Cenușile de la centralele termoelectrice, în funcție de natura cărbunilor și de condițiile de ardere, pot avea o nuanță de culoare variabilă între gri deschis până la brun (figura 2.2).



Figura 2.2

Culori specifice cenușii de termocentrală

Culoarea cenușii este o importantă proprietate fizică, exprimând cantitatea de var prezentă. Se poate spune că o culoare deschisă indică prezența în cantitate mare a oxidului de calciu iar o culoare închisă sugerează un conținut mare de cărbune.

Trebuie menționat că cenușa poate afecta culoarea betonului făcându-l mai închis.

Formarea granulelor este influențată de proveniența cenușii: cenușile care provin de la arderea cărbunilor bruni conțin granule cu forme rotunjite, apropiate de cea sferică, spre deosebire de cenușile de lignit care au granule cu forme neregulate în cantitate mai mare.

În funcție de locul de captare (figura 2.1), la arderea cărbunilor rezultă zguri (figura 2.3a) și cenușă grosieră și fină (figura 2.3b).

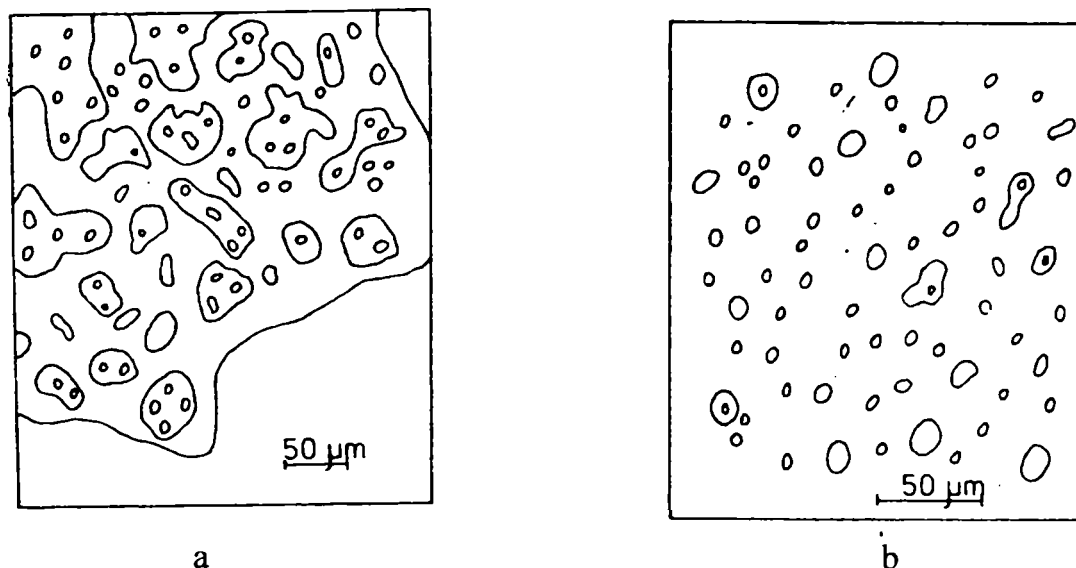


Figura 2.3 Forma cenușilor /5/

Ultimele 2 tipuri se prezintă sub formă de pulbere (cu suprafețe specifice cuprinse între 2000 și 6000 cm²/g după metoda Blaine) și cu o paletă largă a repartițiilor dimensionale.

După aspectul exterior se prezintă ca pulberi compacte la mărimi naturale (figura 2.3b), ca sfere microporoase la microscopie optică (figura 2.4a), respectiv ca sfere sticloase compacte sau cavernoase la microscopie electronică (figura 2.4b) /5/.

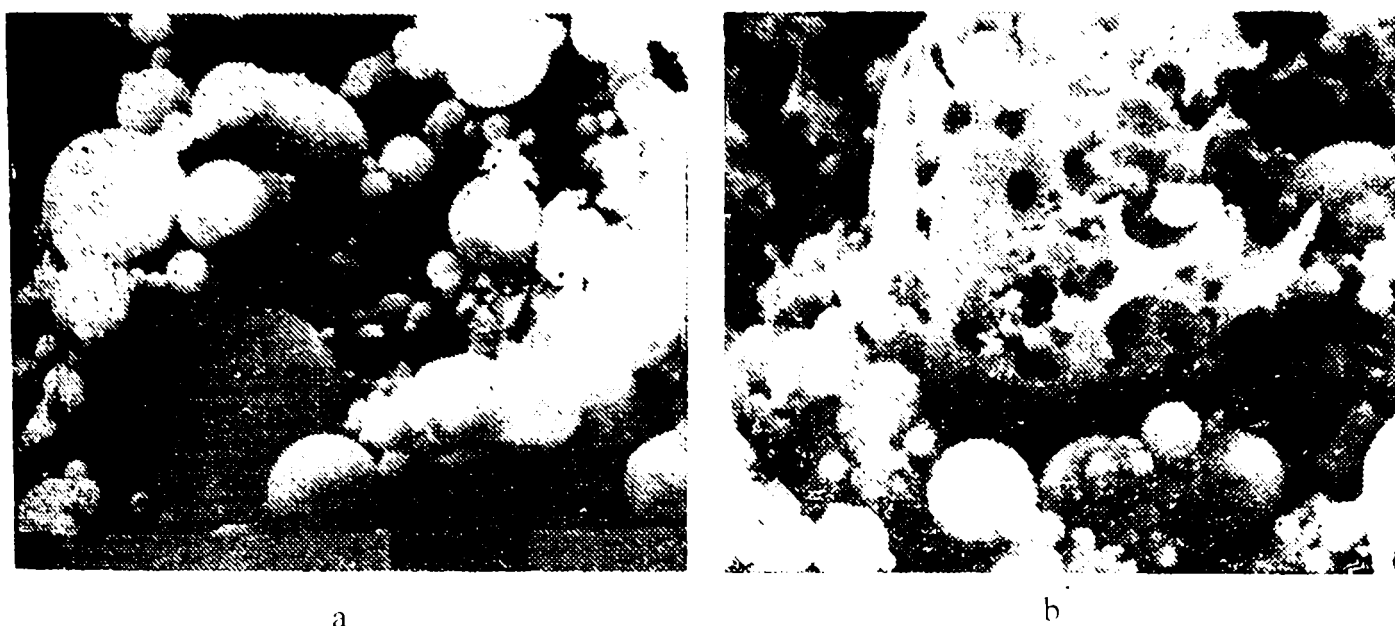


Figura 2.4 Forma cenușilor la microscop electronic /5/

Este avantajos când particulele de cenușă au formă sferică deoarece ameliorează lucrabilitatea mortarelor și a betoanelor la care se adaugă (figura 2.5).

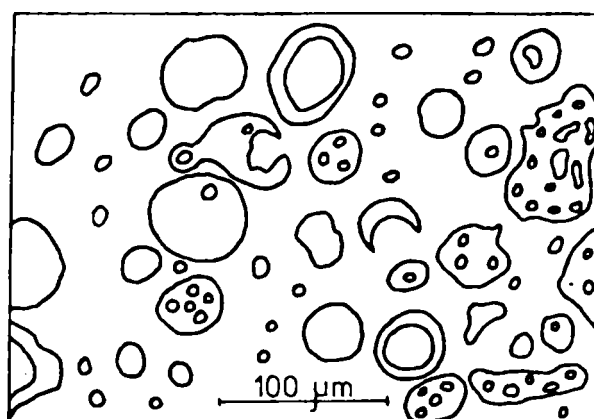


Figura 2.5 Forma cenușilor /4/

La folosirea cenușii ca adaos la măcinarea clincherului de ciment, formele sferice se distrug devenind poliedrice cu implicații defavorabile asupra lucrabilității, plasticității și coeziunii pietrei de ciment din beton.

2.2.3.2. Granulozitatea și suprafața specifică

Studiind cenușile de la centralele termoelectrice din punct de vedere granulometric, acestea se înscriu în limite largi după cum se poate observa în figura 2.6 /5/.

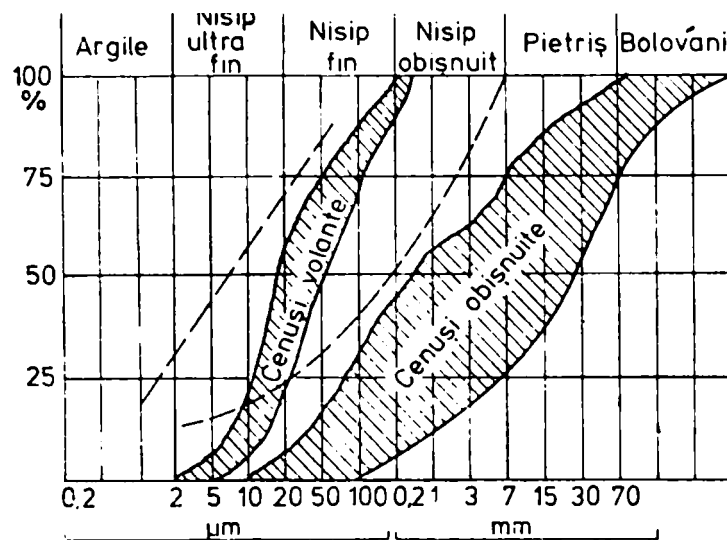


Figura 2.6 Granulometria cenușilor de termocentrală /5/

Zonele sunt mai restrânse pentru cenușile zburătoare (volante) captate la electrofiltre, acestea satisfăcând condițiile pentru a putea fi utilizate ca adaosuri.

Cenușile semifine și grosiere, evacuate în halde, sunt mai puțin utilizabile din cauza activității hidraulice mai reduse și a umidității variabile.

În figura 2.7 se prezintă comparativ limitele granulozității pentru cenușa captată în electrofiltru, în ciclon cât și pentru zguri.

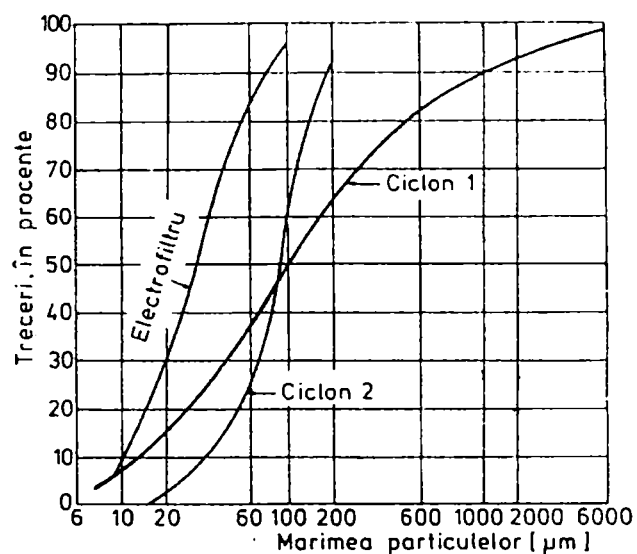


Figura 2.7 Granulozitatea cenușii în funcție de locul de captare /5/

Zonele de granulozității pentru cenuși din România, de proveniență diferită, se prezintă în figura 2.8.

După N. Voina dimensiunea medie a particulelor e cuprinsă între 20 și 100 μm având o distribuție gaussiană, iar fracțiunea mai mică de 60 μm prezintă un interes major pentru activitatea hidraulică. Pentru cenușile din țara noastră această fracțiune se situează între 20% și 60 % conferind un potențial hidraulic mediu.

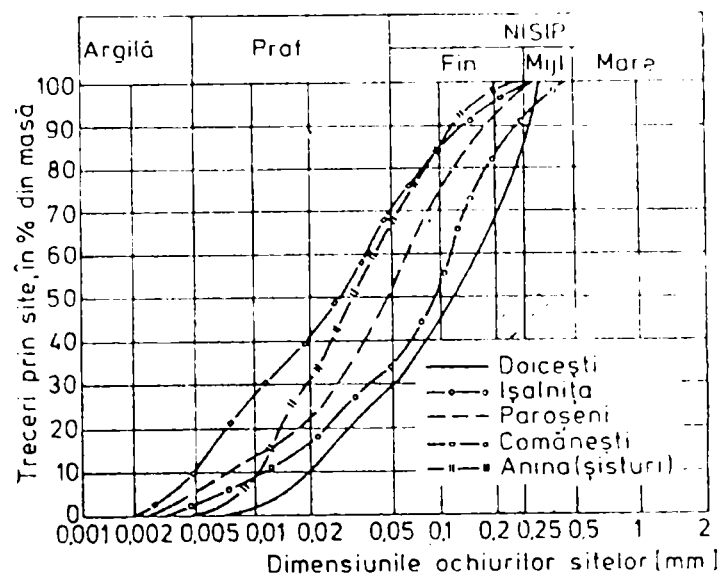


Figura 2.8 Granulometria cenușilor de termocentrală din România /5/

Cenușa zburătoare ultrafină are dimensiunile particulelor de 1-5 μm în comparație cu cenușa zburătoare care are particule cu diametrul de 20-30 μm .

Reactivitatea cenușii este foarte mare când diametrul mediu al particulelor este mai mic de 5 μm . În ceea ce privește particulele grosiere de cenușă, acestea pot fi considerate ca reprezentând „microagregat”.

Evaluarea activității hidraulice a cenușilor este indicat a se face după criteriul suprafeței specifice în locul criteriului de granulozitate.

Suprafața specifică determinată prin metoda Blaine, este cuprinsă între 2000 și 6000 cm^2/g . Aceasta nu este ușor de determinat, deoarece în metoda bazată pe permeabilitatea aerului, particulele sferice ale cenușii asigură o densitate de împachetare mai mare, deci o fracțiune de goluri mai mică (figura 2.9) decât particulele de formă neregulată ale cimentului utilizat pentru etalonare, așa încât rezistența opusă de cenușă la trecerea aerului este mai mare /110/.

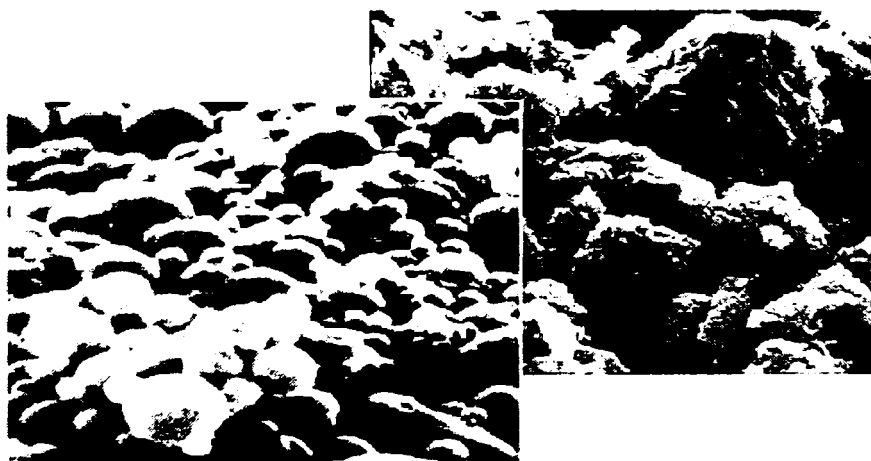


Figura 2.9

Fotografii la microscop a cenușii zburătoare (stânga) și a cimentului portland (dreapta)

Valoarea mare pentru suprafața specifică a cenușii contribuie la capacitatea acestui material de a reacționa cu hidroxidul de calciu.

Suprafața specifică este în corelație cu densitatea conform datelor prezentate în figura 2.10.

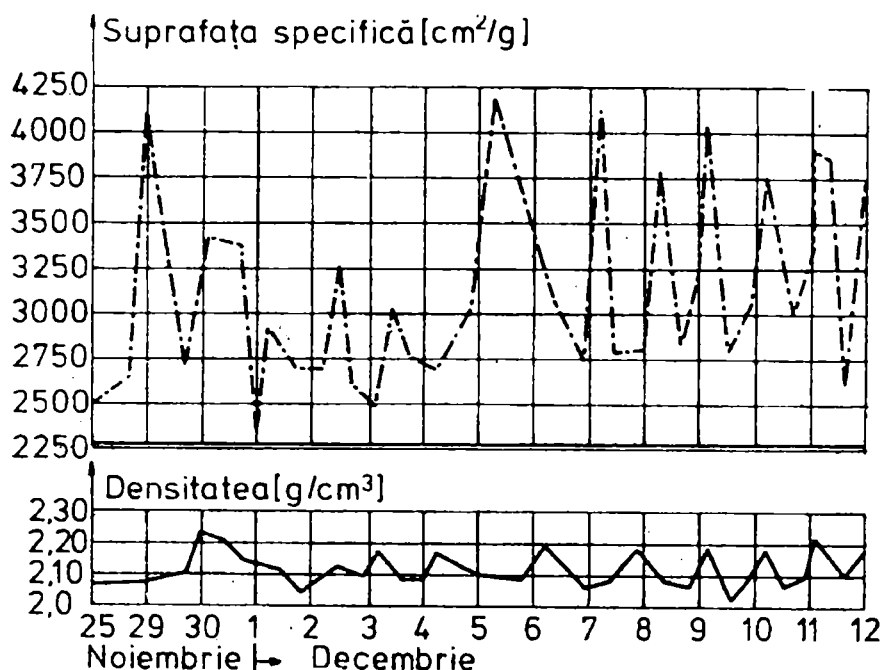


Figura 2.10 Variația în timp a suprafeței specifice și a densității /5/

Se observă o variabilitate pronunțată a suprafeței specifice, chiar de la o zi la alta, cu influențe semnificative asupra proprietăților fizico-mecanice ale cenușii.

Aceeași centrală va produce cenușă cu proprietăți variabile, atunci când cărbunele folosit pentru ardere prezintă neuniformități pe termen scurt sau lung.

O altă cauză a proprietăților variabile ar putea fi regimul de funcționare al centralei termoelectrice prin prisma necesarului de energie produs.

Nu se poate vorbi de o cenușă tipică sau „standard”, deoarece nu este un produs special ci doar un subprodus rezultat la arderea cărbunilor. Din acest motiv, utilizarea cenușii de termocentrală în cantitate mare trebuie atent controlată.

2.2.4. Compoziția chimică elementară

Odată cu arderea cărbunilor, în cenușă se concentrează o serie de elemente chimice care intră în diverse combinații complexe sau în amestecuri de oxizi. Astfel, în tabelul 2.1 se prezintă compozițiile în oxizii principali pentru cenușile din România și din alte țări /5/.

Tabelul 2.1

| Sursa energetică | Compoziția chimică (%): | | | | | |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----------------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ |
| Cărbune superior, SUA | 55 | 23 | 8 | 6 | 2 | 1 |
| Lignit, SUA | 38 | 17 | 6 | 31 | 9 | 1 |
| Cărbune superior, Franța | 50 | 28 | 9 | 4 | 3 | 1 |
| Lignit, Franța | 25 | 15 | 10 | 35 | 2 | 4 |
| Cărbune superior, România | 50 | 27 | 10 | 4 | 3 | 2 |
| Lignit, România | 45 | 21 | 9 | 12 | 4 | 2 |
| Cărbune superior, Ungaria | 53 | 28 | 10 | 2 | 2 | 1 |
| Lignit, Ungaria | 58 | 17 | 10 | 6 | 2 | 3 |
| Cărbune superior, Polonia | 26 | 11 | 7 | 38 | 4 | 4 |

Se constată că pentru cenușile din huiă (cărbune superior), compozițiile prezintă o diferență nesemnificativă a conținutului în oxizi. CaO este în cantități mai mari în cele de lignit (excepție Polonia).

În tabelul 2.2 se prezintă analiza chimică a cenușilor de la unele CTE din România /5/.

Tabelul 2.2

| Proveniența cenușii C.T.E. | Compoziția chimică (valori medii), % | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-----------------|-------------------|------------------|------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | SO ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | MgO |
| Mintia | 50,90 | 36,50 | 10,70 | 5,90 | 0,91 | 0,90 | 1,95 | 2,1 |
| Ișalnița | 48,00 | 23,00 | 8,11 | 9,16 | 3,66 | 0,44 | 1,67 | 3,0 |
| Rogojelu | 41,60 | 23,26 | 8,83 | 8,06 | 5,63 | - | - | 2,1 |
| Oradea | 47,21 | 19,51 | 13,18 | 6,70 | 7,15 | 0,45 | 2,05 | 2,1 |
| Doicești | 47,20 | 18,96 | 11,36 | 10,21 | 4,18 | 1,08 | 2,09 | 3,5 |
| Comănești | 51,60 | 19,43 | 11,26 | 7,03 | 0,93 | 1,60 | 3,46 | 3,1 |
| Timișoara | 49,07 | 25,52 | - | 1,15 | - | 0,26 | 1,90 | 1,01 |
| Arad | 51,30 | 19,20 | - | 4,25 | - | 0,45 | 1,57 | 1,91 |
| Deva | 47,33 | 24,34 | - | 5,85 | 2,75 | 0,58 | 1,97 | 2,73 |
| Craiova | 49,20 | 22,80 | 7,82 | 8,80 | 1,44 | 0,51 | 1,70 | 2,41 |

Astfel, se observă că și în cenușile din țara noastră componenții predominanți sunt: SiO_2 , Al_2O_3 și Fe_2O_3 , suma lor depășind 70 %, fapt ce atestă posibilitatea de formare a fazelor vitroase, precum și a silicaților, aluminaților de Ca etc, cu implicații favorabile asupra capacității hidraulice.

Din examinarea analizelor chimice din tabelul 2.2, cenușile pot avea o compoziție oxidică variabilă. În funcție de natura mineralogică a cărbunilor, acestea se pot grupa în 4 clase:

-cenuși alumino-silicioase, caracterizate prin:

$$\frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3} < 2 \text{ și } \% \text{CaO} < 15$$

-cenuși silico-aluminoase, la care:

$$\frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3} > 2 \text{ și } \% \text{CaO} < 15$$

-cenuși sulfo-calcice, la care:

$$\% \text{CaO} > 15 \text{ și } \% \text{SO}_3 > 3$$

-cenuși calcice, la care:

$$\% \text{CaO} > 15 \text{ și } \% \text{SO}_3 < 3$$

Cenușile din huiă sunt silico-aluminoase iar cele din lignit sunt în general sulfo-calcice

2.2.5. Compoziția mineralogică

Compoziția mineralogică a cenușilor este constituită, în funcție de condițiile de ardere și răcire, din faze cristaline (15-40 %) și faza vitroasă (60-85 %), /5/.

Faza vitroasă, care are o capacitate reactivă superioară în raport cu SiO_2 și alți componenți cristalini, este determinată de conținutul în topituri parțiale, care prin răcire rapidă se solidifică fără cristalizare, rămânând în stadiul de "germeni" microcristalini și criptocristalini.

Raportul format de faza cristalină și faza vitroasă definește cristalitatea structurii unei cenuși.

Compoziția mineralogică a fazei cristaline determinată prin metode difractometrice cu raze X este redată în tabelul 2.3 și în figura 2.11 /5/.

Din cercetările efectuate pe cenuși, rezultă că activitatea hidraulică a acestora este influențată în mare măsură de conținutul și compoziția fazei vitroase, precum și de suma $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$.

Tabelul 2.3

Compoziții mineralogici ai fazei cristaline

| C.T.E. | Compoziții mineralogici, % | | | | Fază vitroasă, % |
|----------|----------------------------|-------|---------|----------|------------------|
| | Cuarț | Mulit | Hematit | Magnetit | |
| Ișalnița | 10-60 | 2-4 | 2-12 | 2-13 | 50-70 |
| Rovinari | 12-18 | 1-3 | 3-10 | 3-12 | 48-67 |
| Mintia | 14-18 | 2-5 | 2-10 | 3-14 | 45-62 |

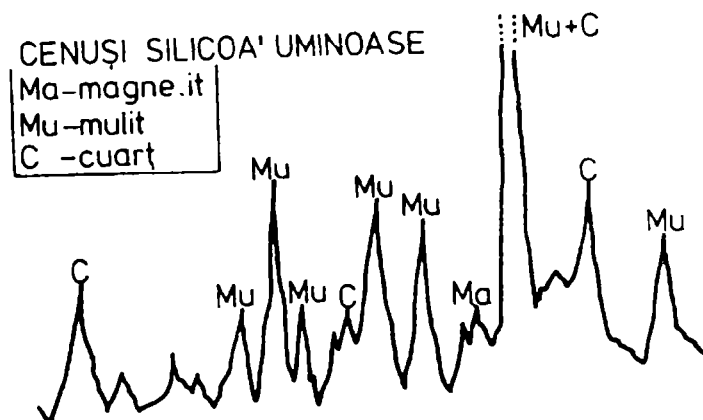
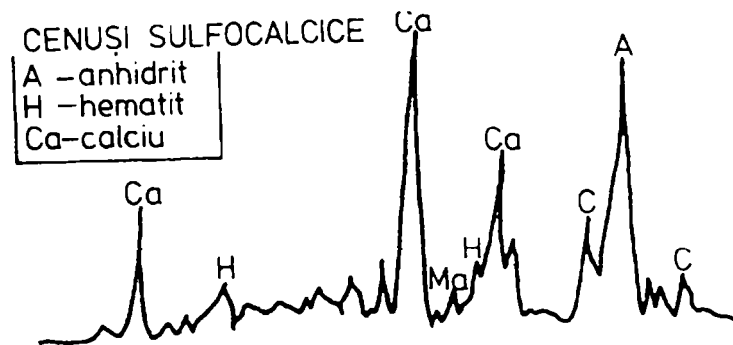


Figura 2.11 Compoziția mineralogică a fazei cristaline /5/

2.2.6. Locul cenușilor în sistemul $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$

Pe baza compozițiilor medii ale cenușilor din țara noastră în figura 2.12 se prezintă locul cenușilor în sistemul ternar $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, comparativ cu cel al cimentului portland, zgurii de furnal, puzzolanelor naturale și sticla [4]. Se poate observa caracterul bazic mai redus al cenușilor, de unde și capacitatea hidraulică mai redusă.

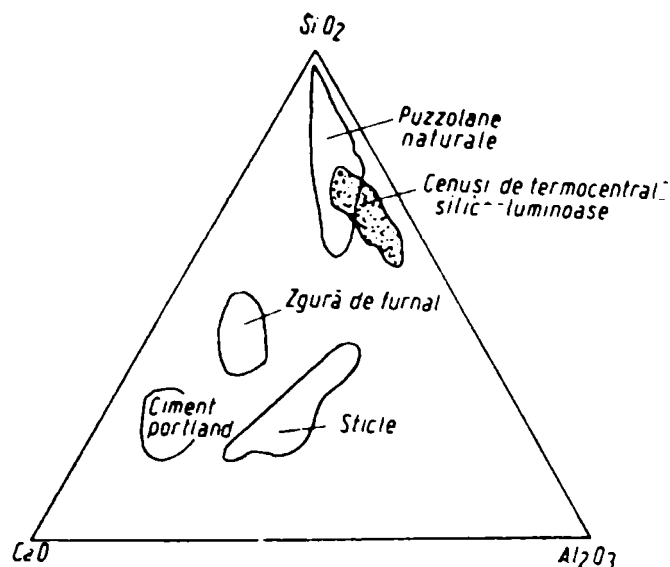


Figura 2.12 Locul cenușilor în sistemul ternar $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ [4]

2.2.7. Bazele teoretice ale întăririi lianților cu cenușă de termocentrală

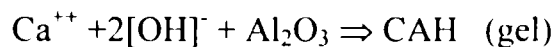
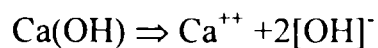
Cenușa de termocentrală prezintă activitate puzzolanică, apreciată prin cantitatea de var fixată în soluție apoasă.

În **sistemul cenușă de termocentrală-var-apă** se disting 2 etape în procesul de formare a materialului liant:

- în etapa I (neseemnificativă) se formează etringit;
- în etapa a II-a, în urma reacțiilor chimice se formează silicați și aluminati de calciu hidratați.

Etringitul se formează în urma reacției dintre SO_4 și var și prezintă o anumită solubilitate raportată la bazicitatea mediului de dispersie.

Hidrosilicatul de calciu (CSH) și hidroaluminatul de calciu (CAH) se formează în urma reacțiilor chimice între silicea și alumina din cenușă și var:



După realizarea amestecului de componenți (cenușă de termocentrală+var+apă), sulfatii trec în soluție, iar granulele de cenușă coloidează la suprafață și adsorb Ca(OH)_2 . Reacția dintre sulfatul de calciu și var duce la formarea etringitului.

Pe suprafața granulelor de cenușă se formează o peliculă de Ca(OH)_2 . Între această peliculă și granulă rămâne o peliculă de apă, de grosime 0,5...1 μm . Prin această peliculă difuzează ionii de calciu, spre suprafața granulei, pe care se depun și care intră în reacție chimică cu formare de hidrosilicați și hidroalumiinați de calciu. Acești compuși de reacție noi, se formează în spațiul pelicular de apă, până la umplere. Se consideră că dezvoltarea noii structuri are loc după umplerea interspațiilor cu compuși de cimentare.

În urma reacțiilor dintre silice și var ia naștere silicatul de calciu hidratat (CSH) care este un tobermorit de cristalitate inferioară. Apariția târzie a CSH se datorează desfășurării relativ lente atât a proceselor de suprafață semnalate cât și trecerii în soluție a silicei din cenușă.

Componenții mineralogici rezultați în urma reacțiilor între silicea și alumina din cenușă și var (CSH și CAH) sunt compuși de cimentare, insolubili în apă și care manifestă capacitate de întărire. Procesul de întărire al acestor compuși de cimentare se dezvoltă pe termen lung.

O posibilă accelerare a reacțiilor constă în ruperea structurilor gelice incipiente a produșilor de reacție de pe granula de cenușă care frânează cinetica procesului de hidratare.

În **sistemul ciment portland-cenușă de termocentrală-var** au loc atât procese de hidratare și hidroliză a cimentului portland, cât și fenomenele similare celor obținute la tratarea cenușii cu var și apă. Produșii de hidratare ai cimentului portland precipită la suprafața particulelor de cenușă și acționează ca germeni de cristalizare.

Temperaturi mai ridicate, cuprinse între 20 și 80 °C accelerează reacțiile la care participă cenușa.

2.2.8. Influența cenușii de termocentrală asupra proprietăților betonului

Principala influență a cenușii de termocentrală la un beton proaspăt se manifestă asupra necesarului de apă de amestecare și a lucrabilității.

La o lucrabilitate constantă, cenușa care se găsește în beton determină o reducere a necesarului de apă de amestecare cu 5% până la 15%, în comparație cu un amestec preparat cu ciment portland unitar, având același conținut de material liant /110/. Reducerea apei de amestecare din beton, provocată de prezența cenușii este atribuită, de obicei, forme sferice a particulelor de cenușă, acestea având un efect de rulment. Prezența în cantitate mare a cărbunelui în cenușă influențează negativ lucrabilitatea. Un amestec de beton care conține cenușă este coeziv și are o tendință de segregare redusă.

La prepararea unui beton, se poate substitui o parte din ciment cu până la 20% cenușă de termocentrală. Peste acest procent nu se mai înregistrează un aport benefic asupra necesarului de apă și a rezistențelor mecanice.

Cenușa de termocentrală are un efect întârziator asupra prizei, de aproximativ 1 oră. Această întârziere poate constitui un avantaj când betonarea se face pe vreme caldă iar în alte situații poate fi necesar un aditiv accelerator. Este întârziat doar începutul de priză, intervalul dintre începutul și sfârșitul prizei rămânând neschimbat.

Se îmbunătățește durabilitatea și rezistențele mecanice pe perioade lungi (>1 an). Rezistențe mecanice mari pot fi atinse la vârsta de 90 zile utilizând un dozaj de 5-15% cenușă zburătoare ultrafină.

Durabilitatea betonului este sporită prin:

- creșterea gradului de impermeabilitate;
- reacțiile cenușii cu alcaliile din beton, scăzând disponibilitatea de a reacționa cu materialele silicioase conținute în agregate;
- crește rezistența la atac sulfatic prin consumarea varului liber, scăzând disponibilitatea de a reacționa cu sulfații, prin scăderea penetrației sulfaților în beton datorită reducerii permeabilității;
- crește rezistența la coroziune (prin reducerea permeabilității).

Considerarea fracțiunii grosiere de cenușă ca microagregat are un efect benefic pentru rezistență, comportarea din punct de vedere al fisurilor și asupra rigidității unui beton.

În concluzie, putem spune că cenușile de termocentrală utilizate la prepararea betoanelor, ca și substituent al cimentului de până la 30%, pot influența pozitiv unele caracteristici ale acestuia.

Utilizatorii de cenușă trebuie să-i cunoască în mod real proprietățile deoarece nu se pot baza pe prevederile standardelor privind distribuția granulometrică sau conținutul în cărbune, deoarece cenușa nu este un material unitar, cu o compoziție aproximativ constantă.

Reacțiile care au loc cu participarea cenușii se desfășoară în timp îndelungat fiind necesară păstrarea betonului în condiții umede o perioadă mare de timp.

În România nu este permisă utilizarea cenușii de termocentrală la betoane precomprimate, considerându-se că, prin cărbunele conținut în cenușă, poate fi favorizată corodarea armăturii de precomprimare.

2.2.9. Posibilitățile de utilizare și valorificare a cenușilor de termocentrală

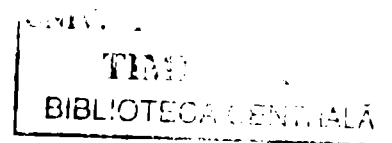
Cenușile de termocentrală au o largă utilizare în domeniul construcțiilor, datorită caracteristicilor fizico-mecanice, prețului redus, cantităților mari disponibile și posibilității de protecție a mediului.

Unele posibilități de utilizare și valorificare a cenușilor de termocentrală se prezintă în cele ce urmează:

- **Pentru fabricarea cimentului**, ca adaos;

- **Pentru materiale de construcții și elemente de construcții**
 - sorturi pentru mortare, betoane, elemente de zidărie, etc.;
 - agregate sintetice prin presare și eliminare umiditate (inclusiv cenușa umedă);
 - fabricarea cimentului;
 - umpluturi inerte în materiale de construcții (chituri pentru etanșare, vopsele, etc.);
 - beton celular autoclavizat pentru blocuri de zidărie (BCA);
 - beton de egalizare;
 - beton simplu monolit pentru fundații la construcții civile, industriale, agricole, baraje, diguri, ziduri de sprijin;
 - beton armat monolit pentru fundații și structură la construcții civile, industriale, placări la canale irigații, canale;
 - beton simplu prefabricat pentru tuburi de canalizare, dale trotuare și terase, dale pentru căptușirea canalelor;
 - beton armat prefabricat pentru panouri mari la pereți, planșee, scări, fâșii cu goluri, elemente spațiale, stâlpi electrici, de garduri, plăci, canale de conducte și cabluri, tuburi, etc.

6hh. 700
369 E



• **Pentru drumuri, căi ferate, lucrări de teren**

- ramblee la drumuri, căi ferate, pasaje denivelate;
- umplutură pentru platforme industriale, piste, denivelări, etc.;
- strat de bază la drumuri (ca de ex. adaos ca parte fină în nisip pentru balast optimal);
- straturi filtrante;
- straturi stabilizate la fundații și drumuri, platforme (staționare, parcare, etc.);
- beton simplu rutier pentru stratul de rezistență; straturi rutiere bituminoase de rezistență;
- drumuri locale cu împietruire și amestec de cenușă și reziduuri de var;
- lianți (adaos în locul cimentului) și filere;
- agregate rutiere prin aglomerare; antiderapant din cenușă și zgură;
- ranforsări sisteme rutiere;
- diguri depozite; amenajări hidroenergetice;
- pereți mulați (injecții sub presiune în scopul reducerii permeabilității);
- consolidări și etanșări prin injecții cu amestec de cenușă și ciment;
- piloți forati pentru stabilizarea terenurilor, etc.

• **Minerit:** umplerea galeriilor, minelor, camerelor epuizate, etc.

În tabelele 2.4, 2.5 și 2.6 se prezintă compzițiile orientative pentru mortare și betoane realizate cu cenușă zburătoare.

Tabelul 2.4

Dozaje uzuale pentru mortare de zidărie pe bază de ciment, cenușă de termocentrală și var hidratat (consistența 8 cm) /8/

| Marca mortarului | Materiale pentru 1 m ³ de mortar | | | | | | |
|------------------|---|------|-----------------------------|------------------------------|----------------|------|-----------------------|
| | Ciment, kg | | Cenușă de termocentrală, kg | Var hidratat, m ³ | Nisip 0-7 m | | Apă, ℓ/m ³ |
| | F 25 | M 30 | | | m ³ | kg | |
| M 10 Z | 80 | - | 160 | 0,10 | 1,10 | 1480 | 260 |
| M 25 Z | 115 | - | 200 | 0,10 | 1,04 | 1400 | 255 |
| M 50 Z | 160 | - | 240 | 0,09 | 1,04 | 1400 | 260 |
| M 100 Z | - | 190 | 190 | 0,06 | 1,00 | 1350 | 265 |
| M 100 Z | - | 225 | 225 | - | 1,00 | 1350 | 275 |

Notă: M 30 = CEM II/B-S32,5R F 25 = CEM III/A-32,5R

Tabelul 2.5

Dozaje uzuale pentru mortare de tencuială pe bază de ciment, cenușă de termocentrală și var hidratat (consistența 10 cm) /8/

| Marca mortarului | Materiale pentru 1 m ³ de mortar | | | | | | |
|------------------|---|------|-----------------------------|------------------------------|----------------|------|-----------------------|
| | Ciment, kg | | Cenușă de termocentrală, kg | Var hidratat, m ³ | Nisip 0-7 m | | Apă, ℓ/m ³ |
| | F 25 | M 30 | | | m ³ | kg | |
| M 10 T | 110 | - | 165 | 0,200 | 1,06 | 1300 | 315 |
| M 25 T | 140 | - | 140 | 0,200 | 1,06 | 1300 | 300 |
| M 50 T | 225 | - | 170 | 0,085 | 1,02 | 1250 | 325 |
| M 100 T | - | 295 | 220 | 0,045 | 0,98 | 1200 | 320 |
| M 100 T | 280 | 210 | - | | 0,98 | 1200 | 320 |

Notă: M 30 = CEM II/B-S32,5R F 25 = CEM III A-32,5R

Tabelul 2.6

Compoziția pentru betoanele cu ciment și cenușă de termocentrală de clasă C 8/10...C 16/20 (Bc 10-CT...Bc 20-CT) /8/

| Clasa betonului | Domeniul de utilizare | T | Tipul de ciment | Dozaj ciment, kg/m ³ | Dozaj cenușă, kg/m ³ | Cantitatea orientativă de apă, ℓ/m ³ | Agregate în stare uscată, kg/m ³ (orientativ) | | | |
|---------------------|-----------------------|-----|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|---|--|-------|--------|---------|
| | | | | | | | 0...3 | 3...7 | 7...16 | 16...31 |
| C 4/5 (Bc 5-CT) | beton simplu | T 2 | - | 125 | 125 | 185 | 650 | 400 | 475 | 380 |
| C 6/7,5 (Bc 7,5-CT) | beton simplu | T 2 | - | 150 | 150 | 195 | 620 | 380 | 455 | 365 |
| C 8/10 (Bc 10-CT) | beton simplu | T 2 | M 30 | 225 | 130 | 160...190 | 540 | 450 | 450 | 360 |
| | beton armat | T 3 | Pa 35 | 240 | 100 | 180...200 | 535 | 445 | 445 | 355 |
| C 12/15 (Bc 15-CT) | beton armat | T 3 | Pa 35 | 260 | 100 | 185...205 | 525 | 440 | 440 | 350 |
| C 16/20 (Bc 20-CT) | beton armat | T 3 | Pa 35 | 295 | 100 | 190...210 | 510 | 425 | 425 | 340 |

Notă: T - Tasare M 30 = CEM II/B-S32,5R Pa 35 = CEM II/A-S32,5R

2.2.10. Condiții tehnice de admisibilitate ale cenușilor pe diferite domenii de utilizare

În tabelul 2.7 sunt prezentate condiții tehnice de admisibilitate ale cenușilor pentru diferite domenii de utilizare.

Tabelul 2.7

Condiții tehnice de admisibilitate ale cenușilor pentru diferite domenii de utilizare

| Denumirea caracteristicilor fizico-mecanice | Drumuri - C.F. | | | Construcții și materiale de construcții | | |
|--|---------------------|-------------------------|--------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| | Ramblee N-CD 129-79 | Stabilizări N-CD 128-79 | Beton rutier N-CD 147-85 | Betoane, mortare STAS 8819-88 | Betoane prefabricate N-CD 134-87 | Industria cimentului STAS 8819-71 |
| Umiditate, % | 25-40 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 |
| Rest pe sita de 0,2 % | Se utiliz. | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 |
| Pierderi la calcinare % (substanță uscată) | Cenușa umedă | ≤ 3 | ≤ 5 | ≤ 5 | ≤ 5 | ≤ 3 |
| Suma oxizilor $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ | din haldă | ≥ 70 | ≥ 70 | ≥ 70 | ≥ 70 | ≥ 70 |
| Oxid de magneziu % (MgO) | - | ≤ 4 | ≤ 4 | ≤ 5 | ≤ 5 | ≤ 4 |
| Trioxid de sulf % (SO ₃) | - | ≤ 3 | ≤ 3 | ≤ 3 | ≤ 3 | ≤ 3 |
| Oxid de calciu % (CaO) | - | ≤ 5 | - | - | - | ≤ 5 |
| Oxid de sodiu % (NaO) | - | ≤ 1 | - | - | - | ≤ 1 |
| Oxid de potasiu % (K ₂ O) | - | ≤ 2,4 | - | - | - | ≤ 2,4 |
| Alcalii solubile % (Na ₂ O și K ₂ O) | - | - | - | ≤ 1 | - | - |
| Faza vitroasă % | - | - | - | ≥ 75 | - | - |
| Indice de activitate I_A^{24} | - | - | - | 0,65 | 0,65 | - |

2.2.11. Determinări pe cenușile utilizate la cercetări experimentale

În tabelul 2.8 se prezintă compoziția chimică a cenușii zburătoare ultrafine utilizate în cercetările experimentale, determinată prin programul experimental al tezei.

Tabelul 2.8

| Proveniența cenușii C.T.E. | Compoziția chimică, % | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-----------------|-------------------|------|------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | SO ₃ | Na ₂ O | MgO | P.C. |
| COLTERM Timișoara | 43,51 | 28,10 | 9,28 | 12,85 | - | - | 2,26 | 4,0 |
| Notă: P.C. = pierdere la calcinare | | | | | | | | |

În tabelul 2.9 se prezintă caracteristici fizice ale cenușii zburătoare utilizată în cercetările experimentale.

Tabelul 2.9

| Proveniența cenușii C.T.E. | Caracteristici fizice (valori medii), % | | |
|-------------------------------|--|--|---|
| | Densitatea reală [kg/m ³] | Densitatea în stare afânată [kg/m ³] | Densitatea în stare îndesată [kg/m ³] |
| COLTERM Timișoara | 2222 | 570 | 770 |

Clasificarea cenușii după raportul SiO₂ și Al₂O₃:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3} &= \frac{43,51\%}{28,10\%} = 1,548 < 2 \\ \%CaO &= 12,85 < 15 \end{aligned} \right\} \text{Cenușa studiată se încadrează în clasa cenușilor alumino - silicioase, ca majoritatea cenușilor din țara noastră.}$$

Clasificarea cenușii după *indicele de bazicitate* I_B , exprimat prin raportul oxizii bazici și cei acizi are valoarea:

$$I_B = \frac{\%CaO + \%MgO + \%K_2O + \%HgO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3} = \frac{12,85 + 2,66 + 0 + 0}{43,51 + 28,10} = \frac{15,11}{71,61} = 0,21 < 1 \quad \text{ceea ce}$$

corespunde cenușilor alumino-silicioase.

Imaginea unei granule de cenușă se prezintă în fotografia din figura 2.13, realizată cu un microscop optic, realizată prin programul experimental al tezei.

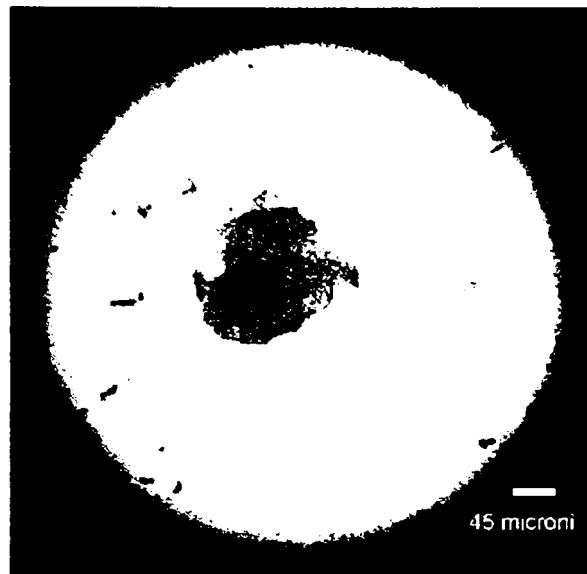


Figura 2.13 Fotografia la microscopul optic a unei granule de cenușă

2.3. Fosfogipsul

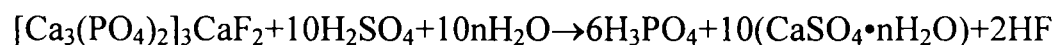
2.3.1. Generalități

Fosfogipsul este un subprodus al industriei de îngrășăminte care rezultă în cantități mari.

Găsirea unor soluții de valorificare eficientă se impune cu stringență pentru evitarea problemelor de depozitare și poluare pe care le ridică.

Fosfogipsul rezultă în urma tratării fosfaților naturali cu acid sulfuric pentru obținerea acidului fosforic, constituent de bază al îngrășămintelor moderne (inițial, superfosfații conțineau fosfogips însă rezulta un îngrășământ diluat). După filtrare, fosfogipsul poate urma una din cele trei căi posibile: deversare în râu sau mare, depozitare în haldă și reutilizare.

Fosfații naturali conțin fluoropatita $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3 \text{CaF}_2$ și carbonat de calciu CaCO_3 . Prin atac cu H_2SO_4 are loc reacția /7/:



unde n poate avea valoarea 2; 0,5 sau 0 în funcție de varianta tehnologică (procedeu de obținere de bihidrat, de semihidrat sau de anhidrit).

Obținerea unei cantități de acid fosforic echivalentă cu 1t de anhidridă fosforică (P_2O_5) antrenează un consum de 4 t minereu și 2,5 t acid sulfuric, rezultând ca subprodus 5 t de fosfogips, conform schemei din figura 2.14 /7/:

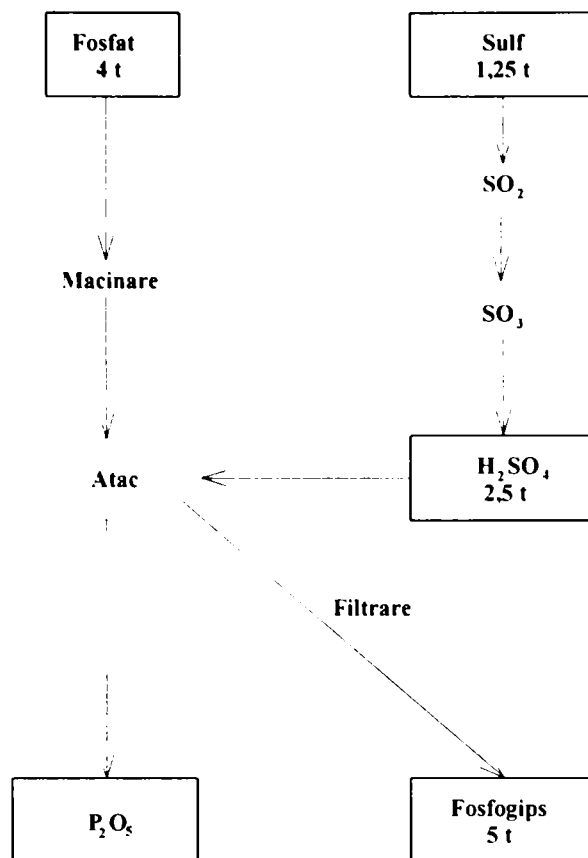


Figura 2.14

2.3.2. Caracteristici generale ale fosfogipsului

Acest deșeu se prezintă ca un nisip umed foarte fin, friabil ale cărui caracteristici depind de originea minereului și a procedului de atac cu H₂SO₄ precum și de diferitele tratamente aplicate.

Fosfogipsul poate prezenta 4 forme, în funcție de minereu și varianta tehnologică [7]:

- cristale aciculare (80-500 μm);
- cristale tubulare (40-200 μm);
- cristale compacte (grosimi de zecimi de micrometri);
- agregate policristaline sferice (50-100 μm).

Imaginea unei granule de fosfogips se prezintă în fotografia din figura 2.15, realizată cu un microscop optic, realizată prin programul experimental al tezei.

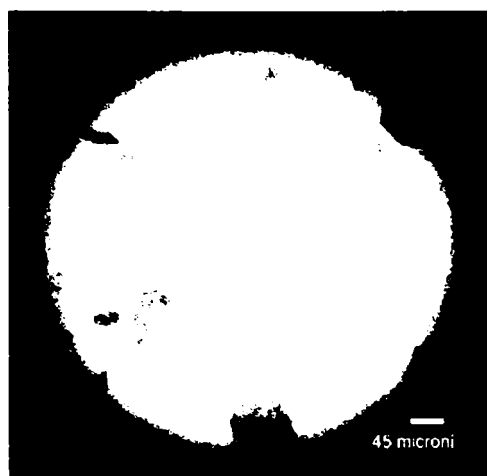


Figura 2.15 Fotografia la microscopul optic a unor granule de fosfogips

Impuritățile din fosfogips pot fi: solubile (săruri sau acizi neeliminați prin spălare), insolubile (fie din minereu, fie din reacții secundare) sau sincristalizate (ioni de H_3PO_4 incluși în rețeaua cristalină a $Ca SO_4 \cdot 2H_2O$).

Fosfogipsul prezintă un $pH=2-3$ [7], datorită urmelor de acizi liberi, aciditatea predominantă datorându-se H_3PO_4 liber, rămas după spălare. Prin neutralizare cu var se obține $pH = 5,5-7,5$.

Granulozitatea fosfogipsului este caracterizată printr-o bună omogenitate după filtrare (dimensiunea granulelor variind de la 5-10 μm la 0,1-0,5 mm) și o dispersie mai mare în bazinele de decantare; restul pe sita de 40 μm este cuprins între 35% și 77 % în funcție de originea fosfaților.

Densitatea absolută este de circa 2,30 g/cm^3 iar densitatea aparentă în stare uscată de 0,86-1,04 g/cm^3

În tabelul 2.10 sunt redată compozițiile chimice orientative pentru două depozite din țara noastră [2]:

Tabelul 2.10

Compoziția chimică a fosfogipsului

| Componenți, [%] | Proveniența: | |
|-------------------------------|--------------------|----------------|
| | Valea Călugărească | Turnu Măgurele |
| CaO | 33,31 | 32,68 |
| SO ₃ | 46,18 | 44,75 |
| SiO ₂ | 0,23 | 0,72 |
| P ₂ O ₅ | 0,84 | 1,16 |
| H ₂ O | 18,70 | 18,98 |

Liantul format din cenușă de termocentrală, activată cu var hidratat și fosfogips, este un liant de tip hidraulic și constituie rezultatul activării sulfocalcice a cenușii de termocentrală. Dozajul optim din punct de vedere al consumului maxim de fosfogips, cu condiția păstrării unui nivel ridicat al rezistenței la compresiune, este:

67% cenușă + 16.5% var + 16,5% fosfogips

2.3.3. Utilizări posibile ale fosfogipsului

Pe baza datelor din literatură [7], se cunosc următoarele domenii de utilizare a fosfogipsului:

- **Pentru producerea ipsosului**

Față de ghipsul natural, prezintă avantajul că nu trebuie măcinat. Pentru utilizare în industria ipsosului necesită următoarele operații:

- o purificare și o neutralizare pentru eliminarea impurităților solubile;
- o separare prin cernere, sedimentare și flotație pentru eliminarea impurităților insolubile;
- dehidratare pentru transformarea bihidratului în semihidrat.

În Franța se consumă anual peste 800.000 t fosfogips în producția de elemente prefabricate din ipsos.

- **Pentru producerea cimentului**

În acest domeniu, fosfogipsul s-ar putea utiliza la reglarea prizei în proporția cunoscută de 3-5 %, însă s-au constatat întârzieri de priză, reduceri de rezistență la vârste timpurii și acțiunea defavorabilă a impurităților asupra calității cimentului.

- **Fabricarea sulfurii**

Prin reducerea sulfatului de calciu cu cărbune se obține CaS care se transformă prin atac acid în H₂S iar acesta prin oxidare trece în sulf.

- **Fabricarea sulfatului de amoniu**

Sulfatul de amoniu, utilizabil ca îngrășământ, se poate obține prin tratarea fosfogipsului cu carbonat de amoniu. Acest procedeu se aplică în Franța încă din 1942. În mod similar, se poate obține sulfat de sodiu prin tratare cu carbonat de sodiu.

- **Ameliorarea solului**

Fosfogipsul poate juca rol de schimbător de ioni în cazul solurilor din zone marine cu mult Na^{+2} (procedeu utilizat în Franța, Anglia, Olanda).

Fosfogipsul s-ar putea utiliza pentru anumite soluri chiar ca îngrășământ (prin aport de sulf); de asemenea s-ar putea utiliza pentru corectarea pH-ului solurilor acide pe termen lung.

- **Utilizarea în construcții**

Cea mai largă utilizare este posibilă în construcții rutiere, în fundații de șosele, terasamente, acostamente, ramblee.

El se poate folosi ca activator sulfatic pentru zgură sau la obținerea unui liant format din zgură măcinată, fosfogips și sodă, sau în amestec cu cenușă și var pentru straturi de fundații (fără agregat), de asemenea se poate utiliza pentru platforme industriale sau lucrări rutiere în amestec cu ciment (cca 7 %) după tehnica tratării solurilor fine cu ciment.

- **Obținerea de elemente de zidărie în combinație cu cenușă de termocentrală și var hidratat**

Prin utilizare de fosfogips în proporție de 10-15 % față de cantitatea de cenușă-var se obțin rezultate pozitive în creșterea rezistențelor inițiale și finale.

2.3.4. Limitări în utilizarea fosfogipsului

Utilizarea la scară redusă a fosfogipsului s-ar putea explica prin:

- conținutul variabil în impurități;
- conținutul variabil în apă liberă care afectează compactarea optimă, dozări etc.;
- permeabilitatea comparabilă cu a nisipului ridicând probleme la compactare, tasări în timp și investiții suplimentare în cadrul lucrărilor rutiere;
- dificultăți de transport (conținutul variabil în elemente toxice-fluor, metale grele sau elemente radioactive);
- radioactivitatea peste valori admisibile a fosfogipsului rezultat din anumite minereuri care limitează domeniile și proporțiile de utilizare ale acestuia.

2.4. Silice ultrafină (SUF)

2.4.1 Generalități

Siliciile ultrafine (SUF) sunt cele mai utilizate materiale granulare ultrafine. Ele sunt subproduse (deșeuri) rezultate la obținerea siliciului și a aliajelor sale, recuperate printr-o filtrare electro-statică a gazelor eliberate din cuptoarele furnalelor înalte. La noi în țară silicea ultrafină se găsește la FEROM S.A. Tulcea.

Caracteristici: siliciile ultrafine se prezintă sub formă de pulberi, fiind constituite din granule sferice, amorfe, de dimensiuni foarte mici (0,01-10 μm). În figura 2.16 se prezintă distribuția mărimii particulelor /79/.

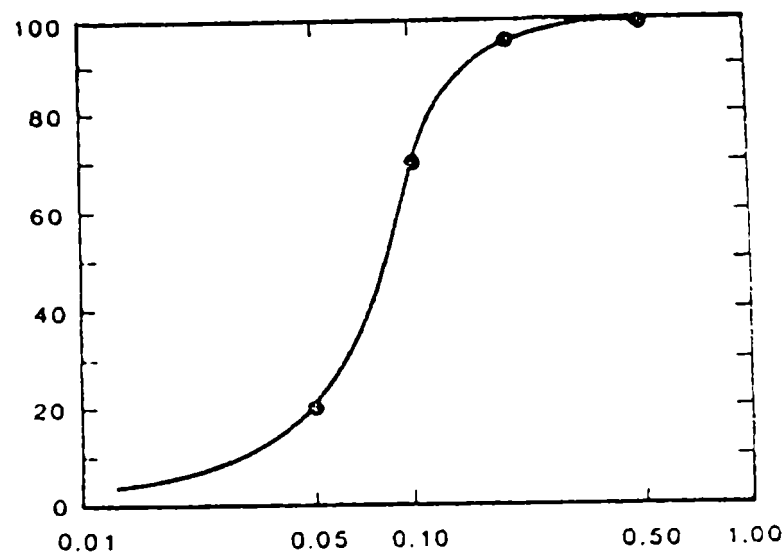


Fig. 2.16 Distribuția mărimii particulelor de silice ultrafină

Sunt caracterizate de o densitate reală de 2200 kg/m^3 și o densitate în grămadă de cca $200\text{-}300 \text{ kg/m}^3$ față de aproximativ 1200 kg/m^3 pentru cimentul portland obișnuit.

Conținutul în SiO_2 reprezintă 85-98 % din masa totală, restul fiind reprezentat de alți oxizi metalici, eventual de câteva alcalii /53/. În tabelul 2.11 se prezintă comparativ compozițiile chimice a silicei ultrafine de la Ferom S.A Tulcea (România), din Norvegia și din America de Nord (Canada și SUA).

Există țări în care silicea ultrafină se livrează sub formă densificată sau eventual sub forma unei barbotine (suspensie de apă). Aceasta reduce la minimum riscul inhalării produsului și implicit riscul îmbolnăvirii de silicoză.

Tabelul 2.11

Compozițiile chimice (%) ale silicei ultrafine din România și din alte țări

| Producător | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | MnO | Na ₂ O | K ₂ O | C | S | H ₂ O |
|-----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|---------|------|-------------------|------------------|---------|---------|------------------|
| Norvegia | 90-96 | 0,2-0,8 | 0,5-3,0 | 0,5-3,0 | 0,5-1,5 | - | 0,2-0,7 | 0,4-1,0 | 0,5-1,4 | 0,1-0,4 | 0 |
| SKW Canada | 89-95 | 0,1-3,1 | 0,1-0,7 | 0,1-0,7 | 0,3-1,0 | - | 0,1-0,2 | 0,5-1,4 | 2,1-4,2 | 0,1-0,2 | 0,0-0,6 |
| USA | 90-93 | 3,4-4,5 | 0,5-0,6 | 0,5-0,6 | 0,3-0,5 | - | 0,1-0,3 | 1,0-1,2 | 1,3-3,6 | 0,1-0,2 | 0,0-4,8 |
| FEROM Tulcea | 91,07 | 1,83 | 4,63 | 0,50 | 0,50 | 1,04 | 0,43 | | | | |

2.4.2. Rolul silicei ultrafine

Rolul silicei ultrafine în prepararea betoanelor de înalte rezistențe:

1. umplerea golurilor dintre granulele de ciment;
2. îmbunătățirea lucrabilității amestecului prin lubrefierea datorată perfecte sfericități a granulelor;
3. producerea de hidrați secundari prin reacția puzzolanică cu varul rezultat la hidratarea cimentului.

S-a constatat că impuritățile cele mai nedorite pe care le poate avea SUF sunt carbonul și alcaliile. Cele mai bune rezultate obținute la betoane de înalte rezistențe au rezultat cu o silice ultrafină provenită din industria zirconiului, lipsită de impurități, care are însă o suprafață specifică mai mică decât silicea tradițională (14 m²/g). O silice prea fină (22 m²/g) poate conduce la rezultate mai slabe din cauza aglomerării particulelor prea fine. În tabelul 2.12 se prezintă, comparativ, finețea de măcinare pentru diferite produse /49/.

Tabelul 2.12

Finețea de măcinare pentru silicea ultrafină și alte materiale

| Produsul | Silice ultrafină | Cenușă | Zgură | Ciment portland |
|--|------------------|---------|----------|-----------------|
| Finețea de măcinare, m ² /g | 20 | 0,4-0,7 | 0,35-0,6 | 0,3-0,4 |

Raportul masic optim SUF/ciment pentru o bună umplere a golurilor dintre granulele de ciment este în jur de 0,25. Acest raport este corespunzător consumarii complete a varului rezultat la hidratarea totală a cimentului.

Silicea de precipitație este constituită din particule elementare cu diametrul de cca 200 Angströmi deci mai mică decât granulele silicei ultrafine. Din acest motiv ea poate contribui la:

- umlerea spațiilor interstițiale dintre granulele de silice ultrafină;
- inițierea mai rapidă a transformărilor chimice, având o reactivitate mai pronunțată decât silicea ultrafină.

Din cauza suprafeței specifice pe care o are ($35 \text{ m}^2/\text{g}$) prezintă, din păcate, tendință pronunțată de aglomerare. Cu toate acestea, utilizată în cantitate mică (în jur de 1 % față de masa cimentului) ea aduce o contribuție pozitivă la performanțele betoanelor din pudre reactive.

2.4.3. Utilizarea silicei ultrafine

Compoziții de beton martor și beton de înalte performanțe studiate la Facultatea de Construcții din Timișoara /53/, pentru 1 m^3 de beton, conform normativului C140-86, se prezintă în continuare:

• pentru betonul martor:

- ciment CEM I 42,5 R 572,7 kg
 - agregat de râu cu $d_{\max} = 16\text{mm}$ 1563,1 kg
 - apă (rap A/C = 0,418). 239,2 ℓ
- Total: 2375 kg

• pentru betonul de înalte performanțe:

- ciment CEM I 42,5 R. 572,7 kg
 - agregat de râu cu $d_{\max} = 16 \text{ mm}$ 1563 kg
 - silice ultrafină (10% din ciment). 52,3 kg
 - superplastifiant LOMAR D 6,3 kg
(1 % din ciment +SUF)
 - apă (rap A/C = 0,35 A/(C+SUF) = 0,319) . . . 200,7 ℓ
- Total: 2400 kg

Rezistențele la compresiune și densitățile aparente, obținute pe cuburi cu latura de 10 cm, pentru diferite vârste de testare, sunt redată în tabelul 2.13 și reprezentate grafic în figura 2.17.

Tabelul 2.13

Rezistențele la compresiune și densitățile aparente.

| Tipul betonului | Rezistențe la compresiune [N/mm ²] | | | | Densități aparente [kg/m ³] | |
|-----------------------------|--|-----------|------------|------------|---|------------|
| | la 3 zile | la 7 zile | la 28 zile | la 90 zile | la 28 zile | la 90 zile |
| Beton martor | 32,7 | 42,7 | 55,6 | 57,4 | 2306,1 | 2295,3 |
| Beton cu înalte performanțe | 53,9 | 62,9 | 84,5 | 89,1 | 2369,9 | 2348,8 |

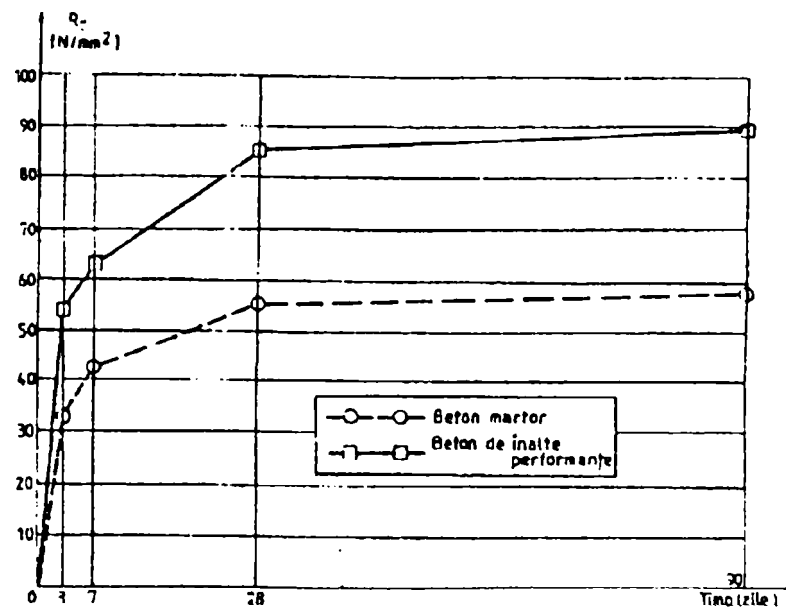


Figura 2.17 Variația rezistenței la compresiune în funcție de vârstă /53/

Adăugarea de silice ultrafină și superplastifiant la prepararea betonului, duce la o creștere spectaculoasă a rezistenței la compresiune a betonului, modul de cedare al epruvetelor făcându-se atât prin ruperea pietrei de ciment cât și a agregatelor.

2.4.4. Specificații pentru utilizarea silicei ultrafine

Specificații Românești privind utilizarea silicei ultrafine sunt în conformitate cu Indicativ N.P. 47-88:

1. conținutul în SiO₂ al prafului de silice trebuie să fie de minim 85 %;
2. depozitarea se va face în silozuri marcate distinct cu mențiunea "Praful de silice";
3. condiții de admisibilitate în conformitate cu tabelul 2.14.

Tabelul 2.14

Condiții de admisibilitate a silicei ultrafine

| Nr. crt. | Caracteristici | Condiții de admisibilitate | Metode de analiză |
|----------|--|----------------------------|-------------------|
| 1 | Umiditate % | ≤ 1 | STAS 3832-85 |
| 2 | $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ % | ≥ 85 | |
| 3 | MgO % | $\leq 1,5$ | |
| 4 | $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ % | $\leq 1,5$ | |
| 5 | Pierderi la calcinare | ≤ 5 | |

2.5. Zgura de furnal

2.5.1. Generalități

În procesul de obținere a fontei, în furnale se obține ca produs secundar zgura de furnal, rezultată la topirea minereului amestecat cu cocs și calcar (piatră de var) adăugat ca fondant. În creuzetul furnalului se obține la partea inferioară fonta care este mai densă, iar la partea superioară zgura care este mai ușoară. Zgura topită se deversează în oalele de zgură cu care se evacuează fie la haldă, fie la instalații de prelucrare. În general oalele de zgură sunt oale deschise, însă în unele cazuri se utilizează oale închise termoizolate pentru a putea transporta pe distanțe mai lungi zgura în stare topită /2/.

Utilizarea la lucrări de construcții sau în industria materialelor de construcții a zgurii de furnal și a produselor din zgură de furnal este un subiect de actualitate. Extrasă din haldele în care a fost depozitată în perioade anterioare, s-a utilizat și se utilizează sub formă brută sau concasată în diferite mărimi, la fundații de drumuri, balastări de căi ferate, împietruiri de drumuri, agregate pentru betoane etc.

Zgura în stare topită turnată în forme se folosește pentru borduri și pavele, sub formă granulată se utilizează la producerea de cărămizi, betoane sau mortare, iar sub formă de zgură expandată este întrebuințată la producerea agregatelor ușoare pentru betoane sau termoizolații. De asemenea, prin fibrilizare în instalații speciale se realizează vata minerală, materiale termoizolatoare speciale /2/.

Produsele arătate anterior cu excepția vatei minerale, sunt produse ce se realizează în anexă la industria siderurgică și constituie materiale pentru lucrări de construcții sau pentru industria materialelor de construcții.

În general zgurile de furnal sunt constituite din oxizi și conțin o cantitate neînsemnată de incluziuni metalurgice și combinații sulfuroase. Unele zguri conțin cantități reduse de oxizi de fosfor, de arsen și uneori cantități mai importante de oxizi de titan /2/.

Conținutul celor mai importanți componenți oxidici în zgura de furnal variază în limite foarte largi, în funcție de compoziția minereului, de compoziția fondantului și chiar de calitate cocsului.

În tabelul 2.15 sunt date compozițiile chimice ale principalelor resurse de zgură de furnal din țară /2/.

Tabelul 2.15

Compoziția chimică a zgurilor de furnal /2/

| Componenți [%] | Depozite de zgură | | |
|--------------------------------|-------------------|-------|--------|
| | Hunedoara | Călan | Galați |
| SiO ₂ | 37,08 | 36,48 | 38,86 |
| Al ₂ O ₃ | 7,96 | 7,08 | 8,35 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,41 | 0,46 | 0,39 |
| CaO | 46,32 | 44,75 | 44,86 |
| Mn ₃ O ₄ | 0,76 | 0,92 | 1,30 |
| MgO | 5,09 | 7,32 | 3,90 |
| SO ₃ | 0,33 | 0,12 | - |
| TiO ₂ | 0,26 | 0,67 | 0,22 |
| Insolubili în HCl | 0,56 | 0,91 | 0,23 |
| Pierdere la calcinare | - | 0,86 | - |
| S (din sulfuri) | 1,41 | 1,30 | 1,02 |
| Alți componenți | 5,92 | 0,93 | 0,97 |

Locul zgurilor de furnal românești în sistemul ternar SiO₂-Al₂O₃-CaO este reprezentat în figura 2.18.

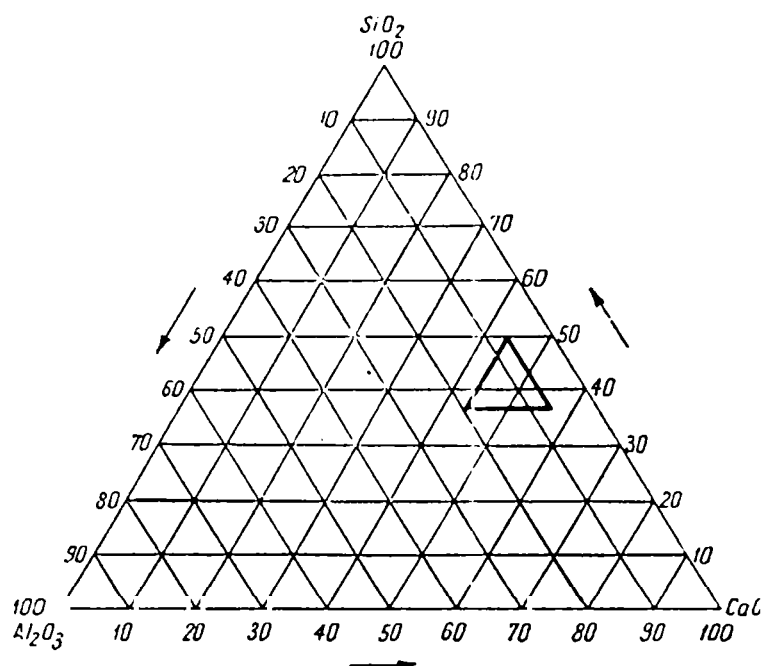


Figura 2.18. Locul zgurilor de furnal în sistemul ternar $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ /2/

De asemenea, în funcție de compoziția chimică, zgurile de furnal se clasifică în zguri acide și zguri bazice, criteriu ce are la bază raportul între procente în greutate ale oxizilor cu caracter bazic și caracter acid.

În general s-a convenit că încadrarea unei zguri de furnal în categoria zgură bazică sau zgură acidă este dată de indicele de bazicitate.

În foarte multe țări indicele de bazicitate este dat de raportul:

$$I_B = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3}$$

În alte țări cât și în țara noastră, indicele de bazicitate este dat de o formulă mai simplă și anume:

$$I_B = \frac{\%CaO}{\%SiO_2}$$

În general, se consideră zguri bazice acelea la care $I_B > 1$ și zguri acide acelea care au $I_B < 1$. Caracterul acid sau bazic reprezintă aspecte deosebite în ce privește posibilitățile de prelucrare ulterioară a zgurilor în materiale pentru construcții /2/.

În general la solidificarea lentă a zgurii de furnal, fenomen ce are loc atât la răcirea în halde, cât și la turnarea zgurii în forme, se obține o masă compactă foarte rezistentă datorită

faptului că se formează componenți cristalini legați într-un corp unitar prin resturile de topitură rămase sub forma sticloasă.

Zgurile foarte acide însă, care prezintă o vâscozitate ridicată, nu pot separa cristale și de aceea se prezintă sub forma unei mase sticloase.

La răcirea bruscă în apă sau aer, zgurile bazice se transforma în granule mici asemănătoare nisipului, cu o structură sticloasă. Spre deosebire de zgurile bazice, zgurile acide nu se granulează ci se transformă într-o masă spongioasă cu structură sticloasă.

Aceste procese nu sunt cantitative, randamentele de transformare fiind condiționate și de alți factori. Nu toate tipurile de zguri sunt apte pentru toate subprodusele și procesele de prelucrare. Astfel pentru produsele compacte, obținute prin răcire lentă se pretează cel mai bine zgurile acide, însă nu foarte acide. Zgurile bazice pot fi utilizate în acest scop, însă trebuie să se țină seama de tendința de dezagregare /2/.

• Zgura de furnal compactă de haldă

În general acest tip de zgură se găsește în haldele de zgură unde a avut loc procesul de răcire lentă. Aspectul lor este în general pietros, când aceasta a rezultat în urma răcirii unei zguri bazice sau slab acide și are un aspect sticlos când zgura a fost acidă sau foarte acidă. Densitatea acestor zguri este de peste 2000 kg/m³, iar densitatea în grămadă în stare uscată și afânată a zgurilor compacte concasate este de 1000-1200 kg/m³.

Utilizarea acestor zguri se face prin extragerea lor din haldă, similar cu extragerea pietrei din cariere și prelucrarea ei prin concasare în sorturi de granulozitate după necesități /2/.

• Zgura de furnal turnată în forme

Zgura compactă se obține prin turnare în tipare metalice refractare, a topiturii de zgură acidă sau bazică, care nu are tendința de dezagregare calcică și care formează prin răcire o masă rezistentă cu aspect de piatră. Nu sunt utilizate în acest scop zgurile foarte acide care dau un aspect sticlos și care prezintă casanță și formează cioburi tăioase /2/.

• Zgura de furnal granulată

La răcirea bruscă a masei topite de zgură cu cantități mari de apă pulverizată, din cauza creșterii rapide a vâscozității, chiar și zgurile bazice nu mai au posibilitatea de a separa cristale, rămânând sub formă de granule sticloase. Rezerva de energie chimică în această zgură este cu atât mai ridicată cu cât a fost răcită mai brusc.

Granularea umedă se face introducând zgura în stare topită în bazine cu apă, sau tratând șuvoiul de zgură care curge printr-un jgheab cu o cantitate abundentă de apă. Deficiența procedurii constă în faptul că zgura de furnal granulată reține cca 30 % apă, care trebuie evacuată prin uscare, deci necesită consum de căldură și totodată dacă uscarea se face la temperaturi ridicate, la cca 800 °C pot să apară cristale în structură reducându-se activitatea sa chimică /2/.

Granularea uscată se face într-un curent puternic de aer umezit. Prin acest procedeu se obține zgură de furnal mai puțin activă, dar nu mai este nevoie de uscarea ulterioară.

Granularea prin pulverizare este realizată prin stropirea zgurii cu apă sub presiune, obținându-se o zgură granulată cu mai puțină umiditate, însă tot este cazul să fie uscată.

Principalul consumator este industria cimentului pentru fabricarea cimenturilor compozite.

Zgura de furnal granulată se utilizează atât direct la lucrări de construcții, sub formă de nisip, la lucrări de drumuri, la umpluturi, la confecționarea de mortare și betoane și produse din acestea, precum și la fabricarea lianților pe bază de var sau clincher, la fabricarea cărămizilor de construcții etc.

• **Zgura de furnal expandată.** Prin răcirea masei topite de zgură de furnal cu o cantitate limitată de apă, datorită evaporării apei, a evacuării vaporilor formați și a gazelor obținute în zgura fluidă, se obține o masă spongioasă de zgură, care datorită concentrației crapă și se desface în bucăți mari.

Gradul de spongiere și uniformitate a porilor sunt în funcție de temperatura zgurii în timpul expandării, de compoziția acesteia și de procedeu utilizat pentru expandare.

Literatura arată că temperatura zgurii de furnal în momentul expandării trebuie să fie de minimum 1300° C. Sub această temperatură, gradul de expandare scade apar transformări polimorfe cu schimbare de volum, ce pot duce la dezagregarea și fărâmițarea granulelor /2/.

Zgura expandată se utilizează în construcții la straturi termoizolatoare în vrac, la confecționarea de betoane ușoare, atât pentru materiale de construcții, cât și pentru elemente de construcții.

2.5.2. Unele domenii de utilizare a zgurilor de furnal

- **Pentru producția cimentului**

Este unul din principalele domenii de folosire ale zgurei ca înlocuitor al cimentului portland, evidențiindu-se o comportare foarte bună.

- **Pentru stabilizarea pământurilor prin corectarea granulației**

Stabilizarea pământurilor prin corectarea granulației se face numai dacă, conținutul de argilă este mai mare de 30 %, în care caz se adaugă nisip natural, care poate fi înlocuit cu nisip provenit din concasarea zgurilor metalurgice, cu zgură de furnal granulată sau cenușă de termocentrală. Lucrările se vor efectua numai după o prealabilă cercetare a aptitudinii pământului la stabilizare cu materiale granulare și comportarea amestecului.

Pământul se va mărunți și apoi se va împrăștia uniform materialul granular, după care se execută o amestecare la fața locului, până ce amestecul devine omogen, urmat de nivelare și compactare pentru obținerea profilului și densității aparente presării pentru lucrarea respectivă.

Betoanele de argilă se realizează cu următoarele proporții informative /2/:

| | |
|--|------|
| - pietriș sau zgură concasată 10-50 mm | 30 % |
| - nisip sau zgură granulată 1-25 mm | 20 % |
| - argilă | 25 % |
| - apă | 25 % |

- **Pentru fundații de drumuri, macadamuri și balastare**

Realizarea unor drumuri care să reziste la un anumit grad de trafic rutier, atât în ceea ce privește frecvența cât și în ceea ce privește greutatea vehiculelor se realizează prin proiectarea și executarea unor fundații și straturi ulterioare, care să nu se deformeze la compresiune. Astfel pentru realizarea fundației unui drum, după compactarea pământului, se așează la partea inferioară bolovani de 150-250 mm, apoi, bucăți de dimensiunile pietrei, savurii și splitului, realizându-se după aplicarea fiecărui strat a unei compactări prin udarea cu apă și cilindrarea repetată cu un ultim strat de împănare și finisare a drumului. Înainte de aplicarea stratului de uzură se poate așeza și cenușă de termocentrală. Aceste materiale pot proveni din concasarea zgurilor metalurgice. Trebuie avut în vedere că zgurile respective să nu conțină componenți care prin dezagregare să conducă la diminuarea portanței drumului sau la impurificarea apelor freactice sau limitrofe cu componenți care să le facă agresive.

• **Betoane cu agregate din zguri metalurgice**

Zgurile metalurgice pot duce la o varietate de betoane, în funcție de proveniența zgurii, de tipul zgurii și de granulația utilizată.

a. Betoane ciclopiene. Betoanele ciclopiene se obțin din bucăți mari de zgură atât din haldele furnalelor, oțelăriilor sau de la metalurgia neferoasă, cuprinse în masa de beton obișnuit. Este necesar ca dimensiunile bucăților din zgură să se încadreze în dimensiunile elementului de construcție. Asemenea betoane se utilizează în fundații, radiere și alte lucrări masive. Este necesar ca fețele bucăților din zgură să fie curate pentru a adera bine la beton.

b. Betoane cu agregate din zgură compactă. Aceste betoane sunt utilizate unde există asemenea zguri. Este indicat ca zgura să conțină sulf sub formă de SO₃ sub 0,7 %, iar sub formă de sulf total să fie sub 2%. Datorită formei poliedrice a granulelor, plasticitatea betonului este mai redusă, fapt ce implică un spor al raportului A/C. Prin amestecare un timp mai îndelungat în betonieră suprafețele agregatelor devin mai active și betoanele capătă rezistențe mai mari. Comparativ cu betoanele cu piatră de granit, se obține cu agregate din zgură compactă un beton mai rezistent cu cca 10 % la o densitate aparentă apropiată. Betoanele cu agregate din zgură compactă, au același domeniu de utilizare cu al betoanelor cu agregate din roci dure, de clase și dozaje similare.

c. Betoane cu agregate din zgură granulată. În general ca agregat se utilizează zgurile granulate care nu au activitate hidraulică pronunțată, însă nu există impedimente tehnice nici pentru utilizarea zgurilor granulate cu activitate hidraulică. Zgura granulată se amestecă cu cca 150-200 kg ciment la 1 m³ de beton, timp de 5-10 minute. Aceste betoane ating clase de Bc 5 și Bc 7,5 la o densitate aparentă de 2000-2400 kg/m³, având o întărire lentă. Se recomandă utilizarea acestor betoane în elemente de construcții care se găsesc permanent în mediu umed, fundații, ziduri de sprijin, subsoluri etc.

Caracteristicile betonului din zgură granulată pentru blocuri mici de zidărie din beton sunt date în tabelul 2.16 /2/.

Tabelul 2.16

Caracteristicile betonului cu zgură granulată pentru blocuri mici de zidărie

| Compoziția: | | | Densitatea aparentă, kg/m ³ | | Structura |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--|------------|-----------|
| Ciment, kg/m ³ | Apă, l/m ³ | Agregate 0-7 mm kg/m ³ | proaspăt | la 28 zile | |
| 275-300 | 19 -200 | 1300-1350 | 1800-1850 | 1700-1800 | compactă |

2.6. Concluzii

În urmă studiului documentar întreprins, privind deșeurile industriale s-a ajuns la concluzia că acestea sunt materiale cu un potențial apreciabil în realizarea unor noi materiale de construcții

Deoarece cenușa de termocentrală se poate procura pe plan zonal și se regăsește în cantități foarte mari în toată țara, principiul stabilirii compoziției lianților amestecați s-a derulat în ideea de a „activa” componenții chimici și mineralogici din aceasta, prin adăugarea de lianți clasici după modelul:

$$\% \Sigma \text{Lianți amestecați} = 100\%$$

unde prin lianți amestecați se înțelege un amestec format din:

- lianți clasici: var (L); ciment (C);
- deșeuri industriale cu caracter de liant: cenușă (CT); zgură (Z); fosfogips (Ph); silice ultrafină (M).

Pentru stabilirea cantității de cenușă s-a utilizat relația precedentă în forma:

$$\%CT = 100\% - \% \Sigma \text{alți lianți}$$

unde alți lianți (L, C, Z, Ph, M) au avut o variație procentuală stabilită din bibliografie și din încercări experimentale.

Capitolul 3

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE MATERIALE REALIZATE CU ȘLAM DENS

3.1. Introducere

Scopul acestor determinări experimentale constă în valorificarea șlamului dens produs de centrala termoelectrică COLTERM S.A. din Timișoara pentru obținerea de noi materiale de construcții.

Șlamul dens se obține cu o instalație specială prin amestecarea cenușii de electrofiltru (rezultată în urma arderii lignitului) cu apă, în proporții masice de 1:1. De la centrala termoelectrică, șlamul dens este transportat pneumatic până la halda de depozitare, de la Utvin. Acesta prezintă avantajul de a se autoîntări îndeajuns pentru ca vântul să nu mai spulbere cenușa, avantaj de necontestat față de rețeta clasică la care raportul cenușă/apă era în jur de 1:10.

Arderea cărbunilor se face numai pe timp friguros, astfel că, șlamul dens este disponibil numai în perioada rece.

Programul de cercetare a cuprins 2 etape: în prima etapă s-au realizat amestecuri cu șlamul dens produs în sezonul 2002/2003, iar în etapa a doua s-au îmbunătățit rețetele și s-a utilizat șlamul dens produs în sezonul 2003/2004.

S-au testat materiale rezultate din amestecuri de șlam dens cu lianți clasici (var, ciment), nisip și cenușă de electrofiltru.

3.2. Proces tehnologic

Probele încercate au rezultat în urma amestecării următoarelor materiale: șlam dens, var (L), ciment (C), nisip sort 0-3 mm, cenușă de electrofiltru și apă.

Șlamul s-a prelevat din instalația de șlam dens.

S-a folosit un ciment uzual de tipul CEM II/A-S 32,5 R pentru materialele realizate în etapa I și un ciment unitar CEM I 42,5 R pentru materialele testate în etapa II, produs de Casial Deva.

Varul a fost de tipul CL 90.

Pentru materialele realizate în etapa I s-au utilizat tipare metalice de formă prismatică de $10 \times 10 \times 55$ cm și de formă cubică cu $\ell = 10$ cm și nu s-au compactat.

Materialele realizate în etapa II s-au obținut prin utilizare de tipare cu formă prismatică cu dimensiuni de $40 \times 40 \times 160$ mm și cu formă cubică cu $\ell = 10$ cm. Compactarea s-a făcut manual, prin scuturarea ușoară a tiparelor.

Modul de amestecare a fost mecanizat, timp de 2 minute. S-a prelevat șlam din instalație și s-au introdus în timpul amestecării: varul, cimentul, nisipul, cenușă de electrofiltru și apă.

La puțin timp de la turnarea amestecului în tipare, la suprafața mai multor amestecuri s-a separat apă, ca în schitele din figura 3.1. Din această cauză, probele nu au mai fost acoperite. S-au decofrat după 2 sau 7 zile de la data turnării și s-au păstrat în condițiile unui mediu ambiant interior (Anexa B). Întârzierea decofrării s-a făcut din motive de precauție pentru integritatea probelor, deoarece acestea aveau lungimi mari (55 cm) și prezentau o umiditate vizibilă.

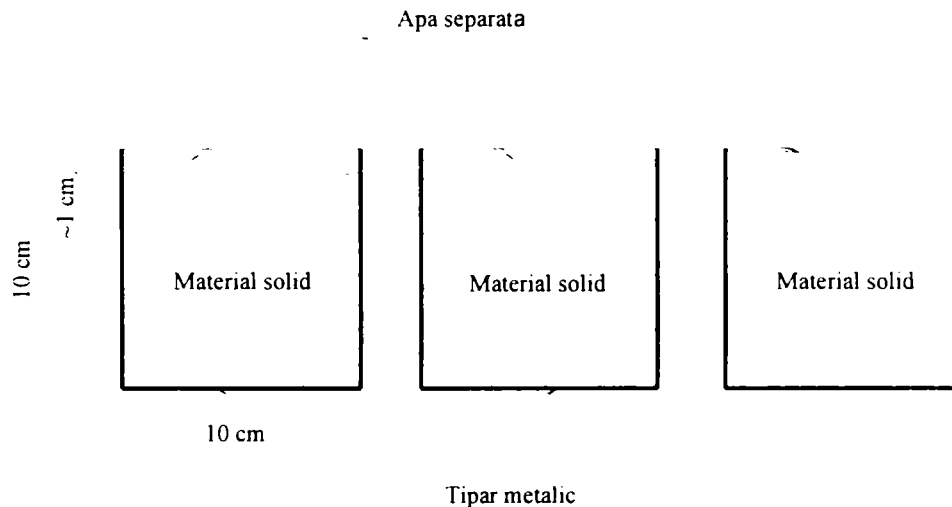


Figura 3.1

Ulterior, probele de formă prismatică de $10 \times 10 \times 55$ cm s-au tăiat mecanic, confecționându-se epruvete de formă cubică cu latura de aproximativ 10 cm.

3.3. Stabilirea compozițiilor

S-a calculat cantitatea de cenușă de electrofiltru din șlamul dens, utilizând informațiile primite de la S.C. COLTERM S.A.

Șlamul dens are o densitate de $1,36 \text{ kg/dm}^3$ și un raport masic cenușă : apă = 1:1. Prin utilizarea acestuia în volum mare, rezultă amestecuri cu o cantitate mare de apă, cu efecte negative asupra caracteristicilor acestora.

Stabilirea compozițiilor s-a făcut prin utilizarea modelului prezentat în paragraful 2.6 utilizând formula:

$$\% \Sigma \text{Lianți amestecați} = \% \Sigma (\text{Lianți clasici} + \text{CT}) = 100\% \quad (3.1)$$

unde: CT = cenușă de electrofiltru din șlam;

Lianți clasici = var (L) și ciment (C).

Cenușa a avut și rol de microagregat.

S-au stabilit diferite procente de lianți minerali clasici, iar cenușa a rezultat din relația:

$$\% \text{CT} = 100\% - \% \Sigma \text{Lianți clasici} \quad (3.2)$$

În fiecare etapă s-au realizat 2 categorii de materiale:

- prima categorie, amestecuri pe bază doar de șlam dens;
- a doua categorie, amestecuri pe bază de șlam dens și nisip.

Compozițiile materialelor pe bază de șlam dens, realizate în etapa I sunt prezentate în tabelul 3.1

Tabelul 3.1

Compoziții ale materialelor pe bază de șlam dens, realizate în etapa I

| Grup | COD | Compoziția amestecului: | | |
|------|------------------|-------------------------|---------|------------|
| | | Șlam dens [%] | Var [%] | Ciment [%] |
| G1 | Seria 1 L10 | 94,74 | 5,26 | - |
| | Seria 2 L15 | 91,89 | 8,11 | - |
| | Seria 3 L20 | 88,88 | 11,12 | - |
| G2 | Seria 4 C10 | 94,74 | - | 5,26 |
| | Seria 5 C15 | 91,88 | - | 8,11 |
| | Seria 6 C20 | 88,89 | - | 11,12 |
| G3 | Seria 7 L10 C5 | 91,9 | 5,4 | 2,7 |
| | Seria 8 L10 C10 | 88,88 | 5,56 | 5,56 |
| | Seria 9 L15 C5 | 88,88 | 8,34 | 2,78 |
| | Seria 10 L15 C10 | 85,72 | 8,56 | 5,72 |
| | Seria 11 L20 C5 | 85,72 | 11,44 | 2,84 |
| | Seria 12 L20 C10 | 82,36 | 11,76 | 5,88 |

Amestecurile din grupul G1 au ca liant clasic doar var (L), cele din grupul G2 numai ciment (C) și cele din grupul G3 au și var și ciment.

Pentru stabilirea compoziției materialelor pe bază de șlam dens și nisip realizate în etapa I, s-au utilizat proporții masice de lianți amestecați și nisip cu valori de $\approx 1:1$ (G1) și $\approx 1:2$ (G2), după cum se prezintă în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

Compoziții ale materialelor pe bază de șlam dens și nisip, realizate în etapa I

| Grup | COD | Liant Nisip | Compoziția amestecului: | | | | Apa Liant |
|------|------------------|----------------|-------------------------|------------|---------------|--------------|--------------|
| | | | Șlam dens [%] | Var [%] | Ciment [%] | Nisip [%] | |
| G4 | Seria 13 CT | 1:1,16 | 63,4 | - | - | 36,6 | 1 |
| | Seria 14 L17 | 1:1,13 | 56,1 | 5,7 | - | 38,2 | 0,831 |
| | Seria 15 C17 | 1:1,13 | 56,1 | - | 5,7 | 38,2 | 0,831 |
| | Seria 16 L11 C11 | 1:1,24 | 53,7 | 3,8 | 3,8 | 38,7 | 0,779 |
| G5 | Seria 17 CT | 1:2,31 | 46,4 | - | - | 53,6 | 1 |
| | Seria 18 L17 | 1:2,25 | 40,6 | 4,2 | - | 55,2 | 0,829 |
| | Seria 19 C17 | 1:2,25 | 40,6 | - | 4,2 | 55,2 | 0,829 |
| | Seria 20 L11 C11 | 1:2,24 | 38,6 | 2,8 | 2,8 | 55,8 | 0,776 |

Compozițiile amestecurilor pe bază de șlam dens, realizate în etapa II sunt prezentate în tabelul 3.3

Seriile 21÷24 din grupul G6 au în compoziție un procent constant de 10% var (L), seriile 25÷28 din grupul G7 au un procent constant de 15% var, iar seriile 29÷32 din grupul G8 au un procent constant de 20% var din totalul lianților amestecați. Pentru toate aceste serii s-a modificat doar procentul de ciment.

Compozițiile materialelor pe bază de șlam dens și nisip, realizate în etapa II se prezintă în tabelul 3.4

Amestecurile din grupul G9 conțin șlam dens, nisip și lianți clasici, iar cele din grupul G10 au beneficiat de un adaos de cenușă de electrofiltru cu scopul de a reduce raportul apă/liant față de compozițiile din grupul G9.

Tabelul 3.3

Compoziții ale materialelor pe bază de șlam dens, realizate în etapa II

| Grup | COD | Compoziția amestecului: | | |
|------|-------------------|-------------------------|----------|-------------|
| | | Șlam dens, [%] | Var, [%] | Ciment, [%] |
| G6 | Seria 21 L10 C10 | 88,88 | 5,56 | 5,56 |
| | Seria 22 L10 C15 | 85,72 | 5,72 | 8,56 |
| | Seria 23 L10 C20 | 82,36 | 5,88 | 11,76 |
| | Seria 24 L10 C25 | 78,80 | 6,06 | 15,14 |
| G7 | Seria 25 L15 C5 | 88,88 | 8,34 | 2,78 |
| | Seria 26 L15 C10 | 85,72 | 8,56 | 5,72 |
| | Seria 27 L15 C15 | 82,36 | 8,82 | 8,82 |
| | Seria 28 L15 C20 | 78,80 | 9,08 | 12,12 |
| G8 | Seria 29 L20 C5 | 85,72 | 11,42 | 2,86 |
| | Seria 30 L20 C10 | 82,36 | 11,76 | 5,88 |
| | Seria 31 L20 C15* | 78,80 | 12,12 | 9,08 |
| | Seria 32 L20 C20 | 75,00 | 12,50 | 12,50 |

* : La realizarea seriei 31 L20 C15, $\rho_{\text{șlam}}$ furnizat de instalație a fost de 1,16 kg/dm³

Tabelul 3.4

Compoziții ale materialelor pe bază de șlam dens și nisip, realizate în etapa II

| Grup | COD | Liant Nisip | Compoziția amestecului: | | | | | Apa Liant |
|------|------------------|----------------|-------------------------|---------|------------|------------|-----------|--------------|
| | | | Șlam dens [%] | Var [%] | Ciment [%] | Cenușă [%] | Nisip [%] | |
| G9 | Seria 33 L10 C10 | 1:2 | 42,0 | 2,65 | 2,65 | - | 52,7 | 0,80 |
| | Seria 34 L20 C10 | 1:2 | 37,8 | 5,4 | 2,7 | - | 54,1 | 0,70 |
| | Seria 35 L10 C20 | 1:2 | 37,8 | 2,7 | 5,4 | - | 54,1 | 0,70 |
| G10 | Seria 36 L5 C5 | 1,6:1 | 56,6 | 2,2 | 2,2 | 11,2 | 27,8 | 0,64 |
| | Seria 37 L16 C8 | 1:1 | 45,1 | 6,4 | 3,2 | 6,6 | 38,7 | 0,58 |
| | Seria 38 L8 C16 | 2,1:1 | 54,8 | 3,9 | 7,8 | 10,1 | 23,4 | 0,56 |

La materialele din grupul G9 stabilirea compozițiilor s-a făcut prin utilizarea unui raport liant amestecat/nisip de 1:2. La materialele din grupul G10 s-au utilizat valori ale raportului liant amestecat/nisip de 1,6:1; de 1:1 și de 2,1:1.

3.4. Porozitatea și absorbția de apă

La suprafața amestecurilor proaspete s-a separat apă ceea ce a condus în final, la o scădere a înălțimii probelor, după cum se prezintă în schițele din figura 3.1 și în tabelul 3.5. Cele mai mari variații de înălțime, de peste 1 cm, s-au înregistrat pentru valori ale raportului apă/liant în jur de 0,90.

Tabelul 3.5
Scăderea înălțimii amestecurilor întărite pe bază de șlam dens, realizate în etapa I, funcție de raportul apă/liant

| Grup | COD | h, [cm] | $\Delta h=10-h$, [cm] | $\frac{\text{Apa}}{\text{Liant}}$ |
|---|------------------|------------|---------------------------|-----------------------------------|
| G1 | Seria 1 L10 | 8,71 | 1,29 | 0,90 |
| | Seria 2 L15 | 9,30 | 0,70 | 0,85 |
| | Seria 3 L20 | 9,60 | 0,40 | 0,80 |
| G2 | Seria 4 C10 | 8,90 | 1,10 | 0,90 |
| | Seria 5 C15 | 9,37 | 0,63 | 0,85 |
| | Seria 6 C20 | 9,28 | 0,72 | 0,80 |
| G3 | Seria 7 L10 C5 | 9,40 | 0,60 | 0,85 |
| | Seria 8 L10 C10 | 9,61 | 0,39 | 0,80 |
| | Seria 9 L15 C5 | 9,67 | 0,33 | 0,80 |
| | Seria 10 L15 C10 | 9,68 | 0,32 | 0,75 |
| | Seria 11 L20 C5 | 9,68 | 0,32 | 0,75 |
| | Seria 12 L20 C10 | 9,88 | 0,12 | 0,70 |
| Liant = Lianți amestecați: cenușă de electrofiltru + var (L) + ciment (C) | | | | |

Se constată că, apa de amestecare din șlamul dens este în cantitate foarte mare, influențând dimensiunile și proprietățile fizico-mecanice ale amestecurilor testate.

În tabelul 3.6 se prezintă porozitatea totală (P_t), porozitatea aparentă raportată la volum (P_{av}) și absorbția de apă raportată la masă (a_m) pentru materialele cercetate. Probele au fost supuse unei uscări până la masă constantă și păstrate 12 h în apă.

Tabelul 3.6

Caracteristicile fizice ale amestecurilor pe bază de șlam dens, realizate în etapa I

| Grup | COD | ρ_a , [kg/m ³] | P_{av} , [%] | P_t , [%] | a_m , [%] |
|-------------------|------------------|------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| G1 | Seria 1 L10 | 951 | 52,7 | 57,2 | 55,4 |
| | Seria 2 L15 | 997 | 51,5 | 55,1 | 51,7 |
| | Seria 3 L20 | 1021 | 52,1 | 54,0 | 51,0 |
| G2 | Seria 4 C10 | 965 | 52,2 | 56,6 | 54,1 |
| | Seria 5 C15 | 1000 | 52,4 | 55,0 | 52,4 |
| | Seria 6 C20 | 1038 | 50,1 | 63,2 | 48,3 |
| G3 | Seria 7 L10 C5 | 998 | 55,0 | 58,4 | 55,1 |
| | Seria 8 L10 C10 | 1038 | 54,5 | 56,7 | 52,5 |
| | Seria 9 L15 C5 | 1023 | 53,7 | 57,4 | 52,5 |
| | Seria 10 L15 C10 | 1077 | 53,0 | 55,1 | 49,2 |
| | Seria 11 L20 C5 | 1077 | 51,6 | 55,1 | 47,9 |
| | Seria 12 L20 C10 | 1163 | 50,8 | 51,5 | 43,7 |
| BCA | | 300...1200 | - | ≤85 | ≤45 |
| Cărămizi ceramice | | 1000...1800 | - | 22,8 | ≤20 |

Densitatea aparentă este determinată la vârsta de 90 zile.

Densitatea reală este $\rho \approx 2222 \text{ kg/m}^3$ pentru seriile 1÷6 care au un singur liant clasic (var sau ciment) și $\rho \approx 2400 \text{ kg/m}^3$ pentru seriile 7÷12 care au în compoziție var și ciment.

Absorbția de apă raportată la masă (a_m) prezintă valori mari, cuprinse între 43,7% pentru seria 12 L20C10 și 55,4% pentru seria 1 L10. Toate seriile depășesc condiția de maxim 20% absorbție de apă, impusă cărămizilor ceramice pline și doar seria 12 L10 C10 îndeplinește condiția impusă pentru BCA-uri. Se observă că la sporirea procentului de lianți clasici (var sau ciment) se înregistrează o absorbție de apă mai mică.

Porozitatea materialelor cercetate are valori mari, de peste 50%, influențând defavorabil proprietățile mecanice și favorabil capacitatea de izolare termică și fonică, încadrându-le în categoria materialelor poroase.

Valorile mari ale porozității deschise (P_{av}) vor influența defavorabil comportarea acestor materiale la ciclurile de îngheț-dezghet și umezire-uscare.

Pentru a ameliora aspectele prezentate mai sus, rețetele s-au îmbunătățit (prin utilizarea unui ciment unitar de clasă 42,5 și a unui procent mai mare de liant clasic), realizându-se amestecurile din etapa II.

3.5. Densitatea aparentă și rezistențele mecanice

a) Referitor la materialele pe bază de șlam dens, realizate în etapa I

Densitatea aparentă, rezistența la compresiune și coeficientul de eficiență tehnică ale amestecurilor întărite pe bază de șlam dens, realizate în etapa I, se prezintă în tabelul 3.7 și în graficele din figurile 4.2 și 4.3, pentru vârsta de 28 zile și 90 zile.

Tabelul 3.7

Densitatea aparentă și rezistența la compresiune pentru amestecurile pe bază de șlam dens, realizate în etapa I, la vârsta de 28 zile și 90 zile

| Grup | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, $\left[\frac{\text{kN} \times \text{m}}{\text{kg}} \right]$ | |
|------|------------------|---|---------|--|---------|---|---------|
| | | 28 zile | 90 zile | 28 zile | 90 zile | 28 zile | 90 zile |
| G1 | Seria 1 L10 | 1141 | 951 | 0,59 | 0,36 | 0,51 | 0,38 |
| | Seria 2 L15 | 1099 | 997 | 0,93 | 1,10 | 0,84 | 1,10 |
| | Seria 3 L20 | 1278 | 1021 | 1,64 | 2,24 | 1,28 | 2,19 |
| G2 | Seria 4 C10 | 1164 | 965 | 1,40 | 1,00 | 1,20 | 1,03 |
| | Seria 5 C15 | 1139 | 1000 | 2,96 | 2,13 | 2,60 | 2,13 |
| | Seria 6 C20 | 1202 | 1038 | 5,25 | 4,43 | 4,36 | 4,26 |
| G3 | Seria 7 L10 C5 | 1207 | 998 | 1,38 | 1,76 | 1,14 | 1,76 |
| | Seria 8 L10 C10 | 1196 | 1038 | 3,11 | 3,71 | 2,60 | 3,57 |
| | Seria 9 L15 C5 | 1200 | 1023 | 2,37 | 2,78 | 1,97 | 2,71 |
| | Seria 10 L15 C10 | 1260 | 1076 | 4,27 | 4,86 | 3,39 | 4,51 |
| | Seria 11 L20 C5 | 1153 | 1077 | 2,40 | 3,00 | 2,08 | 2,78 |
| | Seria 12 L20 C10 | 1239 | 1163 | 5,02 | 5,36 | 4,05 | 4,71 |

Contribuții referitoare la utilizarea deșeurilor refolosibile la producerea unor noi tipuri de materiale de construcții

Rezistența la compresiune la 28 și 90 zile,
pentru materialele din grupurile G1 și G2, pe baza de slam dens, realizate în etapa I

- Legenda:
- 10% liant clasic
 - 15% liant clasic
 - 20% liant clasic

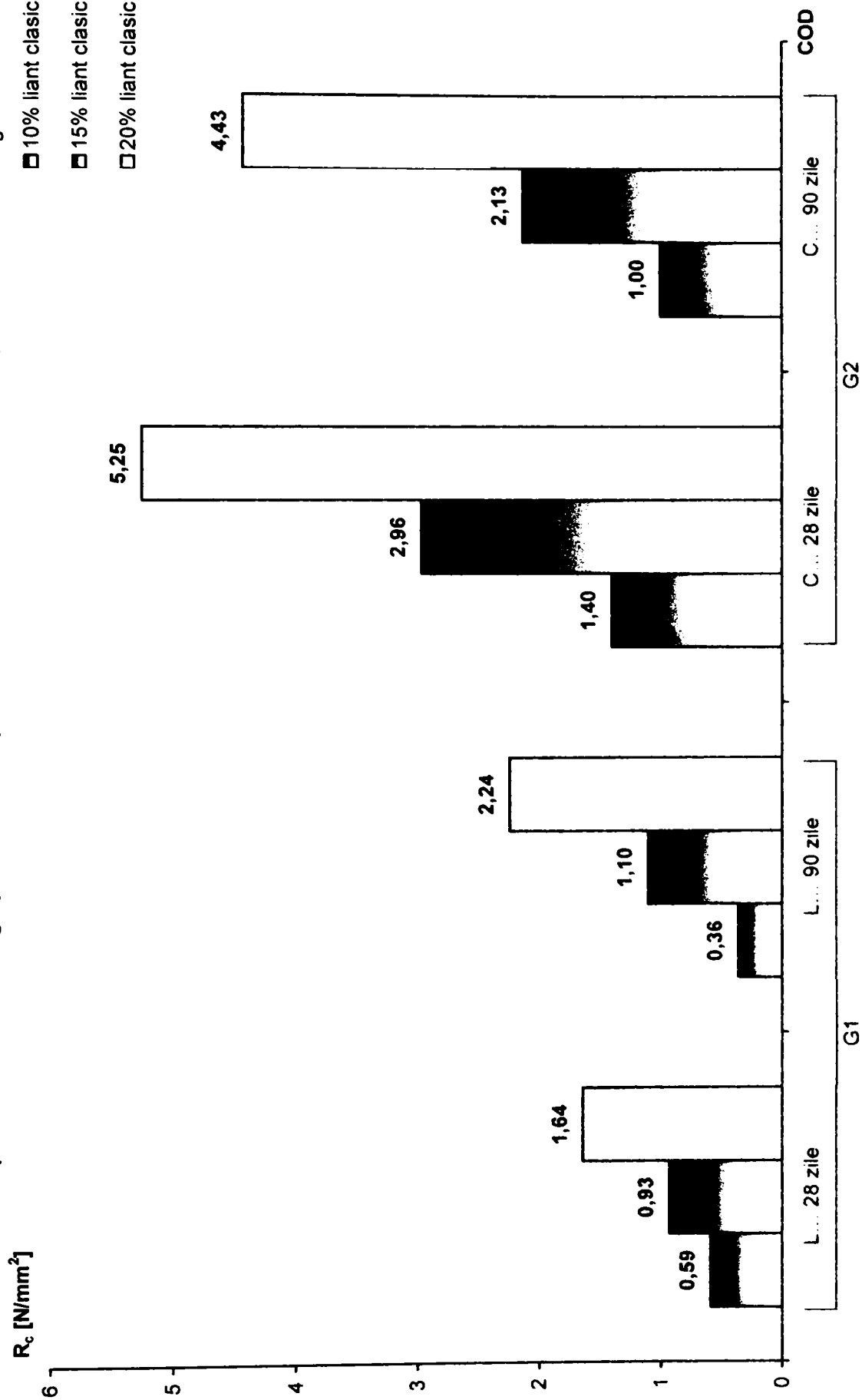


Figura 3.2

Rezistența la compresiune la 28 și 90 zile,
pentru materialele din grupul G3, pe baza de slam dens, realizate în etapa I

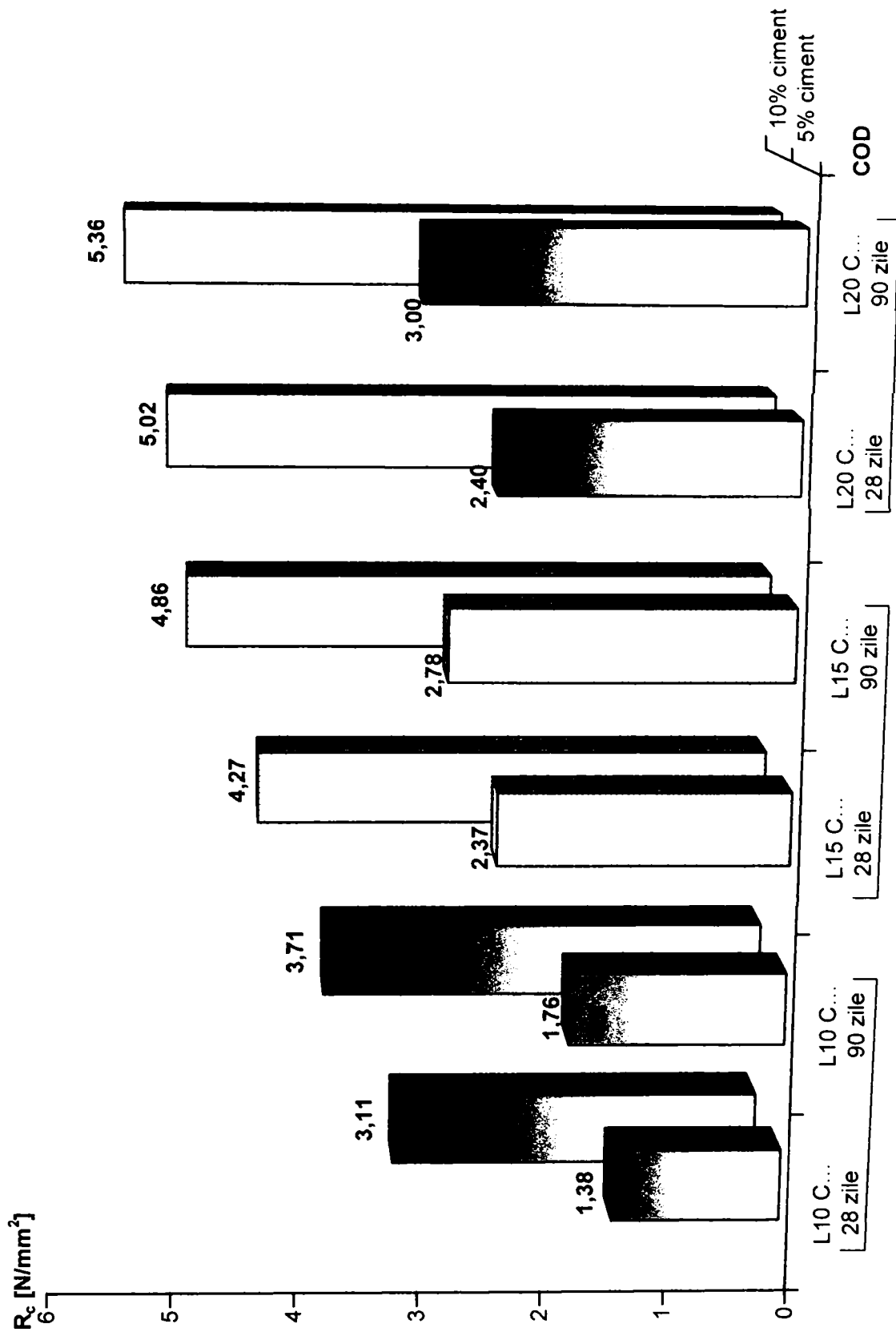


Figura 3.3

Contribuții referitoare la utilizarea deșeurilor refolosibile la producerea unor noi tipuri de materiale de construcții

Eficiența tehnică pentru materialele din grupurile G1, G2, G3, pe baza de slam dens, realizate în etapa I

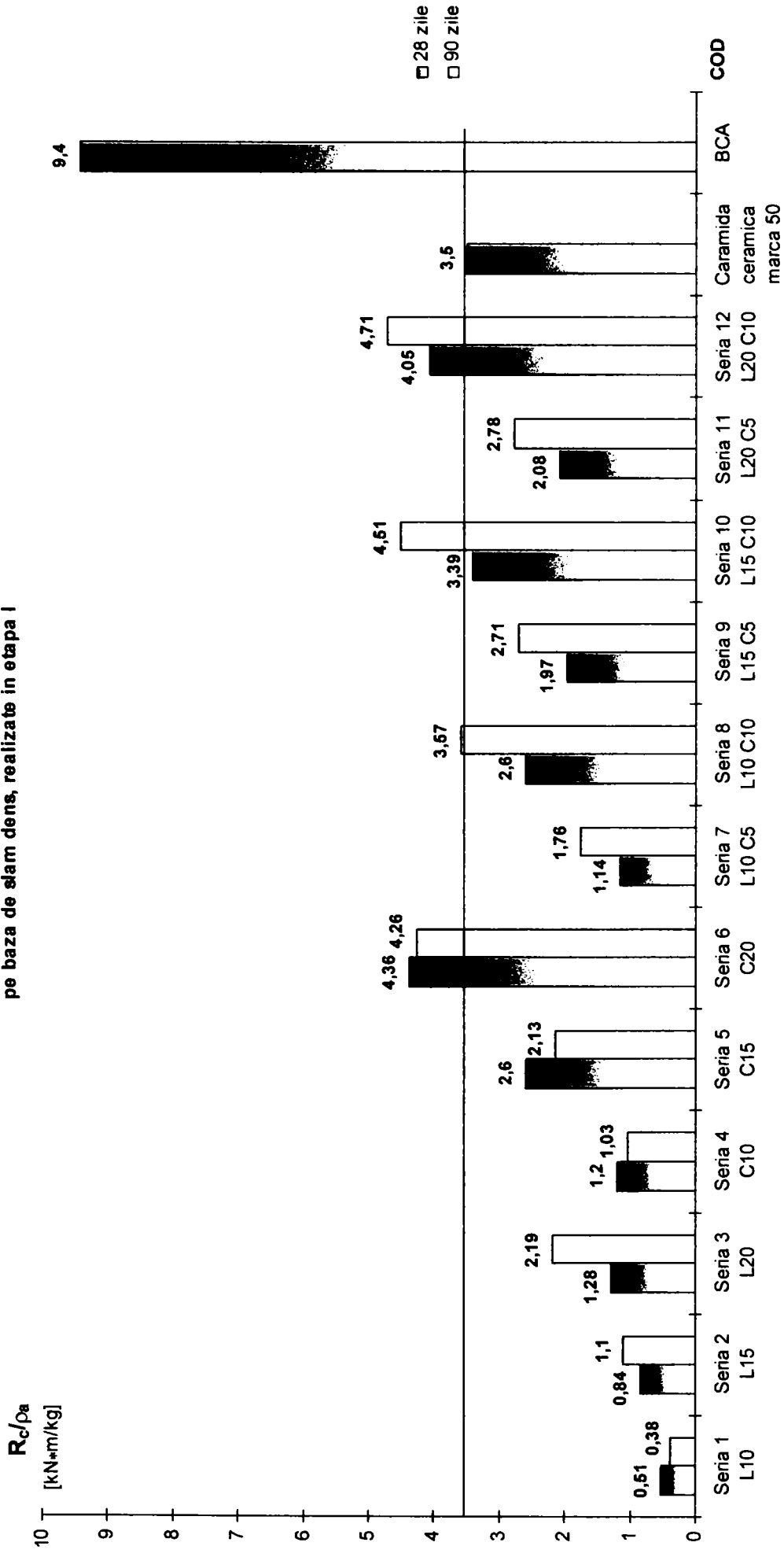


Figura 3.4

Densitatea aparentă la 28 zile este cuprinsă între 1099 kg/m^3 și 1278 kg/m^3 , încadrând materialele în categoria mortarelor ușoare, în clasa de densitate C1 pentru elementele de zidărie ceramice sau în categoria BCA-urilor. Deși s-a crescut procentul de liant clasic, pentru seria 2 L 15 și seria 5 C 15, densitatea prezintă o ușoară scădere, probabil datorită reacțiilor chimice dintre liantul clasic și șlamul dens, corelate și cu cantitatea de apă prezentă în exces. La această vârstă, materialele prezentau o umiditate vizibilă.

La vârsta de 90 zile densitatea aparentă a scăzut cu valori cuprinse între 76 kg/m^3 (seria 12 L20 C10 și seria 11 L20 C5) și 275 kg/m^3 (seria 3 L20).

La 28 zile, seriile care au realizat o rezistență la compresiune mai mare de $2,5 \text{ N/mm}^2$ (condiție pentru realizarea unei zidării neportante) sunt: seria 5 C15, seria 8 L10 C10 și seria 10 L15 C10. Rezistență la compresiune mai mare de 5 N/mm^2 s-a obținut pentru seria 6 C20 și pentru seria 12 L20 C10.

Se constată că, la 28 zile, odată cu sporirea cantității de liant rezistența la compresiune crește, în proporții diferite. Astfel, pentru epruvetele la care s-a folosit var, rezistența la compresiune sporește de la $0,59 \text{ N/mm}^2$ pentru 10% var la $1,64 \text{ N/mm}^2$ pentru 20% var, adică cu 178%; la epruvetele confecționate cu ciment, rezistențele la compresiune cresc de la $1,40 \text{ N/mm}^2$ pentru 10% ciment la $5,25 \text{ N/mm}^2$ pentru 20% ciment, adică cu 275% (figura 3.2).

Între cele două tipuri de lianți se constată o creștere a rezistenței la compresiune cu mult mai mare în cazul folosirii cimentului: pentru un adaos de 20% liant clasic, creșterea este de la $1,64 \text{ N/mm}^2$ pentru var până la $5,25 \text{ N/mm}^2$ pentru ciment, adică un spor de 220%.

În cazul folosirii unui amestec de lianți clasici (var+ciment), variația rezistențelor este prezentată în figura 3.3. se poate observa că s-au înregistrat și pentru aceste materiale, creșteri ale rezistenței odată cu sporirea cantității de liant clasic amestecat, cea mai mare valoare fiind de $5,02 \text{ N/mm}^2$ (seria 12 L20 C10). Astfel, variația cimentului de la 5% la 10% a dus la o creștere de 125% pentru 10% var, de 80% pentru 15% var și de 109% pentru 20% var.

Realizând o comparație între materialele care au 20% liant clasic (figurile 3.2 și 3.3) se poate observa că amestecurile preparate numai cu ciment au rezistențe mai mari la 28 zile (seria 6 C 20) în comparație cu materialele realizate cu lianți clasici amestecați (seria 8 L10 C10 și seria 9 L15 C5).

Rezistența la compresiune la vârsta de 90 zile arată următoarele:

- are o variație crescătoare, de la 28 zile la 90 zile, pentru epruvetele confecționate cu liant amestecat (var și ciment) și pentru cele confecționate numai cu var; cea mai mare creștere (de $0,60 \text{ N/mm}^2$) s-a înregistrat pentru seria 3 L20, seria 8 L10 C10 și seria 11 L20 C5;

- pentru probele confecționate numai cu ciment (10, 15 și 20%) s-a constatat o scădere, de la 28 zile la 90 zile; valorile acestor scăderi fiind de: 0,40 N/mm²; 0,83 N/mm² și 0,82 N/mm² (figurile 3.2 și 3.3); cauza probabilă a acestor scăderi pare să fie contracția la uscare, fenomen specific materialelor realizate numai cu ciment portland.

Variația coeficientului de calitate R_c/ρ_a prezentat în graficul din figura 3.4 arată că, la 28 zile, eficiența materialelor pe bază de șlam dens este apropiată de cea a mortarelor M4÷M25 și a cărămizilor ceramice marca 150, cele mai mari valori fiind obținute pentru probele cu cele mai mari rezistențe la compresiune, adică seria 6 C20, seria 10 L15 C10 și seria 12 L20 C10.

Pentru vârsta de 90 zile, coeficientul de eficiență tehnică a crescut pentru probele cu lianți clasici amestecați și sau cele numai cu var, excepție făcând L10 care are un procent mai mic de liant.

Pentru probele cu ciment, acest indice este în scădere, el fiind în corelare directă cu rezistența la compresiune care a avut o scădere de la 28 zile la 90 zile.

Cea mai bună comportare s-a obținut pentru seria 12 L20 C10.

b) Referitor la materialele pe bază de șlam dens și nisip, realizate în etapa I

În tabelul 3.8 și în graficul din figura 3.5 se prezintă densitatea aparentă, rezistența la compresiune și coeficientul de eficiență tehnică pentru vârsta de 28 zile.

Tabelul 3.8

Densitatea aparentă, rezistența la compresiune și coeficientul de eficiență tehnică pentru materialele pe bază de șlam dens și nisip, realizate în etapa I

| Grup | COD | Liant Nisip | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | $\frac{R_c}{\rho_a}$, $\left[\frac{\text{kN} \times \text{m}}{\text{kg}} \right]$ |
|------|------------------|----------------|---|--|---|
| G4 | Seria 13 CT | 1:1,16 | 1199 | 0,05 | 0,04 |
| | Seria 14 L17 | 1:1,13 | 1426 | 0,79 | 0,55 |
| | Seria 15 C17 | 1:1,13 | 1506 | 3,46 | 2,30 |
| | Seria 16 L11 C11 | 1:1,24 | 1483 | 3,45 | 2,32 |
| G5 | Seria 17 CT | 1:2,31 | 1477 | 0,06 | 0,04 |
| | Seria 18 L17 | 1:2,26 | 1688 | 1,51 | 0,89 |
| | Seria 19 C17 | 1:2,26 | 1728 | 4,43 | 2,56 |
| | Seria 20 L11 C11 | 1:2,24 | 1718 | 4,33 | 2,52 |

Rezistența la compresiune, la 28 zile, pentru materialele pe baza de șlam dens și nisip, realizate în etapa I

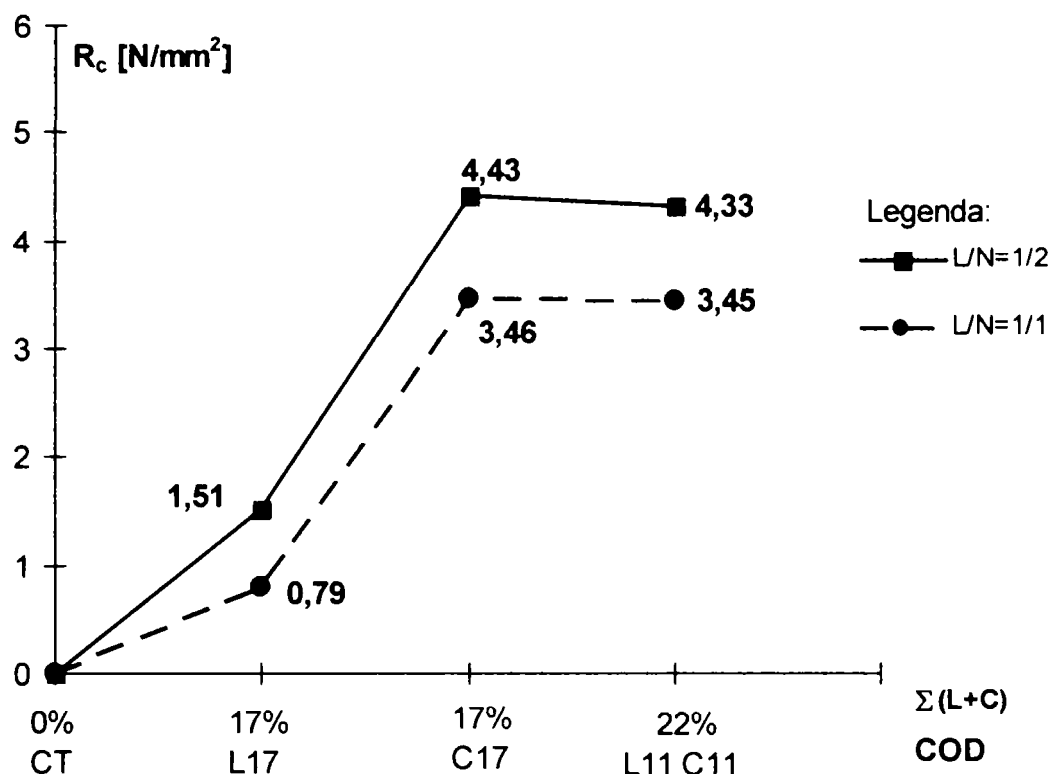


Figura 3.5.

Fiecare grup de materiale conține câte o compoziție de referință realizată doar cu șlam dens și nisip.

Densitatea aparentă are valori cuprinse între 1426 kg/m^3 și 1506 kg/m^3 pentru materiale cu un raport liant/nisip $\approx 1:1$, situându-le în categoria mortarelor ușoare și între 1688 kg/m^3 și 1728 kg/m^3 pentru cele cu un raport liant/nisip $\approx 1:2$, încadrându-le în categoria mortarelor semigrele sau în clasele de densitate C2-C3 ale materialelor ceramice pentru zidărie.

S-au obținut rezistențe la compresiune mai mari de $2,5 \text{ N/mm}^2$ pentru materialele la care liantul clasic a fost ciment sau ciment+var (fig. 4.4).

Se constată că rezistența la compresiune este foarte mică pentru amestecurile la care liantul a fost numai cenușa din șlamul dens, aceste materiale prezentând în continuare numai un rol de comparație.

Se observă că amestecurile care au ca liant clasic 17% ciment au realizat aproximativ aceeași rezistență la compresiune ca și amestecurile cu 22% liant clasic amestecat (11% var și 11% ciment). Din punct de vedere tehnic, rezistența la îngheț-dezghet este hotărâtoare în alegerea compoziției optime.

Amestecurile cu 17% ciment au rezistențe la compresiune cu mult mai mari față de materialele cu 17% var, creșterea rezistențelor pentru un raport liant/nisip $\approx 1/2$ fiind de 193% și pentru un raport liant/nisip $\approx 1/1$ de 338%.

Coefficientul de calitate R_c/ρ_a este asemănător cu cel al mortarelor M 25.

Pentru toate epruvetele, influența nisipului este pozitivă atunci când cantitatea, în masă, se dublează față de cantitatea de liant (cenușă+var+ciment).

În concluzie, putem spune că s-au realizat materiale ce prezintă caracteristici asemănătoare mortarelor M 25 sau elementelor de zidărie neportantă.

c) Referitor la materialele pe bază de șlam dens, realizate în etapa II

În urma studierii valorilor din tabelul 3.9, reprezentate grafic în figurile 3.6 ÷ 3.13 se pot extrage concluziile prezentate în continuare.

Valorile scăzute ale caracteristicilor Seriei 31 L20 C15 (densitatea aparentă, rezistența la întindere, rezistența la compresiune ...) se datorează scăderii densității șlamului dens furnizat de instalație, de la $\rho_{\text{șlam}}=1,36 \text{ kg/dm}^3$ atunci când instalația funcționează în regim normal de lucru, la $\rho_{\text{șlam}}=1,16 \text{ kg/dm}^3$ atunci când instalația funcționează în regim de descărcare. Astfel cantitatea de cenușă de electrofiltru înglobată în șlamul dens a fost în cantitate foarte mică.

În ceea ce privește *densitatea aparentă*, putem spune că:

- *la vârsta de 7 zile*, pentru o creștere a lianților clasici, densitatea aparentă prezintă o creștere pronunțată la un procent de 30% liant clasic (figura 3.6);

- *la vârsta de 28 zile*, acest fenomen se reduce, curbele de variație prezintă acum un palier în intervalul 25%-30% liant clasic, cu excepția seriilor din grupul GSL 1 (figura 3.7). Valorile obținute sunt cuprinse între 934 kg/m^3 și 1167 kg/m^3 , încadrând aceste materiale în categoria mortarelor ușoare sau în clasele de densitate C0-C1, ale materialelor ceramice pentru zidărie.

- *la vârsta de 90 zile*, amestecurile au prezentat modificări neglijabile.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:*

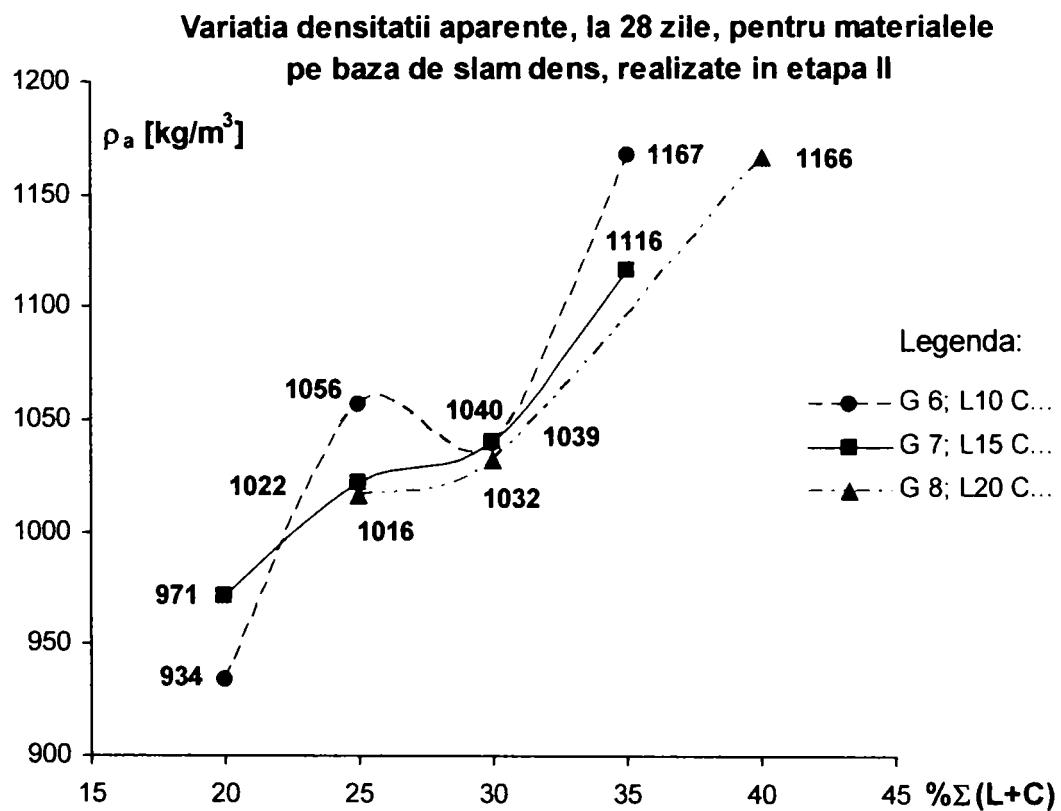
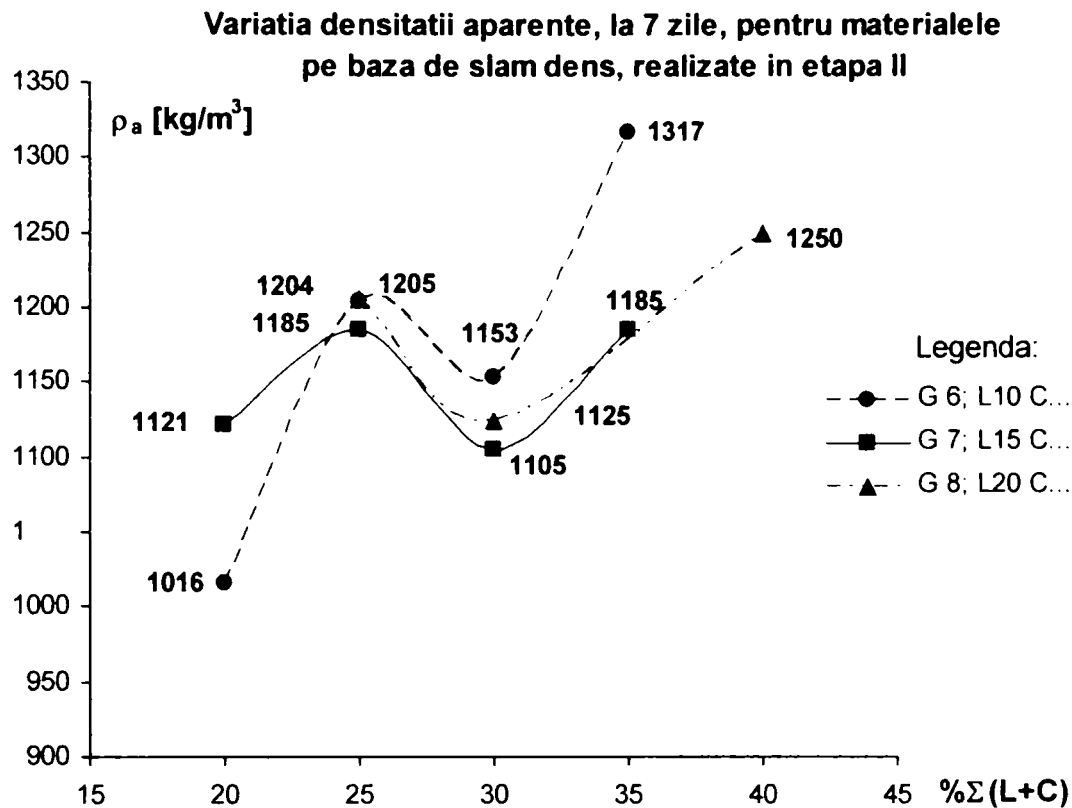
- Pentru materialele din grupul G6, care au un procent constant de 10% var, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 21 L10 C10) la 25% (seria 24 L10 C25) a dus la o creștere a R_{ti} cu $1,0 \text{ N/mm}^2$ (166,7%) și a R_c cu $3,24 \text{ N/mm}^2$ (238,2%).

- La un procent constant de 15% var (materialele din grupul G7), sporirea procentului de ciment de la 5% (seria 25 L15 C5) la 20% (seria 28 L15 C20) a dus la o creștere a R_{ti} cu $1,04 \text{ N/mm}^2$ (247,6%) și a R_c cu $2,91 \text{ N/mm}^2$ (316,3%).

Proprietăți fizico-mecanice pentru amestecurile pe bază de șlam dens, realizate în etapa II

| Grup | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, $\left[\frac{\text{kN} \times \text{m}}{\text{kg}} \right]$ | | |
|------|----------|--|---------|--|--------|---------|---|--------|---------|---|---------|---------|
| | | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 28 zile | 90 zile |
| G6 | Seria 21 | 1016 | 934 | 928 | 0,60 | 0,64 | 0,75 | 1,36 | 2,16 | 2,19 | 2,31 | 2,35 |
| | Seria 22 | 1204 | 1056 | 1055 | 0,77 | 1,27 | 1,28 | 1,78 | 4,07 | 4,10 | 3,85 | 3,88 |
| | Seria 23 | 1153 | 1039 | 1039 | 0,89 | 1,35 | 1,40 | 2,73 | 3,62 | 3,80 | 3,48 | 3,65 |
| | Seria 24 | 1317 | 1167 | 1160 | 1,60 | 2,17 | 2,86 | 4,60 | 7,67 | 7,85 | 6,57 | 6,76 |
| G7 | Seria 25 | 1121 | 971 | 970 | 0,42 | 0,89 | 0,95 | 0,92 | 1,50 | 1,63 | 1,54 | 1,68 |
| | Seria 26 | 1185 | 1022 | 1018 | 0,59 | 1,22 | 1,31 | 1,55 | 2,95 | 2,95 | 2,88 | 2,89 |
| | Seria 27 | 1105 | 1040 | 1030 | 0,84 | 1,23 | 1,52 | 2,71 | 3,28 | 3,76 | 3,15 | 3,65 |
| | Seria 28 | 1185 | 1116 | 1107 | 1,46 | 1,98 | 2,16 | 3,83 | 5,65 | 6,67 | 5,06 | 6,02 |
| G8 | Seria 29 | 1205 | 1016 | 1012 | 0,42 | 1,11 | 1,17 | 1,08 | 2,04 | 2,21 | 2,00 | 2,18 |
| | Seria 30 | 1125 | 1032 | 1030 | 0,65 | 1,19 | 1,40 | 1,85 | 3,27 | 3,71 | 3,16 | 3,60 |
| | Seria 31 | 1165 | 924 | 920 | 0,32 | 0,51 | 0,75 | 0,50 | 0,97 | 1,36 | 1,04 | 1,47 |
| | Seria 32 | 1250 | 1166 | 1158 | 1,32 | 2,07 | 2,58 | 4,10 | 7,17 | 7,25 | 6,14 | 6,26 |

Notă: * $\rho_{\text{șlam}}$ a scăzut la 1,16 kg/dm³ în comparație cu celele amestecuri pentru care $\rho_{\text{șlam}} = 1,36 \text{ kg/dm}^3$



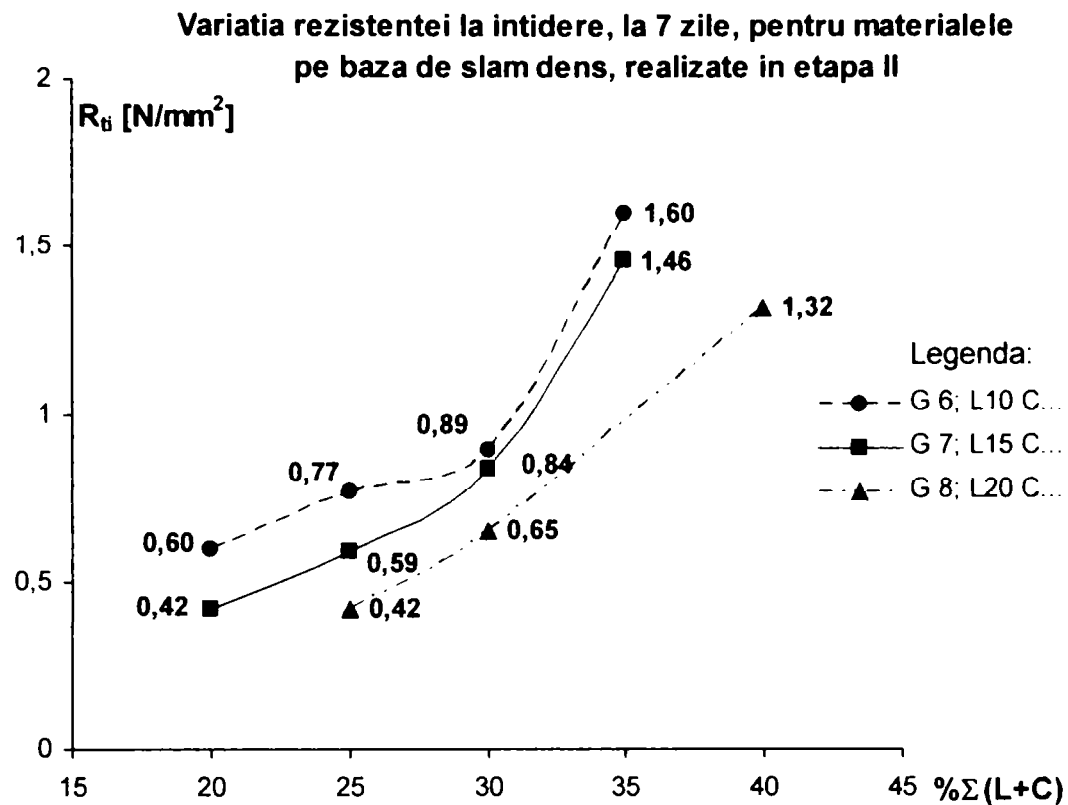


Figura 3.8

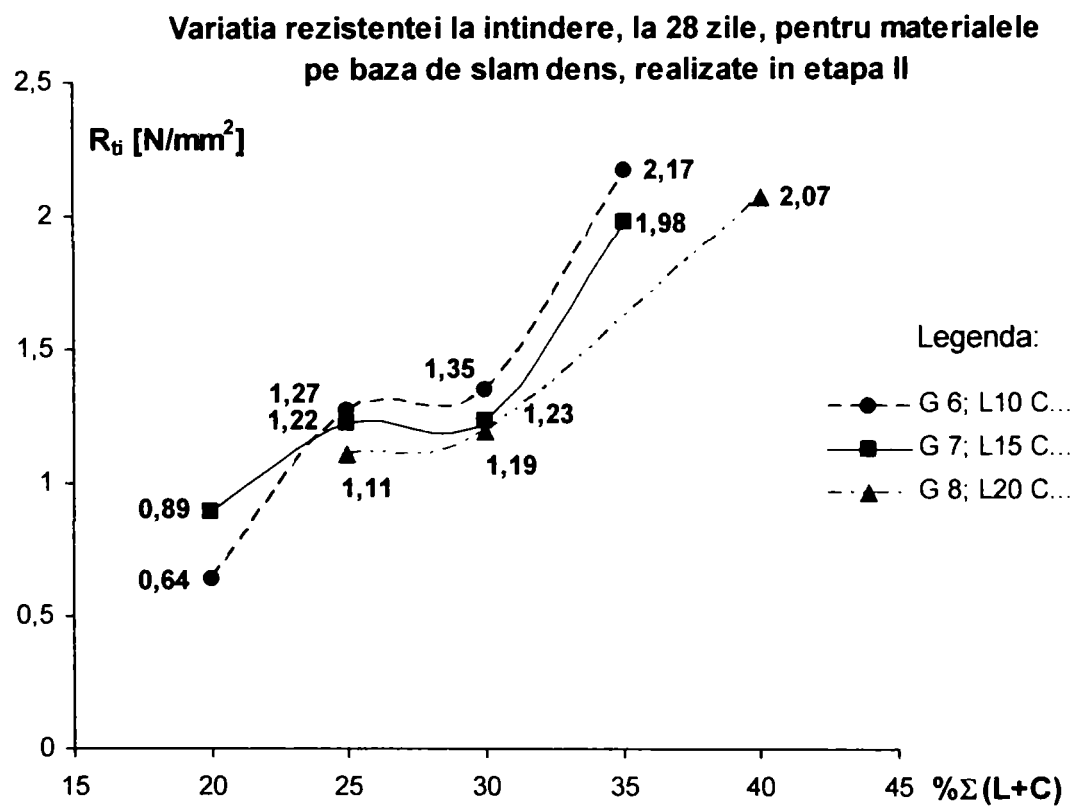


Figura 3.9

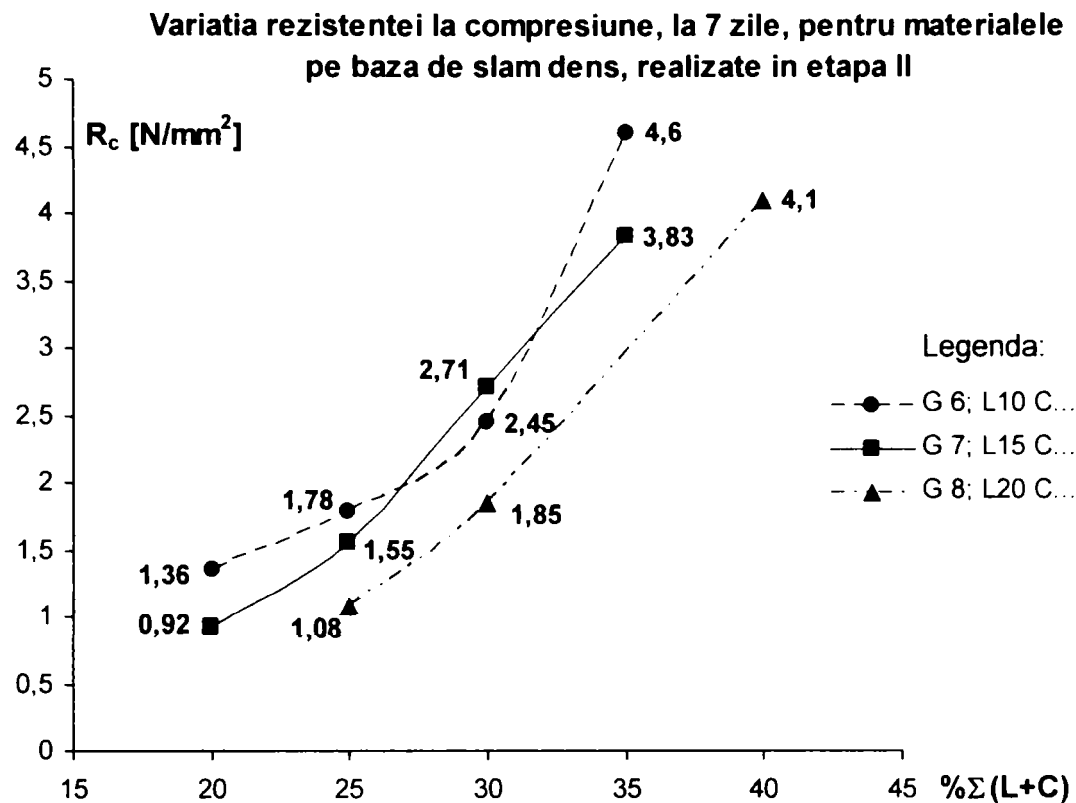


Figura 3.10

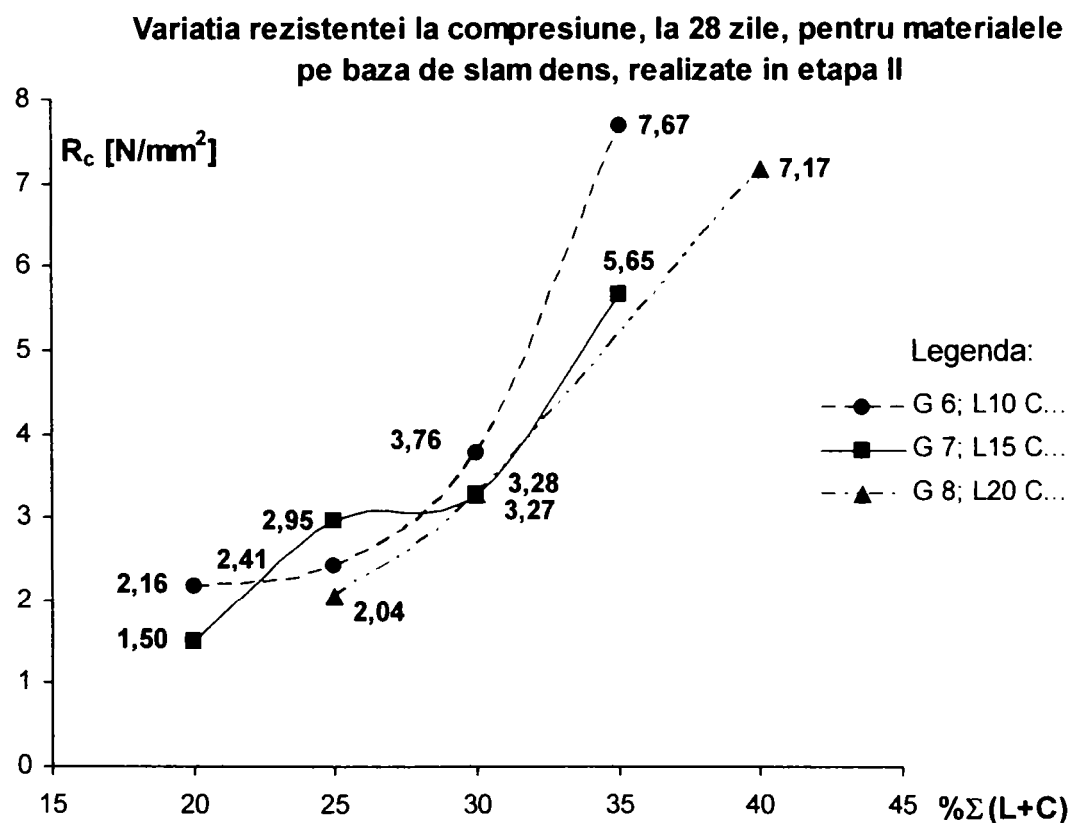


Figura 3.11

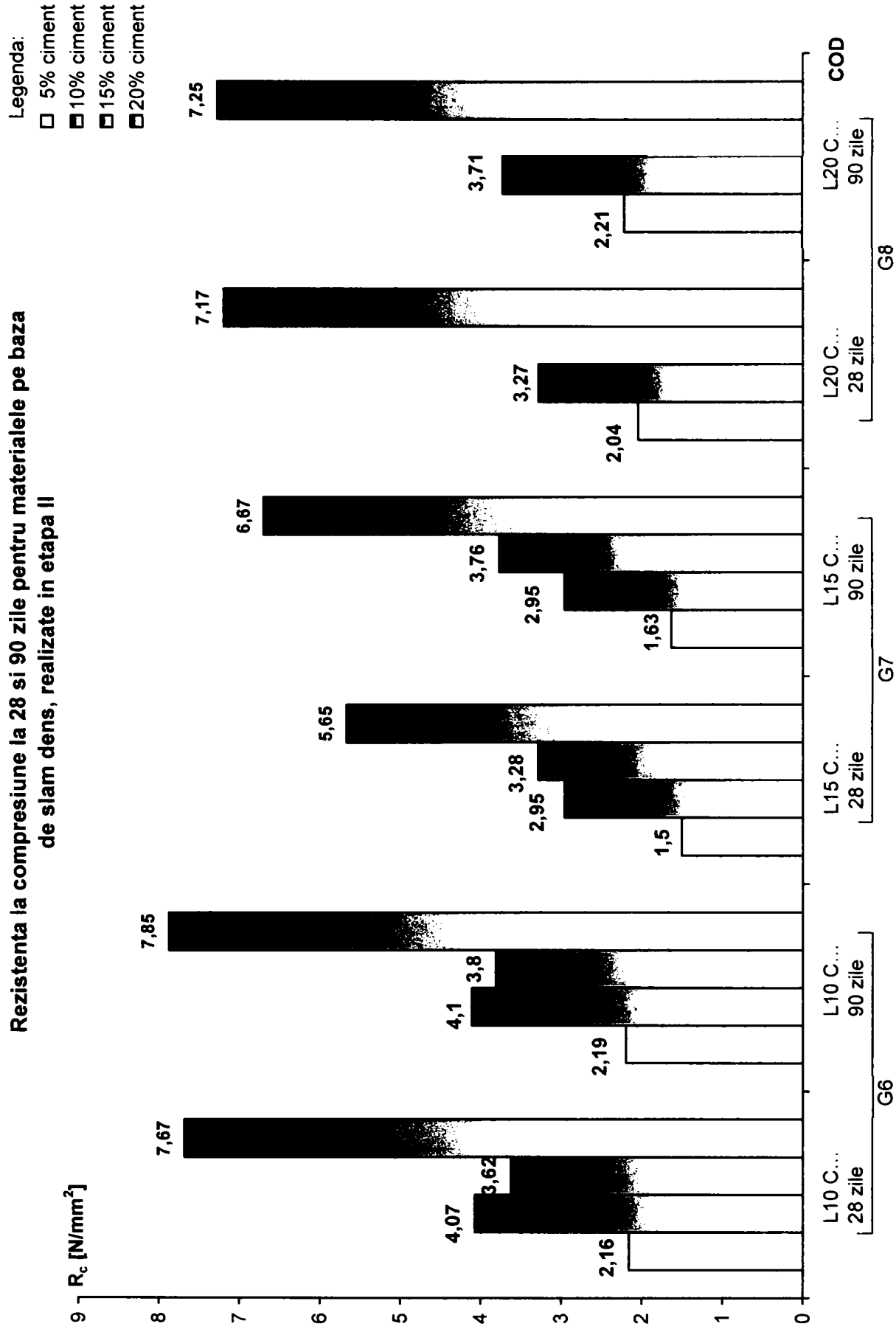


Figura 3.12

Eficiența tehnică pentru materialele din grupele G6, G7, G8 pe baza de siam dens, realizate în etapa II

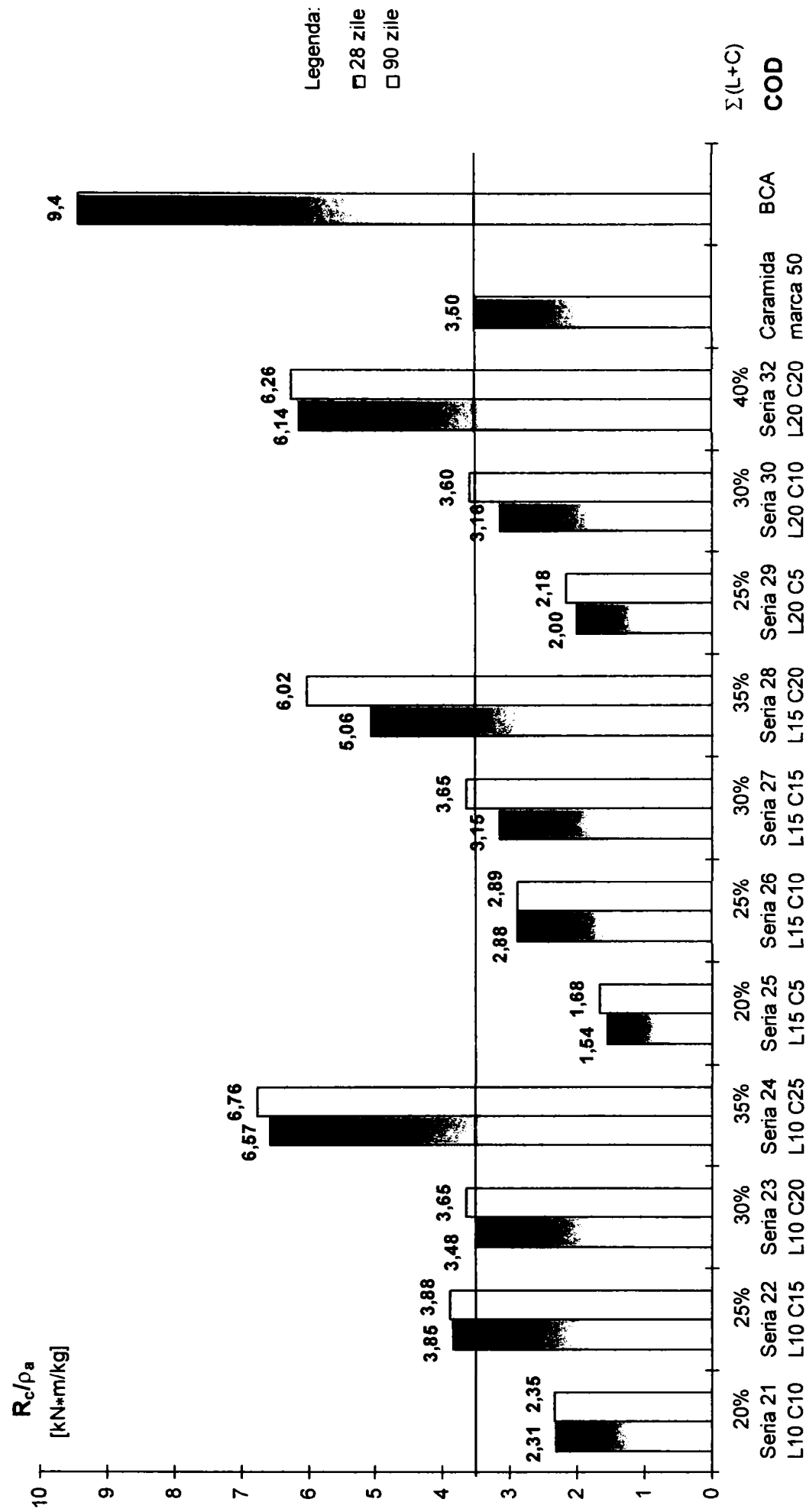


Figura 3.13

- Atunci când s-a păstrat constant procentul de var la 20% (materialele din grupul G8), mărirea procentului de ciment de la 10% (seria 21 L10 C10) la 25% (seria 24 L10 C25) a dus la o creștere a R_{ti} cu $0,9 \text{ N/mm}^2$ (214,3%) și a R_c cu $3,02 \text{ N/mm}^2$ (279,6%).

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile* permit următoarele constatări:

La această vârstă, probele care au realizat o rezistență la compresiune mai mare de $2,5 \text{ N/mm}^2$ sunt cele din seria 22 L 10 C15, seria 23 L10 C20, seria 26 L 15 C10, seria 27 L15 C15, seria 30 L 20 C10. Rezistență la compresiune mai mari de 5 N/mm^2 s-au obținut pentru seria 24 L 10 C25, seria 28 L15 C20, seria 32 L 20 C20.

- Pentru un procent constant de 10% var (materialele din grupul G6), creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 21 L10 C10) la 25% (seria 24 L10 C25) a dus la o creștere a R_{ti} cu $1,53 \text{ N/mm}^2$ (239%) și a R_c cu $5,51 \text{ N/mm}^2$ (255,1%).

- La un procent constant de 15% var (materialele din grupul G7), sporirea procentului de ciment de la 5% (seria 25 L15 C5) la 20% (seria 28 L15 C20) a dus la o creștere a R_{ti} cu $1,09 \text{ N/mm}^2$ (122,5%) și a R_c cu $4,15 \text{ N/mm}^2$ (276,7%).

- Atunci când s-a păstrat constant procentul de var la 20% (materialele din grupul G8), mărirea procentului de ciment de la 10% (seria 21 L10 C10) la 25% (seria 24 L10 C25) a dus la o creștere a R_{ti} cu $0,96 \text{ N/mm}^2$ (86,5%) și a R_c cu $5,13 \text{ N/mm}^2$ (251,5%).

Din studiul graficelor din figurile 3.9 și 3.11 se constată:

- o creștere pronunțată a rezistenței la întindere corespunzătoare unui procent de 25% liant clasic;
- o creștere a rezistenței la compresiune pentru materialele din grupul GSL7 (15% var) și GSL8 (20% var) și o creștere sporită pentru materialele din grupul GSL6 (10% var), corespunzătoare unui procent de 25% liant clasic.
- cele mai mari valori ale R_{ti} și R_c , pentru un procent constant de liant clasic (25%, 30% și 35%), s-au obținut pentru materialele din grupul GSL6 care au în compoziția lor cel mai mare procent de ciment.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 90 zile* arată că s-au înregistrat creșteri cu valori mici pentru majoritatea amestecurilor, în comparație cu cele obținute la vârsta de 28 zile. Excepție face seria 28 L15 C20 care a înregistrat o creștere de 18,1%.

- *Coeficientul de eficiență tehnică* prezentat în graficul din figura 3.13 arată că, la 28 zile, materialele cercetate au o eficiență tehnică asemănătoare cu a mortarelor M4 ÷ M50 sau cu a cărămizilor ceramice pline marca 50.

- *Variația rezistenței la compresiune* funcție de densitatea aparentă pentru materialele noi pe bază de șlam dens (realizate în etapa II), în comparație cu densitatea aparentă a blocurilor ușoare pentru zidărie (BCA) și cu a cărămizilor se prezintă în graficul din figura 3.14.

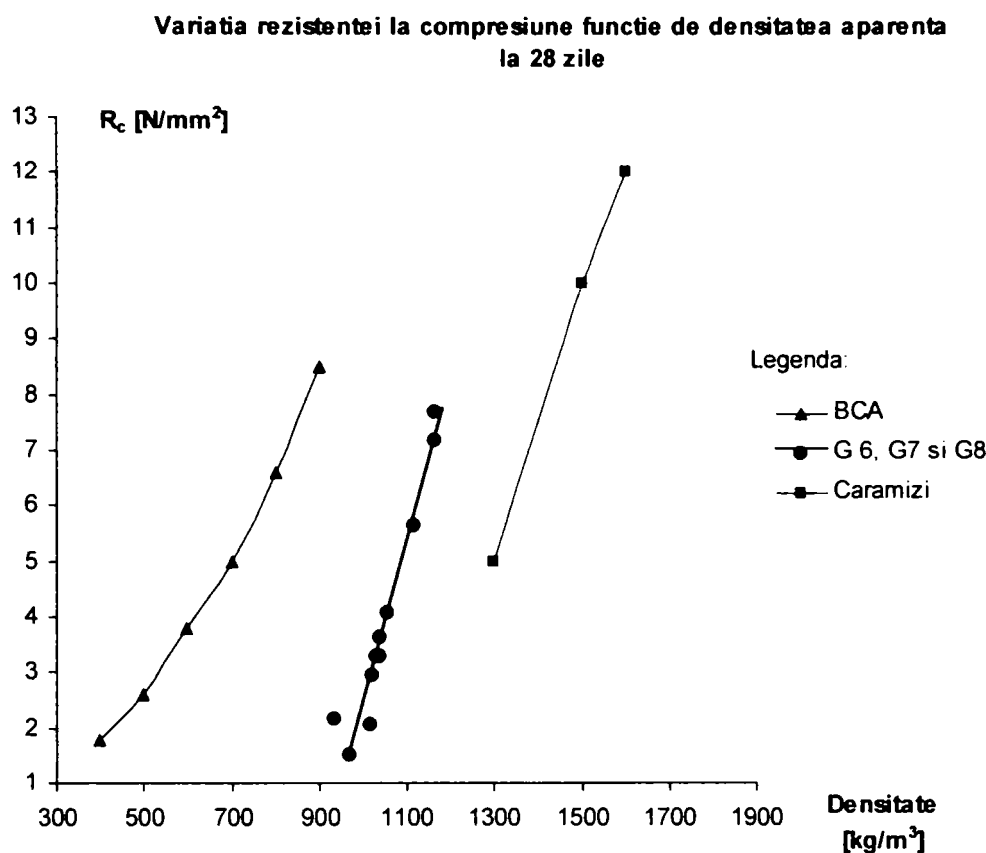


Figura 3.14

Pentru a studia eficiența utilizării șlamului dens produs de instalația specială a COLTERM S.A. Timișoara, s-au preparat amestecurile din grupul G6 și cu un șlam produs în laborator prin amestecarea cenușii cu apă, obținându-se amestecurile din grupul G6', ale căror caracteristici se prezintă în tabelul 3.10.

Tabelul 3.10

Caracteristici fizico-mecanice ale amestecurilor din grupul G6', realizate în laborator, la vârsta de 7 zile și 28 zile

| Grup | COD | | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | |
|------|-----------|---------|---|---------|---|---------|--|---------|
| | | | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile |
| G6' | Seria 22' | L10 C15 | 958 | 918 | 0,39 | 0,42 | 1,17 | 1,61 |
| | Seria 23' | L10 C20 | 1020 | 979 | 0,53 | 0,80 | 2,08 | 3,06 |
| | Seria 24' | L10 C25 | 1099 | 1026 | 0,63 | 1,26 | 2,96 | 4,28 |

Se constată că rezistențele mecanice cresc odată cu sporirea cantității de ciment.

Amestecurile realizate în laborator au realizat rezistențe la compresiune mai mici cu până la 60% în comparație cu aceleași materiale realizate cu șlam dens. Se evidențiază astfel, proprietățile hidraulice mult mărite ale amestecului cenușă-apă care rezultă din instalația de șlam dens.

Realizând o comparație între valorile obținute de materialele pe bază de șlam dens din grupul G3, la vârsta de 28 zile, realizate în etapa I, cu valorile obținute de aceleași compoziții, la aceeași vârstă, dar realizate în etapa II, se observă o scădere a caracteristicilor fizico-mecanice în etapa II: densitatea aparentă scade cu valori cuprinse între 137 kg/m^3 și 260 kg/m^3 ($13,5\% \div 28,1\%$), iar R_c cu $0,36 \text{ N/mm}^2$ până la $1,75 \text{ N/mm}^2$ ($17,6\% \div 58\%$). Acest fenomen poate fi generat de caracteristicile diferite ale cenușii din șlamul dens (produsă prin arderea cărbunilor aprovizionați în sezoane diferite).

*
* *

În concluzie putem spune că, s-au realizat materiale pe bază de șlam dens care se pot utiliza la realizarea de zidării neportante și portante.

Prin mărirea procentului de lianți clasici s-a înregistrat o creștere a rezistențelor mecanice pentru toate materialele, cu excepția seriei 23 L10 C20.

Cele mai mari valori ale rezistenței la compresiune (de peste 7 N/mm^2) s-au înregistrat pentru seria 24 L10 C25 și pentru seria 32 L20 C20, care au un procent maxim de ciment.

Amestecul cenușă-apă dens prezintă caracteristici mult îmbunătățite atunci când rezultă din instalația de șlam în comparație cu o amestecare mecanizată obișnuită.

d) Referitor la materialele pe bază de șlam dens și nisip, realizate în etapa II

În urma studierii valorilor din tabelul 3.11, reprezentate grafic în figurile 3.15 ÷ 3.21 se pot extrage concluziile prezentate în continuare.

1) Densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G9

Densitatea aparentă la 7 zile se situează între 1626 kg/m^3 și 1780 kg/m^3 , iar la 28 zile între 1585 kg/m^3 și 1707 kg/m^3 (figura 3.15) încadrând materialele în categoria mortarelor semigrele sau în clasa de densitate C3, a materialelor ceramice pentru zidărie.

Se observă că rezistența la compresiune are o creștere mică de la 7 zile la 28 zile, datorită întăririi lente a compușilor proveniți din cenuși (aceasta reprezintă un procent mare din suma lianților amestecați).

Tabelul 3.11

Proprietăți fizico-mecanice ale amestecurilor pe bază de șlam dens și nisip, realizate în etapa II

| Grup | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, [$\frac{kN \times m}{kg}$] | |
|------|------------------|---|---------|---------|---|---------|---------|--|---------|---------|---|---------|
| | | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 28 zile | 90 zile |
| G9 | Seria 33 L10 C10 | 1626 | 1585 | 1580 | 0,51 | 0,77 | 0,82 | 2,49 | 2,72 | 2,73 | 1,71 | 1,72 |
| | Seria 34 L20 C10 | 1672 | 1652 | 1640 | 0,67 | 0,95 | 1,24 | 3,28 | 4,13 | 4,74 | 2,5 | 2,89 |
| | Seria 35 L10 C20 | 1780 | 1707 | 1700 | 1,14 | 1,28 | 1,40 | 4,95 | 5,89 | 6,31 | 3,4 | 3,71 |
| G10 | Seria 36 L5 C5 | 1413 | 1386 | 1305 | 0,51 | 0,80 | 0,54 | 1,90 | 3,41 | 3,14 | 2,4 | 2,40 |
| | Seria 37 L16 C8 | 1556 | 1535 | 1500 | 0,93 | 1,19 | 1,88 | 3,96 | 5,84 | 6,62 | 4,1 | 4,41 |
| | Seria 38 L8 C16 | 1496 | 1452 | 1435 | 1,34 | 2,01 | 2,46 | 5,85 | 9,15 | 10,89 | 6,3 | 7,58 |

$\frac{R_c}{\rho_a}$ s-a determinat pentru valori înregistrate la vârsta de 28 și la 90 zile.

La 28 zile, pentru o creștere procentului de var de la 10% (seria 33 L10 C10) la 20% (seria 34 L20 C10), R_{ti} a crescut cu 0,18 N/mm² (23,3%) iar R_c cu 1,41 N/mm² (51,8%).

Pentru o creștere a procentului de ciment de la 10% (seria 33 L10 C10) la 20% (seria 35 L10 C20), R_{ti} a crescut cu 0,51 N/mm² (66,2%) iar R_c cu 3,17 N/mm² (116,5%).

În concluzie se poate spune că, rezistența la întindere din încovoiere cât și rezistența la compresiune au valori crescătoare în concordanță cu creșterea procentului de liant clasic (var+ciment).

Cele mai mari valori s-au înregistrat pentru seria 35 L10 C20 cu $R_{ti} = 1,28 \text{ N/mm}^2$ și $R_c = 5,89 \text{ N/mm}^2$.

Variatia densitatii aparente pentru materialele din grupul G9

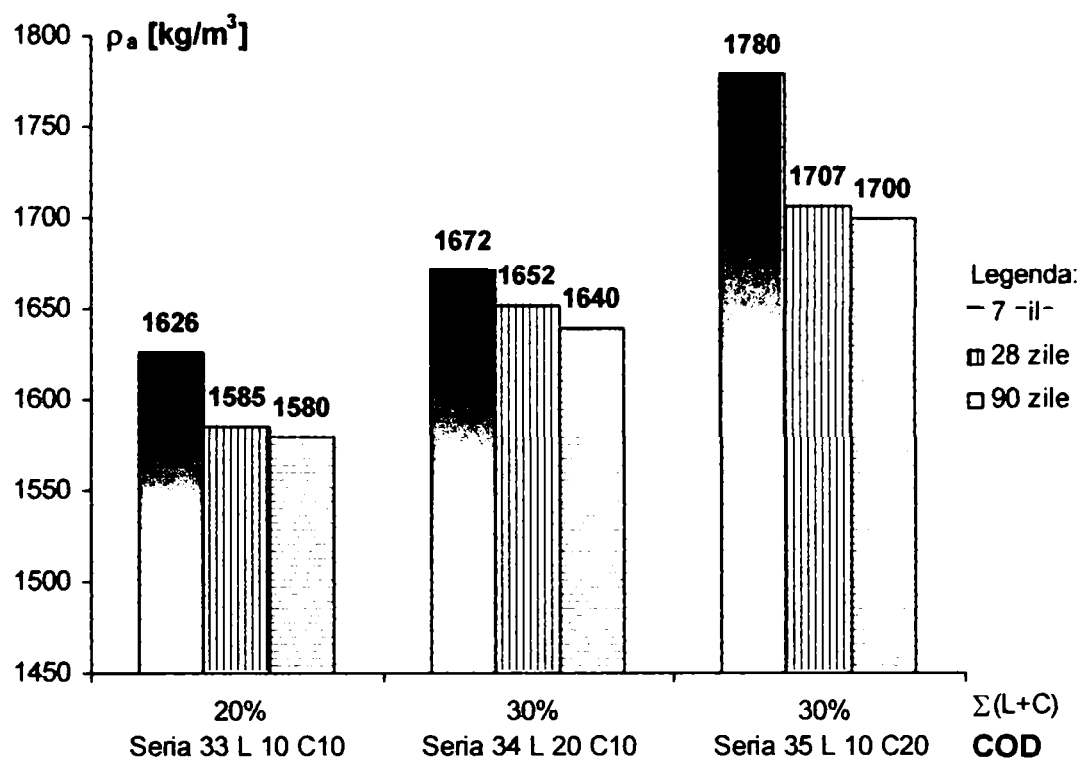


Figura 3.15

Variatia densitatii aparente pentru materialele din grupul G10

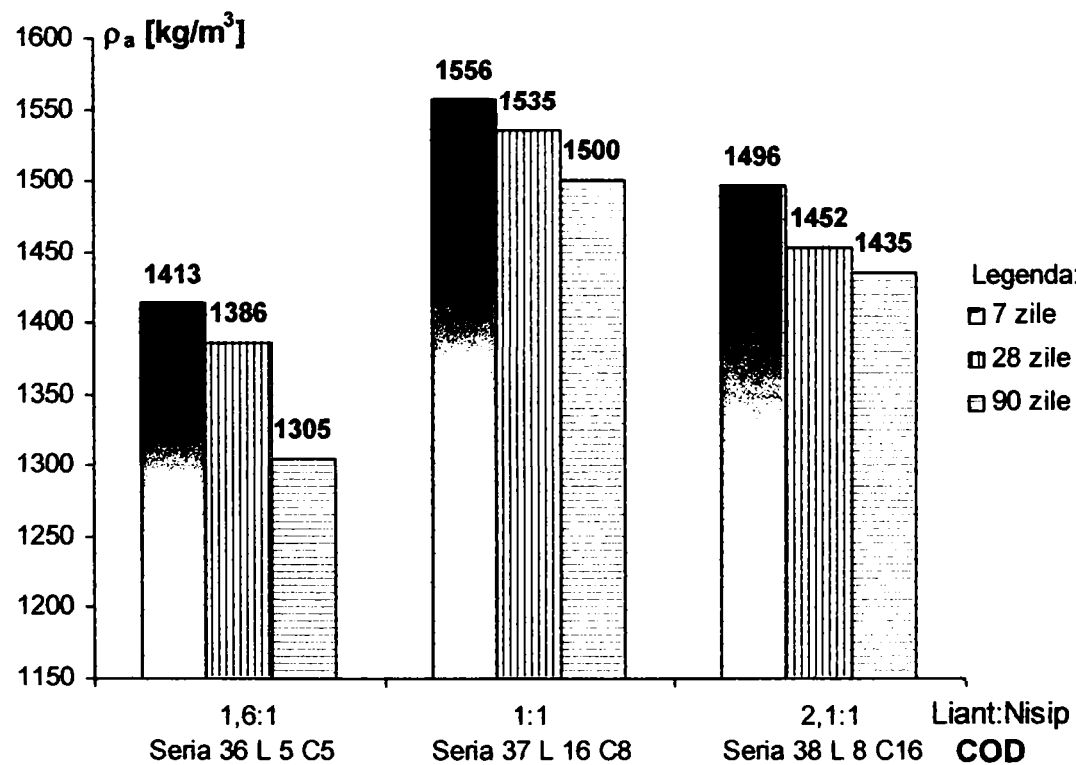


Figura 3.16

Variatia rezistentei la intindere pentru materialele din grupul G9

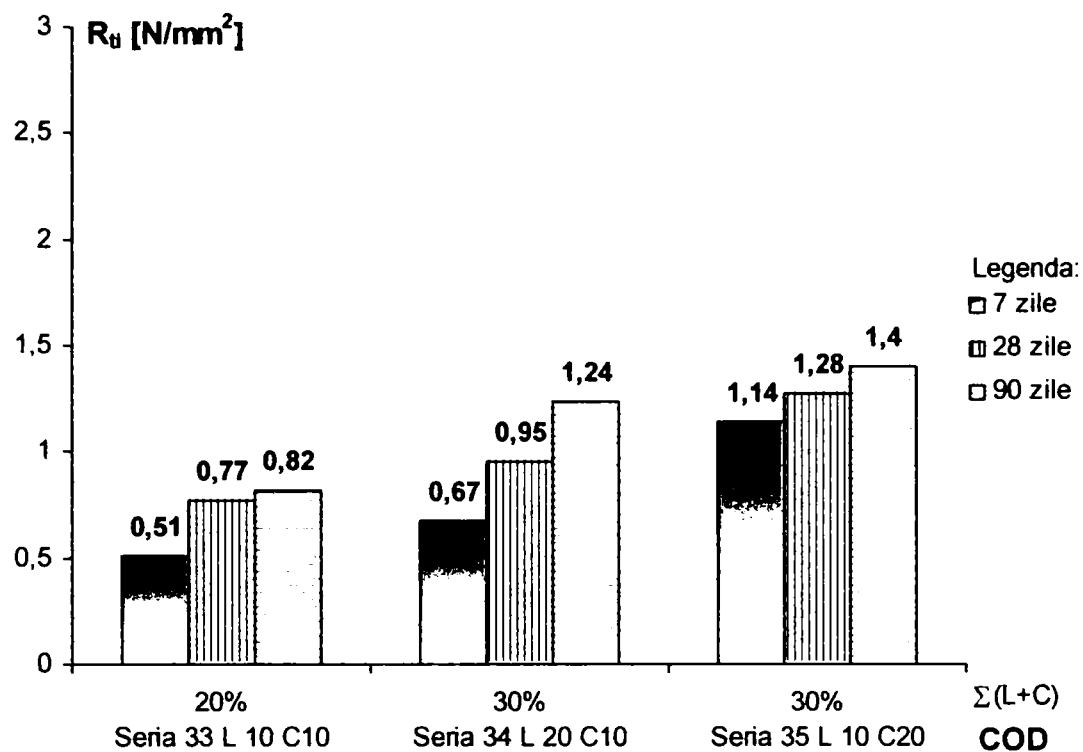


Figura 3.17

Variatia rezistentei la intindere pentru materialele din grupul G10

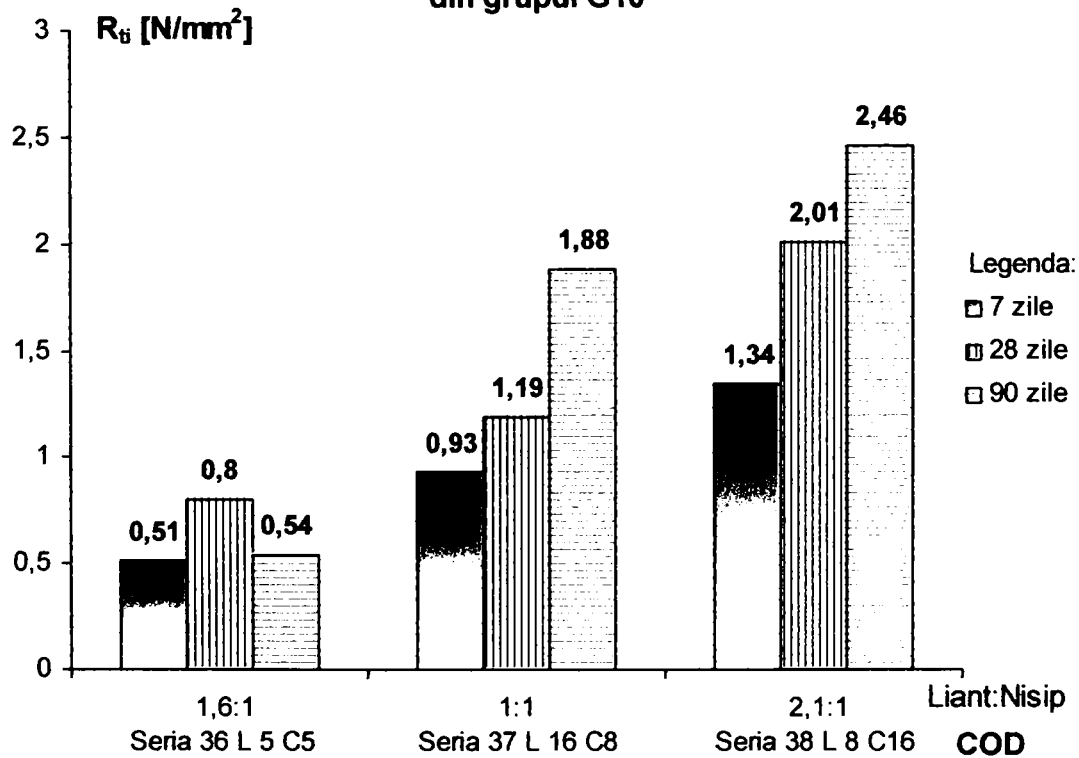


Figura 3.18

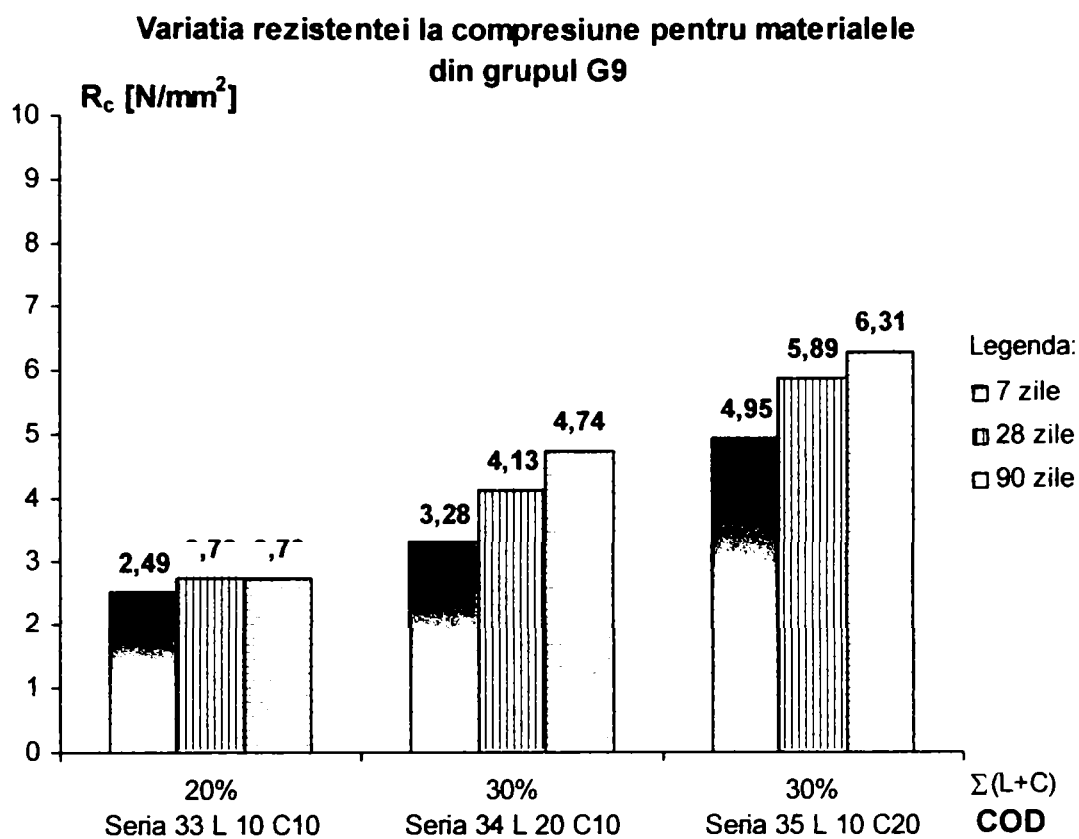


Figura 3.19

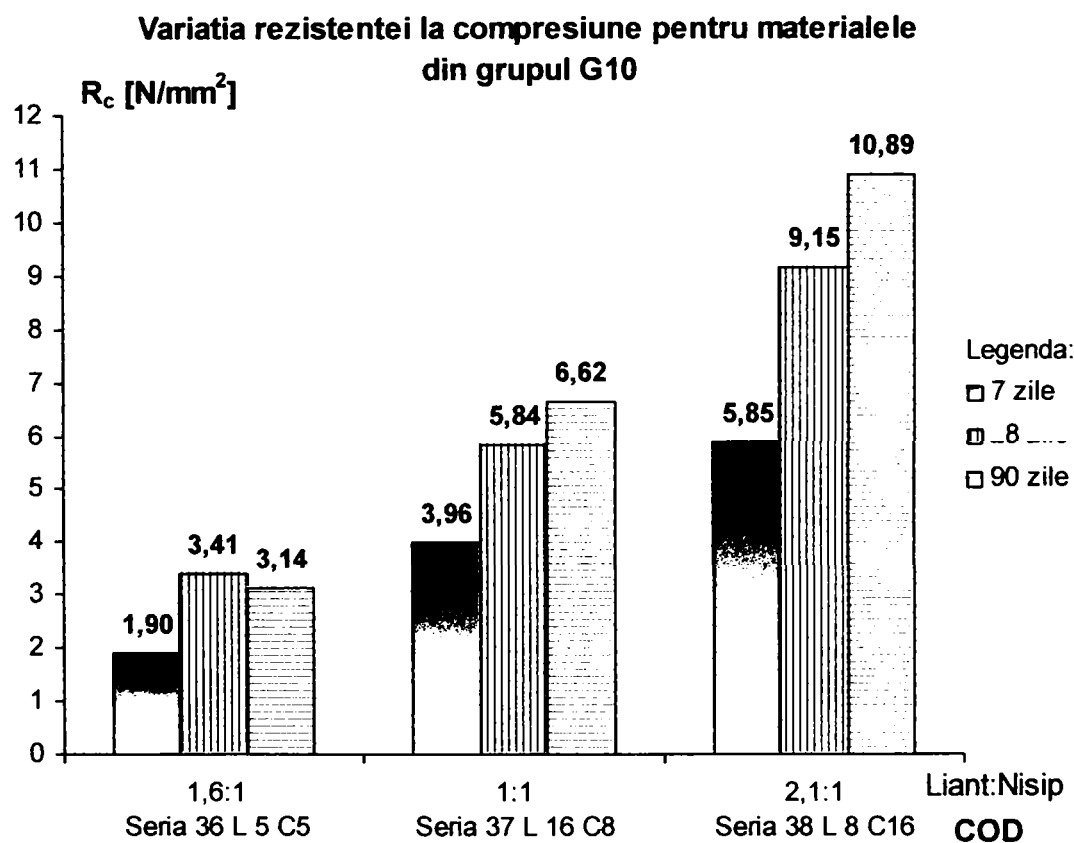


Figura 3.20

Eficiența tehnică pentru materialele pe baza de slam dens și nisip din grupele G9 și G10, realizate în etapa II

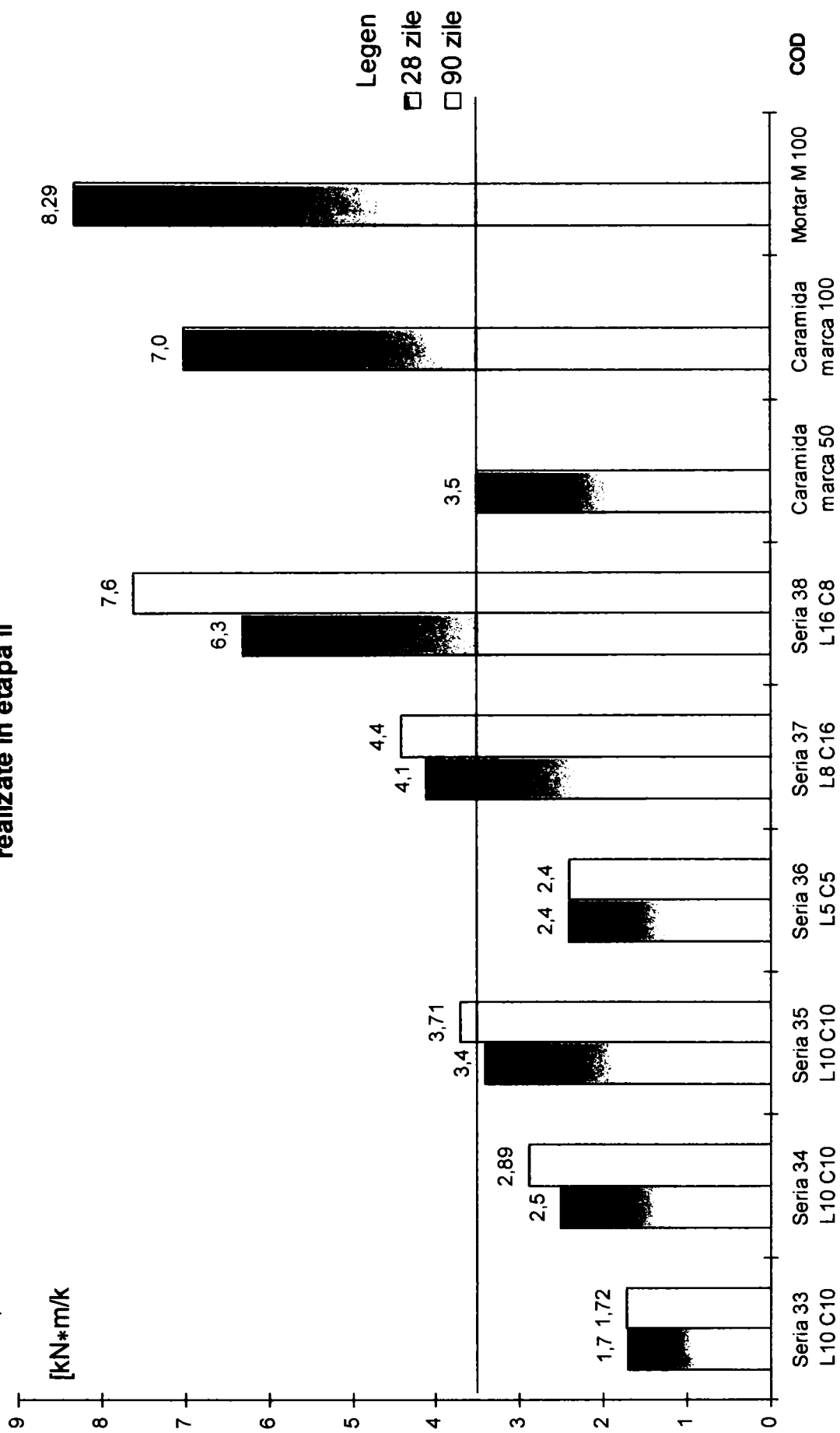


Figura 3.21

2) Densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G10

Densitatea aparentă la 7 zile se încadrează între 1413 kg/m³ și 1556 kg/m³, iar la 28 zile este de 1386 kg/m³ încadrând materialele în categoria mortarelor ușoare sau în clasa de densitate C2 a materialelor ceramice și de 1535 kg/m³ pentru seria 37 L16 C16 și 1541 kg/m³ pentru seria 38 L8 C16 încadrându-le în categoria mortarelor semigrele sau în clasa de densitate C3, în a materialelor ceramice pentru zidărie.

Prin înlocuirea unei părți de nisip cu cenușă de electrofiltru și a 8% var (seria 18 L16 C8) cu 5% ciment (seria 37 L8 C16), rezistența la întindere din încovoiere R_{ti} a crescut cu 0,82 N/mm² (68,9%), iar R_c a crescut cu 3,3 N/mm² (56,4%).

Comparând R_c a seriei 37 L16 C8 care are mai mult liant clasic și mai puțin nisip (tabelul 3.4), cu seria 35 L10 C20, se constată că R_c a rămas aproape neschimbat.

Rezistențele mecanice la vârsta de 90 zile cresc, comparativ cu cele obținute la vârsta de 28 zile. Excepție face seria 36 L5 C5, cu un procent mic de liant clasic, pentru care rezistențele mecanice scad.

Coefficientul de eficiență tehnică prezentat în graficul din figura 3.21 arată că, la 28 zile, materialele cercetate au o eficiență tehnică asemănătoare mortarelor M100, respectiv cărămizilor ceramice pline marca 50 și 100.

În concluzie putem spune că, rezistența la întindere din încovoiere și rezistența la compresiune cresc cu vârsta (de la 7 zile la 28 zile) și cu creșterea procentului de liant clasic.

Cele mai mari valori s-au înregistrat pentru seria 38 L8 C16 cu procent maxim de ciment și un raport liant:nisip = 2,1:1, care are la 28 zile $R_{ti} = 2,01$ N/mm² și $R_c = 9,15$ N/mm² (figurile 3.18 și 3.20).

3.6. Rezistența la îngheț-dezghet

Materialele pe bază de șlam dens, realizate în etapa I, au fost supuse la cicluri de îngheț-dezghet, conform STAS 3518-89, determinându-se pierderea de masă Δm și scăderea de rezistență ΔR_c , după relațiile:

$$\% \Delta m = \frac{m_{sa} - m_g}{m_u} \times 100 \quad (3.3)$$

unde: m_{sa} = masa probelor saturate cu apă, înainte de ciclurile de îngheț-dezghet;

m_g = masa probelor saturate cu apă, după realizarea ciclurilor de îngheț-dezghet;

m_u = masa probelor uscate.

$$\% \Delta R_c = \frac{R_c - R_c^g}{R_c} \times 100 \quad (3.4)$$

unde: R_c = rezistența la compresiune, la 28 zile;

R_c^g = rezistența la compresiune, după realizarea ciclurilor de îngheț-dezghet.

După fiecare grup de 5 cicluri de îngheț-dezghet s-au stabilit $\% \Delta m$ și $\% \Delta R_c$.

Condițiile impuse probelor pentru a putea trece la un ciclu următor de îngheț-dezghet a fost ca pierderea de masă să fie mai mică de 5% și să nu prezinte deteriorări vizibile.

În tabelul 3.12 și în graficul din figura 3.22 se prezintă pierderea de masă Δm . Se observă că după 15 cicluri, seria 3 L20, seria 11 L20 C5 și seria 12 L20 C10 îndeplinesc condiția de maxim 5% pierdere de masă. Cea mai bună comportare s-a înregistrat pentru seria 12 L20 C10.

Tabelul 3.12

Pierderea de masă Δm a amestecurilor pe bază de șlam dens realizate în etapa I, după diferite cicluri de îngheț-dezghet

| Grup | COD | Δm (%) după 5 cicluri | Δm (%) după 10 cicluri | Δm (%) după 15 cicluri | Δm (%) după 20 cicluri |
|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| G1 | Seria 1 L10 | 9,30 | | | |
| | Seria 2 L15 | 5,91 | | | |
| | Seria 3 L20 | 1,45 | 3,70 | 4,59 | 14,10 |
| G2 | Seria 4 C10 | * | 1,80 | 7,17 | |
| | Seria 5 C15 | * | 4,80 | 13,12 | |
| | Seria 6 C20 | * | 3,40 | 6,67 | |
| G3 | Seria 7 L10 C5 | 6,33 | | | |
| | Seria 8 L10 C10 | 5,92 | | | |
| | Seria 9 L15 C5 | 5,50 | | | |
| | Seria 10 L15 C10 | 3,68 | 3,65 | 5,35 | 16,10 |
| | Seria 11 L20 C5 | 4,86 | 4,93 | 4,92 | 10,90 |
| | Seria 12 L20 C10 | * | 0,33 | 1,65 | 8,70 |

Notă: * = nu au prezentat pierdere de masă

Scăderea de rezistență ΔR_c pentru diferite cicluri de îngheț-dezgheț, se prezintă în tabelul 3.13. Se constată că după 20 cicluri de îngheț-dezgheț, cea mai bună comportare privind restricția de a nu depăși 25% scădere de rezistență a avut-o seria 12 L20 C10.

Tabelul 3.13

Scăderea de rezistență a amestecurilor pe bază de șlam dens realizate în etapa I, după diferite cicluri de îngheț-dezgheț

| Grup | COD | Număr de cicluri efectuate | R_c , [N/mm ²] | R_c^g , [N/mm ²] | ΔR_c , [%] |
|--|------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| G1 | Seria 1 L10 | 5 | 0,59 | 0,44 | 25,4 (>25%) |
| | Seria 2 L15 | 5 | 0,93 | 0,91 | 2,15 (<25%) |
| | Seria 3 L20 | 20 | 1,64 | 2,63 | * (<25%) |
| G2 | Seria 4 C10 | 15 | 1,40 | 0,88 | 37,1 (>25%) |
| | Seria 5 C15 | 15 | 2,96 | 1,44 | 51,3 (>25%) |
| | Seria 6 C20 | 15 | 5,25 | 2,87 | 45,3 (>25%) |
| G3 | Seria 7 L10 C5 | 5 | 1,38 | 1,20 | 13,0 (<25%) |
| | Seria 8 L10 C10 | 5 | 3,11 | 2,96 | 4,82 (<25%) |
| | Seria 9 L15 C5 | 5 | 2,37 | 2,26 | 4,64 (<25%) |
| | Seria 10 L15 C10 | 20 | 4,27 | 4,44 | * (<25%) |
| | Seria 11 L20 C5 | 20 | 2,40 | 4,18 | * (<25%) |
| | Seria 12 L20 C10 | 20 | 5,02 | 5,38 | * (<25%) |
| * = Nu au prezentat scădere de rezistență la compresiune | | | | | |

Centralizarea rezultatelor prin corelarea caracteristicilor obținute în urma încercărilor la îngheț-dezgheț este dată în tabelul 3.14.

Tabelul 3.14

Centralizator privind comportarea la îngheț-dezgheț a materialelor pe bază de șlam dens realizate în etapa I

| Grup | COD | Număr cicluri îngheț-dezgheț efectuate | Pierderea de masă Δm , [%] | Scăderea de rezistență ΔR_c , [%] | Rezistența la îngheț-dezgheț |
|------|------------------|--|------------------------------------|---|------------------------------|
| G1 | Seria 1 L10 | 5 | 9,30 | 25,40 | Nu rezistă |
| | Seria 2 L15 | 5 | 5,91 | 2,15 | Nu rezistă |
| | Seria 3 L20 | 20 | 14,10 | * | 15 Cicluri |
| G2 | Seria 4 C10 | 15 | 7,17 | 37,10 | 10 Cicluri |
| | Seria 5 C15 | 15 | 13,12 | 51,30 | 10 Cicluri |
| | Seria 6 C20 | 15 | 6,67 | 45,30 | 10 Cicluri |
| G3 | Seria 7 L10 C5 | 5 | 6,33 | 13,00 | Nu rezistă |
| | Seria 8 L10 C10 | 5 | 5,92 | 4,82 | Nu rezistă |
| | Seria 9 L15 C5 | 5 | 5,50 | 4,64 | Nu rezistă |
| | Seria 10 L15 C10 | 20 | 16,1 | * | 10 Cicluri |
| | Seria 11 L20 C5 | 20 | 10,9 | * | 15 Cicluri |
| | Seria 12 L20 C10 | 20 | 8,70 | * | 15 Cicluri |

* = Nu au prezentat scădere de rezistență la compresiune

În urma interpretării acestor rezultate, se poate reține concluzia că materialele care au avut un procent maxim de var (seria 3 L20, seria 11 L20 C5, seria 12 L20 C10), au avut o comportare satisfăcătoare pentru maxim 15 cicluri de îngheț-dezgheț.

Starea probelor după diferite cicluri de îngheț-dezgheț se poate observa în fotografiile din ANEXA B.

Pierderea de masa dupa cicluri de inghet-dezghet pentru materialele din grupele G1, G2 si G3

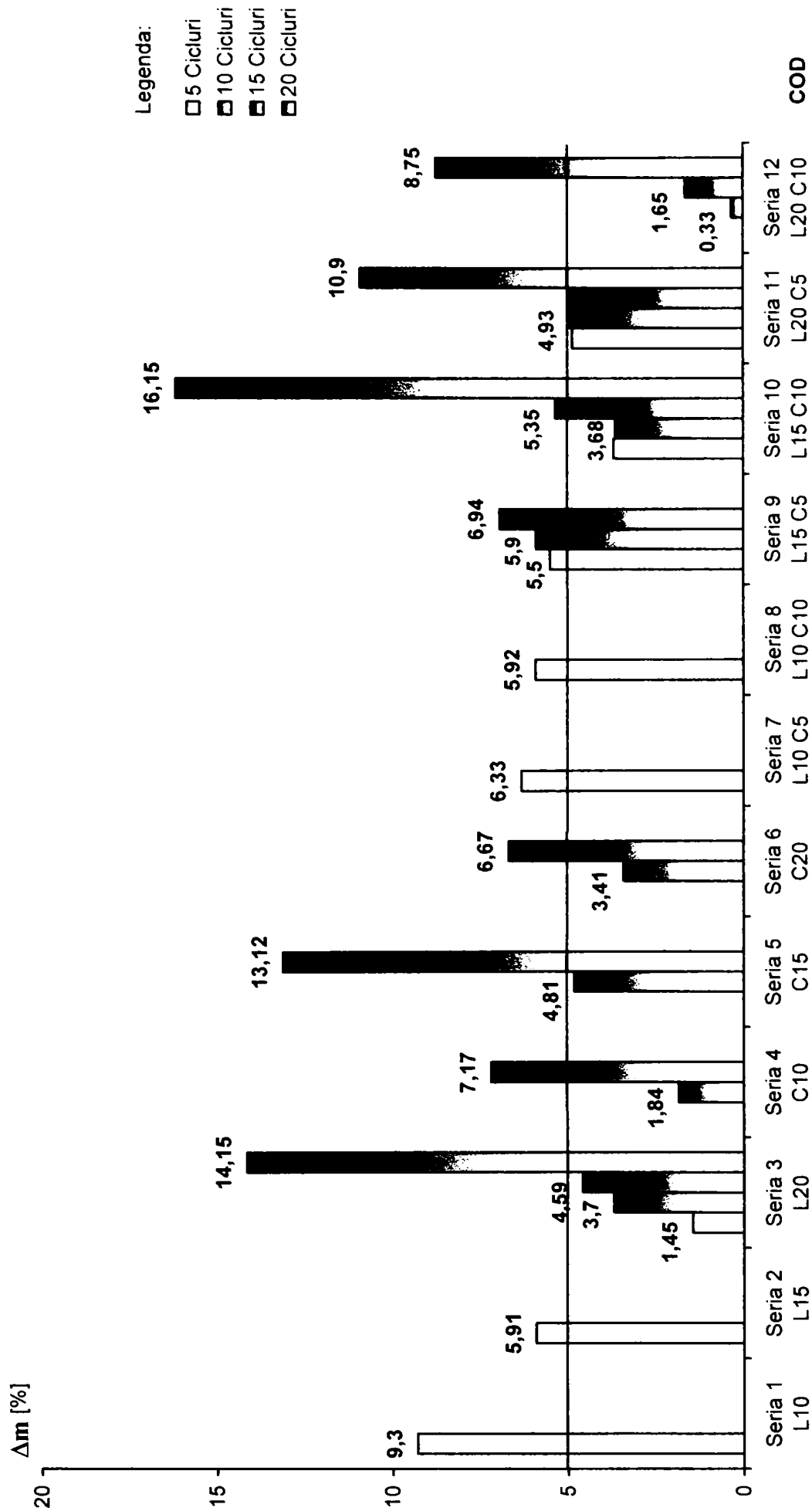


Figura 3.22

3.7. Radioactivitatea materialelor cercetate

În ceea ce privește radioactivitatea materialelor pe bază de șlam dens realizate în etapa I, la Institutul de Sănătate Publică din Timișoara s-a determinat nivelul concentrațiilor radionuclizilor ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K .

Depășiri ale valorilor maxime s-a înregistrat pentru $^{226}\text{Ra}=131,3$ Bq/kg (maxim admis 100 Bq/kg corespunzător cărămizilor).

Rezultă că pentru realizarea elementelor de zidărie este nevoie de reducerea cantității de șlam dens.

3.8. Studiu financiar informativ

S-a realizat un studiu financiar informativ privind costul total de realizare și utilizare pentru seria 12 L20 C10 care a înregistrat cele mai mari performanțe fizico-mecanice. S-a utilizat algoritmul de mai jos.

Seria 12 L20 C10

| 1. Materii prime pentru 1 m ³ | UM | Pret/UM € | Cantitate | Pret € |
|--|-----------|--------------|------------|------------------------------|
| Ciment | sac 50 kg | 3,3 | 1,6 | 5,28 |
| Var | sac 25 kg | 2,1 | 6,4 | 13,44 |
| Slam | tona | 1,6 | 0,9 | 1,44 |
| TOTAL: | | | | 20,16 € |
| 2. Energie | | | 0,05×20,16 | 1,01 |
| 3. Manopera directa | | | 2,7 | 2,7 |
| 4. Manopera indirecta | | | 0,13×20,16 | 2,79 |
| 5. Uzura utilajelor | | | 0,5 | 0,5 |
| TOTAL 1: | | | | 26,99 € |
| 6. Profit | | | 0,05×26,99 | 1,35 |
| TOTAL 2: | | | | 28,34 € |
| 7. TVA | | | 0,19×28,34 | 5,38 |
| TOTAL GENERAL: | | | | 33,72 €/m³ |

Pentru materialele realizate în etapa I, cele din seria 12 L20 C10 pe bază șlam dens au un cost de aproximativ 33,72 €/m³ și cele pe bază de șlam dens și nisip (seria 20 L11 C11 cu raportul liant/nisip ≈ 1/2) au un cost de 25,17 €/m³.

În figura 3.23 se prezintă grafic costul și rezistența la compresiune (la 28 zile) comparativ cu materialele de construcții clasice.

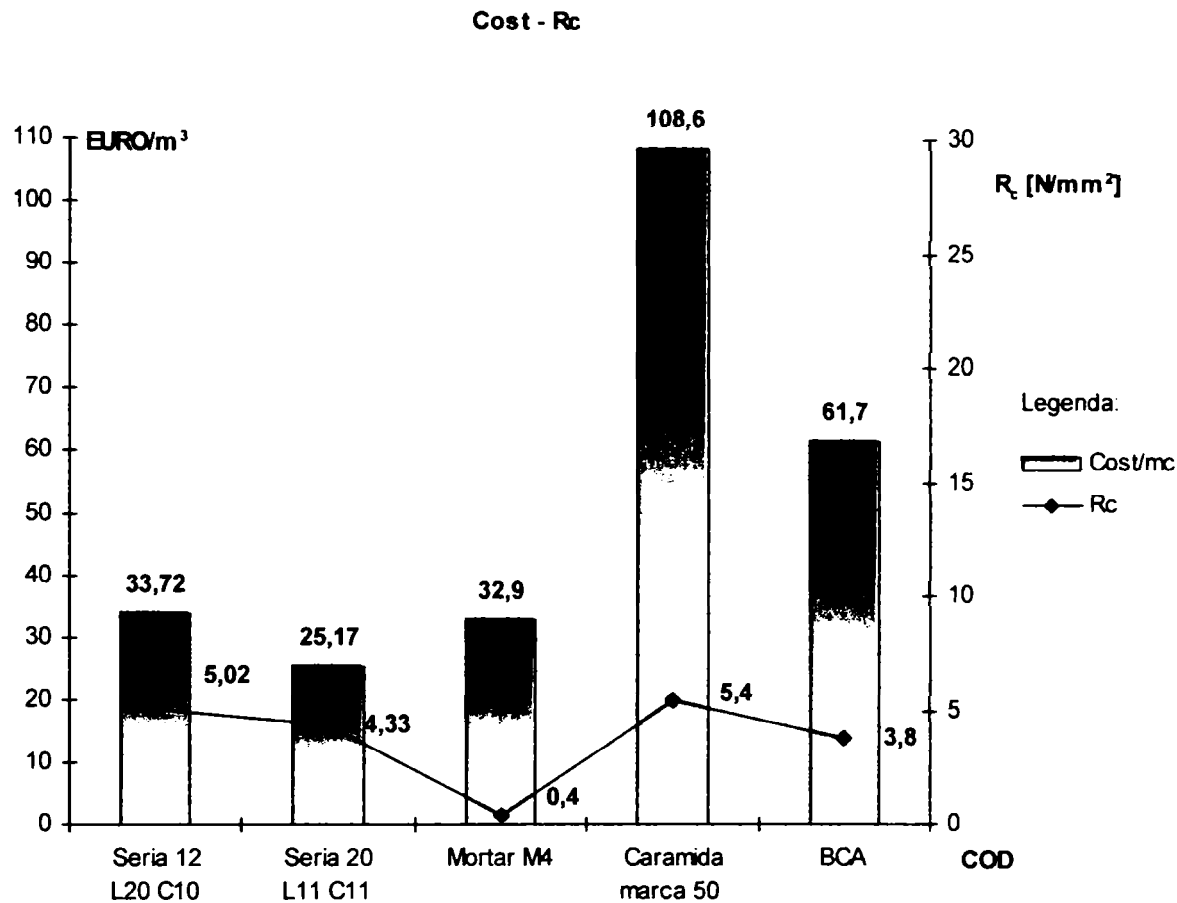


Figura 3.23

3.9. Concluzii generale

Caracteristicile tehnico-economice ale materialelor pe bază de șlam dens, realizate în etapa I și ale unor materiale de construcții clasice se prezintă în tabelul 3.15.

Cea mai bună comportare a avut-o materialul din seria 12 L20 C10.

Din punct de vedere al proprietăților mecanice, materialele noi, pe bază de șlam dens realizate în etapa I sunt asemănătoare cu cărămizile și BCA-ul, deci cu un material de zidărie.

Se pot utiliza la zidărie neportantă și portantă, realizându-se economii financiare cu până la 45% în raport cu materialele clasice.

Tabelul 3.15

Performanțele tehnice ale materialelor pe bază de șlam dens, realizate în etapa I și ale unor materialele de construcții clasice

| Nr. crt. | Caracteristica | Materiale clasice: | | Materiale noi |
|----------|---|--------------------|-----------|--------------------|
| | | Cărămizi ceramice | BCA | |
| 1. | Densitatea aparentă [kg/m ³] | 1000...1800 | 400...750 | 1150...1300 |
| 2. | Rezistența la compresiune [N/mm ²] | 5...15 | 2,5...5 | 2,4...5,2 |
| 3. | Rezistența la îngheț-dezghet [nr. cicluri] | ≥25 | ≥15 | 10...15 |
| 4. | Absorbția de apă [%] | ≤20 | ≤45 | 43...55 |
| 5. | $\frac{R_c}{\rho_a}$, $\left[\frac{\text{kN} \times \text{m}}{\text{kg}} \right]$ | 3,5...8 | 6...7 | 1,2...4,3 |
| 6. | Cost [€/m ³] (cu TVA) | 108,6 | 61,7 | 33,72 |

Șlamul dens de la COLTERM S.A. Timișoara poate fi utilizat pentru realizarea unor materiale de construcții care să fie folosite în domenii precum elementele de zidărie, infrastructura drumurilor, stabilizarea haldelor ș. a.

Materialele realizate rămân sensibile la cicluri de umezire-uscare și îngheț-dezghet și trebuie protejate corespunzător.

Caracteristicile cenușii din șlamul dens nu au fost constante fiind influențate de natura cărbunilor, procesul de ardere etc., afectând proprietățile materialelor de construcții care le conțin în cantitate mare.

Capitolul 4

DETERMINĂRI EXPERIMENTALE PE MATERIALE REALIZATE CU CENUȘĂ DE TERMOCENTRALĂ, SILICE ULTRAFINĂ ȘI FOSFOGIPS

4.1. Introducere

Scopul acestor determinări experimentale este valorificarea deșeurilor industriale, prin utilizarea lor, în cantități apreciable, la realizarea de materiale de construcții, cum ar fi: mortare, elemente pentru zidărie ș. a.

4.2. Materiale componente și proces tehnologic

Materialele folosite sunt:

- deșeuri industriale: cenușă de termocentrală, silice ultrafină, fosfogips;
- lianți clasici: var+ciment;
- nisip, apă, aditiv.

Cenușa zburătoare de termocentrală a fost obținută de la COLTERM S.A. Timișoara.

Silicea ultrafină a provenit de la FEROM S.A. Tulcea.

Fosfogipsul s-a procurat din haldele de la Turnu Măgurele.

Cimentul a fost de tipul **CEM I 42,5R** produs de Casial Deva.

S-a utilizat varul calcic tip CL 90.

S-a întrebuințat nisip spălat în sorturile 0-3 și 3-7 mm și apă potabilă.

Adivul folosit a fost de tip superplastifiant: FM 40 pe bază de policarboxilatether, produs și comercializat de Sika Timișoara.

Modul de preparare: s-au amestecat manual în laborator, în stare uscată, nisipul, deșeurile industriale (cenușa de termocentrală, silicea ultrafină, fosfogipsul), varul și cimentul. Cu malaxorul standardizat pentru verificarea clasei cimentului, materialul astfel obținut s-a amestecat cu apa timp de 2 minute cu viteză mică, s-a introdus aditivul, după care s-a mai amestecat 2 minute, utilizându-se tot viteza mică.

S-au turnat epruvete de formă prismatică cu dimensiuni de 40×40×160 mm.

Compactarea s-a realizat prin vibrație timp de 15...20 secunde.

Probele s-au decofrat după 2 zile de la preparare și s-au păstrat în cutia cu aer umed până la realizarea vârstei de 28 zile.

4.3. Materiale realizate cu cenușă zburătoare

4.3.1. Stabilirea compozițiilor

Pentru efectuarea determinărilor de laborator s-au realizat amestecuri pentru producerea de materiale de construcții, având următoarea rețetă:

- apă = 20%;
- material uscat = 80%.

Pentru materialul uscat, s-au propus următoarele combinații procentuale:

- la materialele din grupul G1:

- agregat = 40% $\left\{ \begin{array}{l} \bullet 20\% \text{ nisip sort } 0-3 \text{ mm;} \\ \bullet 20\% \text{ cenușă de termocentrală (cu rol de microagregat);} \end{array} \right.$
- lianți amestecați = 60%.

- la materialele din grupul G2:

- agregat = 60% $\left\{ \begin{array}{l} \bullet 20\% \text{ nisip sort } 0-3 \text{ mm;} \\ \bullet 40\% \text{ cenușă de termocentrală (cu rol de microagregat);} \end{array} \right.$
- lianți amestecați = 40%.

În compoziția lianților amestecați intră cenușă zburătoare (CT), var (L) și ciment (C).

Procentul de aditiv utilizat a fost de 0,5% din cantitatea de lianți amestecați. Astfel, a rezultat o cantitate diferită de aditiv utilizat, cu influențe semnificative asupra eficienței economice.

Suma L+C+CT reprezintă 80% din materialul uscat, pentru ambele grupe de probe. Materialele au în compoziția lor cenușă zburătoare cu rol de microagregat, în proporții diferite, 20% pentru grupul G1 și 40% pentru grupul G2 din totalul materialului uscat.

Pentru stabilirea compoziției lianților amestecați s-a utilizat modelul prezentat în paragraful 2.6:

$$\% \Sigma \text{ Lianți amestecați} = \% \Sigma (\text{Lianți clasici} + \text{CT}) = 100\% \quad (4.1)$$

unde: CT=cenușă zburătoare de termocentrală.

S-au propus diferite procente de lianți clasici minerali (10%-30%), iar procentele de cenușă de termocentrală au rezultat din relația:

$$\%CT = 100\% - \% \Sigma \text{Lianți clasici} \quad (4.2)$$

Seriile din grupul G1 s-au realizat cu 5% și 10% var, 10% și 20% ciment, iar cele din grupul G2 au avut un procent constant de 10% var, iar cimentul a fost de 10%, 20% și 30% din totalul lianților amestecați.

La prepararea amestecurilor, pentru asigurarea unei lucrabilități minime, a fost necesară suplimentarea cantității de apă. Astfel, materialele din grupul G1 au ajuns la 27% apă, iar cele din grupul G2 la 27,32% apă, față de cantitatea stabilită inițial, de 20% apă.

Având în vedere considerațiile de mai sus, s-au realizat materiale ale căror compoziții finale se prezintă în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Compozițiile materialelor pe bază de cenușă zburătoare

| Grup | COD | Apa [%] | Var [%] | Ciment [%] | Cenușă [%] | Nisip [%] | Var+ciment [%] |
|-----------------------------|-----------------|---------|---------|------------|------------|-----------|----------------|
| G 1 | Seria 1 L5 C10 | 27 | 2,19 | 4,38 | 51,83 | 14,6 | 6,57 |
| | Seria 2 L10 C10 | 27 | 4,38 | 4,38 | 49,64 | 14,6 | 8,76 |
| | Seria 3 L5 C20 | 27 | 2,19 | 8,76 | 47,45 | 14,6 | 10,95 |
| | Seria 4 L10 C20 | 27 | 4,38 | 8,76 | 45,26 | 14,6 | 13,14 |
| G 2 | Seria 5 L10 C10 | 27,32 | 3,09 | 3,09 | 52,58 | 13,92 | 6,18 |
| | Seria 6 L10 C20 | 27,32 | 3,09 | 6,18 | 49,49 | 13,92 | 9,27 |
| | Seria 7 L10 C30 | 27,32 | 3,09 | 9,27 | 46,40 | 13,92 | 12,36 |
| Notă: L = var și C = ciment | | | | | | | |

4.3.2. Caracteristici fizico-mecanice

După vârsta de 28, probele s-au păstrat în aer până la vârsta de 90 zile.

Pentru determinarea absorbției de apă a_m , după vârsta de 28 zile, probele au fost supuse unei uscări până la masă constantă și păstrate 12 h în apă.

Absorbția de apă raportată la masă a_m pentru amestecurile cercetate se prezintă în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

Absorbția de apă

| Caracteristica | Grupul G1 | | | | Grupul G2 | | | Materiale ceramice | BCA |
|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| | Seria 1 L5 C10 | Seria 2 L10 C10 | Seria 3 L5 C20 | Seria 4 L10 C20 | Seria 5 L10 C10 | Seria 6 L10 C20 | Seria 7 L10 C30 | | |
| a_m [%] | 31,20 | 29,97 | 31,55 | 30,60 | 32,61 | 31,38 | 31,16 | ≤ 20 | ≤ 45 |

În tabelul 4.3 și în figurile 4.1 ÷ 4.7 se prezintă densitatea aparentă, rezistența la întindere din încovoire, rezistența la compresiune, pentru vârsta de 7 și 28 zile și coeficientul de eficiență tehnică, pentru vârsta de 28 și 90 zile.

Tabelul 4.3

Proprietăți fizico-mecanice ale amestecurilor întărite, la 7, 28 și 90 zile

| Nr. crt. | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, $\left[\frac{kN \times m}{kg} \right]$ | |
|----------|-----------------|---|---------|---------|---|---------|---------|--|---------|---------|--|---------|
| | | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 7 zile | 28 zile | 90 zile | 28 zile | 90 zile |
| G1 | Seria 1 L5 C10 | 1461 | 1233 | 1270 | 0,47 | 0,50 | 0,80 | 2,68 | 3,06 | 4,71 | 2,48 | 3,71 |
| | Seria 2 L10 C10 | 1482 | 1270 | 1305 | 0,64 | 0,80 | 0,98 | 3,27 | 3,55 | 7,48 | 2,79 | 5,73 |
| | Seria 3 L5 C20 | 1504 | 1300 | 1341 | 0,83 | 0,93 | 1,04 | 5,08 | 6,71 | 7,98 | 5,16 | 5,95 |
| | Seria 4 L10 C20 | 1555 | 1352 | 1394 | 1,26 | 1,32 | 1,33 | 5,39 | 7,42 | 8,73 | 5,49 | 6,26 |
| G2 | Seria 5 L10 C10 | 1436 | 1230 | 1231 | 0,30 | 0,34 | 0,60 | 2,25 | 2,37 | 4,63 | 1,92 | 3,76 |
| | Seria 6 L10 C20 | 1490 | 1292 | 1285 | 0,70 | 0,96 | 0,99 | 3,50 | 5,12 | 9,10 | 3,96 | 7,08 |
| | Seria 7 L10 C30 | 1542 | 1341 | 1311 | 1,17 | 1,30 | 1,31 | 5,30 | 7,36 | 11,11 | 5,49 | 8,47 |

$\frac{R_c}{\rho_a}$ s-a determinat pentru valori înregistrate la vârsta de 28 și la 90 zile.

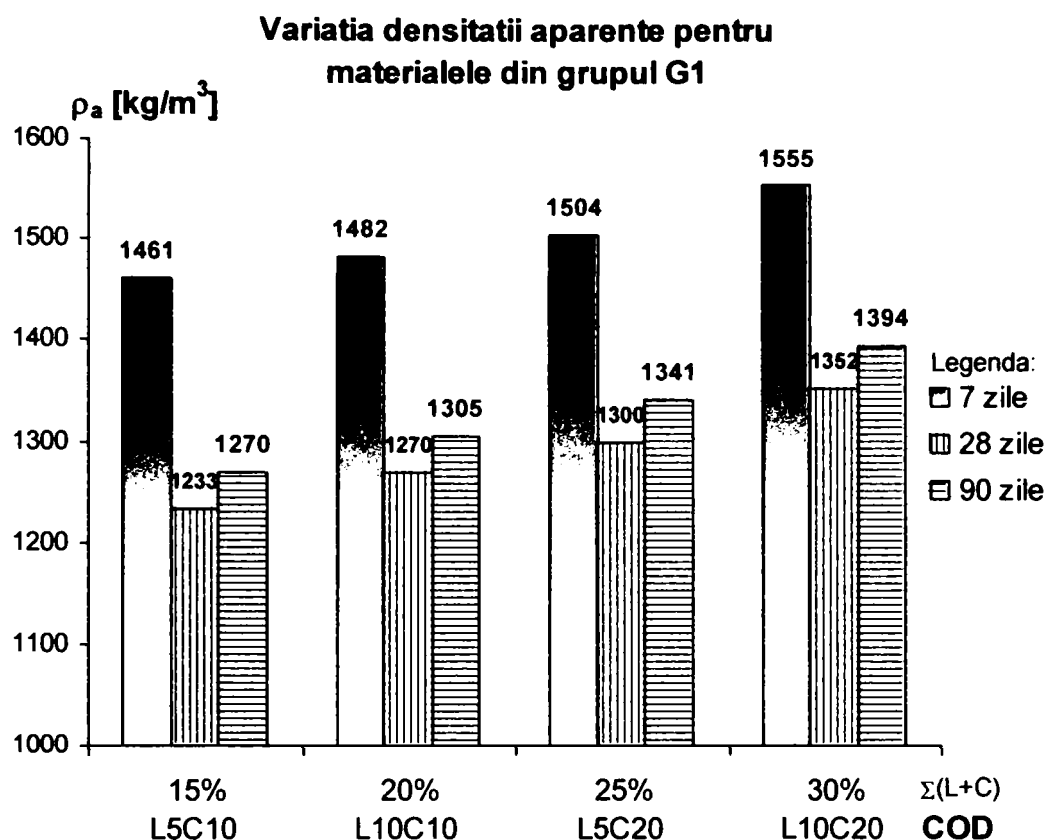


Figura 4.1

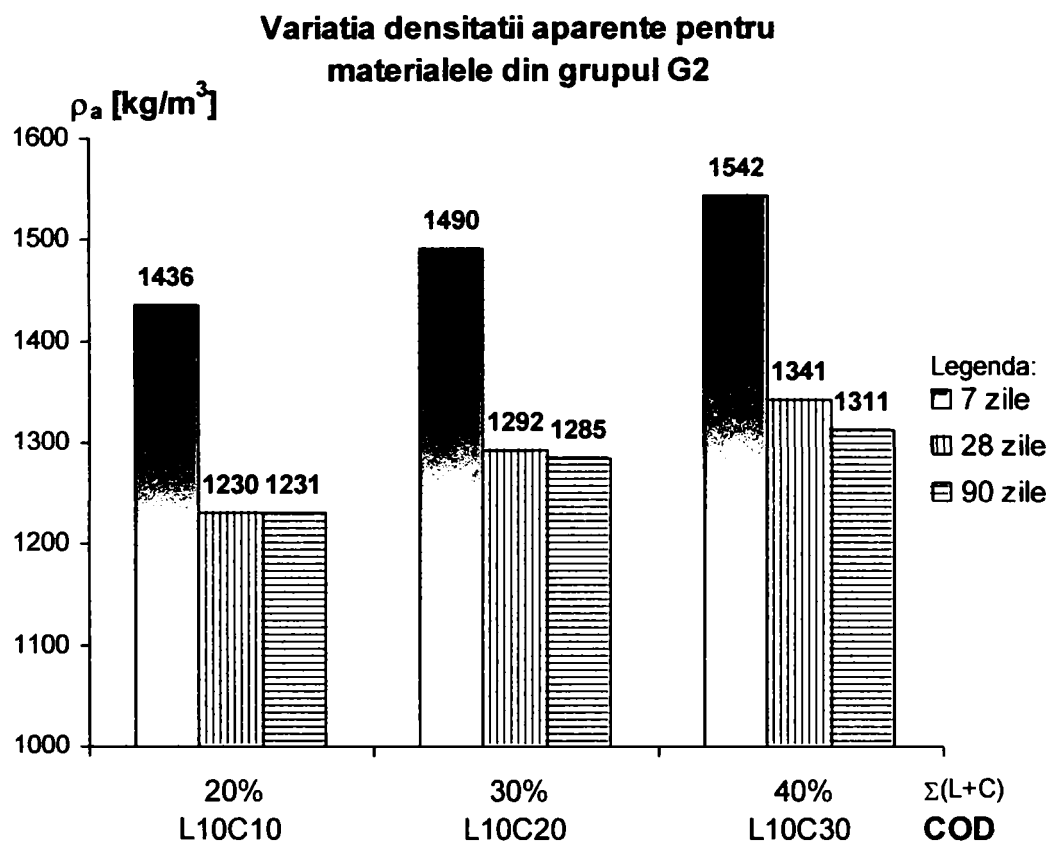


Figura 4.2

Variația rezistenței la întindere pentru materialele din grupul G1

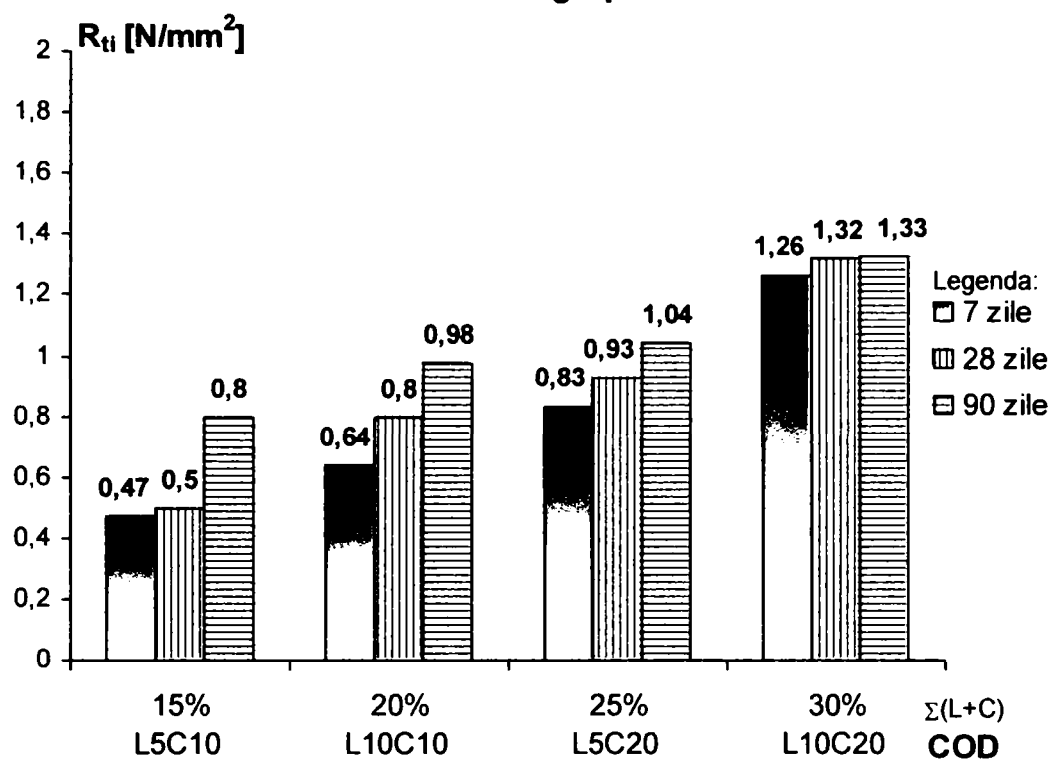


Figura 4.3

Variația rezistenței la întindere pentru materialele din grupul G2

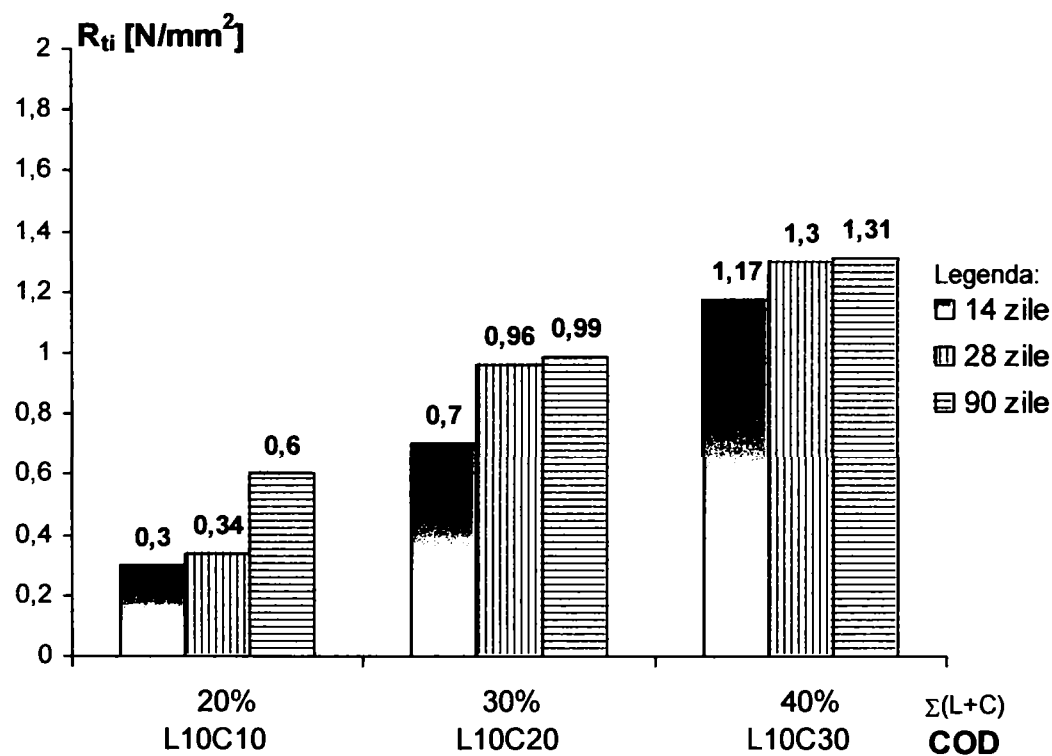


Figura 4.4

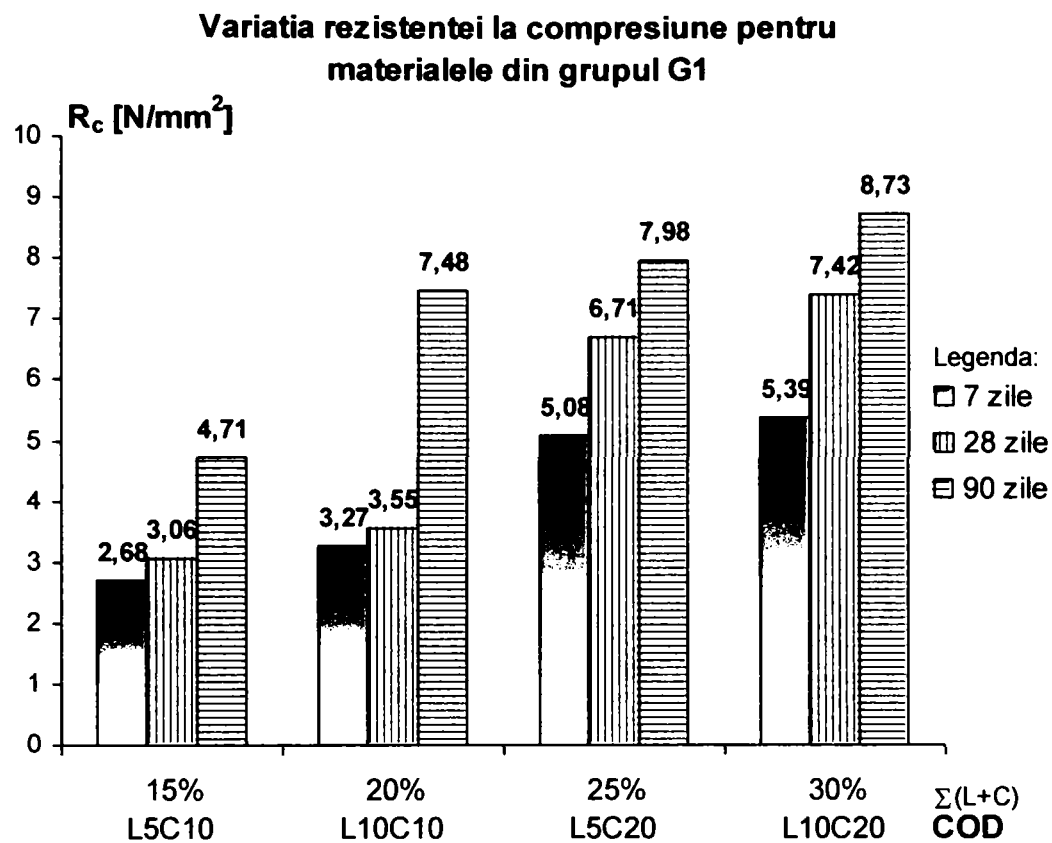


Figura 4.5

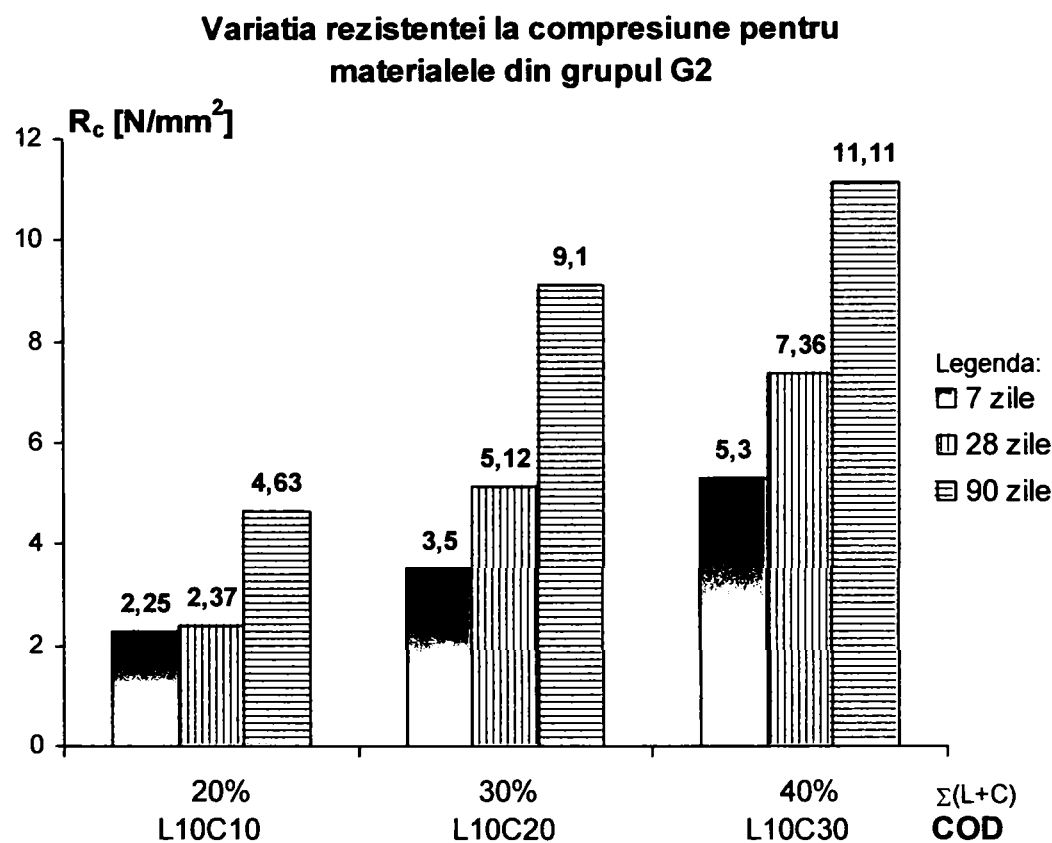


Figura 4.6

Contribuții referitoare la utilizarea deșeurilor refolosibile la producerea unor noi tipuri de materiale de construcții

Eficiența tehnică

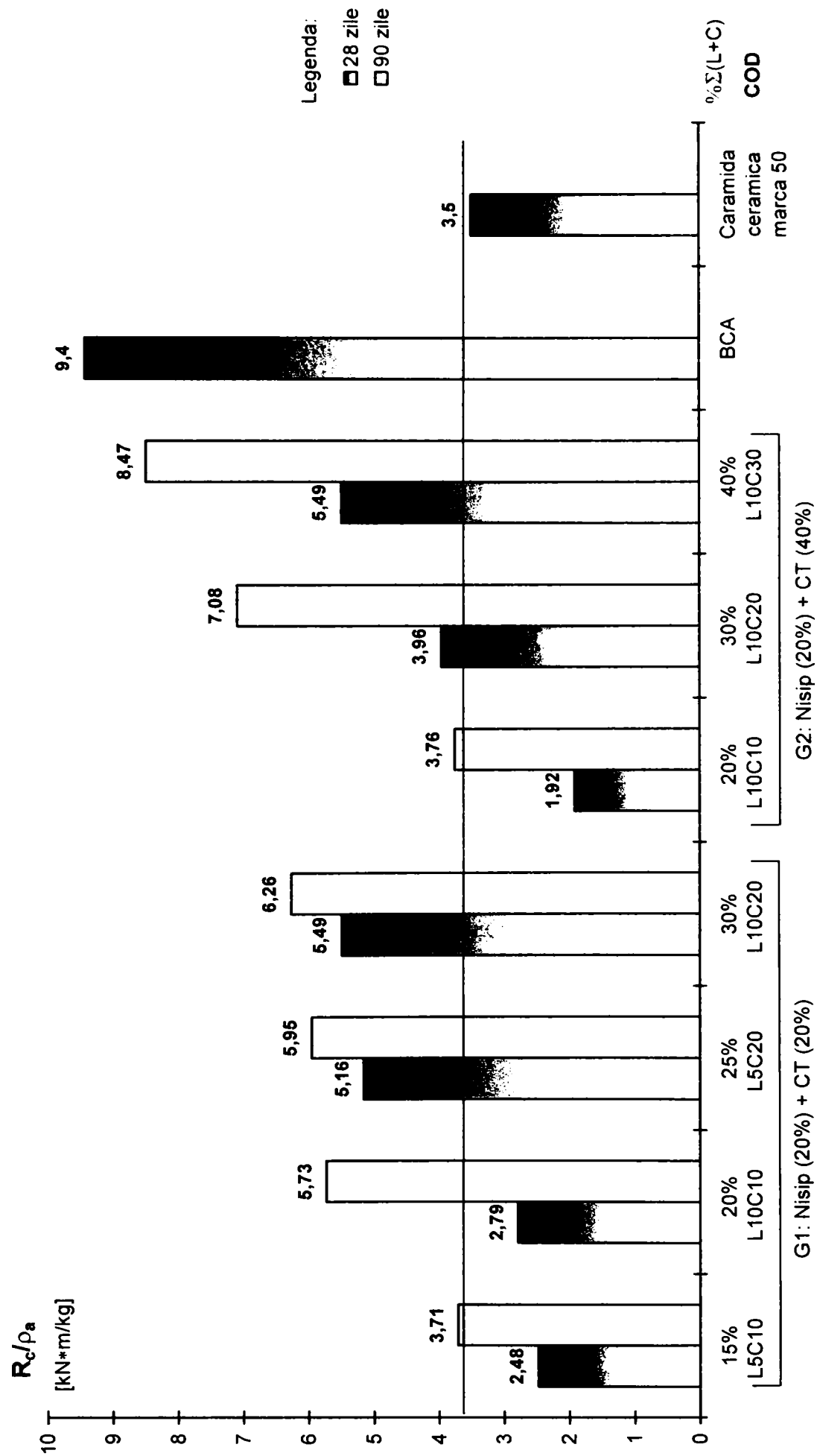


Figura 4.7

4.3.3. Concluzii referitoare la caracteristicile fizico-mecanice

În urma studierii valorilor din tabelele 4.2 și 4.3 și a reprezentărilor grafice din figurile 4.1 ÷ 4.7 se pot extrage concluziile prezentate în continuare.

a) Absorbția de apă, densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G1

- *Absorbția de apă* se încadrează în limitele impuse de standarde pentru BCA.

- *Densitatea aparentă la 7 zile* se încadrează între 1461 kg/m^3 și 1555 kg/m^3 , iar *la 28 zile* între 1233 kg/m^3 și 1352 kg/m^3 (figura 4.1), înregistrându-se scăderi cuprinse între 15% și 18,5%.

Din punct de vedere al densității aparente obținute la 28 zile, materialele se încadrează în categoria mortarelor ușoare sau în comparație cu materialele ceramice pentru zidărie, în clasa C1 pentru seria 1 L5 C10, seria 2 L5 C20 și seria 3 L10 C10, sau clasa C2 pentru seria 4 L10 C20.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile* arată următoarele:

- Pentru un procent constant de 5% var, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 1 L5 C10) la 20% (seria 3 L5 C20) a dus la o creștere a rezistenței la întindere din încovoiere R_{ti} cu $0,36 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 76,5% (figura 4.3), iar rezistența la compresiune R_c a crescut cu $2,4 \text{ N/mm}^2$, adică cu 89,5% (figura 4.5).

- La un procent constant de 10% var, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 2 L10 C10) la 20% (seria 4 L10 C20) a generat o creștere a lui R_{ti} cu $0,62 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 96,8% (figura 4.3), iar R_c a crescut cu $2,12 \text{ N/mm}^2$, adică cu 64,8% (figura 4.5).

- Pentru un procent constant de ciment de 10%, sporirea cantității de var de la 5% (seria 1 L5 C10) la 10% (seria 2 L10 C10) a produs o creștere a R_{ti} cu $0,17 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 36,1% (figura 4.3), iar R_c a crescut cu $0,59 \text{ N/mm}^2$, adică cu 22,0% (figura 4.5).

- La un procent constant de ciment de 20%, sporirea cantității de var de la 5% (seria 3 L5 C20) la 10% (seria 4 L10 C20) a produs o creștere a R_{ti} cu $0,43 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 51,8% (figura 4.3), iar R_c a crescut cu $0,31 \text{ N/mm}^2$, adică cu 6,1% (figura 4.5).

*
* *

Se observă că la această vârstă probele la care s-a mărit procentul de ciment au avut creșteri semnificative ale R_c în comparație cu probele la care s-a sporit procentul de var.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile* permit următoarele constatări:

- La această vârstă seriile 1 și 2 au înregistrat valori ale rezistenței la compresiune mai mari de 2.5 N/mm^2 - condiție pentru realizarea blocurilor de zidărie neportantă, iar seriile 3 și 4 au înregistrat valori ale rezistenței la compresiune mai mari de 5 N/mm^2 - cerință pentru realizarea blocurilor de zidărie portantă (fig. 4.5).

- Prin păstrarea constantă a procentului de var la 5%, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 1 L5 C10) la 20% (seria 3 L5 C20) a generat o creștere a rezistenței la întindere din încovoiere R_{ti} cu $0,43 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 86,0% (figura 4.3) și a rezistenței la compresiune R_c cu $3,65 \text{ N/mm}^2$, adică cu 119,2% (figura 4.5).

- La un procent constant de var de 10%, creșterea cantității de ciment de la 10% (seria 2 L10 C10) la 20% (seria 4 L10 C20) a dus la creșterea lui R_{ti} cu $0,52 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 65,0% (figura 4.3), iar R_c a crescut cu $3,57 \text{ N/mm}^2$, adică cu 100,5% (figura 4.5).

- Pentru un procent constant de ciment de 10%, sporirea cantității de var de la 5% (seria 1 L5 C10) la 10% (seria 2 L10 C10) a produs o creștere a lui R_{ti} cu $0,30 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 60,0% (figura 4.3), iar R_c a crescut cu $0,49 \text{ N/mm}^2$, adică 16,0% (figura 4.5).

- La un procent constant de ciment de 20%, creșterea cantității de var de la 5% (seria 3 L5 C20) la 10% (seria 4 L10 C20) a produs o creștere a lui R_{ti} cu $0,39 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 41,9% (figura 4.3), iar R_c a crescut cu $0,71 \text{ N/mm}^2$, adică cu 10,5% (figura 4.5).

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 90 zile* arată următoarele:

- Atât rezistența la întindere din încovoiere cât și rezistența la compresiune au înregistrat creșteri la vârsta de 90 zile, pentru unele materiale depășind 50%.

- Cea mai mare valoare a lui R_c , de $8,73 \text{ N/mm}^2$, s-a înregistrat pentru seria 4 L10 C20 care are cel mai mare procent de ciment.

*

* *

În concluzie, pentru aceste materiale se poate spune că:

- *sporirea cantității de var de la 5% la 10% a produs creșteri notabile pentru R_{ti} și neseemnificative pentru R_c ;*

- *sporirea cantității de ciment a dus la creșteri semnificative atât pentru R_{ti} cât și pentru R_c .*

b) Absorbția de apă, densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G2

- *Absorbția de apă se încadrează în limitele impuse de standarde pentru BCA.*

- *Densitatea aparentă la 7 zile se încadrează între 1436 kg/m³ și 1542 kg/m³, iar la 28 zile între 1230 kg/m³ și 1341 kg/m³ (figura 4.2), înregistrându-se scăderi cuprinse între 14,2% și 16,7%.*

Din punct de vedere al densității aparente obținute la 28 zile, materialele se pot încadra în categoria mortarelor ușoare sau în comparație cu materialele ceramice pentru zidărie, seria 5 L10 C10 și seria 6 L10 C20 se pot încadra în clasa C1, iar seria 7 L10 C30 în clasa C2.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:*

- Pentru un procent de ciment și var de 10% (raportat la cantitatea de lianți amestecați), utilizat la realizarea seriei 5 L10 C10, s-a obținut o rezistență la întindere din încovoiere R_{ti} de 0,30 N/mm² și o rezistență la compresiune R_c de 2,25 N/mm².

- La un procent constant de var (10% din cantitatea de lianți amestecați), creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 5 L10 C10) la 20% (seria 6 L10 C20) a determinat o creștere a rezistenței la întindere din încovoiere R_{ti} cu 0,40 N/mm², reprezentând 133,3% (figura 4.4) și a rezistenței la compresiune R_c cu 1,25 N/mm², adică cu 55,5% (figura 4.6).

- Pentru o creștere a procentului de ciment de la 10% (seria L10 C10) la 30% (seria 7 L10 C30), R_{ti} a crescut cu 0,87 N/mm², reprezentând 290,0% (figura 4.4), iar R_c a înregistrat o creștere de 3,05 N/mm², adică cu 135,5%.

- Creșterea a procentului de ciment de la 20% (seria 6 L10 C20) la 30% (seria 7 L10 C30) a condus la un spor de rezistență pentru R_{ti} de 0,47 N/mm², reprezentând 67,1%, iar R_c a crescut cu 1,80 N/mm², adică cu 51,4%, (figura 4.6).

Se observă că sporirea procentului de ciment din compoziția materialelor a dus la îmbunătățirea substanțială a caracteristicilor mecanice.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:*

- La această vârstă seriile 6 și 7 au înregistrat valori ale rezistenței la compresiune mai mari de 5 N/mm², condiție necesară pentru realizarea blocurilor de zidărie portantă (figura 4.6).

- Pentru un procent de ciment și var de 10% (seria 5 L10 C10) s-a obținut o rezistență la întindere din încovoiere R_{ti} de 0,34 N/mm² și o rezistență la compresiune R_c de 2,37 N/mm².

Sporul față de valorile înregistrate la vârsta de 7 zile este foarte mic. O cauză posibilă ar putea fi cantitatea mică de liant clasic (var+ciment) cât și o cantitate scăzută de cenușă zburătoare, care este activă hidraulic.

- Păstrându-se constant procentul de var la 10%, creșterea procentului de ciment, de la 10% (seria 5 L10 C10) la 20% (seria 6 L10 C20) a generat o creștere a rezistenței la întindere din încovoiere R_{ti} cu $0,62 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 182,3% (figura 4.4) și a rezistenței la compresiune R_c cu $2,75 \text{ N/mm}^2$, adică cu 116,0% (figura 4.6).

- Pentru o creștere a procentului de ciment la 30% (seria 7 L10 C30), față de 10% ciment (seria 5 L10 C10), R_{ti} a crescut cu $0,96 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 282,3% (figura 4.4), iar R_c a înregistrat o creștere de $4,99 \text{ N/mm}^2$, adică 210,5%.

- Creșterea a procentului de ciment la 30% (seria 7 L10 C30), în comparație cu un procent de 20% ciment (seria 6 L10 C20), a condus la un spor de rezistență pentru R_{ti} cu $0,34 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 35,4%, iar R_c a înregistrat o creștere de $2,24 \text{ N/mm}^2$, adică 43,7% (figura 4.6).

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 90 zile arată următoarele:*

- Atât rezistența la întindere din încovoiere cât și rezistența la compresiune au înregistrat creșteri la vârsta de 90 zile, pentru unele materiale depășind 50%.

- Cea mai mare valoare a lui R_c , de $11,11 \text{ N/mm}^2$, s-a înregistrat pentru seria 7 L10 C30 care are cel mai mare procent de ciment.

*
* *

În concluzie, pentru aceste materiale se poate aprecia că sporirea cantității de ciment a dus la creșteri semnificative ale rezistențelor mecanice.

c) Coeficientul de eficiență tehnică

Coeficientul de eficiență tehnică prezentat în graficul din figura 4.7 arată că, la 28 zile, seriile: 3 L5 C20 (din grupul G1), 5 L10 C10, 6 L10 C20 și 7 L10 C30 (din grupul G2) au o eficiență tehnică mai mare decât cărămizile ceramice pline.

La vârsta de 90 zile, toate materialele (seriile din grupul G1 și G2) au un coeficient de eficiență tehnică mai mare decât cel al cărămizilor ceramice pline. Se remarcă seria 7 L10 C30 pentru care coeficientul de eficiență tehnică se apropie de cel al BCA cu densitatea de 900 kg/m^3 .

d) Variația rezistenței la compresiune

Variația rezistenței la compresiune funcție de densitatea aparentă pentru materialele noi pe bază de cenușă zburătoare în comparație cu blocurile ușoare pentru zidărie (BCA) și cărămizi se prezintă în graficul din figura 4.8.

Se observă că materialele cercetate sunt apropiate de cărămizile ceramice de marcă 50.

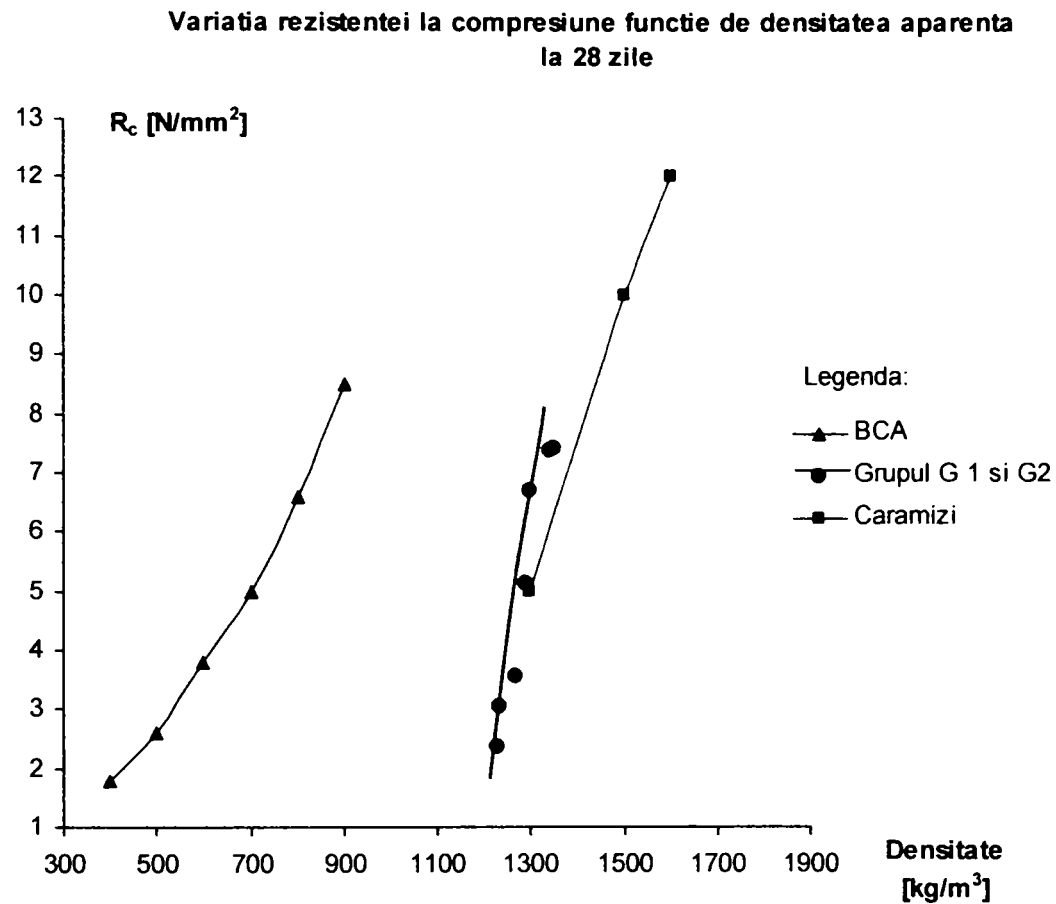


Figura 4.8

4.3.4. Contractția

S-au testat seriile 1, 2, 4, 5, 6 și 7 ale căror compoziții au fost prezentate în tabelul 4.1. Probele, de formă prismatică, au avut dimensiunile de 40×40×160 mm.

Întrucât nu s-au întărit suficient la vârsta de 1 zi, epruvetele (păstrate în cutia cu aer umed) s-au decofrat la vârsta de 2 zile.

Verificarea contractției s-a realizat cu ajutorul unui dispozitiv special (figura 4.9), executat în cadrul Departamentului CCIA de la Facultatea de Construcții și Arhitectură din Timișoara.

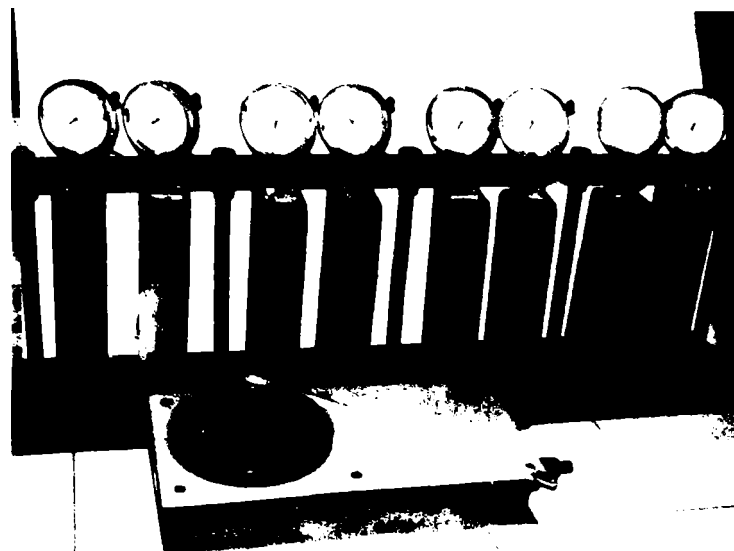


Figura 4.9

Măsurătorile s-au făcut cu microcomparatoare având precizia de 1:1000 mm. În paralel s-au înregistrat și valorile temperaturilor și umidităților relative ale mediului de păstrare.

Variațiile temperaturii, umidității relative și contracției, pe o perioadă de 29 zile, sunt prezentate în fig. 4.10. Valorile contracției la vârsta de 28 zile sunt date în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4

Contrația materialelor cercetate la vârsta de 28 zile

| Caracteristica | Materialele din grupul G1 | | | Materialele din grupul G2 | | | Mortare |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|----------|
| | Seria 1 L5 C10 | Seria 3 L10 C10 | Seria 4 L10 C20 | Seria 5 L10 C10 | Seria 6 L10 C20 | Seria 7 L10 C30 | |
| Contrația ϵ_c , [mm/m] | 1,03 | 1,23 | 1,34 | 0,92 | 1,08 | 1,46 | ≤ 2 |

Toate materialele cercetate au înregistrat valori maxime ale contracției mai mici de 2 mm/m, condiție specifică mortarelor. Rezultatele sunt în corelație cu cantitățile de lianți clasici utilizate (var+ciment), prezentate în tabelul 4.1: la creșterea dozajului de lianți clasici (var+ciment), crește și valoarea contracției. Excepție fac seria 7 L10C30 cu 12,36% liant clasic (var+ciment) în comparație cu seria 4 L10C20 cu 13,14% liant clasic. Această situație se poate datora cantității mai mari de ciment, de 9,27% pentru compoziția seriei 7, în comparație cu 8,76% pentru seria 4, cimentul fiind un liant care prin întărire poate genera contracții mari.

Materialele din seria 3 L10C10 nu au fost cercetate din motive tehnice.

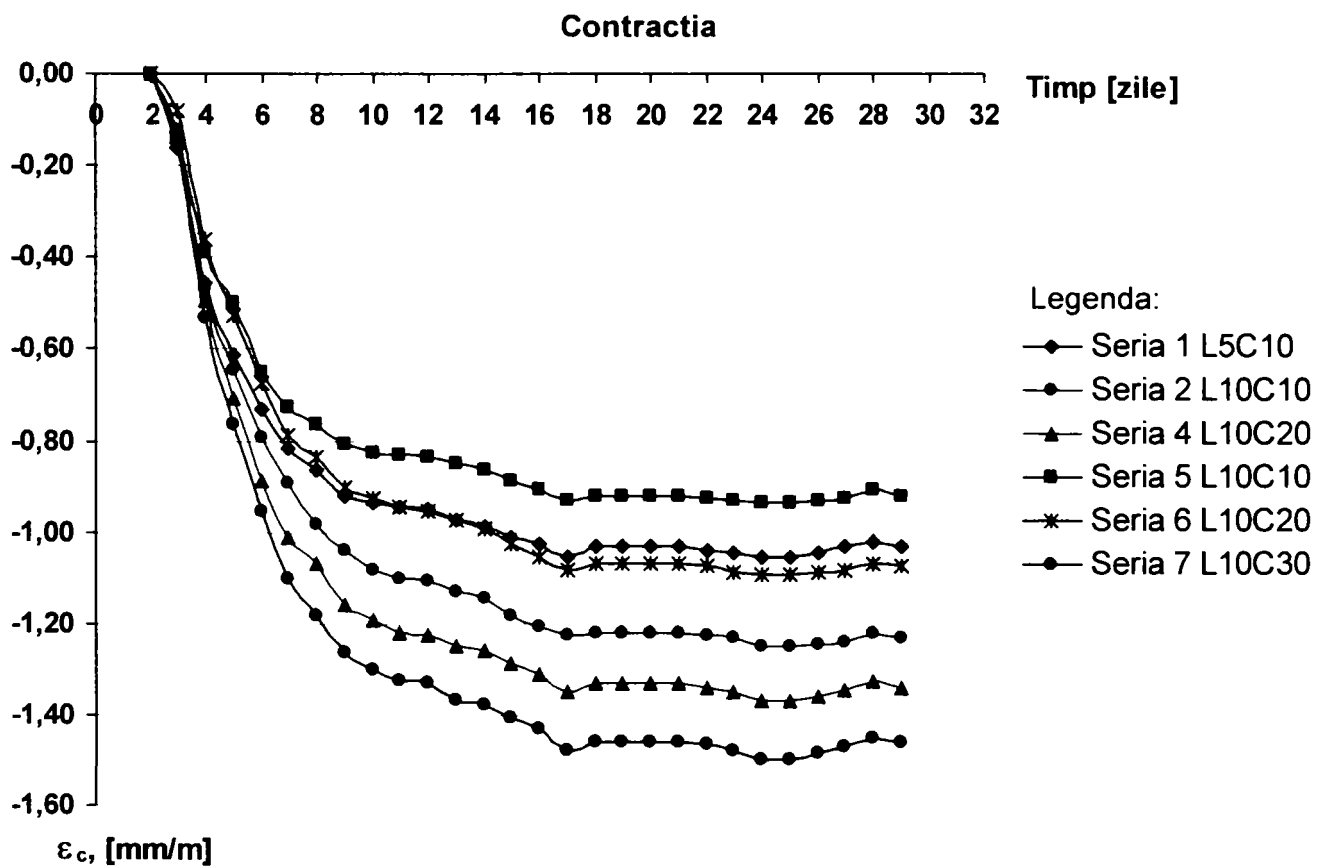
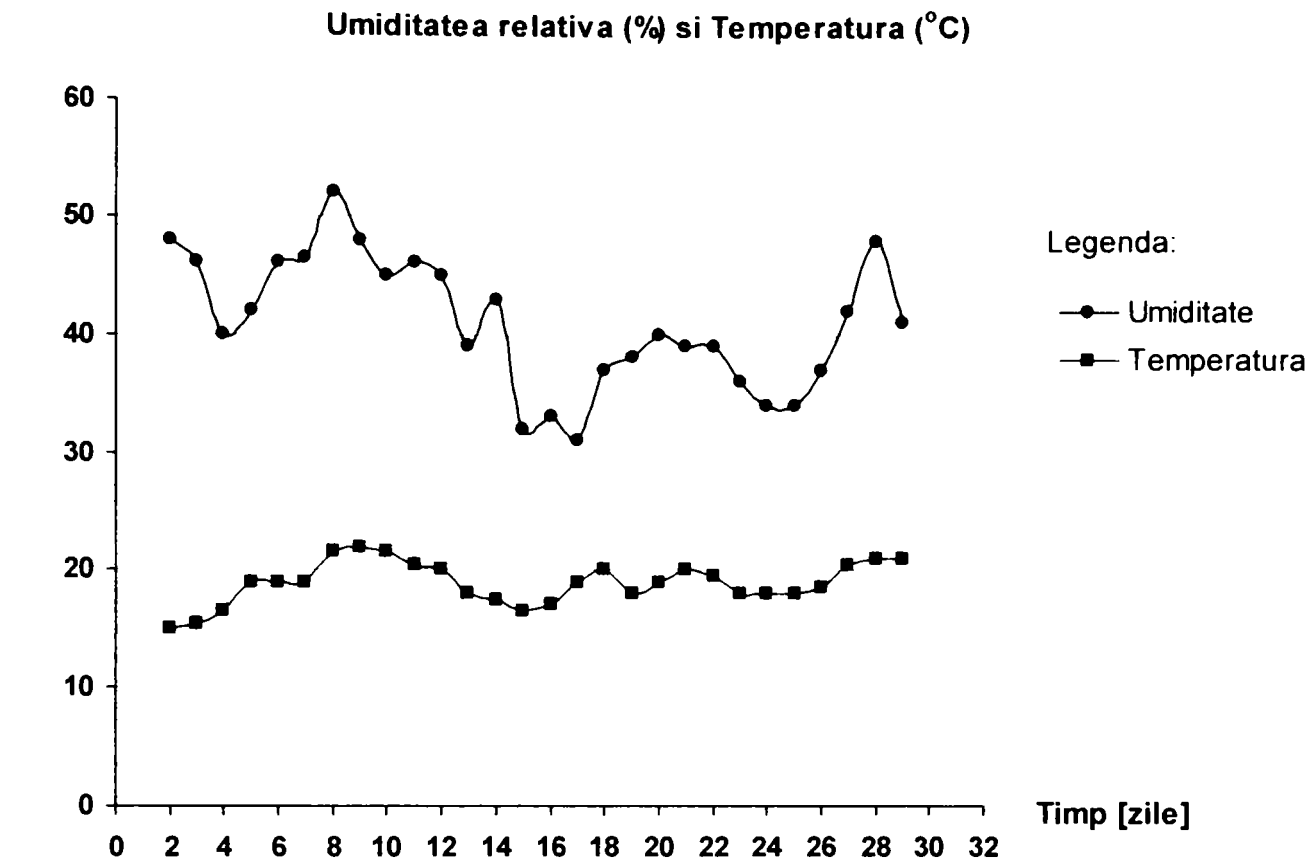


Figura 4.10

Din studiul figurii 4.10 se poate observa că materialele prezintă contracții accentuate până la vârsta de 10 zile, de la $-0,83$ mm/m pentru seria 5, până la $-1,30$ mm/m pentru seria 7, în continuare ele stabilizându-se, fiind influențate doar de variația temperaturii și a umidității relative a mediului de păstrare, ajungând să se încadreze între $-0,92$ mm/m (seria 5 L10C10) și $-1,46$ mm/m (seria 7 L10C30), la vârsta de 29 zile.

4.3.5. Coeficientul de conductivitate termică

Coeficientul de conductivitate termică λ [kcal/m °C h] s-a calculat cu relația teoretică /43/:

$$\lambda = \sqrt{0,0196 + 0,22\rho_a^2} - 0,14 \quad (4.3)$$

unde: ρ_a =densitatea aparentă, la 28 zile, în g/cm³.

Relația 4.3 este orientativă, deoarece nu ține seama de unele particularități de structură ale materialelor.

Materialelor cercetate, cu $\rho_a = 1,23 \div 1,3$ g/cm³ le corespunde un coeficient de conductivitate termică $\lambda = 0,45 \div 0,49$ kcal/m °C h ($0,52 \div 0,57$ W/mK).

În tabelul 4.6 se prezintă coeficientul de conductivitate termică pentru materialele realizate cu cenușă de electrofiltru în comparație cu alte materiale de construcții clasice (cărămizi, BCA ...).

Tabelul 4.6

Coeficientul de conductivitate termică

| Caracteristica | BCA | Materialele noi | Cărămidă ceramică | Mortar pe bază de ciment |
|-----------------------|------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
| λ , [W/mK] | 0,1...0,35 | 0,52...0,57 | 0,80 | 0,93 |

Se observă că materialele cercetate, cu cenușă zburătoare și lianți clasici, se situează din punct de vedere al izolării termice între BCA și cărămizile ceramice.

4.3.6. Studiu financiar informativ

S-a realizat un studiu financiar informativ privind costul total de realizare și utilizare al materialelor cercetate, în €/m³, conform algoritmului prezentat mai jos.

Seria 1 L5 C10

| 1. Materii prime pentru 1 m ³ | UM | Pret/UM € | Cantitate | Cost € |
|--|-----------|--------------|------------|------------------------------|
| Ciment | sac 50 kg | 3,7 | 1,5 | 5,55 |
| Var | sac 25 kg | 2,1 | 1,5 | 3,15 |
| Apa | mc | 0,4 | 0,45 | 0,18 |
| Cenușă | tona | 1,6 | 0,9 | 1,44 |
| Nisip | mc | 9,8 | 0,2 | 1,96 |
| Superplastifiant | kg | 1,99 | 3,7 | 7,363 |
| TOTAL: | | | | 19,64 € |
| 2. Energie | | | 0,05×19,64 | 0,98 |
| 3. Manopera directa | | | 2,7 | 2,7 |
| 4. Manopera indirecta | | | 0,13×19,64 | 2,55 |
| 5. Uzura utilajelor | | | 0,5 | 0,5 |
| TOTAL 1: | | | | 26,38 € |
| 6. Profit | | | 0,05×26,38 | 1,32 |
| TOTAL 2: | | | | 27,70 € |
| 7. TVA | | | 0,19×27,70 | 5,26 |
| TOTAL GENERAL: | | | | 32,96 €/m³ |

În tabelele 4.6 și 4.7 se prezintă costul total (cu TVA), rezistența la compresiune R_c (redate în graficul din figura 4.11) și coeficientul tehnico-economic $Cost/R_c$ pentru materialele studiate pe bază de cenușă zburătoare comparativ cu unele materiale de construcții clasice.

Analiza economică conduce la următoarele concluzii privind eficiența utilizării lianților clasici (var + ciment):

- Materialele din grupul G1 au un cost cuprins între 32,96 €/m³ și 49,56 €/m³ (tabelul 4.6). Seria 1 L5 C10 se poate realiza la un cost mai mic cu 6,24 €/m³ (15,9%) în comparație cu costul unui mortar M4. Seria 2 L10 C10 are un cost asemănător cu costul unui mortar M 10 (≈43,0 €/m³).

Seria 3 L5 C20 și seria 4 L10 C20 realizează o economie de 65,15 €/m³ (60,0%), respectiv 59,0 €/m³ (54,3%) în comparație cu cărămizile ceramice pline, dar cu prețuri mai mari decât blocurile de zidărie din beton greu.

Tabelul 4.6

Costul estimativ și coeficientul Cost/R_c pentru materialele din grupul G1

| Caracteristica Material | Grupul G1 | | | | Mortar M 4 | Cărămidă ceramică plină | Blocuri de beton |
|---|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------|-------------------------------|---------------------|
| | Seria 1 L5 C10 | Seria 2 L10 C10 | Seria 3 L5 C20 | Seria 4 L10 C20 | | | |
| Cost, €/m ³ (cu TVA) | 32,96 | 39,39 | 43,45 | 49,56 | 39,2 | 108,6 | 39,3 |
| R _c [N/mm ²] | 3,06 | 3,55 | 6,71 | 7,42 | 0,4 | 5...10 | 8,5 |
| $\frac{\text{Cost}}{R_c}$, [€/m ³ ×mm ² /N] | 10,77 | 11,10 | 6,48 | 6,68 | 9,8 | 21,7...10,9 | 4,62 |

• Materialele din grupul G2 au un cost cuprins între 28,88 €/m³ și 42,92 €/m³ (tabelul 4.7). Seria 5 L10 C10 se poate realiza la un cost mai mic cu 10,32 €/m³ (26,3%) în comparație cu prețul unui mortar M4, și are și avantajul că prezintă o rezistență la compresiune comparabilă cu mortarele de marcă M 25. Seria 6 L10 C20 și seria 7 L10 C30 realizează o economie de 71,97 €/m³ (66,3%), respectiv 65,68 €/m³ (60,5%) în comparație cu cărămizile ceramice pline.

Tabelul 4.7

Costul estimativ și coeficientul Cost/R_c pentru materialele din grupul G2

| Caracteristica Material | Grupul G2 | | | Mortar M 4 | Cărămidă ceramică plină | Blocuri de beton | BCA |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------------------|---------------------|------|
| | Seria 5 L10 C10 | Seria 6 L10 C20 | Seria 7 L10 C30 | | | | |
| Cost, €/m ³ (cu TVA) | 28,88 | 36,63 | 42,92 | 39,2 | 108,6 | 39,3 | 61,7 |
| R _c [N/mm ²] | 2,37 | 5,12 | 7,36 | 0,4 | 5...10 | 8,5 | 8,5 |
| $\frac{\text{Cost}}{R_c}$, [€/m ³ ×mm ² /N] | 12,19 | 7,15 | 5,83 | 9,8 | 21,7...10,9 | 4,62 | 7,26 |

În figura 4.12 se prezintă grafic variația raportului tehnico-economic (Cost/R_c) funcție de suma lianților clasici din material.

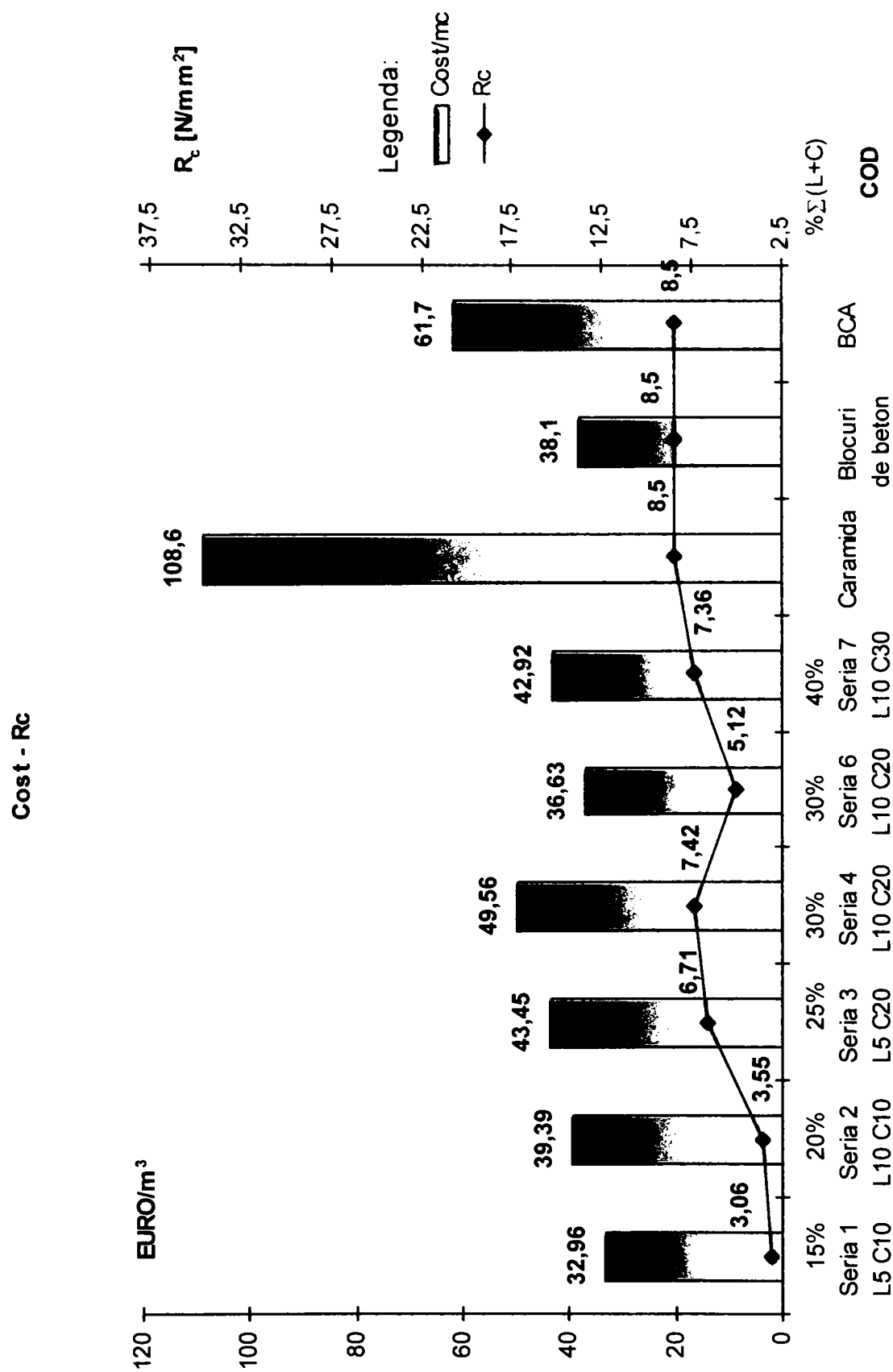


Figura 4.11

Variația $Cost/R_c$ raportată la suma lianților clasici

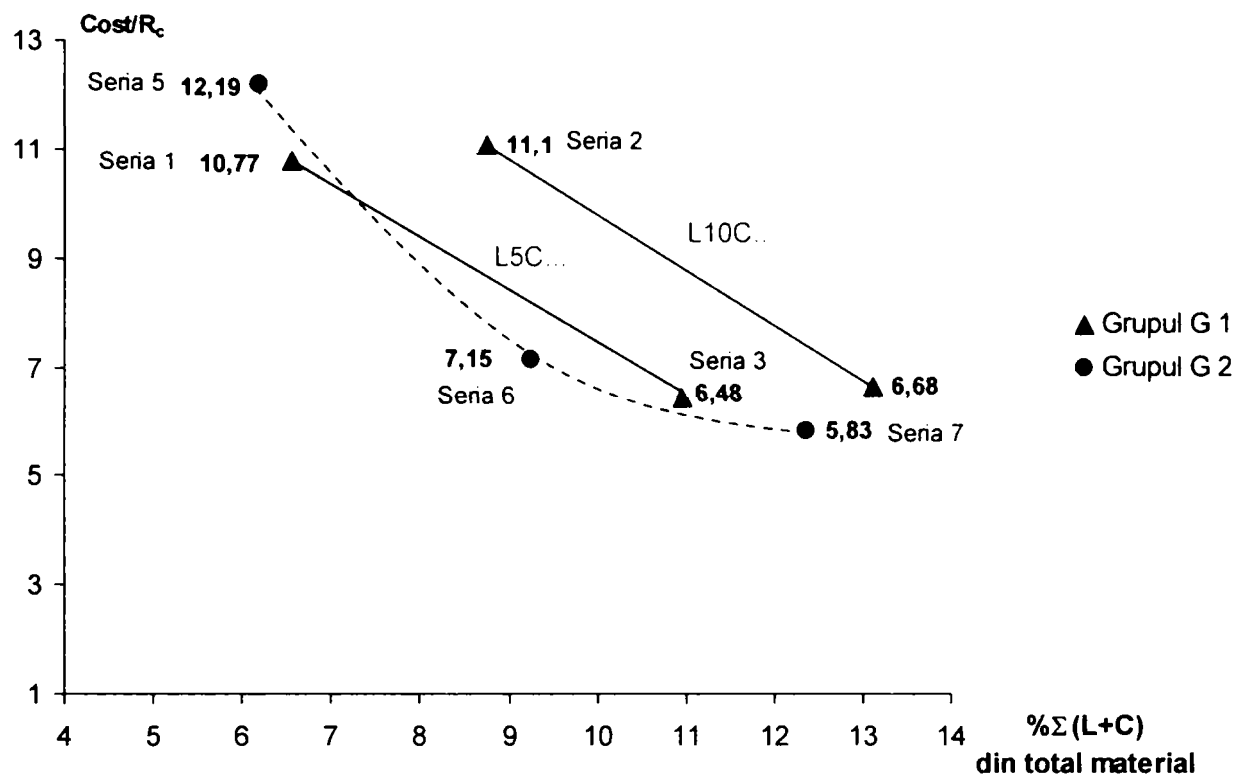


Figura 4.12

Din studiul figurii 4.12 în care se prezintă costurile de realizare și aplicare și rezistența la compresiune pentru fiecare serie, comparativ cu diferite materiale de construcții clasice, putem spune că:

a) Referitor la materialele din grupul G1

- Pentru un procent constant de var, sporirea cantității de ciment determină o creștere a eficienței economice a materialului, adică o scădere a raportului $Cost/R_c$.
- La un procent constant de ciment, sporirea cantității de var a dus la o creștere a raportului $Cost / R_c$ reprezentând o scădere a eficienței din punct de vedere economic.

b) Referitor la materialele din grupul G2

- La păstrarea constantă a procentului de var, sporirea cantității de ciment a dus la scăderea raportului $Cost/R_c$, astfel că la materialul din seria 7 L10C30 s-a înregistrat cel mai scăzut raport, deci o eficiență economică maximă.

Se poate aprecia că:

- Pentru obținerea unor valori ale rezistenței la compresiune, la 28 de zile, de $5 \div 10 \text{ N/mm}^2$, trebuie utilizate dozaje mai ridicate de ciment, care, de altfel, sunt caracterizate și printr-o eficiență economică mai bună

• Pe de altă parte, sporirea cantității de var, care a dus la scăderea eficienței economice, (prin creșterea raportului $Cost/R_c$), poate influența favorabil durabilitatea materialelor cu cenușă de termocentrală (rezistența la îngheț-dezghet, rezistența la umezire-uscare etc).

• Materialul corespunzător seriei 1 (L5 C10), cu $R_c \geq 2,5 \text{ N/mm}^2$ la vârsta de 28 zile, are cel mai mic cost. Pentru materialele cu $R_c \geq 5 \text{ N/mm}^2$ la vârsta de 28 zile, cel mai mic cost s-a obținut pentru seria 6 L10 C20.

4.3.7. Concluzii generale

Sinteza caracteristicilor tehnico-economice ale materialele cercetate realizate pe bază de cenușă zburătoare se prezintă în tabelul 4.8.

Tabelul 4.8

Performanțele tehnice ale materialelor studiate comparativ cu materialele de construcții clasice

| Material Caracteristica | Materiale clasice: | | | | Materiale noi |
|---|--------------------|------------|-------------------|------------|--------------------|
| | Beton obișnuit | Mortar M 4 | Cărămizi ceramice | B.C.A. | |
| Densitatea [kg/m^3] | 2300...2400 | 1860 | 1000...1800 | 300...1200 | 1230...1352 |
| Rezistența la întindere [N/mm^2] | 2...4 | 4 | 1,5...2,1 | 0,7...1,2 | 0,3...1,3 |
| Rezistența la compresiune [N/mm^2] | 25...60 | $\geq 0,4$ | 5...20 | 2,5...5 | 2...7 |
| Contractia [mm/m] | 0,3...0,8 | ≤ 2 | - | 0,25...0,5 | 0,92...1,41 |
| Conductivitate termică [W/m K] | 1,3... 1,5 | 0,9...1,0 | 0,4...0,8 | 0,1...0,35 | 0,52...0,57 |
| Absorbția de apă [%] | 1...6 | - | ≤ 20 | ≤ 45 | 30...33 |
| Cost [€/m^3] (cu TVA) | 46,7...63,3 | 39,2 | 108,6 | 61,7 | 28,9...49,6 |

Caracteristicile fizico-mecanice sunt asemănătoare cu cele ale mortarelor, cărămizilor ceramice pline și BCA.

Din punct de vedere economic, se pot utiliza la zidărie neportantă și portantă, realizându-se economii financiare de până la 60% în raport cu materialele de construcții clasice.

4.4. Materiale realizate cu cenușă zburătoare și silice ultrafină

4.4.1. Stabilirea compozițiilor

Pentru efectuarea determinărilor de laborator s-au realizat amestecuri pentru producerea de materiale de construcții, având următoarea rețetă:

- apă = 20%;
- material uscat = 80%.

Pentru materialul uscat, s-au propus următoarea combinație procentuală:

- nisip sort 0-3 mm = 40%;
- lianți amestecați = 60%.

La preparare s-a adăugat superplastifiant în proporție de 0,5% din suma lianților amestecați.

Pentru stabilirea compoziției lianților amestecați s-a utilizat modelul prezentat în paragraful 2.6:

$$\% \Sigma \text{Lianți amestecați} = \% \Sigma (\text{Lianți clasici} + \text{CT} + \text{M}) = 100\% \quad (4.4)$$

unde: Lianți clasici = var (L) + ciment (C);

CT = cenușă zburătoare;

M = silice ultrafină.

S-au propus procente de 10%, 15% și 20% pentru lianții minerali clasici, 5% și 10% pentru silice ultrafină, iar cantitățile de cenușă zburătoare au rezultat din relația:

$$\% \text{CT} = 100\% - \% \Sigma (\text{Lianți clasici} + \text{M}) \quad (4.5)$$

La prepararea amestecurilor, pentru asigurarea unei lucrabilități minime, a fost necesară suplimentarea cantității de apă. Astfel, cantitatea finală de apă folosită la prepararea amestecurilor a fost de 22,4% față de cantitatea stabilită inițial, de 20% apă.

Pe baza celor prezentate mai sus s-au realizat materiale ale căror compoziții finale se prezintă în tabelul 4.9.

Tabelul 4.9

Compozițiile amestecurilor cu cenușă zburătoare și silice ultrafină

| Nr. crt. | COD | Apa [%] | Var [%] | Ciment [%] | Silice ultrafină [%] | Cenușă [%] | Nisip [%] |
|----------|---------------------|---------|---------|------------|----------------------|------------|-----------|
| 1. | Seria 1 L10 C10 | 22,4 | 4,7 | 4,7 | - | 37,2 | 31 |
| 2. | Seria 2 L10 C10 M5 | 22,4 | 4,7 | 4,7 | 2,3 | 34,9 | 31 |
| 3. | Seria 3 L10 C10 M10 | 22,4 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 32,5 | 31 |
| 4. | Seria 4 L10 C20 M5 | 22,4 | 4,7 | 9,4 | 2,3 | 30,2 | 31 |
| 5. | Seria 5 L15 C15 M10 | 22,4 | 7,0 | 7,0 | 4,7 | 27,9 | 31 |
| 6. | Seria 6 L10 C20 M10 | 22,4 | 4,7 | 9,4 | 4,7 | 27,8 | 31 |

4.4.2. Caracteristici fizico-mecanice

În tabelul 4.10 și în figurile 4.13 ÷ 4.16 se prezintă densitatea aparentă, rezistența la întindere din încovoiere, rezistența la compresiune, pentru vârsta de 7 și 28 zile și coeficientul de eficiență tehnică, pentru vârsta de 28.

Tabelul 4.10

Proprietăți fizico-mecanice ale amestecurilor întărite, la 7 și 28 zile

| Nr. crt. | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, [$\frac{kN \times m}{kg}$] |
|----------|---------------------|---|---------|---|---------|--|---------|--|
| | | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | |
| 1. | Seria 1 L10 C10 | 1726 | 1718 | 0,70 | 2,62 | 4,14 | 11,62 | 6,76 |
| 2. | Seria 2 L10 C10 M5 | 1735 | 1724 | 1,61 | 3,75 | 5,83 | 15,04 | 8,72 |
| 3. | Seria 3 L10 C10 M10 | 1747 | 1736 | 1,61 | 4,03 | 6,10 | 16,60 | 9,56 |
| 4. | Seria 4 L10 C20 M5 | 1774 | 1743 | 2,23 | 4,21 | 8,70 | 20,18 | 11,58 |
| 5. | Seria 5 L15 C15 M10 | 1754 | 1754 | 2,22 | 4,45 | 7,66 | 21,51 | 12,34 |
| 6. | Seria 6 L10 C20 M10 | 1784 | 1758 | 2,64 | 4,68 | 10,04 | 23,79 | 13,53 |

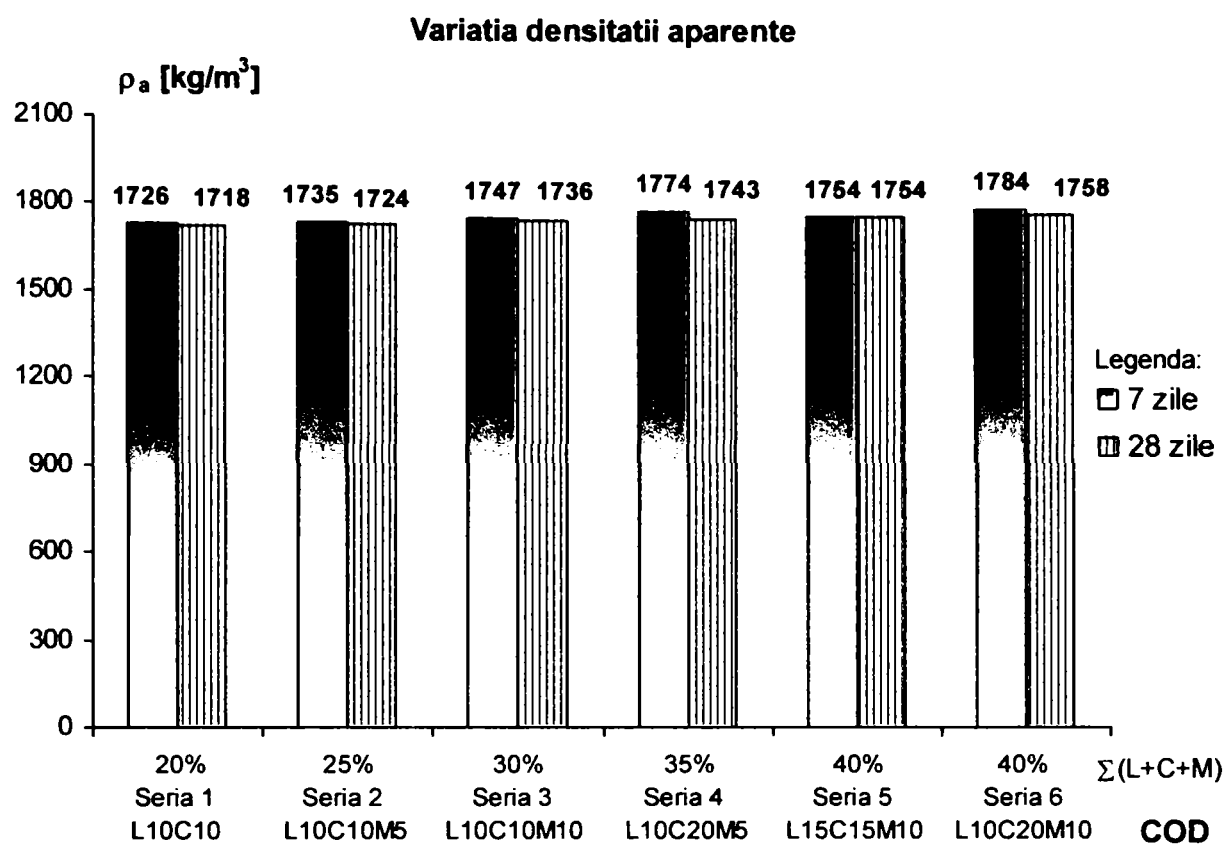


Figura 4.13

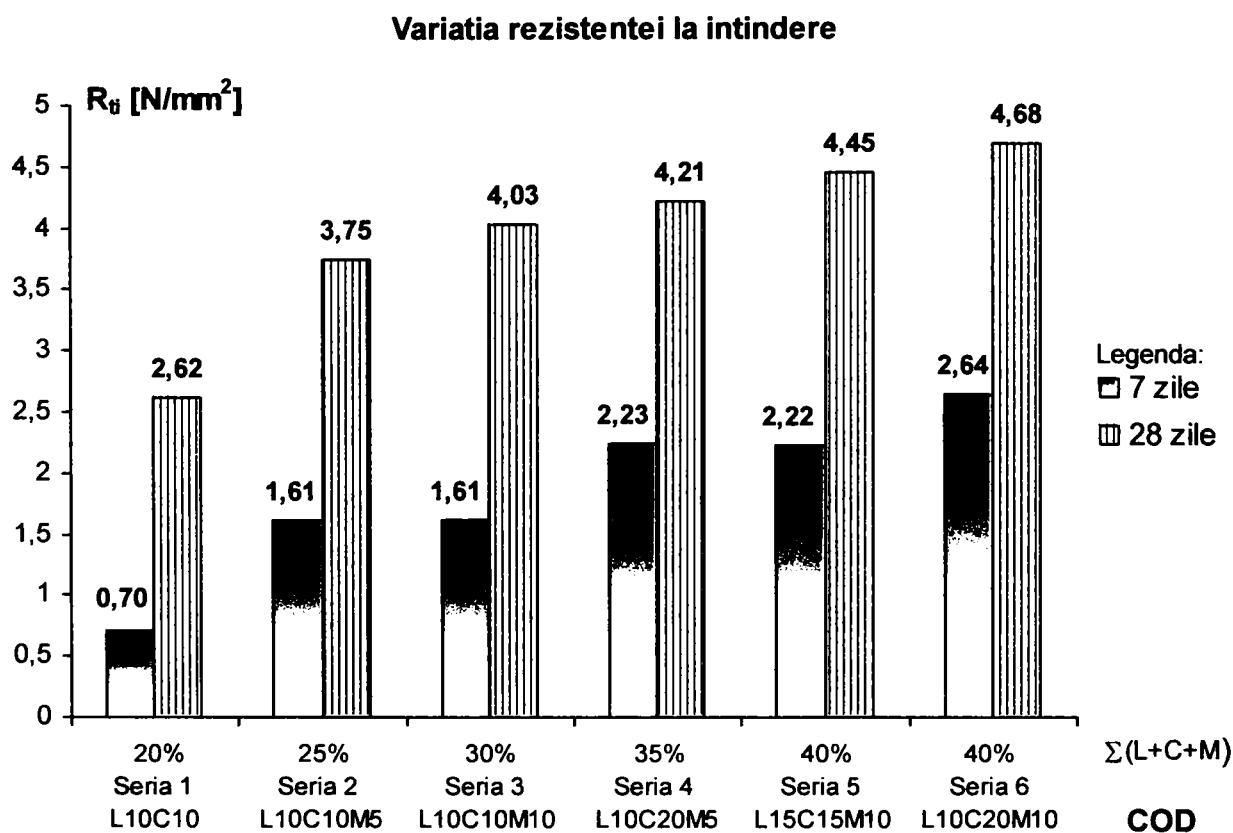


Figura 4.14

Variația rezistenței la compresiune

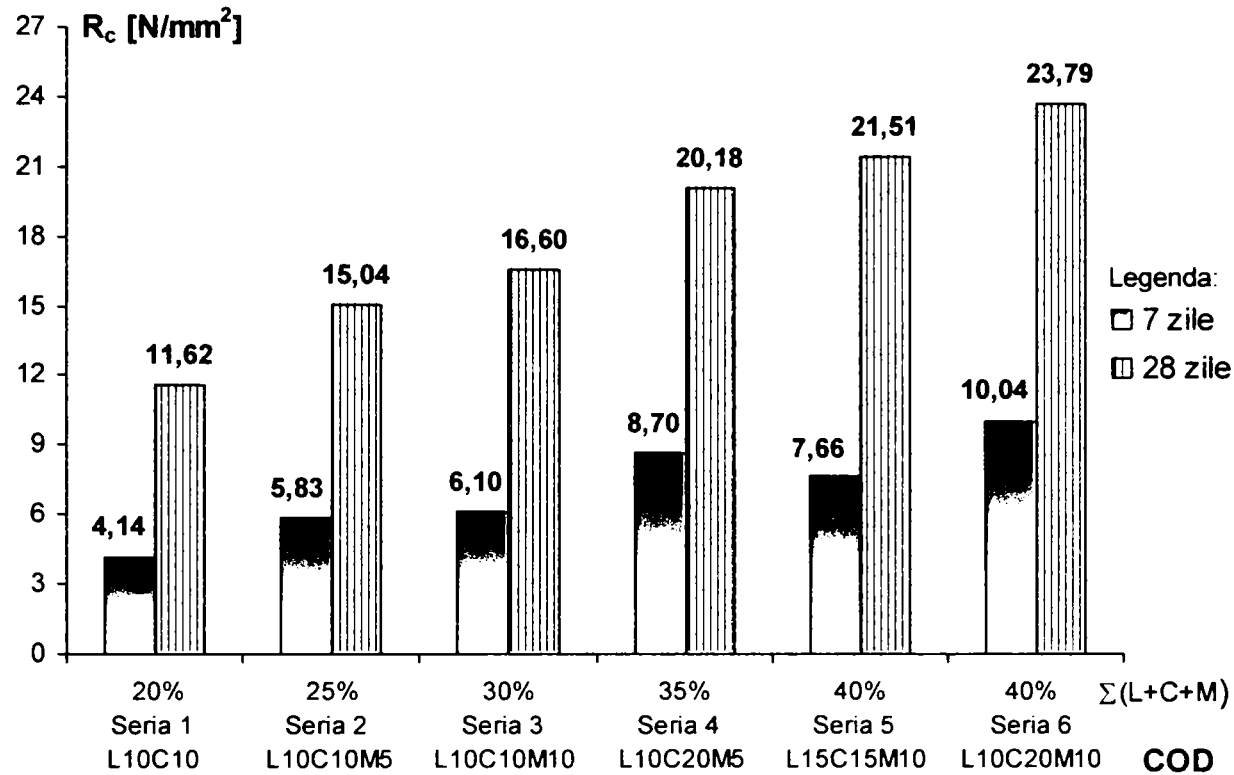


Figura 4.15

4.4.3. Concluzii referitoare la caracteristicile fizico-mecanice

În urma studierii valorilor din tabelul 4.10, reprezentate grafic în figurile 4.13 ÷ 4.16 se pot extrage concluziile prezentate în continuare.

a) Densitatea și rezistențele mecanice

- Densitatea aparentă a materialelor studiate, pentru vârsta de 7 zile, se încadrează între 1726 kg/m^3 și 1784 kg/m^3 , iar pentru vârsta de 28 zile între 1718 kg/m^3 și 1758 kg/m^3 (figura 4.13) încadrând amestecurile în categoria mortarelor semigrele sau a betoanelor ușoare compacte, iar comparativ cu materialele ceramice pentru zidărie, în clasa de densitate C3.

- Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:

- Prin introducerea silicei ultrafine, a crescut atât rezistența la întindere din încovoiere R_{ii} cât și rezistența la compresiune R_c . Pentru rezistența la compresiune s-au obținut valori mai mari de 5 N/mm^2 (condiție pentru realizarea materialelor de zidărie portantă).

Eficiența tehnică

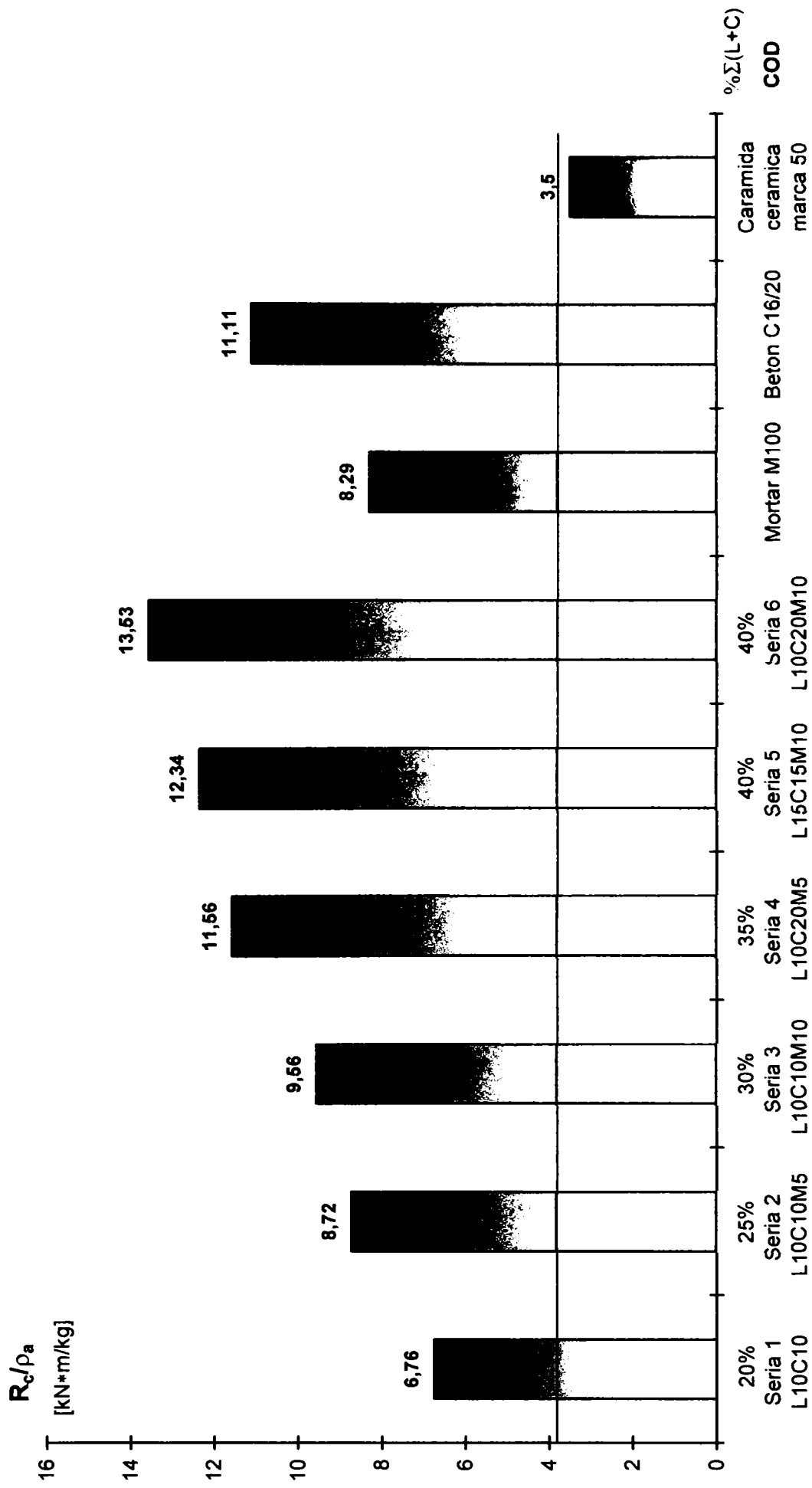


Figura 4.16

- Efectuând o comparație între seria 1 L10 C10 (martor), fără silice ultrafină și seria 2 L10 C10 M5 cu 5% silice ultrafină, rezultă că R_{ti} a crescut cu $0,91 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 130,0% (figura 4.14), iar R_c cu $1,69 \text{ N/mm}^2$, adică de 40,8% (figura 4.15).

- Prin introducerea a 10% silice ultrafină (seria 3 L10 C10 M10), în comparație cu seria 1 L10 C10 (martor), R_{ti} are o creștere de $0,91 \text{ N/mm}^2$ adică 130,0%, asemănătoare cu seria 2 L10 C10 M5, iar R_c crește cu $1,96 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 47,3% (figura 4.15). Se observă că la această vârstă, creșterea procentului de silice ultrafină de la 5% la 10% nu a produs o modificare a lui R_{ti} , iar R_c crește cu o valoare mică, de $0,27 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 4,6%

- La o valoare constantă a cantității de 10% var și a cantității de silice ultrafină de 5%, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 2 L10 C10 M5), la 20% (seria 4 L10 C20 M5) a dus la o creștere a lui R_{ti} cu $0,62 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 38,5%, iar R_c a crescut cu $2,87 \text{ N/mm}^2$, adică de 49,2%.

- Pentru o valoare constantă de 10% var și de 10% silice ultrafină din liantul amestecat, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 3 L10 C10 M10), la 20% (seria 6 L10 C20 M10) a dus la o creștere a lui R_{ti} cu $1,03 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 64,0%, iar R_c a înregistrat o creștere cu $3,94 \text{ N/mm}^2$, adică de 64,6%.

- Prin sporirea procentului de ciment de la 10% și a procentului de silice ultrafină de la 5% (seria 2 L10 C10 M5), la 20% ciment și 10% silice ultrafină (seria 6 L10 C20 M10), s-a înregistrat o creștere a lui R_{ti} cu $1,03 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 64,0%, iar R_c a înregistrat o creștere cu $4,21 \text{ N/mm}^2$, adică de 72,2%.

- Comparând rezultatele obținute pentru seria 1 L10 C10 martor, cu cele obținute pentru seria 6 L10 C20 M10, care are în plus cu 10% ciment și 10% silice ultrafină, se înregistrează cele mai mari creșteri ale rezistențelor, de $1,94 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 277,1% pentru R_{ti} și de $5,9 \text{ N/mm}^2$, adică de 142,5% pentru R_c .

- Pentru un procent constant de silice ultrafină de la 10%, prin creșterea cantității de var și de ciment, de la 10% (seria 3 L10 C10 M10), la 15% (seria 5 L15 C15 M10), în total o creștere cu 10% liant clasic, R_{ti} a crescut cu $0,61 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 37,9%, iar R_c cu $1,56 \text{ N/mm}^2$ adică de 25,6%.

*
* *

În concluzie, putem spune că, la această vârstă, cele mai mari creșteri ale rezistențelor R_{ti} și R_c s-au înregistrat pentru valori maxime ale procentelor de ciment și silice ultrafină.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile* permit următoarele constatări:

- La această vârstă probele au valori ale lui R_{ti} cuprinse între $2,62 \text{ N/mm}^2$ și $4,68 \text{ N/mm}^2$, iar ale R_c între $11,62 \text{ N/mm}^2$ și $23,79 \text{ N/mm}^2$, asemănătoare mortarelor M 100, respectiv betoanelor de clasă C 16/20.

- Compararea seriei 1 L10 C10 (martor), fără silice ultrafină cu seria 2 L10 C10 M5 cu 5% silice ultrafină, arată că R_{ti} a crescut cu $1,13 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 43,1% (figura 4.14), iar R_c cu $3,42 \text{ N/mm}^2$, adică de 29,4% (figura 4.15).

- Adăugarea a 10% silice ultrafină (seria 3 L10 C10 M10), față de seria 1 L10 C10 (martor), a provocat o creștere de $1,41 \text{ N/mm}^2$ pentru R_{ti} , adică 53,8%, și o crește cu $4,98 \text{ N/mm}^2$ pentru R_c , adică cu 42,9% (figura 4.15).

- La o valoare constantă de 10% cantității de var și de 5% a cantității de silice ultrafină, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 2 L10 C10 M5) la 20% (seria 4 L10 C20 M5) a dus la o creștere a lui R_{ti} cu $0,46 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 12,3%, iar R_c a crescut cu $5,147 \text{ N/mm}^2$, adică de 34,2%.

- Pentru o valoare constantă de 10% var și de 10% silice ultrafină din liantul amestecat, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 3 L10 C10 M10) la 20% (seria 6 L10 C20 M10) a dus la o creștere a lui R_{ti} cu $0,65 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 16,1%, iar R_c înregistrează o creștere cu $7,19 \text{ N/mm}^2$, adică de 43,3%.

- Prin sporirea procentului de ciment de la 10% și a procentului de silice ultrafină de la 5% (seria 2 L10 C10 M5) la 20% ciment și 10% silice ultrafină (seria 6 L10 C20 M10) s-a înregistrat o creștere a lui R_{ti} cu $0,93 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 24,8%, iar R_c a înregistrat o creștere cu $8,75 \text{ N/mm}^2$, adică de 58,2%.

- Comparând rezultatele obținute pentru seria 1 L10 C10 (martor) cu cele obținute pentru seria 6 L10 C20 M10, care are mai mult cu 10% ciment și 10% silice ultrafină, se înregistrează cele mai mari creșteri ale rezistențelor, de $2,08 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 78,6% pentru R_{ti} și de $12,17 \text{ N/mm}^2$ (104,7%) pentru R_c .

- Pentru un procent constant de silice ultrafină de la 10%, prin creșterea cantității de var și de ciment, de la 10% (seria 3 L10 C10 M10), la 15% (seria 5 L15 C15 M10), în total o creștere cu 10% liant clasic, R_{ti} a crescut cu $0,42 \text{ N/mm}^2$, adică de 10,4%, iar R_c cu $4,91 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 29,6%.

*
* *

În concluzie, se observă că, la 28 zile, sporirea procentului de silice ultrafină de la 5% la 10%, conduce la creșteri ale lui R_{ti} cu maxim 11,2% și ale lui R_c de maxim 29,6%.

Cele mai mari sporuri s-au înregistrat pentru procentele maxime de ciment și silice ultrafină.

Prin utilizarea silicei ultrafine se realizează o creștere a rezistențelor mecanice cu până la 53,8% pentru R_u și cu până la 42,9% pentru R_c .

Realizând o comparație între rezistențele mecanice obținute pentru seria 2 L10 C10 din tabelul 4.1 (4.3) și seria 1 L10 C10 din tabelul 4.9 (4.10), se constată că prin reducerea procentului de apă și mărirea procentului de nisip, rezultă o creștere cu $2,12 \text{ N/mm}^2$ pentru R_u , adică de 42,4% și cu $8,56 \text{ N/mm}^2$, adică de 280% pentru R_c .

S-au obținut valori ale rezistenței la compresiune, la 28 zile, mai mari de 10 N/mm^2 . Astfel, aceste compoziții se pot utiliza pentru: blocuri pentru zidărie portantă, mortare M100, beton ușor compact ș. a.

b) Coeficientul de eficiență tehnică prezentat în graficul din figura 4.16, arată că materialele cercetate au o eficiență tehnică mai mare decât cărămizile ceramice pline marca 50 și asemănătoare cu a unui mortar M 100 sau a unui beton greu de clasă C 16/20.

4.4.4. Concluzii generale

Materialele cercetate au înregistrat, la vârsta de 28 zile, o rezistență la compresiune cuprinsă între $11,62 \text{ N/mm}^2$ și $23,79 \text{ N/mm}^2$, fiind asemănătoare cu mortarele M 100, cărămizi ceramice marca 100 sau betoanele ușoare compacte.

Rezistențele mecanice au valori crescătoare atunci s-a mărit procentul de silice ultrafină și ciment.

Din punct de vedere economic, se pot obține economii financiare de minim 25% în comparație cu materialele de construcții clasice, după cum s-a prezentat în studiul financiar informativ din paragraful 4.3.6.

4.5. Materiale realizate cu cenușă zburătoare ultrafină și silice ultrafină

4.5.1. Stabilirea compozițiilor

Determinările de laborator s-au realizat pe amestecuri care vizează producerea de materiale de construcții, având următoarea compoziție:

- apă = 15%;
- material uscat = 85%.

Pentru materialul uscat, s-a propus următoarea combinație procentuală:

- nisip = 50%;
- lianți amestecați = 50%.

Pentru amestecurile din grupul G1 s-a utilizat sortul de nisip 0-3 mm, iar pentru cele din grupul G2 combinația 20% sort 0-3 mm + 30% sort 3-7 mm (în total 50%).

La preparare s-a adăugat superplastifiant în proporție de 0,5% din suma lianților amestecați.

La stabilirea compoziției lianților amestecați s-a utilizat același procedeu ca și în paragraful 2.6.

Lianții amestecați sunt formați din cenușă zburătoare ultrafină (CT), var (L), ciment (C) și silice ultrafină (M).

S-au propus compoziții cu var = 10%; ciment = 10%, 25% și 30%; silice ultrafină = 10%.

La prepararea amestecurilor, pentru asigurarea unei lucrabilități minime, a fost necesară suplimentarea cantității de apă. Astfel, materialele din grupul G1 au ajuns la 17,5% apă, iar cele din grupul G2 la 16,0% apă față de cantitatea stabilită inițial, de 15% apă.

În conformitate cu cele prezentate mai sus s-au realizat materiale având compozițiile finale date în tabelul 4.11.

Tabelul 4.11

Compoziții ale materialelor cu cenușă zburătoare ultrafină și silice ultrafină

| Grup | COD | Apa [%] | Var [%] | Ciment [%] | Silice ultrafină [%] | Cenușă [%] | Nisip [%] | |
|---|---------------------|---------|---------|------------|----------------------|------------|-----------|--------|
| | | | | | | | 0-3 mm | 3-7 mm |
| G 1 | Seria 1 L10 C10 | 17,5 | 4,12 | 4,12 | - | 33,01 | 41,25 | - |
| | Seria 2 L10 C10 M10 | 17,5 | 4,12 | 4,12 | 4,12 | 28,89 | 41,25 | - |
| | Seria 3 L10 C20 M10 | 17,5 | 4,12 | 8,24 | 4,12 | 24,77 | 41,25 | - |
| | Seria 4 L10 C30 M10 | 17,5 | 4,12 | 12,36 | 4,12 | 20,65 | 41,25 | - |
| G 2 | Seria 5 L10 C10 | 16,1 | 4,2 | 4,2 | - | 33,6 | 16,8 | 25,1 |
| | Seria 6 L10 C10 M10 | 16,1 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 29,4 | 16,8 | 25,1 |
| | Seria 7 L10 C20 M10 | 16,1 | 4,2 | 8,4 | 4,2 | 25,2 | 16,8 | 25,1 |
| | Seria 8 L10 C30 M10 | 16,1 | 4,2 | 12,6 | 4,2 | 21,0 | 16,8 | 25,1 |
| L = var, C = ciment, M = silice ultrafină | | | | | | | | |

4.5.2. Caracteristici fizico-mecanice

Pentru determinarea absorbției de apă a_m , după vârsta de 28 zile, probele au fost supuse unei uscări până la masă constantă și păstrate 12 h în apă.

Absorbția de apă raportată la masă a_m pentru amestecurile cercetate se prezintă în tabelele 4.12a și 4.12b.

Tabelul 4.12 a

Absorbția de apă pentru materialele din grupul G1

| Materialul Caracteristica | Materialele din grupul G1 | | | | BCA | Cărămizi ceramice |
|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----|----------------------|
| | Seria 1 L10 C10 | Seria 2 L10 C10 M10 | Seria 3 L10 C20 M10 | Seria 4 L10 C30 M10 | | |
| a_m , [%] | 20,4 | 19,6 | 19,0 | 18,4 | ≤45 | ≤20 |

Tabelul 4.12 b

Absorbția de apă pentru materialele din grupul G2

| Materialul Caracteristica | Materialele din grupul G2 | | | | BCA | Cărămizi ceramice |
|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| | Seria 5 L10 C10 | Seria 6 L10 C10 M10 | Seria 7 L10 C20 M10 | Seria 8 L10 C30 M10 | | |
| a_m , [%] | 18,5 | 17,9 | 17,4 | 16,5 | ≤ 45 | ≤ 20 |

Se observă că absorbția de apă a amestecurilor cercetate se încadrează în limitele impuse pentru BCA și aproape de limită pentru cărămizile ceramice pline.

În tabelul 4.13 și în figurile 4.17 ÷ 4.23 se prezintă densitatea aparentă, rezistența întindere din încovoiere, rezistența la compresiune, pentru vârsta de 7 și 28 zile și coeficientul de eficiență tehnică, pentru vârsta de 28 zile.

Tabelul 4.13

Proprietăți fizico-mecanice ale amestecurilor întărite, la 7 și 28 zile

| Grup | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, [$\frac{kN \times m}{kg}$] |
|------|---------------------|---|---------|---|---------|--|---------|--|
| | | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | |
| G 1 | Seria 1 L10 C10 | 1901 | 1888 | 1,80 | 4,03 | 7,17 | 16,25 | 8,61 |
| | Seria 2 L10 C10 M10 | 1918 | 1910 | 2,34 | 4,15 | 8,62 | 20,62 | 10,80 |
| | Seria 3 L10 C20 M10 | 1940 | 1927 | 2,58 | 4,53 | 8,81 | 24,94 | 12,94 |
| | Seria 4 L10 C30 M10 | 1986 | 1963 | 3,51 | 5,41 | 12,46 | 26,50 | 13,50 |
| G 2 | Seria 5 L10 C10 | 1944 | 1931 | 2,23 | 3,75 | 9,74 | 20,81 | 10,78 |
| | Seria 6 L10 C10 M10 | 1986 | 1965 | 2,65 | 4,08 | 10,40 | 21,31 | 10,84 |
| | Seria 7 L10 C20 M10 | 2016 | 1986 | 3,16 | 4,80 | 12,14 | 26,53 | 13,36 |
| | Seria 8 L10 C30 M10 | 2029 | 1992 | 3,80 | 5,39 | 16,53 | 31,56 | 15,84 |

$\frac{R_c}{\rho_a}$ s-a determinat pentru valori înregistrate la vârsta de 28 zile.

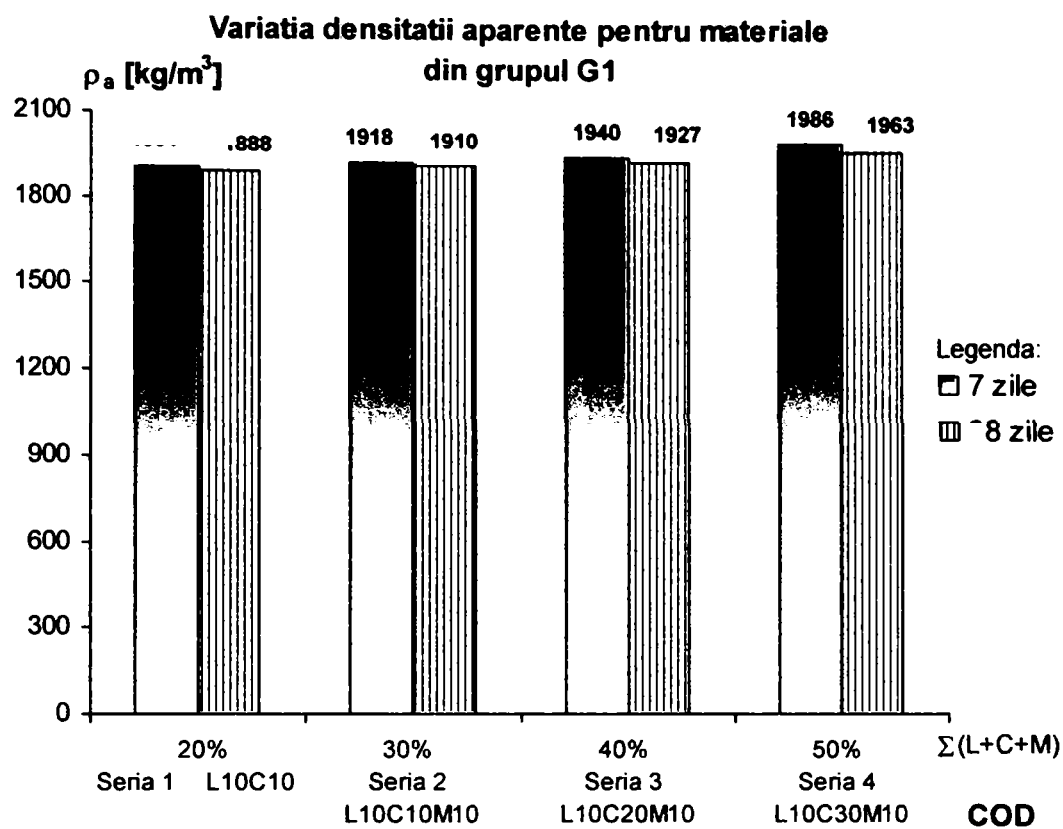


Figura 4.17

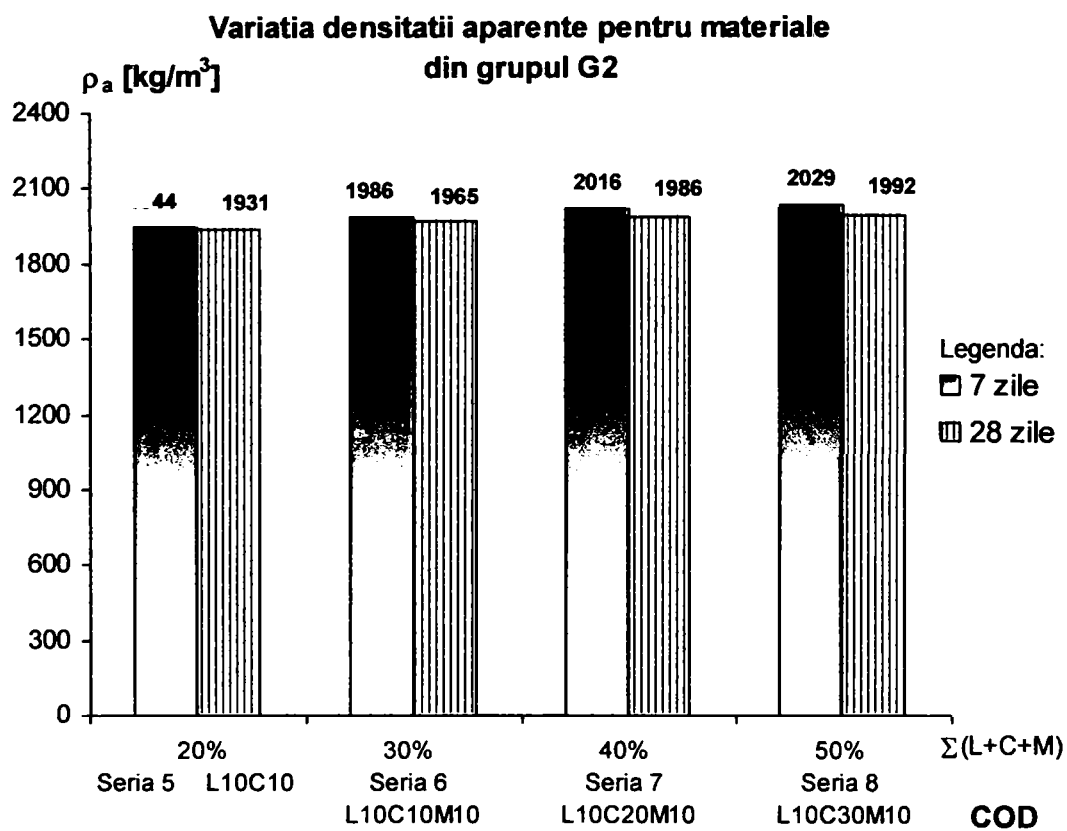


Figura 4.18

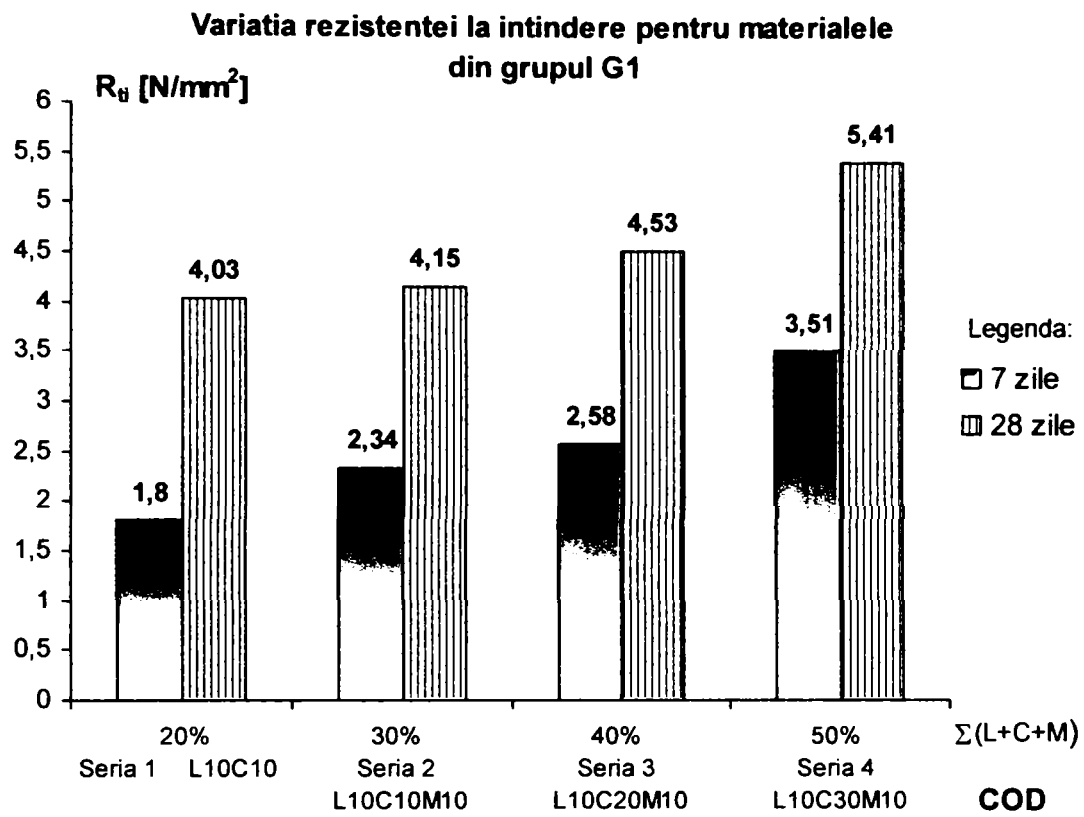


Figura 4.19

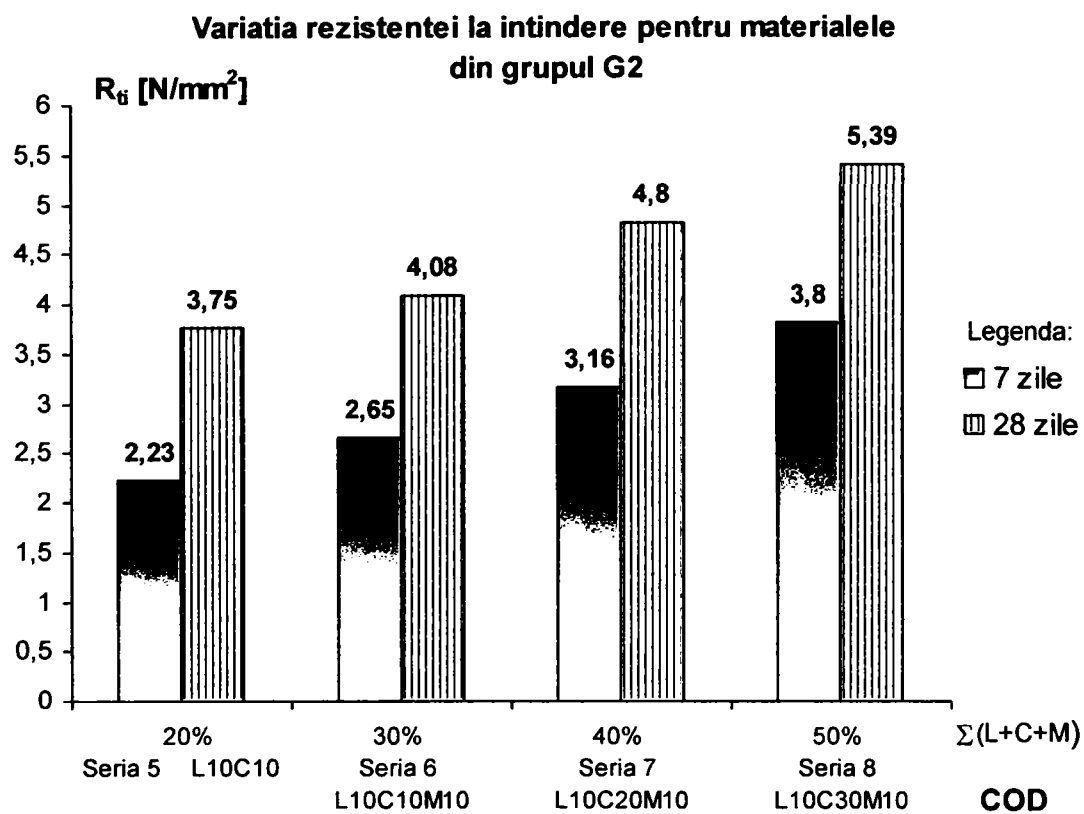


Figura 4.20

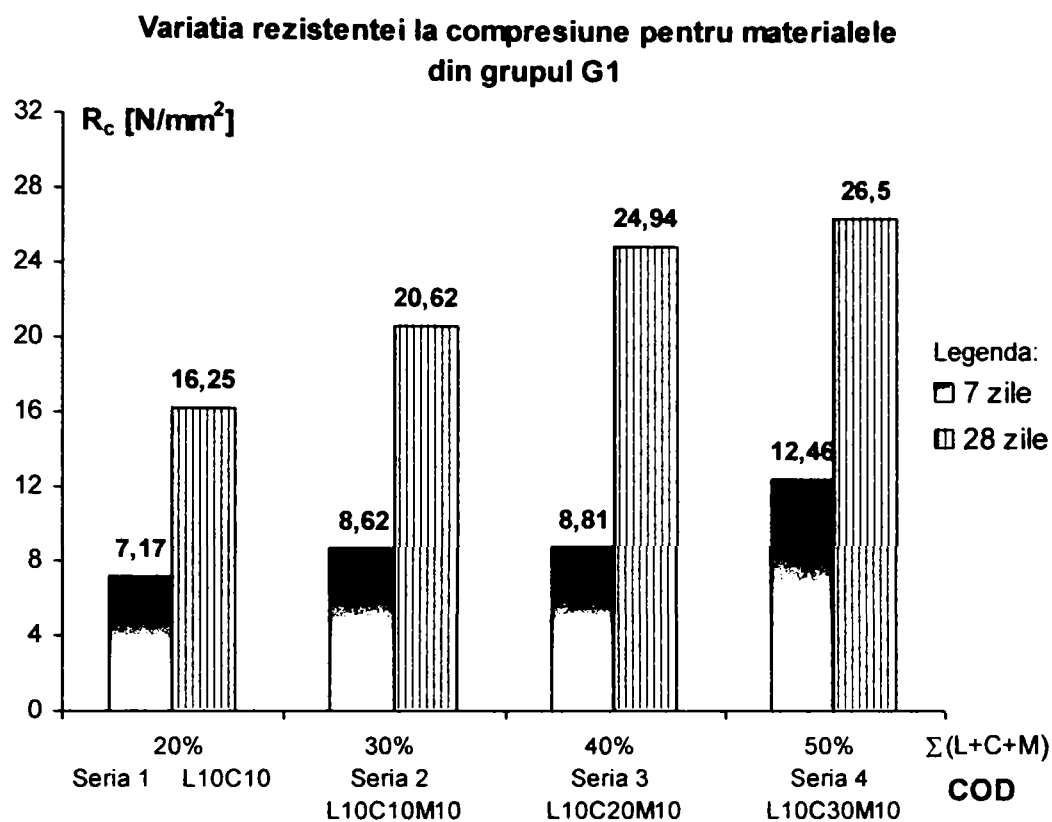


Figura 4.21

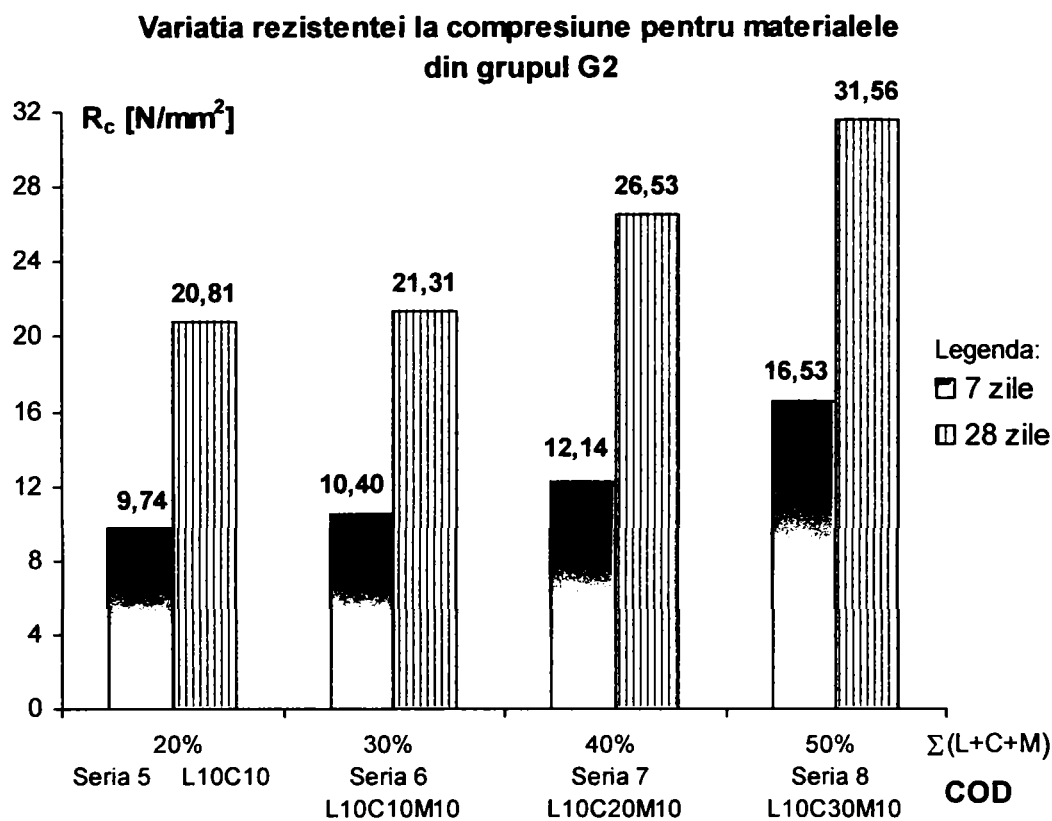


Figura 4.22

Eficiența tehnică

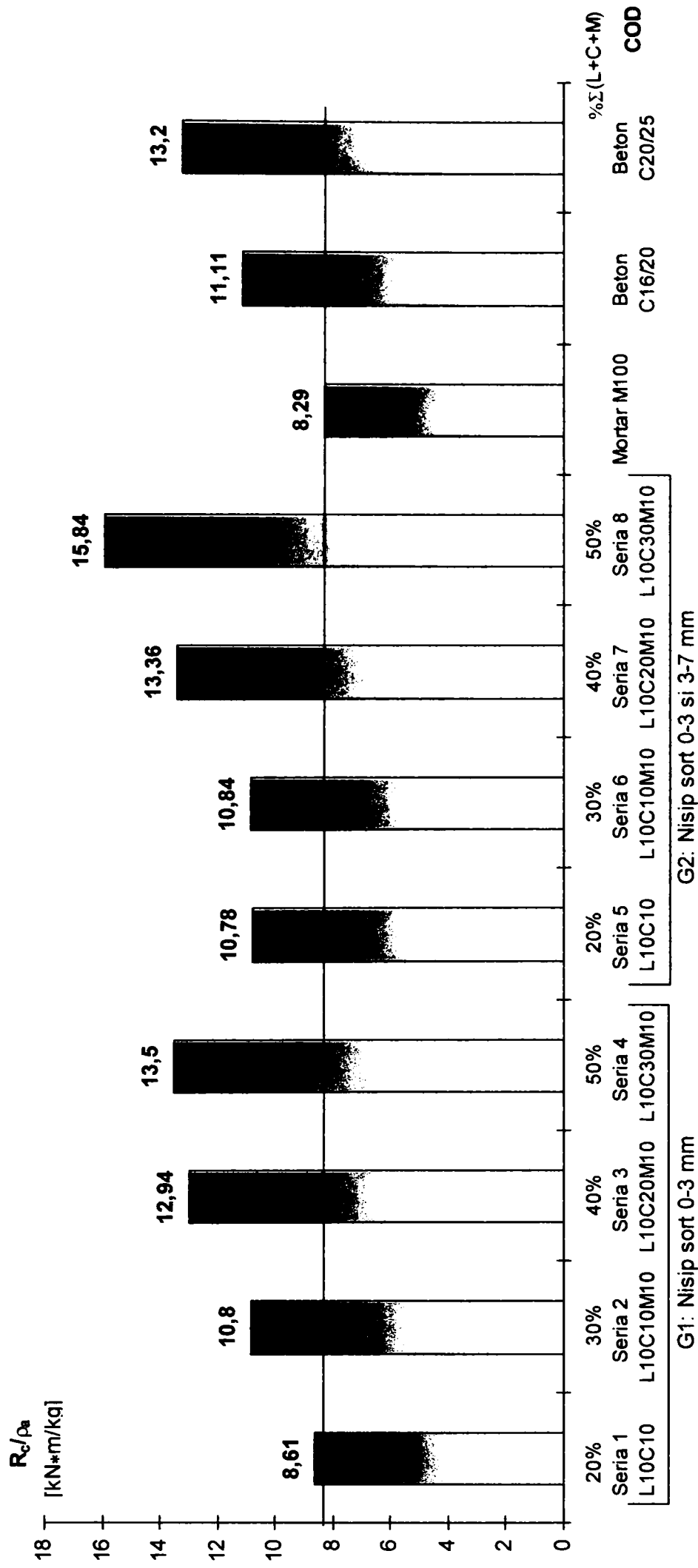


Figura 4.23

4.5.3. Concluzii referitoare la caracteristicile fizico-mecanice

Analiza rezultatelor din tabelul 4.13, reprezentate grafic în figurile 4.17 ÷ 4.23 se pot conduce la concluziile prezentate în continuare.

a) Densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G1

- *Densitatea aparentă la 7 zile* este cuprinsă între 1901 kg/m^3 și 1986 kg/m^3 , iar la 28 zile între 1888 kg/m^3 și 1963 kg/m^3 (figura 4.17), încadrând materialele în categoria mortarelor grele sau a betoanelor ușoare compacte.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile* arată următoarele:

- La seria 1 L10 C10 (martor) s-a obținut o rezistență la întindere din încovoiere R_{ti} de $1,80 \text{ N/mm}^2$ și o rezistență la compresiune R_c de $7,17 \text{ N/mm}^2$.

- Pentru un procent constant de 10% var și 10% ciment (seria 1 L10 C10), introducerea a 10% silice ultrafină (seria 2 L10 C10 M10) produce o creștere a R_{ti} cu $0,54 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 30% și a R_c cu $1,45 \text{ N/mm}^2$ adică 20,2%.

- Păstrând constant un procent de 10% var și 10% silice ultrafină, sporirea cantității de ciment de la 10% (seria 2 L10 C10 M10) la 20% (seria 3 L10 C20 M10) a provocat o creștere a R_{ti} cu $0,24 \text{ N/mm}^2$ (10,3%) și a R_c cu $0,19 \text{ N/mm}^2$ (2,2%).

- La o cantitate constantă de var și silice ultrafină, mărirea procentului de ciment de la 20% (seria 3 L10 C20 M10) la 30% (seria 4 L10 C30 M10) a determinat o creștere a R_{ti} cu $0,93 \text{ N/mm}^2$ (36,0%) și a R_c cu $3,65 \text{ N/mm}^2$ (41,4%).

*
* *

Se observă că rezistențele cresc odată cu sporirea cantității de ciment.

Prin utilizarea silicei ultrafine și sporirea cantității de ciment s-au înregistrat creșteri atât pentru R_{ti} , cât și pentru R_c .

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile* permit următoarele constatări:

- La această vârstă toate seriile au înregistrat valori mai mari ale rezistențelor mecanice în comparație cu cele obținute la vârsta de 7 zile.

- La seria 1 L10 C10 (martor) s-a obținut o rezistență la întindere din încovoiere R_{ti} de $3,57 \text{ N/mm}^2$ și o rezistență la compresiune R_c de $20,81 \text{ N/mm}^2$, valori comparabile cu cele ale unui beton greu de clasă C 8/10.

- Pentru un procent constant de 10% var și 10% ciment (seria 1 L10 C10), introducerea a 10% silice ultrafină (seria 2 L10 C10 M10) a produs o creștere a R_{ti} cu $0,12 \text{ N/mm}^2$ (3%) și a R_c cu $4,37 \text{ N/mm}^2$ (26,9%).

- Păstrând constant un procent de 10% var și 10% silice ultrafină, sporirea cantității de ciment de la 10% (seria 2 L10 C10 M10), la 20% (seria 3 L10 C20 M10) a generat o creștere a R_{ti} cu $0,28 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 6,7% și a R_c cu $4,32 \text{ N/mm}^2$, adică 21,0%.

- La o cantitate constantă de var și silice ultrafină, mărirea procentului de ciment de la 20% (seria 3 L10 C20 M10) la 30% (seria 4 L10 C30 M10) a provocat o creștere a R_{ti} cu $0,98 \text{ N/mm}^2$ (22,1%) și a R_c cu $1,56 \text{ N/mm}^2$ (6,3%).

*
* *

Se poate deduce că un procent de 20% ciment îmbunătățește rezistența la compresiune, iar 30 % ciment îmbunătățește atât rezistența la întindere cât și rezistența la compresiune.

Se observă că pentru procente constante de lianți clasici, introducerea a 10% silice ultrafină (corelată cu minim 20% ciment) aduce îmbunătățiri notabile pentru rezistența la compresiune. Prin introducerea de silice ultrafină, amestecurile au obținut valori ale rezistențelor mecanice asemănătoare cu ale unui beton de casă C 15/20.

b) Densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G2

- Densitatea aparentă la 7 zile este cuprinsă între 1944 kg/m^3 și 2029 kg/m^3 , iar la 28 zile între 1931 kg/m^3 și 1992 kg/m^3 (figura 4.18), încadrând materialele în categoria mortarelor grele sau a betoanelor ușoare compacte.

- Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:

- La seria 5 L10 C10 (martor) a obținut o rezistență la întindere din încovoiere R_{ti} de $2,23 \text{ N/mm}^2$ și o rezistență la compresiune R_c de $9,74 \text{ N/mm}^2$.

- La utilizarea unui procent de 10% var și 10% ciment (seria 5 L10 C10), adăugarea a 10% silice ultrafină (seria 6 L10 C10 M10) a produs o creștere a R_{ti} cu $0,42 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 18,8% și a R_c cu $0,66 \text{ N/mm}^2$, adică 6,8%.

- Păstrând constant un procent de 10% var și 10% silice ultrafină, sporirea cantității de ciment de la 10% (seria 6 L10 C10 M10) la 20% (seria 7 L10 C20 M10) a generat o creștere a R_{ti} cu $0,51 \text{ N/mm}^2$ (19,2%) și a R_c cu $1,74 \text{ N/mm}^2$ (16,7%).

- La o cantitate constantă de var și silice ultrafină, mărirea procentului de ciment de la 20% (seria 7 L10 C20 M10) la 30% (seria 8 L10 C30 M10) a determinat o creștere a R_{ti} cu $0,46 \text{ N/mm}^2$ (20,3%) și a R_c cu $4,39 \text{ N/mm}^2$ (36,2%).

*
* *

Se constată că sporirea procentului de ciment până la 30% din totalul lianților amestecați a generat cele mai mari creșteri ale rezistențelor mecanice.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:*

- Rezistențelor mecanice au înregistrat valori crescătoare pentru toate amestecurile, în comparație cu vârsta de 7 zile.

- Seria 5 L10 C10 (martor) a obținut o rezistență la întindere din încovoiere R_{ti} de $3,57 \text{ N/mm}^2$ și o rezistență la compresiune R_c de $20,81 \text{ N/mm}^2$, valori comparabile cu cele ale unui beton greu de clasă C 12/15.

- La utilizarea unui procent de 10% var și 10% ciment (seria 5 L10 C10), adăugarea a 10% silice ultrafină (seria 6 L10 C10 M10) a produs o creștere a R_{ti} cu $0,33 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 8,8% și a R_c cu $0,5 \text{ N/mm}^2$ adică 2,4%.

- Păstrând constant un procent de 10% var și 10% silice ultrafină, sporirea cantității de ciment de la 10% (seria 6 L10 C10 M10) la 20% (seria 7 L10 C20 M10) a generat o creștere a R_{ti} cu $0,72 \text{ N/mm}^2$ (17,6%) și a R_c cu $5,22 \text{ N/mm}^2$ (24,5%).

- La o cantitate constantă de var și silice ultrafină, mărirea procentului de ciment de la 20% (seria 7 L10 C20 M10) la 30% (seria 8 L10 C30 M10) a generat o creștere a R_{ti} cu $0,59 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 12,3% și a R_c cu $5,03 \text{ N/mm}^2$, adică 19,0%.

*
* *

Pentru un procent constant de 10% var și 10% ciment , introducerea a 10% silice ultrafină a dus la creșteri mici ale rezistențelor mecanice.

Sporirea procentului de ciment a generat creșterea rezistențelor mecanice.

Prin utilizarea de nisip sort 3-7 mm la prepararea amestecurilor din grupul G2, în comparație cu cele din grupul G1, preparate cu nisip 0-3 mm (tabelul 4.13), s-au înregistrat creșteri numai pentru R_c .

S-au obținut valori mari atât pentru R_{it} , cuprinse între $3,7 \div 5,4 \text{ N/mm}^2$, cât și pentru R_c , cuprinse între $16,25 \div 31,56 \text{ N/mm}^2$, asemănătoare cu ale unui beton de casă C 20/25.

c) **Coefficientul de eficiență tehnică**, prezentat în graficul din figura 4.23, arată că la 28 zile materialele cercetate au o eficiență tehnică comparabilă cu cea a unui mortar M 100 sau cu a unui beton greu de clasă C 16/20 – C 20/25.

4.5.4. Constrația

S-au studiat toate amestecurile pe o perioadă de 33 zile.

Probele au avut formă prismatică, cu dimensiunile de 40×40×160 mm.

Măsurarea constrației s-a făcut cu aparatura și în condițiile prezentate în paragraful 4.3.4.

S-au înregistrat și valorile temperaturilor și ale umidităților relative ale mediului de păstrare. Variația temperaturii, a umidității relative și a constrației, pe o perioadă de 33 zile, este reprezentată în fig. 4.24.

Valorile constrației la vârsta de 28 zile sunt prezentate în tabelele 4.14a și 4.14b.

Tabelul 4.14 a

Constrația materialelor din grupul G1 la vârsta de 28 zile

| Caracteristica | Materialele din grupul G1 | | | | Mortare | Beton greu |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|------------|
| | Seria 1 L10 C10 | Seria 2 L10 C10 M10 | Seria 3 L10 C20 M10 | Seria 4 L10 C30 M10 | | |
| Constrația ϵ_c , [mm/m] | 1,29 | 1,61 | 1,66 | 1,79 | ≤ 2 | 0,3...0,8 |

Tabelul 4.14 b

Constrația materialelor din grupul G2 la vârsta de 28 zile

| Caracteristica | Materialele din grupul G2 | | | | Mortare | Beton greu |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|------------|
| | Seria 5 L10 C10 | Seria 6 L10 C10 M10 | Seria 7 L10 C20 M10 | Seria 8 L10 C30 M10 | | |
| Constrația ϵ_c , [mm/m] | 1,02 | 1,45 | 1,51 | 1,53 | ≤ 2 | 0,3...0,8 |

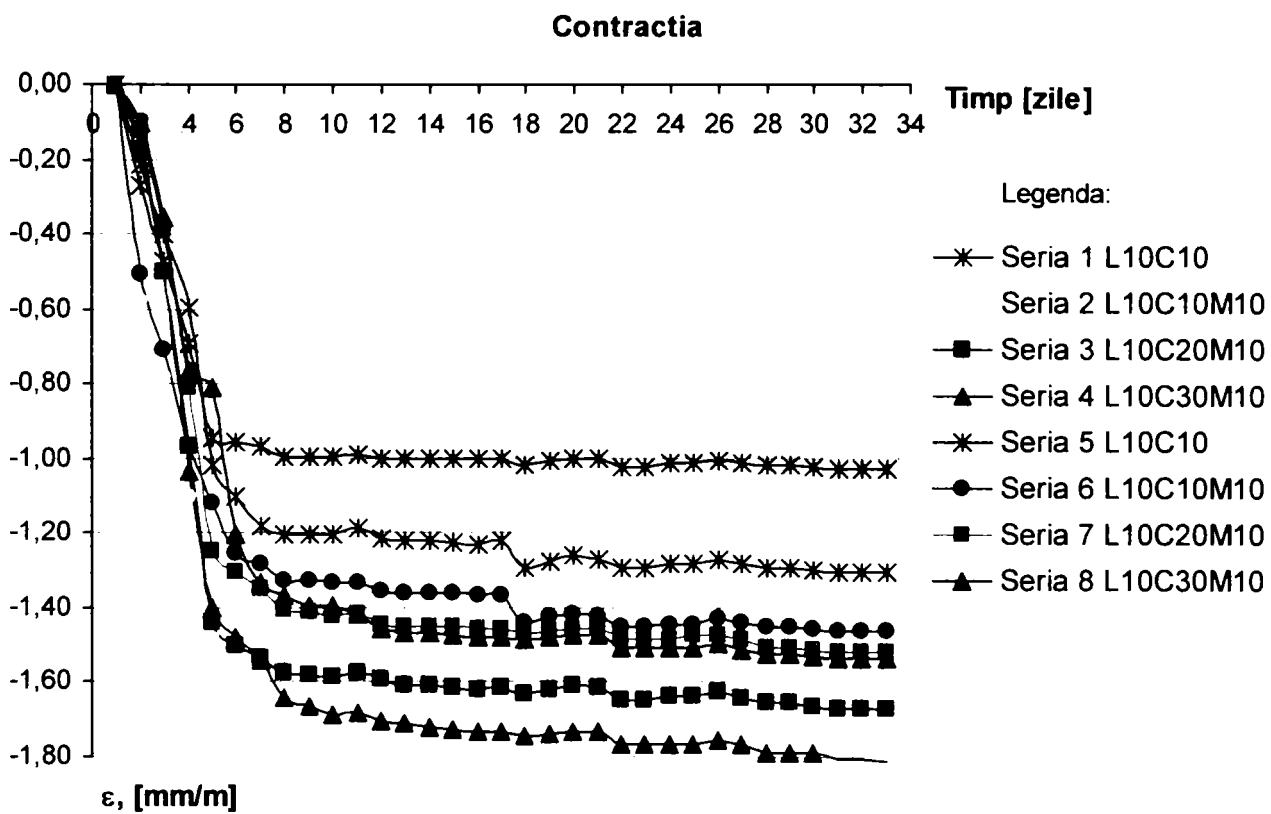
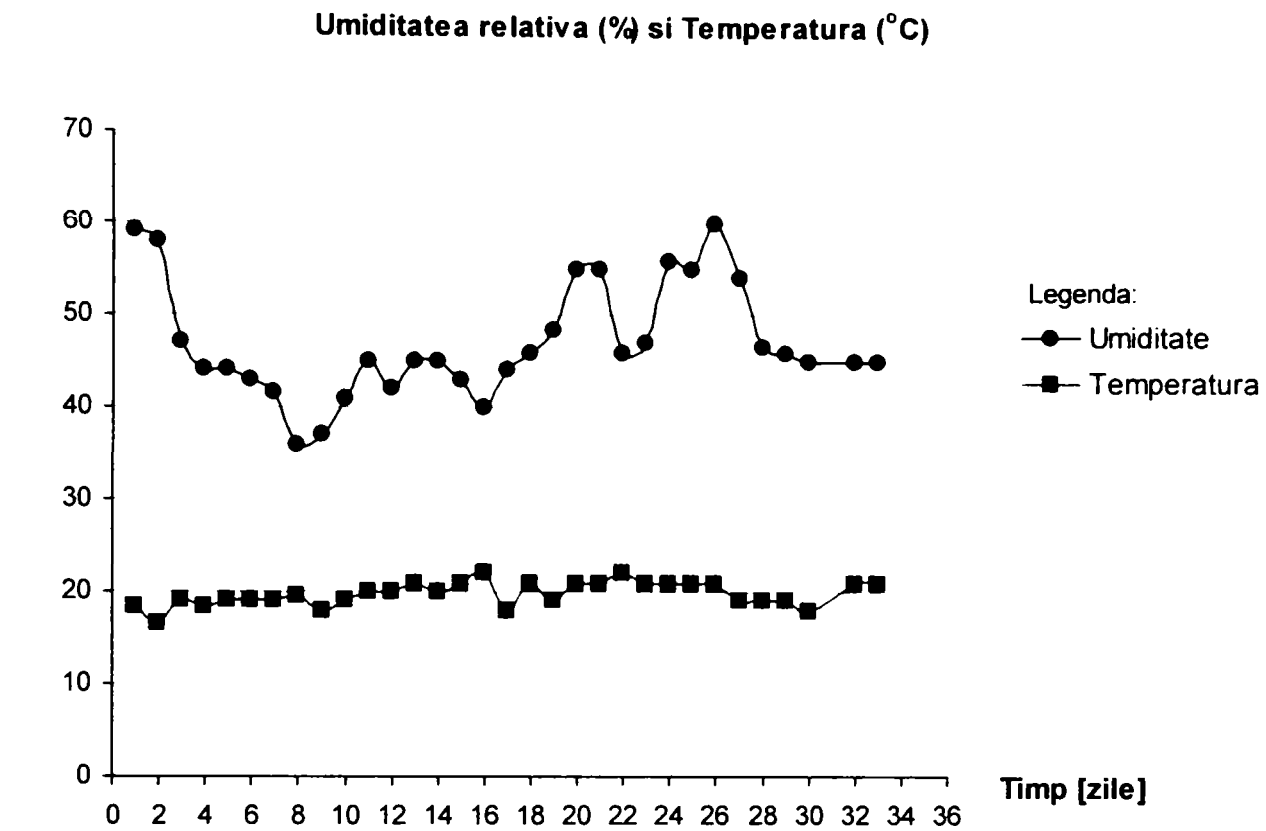


Figura 4.24

Din figura 4.24 și tabelele 4.14a și 4.14b se desprind următoarele concluzii:

- toate amestecurile au prezentat la vârsta de 28 zile, contracții care depășesc 1 mm/m;
- amestecurile cu silice ultrafină au contracții cuprinse între -1,40 mm/m și -1,60 mm/m pentru materialele din grupul G1 și între -1,60 mm/m până la -1,80 mm/m pentru materialele din grupul G2, mai mari decât cele fără silice ultrafină;
- seria 5 (fără silice ultrafină) are o contracție accentuată până în jurul vârstei de 6 zile, iar celelalte amestecuri până în jurul vârstei de 8 zile, în continuare ele stabilizându-se, fiind influențate numai de variația temperaturii și a umidității relative a mediului de păstrare;
- valorile finale ale contracției depășesc pe cele ale betonului greu sau a BCA și se încadrează în limitele impuse pentru mortare.

4.5.5. Concluzii generale

Sinteza caracteristicilor materialelor cercetate realizate pe bază de cenușă zburătoare ultrafină și silice ultrafină se prezintă în tabelul 4.15.

Tabelul 4.15

Performanțele tehnice ale materialelor studiate comparativ cu materialele de construcții clasice

| Caracteristica | Materiale clasice: | | Materiale noi (studiate) |
|--|--------------------|--------------|--------------------------|
| | Beton obișnuit | Mortar M 100 | |
| Densitatea [kg/m ³] | 2300...2400 | 1860 | 1888...1992 |
| Rezistența la întindere [N/mm ²] | 2...4 | 2...4 | 4,0...5,4 |
| Rezistența la compresiune [N/mm ²] | 25...60 | ≥10 | 16,2...31,6 |
| Contractia [mm/m] | 0,3...0,8 | <2 | 1,02...1,79 |
| Absorbția de apă [%] | 1...6 | - | 16,5...20,4 |

Caracteristicile fizico-mecanice sunt asemănătoare mortarelor și betoanelor ușoare compacte.

Din punct de vedere economic, se pot obține economii financiare de minim 25% în comparație cu materialele de construcții clasice, după cum s-a prezentat în studiul financiar informativ din paragraful 4.3.6.

4.6. Materiale realizate cu cenușă zburătoare ultrafină și fosfogips

4.6.1. Stabilirea compozițiilor

Pentru efectuarea determinărilor de laborator s-au conceput și realizat amestecuri pentru producerea de materiale de construcții, având următoarea rețetă:

- apă = 20%;
- material uscat = 80%.

Pentru materialul uscat, s-a propus următoarea combinație procentuală:

- nisip sort 0-3 mm = 40%
- lianți amestecați = 60%.

Stabilirea compoziției lianților amestecați s-a făcut după modelul prezentat în paragraful 2.6:

$$\% \Sigma \text{Lianți amestecați} = \% \Sigma (\text{Lianți clasici} + \text{CT} + \text{G}) = 100\% \quad (4.6)$$

unde: Lianți clasici = var (L) + ciment (C);

CT = cenușă zburătoare ultrafină;

G = fosfogips.

S-au propus procente de 10% și 20% pentru lianții minerali clasici, 10% pentru fosfogips, iar cantitățile de cenușă zburătoare ultrafină au rezultat din relația:

$$\% \text{CT} = 100\% - \% \Sigma (\text{Lianți clasici} + \text{G}) \quad (4.7)$$

În conformitate cu datele prezentate mai sus s-au realizat materiale ale căror compoziții se prezintă în tabelul 4.16.

Tabelul 4.16

Compoziții ale materialelor cu fosfogips

| Nr. crt. | COD | Apa [%] | Var [%] | Ciment [%] | Fosfogips [%] | Cenușă [%] | Nisip [%] |
|--|------------------------|---------|---------|------------|---------------|------------|-----------|
| 1. | Seria 1 G10 L10 C10 | 20 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 33,6 | 32 |
| 2. | Seria 2 G10 L20 C10 | 20 | 9,6 | 4,8 | 4,8 | 28,8 | 32 |
| 3. | Seria 3 G10 L10 C20 | 20 | 4,8 | 9,6 | 4,8 | 28,8 | 32 |
| Notă: superplastifiantul utilizat a fost de 0,5% din cantitatea de lianți amestecați | | | | | | | |

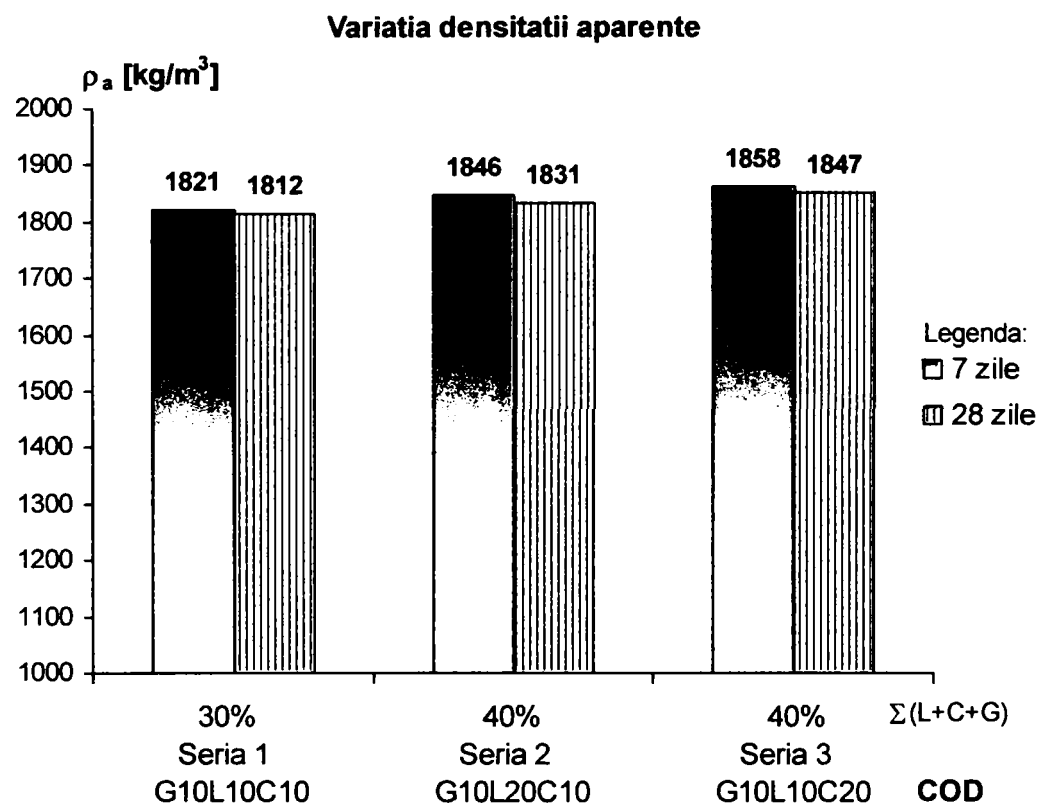
4.6.2. Caracteristici fizico-mecanice

În tabelul 4.17 și în figurile 4.24 ÷ 4.27 se prezintă densitatea aparentă, rezistența întindere din încovoiere, rezistența la compresiune, pentru vârsta de 7 și 28 zile și coeficientul de eficiență tehnică, pentru vârsta de 28.

Tabelul 4.17

Proprietăți fizico-mecanice ale amestecurilor cu fosfogips, la 7 și 28 zile

| Nr. crt. | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, [$\frac{kN \times m}{kg}$] |
|----------|------------------------|---|---------|---|---------|--|---------|--|
| | | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | |
| 1. | Seria 1 G10 L10 C10 | 1821 | 1812 | 1,16 | 4,80 | 4,64 | 26,60 | 14,67 |
| 2. | Seria 2 G10 L20 C10 | 1846 | 1831 | 1,18 | 7,03 | 4,65 | 28,02 | 15,30 |
| 3. | Seria 3 G10 L10 C20 | 1858 | 1847 | 1,39 | 6,91 | 5,61 | 32,39 | 17,53 |



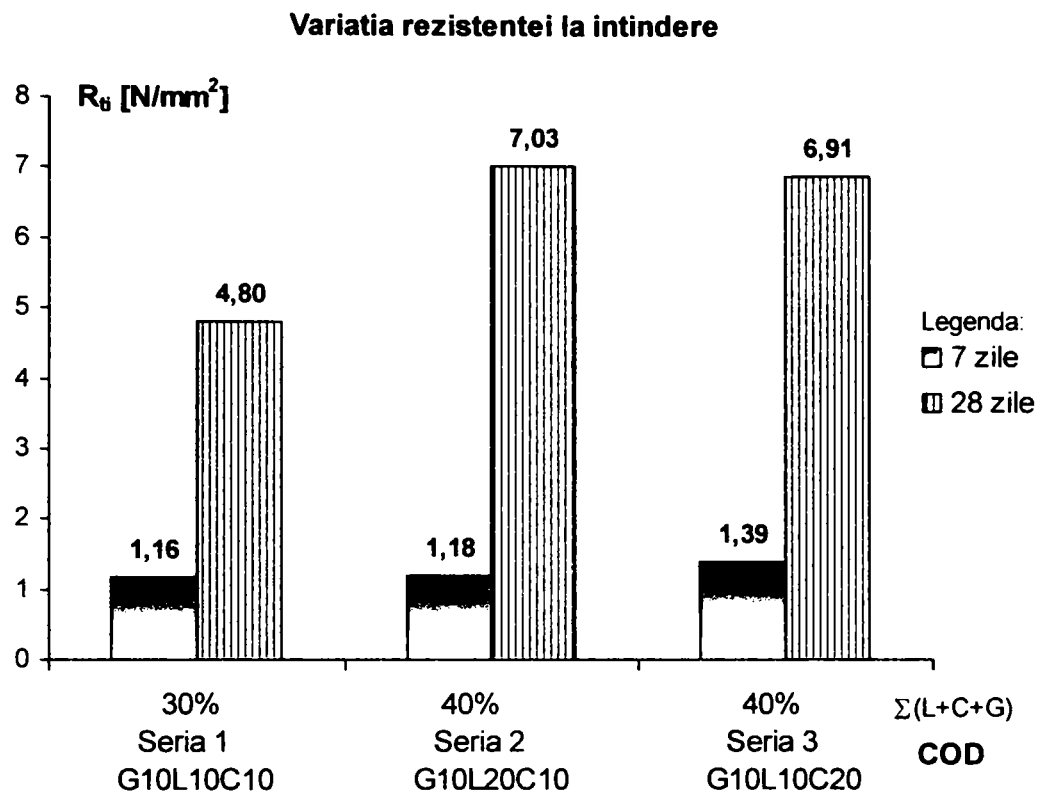


Figura 4.26

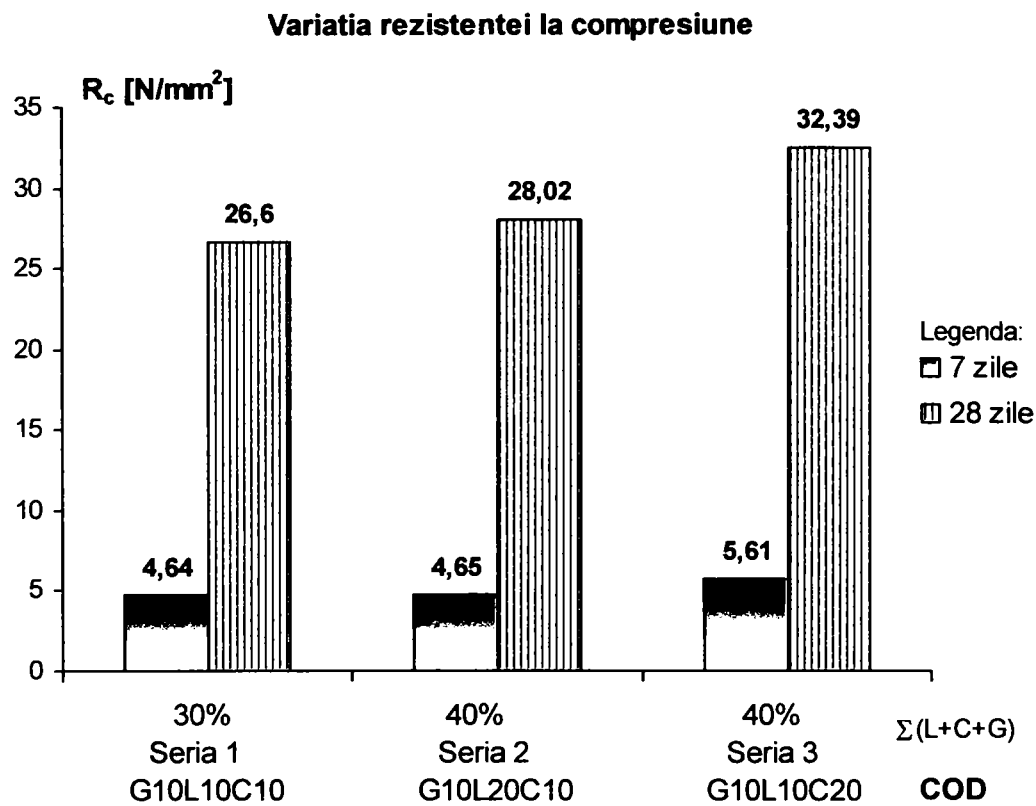


Figura 4.27

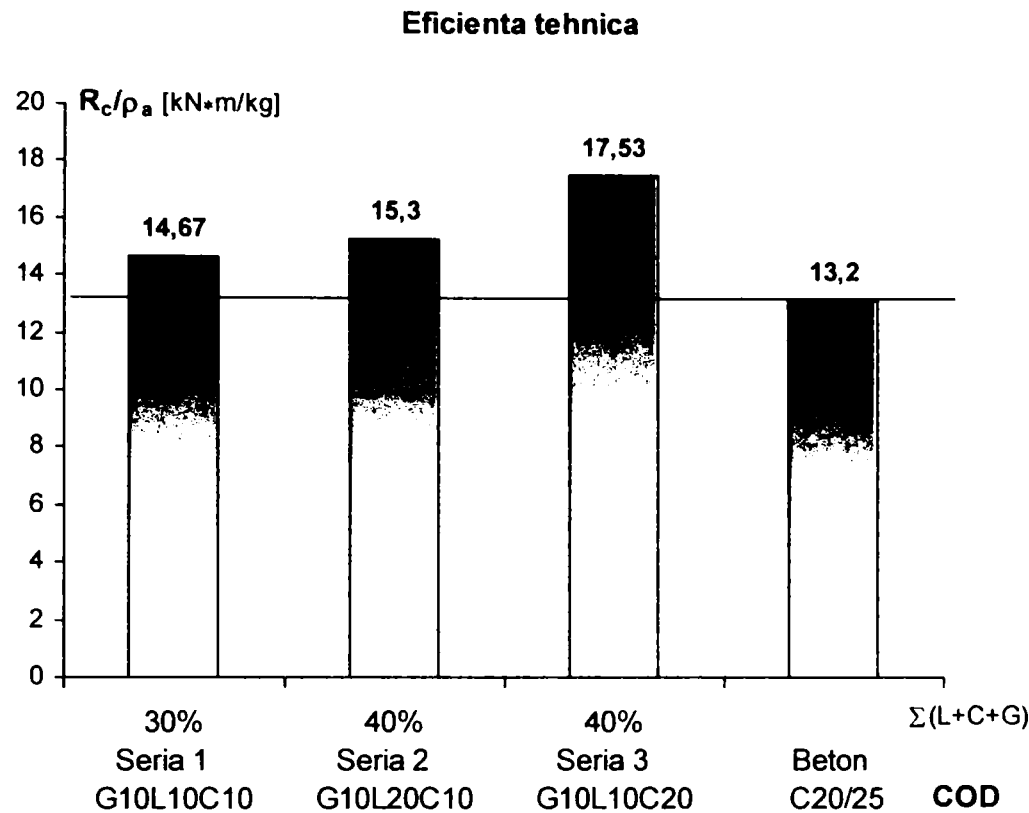


Figura 4.28

4.6.3. Concluzii referitoare la caracteristicile fizico-mecanice

Pe baza valorilor din tabelul 4.17, reprezentate grafic în figurile 4.24 ÷ 4.27 sau putut stabili concluziile de mai jos.

- *Densitatea aparentă la 7 zile se încadrează între 1821 kg/m³ și 1858 kg/m³, iar la 28 zile între 1812 kg/m³ și 1874 kg/m³ (figura 4.25) constatându-se diferențe mai mici de 1%. Materialele se pot încadra în categoria mortarelor grele sau a betoanelor ușoare compacte.*

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:*

- Rezistența la întindere din încovoiere R_{ti} a înregistrat valori cuprinse între 0,46 N/mm² și 1,39 N/mm² (figura 4.26) iar rezistența la compresiune R_c are valori cuprinse între 4,64 N/mm² și 5,61 N/mm² (figura 4.27).

- La un procent de 10% ciment (din suma lianților amestecați), creșterea procentului de var de la 10% (seria 1 G10 L10 C10) la 20% (seria 2 G10 L20 C10) nu a dus la modificări semnificative ale rezistențelor mecanice (R_{ti} , R_c).

- Sporirea procentului de ciment de la 10% (seria 1 G10 L10 C10) la 20% (seria 3 G10 L10 C20) a dus la o creștere cu $0,21 \text{ N/mm}^2$ (17,7%) a R_{ti} și cu $0,96 \text{ N/mm}^2$ (20,6%) a R_c .

*
* *

La această vârstă scăzută, influența sporirii procentului de var nu s-a făcut remarcată. S-au obținut valori mici ale rezistențelor mecanice.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:*

- Pentru această vârstă s-au înregistrat creșteri ale rezistențelor mecanice, în comparație cu vârsta de 7 zile, cu valori cuprinse între $4,81 \text{ N/mm}^2$ și $7,03 \text{ N/mm}^2$ pentru R_{ti} (314% - 496%) și cu valori cuprinse între $26,6 \text{ N/mm}^2$ și $32,39 \text{ N/mm}^2$ (109%-503%) pentru R_c .

- La un procent de 10% ciment (din suma lianților amestecați), creșterea procentului de var de la 10% (seria 1 G10 L10 C10) la 20% (seria 2 G10 L20 C10) a generat o creștere a R_{ti} cu $2,23 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 46,5% și a lui R_c cu $1,426 \text{ N/mm}^2$, adică 5,3%.

- Sporirea procentului de ciment de la 10% (seria 1 G10 L10 C10) la 20% (seria 3 G10 L10 C20) a dus la o creștere cu $2,11 \text{ N/mm}^2$ (44,0%) pentru R_{ti} și cu $5,79 \text{ N/mm}^2$ (21,8%) pentru R_c .

*
* *

Cantitatea de apă evaporată prin uscare, de la vârsta de 7 zile la vârsta de 28 zile, este mică.

Creșterea cantității de var a dus la creșterea semnificativă a R_{ti} .

Sporirea cantității de ciment a dus la creșterea semnificativă atât a R_{ti} cât și a R_c .

- *Coefficientul de eficiență tehnică prezentat în graficul din figura 4.28 arată că la 28 zile materialele cercetate au o eficiență tehnică comparabilă cu cea a unor betoane de clasă C 20/25.*

4.6.4. Concluzii generale

S-au obținut materiale care se pot încadra în categoria mortarelor ușoare sau a betoanelor ușoare compacte. Acestea au o rezistență la întindere din încovoiere de aproximativ 7 N/mm^2 și o rezistență la compresiune cuprinsă între $28,0 \text{ N/mm}^2$ și $32,39 \text{ N/mm}^2$, asemănătoare cu betoanele de clasă C 20/25.

Din punct de vedere economic, se pot obține economii financiare de minim 25% în comparație cu materialele de construcții clasice, după cum s-a prezentat în calculul economic din paragraful 4.3.6.

Capitolul 5

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE MATERIALE REALIZATE CU CENUȘĂ ZBURĂTOARE ULTRAFINĂ, CU ȘI FĂRĂ STICLĂ SOLUBILĂ

5.1. Introducere

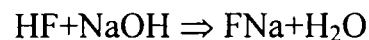
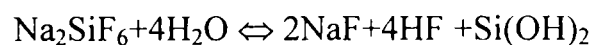
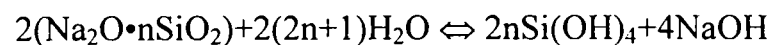
Scopul determinărilor experimentale întreprinse îl constituie realizarea de materiale de construcții pe bază de cenușă zburătoare ultrafină cu/fără sticlă solubilă cu rol de activator al acesteia.

5.2. Materiale realizate cu cenușă zburătoare ultrafină și sticlă solubilă

5.2.1. Generalități

Cercetările experimentale au urmărit realizarea unor amestecuri pe bază de cenușă zburătoare ultrafină activată cu sticlă solubilă.

Pentru accelerarea întăririi sticlei solubile, s-a utilizat hexafluorosilicat de sodiu (Na_2SiF_6) care acționează prin neutralizarea NaOH rezultat în urma amestecării sticlei solubile cu apa, conform relațiilor:



Un efect semnificativ îl are și prezența de $\text{Si}(\text{OH})_4$ insolubil, care conferă amestecului rezistențe sporite împotriva acizilor.

5.2.2. Materiale componente și proces tehnologic

Amestecurile testate au avut în compoziție: cenușă zburătoare ultrafină, var, ciment, sticlă solubilă+hexafluorosilicat de sodiu, aditivi, nisip și apă.

Cimentul utilizat a fost de tipul CEM II/A-S32,5R (cu adaos de zgură), varul a fost de tipul CL 90 iar cenușa zburătoare ultrafină s-a obținut de la COLTERM S.A. din Timișoara.

S-a folosit nisip spălat sortul 0-3 mm și apă potabilă.

Aditivul superplastifiant a fost FM 40 pe bază de polimeri, produs și comercializat de Sika.

Hexafluorosilicatul de sodiu utilizat pentru accelerarea întăririi sticlei solubile a reprezentat 15% din masa sticlei solubile.

În funcție de modul de realizare, s-au confecționat 2 tipuri de epruvete: de formă cilindrică, obținute prin presare, din grupurile G1 și G2 și de formă prismatică realizate prin compactare cu șocuri mecanice, din grupurile G3 și G4.

Pentru probele realizate cu presiune de formare s-au amestecat în prealabil, manual, în stare uscată: nisipul, cenușa zburătoare ultrafină, varul și cimentul. În vasul malaxorului s-au amestecat apa, sticla solubilă și activatorul până la dizolvarea hexafluorosilicatului de sodiu. În continuare s-a introdus în vas amestecul uscat și s-a continuat amestecarea mecanizat timp de 2 minute, la viteza mică a malaxorului.

Amestecul umed a fost apoi presat în tipare asemănător cu procedeul folosit la stabilizarea argilelor. La o presiune de compactare de 5 N/mm^2 , apa utilizată a fost de 15% din amestecul uscat (**seriile din grupul G1**), iar pentru o presiune de 20 N/mm^2 , apa a fost de 10% din amestecul uscat (**seriile din grupul G2**). Presiunea de compactare s-a propus a avea 2 valori pentru a putea cuprinde caracteristicile tehnice a mai multor echipamente de compactare. Probele au avut o formă cilindrică, cu $h \cong 7,5 \text{ cm}$ și $d = 5,05 \text{ cm}$.

Presiunea de formare s-a aplicat astfel: timp de 1 minut s-a crescut uniform până la valoarea finală (5 N/mm^2 sau 20 N/mm^2) și 2 minute s-a menținut constantă.

Probele s-au păstrat în cutia cu aer umed până la vârsta de încercare.

La realizarea probelor compactate prin șocuri mecanice, amestecul uscat s-a omogenizat cu apa timp de 2 minute, s-a introdus aditivul, după care s-a mai amestecat 2 minute, la viteza mică a malaxorului. S-a introdus jumătate din amestecul umed în tipar, s-au aplicat 20 de șocuri mecanice, apoi s-a adăugat și restul de material și s-au mai aplicat 20 de șocuri mecanice. Probele s-au decofrat după 24 ore de la turnare și s-au păstrat în cutia cu aer umed până la vârsta de încercare.

Epruvetele au avut formă prismatică cu dimensiunile $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$.

5.2.3. Stabilirea compozițiilor

La realizarea probelor formate prin presare, de formă cilindrică (grupurile G1 și G2) s-a propus următoarea compoziție procentuală:

- nisip = 40%;
- sticlă solubilă = 10%;
- activator (hexafluorosilicat de sodiu) = 1,5% (15% din masa sticlei solubile);
- lianți amestecați = 48,5%.

Cele 2 grupuri s-au diferențiat prin cantitatea de apă de amestecare și prin presiunea de formare.

Compoziția probelor realizate prin compactare cu șocuri mecanice, de formă prismatică (grupurile G3 și G4) a fost:

- apa = 20%;
- material uscat = 80%.

Pentru materialul uscat, s-au stabilit următoarele combinații procentuale:

- nisip = 40%;
- sticlă solubilă = 5% (materialele din grupul G3) și 10% (materialele din grupul G4);
- activator (Na_2SiF_6) = 0,75% (materialele din grupul G3) și 1,5% (materialele din grupul G4);
- lianți amestecați = 54,25% (materialele din grupul G3) și 48,5% (materialele din grupul G4).

La stabilirea compoziției lianților amestecați s-a utilizat relația:

$$\% \Sigma \text{Lianți amestecați} = \% \Sigma (\text{Lianți clasici} + \text{CT}) = 100\% \quad (5.1)$$

unde: - CT = cenușă zburătoare ultrafină;

- lianți clasici = var și ciment.

S-au propus diferite procente de lianți minerali clasici (var sau ciment) de 5%, 10% și 20%, iar procentele de cenușă, stabilite conform relației 5.1, au rezultat astfel:

$$\% \text{CT} = 100\% - \% \Sigma \text{Lianți clasici} \quad (5.2)$$

În concordanță cu cele de mai sus, s-au realizat materiale ale căror compoziții se prezintă în tabelele 5.1 și 5.2.

Tabelul 5.1

Compozițiile materialelor de formă cilindrică realizate prin presare

| Grup | P | COD | Apa [%] | Var [%] | Ciment [%] | Cenușă [%] | Nisip [%] | Sticlă solubilă [%] | Na ₂ SiF ₆ [%] |
|------|----|-----------------|---------|---------|------------|------------|-----------|---------------------|--------------------------------------|
| G1 | 5 | Seria 1 L10 C10 | 13 | 4,22 | 4,22 | 33,76 | 34,8 | 8,7 | 1,3 |
| | | Seria 2 L20 C5 | | 8,44 | 2,11 | 31,65 | | | |
| | | Seria 3 L20 C10 | | 8,44 | 4,22 | 29,54 | | | |
| G2 | 20 | Seria 4 L10 C10 | 9,09 | 4,4 | 4,4 | 35,29 | 36,36 | 9,09 | 1,37 |
| | | Seria 5 L20 C5 | | 8,8 | 2,2 | 33,09 | | | |
| | | Seria 6 L20 C10 | | 8,8 | 4,4 | 30,89 | | | |

Notă: P = presiunea de formare, în N/mm²

Tabelul 5.2

Compozițiile materialelor de formă prismatică realizate prin compactate cu șocuri mecanice

| Grup | COD | Apa [%] | Var [%] | Ciment [%] | Cenușă [%] | Nisip [%] | Sticlă solubilă [%] | Na ₂ SiF ₆ [%] | $\frac{A}{L}$ |
|------|------------------|---------|---------|------------|------------|-----------|---------------------|--------------------------------------|---------------|
| G3 | Seria 7 L10 C10 | 20 | 4,34 | 4,34 | 34,72 | 32 | 4 | 0,6 | 0,461 |
| | Seria 8 L20 C5 | | 8,68 | 2,17 | 32,55 | | | | |
| | Seria 9 L20 C10 | | 8,68 | 4,34 | 30,38 | | | | |
| G4 | Seria 10 L10 C10 | 20 | 3,88 | 3,88 | 31,04 | 32 | 8 | 1,2 | 0,515 |
| | Seria 11 L20 C5 | | 7,76 | 1,94 | 29,1 | | | | |
| | Seria 12 L20 C10 | | 7,76 | 3,88 | 27,16 | | | | |

Nota: s-a adăugat aditiv în proporție de 0,5% din masa lianților amestecați

$\frac{A}{L}$ = raportul apă /lianți amestecați

5.2.4. Caracteristici fizico-mecanice

Densitatea aparentă, rezistența la întindere din încovoiere, rezistența la compresiune și coeficientul de eficiență tehnică, se prezintă: în tabelul 5.3 și în graficele din figurile 5.1÷5.4

pentru amestecurile din grupurile G1 și G2, la vârsta de 7 și 28 zile; în tabelul 5.4 și în graficele din figurile 5.5÷5.10, pentru amestecurile din grupurile G3 și G4 la vârsta de 14 și 28 zile.

Coeficientul de eficiență tehnică s-a stabilit pentru rezultatele obținute la vârsta de 28 zile și este reprezentat grafic în figura 5.11.

Tabelul 5.3

Proprietăți fizico-mecanice ale amestecurilor întărite realizate cu presiune de formare, la 7 și 28 zile

| Grup | P [N/mm ²] | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, [$\frac{kN \times m}{kg}$] |
|------|---------------------------|-----------------|--|---------|---|---------|--|
| | | | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | |
| G 1 | 5 | Seria 1 L10 C10 | 1784 | 1695 | 1,14 | 1,33 | 0,78 |
| | | Seria 2 L20 C5 | 1743 | 1659 | 1,68 | 2,66 | 1,60 |
| | | Seria 3 L20 C10 | 1745 | 1661 | 1,32 | 3,15 | 1,90 |
| G 2 | 20 | Seria 4 L10 C10 | 1767 | 1720 | 2,48 | 2,74 | 1,59 |
| | | Seria 5 L20 C5 | - | 1756 | - | 8,16 | 4,65 |
| | | Seria 6 L20 C10 | 1778 | 1738 | 8,68 | 14,81 | 8,52 |

Notă: P = presiunea de formare

Tabelul 5.4

Proprietăți fizico-mecanice ale amestecurilor întărite compactate prin șocuri mecanice, la 14 și 28 zile

| Grup | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, [$\frac{kN \times m}{kg}$] |
|------|------------------|--|---------|--|---------|---|---------|--|
| | | 14 zile | 28 zile | 14 zile | 28 zile | 14 zile | 28 zile | |
| G 3 | Seria 7 L10 C10 | 1764 | 1664 | 1,42 | 1,52 | 6,71 | 11,37 | 6,83 |
| | Seria 8 L20 C5 | 1746 | 1649 | 2,09 | 2,13 | 10,76 | 12,26 | 7,43 |
| | Seria 9 L20 C10 | 1777 | 1737 | 2,88 | 2,93 | 13,78 | 16,52 | 9,51 |
| G 4 | Seria 10 L10 C10 | 1807 | 1754 | 0,07 | 0,33 | 0,66 | 1,06 | 0,60 |
| | Seria 11 L20 C5 | 1766 | 1715 | 0,42 | 0,87 | 4,19 | 5,52 | 3,21 |
| | Seria 12 L20 C10 | 1774 | 1734 | 1,58 | 2,02 | 10,64 | 11,11 | 6,40 |

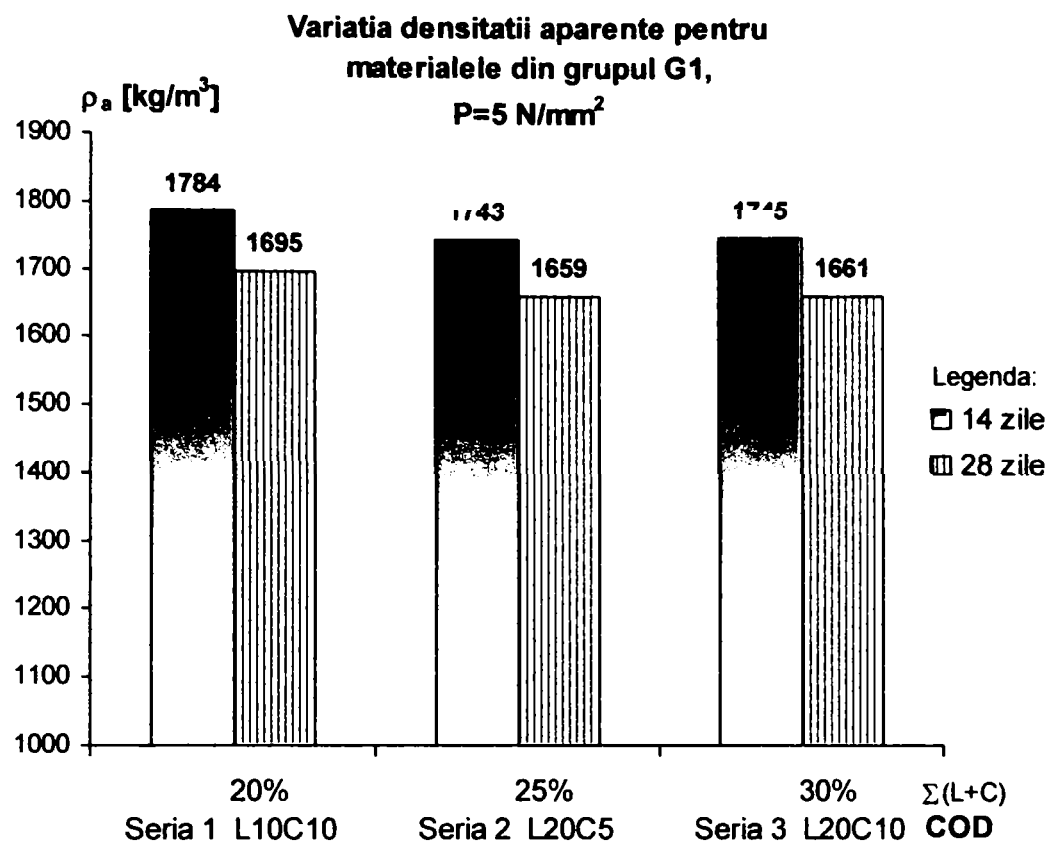


Figura 5.1.

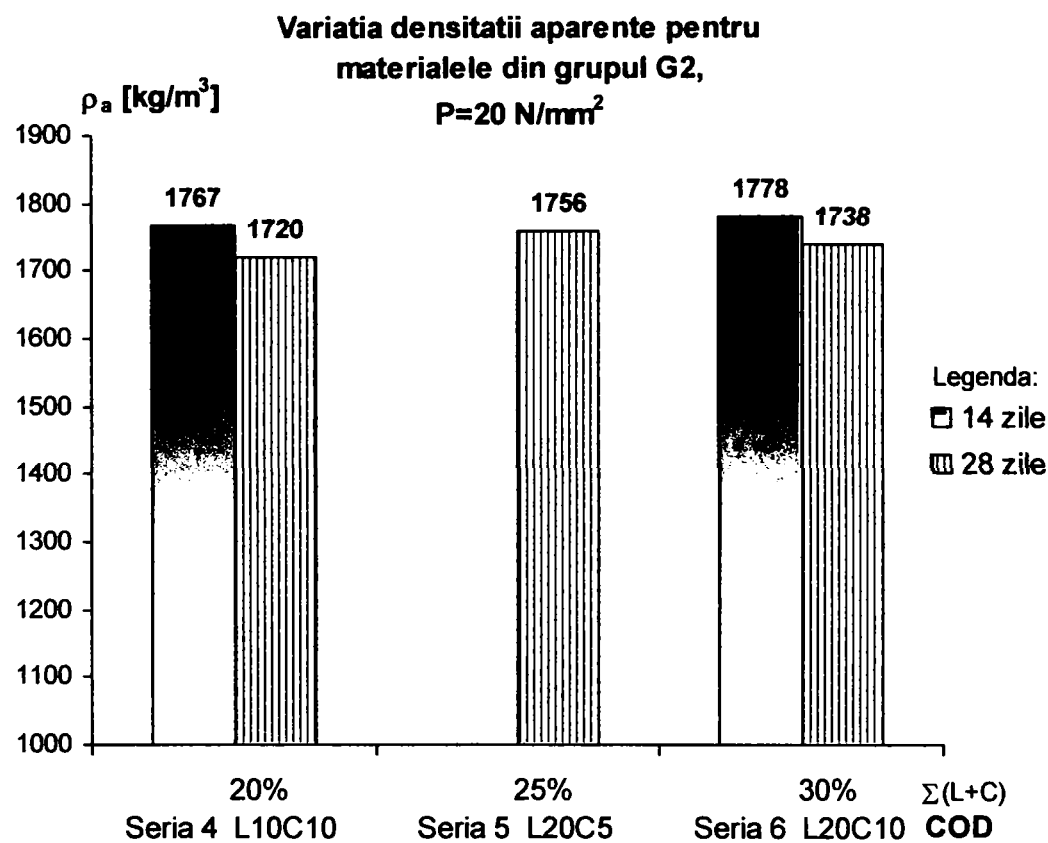


Figura 5.2.

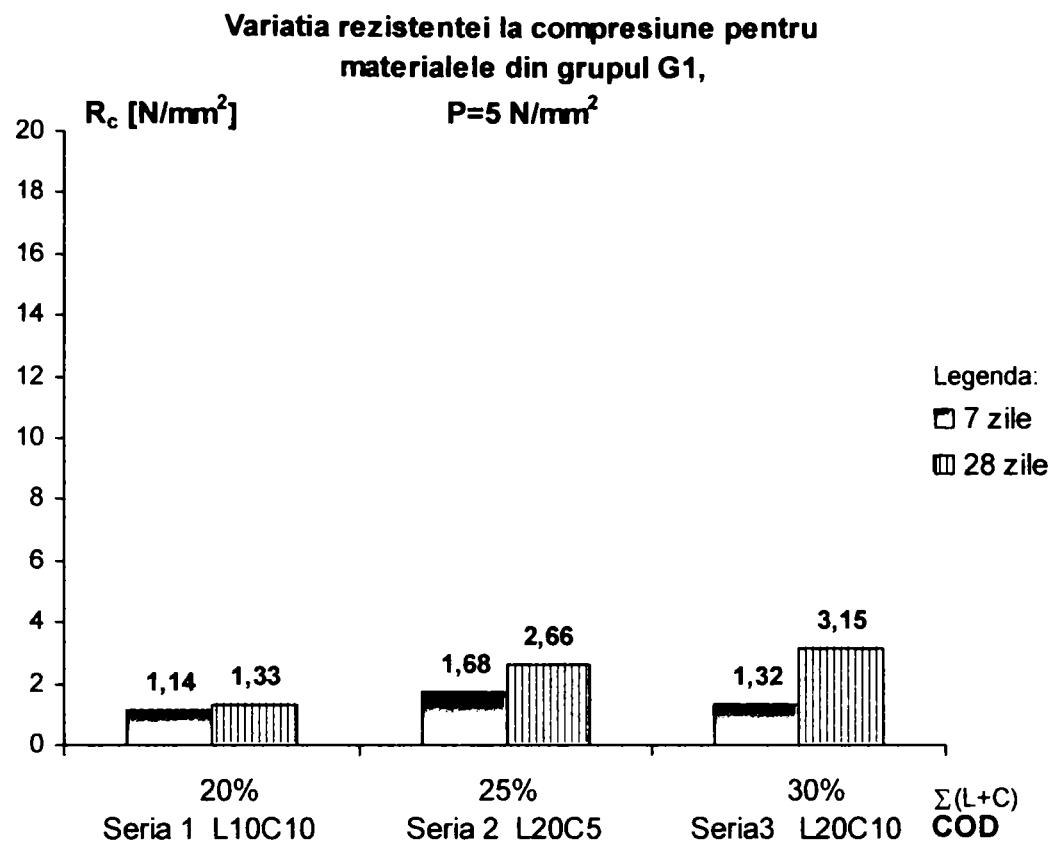


Figura 5.3.

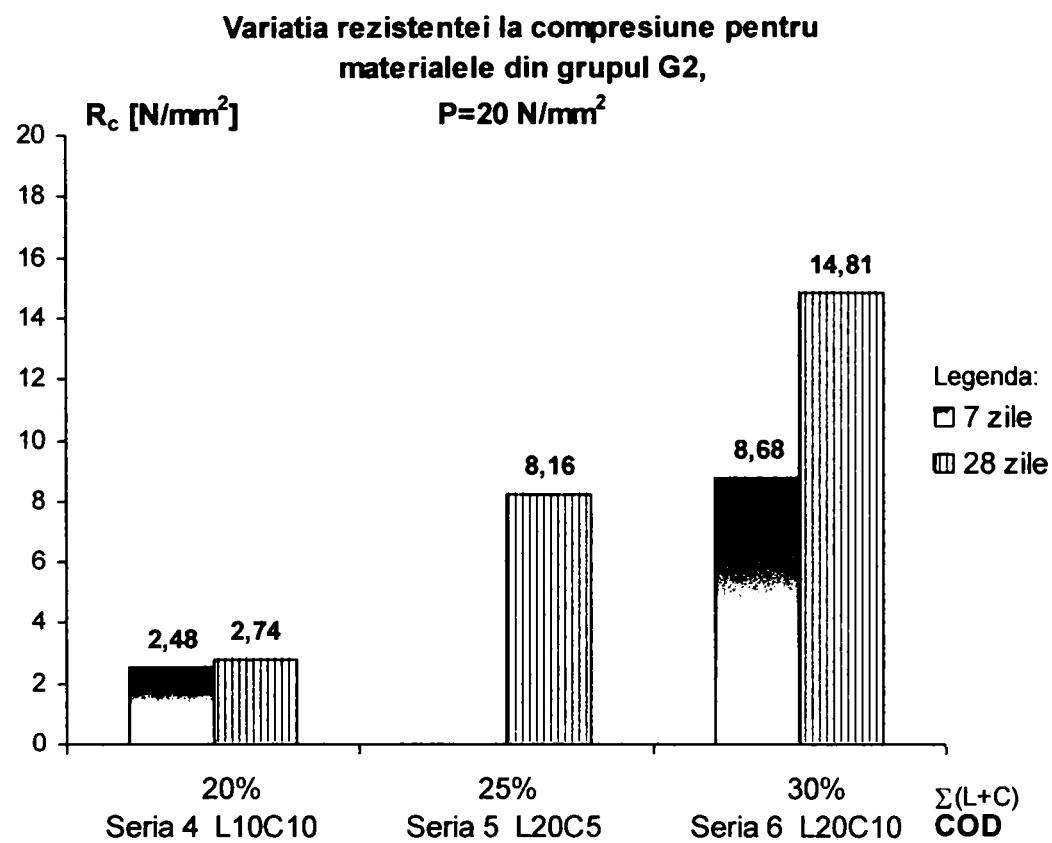


Figura 5.4.

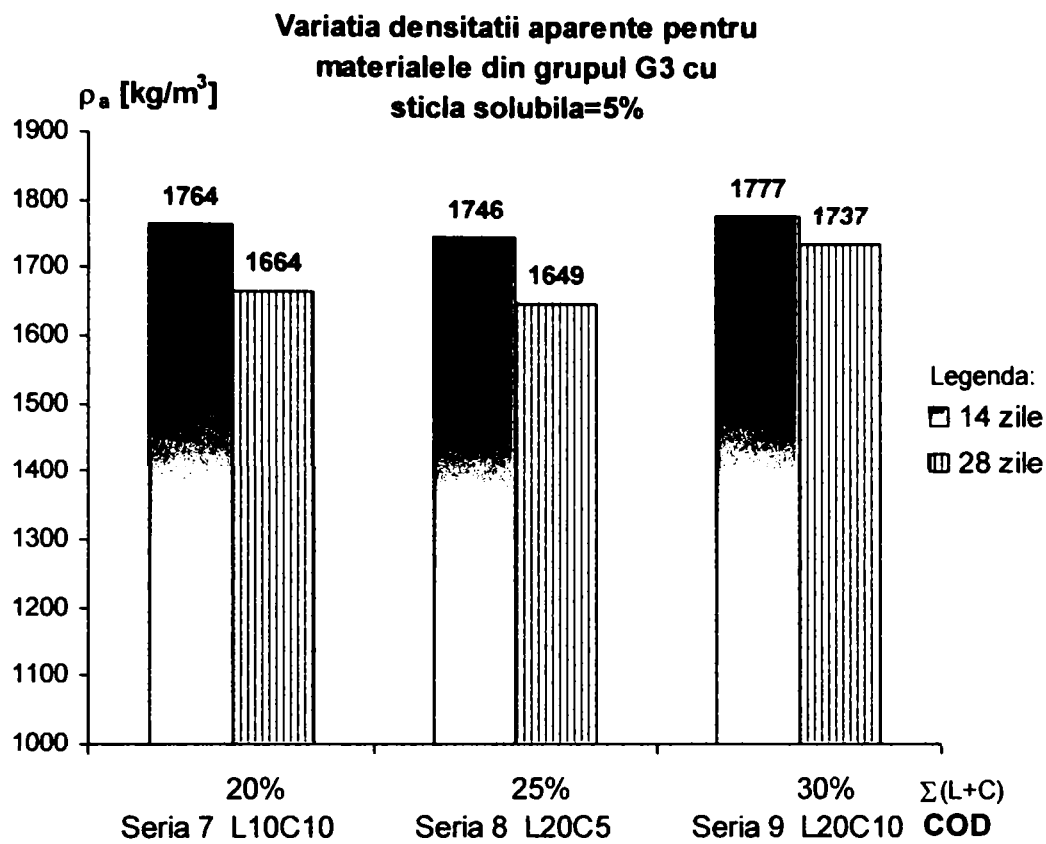


Figura 5.5.

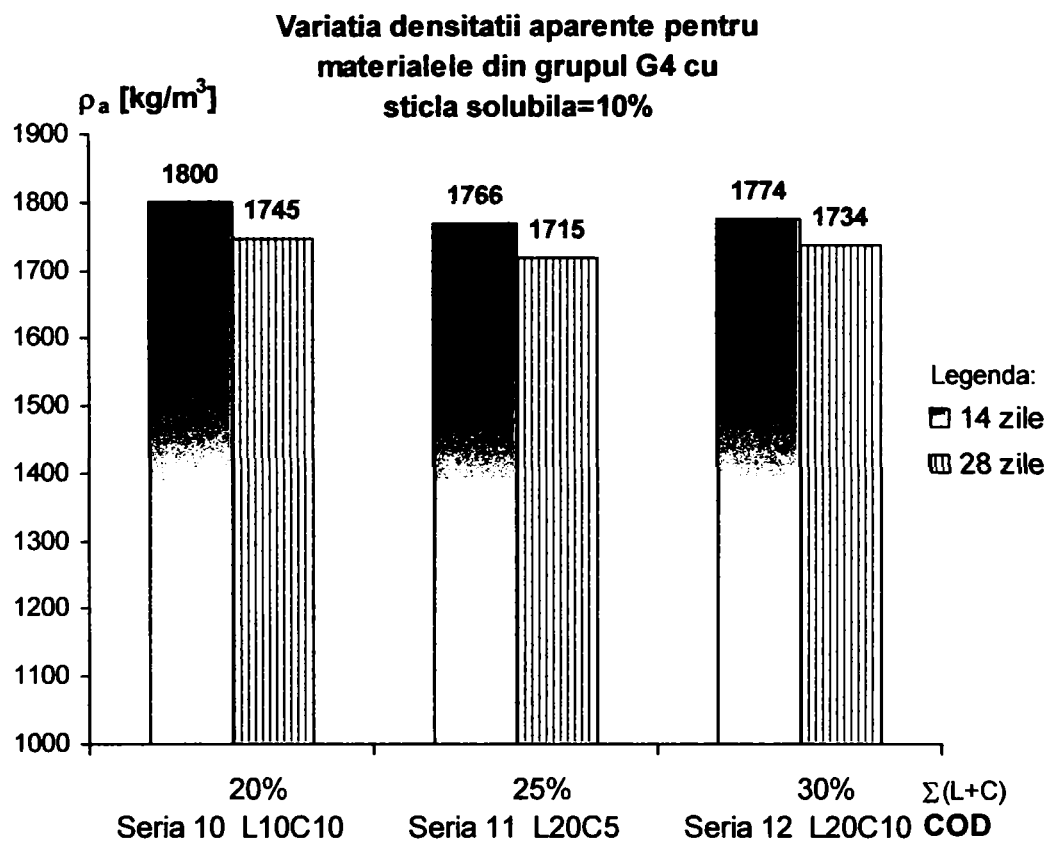


Figura 5.6.

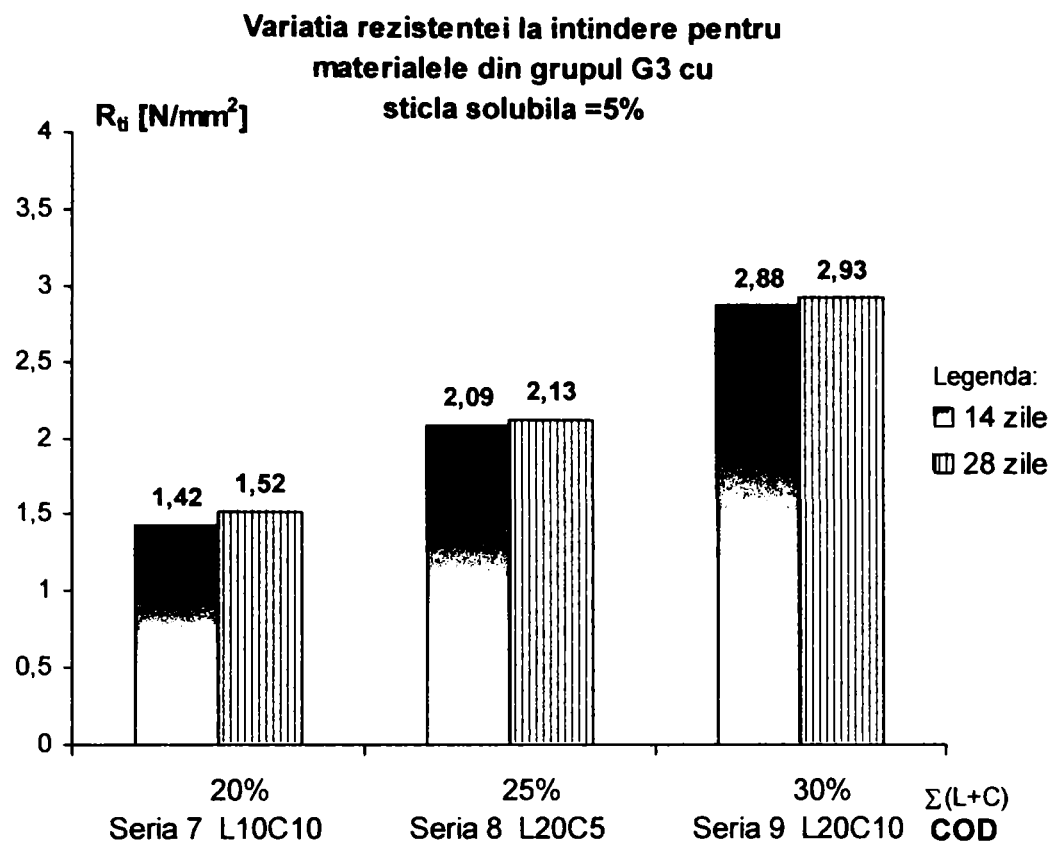


Figura 5.7.

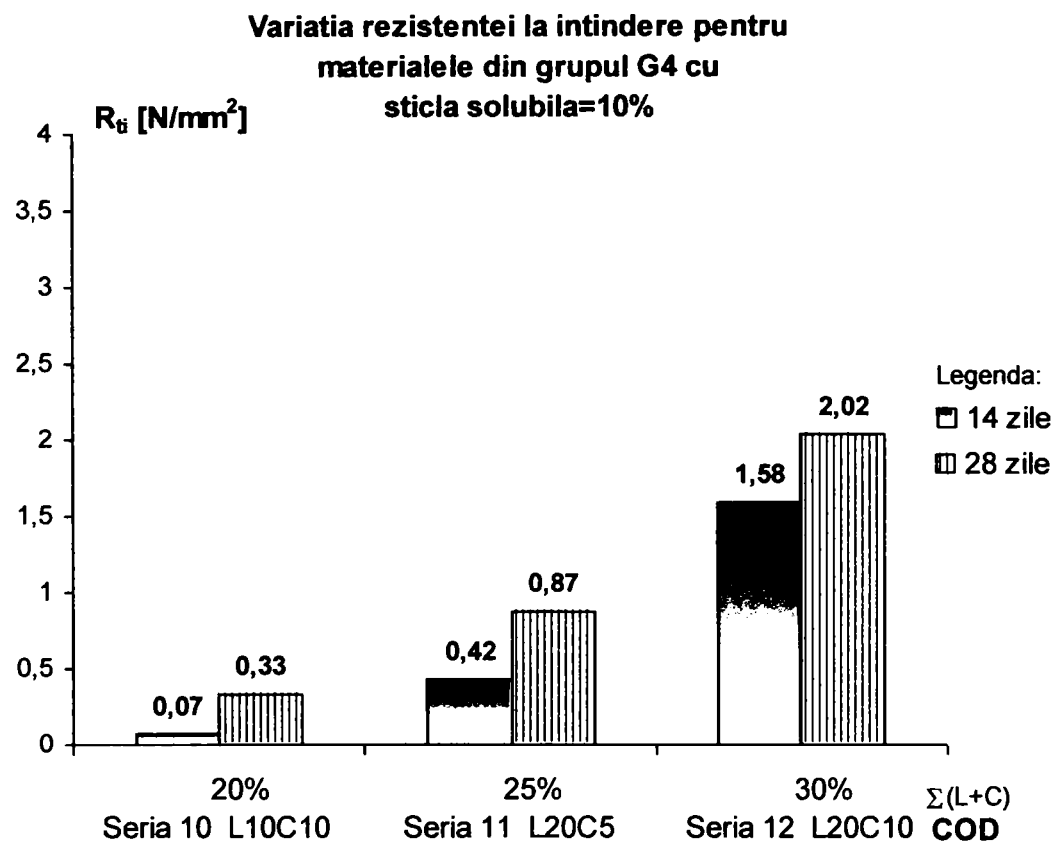


Figura 5.8.

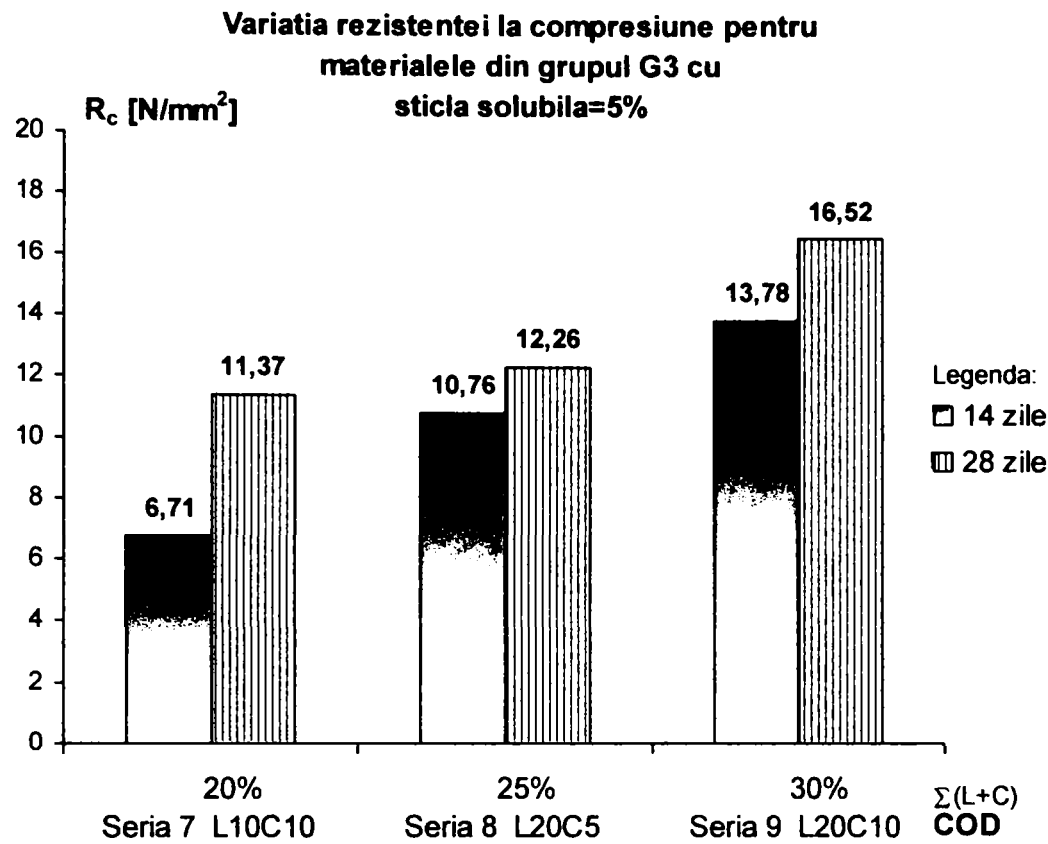


Figura 5.9.

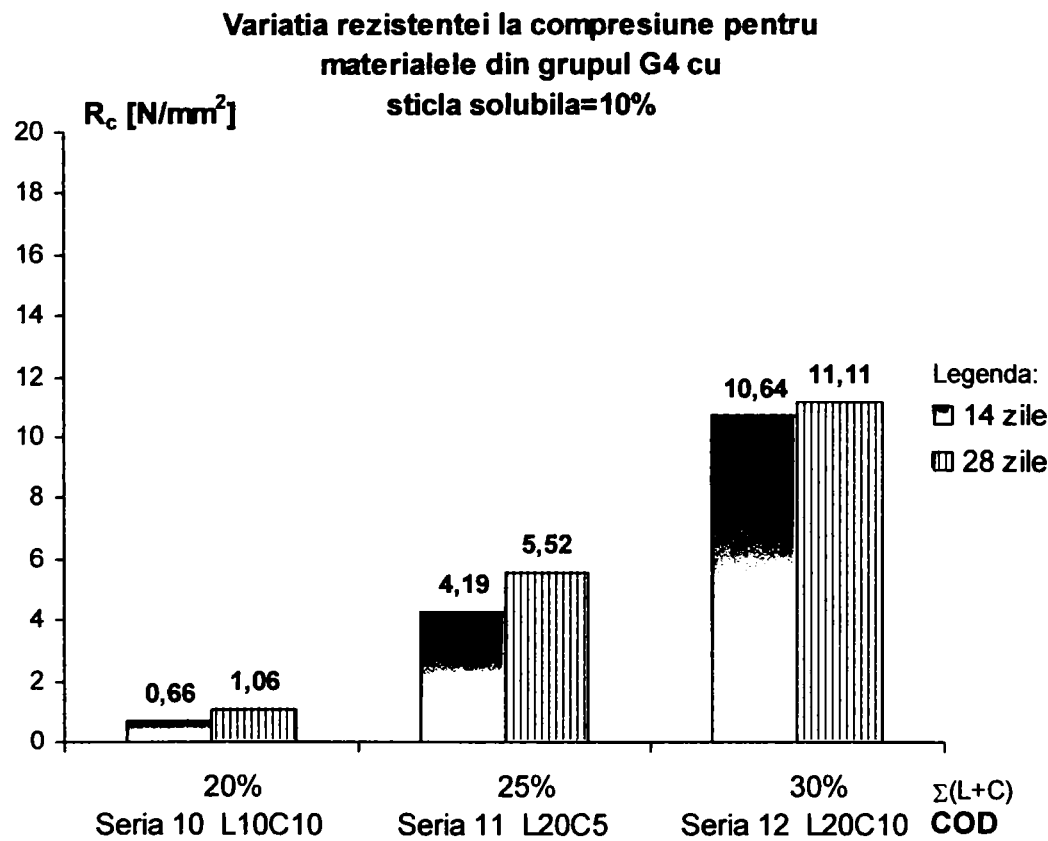


Figura 5.10.

Eficiența tehnică pentru materialele pe baza de cenusa zburătoare ultrafina și sticlă solubilă

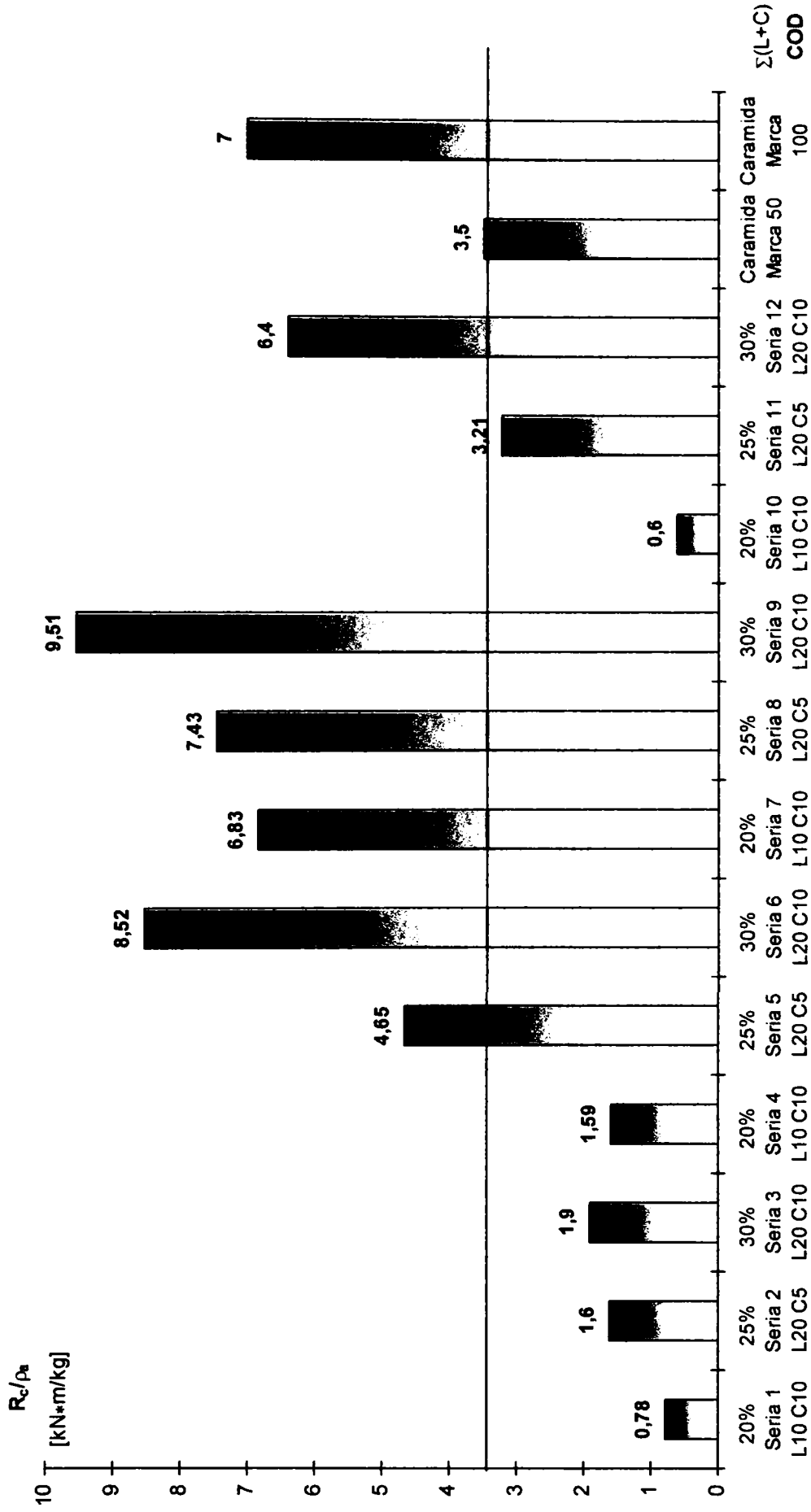


Figura 5.11

Materialele realizate cu o presiune de formare de 20 N/mm^2 au necesitat o atenție sporită la scoaterea din tipare. Unele epruvete din seria 5 L20 C5 s-au rupt, numărul de probe rămase permițând doar încercarea la vârsta de 28 zile.

Pentru seriile din grupurile G3 și G4 s-a decalat termenul de încercare de la 7 zile la 14 zile, deoarece, la vârsta de 7 zile acestea erau fragile.

În urma studierii datelor prezentate în tabelele 5.3 și 5.4, redate grafic în figurile 5.1÷5.11, se pot extrage concluziile prezentate în cele ce urmează.

a) Densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G1

- *Densitatea aparentă la 7 zile* are valori cuprinse între 1743 kg/m^3 și 1784 kg/m^3 , iar la 28 zile între 1659 kg/m^3 și 1695 kg/m^3 (figura 5.1), încadrându-se în clasa C3 dacă se asimilează cu cărămizile ceramice.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile* arată următoarele:

- S-au obținut valori modeste ale rezistenței la compresiune R_c , cuprinse între $1,14 \text{ N/mm}^2$ și $1,32 \text{ N/mm}^2$ (figura 5.3). Creșterea cea mai mare s-a înregistrat atunci când s-a sporit cantitatea de var și s-a redus cantitatea de ciment (seria 2 L20 C5 în comparație cu seria 1 L10 C10).

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile* permit următoarele constatări:

- Valori ale lui R_c mai mari de $2,5 \text{ N/mm}^2$ (specific materialelor pentru zidărie neportantă) dar mai mici de $5,0 \text{ N/mm}^2$ (specific materialelor pentru zidărie portantă), s-au înregistrat pentru seria 2 L20 C5 și seria 3 L20 C10 (figura 5.3) care au un procent de 20% var din totalul lianților amestecați (var+ciment+cenușă).

- La o cantitate de 10% ciment, sporirea procentului de var de la 10% (seria 1 L10 C10), la 20% (seria 3 L20 C10) a dus la o creștere a lui R_c cu $1,82 \text{ N/mm}^2$ (136,8%).

*
* *

În concluzie putem spune că, pentru o presiune de formare de 5 N/mm^2 și o cantitate de apă de amestecare de 15%, rezultatele care se pot reține sunt cele obținute la amestecurile cu un procent minim 20% var.

b) Densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G2

- Densitatea aparentă la 7 zile cu valori cuprinse între 1767 kg/m^3 și 1778 kg/m^3 și la 28 zile cu valori cuprinse între 1720 kg/m^3 și 1756 kg/m^3 (figura 5.2), încadrându-se în clasa C3 dacă se asimilează cu cărămizile ceramice.

- Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:

- Pentru o cantitate de 10% ciment și 10% var față de masa lianților amestecați (seria 4 L10 C10) s-a obținut o rezistență la compresiune R_c de $2,48 \text{ N/mm}^2$ (figura 5.4).

- Păstrându-se constant procentul de ciment la 10%, creșterea procentului de var de la 10% (seria 5 L10 C10) la 20% (seria 6 L20 C10) a dus la o creștere a R_c cu $6,2 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 250% (figura 5.4). Astfel, sporirea cantității de var a dus la o importantă creștere a R_c .

- Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:

- Pentru această vârstă, seria 4 L10 C10 a înregistrat o valoare a R_c mai mare de $2,5 \text{ N/mm}^2$, seria 5 L20 C5 un $R_c > 5,0 \text{ N/mm}^2$ și seria 6 L20 C10 un $R_c > 10,0 \text{ N/mm}^2$ (figura 5.4).

- Pentru o scădere a procentului de ciment la 5% și o creștere a procentului de var la 20%, o substituție a 5% ciment cu 10% var (seria 5 L20 C5 în comparație cu seria 4 L10 C10), R_c a crescut cu $5,42 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 197,8%.

- La menținerea constantă a cantității de ciment la 10% și sporirea cantității de var de la 10% (seria 4 L10 C10) la 20% (seria 6 L20 C10) a generat o creștere a R_c cu $12,07 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 440,5%.

- Atunci când s-a menținut constant procentul de var la 20%, la o creștere a procentului de ciment de la 5% (seria 5 L20 C5), la 10% (seria 6 L20 C10) a rezultat o creștere a R_c cu $6,65 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 81,5%.

*
* *

În concluzie, putem spune că toate materialele din grupul G2, realizate cu o presiune de formare de 20 N/mm^2 și o cantitate de apă de amestecare de 10%, au înregistrat creșteri importante ale lui R_c la sporirea cantității de var și de ciment; compoziția optimă se va stabili în urma efectuării și a altor teste (ex.: rezistența la îngheț-dezghet).

Aceste materiale se pot rupe ușor în momentul scoaterii din tipare, necesitând o atenție sporită la scoaterea din tipare.

Se constată că densitățile aparente ale materialelor din grupurile G1 și G2 nu diferă prea mult deși presiunea de formare la grupul G1 a fost de 4 ori mai mare față de grupul G1. Pe de altă parte presiunea de formare mai mare de la grupul G2 conduce la un spor semnificativ al rezistențelor la compresiune: 106% (seria 4 L10 C10); 207% (seria 5 L20 C5); 370% (seria 6 L20 C10). Acest fapt arată că nu există o corelație directă rezistență-densitate/porozitate totală. Deci, importante în acest sens sunt legăturile care se stabilesc între particulele de material.

c) Densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G3

- Densitatea aparentă la 14 zile se încadrează între 1766 kg/m^3 și 1800 kg/m^3 , iar la 28 zile între 1715 kg/m^3 și 1745 kg/m^3 (figura 5.3), încadrând aceste materiale în clasa C3 dacă se asimilează cu cărămizile ceramice.

- Rezistențele mecanice la vârsta de 14 zile arată următoarele:

- La această vârstă toate probele au înregistrat valori ale lui R_c mai mari de 5 N/mm^2 corespunzând materialelor pentru zidărie portantă.

- Pentru o cantitate de liant clasic formată din 10% var și 10% ciment (seria 7 L10 C10), s-a obținut o rezistență la întindere din încovoiere R_{ti} de $1,42 \text{ N/mm}^2$ și o rezistență la compresiune R_c de $6,71 \text{ N/mm}^2$ (figura 5.7 și figura 5.9).

- Pentru o creștere a procentului de var la 20% și o scădere a procentului de ciment la 5% (s-a substituit 5% ciment cu 10% var - seria 8 L20 C5), comparativ cu 10% var și 10% ciment (seria 7 L10 C10), R_{ti} a crescut cu $0,67 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 47,1% iar R_c cu $4,05 \text{ N/mm}^2$, adică cu 60,3%.

- Păstrându-se constant procentul de ciment la 10%, creșterea procentului de var de la 10% (seria 7 L10 C10) la 20% (seria 9 L20 C10) a dus la o creștere a lui R_{ti} cu $1,46 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 102,8% și a lui R_c cu $7,07 \text{ N/mm}^2$, adică cu 105,3% (figura 5.9).

- Atunci când se păstrează constant procentul de var la 20%, creșterea procentului de ciment de la 5% (seria 8 L20 C5), la 10% (seria 9 L20 C10) a dus la o creșterea R_{ti} cu $0,79 \text{ N/mm}^2$ (37,8%), iar R_c a crescut cu $3,02 \text{ N/mm}^2$ (28,6%).

*
* *

Se observă că sporul cantității de lianți clasici a dus la o creștere a rezistențelor mecanice. În ceea ce privește R_{ti} , creșterea cea mai mare s-a înregistrat pentru amestecurile la care s-a sporit cimentul, iar pentru R_c la seriile la care s-a sporit varul.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile* permit următoarele constatări:

- La această vârstă toate probele au înregistrat valori ale lui R_c mai mari de 10 N/mm^2 corespunzând condițiilor pentru cărămizile ceramice pline marca 100.

- Se constată că valorile rezistenței la întindere din încovoiere R_{ti} sunt foarte apropiate de cele înregistrate la vârsta de 14 zile, sporul fiind neglijabil. Creșteri semnificative s-au înregistrat numai pentru R_c .

- Pentru o cantitate de liant clasic formată din 10% var și 10% ciment (seria 7 L10 C10), s-a obținut o rezistență la întindere din încovoiere R_{ti} de $1,52 \text{ N/mm}^2$ și o rezistență la compresiune R_c de $11,37 \text{ N/mm}^2$ (figura 5.7 și figura 5.9).

- Comparând seria 7 L10 C10, realizată cu 10% var și cu 10% ciment (reprezentând 20% liant clasic), cu seria 8 L20 C5 care are 20% var și 5% ciment (liant clasic = 25%), R_c a crescut cu doar $0,89 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 7,8%.

- Seria 7 L10 C10 înregistrează, de la 14 zile la 28 zile, cea mai mare creștere a rezistenței la compresiune R_c , în valoare de $4,66 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 69,4%, în comparație cu seria 8 L20 C5 și seria 9 L20 C10 care au înregistrat creșteri de maxim 19,9%.

- Păstrându-se constant procentul de ciment la 10%, creșterea procentului de var de la 10% (seria 7 L10 C10) la 20% (seria 9 L20 C10), a dus la o creștere a R_c cu $5,15 \text{ N/mm}^2$, adică cu 45,5% (figura 5.9).

- Atunci când se păstrează constant procentul de var la 20%, creșterea procentului de ciment de la 5% (seria 8 L20 C5) la 10% (seria 9 L20 C10) a dus la o creștere a R_c cu $4,26 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 34,7%.

*
* *

În concluzie, putem spune că procentul optim de ciment este de 10% iar sporirea cantității de var peste 10% poate îmbunătăți satisfacător proprietățile materialelor.

d) Densitatea și rezistențele mecanice pentru materialele din grupul G4

- *Densitatea aparentă la 14 zile* se încadrează între 1766 kg/m^3 și 1807 kg/m^3 , iar la 28 zile între 1715 kg/m^3 și 1754 kg/m^3 (figura 5.4), încadrându-se în clasa de densitate C3 a cărămizilor ceramice.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 14 zile arată următoarele:*

- La această vârstă, seria 11 L20 C5 a înregistrat valori ale R_c mai mari de $2,5 \text{ N/mm}^2$, iar seria 12 L20 C10 are valori ale R_c mai mari de 10 N/mm^2 (condiției îndeplinită de cărămizile ceramice pline marca 100), ceea ce sugerează că probele se pot manipula ușor (fără condiții suplimentare).

- Pentru un procent constant de var de 20%, creșterea procentului de ciment, de la 5% (seria 11 L20 C5) la 10% (seria 12 L20 C10) a dus la creșterea R_{ti} cu $1,16 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 276,2% (figura 5.8) și a R_c cu $6,45 \text{ N/mm}^2$, adică 153,9% (figura 5.10).

*
* *

Sporirea procentului de ciment a dus la creșteri importante ale rezistențelor mecanice.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:*

- La această vârstă, seria 11 L20 C5 a înregistrat valori ale R_c mai mari de 5 N/mm^2 , iar cele din seria 12 L20 C10 valori ale R_c mai mari de 10 N/mm^2 .

- Creșterea procentului de ciment de la 5% (seria 11 L20 C5) la 10% (seria 12 L20 C10) a dus la o creștere a R_{ti} cu $1,16 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 132,2% (figura 5.8) și a R_c cu $5,59 \text{ N/mm}^2$, adică 101,3% (figura 5.10).

- Pentru seria 12 L20 C10 (cu 30% liant clasic), variația rezistenței la compresiune a înregistrat creșteri ne semnificative de la vârsta de 14 zile la vârsta de 28 zile.

- Din studiul datelor prezentate în graficele 5.8 și 5.10 se observă că seria 10 L10 C10 prezintă valori foarte mici atât pentru rezistența la întindere din încovoiere R_{ti} cât și pentru rezistența la compresiune R_c , comparativ cu seria 7 L10 C10 din grupul G3 (figurile 5.7 și 5.9) care au o compoziție asemănătoare (mai puțin cu 5% sticlă solubilă), indicând o posibilă problemă în timpul realizării acestor probe. De aceea, această serie nu s-a comentat.

*
* *

Și la această vârstă se evidențiază sporul de rezistență semnificativ la creșterea cantității de ciment.

e) Coeficientul de eficiență tehnică prezentat în graficul din figura 4.11 arată că, la 28 zile, seria 5 L20 C5, seria 7 L10 C10 și seria 12 L20 C10 au o eficiență tehnică asemănătoare cu cărămizile ceramice de marcă 50 iar seria 6 L20 C10, seria 8 L20 C5 și seria 9 L20 C10 sunt asemănătoare cu cărămizile ceramice marca 100.

5.2.6. Concluzii generale

Valorile presiunii de formare și a apei de amestecare sunt hotărâtoare pentru obținerea unor materiale de zidărie realizate cu cenușă zburătoare ultrafină și sticlă solubilă. Cele mai bune rezultate s-au înregistrat pentru o presiune mărită (20 N/mm^2) și o cantitate de apă scăzută (10%).

Creșterea semnificativă a rezistenței la compresiune s-a realizat odată cu sporirea cantității de liant clasic.

La realizarea probelor cu presiune de formare trebuie să se acorde o atenție mărită la scoaterea probelor din tipare.

Scăderea de rezistență a materialelor din grupul G4 față de cele din grupul G3 se datorează creșterii raportului Apă/Lianți amestecați. Rezultă că efectul sticlei solubile scade când crește raportul Apă/Liant.

La utilizarea sticlei solubile este important a nu se spori mult cantitatea de apă, astfel ca sporul de rezistență dat de sticla solubilă să fie mai mare decât scăderea de rezistență provocată de creșterea cantității de apă.

S-au obținut materiale care pot fi utilizate pentru realizarea unor zidării neportante și portante.

Aceste materiale sunt realizate cu o cantitate mică de var și ciment, astfel că, din punct de vedere economic, se pot obține economii financiare de minim 15% în comparație cu materialele de construcții clasice (a se vedea studiul financiar informativ prezentat în paragraful 4.3.6).

Pentru probele realizate fără presiune de formare (eprovetele de formă prismatică), la scăderea procentului de sticlă solubilă s-a înregistrat o creștere a rezistențelor mecanice sugerând ca următoarele rețete ce se vor studia să fie **fără** sticlă solubilă.

5.3. Materiale realizate cu cenușă zburătoare ultrafină, fără sticlă solubilă

5.3.1. Materiale componente și proces tehnologic

S-au realizat amestecuri formate din: cenușă zburătoare ultrafină, var, ciment, aditivi, nisip și apă.

Cimentul utilizat a fost de tipul **CEM I 42,5R**, produs de CASIAL Deva, varul a fost de tipul CL 90 iar cenușă zburătoare ultrafină s-a obținut de la COLTERM S.A. Timișoara.

S-a folosit nisip dublu spălat în sorturile 0-3 și 3-7 mm; apă potabilă.

Aditivii au fost: **FM 40** (superplastifiant) pentru seriile 1 ÷ 14 și **Plaston 1** pentru seriile 16 și 17. Plaston 1 este un plastifiant recomandat pentru realizarea elementelor de zidărie din beton. Aditivii sunt produși și comercializați de firma Sika.

Modul de amestecare: s-a amestecat manual, în stare uscată, nisipul, cenușă zburătoare ultrafină, varul și cimentul. Materialul uscat astfel obținut, s-a amestecat cu apa timp de 2 minute, s-a introdus aditivul, după care s-a mai amestecat 2 minute, utilizându-se un malaxor de laborator cu viteză mică. S-a introdus jumătate din amestec în tipar și s-au aplicat 20 de șocuri mecanice, apoi s-a adăugat și restul de material și s-au mai aplicat 20 de șocuri mecanice.

Probele s-au decofrat după 1 zi de la preparare și s-au păstrat în cutia cu aer umed sau în laborator (aer uscat), până la realizarea vârstei de testare.

5.3.2. Stabilirea compozițiilor

Materialele cercetate au avut următoarele compoziții:

• Materialele din grupul G1 (din seriile 1 ÷ 5):

- apă = 20%;
- material uscat = 80%.

Pentru materialul uscat s-a propus următoarea combinație procentuală:

- agregat = 40% (nisip sort 0-3 mm);
- lianți amestecați = 60%.

• Materialele din grupul G2 (din seriile 6 ÷ 9):

- apă = 15%;
- material uscat = 85%.

Pentru materialul uscat, s-a propus următoarea combinație procentuală:

- agregat = 60% (nisip sort 0-3 mm);
- lianți amestecați = 40%.

• Materialele din grupul G3 (din seriile 10 ÷ 12):

- apă = 15%;
- material uscat = 85%.

Pentru materialul uscat, s-a propus următoarea combinație procentuală:

- agregat = 60%. $\left\{ \begin{array}{l} \bullet 40\% \text{ nisip sort } 0-3 \text{ mm;} \\ \bullet 20\% \text{ nisip sort } 3-7 \text{ mm.} \end{array} \right.$
- lianți amestecați = 40%.

• Materialele din grupul G4 (din seriile 13 ÷ 18):

Seriile 15, 16 și 18 au fost realizate asemănător cu seriile din grupul G1, cu specificația că aditivul utilizat a fost Plaston 1 pentru seriile 16 și 18, iar la seria 15 nu s-a folosit aditiv.

Seria 17 este realizată asemănător cu seria 6 din grupul G2, utilizând Plaston 1.

Seria 13 este formată din:

- apă = 18%;
- material uscat = 82% din care: $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ agregat} = 40\% \text{ (nisip sort } 0-3 \text{ mm);} \\ \bullet \text{ lianți amestecați} = 60\%. \end{array} \right.$

Seria 14 are o structură asemănătoare cu seria 6 la care s-a modificat procentul de apă.

Confecționarea materialelor din această grupă a urmărit:

- efectul utilizării unui aditiv superplastifiant;
- efectul utilizării unui aditiv plastifiant;
- realizarea unor compoziții intermediare, între cele din grupul G1 și grupul G2.

Pentru stabilirea compoziției lianților amestecați s-a utilizat modelul prezentat în paragraful 2.6.

Având în vedere considerațiile de mai sus s-au realizat materiale ale căror compoziții finale se prezintă în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5

Compozițiile materialelor pe bază de cenușă zburătoare ultrafină, fără sticlă solubilă

| Grup | COD | Apa [%] | Var [%] | Ciment [%] | Cenușă [%] | Nisip [%] | | Tip aditiv | Apa Liant |
|------|------------------|---------|---------|------------|------------|-----------|--------|------------|-----------|
| | | | | | | 0-3 mm | 3-7 mm | | |
| G1 | Seria 1 L10 C10 | 20 | 4,8 | 4,8 | 38,4 | 32 | - | FM 40 | 0,417 |
| | Seria 2 L20 C5 | 20 | 9,6 | 2,4 | 36,0 | | | | |
| | Seria 3 L20 C10 | 20 | 9,6 | 4,8 | 33,6 | | | | |
| | Seria 4 L10 C20 | 20 | 4,8 | 9,6 | 33,6 | | | | |
| | Seria 5 L25 C10 | 20 | 12 | 4,8 | 31,2 | | | | |
| G2 | Seria 6 L10 C10 | 15 | 3,4 | 3,4 | 27,2 | 51 | - | FM 40 | 0,441 |
| | Seria 7 L20 C5 | 15 | 6,8 | 1,7 | 25,5 | | | | |
| | Seria 8 L20 C10 | 15 | 6,8 | 3,4 | 23,8 | | | | |
| | Seria 9 L10 C20 | 15 | 3,4 | 6,8 | 23,8 | | | | |
| G3 | Seria 10 L10 C10 | 15 | 3,4 | 3,4 | 27,2 | 32 | 19 | FM 40 | 0,441 |
| | Seria 11 L20 C10 | 15 | 6,8 | 3,4 | 23,8 | | | | |
| | Seria 12 L10 C20 | 15 | 3,4 | 6,8 | 23,8 | | | | |
| G4 | Seria 13 L10 C10 | 18 | 4,9 | 4,9 | 39,4 | 32,8 | - | FM 40 | 0,366 |
| | Seria 14 L10 C10 | 18,3 | 3,3 | 3,3 | 26,1 | 49 | - | | 0,560 |
| | Seria 15 L10 C10 | 20 | 4,8 | 4,8 | 38,4 | 32 | - | - | 0,417 |
| | Seria 16 L10 C10 | 20 | 4,8 | 4,8 | 38,4 | 32 | - | Plaston | 0,417 |
| | Seria 17 L10 C10 | 15 | 3,4 | 3,4 | 27,2 | 51 | - | Plaston | 0,441 |
| | Seria 18 L20 C10 | 20 | 6,4 | 3,2 | 22,4 | 48 | - | - | 0,625 |

Nota: aditivul utilizat a fost de 0,5% din masa lianților amestecați

5.3.3. Densitatea aparentă și rezistențe mecanice

Structura materialelor realizate pe bază de cenușă zburătoare ultrafină se prezintă în fotografia din figura 5.12.

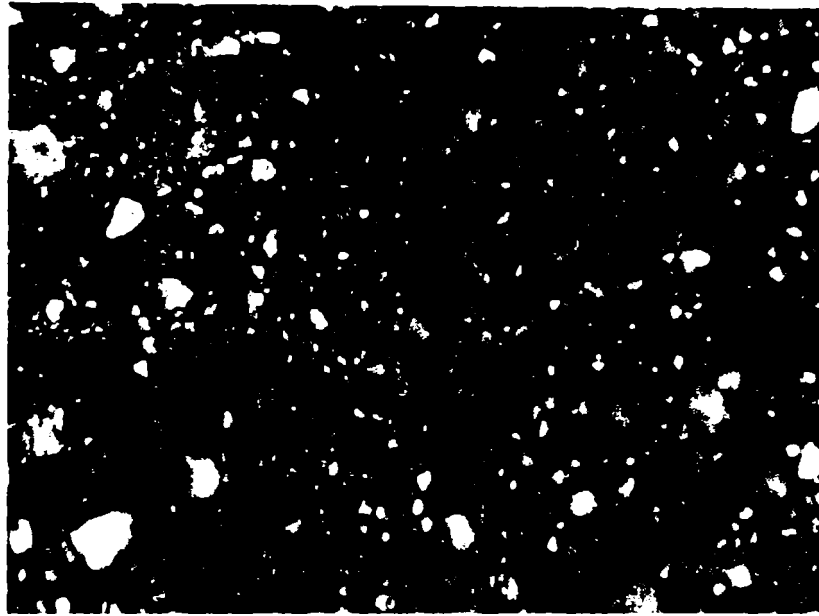


Figura 5.12

Se constată aspectul de conglomerat al materialelor cercetate, formate dintr-un schelet rigid, alcătuit din granulele de nisip și legat de matricea obținută din întărirea amestecului dintre lianții amestecați cu apa.

În tabelul 5.6 și în figurile 5.13 ÷ 5.25 se prezintă densitatea aparentă, rezistența la întindere din încovoiere, rezistența la compresiune, pentru vârsta de 7 și 28 zile și coeficientul de eficiență tehnică, la vârsta de 28 zile, pentru materialele păstrate în cutia cu aer umed.

Pentru a studia efectul condițiilor de păstrare asupra proprietăților fizico-mecanice ale materialelor pe bază de cenușă zburătoare ultrafină, materialele din seria 1 L10 C10 , seria 3 L20 C10 și seria 4 L10 C10 au fost păstrate și în aer, în condiții de laborator, până la vârsta de încercare de 180 zile. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 5.7 comparativ cu cele obținute la vârsta de 28 zile pentru materialele păstrate în cutia cu aer umed.

Proprietăți fizico-mecanice ale amestecurilor întărite, la 7 și 28 zile

| Group | COD | Densitatea aparentă ρ_a , [kg/m ³] | | Rezistența la întindere R_{ti} , [N/mm ²] | | Rezistența la compresiune R_c , [N/mm ²] | | $\frac{R_c}{\rho_a}$, [$\frac{kN \times m}{kg}$] |
|-------|------------------|---|---------|---|---------|--|---------|--|
| | | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | 7 zile | 28 zile | |
| G 1 | Seria 1 L10 C10 | 1855 | 1762 | 4,42 | 2,76 | 19,76 | 30,01 | 17,03 |
| | Seria 2 L20 C5 | 1813 | 1766 | 3,61 | 1,87 | 15,75 | 28,91 | 16,37 |
| | Seria 3 L20 C10 | 1853 | 1773 | 4,07 | 2,50 | 19,28 | 32,56 | 18,36 |
| | Seria 4 L10 C20 | 1850 | 1780 | 3,01 | 2,57 | 19,33 | 32,43 | 18,22 |
| | Seria 5 L25 C10 | 1840 | 1790 | 3,63 | 1,98 | 17,05 | 30,01 | 16,76 |
| G 2 | Seria 6 L10 C10 | 2017 | 1987 | 4,36 | 3,51 | 16,44 | 24,26 | 12,21 |
| | Seria 7 L20 C5 | 1965 | 1940 | 3,06 | 3,40 | 12,63 | 24,93 | 12,85 |
| | Seria 8 L20 C10 | 1989 | 1896 | 3,69 | 3,21 | 14,51 | 27,29 | 14,39 |
| | Seria 9 L10 C20 | 1938 | 1839 | 3,92 | 3,28 | 14,43 | 28,17 | 15,32 |
| G 3 | Seria 10 L10 C10 | 1932 | 1822 | 2,90 | 2,92 | 11,80 | 19,01 | 10,43 |
| | Seria 11 L20 C10 | 1920 | 1805 | 2,35 | 2,57 | 11,85 | 22,75 | 12,60 |
| | Seria 12 L10 C20 | 1906 | 1820 | 3,27 | 3,04 | 15,66 | 27,83 | 15,29 |
| G 4 | Seria 13 L10 C10 | 1843 | 1690 | 2,60 | 2,74 | 10,23 | 20,87 | 12,35 |
| | Seria 14 L10 C10 | 1947 | 1840 | 3,96 | 2,58 | 13,32 | 20,01 | 10,88 |
| | Seria 15 L10 C10 | - | 1890 | - | - | - | 19,00 | 10,05 |
| | Seria 16 L10 C10 | 1684 | 1465 | 3,14 | 1,87 | 11,83 | 12,95 | 8,86 |
| | Seria 17 L10 C10 | 1919 | 1725 | 3,69 | 2,57 | 12,55 | 15,16 | 8,79 |
| | Seria 18 L20 C10 | 1895 | 1804 | 2,48 | 2,11 | 7,70 | 17,10 | 9,48 |

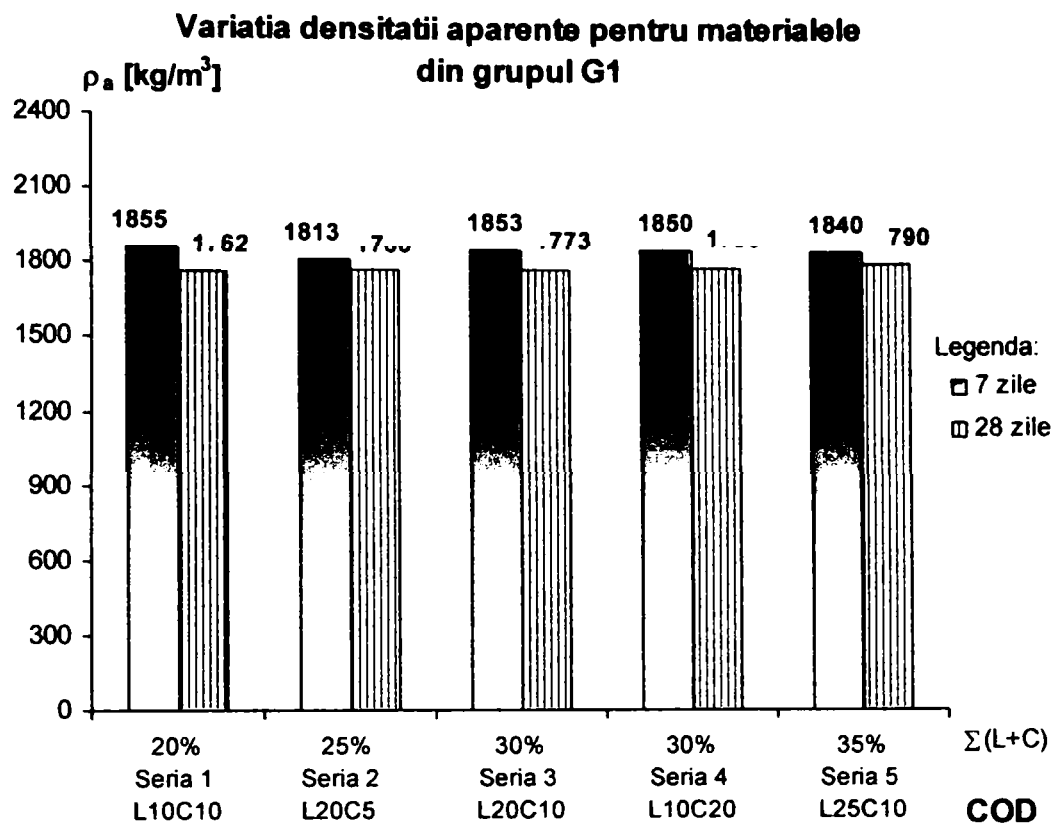


Figura 5.13

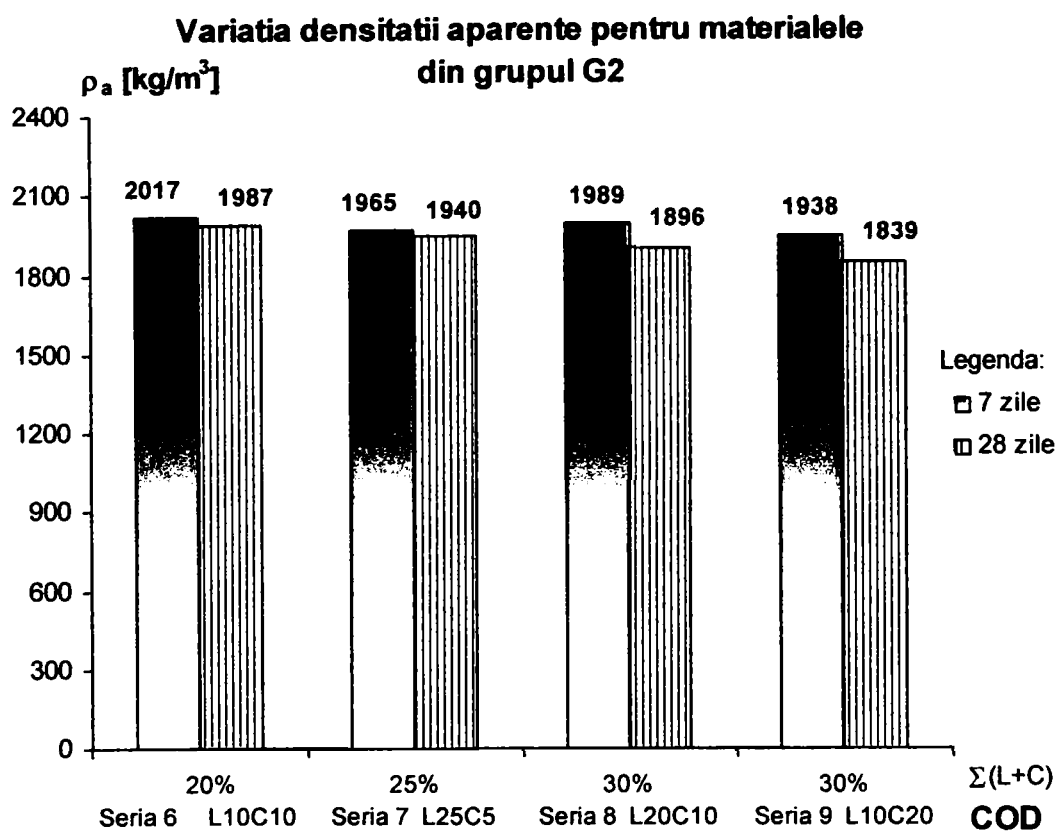


Figura 5.14

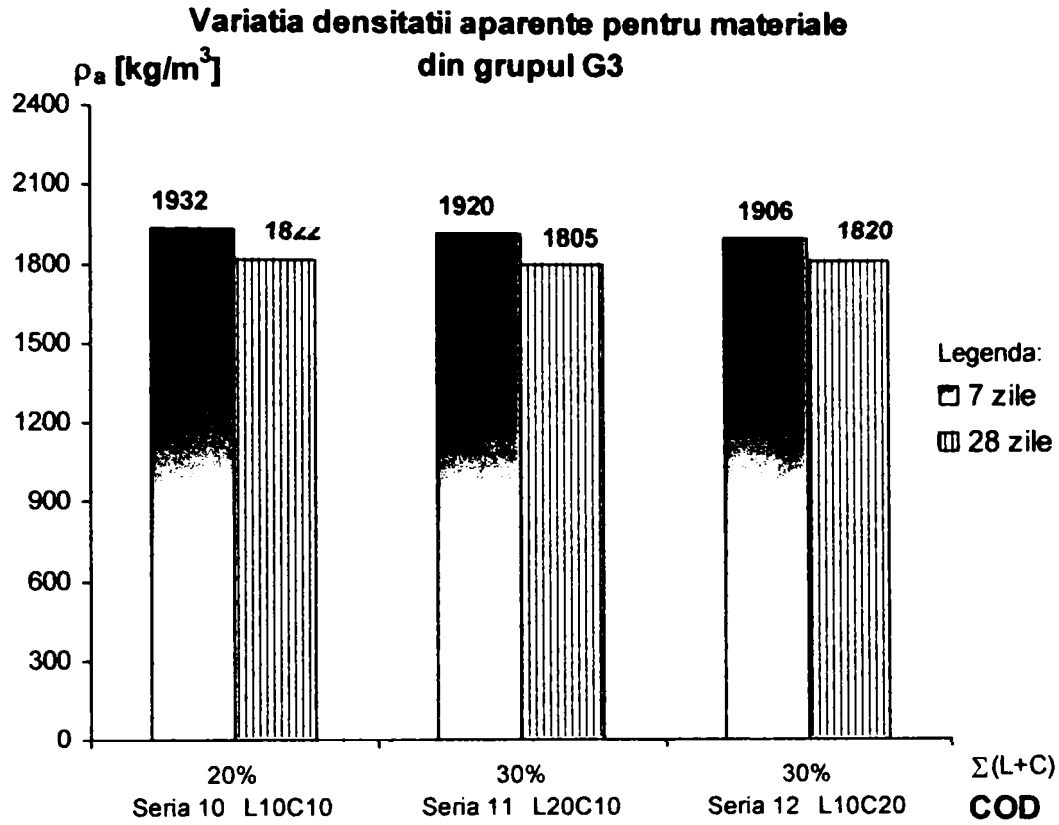


Figura 5.15

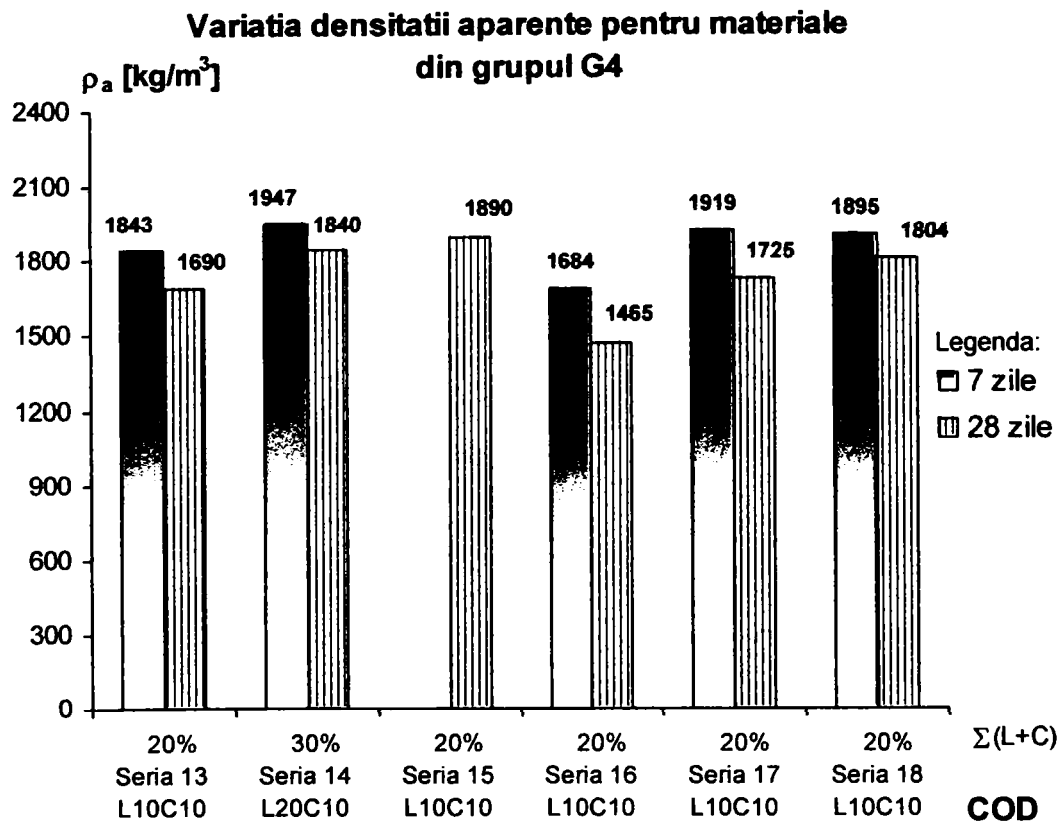


Figura 5.16

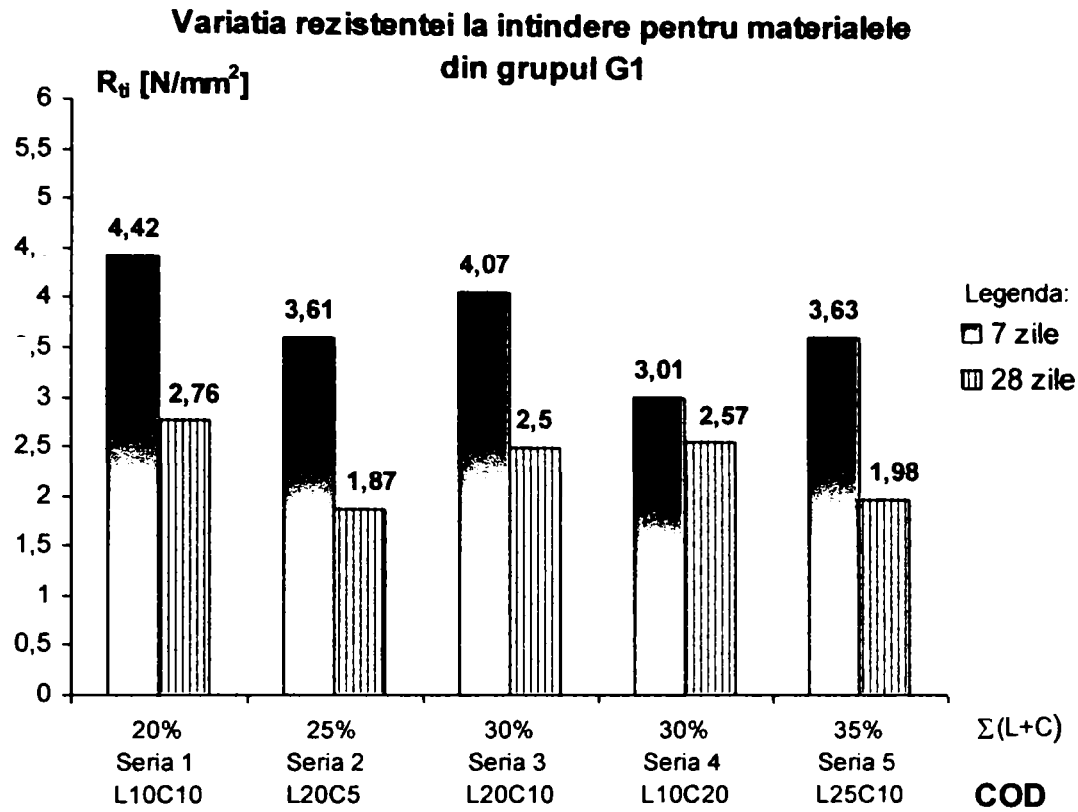


Figura 5.17

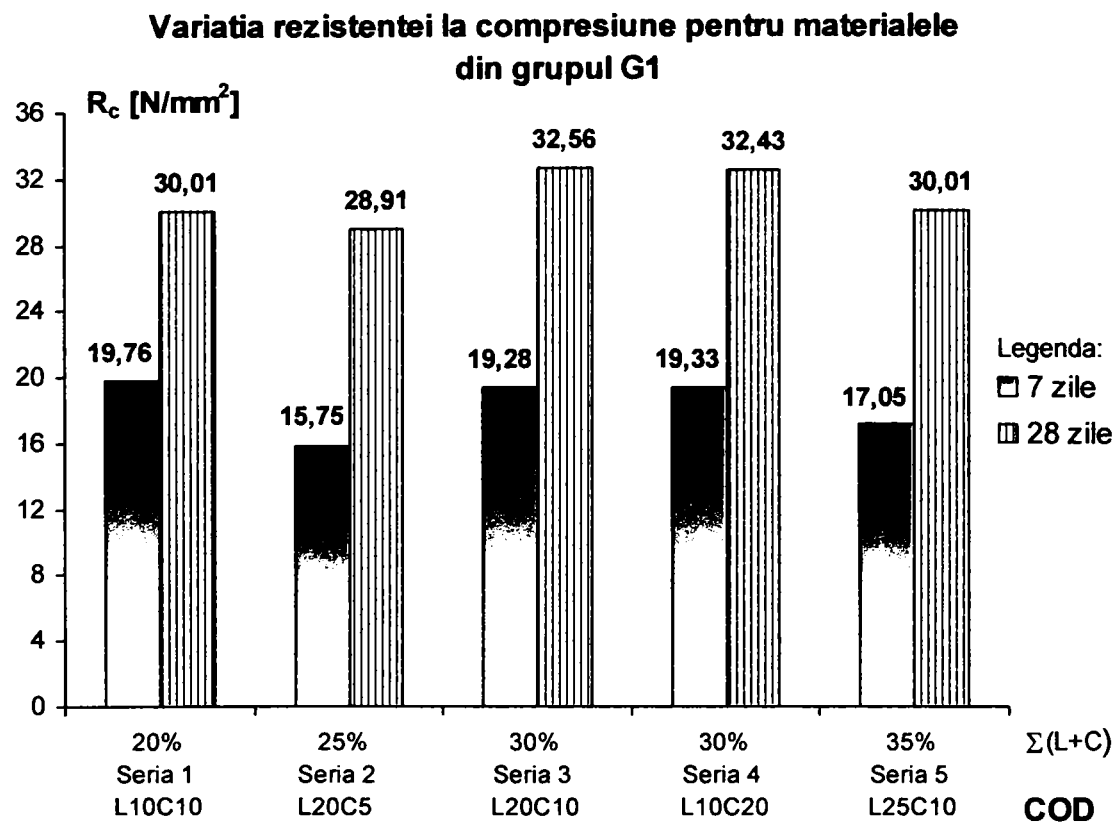


Figura 5.18

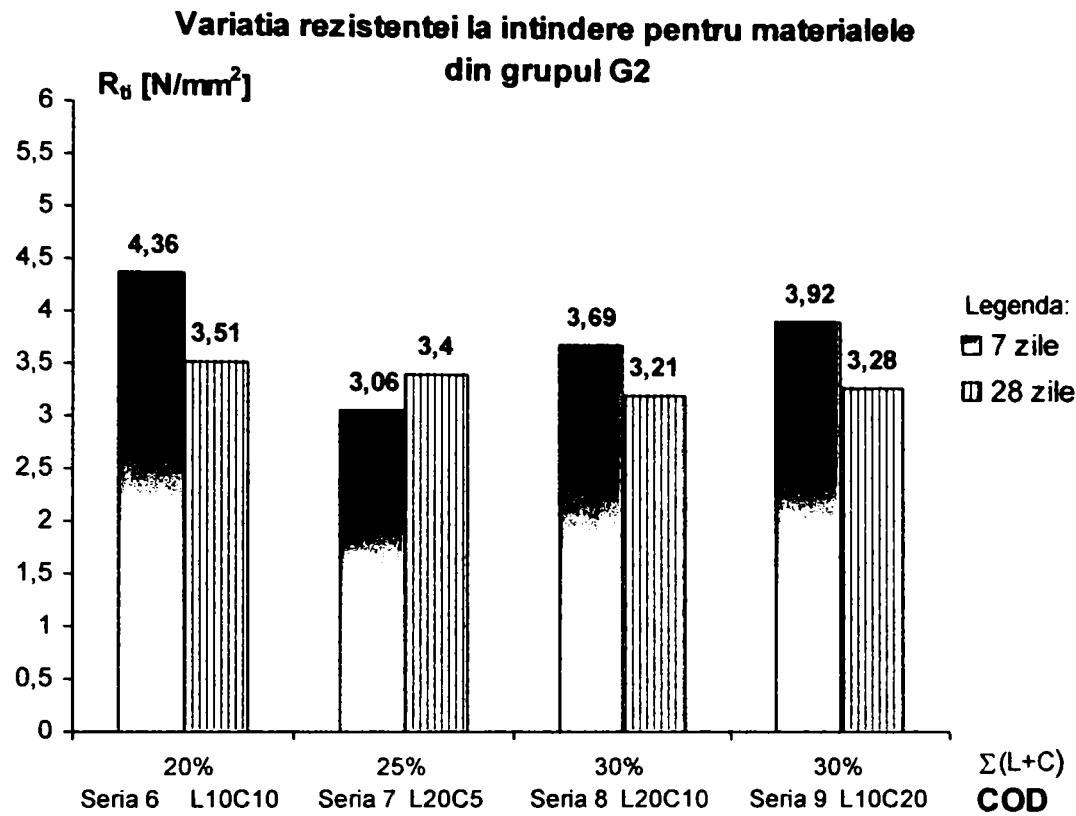


Figura 5.19

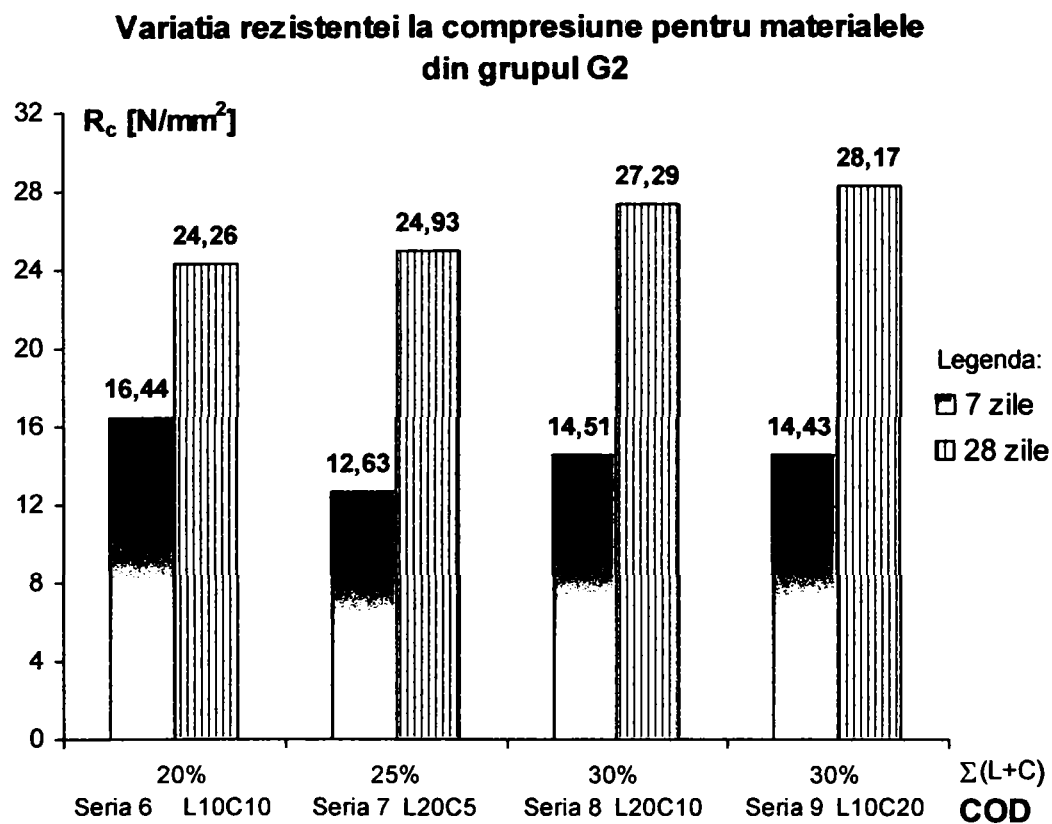


Figura 5.20

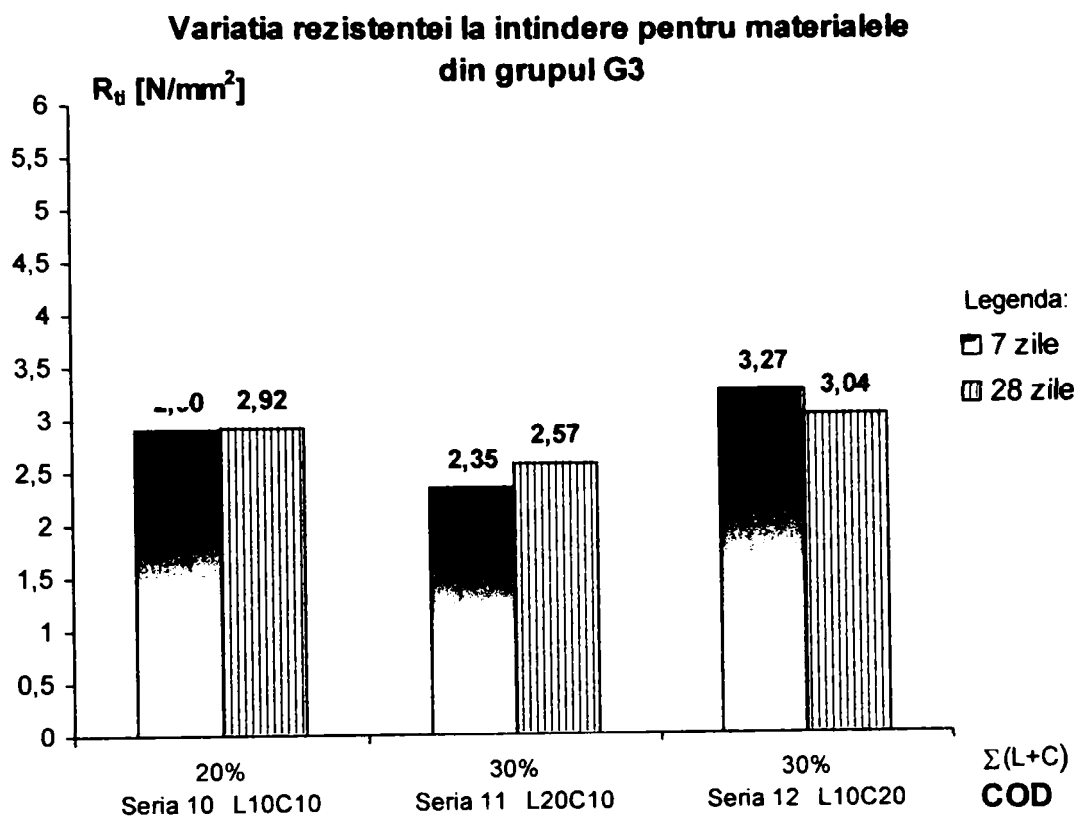


Figura 5.21

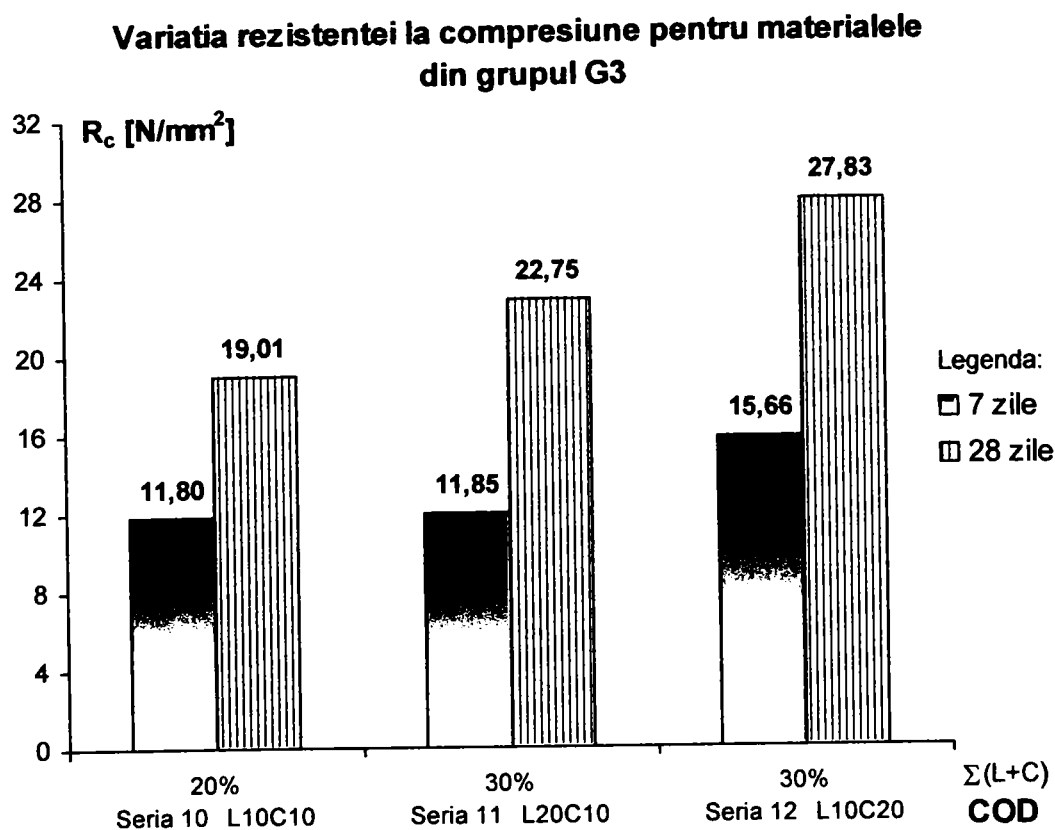


Figura 5.22

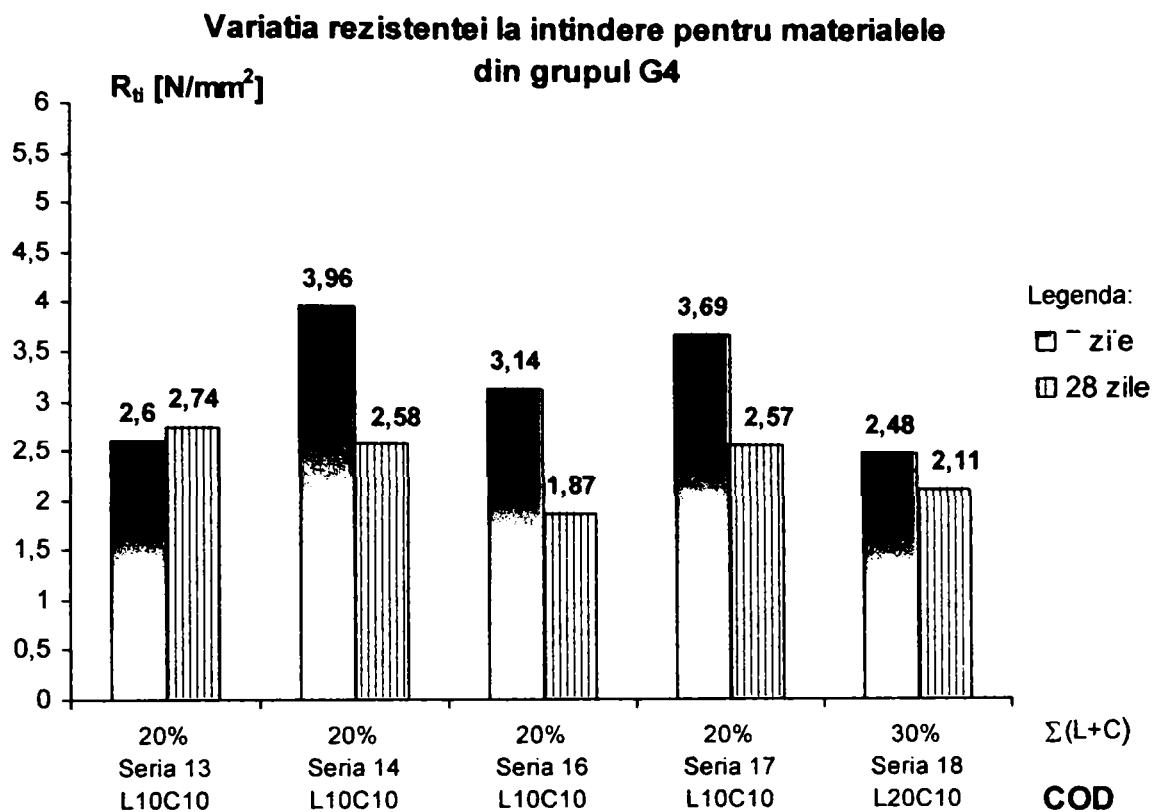


Figura 5.23

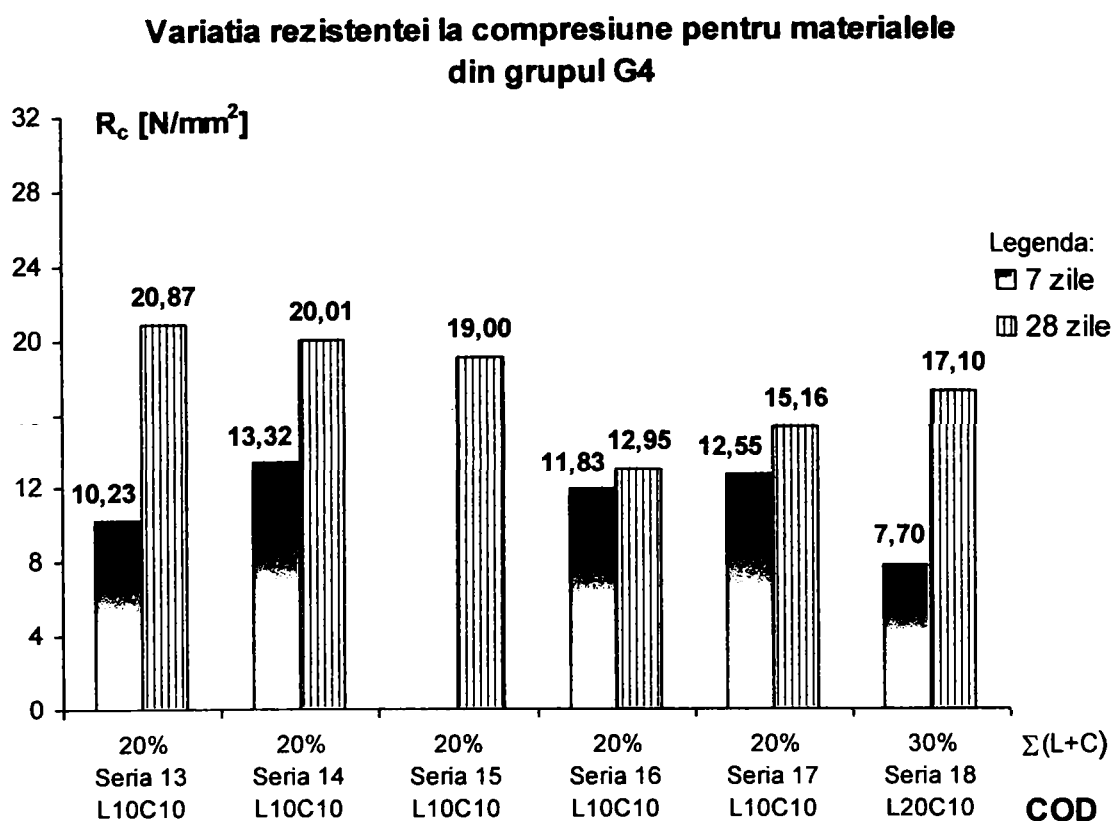


Figura 5.24

Coefficientul de eficiența tehnică

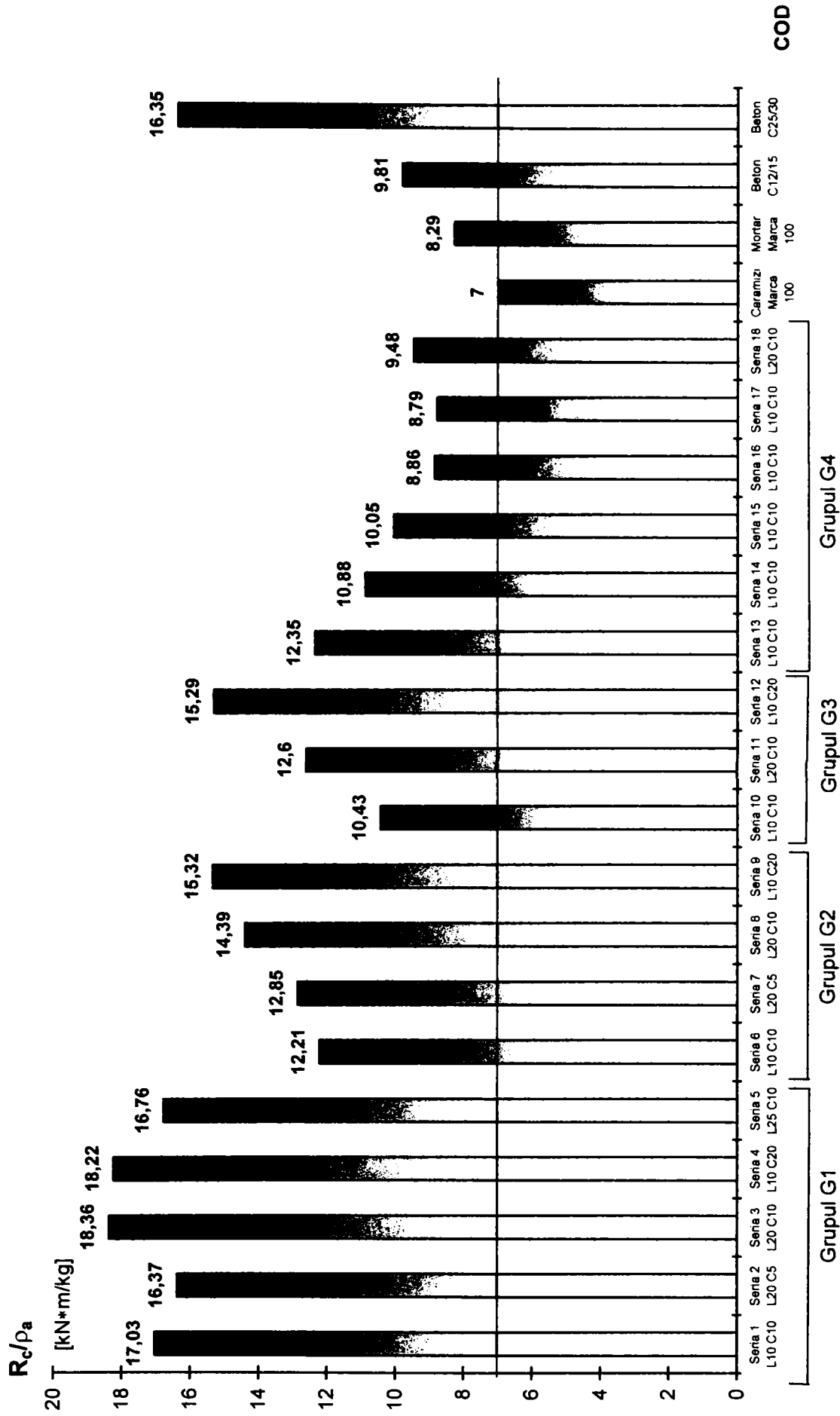


Figura 5.25

Tabelul 5.7

Rezistențele mecanice ale materialelor păstrate în mediu umed și în aer

| COD | R_{ti} , [N/mm ²] | | R_c , [N/mm ²] | | ΔR_{ti} , [%] | ΔR_c , [%] |
|-----------------|---------------------------------|----------|------------------------------|----------|-----------------------|--------------------|
| | 28 zile | 180 zile | 28 zile | 180 zile | | |
| Seria 1 L10 C10 | 2,76 | 1,60 | 30,01 | 5,06 | -72,5 | -83,1 |
| Seria 3 L20 C10 | 2,50 | 2,34 | 32,56 | 9,37 | -6,8 | -71,2 |
| Seria 4 L10 C20 | 2,57 | 2,74 | 32,43 | 11,41 | +6,6 | -64,8 |

Notă: - probele testate la vârsta de 28 zile s-au păstrat în cutia cu aer umed
 - probele testate la vârsta de 180 zile s-au păstrat în aer, în condiții de laborator

În urma analizării valorilor din tabelele 5.6 și 5.7, reprezentate grafic în figurile 5.13 ÷ 5.24 se pot extrage următoarele concluzii referitoare la densitatea aparentă și rezistențele mecanice.

a) Pentru materialele din grupul G1

- Densitatea aparentă la 7 zile se încadrează între 1813 kg/m³ și 1855 kg/m³, iar la 28 zile între 1762 kg/m³ și 1790 kg/m³ încadrând materialele în categoria mortarelor semigrele sau a betoanelor ușoare compacte (figura 5.13).

- Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:

- Amestecurile au obținut valori mari ale R_{ti} , cuprinse între 3,01 N/mm² și 4,42 N/mm² asemănătoare unui beton de clasă C 20/25 (figura 5.17).

- Rezistența la compresiune a înregistrat valori mari care sunt cuprinse între 14,09 N/mm² și 17,76 N/mm² (figura 5.18). Cele mai mari valori s-au obținut pentru seria 1 L10 C10, cu $R_{ti} = 4,42$ N/mm² și $R_c = 19,76$ N/mm², care are cel mai mic procent de lianți clasici (20%) din suma lianților amestecați.

- La menținerea constantă a cantității de ciment, la 10% din suma lianților amestecați, creșterea procentului de var de la 10% (seria 1 L10 C10) la 20% (seria 3 L20 C10) a dus la scăderea R_{ti} cu 0,35 N/mm², reprezentând 7,9% și a R_c cu 0,48 N/mm², adică cu 2,4%.

- Păstrându-se constantă cantitatea de ciment la 10%, creșterea procentului de var de la 10% (seria 1 L10 C10), la 25% (seria 5 L25 C10), a dus la scăderea R_{ti} cu 0,79 N/mm² (17,9%) și a R_c cu 2,71 N/mm² (13,7%).

- Pentru o cantitate de var de 20% din suma lianților amestecați, sporirea procentului de ciment de la 5% (seria 2 L20 C5) la 10% (seria 3 L20 C10) a generat o comportare pozitivă prin creșterea R_{ti} cu $0,46 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 12,7% și a R_c cu $3,53 \text{ N/mm}^2$, adică 22,4%.

- Atunci când s-a menținut constantă cantitatea de var la 10%, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 1 L10 C10) la 20% (seria 4 L10 C20) a dus la înregistrarea unei scăderi a R_{ti} cu $1,41 \text{ N/mm}^2$ (31,9%) și a lui R_c cu $0,43 \text{ N/mm}^2$ (2,2%).

*
* *

Se constată că la 7 zile sporirea cantității de var a generat o scădere a rezistențelor mecanice.

La o sporire a cantității de liant clasic de la 20% (seria 1 L10 C10), la 30%, a dus la înregistrarea unor scăderi ale R_{ti} și R_c , cu valori mici.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:*

- Rezistența la întindere din încovoiere a înregistrat valori cuprinse între $1,87 \text{ N/mm}^2$ și $2,76 \text{ N/mm}^2$, comparabilă cu cea a betoanelor de clasă C12/15 și C16/20 și are o scădere în comparație cu valorile obținute la vârsta de 7 zile, cuprinsă între 14,6% și 42,8% (fig. 5.17). Cea mai mică scădere s-a obținut pentru seria 4 L10 C20 care are un procent maxim de ciment, (20%). Cele mai mari scăderi s-au obținut pentru seria 2 L20 C5 care are un procent minim de ciment (5%) și mare de var (20%) și pentru seria 5 L25 C10 cu un procent maxim de var (25%).

- Rezistența la compresiune înregistrează valori mari, cuprinse între $20,68 \text{ N/mm}^2$ pentru seria 4 L10 C20 și $32,56 \text{ N/mm}^2$ pentru seria 3 L20 C10, comparabilă cu cea a betoanelor grele de clasă C 20/25 (fig. 5.18). S-au obținut creșteri cuprinse între 31,9% și 45,5%, compoziția optimă fiind cea realizată cu 20% var și 10% ciment.

- Pentru cel mai mic procent de liant clasic (de 20%), format din 10% var și 10% ciment, s-a obținut o rezistență la compresiune de $30,01 \text{ N/mm}^2$.

- La o valoare constantă de 10% ciment, creșterea procentului de var de la 10% (seria 1 L10 C10) la 20% (seria 3 L20 C10) a dus la scăderea R_{ti} cu $0,26 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 9,4% și o creștere a R_c cu $2,55 \text{ N/mm}^2$, adică cu 8,5%.

- Pentru o cantitate constantă de 10% ciment, creșterea procentului de var de la 10% (seria 1 L10 C10) la 25% (seria 5 L25 C10) a dus la scăderea lui R_{ti} cu $0,78 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 28,3% iar R_c s-a păstrat constant.

- Păstrându-se constantă cantitatea de var la 20%, sporirea procentului de ciment de la 5% (seria 2 L20 C5) la 10% (seria 3 L20 C10) a generat o creștere a R_{ti} cu $0,63 \text{ N/mm}^2$ (25,2%) și a R_c cu $3,65 \text{ N/mm}^2$ (11,2%).

- Atunci când s-a menținut constantă cantitatea de var la 10%, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 1 L10 C10) la 20% (seria 4 L10 C20) a dus la înregistrarea unei scăderi a R_{ti} cu $0,19 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 6,9% și o creștere a R_c cu $2,42 \text{ N/mm}^2$, adică 8.1%.

*
* *

Se constată că la 28 zile, la sporirea cantității de var, are loc o reducere a lui R_{ti} , iar R_c crește cu valori mici sau chiar stagnează.

Din punct de vedere al rezistențelor mecanice, determinate la vârsta de 7 și 28 zile, comportarea optimă s-a înregistrat pentru seria 1 L10 C10 și pentru seria 3 L20 C10, urmând a se realiza și alte teste privind durabilitatea acestora.

Deși s-au obținut valori mari ale R_c la 28 zile ($>30 \text{ N/mm}^2$), R_{ti} prezintă o scădere de la vârsta de 7 zile la cea de 28 zile, ceea ce impune să se realizeze produse de dimensiuni mici cum ar fi dale pentru pavaje sau să se remedieze acest dezavantaj. În acest sens s-au realizat materialele din grupul G2 cu o cantitate mai mare de nisip și cele din grupul G3 la care s-a folosit și nisip sort 3-7 mm.

b) Pentru materialele din grupul G2

- *Densitatea aparentă la 7 zile se încadrează între 1938 kg/m^3 și 2017 kg/m^3 , iar la 28 zile între 1839 kg/m^3 și 1987 kg/m^3 încadrând materialele în categoria mortarelor grele sau a betoanelor ușoare compacte (figura 5.14).*

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:*

- *Toate amestecurile au obținut valori mari ale lui R_{ti} , cuprinse între $3,06 \text{ N/mm}^2$ și $4,36 \text{ N/mm}^2$, asemănătoare unui beton de clasă C 20/25 (figura 5.19).*

- *Rezistența la compresiune a înregistrat valori mari care sunt cuprinse între $12,63 \text{ N/mm}^2$ și $16,44 \text{ N/mm}^2$ caracteristic betoanelor de clasă C8/10 sau a mortarelor marca M100 (figura 5.20). Cele mai mari valori s-au obținut pentru seria 7 L10 C10, cu $R_{ti} = 4,36 \text{ N/mm}^2$ și $R_c = 16,44 \text{ N/mm}^2$, care are cel mai mic procent de lianți clasici (20%) din suma lianților amestecați.*

- Pentru un procent constant de ciment de 10%, creșterea procentului de var de la 10% (seria 6 L10 C10) la 20% (seria 8 L20 C10) a dus la scăderea R_{ti} cu $0,67 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 15,4% și a R_c cu $1,93 \text{ N/mm}^2$, adică 11,7%.

- Atunci când s-a menținut constantă cantitatea de var la 10%, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 6 L10 C10) la 20% (seria 9 L10 C20) a dus la înregistrarea unei scăderi a R_{ti} cu $0,44 \text{ N/mm}^2$ (10,1%) și a R_c cu $2,01 \text{ N/mm}^2$ (12,2%).

- La o cantitate de var de 20%, sporirea procentului de ciment de la 5% (seria 7 L20 C5) la 10% (seria 8 L20 C10) a generat o comportare pozitivă prin creșterea R_{ti} cu $0,15 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 4,9% și a R_c cu $1,88 \text{ N/mm}^2$, adică 14,9%.

- Pentru o sporire a cantității de liant clasic de la 20% (seria 9 L10 C10) la 30% s-au înregistrat scăderi a R_{ti} cu până la 15,4% și ale R_c , cu până 12,2%.

*
* *

Se poate concluziona că, la un procent mai mic de var, de 10%, sporirea cimentului până la 20% nu determină o creștere a rezistențelor mecanice.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:*

- Rezistența la întindere din încovoiere a înregistrat valori cuprinse între $3,06 \text{ N/mm}^2$ și $3,51 \text{ N/mm}^2$, iar R_c între $24,26 \text{ N/mm}^2$ și $28,17 \text{ N/mm}^2$, comparabilă cu cea a betoanelor de clasă C12/15 și C16/20. În ceea ce privește R_{ti} , aceasta prezintă o scădere în comparație cu valorile obținute la vârsta de 7 zile, cuprinsă între 13% și 19%, excepție făcând seria 7 L20 C5 care a înregistrat o creștere de 11,1% (fig. 5.19).

- Pentru un procent constant de ciment de 10%, creșterea procentului de var de la 10% (seria 6 L10 C10) la 20% (seria 8 L20 C10) a dus la scăderea R_{ti} cu $0,30 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 8,5% și la creșterea R_c cu $3,03 \text{ N/mm}^2$, adică 12,5%.

- Atunci când s-a menținut constantă cantitatea de var la 10%, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 6 L10 C10) la 20% (seria 9 L10 C20) a dus la înregistrarea unei scăderi a R_{ti} cu $0,23 \text{ N/mm}^2$ (6,6%) și o creștere a R_c cu $3,91 \text{ N/mm}^2$ (16,1%).

- Pentru o cantitate de var de 20%, sporirea procentului de ciment de la 5% (seria 7 L20 C5) la 10% (seria 8 L20 C10) a generat o scădere a R_{ti} cu $0,19 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 5,6% și o creștere a R_c cu $2,36 \text{ N/mm}^2$, adică 9,5%.

- La o cantitate de 20% de liant clasic (seria 6 L10 C10) sporirea până la 30% liant clasic a dus la înregistrarea unor scăderi a R_{ti} cu până la 6,6% și creșteri ale R_c , cu până 12,2%

*
* *

La această vârstă prin sporirea cantității de liant clasic peste valoarea de 20% din suma lianților amestecați, R_{ti} prezintă scăderi de la vârsta de 7 zile la vârsta de 28 zile, iar R_c prezintă creșteri.

Comparând rezultatele cu cele obținute pe materialele din grupul G1, putem spune că, prin utilizare la preparare a unui procent mai mare de nisip, scăderea lui R_{ti} s-a mai estompat, ajungând până la maxim 19%.

c) Pentru materialele din grupul G3

- Densitatea aparentă la 7 zile se încadrează între 1906 kg/m³ și 1932 kg/m³, iar la 28 zile între 1805 kg/m³ și 1822 kg/m³, încadrând materialele în categoria mortarelor grele sau a betoanelor ușoare (figura 5.15).

- Rezistențele mecanice la vârsta de 7 zile arată următoarele:

- S-au obținut valori ale R_{ti} , cuprinse între 2,35 N/mm² și 3,27 N/mm², comparabilă cu cea a betoanelor de clasă C16/20 (figura 5.21). Rezistența la compresiune a înregistrat valori mari care sunt cuprinse între 11,80 N/mm² și 15,66 N/mm², corespunzătoare betoanelor de clasă C 6/7,5 și C8/10 sau mortarelor marca M100 (figura 5.22). Cele mai mari valori s-au obținut pentru seria 11 L10 C20 cu $R_{ti} = 3,27$ N/mm² și $R_c = 15,66$ N/mm², care are în compoziție cel mai mare procent de ciment.

- La un procent constant de ciment de 10%, creșterea cantității de var de la 10% (seria 9 L10 C10) la 20% (seria 10 L20 C10) a dus la scăderea R_{ti} cu 0,55 N/mm², reprezentând 19,0% iar R_c a crescut foarte puțin cu 0,05 N/mm².

- Atunci când s-a menținut constantă cantitatea de var la 10%, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 9 L10 C10) la 20% (seria 11 L10 C20) a dus la înregistrarea unei creșteri a R_{ti} cu 0,37 N/mm² (12,8%) și a R_c cu 3,86 N/mm² (32,7%).

*
* *

La 7 zile pentru o sporire a cantității de liant clasic de la 20% (seria 9 L10 C10) la 30%, cele mai bune rezultate s-au înregistrat prin sporirea procentului de ciment (seria 11 L10 C20).

- Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:

- Rezistența la întindere din încovoie prezintă valori cuprinse între 2,57 N/mm² și 3,04 N/mm², iar R_c între 19,01 N/mm² și 27,83 N/mm², comparabilă cu cea a betoanelor de clasă C 8/10 - C16/20. În ceea ce privește R_{ti} , observăm că seria 9 L10 C10 și seria 10 L20 C10 prezintă

valori crescătoare de vârstă de 7 zile la vârstă de 28 zile, iar seria 11 L10 C20 are o scădere de 4,6%, mult mai redusă în comparație cu valorile obținute pe materialele din grupul G1.

- Pentru un procent constant de ciment de 10%, creșterea procentului de var de la 10% (seria 6 L10 C10) la 20% (seria 8 L20 C10) a dus la scăderea R_{ti} cu $0,35 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 12,0% și la creșterea R_c cu $3,74 \text{ N/mm}^2$, adică 19,7%.

- Atunci când s-a menținut constantă cantitatea de var la 10%, creșterea procentului de ciment de la 10% (seria 6 L10 C10) la 20% (seria 9 L10 C20) a dus la creșterea R_{ti} cu $0,12 \text{ N/mm}^2$ (4,1%) și a R_c cu $8,82 \text{ N/mm}^2$ (46,4%).

*
* *

În concluzie putem spune că, la 28 zile, rezistența la compresiune înregistrează valori crescătoare odată cu sporirea procentului de liant clasic (în special pentru sporirea cimentului).

d) Pentru materialele din grupul G4

- Densitatea aparentă la 7 zile se încadrează între 1684 kg/m^3 și 1947 kg/m^3 , iar la 28 zile are valoarea de 1690 kg/m^3 pentru seria 13, de 1725 kg/m^3 pentru seria 18, încadrând aceste materiale în categoria mortarelor semigrele și de 1465 kg/m^3 pentru seria 17, încadrându-l în categoria mortarelor ușoare sau a betoanelor ușoare compacte (figura 5.16).

- Rezistențele mecanice la vârstă de 7 zile arată următoarele:

- S-au înregistrat valori mari ale R_{ti} , cuprinse între $2,60 \text{ N/mm}^2$ și $3,96 \text{ N/mm}^2$ (figura 5.23). Rezistența la compresiune a înregistrat valori cuprinse între $7,70 \text{ N/mm}^2$ și $13,32 \text{ N/mm}^2$ (figura 5.24). Valori mari ale R_{ti} și R_c s-au obținut pentru: seria 14 cât și pentru seriile 17 și 18 unde s-a folosit ca aditiv un plastifiant pentru realizarea blocurilor de zidărie din beton.

- Pentru un procent constant de ciment de 10%, scăderea cantității de var de la 20% (seria 18 L20 C10) la 10% (seria 14 L10 C10), micșorarea cantității de apă de la 20% la 18,3% și introducerea de superplastifiant, a generat o creștere a R_{ti} cu $1,48 \text{ N/mm}^2$, adică 59,7% și a R_c cu $5,62 \text{ N/mm}^2$ (73,0%).

- Comparând seria 16 cu un procent de 20% apă de amestecare cu seria 17 care are 15% apă de amestecare, se observă că R_{ti} crește cu $0,55 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 17,5%, iar R_c cu $0,72 \text{ N/mm}^2$, adică cu 6,1%.

- Realizând o comparație între seria 13 cu 15% apă de amestecare și seria 1 cu 20% apă, R_{ti} crește cu $1,82 \text{ N/mm}^2$ (70,0%), iar R_c cu $9,53 \text{ N/mm}^2$ (93,2%).

- Atunci când se mărește cantitatea de nisip, de la 40% din totalul amestecului uscat (seria 13 L10 C10) la 60% (seria 6 L10 C10), R_{ti} crește cu $1,76 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 67,7%, iar R_c cu $6,21 \text{ N/mm}^2$ adică 60,7%, valori care sunt apropiate de cele obținute atunci când s-a sporit cantitatea de apă.

- Prin înlocuirea plastifiantului Plaston 1 (seria 16 L10 C10) cu superplastifiantul FM 40 (seria 1 L10 C10), R_{ti} crește cu $1,28 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 40,8%, iar R_c cu $7,93 \text{ N/mm}^2$, (67,0%).

- Înlocuirea plastifiantului Plaston 1 (17 L10 C10) cu superplastifiantul FM 40 (seria 6 L10 C10), face ca R_{ti} să crească cu $0,67 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 18,2%, iar R_c cu $3,89 \text{ N/mm}^2$, adică cu 31,0%.

*
* *

Superplastifiantului FM 40 a generat obținerea unor rezistențe mecanice mai mari decât cele înregistrate la utilizarea plastifiantul Plaston 1.

- *Rezistențele mecanice la vârsta de 28 zile permit următoarele constatări:*

- Rezistența la întindere din încovoie prezintă valori cuprinse între $1,87 \text{ N/mm}^2$ și $2,74 \text{ N/mm}^2$, iar R_c între $11,83 \text{ N/mm}^2$ și $20,87 \text{ N/mm}^2$, comparabile cu ale betoanelor de clasă C 6/7,5 - C12/15 sau ale mortarelor de marcă M100.

- Pentru un procent constant de ciment de 10%, scăderea cantității de var de la 20% (seria 18 L20 C10) la 10% (seria 14 L10 C10), micșorarea cantității de apă de la 20% la 18,3% și introducerea de superplastifiant, a generat o creștere a R_{ti} cu $0,47 \text{ N/mm}^2$, adică 22,3% și a R_c cu $2,91 \text{ N/mm}^2$ (17%).

- Utilizarea superplastifiantului FM 40 în compoziția seriei 13 L10 C10 și micșorarea procentului de apă la 15% în comparație cu 20% apă pentru seria 15 L10 C10 (nu are aditiv) a dus la o creștere a lui R_c cu numai $1,87 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 9,8%.

- Realizând o comparație între seria 13 L10 C10 care are un procent de 15% apă de amestecare și seria 1 L10 C10 cu un procent de 20% apă se observă că R_{ti} rămâne constant iar R_c crește cu $9,14 \text{ N/mm}^2$, adică cu 43,8%.

- Comparând seria 16 cu un procent de 20% apă de amestecare cu seria 17 care are 15% apă de amestecare, se observă că R_{ti} crește cu $0,60 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 32,1%, iar R_c cu $2,21 \text{ N/mm}^2$, adică cu 17,1%.

- În ceea ce privește seria 13 cu 18% apă de amestecare și seria 1 cu 20% apă, se constată că R_{ti} rămâne constant, iar R_c crește cu $9,14 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 43,8%.

- Când se mărește cantitatea de nisip, de la 40% din totalul amestecului uscat, (seria 13 L10 C10) la 60% (seria 6 L10 C10), R_{ti} crește cu $0,77 \text{ N/mm}^2$ reprezentând 28,1%, iar R_c cu $3,39 \text{ N/mm}^2$, adică 16,2%.

- Prin înlocuirea plastifiantului Plaston 1 (seria 16 L10 C10) cu superplastifiantul FM 40 (seria 1 L10 C10), R_{ti} crește cu $0,89 \text{ N/mm}^2$, reprezentând 47,6%, iar R_c cu $17,06 \text{ N/mm}^2$ (131,7%).

- Înlocuirea plastifiantului Plaston 1 (17 L10 C10) cu superplastifiantul FM 40 (seria 6 L10 C10) face ca R_{ti} să crească cu $1,04 \text{ N/mm}^2$ (42,1%), iar R_c cu $9,10 \text{ N/mm}^2$, adică 60,0%.

*
* *

Procentul optim de apă de amestecare este în jurul valorii de 20% (se realizează și o scădere a prețului de realizare prin reducerea cantității de liant clasic).

La un procent de 15% apă de amestecare, influența aditivului este mică.

Micșorarea procentului de var (din suma lianților amestecați) a fost compensată prin efectele produse de mărirea cantității de apă de amestecare și introducerea unui superplastifiant.

Putem spune că utilizarea plastifiantului Plaston 1 (care se folosește la producerea de elemente de zidărie din beton), a dus la valori mai mici pentru R_c în comparație cu materiale realizate cu superplastifiantul FM 40.

e) Coeficientul de eficiență tehnică (R_c/ρ_a) este prezentat în graficul din figura 5.25.

Astfel, materialele din grupul G1 sunt asemănătoare cu un beton de clasă C 25/30, cele din grupurile G2 și G3 cu un beton de clasă C 12/15÷C 20/25, iar cele din grupul G4 cu performanțele realizate de cărămizile ceramice pline marca M100, mortarele marca M100 sau un beton de clasă C 12/15.

Pentru materialele de construcții clasice, s-au utilizat valori ale lui R_c și ρ_a determinate în cadrul laboratorului de Materiale de construcții din cadrul Facultății de Construcții și Arhitectură din Timișoara.

f) Rezistențele mecanice funcție de condițiile de păstrare.

Din studiul valorilor prezentate în tabelul 5.7 se constată că, amestecurile au înregistrat scăderi importante ale rezistențelor mecanice atunci când sunt păstrate în aer comparativ cu cele obținute la păstrarea în cutia cu aer umed. Materialele realizate cu 20% lianți clasici, prezintă degradări importante (peste 70%), atât la compresiune cât și la întindere. Amestecurile cu 30% lianți clasici, au înregistrat scăderi semnificative de peste 60% pentru rezistența la compresiune.

Acest fenomen este datorat, în principal, utilizării cenușii zburătoare ultrafine în cantitate mare. În literatura de specialitate se indică utilizarea în medii umede a lianților pe bază de cenușă de termocentrală.

În concluzie, se impune ca elementele de construcții sau finisaje realizate cu aceste materiale, să fie atât păstrate (până la vârsta de 28 zile) cât și utilizate în mediu cu umiditate ridicată.

*
* *

Concluziile generale privind rezistențele mecanice:

- Pentru acest tip de materiale realizate pe bază de cenușă zburătoare ultrafină, procentul optim de apă de amestecare este în jur de 20%.

- Pentru materialele din grupele G1 și G2, sporirea cantității de liant clasic (var+ciment) peste procentul de 20% (din suma lianților amestecați), conduce la o scădere a rezistențelor la întindere din încovoiere.

- Modificarea rețetelor pentru materialele din grupa G1, prin creșterea cantității de nisip (materialele din grupul G2) și/sau utilizarea sortului 3-7 mm (materialele din grupul G3) a dus la îmbunătățirea rezistențelor la întindere din încovoiere la 28 zile (materialele din grupul G2), dar și reduceri semnificative a R_c pentru unele rețete.

- Materiale necesită a fi păstrate și utilizate în medii cu umiditate ridicată.

- Anumite amestecuri cercetate se pot utiliza doar la realizarea de elemente de construcții de mici dimensiuni (exemplu: dale pentru pavaje) sau șape, datorită tendinței de scădere a rezistenței la întindere din încovoiere de la 7 zile la 28 zile.

În funcție de rezistența la compresiune obținută la vârsta de 28 zile, putem spune că:

- materialele din grupul G1 sunt asemănătoare cu betoanele obișnuite de clasă C 12/15 - C 20/25;

- materialele din grupul G2 sunt asemănătoare cu betoanele obișnuite de clasă C 12/15 și C 16/20;

- materialele din grupul G3 sunt asemănătoare cu betoanele obișnuite de clasă C 8/10 - C 16/20;

- materialele din grupul G4 sunt asemănătoare cu betoanele obișnuite de clasă C 6/7,5 - C 12/15, cu mortarele M 100, cu blocurile de zidărie din beton greu și cu cărămizile ceramice marca 100.

5.3.4. Porozitatea și absorbția de apă

Pentru materialul din seria 1 L10 C10, în tabelul 5.8 se prezintă porozitatea totală (P_t), porozitatea aparentă raportată la volum (P_{av}) și absorbția de apă (a_m), determinată pe probe de formă cubică, cu latura de 7 cm.

Tabelul 5.8

Caracteristici fizice ale materialului din seria 1 L10 C10 comparativ cu un beton obișnuit și un mortar pe bază de ciment

| Material \ Caracteristica | ρ_a [kg/m ³] | P_t [%] | P_{av} [%] | a_m [%] |
|---------------------------|----------------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| Seria 1 L10 C10 | 1762 | 29,5 | 37,8 | 21,5 |
| Mortar pe bază de ciment | 2245 | 14,4 | 10,8 | 4,8 |
| Beton obișnuit | 2330 | 7 | 3 | 1,3 |

Din studiul datelor prezentate în tabelul 5.8 se observă că porozitatea totală (P_t), porozitatea aparentă raportată la volum (P_{av}) și absorbția de apă (a_m), au înregistrat valori de 2-4 ori mai mari decât cele înregistrate pe un mortar pe bază de ciment sau beton obișnuit.

Porozitatea aparentă raportată la volum a înregistrat o valoare mai mare decât porozitatea totală. Acest fenomen s-a datorat apariției unor fisuri pe fața turnată a probelor, în urma uscării la o temperatură de aproximativ 105 °C. În timpul realizării testelor, prin fisuri a pătruns apă generând o creștere suplimentară a masei saturate și implicit o **sporire** a a_m și P_{av} . Aceste fisuri au apărut datorită diferenței de temperatură dintre suprafața probei ($T \approx 105$ °C) și interiorul probei ($T < 100$ °C) situație care a generat apariția unor forțe de întindere în planul suprafeței de turnare (fig. 5.26).

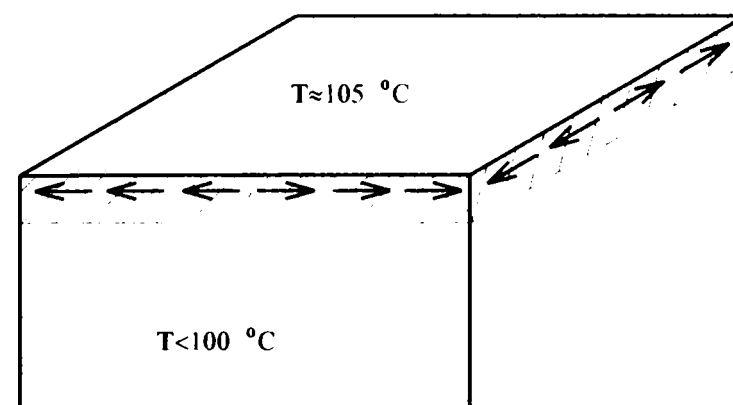


Figura 5.26

Deoarece aceste fisuri au apărut numai în zona suprafeței de turnare, alături de eforturile din diferență de temperatură s-au suprapus și cele generate de coeficienți de dilatare diferiți. Neuniformitatea coeficientului de dilatare termică a apărut datorită vibrației materialului, când la suprafața tiparului s-a concentrat mai multă parte fină în comparație cu restul probei.

În concluzie, pentru utilizarea în practică a acestor materiale, este necesară reducerea timpului de vibrare sau materialele să nu fie supuse la temperaturi mari concentrate pe suprafața de turnare.

5.3.5. Rezistența la îngheț-dezghet

Materialele au fost supuse la cicluri de îngheț-dezghet, conform STAS 3518-89, determinându-se pierderea de masă Δm și scăderea de rezistență ΔR_c . Condițiile impuse probelor pentru a putea trece la un ciclu următor de îngheț-dezghet a fost ca pierderea de masă să fie mai mică de 5% și să nu prezinte deteriorări vizibile.

Probele cercetate au avut formă prismatică cu dimensiunile de 40x40x160 mm.

Din cele 18 tipuri de materiale prezentate în tabelul 5.5 s-au supus la cicluri de îngheț-dezghet numai seriile prezentate în tabelul 5.9:

Tabelul 5.9

Amestecurile supuse la cicluri de îngheț-dezghet

| Apă = 20% Nisip = 40% | | Apă = 15% Nisip = 60% | |
|---|--------------------|---|--------------------|
| Seria 1: L10 C10; Seria 3: L20 C10; Seria 4: L10 C20; | Aditiv = FM 40 | Seria 6: L10 C10; Seria 8: L20 C10; Seria 9: L10 C20; | Aditiv = FM 40 |
| Seria 16: L10 C10 | Aditiv = Plaston 1 | Seria 17: L10 C10 | Aditiv = Plaston 1 |
| Obs. : Cantitatea de nisip este raportată la materialul uscat = $\Sigma(\text{Nisip} + \text{Lianți amestecați})$ | | | |

Scăderea de rezistență a amestecurilor după diferite cicluri de îngheț-dezghet se prezintă în tabelul 5.10.

Tabelul 5.10

Scăderea de rezistență a amestecurilor întărite,
după diferite cicluri de îngheț-dezghet

| COD | Număr de cicluri efectuate | R_{ti} , [N/mm ²] | R_{ti}^g , [N/mm ²] | R_c , [N/mm ²] | R_c^g , [N/mm ²] | ΔR_{ti} , [%] | ΔR_c , [%] |
|---|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Seria 1 L10 C10 | 40 | 2,76 | 1,81 | 30,01 | 13,70 | 34,4 | 54,3 (>25%) |
| Seria 3 L20 C10 | 50 | 2,50 | 4,02 | 32,56 | 29,83 | * | 8,4 (<25%) |
| Seria 4 L10 C20 | 45 | 2,57 | 2,80 | 20,68 | 30,88 | * | * |
| Seria 6 L10 C10 | 50 | 3,51 | 1,50 | 24,26 | 19,58 | 57,3 | 19,3 (<25%) |
| Seria 8 L20 C10 | 50 | 3,21 | 4,10 | 27,29 | 23,43 | * | 14,1 (<25%) |
| Seria 9 L10 C20 | 50 | 3,28 | 4,72 | 28,17 | 25,03 | * | 11,2 (<25%) |
| Seria 16 L10 C10 | 50 | 1,87 | 4,03 | 12,95 | 17,14 | * | * |
| Seria 17 L10 C10 | 50 | 2,57 | 4,02 | 15,16 | 19,95 | * | * |
| * = Nu au prezentat o scădere a rezistenței la întindere sau la compresiune | | | | | | | |

Determinările s-au efectuat în laboratorul din cadrul INCERC, filiala Timișoara.

După efectuarea a 20 cicluri de îngheț-dezghet nu s-au înregistrat pierderi de masă sau modificări de aspect, astfel că materialele cercetate îndeplinesc condițiile impuse de STAS 1137-68 privind plăcile din beton pentru pavaje.

Se observă că pentru majoritatea amestecurilor cercetate, se înregistrează chiar o creștere a rezistenței la întindere din încovoiere cuprinsă între 8,9% și 115,5% (excepție fac seria 1 și seria 6), fenomen care ar putea fi explicat prin faptul că, în urmă ciclurilor de îngheț-dezghet, apa pătrunde prin microfisurile care se formează în probe și hidratează granulele de cenușă care au avut rol de microagregat, formându-se noi structuri cu rezistență sporită. Materialele din seriile 3, 8, 9, 16 și 17 au înregistrat valori ale lui R_{ti} mai mari de 4,0 N/mm² (cerință pentru dalele pentru pavaje), sugerând ca probele să fie păstrate cât și să lucreze în condiții cu umiditate ridicată.

Același fenomen se înregistrează și pentru seria 17 și seria 18, privind rezistența la compresiune, acestea având în masa lor un volum mai mare de goluri decât celelalte materiale, datorită aditivului utilizat (un plastifiant utilizat pentru realizarea blocurilor de beton pentru zidărie).

Seria 4 deși înregistrează o creștere a rezistenței la compresiune, după efectuarea a 45 cicluri de îngheț-dezghet, prezintă deteriorări vizibile, caracterizate printr-o pierdere de masă ce depășește valoarea de 5% (fig. 5.27).

Centralizarea rezultatelor prin corelarea caracteristicilor obținute în urma determinărilor experimentale sunt prezentate în tabelul 5.11.

Tabelul 5.11

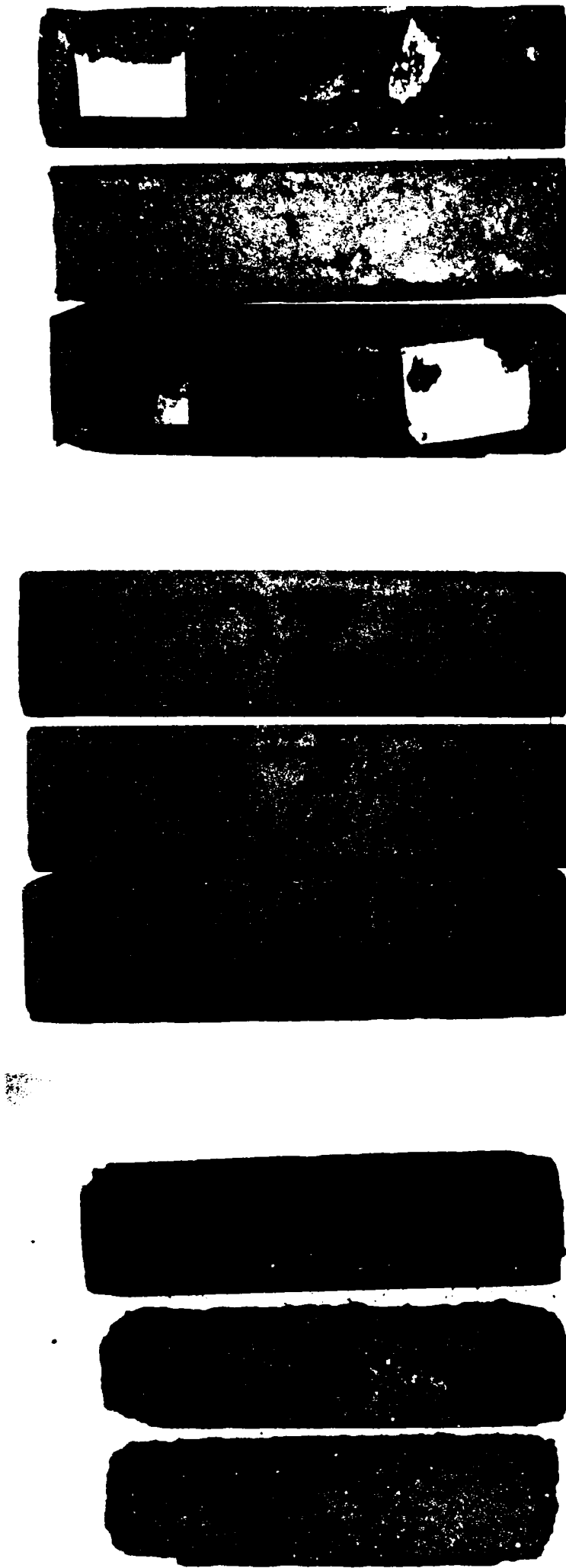
Comportarea la îngheț-dezghet a materialelor cercetate

| COD | Număr cicluri îngheț-dezghet efectuate | Pierdere de masă Δm , [%] | Scăderea de rezistență ΔR_c , [%] | Rezistența la îngheț-dezghet |
|---|--|-----------------------------------|---|------------------------------|
| Seria 1 L10 C10 | 40 | 10 (>5%) | 54,3 (>25%) | 35 cicluri |
| Seria 3 L20 C10 | 50 | * | 8,4 (<25%) | 50 cicluri |
| Seria 4 L10 C20 | 45 | 6,3 (>5%) | * | 40 cicluri |
| Seria 6 L10 C10 | 50 | * | 19,3 (<25%) | 50 cicluri |
| Seria 8 L20 C10 | 50 | * | 14,1 (<25%) | 50 cicluri |
| Seria 9 L10 C20 | 50 | * | 11,2 (<25%) | 50 cicluri |
| Seria 16 L10 C10 | 50 | * | * | 50 cicluri |
| Seria 17 L10 C10 | 50 | * | * | 50 cicluri |
| * = Nu au prezentat scădere de rezistență la compresiune sau pierdere de masă | | | | |

Scădere de rezistență mai mare de 25% a înregistrat numai seria 1.

Din amestecurile cercetate, o comportare satisfăcătoare privind rezistența la 50 de cicluri îngheț-dezghet, au prezentat-o seriile 3, 6, 8, 9, 16 și 17.

În fotografiile din figurile 5.27, 5.28 și 5.29 se prezintă starea probelor la finalul ciclurilor de îngheț-dezghet.

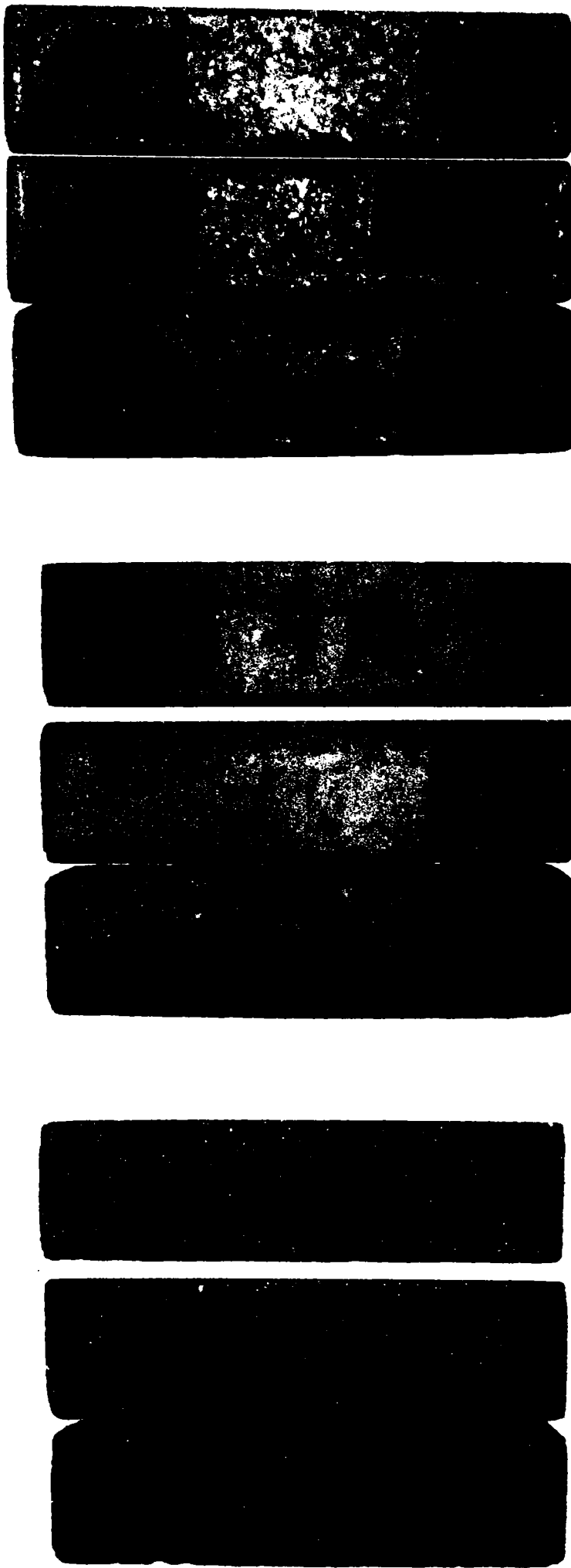


Seria 1 L10 C10
după 40 cicluri

Seria 2 L20 C10
după 50 cicluri

Seria 4 L10 C20
după 45 cicluri

Figura 5.27.

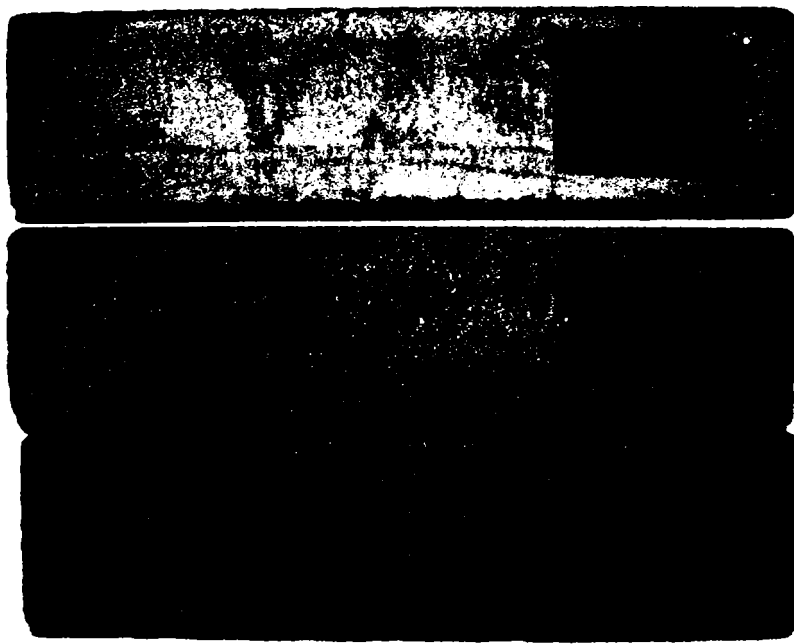


Seria 6 L10 C10
după 50 cicluri

Seria 8 L20 C10
după 50 cicluri

Seria 9 L10 C10
după 50 cicluri

Figura 5.28.



Seria 16 L10 :10
după 50 cicluri



Seria 17 L10 C10
după 50 cicluri

Figura 5.29

5.3.6. Constrația

S-au testat 3 tipuri de materiale: seria 1, seria 3 și seria 4, a căror compoziție este prezentată în tabelul 5.5.

Măsurarea constrației s-a făcut cu aparatura din figura 5.30 și în condițiile prezentate în paragraful 4.3.4.

Probele au avut formă prismatică, cu dimensiunile de 40×40×160 mm.



Figura 5.30

S-au înregistrat valorile temperaturilor și ale umidităților relative ale mediului de păstrare. Variația temperaturii, a umidității relative și a constrației, pe o perioadă de 28 zile, este prezentată în fig. 5.31.

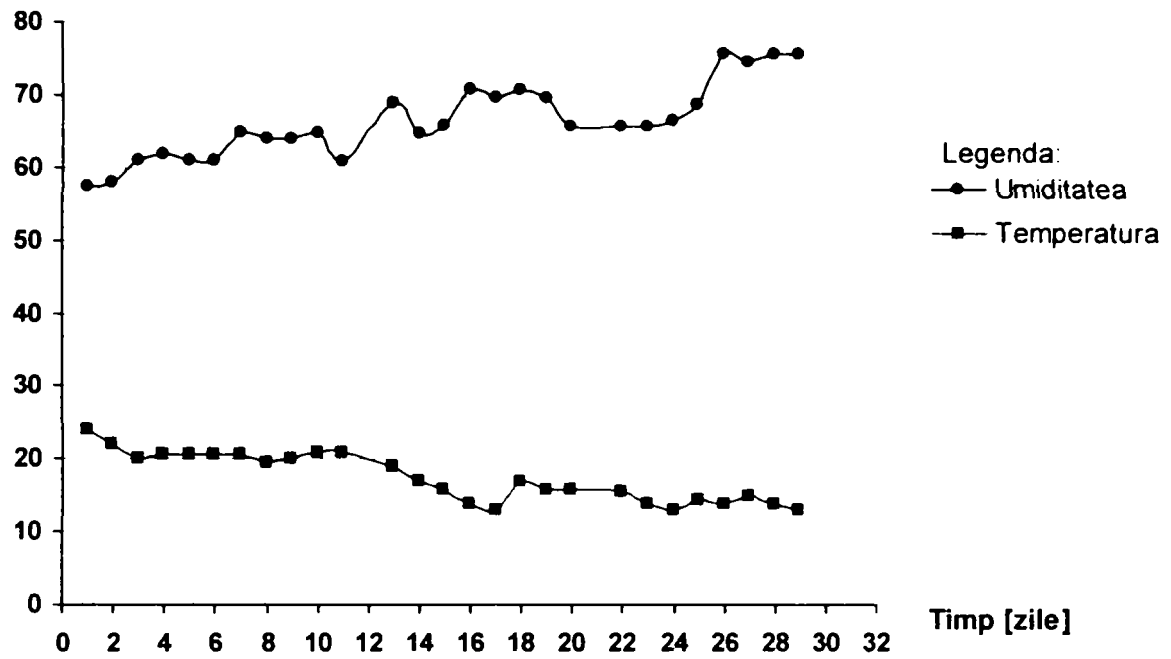
Valorile constrației la vârsta de 7, 14 și 28 zile sunt redată în tabelul 5.12.

Tabelul 5.12

Constrația materialelor cercetate și a unui beton de clasă C 32/40

| Tipul materialului | Constrația (mm/m) | | |
|----------------------------------|-------------------|------------|------------|
| | la 7 zile | la 14 zile | la 28 zile |
| Seria 1 L10 C10 | 0,72 | 0,91 | 0,92 |
| Seria 3 L20 C10 | 1,14 | 1,39 | 1,41 |
| Seria 4 L10 C20 | 1,01 | 1,21 | 1,22 |
| Beton obișnuit, de clasă C 32/40 | 0,220 | 0,324 | 0,416 |

Umiditatea relativă (%) și Temperatura (°C)



Contractia

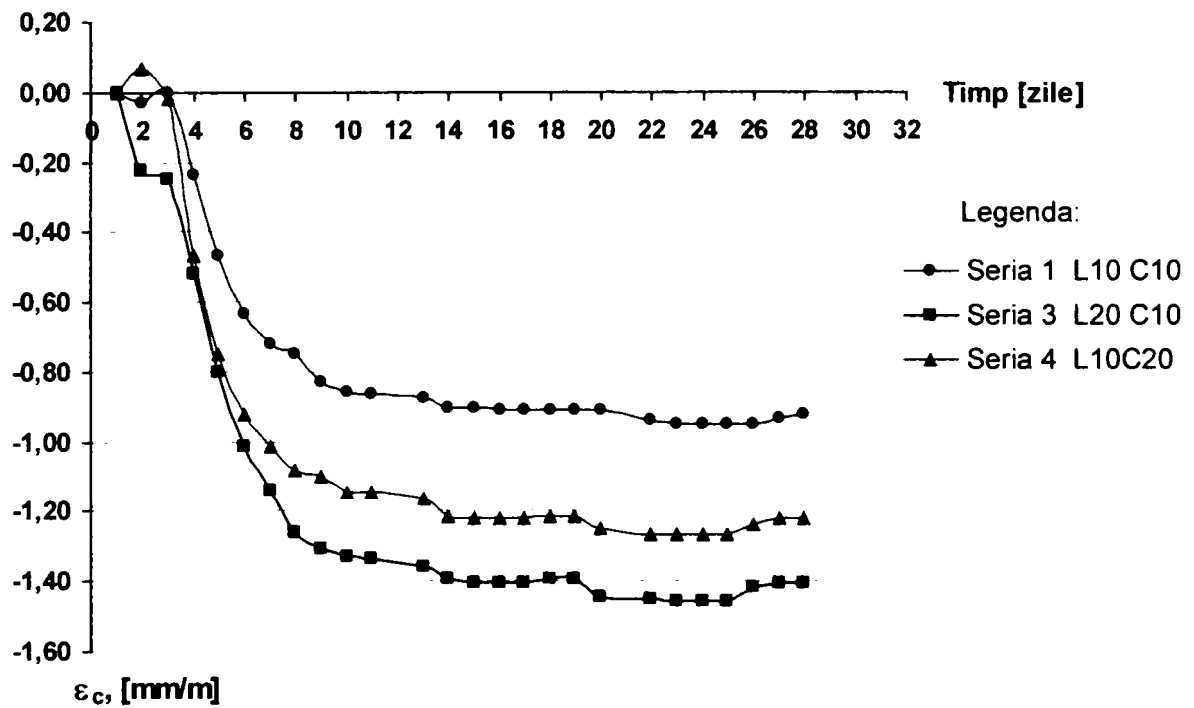


Figura 5.31

Contrațiile cele mai mari s-au înregistrat pentru seria 3 L20 C10, care a avut cel mai mare procent de var.

În primele zile de la testare, seria 1 L10 C10 și seria 4 L10 C20 au înregistrat și mici deformații de umflare.

Din studiul figurii 5.31 se poate observa că materialele prezintă contrații accentuate până la vârsta de 10 zile, în continuare ele stabilizându-se fiind influențate de variația temperaturii și a umidității relative a mediului de păstrare.

Valorile finale ale contrației, la 28 zile, sunt sub 1 mm/m pentru seria 1 L10C10 și peste 1 mm/m pentru seria 3 L20C10 și seria 4 L10 C20. Acestea sunt mai mari decât contrația betonului obișnuit și mai mici decât limita pentru mortarele obișnuite (≤ 2 mm/m).

5.3.7. Uzura

S-a determinat uzura materialului din **seria 1 L10 C10** conform metodologiei impuse de STAS 5200/9-1992.

Astfel, s-au realizat probe de formă cubică, turnate în tipare metalice cu latura de $70 \pm 0,7$ mm. Acestea s-au uscat până la masă constantă și s-au supus la frecare pe cale uscată cu ajutorul aparatului Böhme, utilizând ca material abraziv electrocorindon normal, granulația 10 ($63 \dots 160 \mu\text{m}$).

Valorile obținute pentru uzură și pentru rezistența la uzură a materialului cercetat cât și pentru un beton obișnuit de clasă C 32/40 (cu $R_c^{28\text{zile}} = 7,1 \text{ N/mm}^2$) sunt prezentate în tabelul 5.13.

Tabelul 5.13

Uzura și rezistența la uzură ale materialului din seria 1 L10 C10 și ale unui beton obișnuit de clasă C 32/40

| Proprietatea Material | U_1 (g/cm ²) | R_{U1} (cm ² /g) | U_2 (cm ³ /cm ²) | R_{U2} (cm ² /cm ³) | U_3 (mm) | R_{U3} (1/mm) |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--|---|----------------------|--------------------|
| Seria 1 L10 C10 | 0,88 | 1,14 | 0,49 | 2,04 | 4,9 (>1,3) | 0,20 |
| Beton obișnuit, de clasă C32/40 | 0,69 | 1,45 | 0,32 | 3,1 | 3,2 (>1,3) | 0,31 |

Din cercetarea datelor prezentate în tabelul 5.13 se observă că uzura (U_3) a materialului din seria 1 L10 C10 este cu 53,1% mai mare decât uzura unui beton obișnuit de clasă C 32/40 (beton care se poate utiliza la realizarea dalelor pentru pavaje), iar rezistența la uzură mai mică.

Uzura U_3 exprimată prin reducerea grosimii probelor ($l_{\text{inițial}} - l_{\text{final}}$), depășește valoarea de 1,3 mm admisă de STAS 5501-81, atât pentru materialul nou cercetat cât și pentru un beton obișnuit. Aceasta se datorează, în principal, utilizării de materiale fine în cantitate mare.

Pentru punerea în practică a materialelor pe bază de cenușă zburătoare ultrafină, este necesar a se îmbunătăți compoziția (cel puțin stratul de uzură) în vederea creșterii rezistenței la uzură sau utilizării acestui material în zone cu trafic redus.

5.3.8. Conductivitatea termică

Coeficientul de conductivitate termică s-a determinat pe probe cu dimensiuni de 15×15×4 cm din seria 1 L10 C10. Acestea s-au păstrat 7 zile în cutia cu aer umed și apoi în aer până la vârsta de 28 zile. Testarea s-a realizat în Laboratorul INCERC Filiala Timișoara, utilizând aparatul „ALMEMO 2290-8 Alhorn Mess und Regelungstechnik” și o procedură INCERC: PTE 3.5-5-4.

În urma determinărilor, a rezultat un coeficient de conductivitate termică $\lambda = 0,700$ W/m K. În tabelul 5.14 se prezintă conductivitatea termică a materialului cercetat comparativ cu cea pentru un mortar pe bază de ciment, un beton obișnuit, B.C.A., cărămidă plină și oțel (preluată din literatura de specialitate).

Tabelul 5.14

Coeficientul de conductivitate termică λ pentru diferite materiale

| Material / Proprietatea | Seria 1 L10 C10 | Mortar de ciment | Beton obișnuit | B.C.A. | Cărămidă ceramică plină | Oțel |
|-------------------------|-----------------|------------------|----------------|----------|-------------------------|------|
| λ , [W/m K] | 0,7 | 0,9-1,0 | 1,3-1,5 | 0,1-0,35 | 0,8-0,9 | 60 |

Se constată că materialul din seria 1 L10 C10 prezintă un coeficient de conductivitate termică asemănător cu cel al cărămizilor ceramice pline și mai mic decât cel al betoanelor obișnuite.

5.3.9. Comportarea în medii agresive (Salinitate)

S-au realizat probe de formă cubică, cu latura de 5 cm, cu material din seria 1 L10 C10. Acestea s-au păstrat în cutia cu aer umed până la vârsta de 28 zile, după care unele probe s-au

păstrat în aer timp de 2 luni și în cutia cu aer umed timp de 1 lună, iar celelalte probe s-au introdus într-o soluție salină de 35% concentrație (timp de 3 luni).

Materialul cercetat (seria 1) are un caracter bazic cu o valoare a pH-ului > 12 .

Recipientele s-au închis ermetic pentru a evita cristalizarea soluției de sare (figura 5.32).

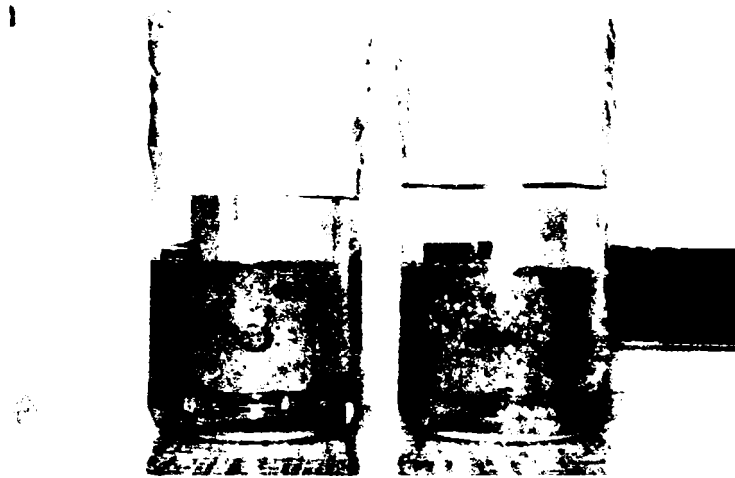


Figura 5.32

Rezistența la compresiune, la 28 zile, după o păstrare timp de 3 luni de zile se prezintă în tabelul 5.15.

Tabelul 5.15

Rezistența la compresiune după păstrarea timp de 3 luni în soluție salină

| Caracteristica | Materialul din seria 1 L10 C10 | | |
|----------------------------|--------------------------------|---|---|
| | la 28 zile | păstrare 1 lună în aer și 2 luni în cutia cu aer umed | păstrare în soluție salină timp de 3 luni |
| R_c [N/mm ²] | 30 | 16 | 28 |

În comparație cu valorile obținute la vârsta de 28 zile, probele păstrate și în aer cât și în mediu umed au o scădere de rezistență la compresiune de 46,7%, iar cele păstrate doar în mediu salin au o scădere de 6,7%. Se observă că materialele s-au comportat bine la păstrarea în medii cu umiditate ridicată în comparație cu cele păstrate alternant în mediu umed - aer. Probele care s-au păstrat, după vârsta de 28 zile, atât în aer cât și în mediu umed și-au îmbunătățit rezistențele în comparație cu cele păstrate doar în aer de la $R_c=5$ N/mm² (tabelul 5.7) până la $R_c=16$ N/mm²

Aspectul probelor după o perioadă de 4 luni se prezintă în figura 5.33.

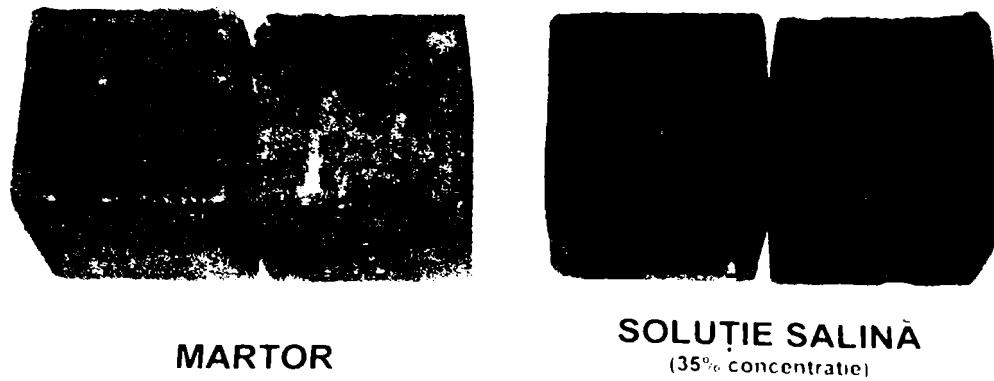


Figura 5.33

5.3.10. Studiu financiar informativ

S-a realizat un studiu financiar informativ privind prețul materialele cercetate, în €/m³, conform algoritmului următor:

Seria 1 L10 C10

| 1. Materii prime pentru 1 m ³ | UM | Pret/UM € | Cantitate | Cost € |
|--|-----------|--------------|------------|------------------------------|
| Ciment | sac 50 kg | 3,7 | 1,82 | 6,734 |
| Var | sac 25 kg | 2,1 | 3,63 | 7,623 |
| Apa | mc | 0,4 | 0,38 | 0,152 |
| Cenușă | tona | 3,2 | 0,73 | 2,336 |
| Nisip | mc | 9,8 | 0,42 | 4,116 |
| Superplastifiant | kg | 1,99 | 4,54 | 9,035 |
| TOTAL: | | | | 30,00 € |
| 2. Energie | | | 0,05×30,0 | 1,50 |
| 3. Manoperă directă | | | 2,7 | 2,7 |
| 4. Manoperă indirectă | | | 0,13×30,0 | 3,90 |
| 5. Uzura utilaje | | | 0,5 | 0,5 |
| TOTAL 1: | | | | 38,59 € |
| 6. Profit | | | 0,05×38,59 | 1,93 |
| TOTAL 2: | | | | 40,52 € |
| 7. TVA | | | 0,19×40,52 | 7,70 |
| TOTAL GENERAL: | | | | 48,22 €/m³ |

În tabelele 5.16÷5.19 și reprezentările grafice din figurile 5.34÷5.37 se prezintă costul (cu TVA), rezistența la compresiune R_c și coeficientul tehnico-economic $Cost/R_c$ pentru materialele cercetate, comparativ cu diferite materiale de construcții clasice.

Analiza economică efectuată conduce la următoarele concluzii:

a) Referitor la materialele din grupul G1. Au fost estimate la un cost cuprins între $48,22 \text{ €/m}^3$ și $63,96 \text{ €/m}^3$ (tabelul 5.16 și figura 5.34), care sunt mai mici cu $6,27 \text{ €/m}^3 \div 22,01 \text{ €/m}^3$ ($8,9\% \div 31,3\%$), comparat cu un beton de clasă C 20/25; cel mai mic cost s-a înregistrat pentru seria 1 L10 C10, cu 31,3% mai puțin decât costul unui beton de clasă C 20/25.

Tabelul 5.16

Costul estimativ și coeficientul $Cost/R_c$ pentru materialele din grupul G1

| Material | Grupul G1 | | | | | Beton C 16/20 | Beton C 20/25 |
|---|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | Seria 1 L10 C10 | Seria 2 L20 C5 | Seria 3 L20 C10 | Seria 4 L10 C20 | Seria 5 L25 C10 | | |
| Cost, €/m ³ (cu TVA) | 48,22 | 53,41 | 59,04 | 57,67 | 63,96 | 63,32 | 70,23 |
| R_c [N/mm ²] | 30,01 | 28,91 | 32,56 | 32,43 | 30,01 | 25,8 | 30,2 |
| $\frac{Cost}{R_c}$, [€/m ³ ×MPa] | 1,61 | 1,85 | 1,81 | 1,78 | 2,13 | 2,45 | 2,33 |

b) Referitor la materialele din grupul G2. Acestea au fost estimate la un cost cuprins între $44,64 \text{ €/m}^3$ și $51,98 \text{ €/m}^3$ (tabelul 5.17 și figura 5.35). Materialele din seria 8 L20 C10 și seria 9 L10 C20 au un cost mai mic cu $11,34 \text{ €/m}^3$ (17,9%), respectiv mai mic cu $14,32 \text{ €/m}^3$ (22,6%) în comparație cu costul unui beton de clasă C 16/20. Amestecurile din seria 6 L10 C10 și seria 7 L20 C5 au un cost mai mic cu $9,46 \text{ €/m}^3$ (17,5%), respectiv mai mic cu $6,54 \text{ €/m}^3$ (12,1%) în comparație cu costul unui beton de clasă C 12/15.

c) Referitor la materialele din grupul G3. Au fost estimate la un cost cuprins între $42,19 \text{ €/m}^3$ și $50,30 \text{ €/m}^3$ (tabelul 5.18 și figura 5.36). Seria 10 L10 C10 se poate realiza la un cost mai mic cu $5,01 \text{ €/m}^3$ (10,6%) în comparație cu un beton de clasă C 8/10, seria 11 L20 C5 cu un cost mai mic cu $3,80 \text{ €/m}^3$ (7,0%) în comparație cu un beton de clasă C 12/15, iar seria 12 L10 C20 cu un cost mai mic cu $14,3 \text{ €/m}^3$ (22,6%) în comparație cu un beton de clasă C 16/20.

Tabelul 5.17

Costul estimativ și coeficientul Cost /R_c pentru materialele din grupul G2

| Material | Grupul G2 | | | | Beton C 12/15 | Beton C 16/20 |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | Seria 6 L10 C10 | Seria 7 L20 C5 | Seria 8 L20 C10 | Seria 9 L10 C20 | | |
| Cost, €/m ³ (cu TVA) | 44,64 | 47,56 | 51,98 | 49,00 | 54,1 | 63,32 |
| R _c [N/mm ²] | 24,26 | 24,93 | 27,29 | 28,17 | 22,2 | 25,8 |
| $\frac{\text{Cost}}{R_c}$, [€/m ³ ×MPa] | 1,84 | 1,91 | 1,91 | 1,74 | 2,44 | 2,45 |

Tabelul 5.18

Costul estimativ și coeficientul Cost /R_c pentru materialele din grupul G3

| Material | Grupul G3 | | | Beton C 8/10 | Beton C 12/15 | Beton C 16/20 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | Seria 10 L10 C10 | Seria 11 L20 C10 | Seria 12 L10 C20 | | | |
| Cost, €/m ³ (cu TVA) | 42,19 | 50,30 | 49,02 | 47,2 | 54,1 | 63,32 |
| R _c [N/mm ²] | 19,01 | 22,75 | 27,83 | 17,7 | 22,2 | 25,8 |
| $\frac{\text{Cost}}{R_c}$, [€/m ³ ×MPa] | 2,22 | 2,21 | 1,76 | 2,67 | 2,44 | 2,45 |

d) **Referitor la materialele din grupul G4** Acestea au fost estimate la un cost cuprins între 37,47 €/m³ și 49,13 €/m³ (tabelul 5.19 și figura 5.37). Seria 13 L10 C10 se poate realiza la un cost mai mare cu 1,93 €/m³ în comparație cu un beton de clasă C 8/10, fiind dezavantajoasă prin prisma acestui considerent. Seria 14 L10 C10 se poate realiza la un cost mai mic cu 5,73 €/m³ (12,1%) în comparație cu un beton de clasă C 8/10. Seriile 16, 17 și 18 au un cost mai mic cu valori cuprinse între 7,68 €/m³÷9,53 €/m³ (16,5%÷20,4%) în raport cu costul unui beton de clasă C 6/7,5 sau mai mic cu 14,08 €/m³÷18,43 €/m³ (25,3%÷33,2%) în raport cu costul unui mortar M 100.

Tabelul 5.19

Costul estimativ și coeficientul Cost /R_c pentru materialele din grupul G4

| Material | Grupul G4 | | | | | Mortar M 100 | Blocuri de beton | Beton C 6/7,5 | Beton C 8/10 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------------|
| | Seria 13 L10 C10 | Seria 14 L10 C10 | Seria 16 L10 C10 | Seria 17 L10 C10 | Seria 18 L20 C10 | | | | |
| Cost, €/m ³ (cu TVA) | 49,13 | 41,47 | 38,97 | 37,47 | 37,12 | 55,55 | 39,3 | 46,65 | 47,2 |
| R _c [N/mm ²] | 20,87 | 20,01 | 12,95 | 15,16 | 17,1 | 14,4 | 11,0 | 13,0 | 17,7 |
| $\frac{\text{Cost}}{R_c}$, [€/ (m ³ × MPa)] | 2,35 | 2,07 | 3,01 | 2,47 | 2,17 | 3,61 | 3,57 | 3,59 | 2,67 |

*
* *

Dacă s-ar realiza blocuri de zidărie pline cu material din seria 16 și seria 17, costul ar fi asemănător cu cel al blocurilor de zidărie din beton greu.

În concluzie, putem spune că pentru valori ale rezistenței la compresiune asemănătoare, se realizează reduceri apreciable de cost în comparație cu betonul greu obișnuit, unele materiale realizând economii de până la 30% (seria 1 L10 C10 și seria 18 L10 C10).

Din analiza coeficienților tehnico-economici (Cost/R_c) se pot extrage concluziile de mai jos:

1) Referitor la materialele din grupul G1: acestea prezintă o îmbunătățire cu 0,72 €/ (m³ × MPa) reprezentând 44,7% (seria 1 L10 C10 în comparație cu betonul greu de clasă C 20/25), până la 0,20 €/ (m³ × MPa) adică 9,4% (seria 5 L25 C10 în comparație cu betonul greu de clasă C 20/25).

Se observă că la sporirea cantității de liant clasic (var sau ciment) crește prețul de cost raportat la rezistența la compresiune.

2) Referitor la materialele din grupul G2: acestea prezintă o îmbunătățire cu 0,71 €/ (m³ × MPa) reprezentând 40,8% (seria 9 L10 C20 în comparație cu betonul greu de clasă C 16/20), până la 0,53 €/ (m³ × MPa) adică 27,7% (seria 7 L20 C5 în comparație cu betonul greu de clasă C 12/15). Seria 9 L10 C20 a înregistrat cel mai mic coeficient tehnico-economic, deși s-a sporit cantitatea de liant clasic cu 10% ciment (din suma lianților amestecați) în comparație cu seria 6 L10 C10.

3) Referitor la materialele din grupul G3: acestea prezintă o îmbunătățire cu 0,69 €/ (m³ × MPa) (28,2%) pentru seria 12 L10 C20 în comparație cu betonul greu de clasă C 16/20,

cu 0,45 €/($m^3 \times MPa$) (16,9%) pentru seria 10 L10 C10 în comparație cu betonul greu de clasă C 8/10, cu 0,23 €/($m^3 \times MPa$) (9,4%) pentru seria 11 L20 C10 în comparație cu betonul greu de clasă C 12/15. Seria 12 L10 C20 a înregistrat cel mai mic coeficient tehnico-economic, deși s-a sporit cantitatea de liant clasic cu 10% ciment (din suma lianților amestecați) în comparație cu seria 10 L10 C10.

4) Referitor la materialele din grupul G4, acestea prezintă o îmbunătățire cu 0,60 €/($m^3 \times MPa$) (22,5%) pentru seria 14 în comparație cu betonul greu de clasă C 8/10. Seria 18 a înregistrat cel mai mic coeficient $Cost/R_c$, cu o reducere de 1,42 €/($m^3 \times MPa$) (39,6%) în comparație cu betonul greu de clasă C 6/7,5, de 1,44 €/($m^3 \times MPa$) (40,0%) în comparație cu mortarul M100 și de 1,29 €/($m^3 \times MPa$) reprezentând 37,3% în comparație cu blocurile de zidărie din betonul greu.

*
* *

În concluzie, în urma studierii coeficientului tehnico-economic al materialele cercetate se constată că:

- acestea prezintă un coeficient mai mic decât materialele de construcții clasice (beton greu, mortare, blocuri de zidărie din beton greu);
- cei mai mici coeficienți se obțin atunci când sporirea liantului clasic se face cu ciment.

Cost - R_c
pentru materialele din grupul G1

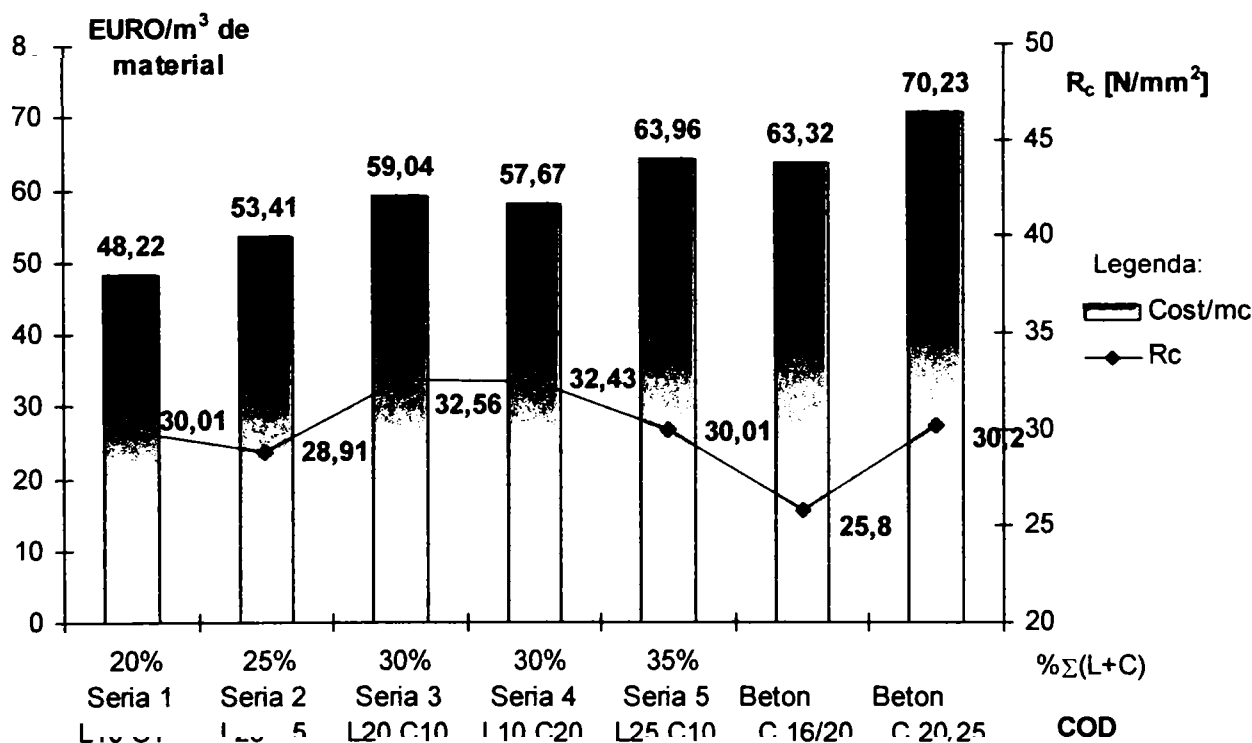


Figura 5.34

**Cost - Rc
pentru materialele din grupul G2**

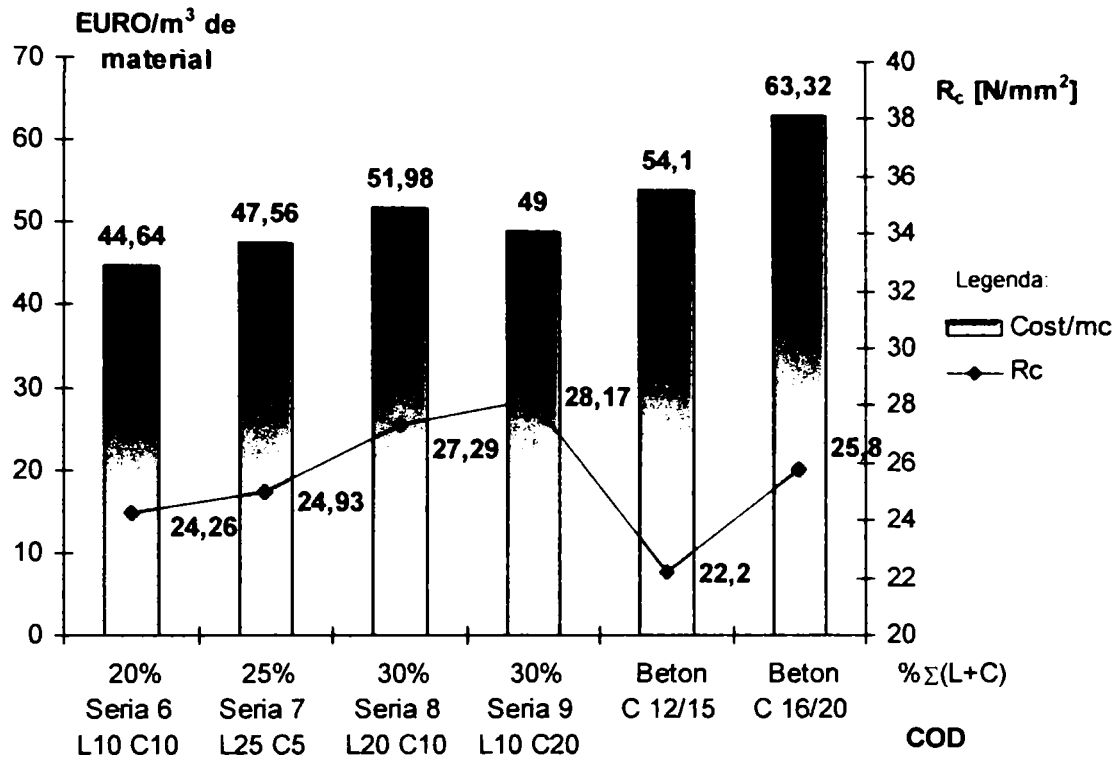


Figura 5.35

**Cost - Rc
pentru materialele din grupul G3**

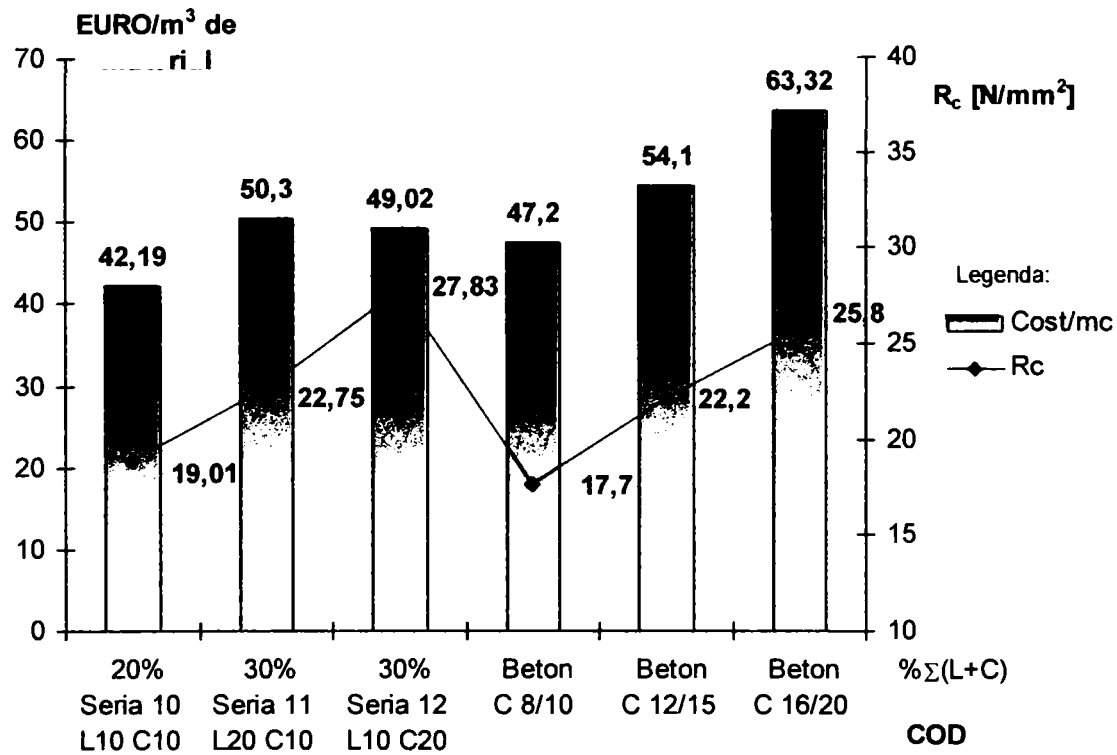


Figura 5.36

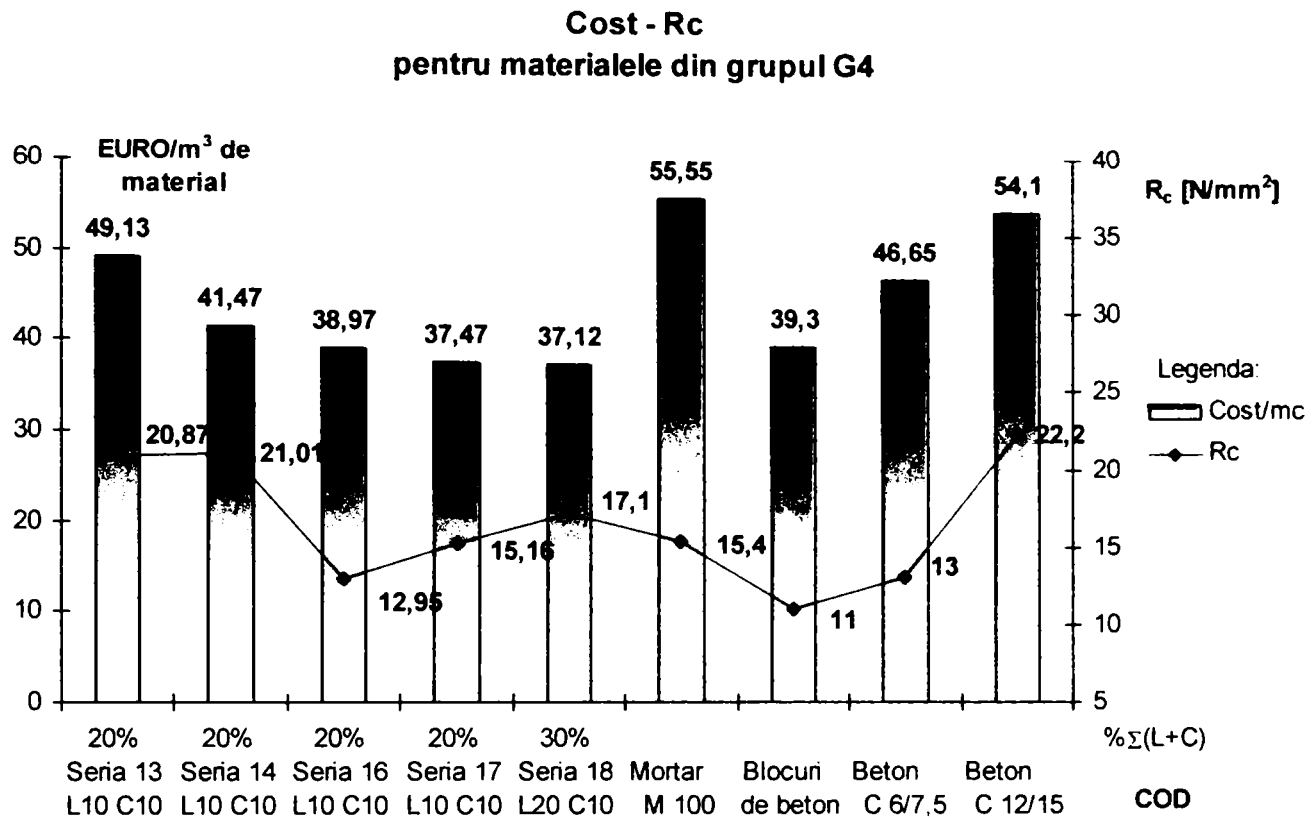


Figura 5.37

5.3.11. Radioactivitatea materialelor cercetate

În ceea ce privește radioactivitatea materialelor cercetate s-a determinat nivelul concentrațiilor radionuclizilor ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K pentru amestecul din seria 1 L10 C10, la Institutul de Sănătate Publică din Timișoara.

Depășiri ale valorilor maxime s-a înregistrat pentru $^{226}\text{Ra}=108,8$ Bq/kg (maxim admis 100 Bq/kg corespunde cărămizilor).

Pentru realizarea dalelor pentru pavaje se poate obține un aviz favorabil utilizării, pentru elemente de zidărie este nevoie de reducerea cantității de cenușă zburătoare ultrafină (amestecurile să aibă liant clasic mai mare de 20%).

5.3.12. Concluzii generale

Performanțele tehnico-economice ale materialelor cercetate realizate pe bază de cenușă zburătoare ultrafină comparate cu unele materiale de construcții clasice se prezintă în tabelul 5.20.

Tabelul 5.20

Performanțele tehnice ale materialelor studiate comparativ cu materialele de construcții clasice

| Proprietatea | Materiale clasice: | | | | Materiale noi |
|--|--------------------|--------------|-------------------|------------|---------------|
| | Beton obișnuit | Mortar M 100 | Cărămizi ceramice | B.C.A. | |
| Densitatea [kg/m ³] | 2300...2400 | 1860 | 1300...1800 | 300...1200 | 1400...1940 |
| Rezistența la întindere [N/mm ²] | 2...4 | 2...4 | 1,5...2,1 | 0,7...1,2 | 2-4 |
| Rezistența la compresiune [N/mm ²] | 25...60 | 15,4 | 5...20 | 2,5...5 | 15...30 |
| Contractie [mm/m] | 0,3...0,8 | ≤2 | - | 0,25...0,5 | 0,92...1,41 |
| Conductivitate termică [W/m K] | 1,3... 1,5 | 0,9...1,0 | 0,4...0,8 | 0,2...0,3 | 0,7 |
| Uzura [mm] | 2,3...3,4 | - | - | - | 4,8 |
| Absorbția de apă [%] | 1...6 | 4,8 | ≤20 | ≤45 | 21,5 |
| Rezistența la îngheț-dezghet [nr. cicluri] | 50...150 | >15 | >25 | >15 | 35...50 |
| Cost, [€/m ³] (fără TVA) | 46,7...70,2 | 55,55 | 108,6 | 61,7 | 37,2...64,0 |

Caracteristicile fizico-mecanice sunt asemănătoare betoanelor grele obișnuite și cărămizilor ceramice.

Materialele cercetate sunt recomandate a se utiliza la realizarea dalelor pentru pavaje (elemente de dimensiuni mici).

Datorită utilizării cenușii zburătoare în cantitate mare, materialele obținute necesită a se păstra și utiliza în medii umede.

În tabelul 5.21 se prezintă un studiu economic informativ pentru dale de pavaj de tip ciocan și de tip treflă în comparație cu cele clasice realizate din beton greu obișnuit.

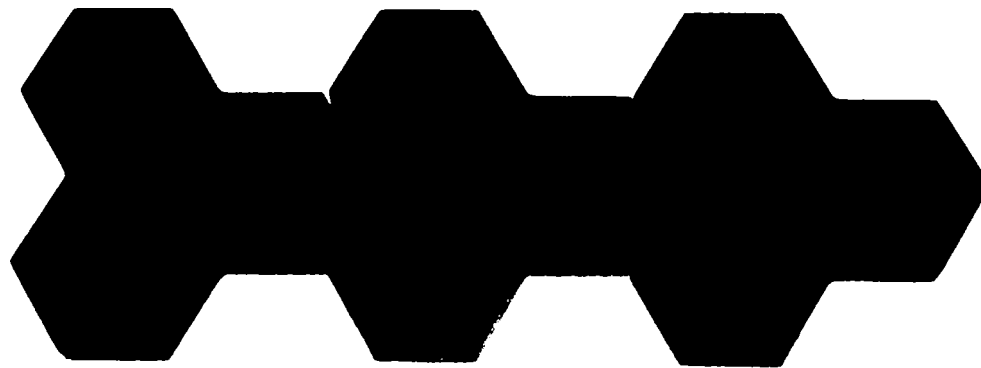
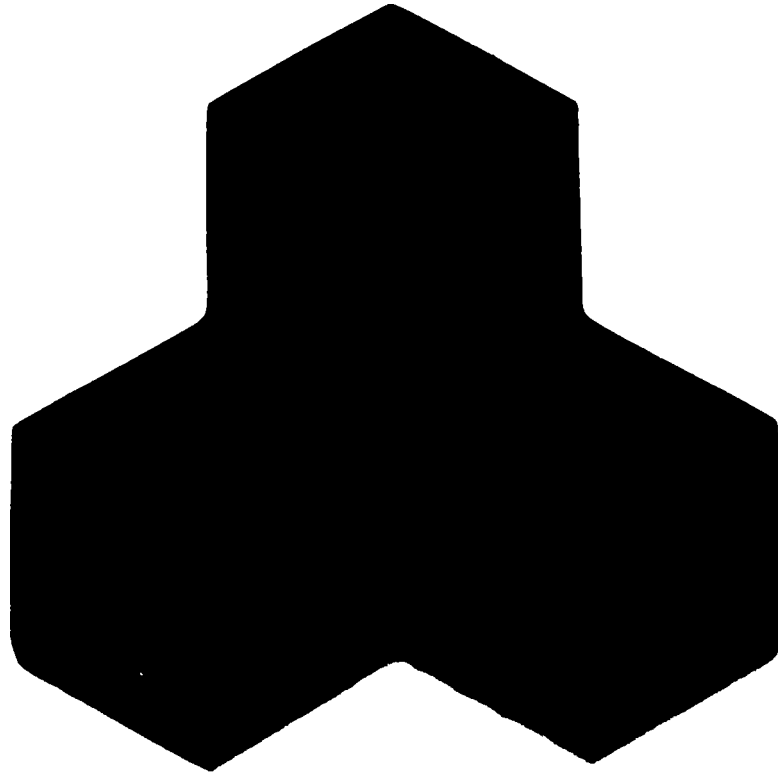
Tabelul 5.21

Studiu economic informativ pentru dale de pavaj realizate cu materiale cercetate

| Tipul dalei | | Preț, €/m ² | Economie | |
|-------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|------|
| Forma | Material | | [€/m ²] | [%] |
| Ciocan, 6 cm grosime | beton greu | 7,24 | - | - |
| | seria 1 L10 C10 | 3,02 | 4,22 | 58,3 |
| | seria 3 L20 C10 | 3,69 | 3,55 | 49,0 |
| Treflă, 4 cm grosime | beton greu | 6,95 | - | - |
| | seria 1 L10 C10 | 2,01 | 4,94 | 71,1 |
| | seria 3 L20 C10 | 2,46 | 4,49 | 64,6 |

Se obține o economie de până la 71,1% pentru dalele de pavaj tip fagure și de până la 58,3% pentru dalele de pavaj tip ciocan, în comparație cu cele realizate din beton greu obișnuit.

Tipuri de dale pentru pavaje realizate cu materialele din seria 1 L10 C10, se prezintă în imaginile următoare:



Capitolul 6

CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

CONCLUZII:

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

Reintroducerea în circuitul economic a deșeurilor industriale reprezintă o problemă actuală care preocupă specialiștii din toate țările întrucât implicările tehnice și economice sunt deosebit de mari.

Pentru România aceasta este o problemă care se înscrie în contextul general al preocupărilor pe plan mondial, dar are și caracterul specific al necesității integrării în Uniunea Europeană, capitolul de protecția mediului fiind unul de mare importanță și care nu a fost definitivat la această oră.

Teza de doctorat prezentată a avut ca obiectiv principal utilizarea, la fabricarea materialelor de construcții, a deșeurilor industriale și cu precădere s-a focalizat asupra folosirii cenușii de termocentrală, materialul re folosibil care se regăsește în cantitate mare și nefolosită, în aproape toate zonele țării.

Pe baza studiului și determinărilor efectuate s-a ajuns la concluzia că utilizarea cenușii de termocentrală devine eficientă din punct de vedere tehnic și economic atunci când se utilizează și lianții clasici, var și ciment, în prezența cărora ea conferă amestecului proprietățile cimentoide care le posedă.

Utilizarea ca și adausuri suplimentare a aditivilor superplastifianți, silice ultrafină, fosfogips și sticlă solubilă conferă amestecurilor realizate proprietăți fizico-mecanice superioare față de produsele la care acestea nu au fost folosite (rezistențe mecanice, îngheț-dezgheț, densitate).

Folosirea lianților amestecați constând din cenușă și lianți clasici (var+ciment) în amestecul de tipul mortarelor a condus la ameliorarea rezistențelor mecanice (R_{ti} , R_c) și a rezistenței la îngheț-dezgheț în comparație cu pastele constituite numai din lianți amestecați și apă.

Cercetările experimentale au fost efectuate pe 3 tipuri de stări ale cenușii de termocentrală: lichid dens (șlam), cenușă zburătoare, cenușă zburătoare ultrafină; rezultatele privind caracteristicile materialelor noi sunt influențate de starea cenușii în momentul utilizării.

Materialele realizate pe bază de șlam dens, component rezultat prin amestecarea cenușii cu apa în raport masic 1:1 și realizat cu o instalație specială, au caracteristicile mecanice asemănătoare cu cele ale cărămizilor și BCA, putând fi utilizate la zidării neportante și portante, economiile realizate fiind de până la 45% în raport cu materialele clasice.

Acest material poate fi utilizat în afară de zidării și la infrastructura drumurilor sau stabilizarea haldelor.

Materialele realizate pe bază de cenușă de electrofiltru au avut în componență, atât cenușă de termocentrală, lianții clasici cât și silice ultrafină, fosfogips, superplastifianți.

Din aceste amestecuri s-au obținut materiale care se pot încadra în categoria mortarelor obișnuite, betoane ușoare compacte cu rezistențe mari, care pot fi încadrate în clasa C20/25 (amestecurile bazate pe cenuși zburătoare cu fosfogips sau silice ultrafină); în plus la aceste tipuri de material rezistența la întinderea din încovoiere are valori ridicate, de aproximativ 7 N/mm^2 .

Amestecurile obținute numai cu cenușă zburătoare ultrafină, lianți clasici și superplastifiant se caracterizează prin proprietăți tehnice și costuri avantajoase în comparație cu alte materiale de construcții clasice: au densități (implicit și λ) comparabile cu produsele ceramice, în schimb rezistența mecanică, inclusiv gelivitatea sunt de același ordin de mărime cu ale betoane grele obișnuite. Pe de altă parte costurile de producție ale acestor materiale sunt mai avantajoase în comparație cu materialele clasice analizate.

Aceste materiale sunt deosebit de eficiente pentru dale de pavaj la care economiile obținute ajung la 50-70% comparativ cu cele realizate din beton greu.

Între dezavantajele acestor tipuri de materiale (cu cenușă de termocentrală în cantitate mare) rezultate atât din cercetări proprii cât și din literatura de specialitate se amintesc:

- variabilitatea caracteristicilor tehnice ale cenușilor rezultate din arderea cărbunilor de diferite proveniențe, face ca proprietățile materialelor să nu fie constante;
- necesitatea conservării în medii cu umiditate ridicată a materialelor de construcții realizate cu cenușă de electrofiltru;
- pentru cele mai multe dintre materialele cercetate comportarea la îngheț-dezghet și la umezire-uscare este deficitară.

CONTRIBUȚII PERSONALE:

1. Sistematizarea datelor din literatura de specialitate privind unele deșeuri industriale.
2. Conceperea unui model de stabilire a compoziției materialelor cu lianți amestecați.
3. Inițierea și realizarea unui program experimental vast de creare a unor noi materiale de construcții bazate pe utilizarea deșeurilor industriale. Au fost preparate, încercate și interpretate 656 epruvete (> 2000 determinări efectuate).
4. Obținerea unor materiale de construcții noi competitive bazate pe deșeuri industriale.
5. Propunerea unor indici tehnici și economici de caracterizare a performanțelor materialelor noi cercetate.
6. Stabilirea pe baza proprietăților tehnice și a costurilor de producție a unor domenii posibile de utilizare a materialelor noi de construcții realizate.

Valorificarea rezultatelor cercetării s-a făcut prin:

- participarea la programul internațional COPERNICUS cu realizarea și susținerea în fața colaboratorilor din străinătate a unui număr de 6 rapoarte de cercetare;
- participarea în colectivul de cercetare la 3 Granturi (cu tema în domeniul tezei) derulate pe o perioadă de 6 ani dintre care la 1 contract am fost director;
- publicarea a 7 lucrări în volumele unor manifestări științifice;
- participarea la 2 contracte de cercetare cu terți (cu tema în domeniul tezei).

BIBLIOGRAFIE

1. I. Teoreanu, V. Moldovan, M. Georgescu ș. a. - Bazele fizico-chimice ale întăririi lianților organici, Editura Tehnică și pedagogică, București, 1972
2. I. Emanoil Popescu - Materiale de construcții din deșeuri industriale, Editura Tehnică, București, 1974
3. I. Teoreanu - Bazele Tehnologiei lianților, Editura Tehnică, București 1975
4. N. Lazăr - Cenușă de termocentrală în construcții, Editura Ceres, București, 1978
5. N. Voina - Teoria și practica utilizării cenușilor de la centralele termoelectrice, Editura Tehnică București, 1981
6. C. Avram, C. Bob - Noi tipuri de betoane speciale, Editura Tehnică. București, 1981
7. I. Teoreanu, L. Nicolescu - Mase din cenuși de la centralele termoelectrice, var hidratat și fosfogips, Revista Materiale de construcții, Nr. 3, 1983
8. Aurel Șt. G. - Încercările mortarului, betonului și materialelor componente, Editura Tehnică, București, 1983
9. L. Groll ș. a. - Materiale de construcții. Bazele fizico-mecanice ale studiului materialelor de construcții, Editura Rotaprint, I.P. Iași, 1985
10. L. Groll, I. Hîrhui, A. Radu - Materiale de construcții, I. P. Iași, 1988
11. M. K. Gopalan and M. N. Haque - Effect of Curing Regime on the Properties of Fly-Ash Concrete, ACI Materials Journal, vol. 94, nr. 1, 1987
12. Mohammed Maslehuddin, Huseyin Saricimen, and Abdulazizi Al-Mani - Effect of Fly Ash Addition on the Corrosion Resisting Characteristics of Concrete , ACI Materials Journal, vol. 84, nr. 1, 1987
13. Ramon L. Carrasquillo and Peter G. Snow - Effect of Fly Ash on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, ACI Materials Journal, vol. 84, nr. 4, 1987
14. A. A. Al-Manseer, M. D. Haug, and K. W. Nasser - Compressive Strength of Concrete Containing Fly Ash, Brine, and Admixtures, ACI Materials Journal, vol. 85, nr. 2, 1988
15. M. N. Hague, R. L. Day, and B. W. Langan - Realistic Strength of Air-Entrained Concretes With and Without Fly Ash, ACI Materials Journal, vol. 85, nr. 4, 1988
16. Mohammed Maslehuddin et al. - Effect of Sand Replacement on the Early-Age Strength Gain and Long-Term Corrosion-Resisting Characteristics of Fly Ash Concrete, ACI Materials Journal, vol. 86, nr. 1, 1989
17. Tarun R. Naik and Bruce W. Ramme - High-Strength Concrete Containing Large Quantities of Fly Ash, ACI Materials Journal, vol. 86, nr. 2, 1989
18. Jan Olek and Sidney Diamond - Proportioning of Constant Paste-Composition Fly Ash Concrete Mixes, ACI Materials Journal, vol. 86, nr. 2, 1989
19. Irassar, F. and Batic, O. - Effects of low calcium fly ash on sulfate resistance of opc cement, Cement and Concrete Research, Vol. 19, No. 2, 1989
20. Tarun R. Naik and Bruce W. Ramme - Effects of High-Lime Fly Ash Content on Water Demand, Time of Set, and Compressive Strength of Concrete, ACI Materials Journal, vol. 87, nr. 6, 1990

21. M. M. Alasali and V. M. Malhotra - Role of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash in Controlling Expansion due to Alkali-Aggregate Reaction, *ACI Materials Journal*, vol. 88, nr. 2, 1991
22. V. Sivasundaram, G. G. Carette, V. M. Malhotra - Mechanical Properties, Creep, and Resistance to Diffusion of Chloride Ions of Concretes Incorporating High Volumes of ASTM Class F Fly Ashes from Seven Different Sources, *ACI Materials Journal*, vol. 88, nr. 4, 1991
23. C. Bob, I. Buchman, M. Rosu, C. Rosu, A. Ilca, E. Jebelean - *Chimie și Materiale de construcții, Îndrumator de laborator*, U. T. Timisoara, 1991
24. M. N. Haque, O. A. Kayyalil, and M. K. Gopalan - Fly Ash Reduces Harmful Chloride Ions in Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 89, nr. 3, 1992
25. M. N. Haque and M. Kawamura - Carbonation and Chloride-Induced Corrosion of Reinforcement in Fly Ash Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 89, nr. 1, 1993
26. P. J. Tikalsky and R. L. Carrasquillo - Influence of Fly Ash on the Sulfate Resistance of Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 89, nr. 1, 1993
27. M. K. Gopalan - Nucleation and Pozzolanic Factors in Strength Development of Class Fly Ash Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 90, nr. 2, 1993
28. G. G. Carette et al. - Mechanical Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash From Sources in the U.S., *ACI Materials Journal*, vol. 90, nr. 6, 1993
29. P. J. Tikalsky and R. L. Carrasquillo - Fly Ash Evaluation and Selection for Use in Sulfate-Resistant Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 90, nr. 6, 1993
30. Schlorholtz, S. and Bergeson, K. L. - Evaluation of the chemical durability of iowa fly ash concretes, Final Report, Engineering Research Institute, Iowa State University, Ames, IA, 1993
31. Bilodeau, A., Sivasundaram, V., Painter, K. E., and Malhotra, V. M. - Durability of concrete incorporating high volumes of fly ash from sources in the U.S, *ACI Materials Journal*, Jan-Feb 1994, Vol. 91, No. 1
32. Bisillon, A., Rivest, M., and Malhotra, V. M. - Performance of high-volume fly ash concrete in large experimental monoliths, *ACI Materials Journal*, 1994, Vol. 91, No. 2
33. W. S. Langley, G. G. Carette, and V. M. Malhotra - Strength development and temperature rise in large concrete blocks containing high volumes of low-calcium (ASTM Class F) fly ash, *ACI Materials Journal*, vol. 96, nr. 4, 1994
34. Ozyildirim, C. and Halstead, W. J. - Improved concrete quality with combinations of fly ash and silica fume, *ACI Materials Journal*, Vol. 91, No. 6, 1994
35. Nasser, K. W. and Ghosh, S. - Durability properties of high strength concrete containing silica fume and lignite fly ash, American Concrete Institute, Proceedings of the Third International Conference, 1994
36. Naik, T. R., Singh, S. S., and Hossain, M. M. - Abrasion resistance of concrete as influenced by inclusion of fly ash, *Cement and Concrete Research*, Vol. 24, No. 2, 1994
37. Bilodeau, A. and Malhotra, V. M. - High-performance concrete incorporating large volume of astm class f fly ash, Proceedings of ACI International Conference, Singapore, 1994
38. I. Buchman - Materiale componente și unele caracteristici ale betoanelor înalt performante, *Revista Materiale de c-ții*, nr. 4, București, 1994
39. Celik Ozyildirim and Woodrow J. Halstead - Improved Concrete Quality with Combinations of Fly Ash and Silica Fume, *ACI Materials Journal*, vol. 91, nr. 6, 1995
40. Reed B. Freeman and Ramon L. Carrasquillo - Adjustments in Gypsum Content for the Production of Sulfate-Resistant Blended Cements Containing High-Calcium Fly Ash, *ACI Materials Journal*, vol. 92, nr. 4, 1995

41. Tarun R. Naik, Shiw S. Singh, and Mohammad M. Hossain - Abrasion Resistance of High-Strength Concrete Made with Class C Fly Ash, *ACI Materials Journal*, vol. 92, nr. 6, 1995
42. Tarun R. Naik, Bruce W. Ramme, and John H. Tews - Pavement Construction with High-Volume Class C and Class F Fly Ash Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 92, nr. 2, 1995
43. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, M. Rosu, C. Rosu - *Materiale de constructii*, volumul I, U.T. Timisoara, 1995
44. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, M. Rosu, C. Rosu - *Materiale de constructii*, volumul II, U.T. Timisoara, 1995
45. I. Buchman - Metodă pentru stabilirea compoziției betoanelor înalt performante, *Revista Materiale de c-ții*, nr. 1, București, 1995
46. Abdurahman Alhozaimy, Parviz Soroushian, and Faiz Mirza - Effects of Curing Conditions and Age on Chloride Permeability of Fly Ash Mortar, *ACI Materials Journal*, vol. 93, nr. 1, 1996
47. Dan Ravina - Effect of Prolonged Mixing on Compressive Strength of Concrete with and without Fly Ash and/or Chemical Admixtures, *ACI Materials Journal*, vol. 93, nr. 5, 1996
48. Sujit Ghosh and Karim W. Nasser - Effects of High Temperature and Pressure on Strength and Elasticity of Lignite Fly Ash and Silica Fume Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 93, nr. 1, 1996
49. R. N. Krishna - Dispersing Action of a Superplasticizer with Different Grades of Cements and Fly Ash, *ACI Materials Journal*, vol. 93, nr. 4, 1996
50. M. Rujan, Livia Ingrid Groll - *Materiale de construcții*, Iași, 1996
51. I. Buchman, E. Jebelean, C. Bob, - Cercetări de laborator privind utilizarea cenușii de termocentrală Volumul II al Conf. Știința și Tehnologia Materialelor CONSILOX VII, cu participare internațională, Constanța, 1996
52. Tarun R. Naik and Shiw S. Singh - Influence of Fly Ash on Setting and Hardening Characteristics of Concrete Systems, *ACI Materials Journal*, vol. 94, nr. 5, 1997
53. I. Buchman - Beton de înalte performanțe realizat cu silice ultrafină și aditiv superplastifiant *Revista Materiale de c-ții*, nr. 4, București, 1997
54. I. Buchman - Caracteristici fizice și mecanice ale unor amestecuri de ipsos și cenuși de termocentrală, Volumul Simpozion "Materiale, elemente și structuri compozite ptr. construcții", Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1997
55. Eric R. Berg and John A. Neal - Concrete Masonry Unit Mix Designs Using Municipal Solid Waste Bottom Ash, *ACI Materials Journal*, vol. 95, nr. 4, 1998
56. Tarun R. Naik, Shiw S. Singh, And Bruce W. Ramme - Mechanical Properties and Durability of Concrete Made with Blended Fly Ash, *ACI Materials Journal*, vol. 95, nr. 4, 1998
57. Caijun Shi - Pozzolanic Reaction and Microstructure of Chemical Activated Lime-Fly Ash Pastes, *Materials Journal*, vol. 95, nr. 5, 1998
58. Rohi M. Salem and Edwin G. Burdette - Role of Chemical and Mineral Admixtures on the Physical Properties and Frost-Resistance of Recycled Aggregate Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 95, nr. 5, 1998
59. M. H. Zhang, A. Bilodeau, V. M. Malhotra, Kwang Soo Kim, and Jin-Choon Kim - Concrete Incorporating Supplementary Cementing Materials: Effect of Curing on Compressive Strength and Resistance to Chloride-Ion Penetration, *ACI Materials Journal*, vol. 96, nr. 2, 1999
60. P. Gu, J. J. Beaudoin, M. H. Zhang, and V. M. Malhotra - Performance of Steel Reinforcement in Portland Cement and High-Volume Fly Ash Concretes, *ACI Materials Journal*, vol. 96, nr. 5, 1999

61. Daksh Baweja, Harold Roper, and Vute Sirivivatnanon - Specifications of Concrete for Marine Environments: A Fresh Approach, ACI Materials Journal, vol. 96, nr. 4, 1999
62. Linhua Jiang, Baoyu Lin, and Yuebo Cai - Studies on Hydration in High-Volume Fly Ash Concrete Binders, ACI Materials Journal, vol. 96, nr. 6, 1999
63. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, D. Sorin, C. Badea - Utilizarea deșeurilor industriale re folosibile la fabricarea de materiale și elemente de construcții cu performanțe ridicate, Vol. Simpozion "Materiale, elemente și structuri compozite pentru construcții", Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1999
64. C. Bob, D. Vasiliu, H. Mureșan, O. Murărașu - Metode de mărire a stabilității depozitelor hidraulice de zgură și cenușă folosind tehnologia de preparare a fluidului autoîntăritor din cenușă de electrofiltru, Contract INCERC Timișoara, nr. 3606/1999
65. *** NE 012/99 Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat București, 1999
66. I. Cadar, T. Clipii, A. Tudor - Beton Armat, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara 1999
67. Ministerul Apelor și Protecției Mediului, Raport Anual www.mappm.ro/.1999
68. E. Jebelean - Utilizarea eficientă a superplastifianților în tehnologia betonului, Volumul Simpozion "Materiale, elemente și structuri compozite ptr. construcții", Zilele Academice Timișene, 24-25 mai, Timișoara, 1999
69. I. Buchman - Betoane de ultra înaltă performanță, Volumul Simpozion "Materiale, elemente și structuri compozite ptr. construcții", Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1999
70. I. Buchman - Betoane de ultra înalte performanțe, Ed. Orizonturi Universitare Timișoara, 1999
71. T. Oneț, C. Zetea - Caracteristicile mecanice ale betonului de performanță superioară, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1999
72. T. Oneț, C. Zetea - Comportarea elementelor din beton armat de performanță superioară, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1999
73. E. Jebelean, C. Furdui - Betoane ușoare cu superplastifianți, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1999
74. M. Iancău, T. Oneț - Elemente de construcții eficiente din ferociment, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1999
75. I. Ionescu, T. Ispas, A. Popaescu - Betoane de înaltă performanță, Editura Tehnică, București, 1999
76. Alain Bilodeau and V. Mohan Malhotra - High Volume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development, ACI Materials Journal, vol. 97, nr. 1, 2000
77. V. M. Malhotra, M. H. Zhang, and S. L. Sarkar - Manufacture of Concrete Test Panels and their Performance after Seven Years of Exposure in Arctic Marine Environment, ACI Materials Journal, vol. 97, nr. 2, 2000
78. Alva Peled, Michele F. Cyr, and Surendra P. Shah - High Content of Fly Ash (Class F) in Extruded Cementitious Composites, ACI Materials Journal, vol. 97, nr. 5, 2000
79. V. Mohan Malhotra, Min-Hong Zhang, Paul H. Read, and John Ryell - Long-Term Mechanical Properties and Durability Characteristics of High-Strength/High-Performance Concrete Incorporating Supplementary Cementing Materials under Outdoor Exposure Conditions, ACI Materials Journal, vol. 97, nr. 5, 2000
80. V. M. Malhotra, M. H. Zhang, and G. H. Leaman - Long-Term Performance of Steel Reinforcing Bars in Portland Cement Concrete Incorporating Moderate and High Volumes of ASTM Class F Fly Ash, ACI Materials Journal, vol. 97, nr. 4, 2000

81. C. Bob, C. Furdui, I. Buchman, E. Jebelean, E. Ignaton, D. Sorin - Utilizarea cenușii de termocentrală la realizarea de materiale ușoare de izolație, Vol. II Conferința de Știința și ingineria materialelor oxidice, CONSILOX VIII, Alba-Iulia, 2000
82. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, S. Dan, C. Badea - Utilizarea deșeurilor industriale refolosibile în domeniul construcțiilor, Volumul Conferinței SELC 2000, Cluj-Napoca, 2000
83. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, S. Dan, C. Badea - Materiale eficiente pentru stabilizarea solurilor, Vol. 3. Conf. Jubiliara Tehnologii moderne în construcții, Univ. Tehnica a Moldovei, Chisinau 2000
84. Min-Hong Zhang, Marcia C. Blanchette, and V. Mohan Malhotra - Leachability of Trace Metal Elements from Fly Ash Concrete: Results from Column-Leaching and Batch-Leaching Tests, ACI Materials Journal, vol. 98, nr. 2, 2001
85. M. Sonebi and K. H. Khayat - Effect of Free-Fall Height in Water on Performance of Highly Flowable Concrete, ACI Materials Journal, vol. 98, nr. 1, 2001
86. Joseph J. Biernacki, P. Jason Williams, and Paul E. Stutzman - Kinetics of Reaction of Calcium Hydroxide and Fly Ash, ACI Materials Journal, vol. 98, nr. 4, 2001
87. Kejin Wang, Surendra P. Shah, and Pariya Phuaksuk - Plastic Shrinkage Cracking in Concrete Materials—Influence of Fly Ash and Fibers, ACI Materials Journal, vol. 98, nr. 6, 2001
88. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, D. Sorin, C. Badea - Materiale eficiente obținute din deșeuri industriale, Bul. Institutului Politehnic Iași, Tomul XLVII (L1), Fasc. 5, Iași, 2001
89. I. Buchman, E. Jebelean, C. Badea - Cercetări de laborator pentru stabilirea rețetelor și tehnologiilor optime de preparare a cenușii de termocentrală de la CET Craiova II, Ișalnița, Turceni, Rovinari, Brașov, Doicești, Drobeta Turnu-Severin și Arad, Contract Universitatea Politehnica Timișoara, nr. 760/2001
90. I. Buchman, - Unele tipuri de betoane cu performanțe ridicate, Volumul Simpozion "Materiale, elemente și structuri compozite pentru construcții", Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2001
91. E. Jebelean - Utilizarea eficientă a superplastifianților în tehnologia betonului, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2001
92. C. Badea, Adina Szitar - Influența cimentului și a caracteristicilor agregatelor asupra rezistenței betonului, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2001
93. G. Muntean, T. Oneț - Utilizarea ferocimentului la reabilitarea elementelor de construcții, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2001
94. O. Abri, C. Badea, C. Bob, I. Balcu - Procedeu experimental privind carbonatarea accelerată a betonului, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2001
95. Charles E. Pierce, Sarah L. Gassman, and Tracey M. Richards - Long Term Strength Development of Controlled Low-Strength Material, ACI Materials Journal, vol. 99, nr. 2, 2002
96. Nabil Bouzoubaâ, Benoit Fournier, V. Mohan Malhotra, and Dean M. Golden - Mechanical Properties and Durability of Concrete Made with High-Volume Fly Ash Blended Cement Produced in Cement Plant, ACI Materials Journal, vol. 99, nr. 6, 2002
97. J. J. Brooks - Prediction of Setting Time of Fly Ash Concrete, ACI Materials Journal, vol. 99, nr. 6, 2002
98. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, C. Badea - Amestecuri de cenușă și lianți, preparate cu o instalație de lichid dens pt. stabilizarea haldelor sau obținerea unor materiale eficiente, Bul. Institutului Politehnic Iași, Tomul L (LV), Fasc. 5, Iași, 2002

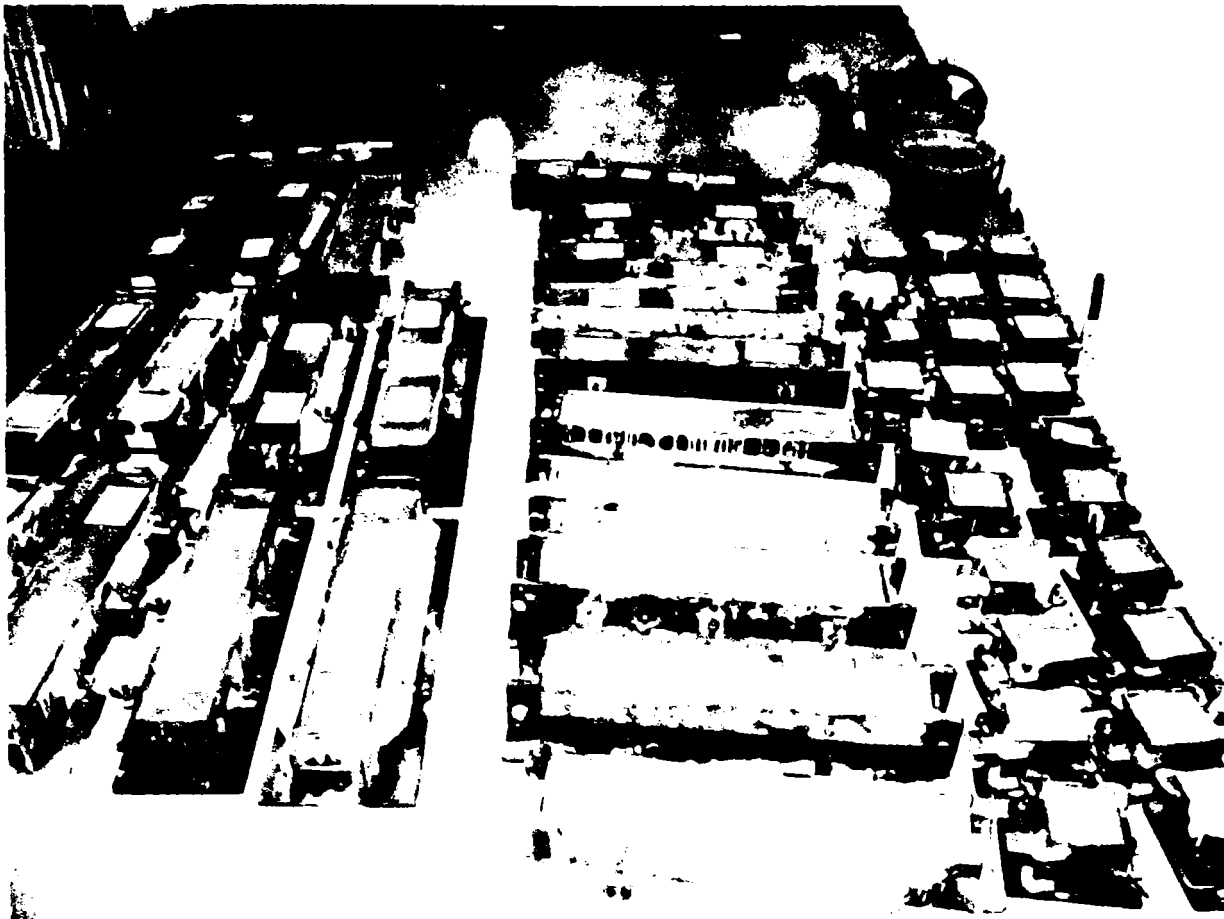
99. I. Buchman, C. Badea - Betoane din pudre reactive fără tratament termic, Bul. I. P. Iași, Tomul LI(LV), Fasc.5, 2002
100. Santanu Bhanja and Bratish Sengupta - Optimum Silica Fume Content and Its Mode of Action on Concrete, ACI Materials Journal, vol. 100, nr. 5, 2003
101. Zichao Wu and Tarun R. Naik - Chemically Activated Blended Cements, ACI Materials Journal, vol. 100, nr. 5, 2003
102. Tarek Uddin Mohammed, Toru Yamaji, and Hidenori Hamada - Chloride Diffusion, Microstructure, and Mineralogy of Concrete after 15 Years of Exposure in Tidal Environment, ACI Materials Journal, vol. 99, nr. 3, 2003
103. Peter M. Babaian, Kejin Wang, Alex Mishulovich, Sankar Bhattacharja, and Surendra P. Shah - Effect of Mechanochemical Activation on Reactivity of Cement Kiln Dust-Fly Ash Systems, ACI Materials Journal, vol. 100, nr. 1, 2003
104. Tarun R. Naik, Bruce W. Ramme, Rudolph N. Kraus, and Rafat Siddique - Long-Term Performance of High-Volume Fly Ash Concrete Pavements, ACI Materials Journal, vol. 100, nr. 2, 2003
105. Karthik H. Obla, Russell L. Hill, Michael D. A. Thomas, Surali G. Shashiprakash, and Olga Perebatova - Properties of Concrete Containing Ultra-Fine Fly Ash, ACI Materials Journal, vol. 100, nr. 5, 2003
106. I. Buchman, C. Bob, E. Jebelean, G. Făgădar, S. Dan, C. Badea, L. Iureș, A. Gruin - Betoane de înalte performanțe, GRANT CNCSIS, nr. 33550, Tema 4, Cod 5, 2003
107. C. Badea, C. Bob - Determinări experimentale privind utilizarea cenușii de termocentrală la producerea de elemente de zidărie, Vol. Simpozion "Materiale, elemente și structuri compozite pentru construcții", Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2003
108. C. Badea, C. Bob - Use of fly ash to obtain building materials, Al V-lea Simpozion Internațional "Tinerii și cercetarea multidisciplinară", Timișoara 2003
109. Al. G. Netea, D. Lucia Manea, F. Tămaș - Chimie și materiale de construcții, Ed. V.T. PRES, Cluj Napoca 2003
110. A. M. Neville - Proprietățile betonului Ed. Tehnică, București 2003
111. I. Buchman - Betoane cu performanțe ridicate, Volumul Simpozion "Materiale, elemente și structuri compozite ptr. construcții, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 2003
112. E. Jebelean, L. Iureș - Influența unor aditivi asupra proprietăților betoanelor, Volumul Simpozion "Materiale, elemente și structuri compozite ptr. construcții", Zilele Academice Timișene, 22-23 mai, Timișoara, 2003
113. I. Buchman, C. Bob, E. Jebelean, C. Badea, Liana Iureș - Controlul calității lianților, mortarelor și betoanelor, Ed. Orizonturi Universitare Timișoara, 2003
114. T. Oneț, Andrada Urdă - Influența prafului de silice în comportamentul betonului de înaltă performanță și rezistență, Zilele Academice Timișene, 22-23 mai, Timișoara, 2003
115. Cornelia Măgureanu, Andrada Urdă - Influența condițiilor de păstrare asupra contracției betoanelor de înaltă rezistență și performanță, Zilele Academice Timișene, 22-23 mai, Timișoara, 2003
116. C. Bob - Cauze ale apariției unor degradări la cuvele de aburire a buștenilor din lemn, Zilele Academice Timișene, 22-23 mai, Timișoara, 2003
117. T. Oneț, Radu Olar - Beton armat, U.T. Pres, Cluj Napoca, 2003
118. C. Badea, C. Bob - Materiale de construcții realizate cu cenușă de termocentrală, Buletinul Institutului Politehnic Iași, 2004

PROGRAMUL INTERNAȚIONAL COPERNICUS

119. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, D. Sorin, C. Badea - High Performance Materials Derived from Industrial-waste Gypsum, COPERNICUS Project Timișoara, Martie, 1998, (confidențial)
120. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, D. Sorin, C. Badea - High Performance Materials Derived from Industrial-waste Gypsum, COPERNICUS Project Timișoara, Iulie, 1998, (confidențial)
121. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, D. Sorin, C. Badea - High Performance Materials Derived from Industrial-waste Gypsum, COPERNICUS Project Timișoara, Noiembrie, 1998, (confidențial)
122. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, D. Sorin, C. Badea - High Performance Materials Derived from Industrial-waste Gypsum, COPERNICUS Project Timișoara, Martie, 1999, (confidențial)
123. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, D. Sorin, C. Badea - High Performance Materials Derived from Industrial-waste Gypsum, COPERNICUS Project Timișoara, Iulie, 1999, (confidențial)
124. C. Bob, I. Buchman, E. Jebelean, D. Sorin, C. Badea - High Performance Materials Derived from Industrial-waste Gypsum, COPERNICUS Project Timișoara, Noiembrie, 1999, (confidențial)

GRANTURI CNCSIS

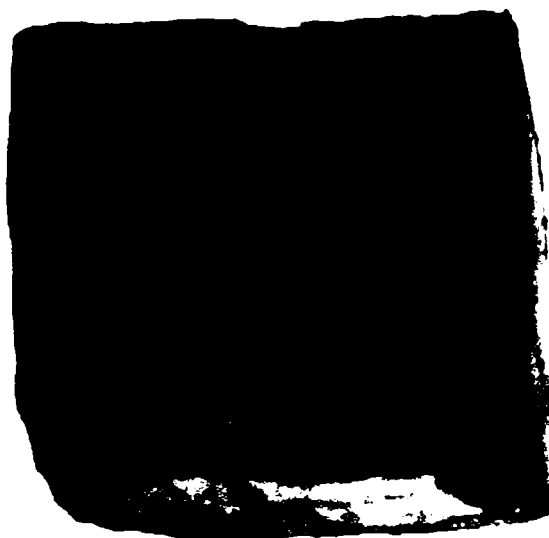
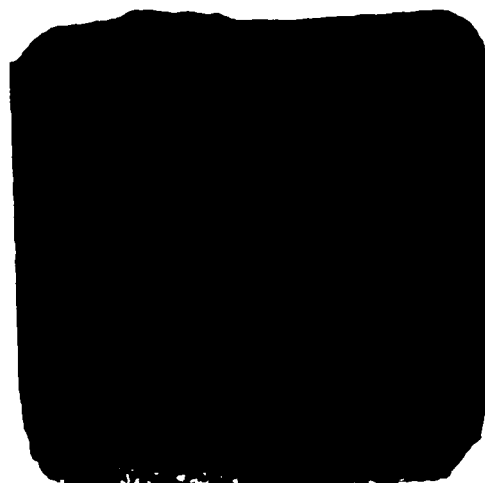
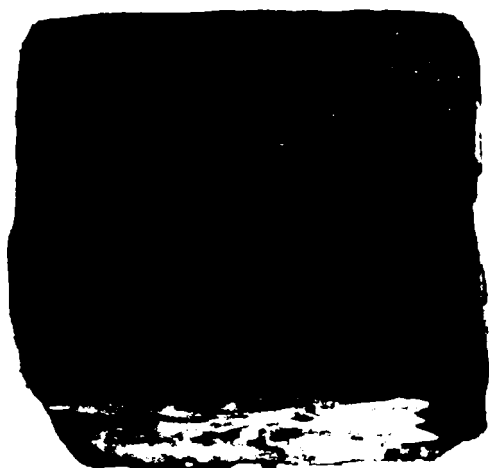
125. Utilizarea cenușii de termocentrală la realizarea de materiale ușoare de izolație, nr. 36, 1998, Tema 13
126. Materiale cu performanțe ridicate obținute din subproduse reutilizabile, GRANT ANSTI Contr. nr. 6153, 2000
127. Materiale cu performanțe ridicate obținute din subproduse reutilizabile, GRANT ANSTI Contr. nr. 6153, 2001
128. Materiale cu performanțe ridicate obținute din subproduse reutilizabile, GRANT ANSTI Contract nr. 6153, 2002
129. Utilizarea cenușii de termocentrală la producerea de materiale de construcții eficiente și în infrastructura drumurilor, GRANT, 33501, Tema 1, Cod CNCSIS 18, **DIRECTOR**, 2002
130. Utilizarea cenușii de termocentrală la producerea de materiale de construcții eficiente și în infrastructura drumurilor, GRANT, 33550, Tema 11, Cod CNCSIS 1, **DIRECTOR**, 2003

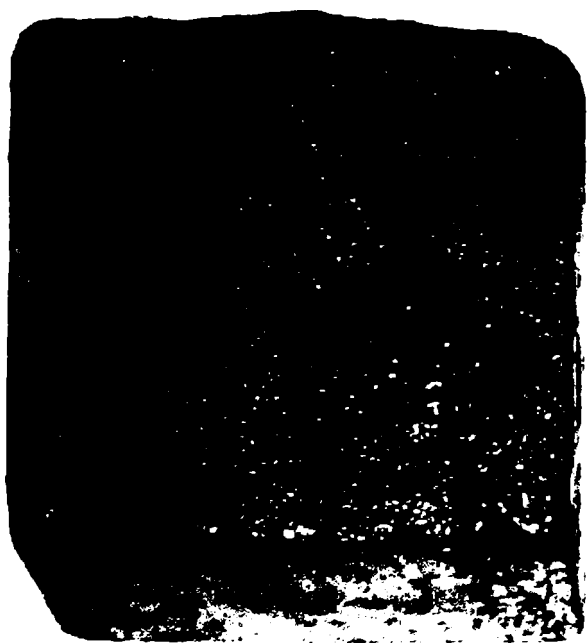
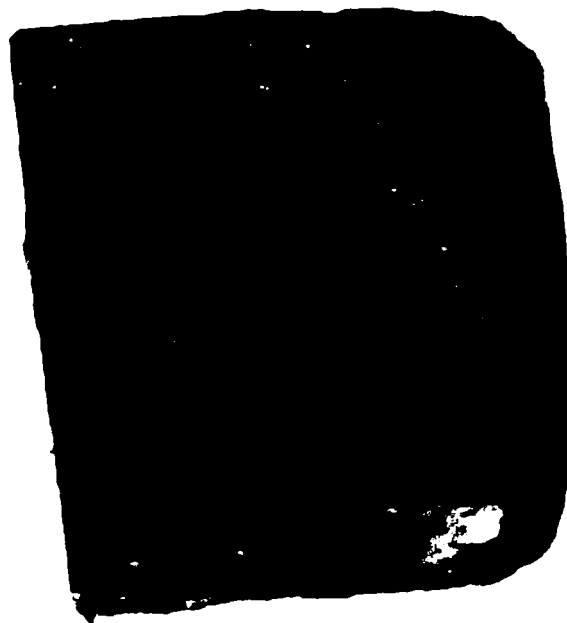


Condiții de păstrare

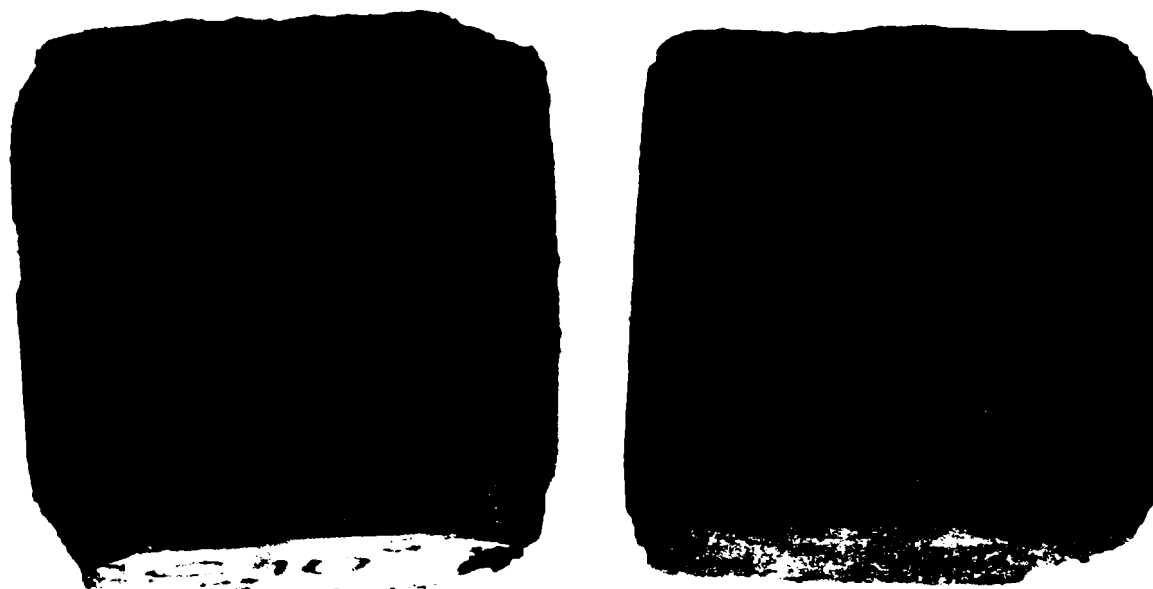
Starea materialelor realizate pe bază de șlam dens după cicluri de îngheț-dezghet

După 10 cicluri





După 15 cicluri

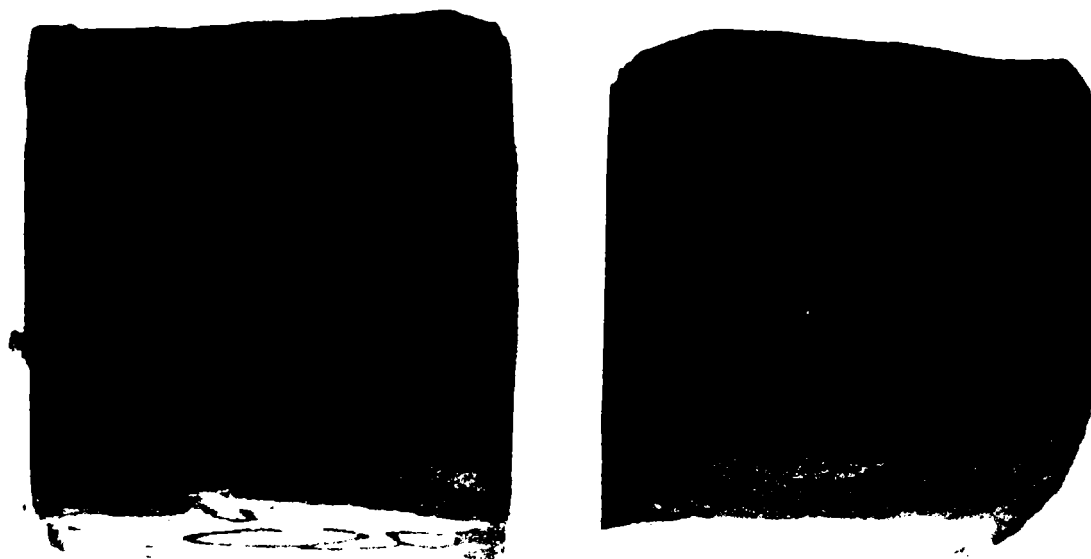


C 10

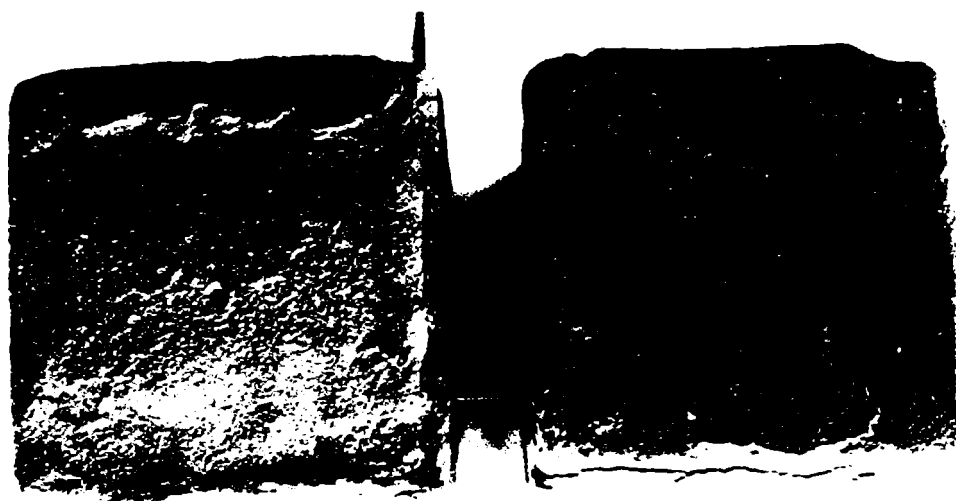


C 15

După 20 cicluri



C 20



L 20



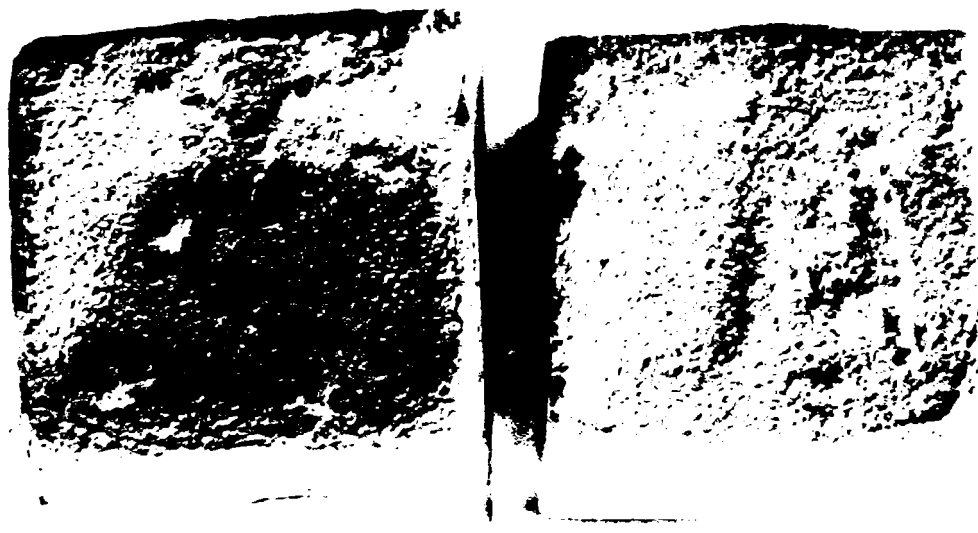
L15 C5



L15 C10



L20 C5



L20 C10