

---

**ROMÂNIA**

Ministerul Educației Naționale



---

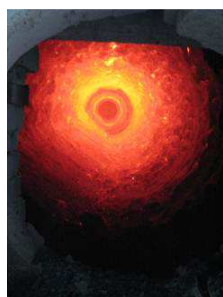
**Universitatea Tehnică de Construcții București**

---

**TEZA DE DOCTORAT**

**REZUMAT**

**Utilizarea unor abordări moderne în vederea  
stabilirii domeniilor de utilizare ale cimenturilor  
Portland compozite cu adaos de calcar**



**Conducător științific :**

**Prof. univ. dr. ing. Tudor POSTELNICU**

**Doctorand :**

**ing. Radu Florin GAVRILESCU**

*București – 2013*

13.09.2013

---

Înainte de toate, doresc să mulțumesc tuturor celor care au contribuit – în mod direct sau indirect – la realizarea acestei lucrări. Numarul lor este prea mare să poată fi menționat însă fiecare, în parte, îi transmit recunoștința mea !

Doresc să mulțumesc, în mod deosebit, Conducătorului Științific, d-lui Prof. univ. dr. ing. Tudor POSTELNICU pentru coordonarea și sprijinul acordat pe parcursul elaborării acestei teze, pentru încurajările prompte, discrete și eficiente pe care le-am primit.

În mod egal, doresc să mulțumesc d-lui Prof. univ. dr. ing. Dan Paul GEORGESCU care, începând din anul 2003, a coordonat ample programe de cercetare științifică, în cadrul INCERC și Universității Tehnice de Construcții București, o foarte mică parte din rezultatele experimentale fiind prelucrate în această teză de doctorat. Consider că aceste programe au fundamentat în mod riguros reglementări și abordări naționale, au conturat noi orientări profesionale și stau la baza scoli românești de durabilitate privită prin prisma noilor standarde, europene.

Mulțumesc, de asemenea, d-lui Prof. univ. dr. Ing. Radu PASCU pentru sprijinul și înțelegerea acordate pe parcursul elaborării rapoartelor de cercetare și al tezei.

Exprim cele mai sincere mulțumiri doamnei Dr. fiz. Adelina APOSTU pentru competența științifică și sprijinul acordat.

D-nei Prof. univ. dr. Ing. Alina BADANOIU de la Universitatea Politehnică București îi mulțumesc din inimă pentru amabilitatea și promptitudinea de care a dat dovada întotdeauna în momentele în care am avut nevoie de un punct de vedere competent sau de cercetări experimentale în domeniul studiat.

Exprim mulțumirile mele personalului laboratoarelor institutelor de cercetare (CEPROCIM) și universităților în care s-au realizat încercările ale căror rezultate sunt prezentate, prelucrate și interpretate în această teză.

În final, însă nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc membrilor Departamentului de Construcții din Beton Armat din Universitatea Tehnică de Construcții București care au analizat această teză de doctorat, pentru timpul acordat și sfaturile constructive și valoroase pe care mi le-au transmis.

Mulțumesc familiei mele, Irinei și Cristinei, pentru înțelegere, răbdare și sprijin.

29 Septembrie 2013  
Radu Gavrilescu

---

## CUPRINS

Rezumatul Capitolului I - Caracterizarea cimenturilor Portland compozite cu zgură și calcar privită prin prisma asigurării durabilității betonului .....	pag. 6
Rezumatul Capitolului II - Metode moderne de abordare a problematicii durabilității betonului în corelație cu durata de serviciu .....	pag. 12
Rezumatul Capitolului III - Abordarea descriptivă. Grosimea stratului de acoperire. Deschiderea maximă calculată a fisurilor și controlul fisurării .....	pag. 17
Rezumatul Capitolului IV - Abordarea de performanță. Conceptul de performanță echivalentă a betonului în ceea ce privește durabilitatea. Extinderea conceptului la ciment .....	pag. 23
Rezumatul Capitolului V - Abordarea de performanță. Aspecte privind rezistență la compresiune și contracția axială .....	pag. 27
Rezumatul Capitolului VI - Abordarea de performanță prin criterii relative: absorbția, permeabilitatea și porozitatea .....	pag. 30
Rezumatul Capitolului VII - Abordarea de performanță prin criterii relative: carbonatarea și difuzia ionilor de clor .....	pag. 32
Rezumatul Capitolului VIII - Abordarea de performanță prin criterii absolute: rezistență la îngheț-dezgheț .....	pag. 39
Rezumatul Capitolului IX - Evaluarea duratei de serviciu prin metode probabilistice .....	pag. 48
Rezumatul Capitolului X - Concluzii finale, contribuții personale și potențiale direcții de dezvoltare ulterioare .....	pag. 50
Bibliografie .....	pag. 66

## NOTATII

CPC – Ciment Portland Compozit

CPC/C – Ciment Portland Compozit cu adaos de calcar

XC, XD, XS, XF, XA, XM – clase de expunere la acțiunea mediului înconjurător

SLS – starea limită de serviciu

---

Teza de doctorat „**Utilizarea unor abordări moderne în vederea stabilirii domeniilor de utilizare ale cimenturilor Portland compozite cu adaos de calcar**” tratează tema enunțată din două perspective complementare, după cum urmează:

- realizează o sinteza documentară a unui vast material bibliografic și normativ, național și european, și
- interpretează rezultatele unui program extins și coerent de cercetări experimentale pentru cimenturi tip CEM II/A-M(S-LL) și CEM II/B-M(S-LL) produse industrial.

Obiectivul tezei de doctorat îl reprezintă evaluarea capacității cimenturilor Portland compozite cu adaos de calcar (S-LL) de a oferi, în anumite condiții compoziționale<sup>1</sup>, betoane durabile în diferite clase de expunere la acțiunea mediului înconjurător, cu alte cuvinte urmărește stabilirea domeniilor de utilizare pentru aceste cimenturi. Teza de doctorat este structurată pe zece capitole cuprinzând 354 pagini, 24 figuri, 150 tabele, 9 fotografii precum și o bibliografie de 230 titluri.

*Cuvinte cheie: ciment, clincher, zgură, calcar, beton, carbonatare, difuzie, îngheț-dezghet, atac chimic, durabilitate, durată de serviciu*

---

## **Rezumatul capitolului I.**

În primul capitol denumit „**Caracterizarea cimenturilor Portland compozite cu zgură și calcar privită prin prisma asigurării durabilității betonului**” se face, la început, o sumară trecere în revistă a unor aspecte istorice legate de utilizarea adaosurilor de fabricație în Europa și România (tradiția națională) făcând referire la factorul<sup>2</sup> clincher, la fenomenul de diversificare a surselor și tipurilor de adaos specific Romaniei după anul 2006. Se prezintă cu aceasta ocazie și cimenturile Portland compozit cu adaos de calcar care fac obiectul tezei.

Capitolul I tratează, în mod extins, domeniul general al durabilității betoanelor preparate cu CPC CEM II, în particular al celor cu adaos de zgură și calcar CEM II/M(S-LL), prezentând sintetic o serie de aspecte interesante și de actualitate în ceea ce privește următoarele teme generale:

- a) apariția, dezvoltarea și stadiul atins de utilizarea CPC/C, fundamentarea necesității aprofundării domeniului evidențiind perspectivele acestor tipuri de ciment în ceea ce privește acceptarea în noi clase de expunere la acțiunea mediului înconjurător;
- b) efectele și influențele separate ale adaosurilor de zgură și, în special, de calcar (LL) asupra cimentului și betonului, ca produs final a cărui durabilitate este analizată;
- c) consecințele prezenței combinației de adaos mixt „zgură-calcar”, a dozajului acestora, asupra caracteristicilor principale ale CPC/C în corelație cu finețea de măcinare pentru nouă loturi de ciment – produse industrial în scop experimental;
- d) consecințele prezenței adaosului unitar de zgură în cimenturile CEM II/A-S și CEM II/B-S, precum și ale prezenței adaosului unitar de calcar într-un ciment CEM II/A-LL cu aceeași clasă de rezistență (32,5R).

---

<sup>1</sup> care se refera la compoziția betonului, la compoziția mineralogică a clincherului etc.

<sup>2</sup> consumul/tona de ciment [%]

---

Se tratează cu prioritate efectele și influențele prezenței calcarului în ciment, un subiect central al tezei de doctorat intens dezbătut atât pe plan național cât și european. După descrierea unor aspecte generale privind utilizarea calcarului ca materie primă și adaos în ciment, se prezintă modul în care efectele adaosului de calcar sunt „compensate” de cele ale adaosului de zgură în cimenturile analizate. Se insistă pe efectele și influențele prezenței calcarului ca adaos în ciment, acestea aducând după sine o serie de exigențe suplimentare calitative, atât pentru ciment, cât și, mai ales, pentru beton - produsul final pus în operă.

În lucrare se consideră că durabilitatea betoanelor preparate cu cimenturi cu adaos de calcar este influențată (în principal) de durata și eficiența tratării, raportul A/C, dozajul de ciment/m<sup>3</sup> beton, ponderea (%) adaosului, domeniul granulometric și finețea de măcinare a cimenturilor, caracteristicile clincherului și, în final, ale calcarului, fiind astfel dependentă de modul de utilizare și de sursă.

Aprecierea prin care calcarul (LL) era considerat un adaos „inert” (având doar eventual un efect „de filler”) trebuie reconsiderată întrucât cercetări recente [14] arată faptul că există certe consecințe fizice și chimice ale prezenței acestuia ca adaos în ciment. În ultima perioadă s-au făcut descoperiri interesante și importante privind modul de comportare și exigențele calitative care trebuie impuse calcarului pentru a putea fi folosit, în mod eficient<sup>3</sup>, pe post de adaos în ciment.

Calcarul prezintă o serie de efecte complexe, fizice și chimice - recunoscute în literatura de specialitate [212] sau constatate practic, inclusiv în laboratorul<sup>4</sup> în care s-au făcut experimentele prezentate în teză - care influențează (în mod direct sau indirect) o serie de proprietăți ale betonului, după cum se va arăta în mod sintetic în tabelul 1.

Fiecare din efectele și influențele cuprinse în tabel sunt prezentate detaliat în teza de doctorat, plecând de la bibliografia studiată precum și de la experiența practică proprie.

Informații convergente din literatura tehnică de specialitate [14], [20] pun în evidență, pe termen scurt, un efect de intensificare a reacțiilor de hidratare cu consecințe benefice asupra nivelului rezistențelor la compresiune, precum și o sporire a cantității de caldură de hidratare degajată, în special pentru doze semnificative de calcar (35-50%) [14]. Efectul de accelerare a reacțiilor se datorează prezenței particulelor de calcar fin. Se constată și creșterea gradului de hidratare a cimentului pe măsură ce crește proporția de adaos de calcar în ciment [14].

Prin substituirea unei părți din clincher cu calcar se produce, inevitabil, un efect de diluție în sensul că o parte mai redusă a masei de ciment mai poate forma hidrocompusi. Acest efect este compensat pe termen scurt (24...48 de ore) de intensificarea reacțiilor de hidratare-hidroliză datorită prezenței în masa liantă a particulelor fine de calcar. În acest fel, o parte din consecințele efectului de diluție asupra scăderii rezistențelor la compresiune pe termen scurt pot fi estompate sau compensate.

---

<sup>3</sup> sub aspectul asigurării durabilității

<sup>4</sup> Laboratorul Departamentului Construcții de Beton Armat, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Universitatea Tehnică de Construcții București

Tabelul 1. Efectele, influențele și consecințele practice ale prezenței calcarului ca adaos în compoziția cimentului

Calcarul (LL)	Efecte	Proprietatea influențată	Consecințe practice ale prezenței calcarului
	Efectul de filler (efect fizic)		Influența asupra cantității de apă pt prepararea PCN
		Influența asupra timpilor de priză	Se reduc ușor (10...20') ambii timpi de priză
		Influența asupra cantității de apă necesare preparării betonului de o anumită lucrabilitate	Se reduce ușor necesarul de apă pentru prepararea unui beton de o anumita consistența
		Influența asupra porozității	Porozitatea matricii de piatra de ciment crește pe masura creșterii dozajului de calcar
		Influența asupra rezistențelor la compresiune	Rezistențele la compresiune sunt mai ridicate pe termen scurt și mai scăzute pe termen lung (28 zile)
Efectul de generare de centre de nucleație (efect fizic)		Influența asupra posibilității de păstrare a cimenturilor	Prezența calcarului este favorabila extinderii termenului de valabilitate a cimentului
		Influența asupra rezistenței la îngheț-dezgeț	Prezența calcarului asociază o anumita sensibilitate, suplimentară, betonului, fiind necesare în consecință măsuri suplimentare pe fluxul de fabricație (ex. limitarea dozajului de calcar, creșterea clasei de rezistență a cimentului), la producerea betonului (creșterea clasei, limitarea raportului A/C), la punerea în opera (de exemplu o tratare suplimentară, prelungită a betonului) etc.
		Influența asupra frecvenței apariției eflorescențelor	
		Influența asupra rezistenței la atac chimic	
Efectul de accelerare a hidratării cimentului pe termen scurt (efect chimic)		Influența asupra adâncimii de carbonatare	
		Influența asupra adâncimii de difuzie a ionilor de clor	
		Influența asupra mărimii contracției	
		Influența asupra permeabilității	
		Influența asupra căldurii de hidratare	Prezența calcarului aduce după sine o sporire a căldurii de hidratare, sesizabilă în special pe termen scurt și pe măsură ce conținutul de adaos de calcar crește.

În cazul cimenturilor cu calcar, rezultatele de laborator și opiniile diferiților autori nu sunt întotdeauna convergente în ceea ce privește porozitatea matricii. Anumite lucrări și rezultate experimentale apreciază că porozitatea matricii este mai redusă în cazul utilizării cimenturilor cu calcar prin comparație cu cimenturile Portland unitare, altele dimpotrivă. În urma testelor efectuate cu porozimetrul cu mercur (MIP) se constată faptul că dimensiunea medie a porilor este mai redusă în cazul compozițiilor preparate cu ciment având proporții mai mici de calcar (10%) decât în cazul proporțiilor mai mari (20-35%), determinând formarea de pori de dimensiuni medii mai mari, în corelație cu finețea de măcinare a calcarului. Se poate formula concluzia ca nu doar finețea de măcinare a cimentului (calcarului) este importantă, ci și proporția în care acesta se găsește în compoziția cimentului. Aceste teste cu porozimetrul cu mercur s-au efectuat pe lianți obținuți în laborator prin omogenizarea unui ciment cu filler de calcar de finețe foarte ridicată.

---

Pe de altă parte se constată faptul că, pe cimenturi obținute pe cale industrială, în urma testării în baza unor reglementări naționale [63] privind porozitatea, absorbția și permeabilitatea betoanelor, pe măsură ce dozajul de calcar crește, aceste caracteristici se modifică în sens negativ. Diferențele între rezultatele obținute pe mortare cu porozimetrul cu mercur și cele obținute pe betoane prin metode standardizate [63] pot fi explicate prin diferențele semnificative între matricile analizate, în sensul că în cazul betoanelor se folosesc cimenturi obținute pe cale industrială și se folosesc aditivi iar granulometria agregatelor este cea apropiată de realitate, pe când în cazul utilizării MIP se folosesc amestecuri de ciment, filer și nisip de încercare. Pentru a evidenția efectul creșterii proporției de adaos de calcar în cimenturi obținute pe cale industrială, în cadrul Universității Politehnice București<sup>5</sup>, s-au testat o serie de cimenturi „candidat” CEM II/B-M(S-LL) și un ciment “de referință” CEM II/A-S. Rezultatele obținute sunt cuprinse în teza de doctorat.

Consecințele practice expuse au putut fi constatate pe baza unor rezultate experimentale (medii) obținute pe fluxuri de producție ale unor cimenturi cu adaos de calcar respectiv zgură, pe o perioadă suficientă de timp pentru a putea fi considerate caracteristice.

Pe baza acestor prelucrări de rezultate precum și din rezultatele experimentale obținute pe nouă cimenturi fabricate industrial CEM II/B-M(S-LL) 32, 5R cu procente diferite de adaosuri, în partea finală a Capitolului I sunt identificați principalii factori care influențează comportarea sub aspectul durabilității cimenturilor Portland compozite cu zgură și calcar, în betoane sau mortare. Aceștia sunt:

- a) Factori ce țin de caracteristicile cimentului:
  - Compoziția chimică (mineralogică) a clincherului, a zgurii și a calcarului;
  - Conținutul de faza vitroasă al zgurii (reactivitatea zgurii);
  - Procentul de substituție cu zgură și calcar al clincherului (tipul de ciment, A sau B);
  - Raportul în care se gasesc cele două tipuri de adaos (S și LL) în compoziție;
  - Finețea de măcinare a cimentului (clasa de rezistență a cimentului);
  - Calitatea calcarului ca adaos în ciment, în special conținutul de TOC<sup>6</sup>.

Dată fiind legătura foarte puternică între modul de comportare a cimentului și caracteristicile clincherului respectiv adaosurilor (zgură, calcar), se poate aprecia și că există o puternică dependență a modului de comportare a betoanelor având aceste tipuri de cimenturi în compoziție, funcție de fabrică<sup>7</sup>. *În consecință, o aprobare extinsă a utilizării CEM II/B-M(S-LL) în diferite clase de expunere trebuie limitată datorită acestei particularități.*

- b) Factori ce țin de caracteristicile betonului:
  - Clasa betonului,
  - Raportul A/C,
  - Dozajul de ciment utilizat;
- c) Factori ce țin de modul de punere în operă și de eficiența tratării;
- d) Temperatura mediului (cel puțin în perioada inițială a hidratării).

---

<sup>5</sup> Catedra SIMONa, de către un colectiv coordonat de către Prof. univ. dr. ing. Alina BADANOIU

<sup>6</sup> TOC este (continutul de) carbon organic total

<sup>7</sup> Acest aspect a condus în Germania la obținerea de aprobări tehnice [21], [22], [23], [24] de utilizare funcție de fabrică și anumite caracteristici ale adaosurilor / clincherului.

---

Concluziile care reies din acest capitol sunt:

1. Sub presiunea consecințelor încălzirii globale, a eficientizării costurilor de producție și a asigurării durabilității construcțiilor, industriile cimentului și betonului se adaptează în mod continuu. CPC CEM II, indiferent de tipul adaosurilor sunt fabricate intensiv în Europa începând cu anii '90, constatându-se un trend ascendent în ceea ce privește ponderea lor în totalul volumului de producție;
2. Experiența europeană în utilizarea cimentului cu adaos de calcar – în principal CEM II/A-LL - este importantă<sup>8</sup>, în prezent calcarul reprezentând principalul material de adaos din ciment în țările CEMBUREAU. Cu toate acestea, domeniul durabilității CPC/C, în special a celor CEM II/B, este insuficient explorat, ca urmare înregistrându-se limitări<sup>9</sup> în ceea ce privește acceptarea în clase de expunere relevante pentru betonul structural. Capitolul trece în revistă, inclusiv din punct de vedere istoric, modul în care cimenturile cu calcar au fost studiate și introduse pe piață europeană, în diferite țări, și evaluează perspectiva în ceea ce privește extinderea domeniului de utilizare;
3. Pe plan european atenția comunității tehnico-științifice se concentrează, în ultimii ani, pe caracterizarea comportării și studierea durabilității betoanelor preparate cu CPC CEM II/B cu adaos de calcar<sup>10</sup> (în special combinațiile S-LL, V-LL), precum și a cimentului Portland cu calcar CEM II/B-LL. În paralel se derulează acțiuni de amendare a standardului european EN 197-1:2011 [143] în vederea extinderii posibilităților compoziționale de fabricare a CPC/C<sup>11</sup>;
4. Nivelul de acceptare al cimenturilor cu adaosuri de către anexele naționale de aplicare a EN 206-1 reprezintă un factor deosebit de important de care depinde reducerea consumului de clincher<sup>12</sup>. Prin orientarea portofoliului de produse către cimenturile utilizabile în clase de expunere „X” relevante pentru betonul structural, se poate influența factorul clincher;
5. Reducerea, în condiții de siguranță din punct de vedere tehnic<sup>13</sup>, a factorului clincher prin înlocuirea unei părți din acesta cu adaosuri, reprezintă o preocupare constantă, date fiind constrângerile legate de protecția mediului - în speță reducerea CO<sub>2</sub> emis. Trecerea spre utilizarea a noi tipuri de adaosuri mai puțin reactive, către substituirea clincherului cu calcar sau de la un conținut redus spre un conținut mai ridicat de adaos în ciment necesită, de cele mai multe ori, re tehnologizări<sup>14</sup>, precum și, întotdeauna, transferul și acumularea de experiența tehnologică la utilizarea produsului, în piața;
6. Pe ansamblu, utilizarea pe scară largă a adaosurilor de fabricație la producerea cimenturilor nu trebuie văzută a fi doar o măsură de reducere a factorului de clincher sau de CO<sub>2</sub> emis. În anumite situații sau aplicații particulare cimenturile cu conținut ridicat de adaosuri oferă durabilitate și performanțe superioare cimenturilor Portland unitare (CEM I), puternic energofage, fiind recomandată utilizarea lor pe criterii tehnico-economice;
7. Calcarul este folosit pe post de materie primă la producerea clincherului Portland, fiind bine cunoscut sub aspect fizico-mecanic și chimic, iar liniile de aprovizionare fiind în permanență funcționale pe timpul producției. Ca urmare, ținând seama și de costul specific de exploatare respectiv de transport la care se

---

<sup>8</sup> o prezentare extinsă poate fi găsită în teza de doctorat

<sup>9</sup> prin anexele naționale de aplicare a EN 206-1

<sup>10</sup> denumite uneori și „CEM X”

<sup>11</sup> sub denumirea de cimenturi „ternare”

<sup>12</sup> cunoscut și ca “factor clincher”

<sup>13</sup> sub aspectul durabilității produselor finale (mortar și beton)

<sup>14</sup> în special în ceea ce privește etapa de macinare



- 
- adaugă și siguranța sursei, se poate lua decizia înlocuirii cu calcar a adaosurilor puzzolanice (zgură, cenusă etc.) posibil deja utilizate;
8. În ultima perioadă asistăm în România la diversificarea surselor de adaos, precum și la extinderea tipurilor de cimenturi. Există disponibile un relativ mare număr de tipuri de cimenturi care includ calcar, fabricate în mai multe variante tehnologice. Studiarea acestora în betoane sub aspectul durabilității este necesară prin prevederile [12], [13], întrucât pot fi considerate cimenturi *pentru care nu există experiența relevantă în utilizare*;
  9. Calcarul (LL) prezintă reacții fizico-chimice, dovedite experimental, care generează efecte și influențe, pozitive sau negative, asupra cimentului, respectiv mortarelor și betoanelor în care este încorporat. Utilizarea unei surse de calcar de calitate corespunzătoare<sup>15</sup> este esențială în producerea unor cimenturi care să rămână în mod constant disponibile, inclusiv pe timpul iernii;
  10. Plecând de la modul în care se manifestă separat prezența adaosului de calcar, respectiv de zgură în ciment se poate anticipa, într-o anumită măsură, comportarea cimentului „compozit” CEM II/M(S-LL). Aceasta variază cu dozajul de adaos(uri), raportul dintre ele, finețea de măcinare și compoziția mineralogică a clincherului, fiind astfel dependentă de sursă. Utilizarea zgurii împreună cu calcarul conduce la o „compensare” a efectelor, precum și la o sinergie a acestora, de care trebuie să se țină seama în studiile de durabilitate;
  11. Pentru a putea fi fabricate cimenturi care să asigure<sup>16</sup> durabilitate betoanelor, în special în ceea ce privește rezistența la îngheț-dezghet, este necesar un calcar de calitate superioară, care să respecte exigențele impuse în [5] calcarului codificat „LL” în ceea ce privește conținutul de carbon organic total;
  12. Durabilitatea betoanelor preparate cu cimenturi cu adaos mixt de zgură-calcar este influențată (în principal) de durata și eficiența tratării, raportul A/C, dozajul de ciment (clasa betonului), ponderea (%) adaosurilor, raportul dintre acestea<sup>17</sup>, finețea de măcinare, compoziția mineralogică a clincherului și în final de caracteristicile zgurii și respectiv calcarului, fiind astfel dependentă de modul de utilizare și de sursa (fabrica);
  13. În anexa națională [12], [13] se stabilește un anumit nivel de acceptare de principiu, precum și necesitatea confirmării în continuare a durabilității CPC/C, care fac obiectul tezei. Primul capitol tratează doar aspecte privind modul de alegere a adaosurilor și efectele pe care acestea le au (teoretic și practic) asupra unor cimenturi produse pe cale industrială sau experimental. În cuprinsul capitolelor următoare se tratează, în mod extins, problematica durabilității betoanelor preparate cu CPC/C;

În lucrare se prezintă sintetizat, în prima parte a capitolului, experiența națională și europeană în ceea ce privește reducerea consumului de clincher, arătând care sunt factorii de care depinde nivelul de substituție al acestei materii prime, puternic energofage.

Se prezintă în acest capitol, sintetic, măsurile premergătoare introducerii pe piață a unui nou tip de ciment, cu conținut ridicat de adaosuri, cu referire la adaosul de calcar (LL). De asemenea, prezintă sistematizat experiența națională în ceea ce privește utilizarea cimenturilor cu adaos întrucât aceasta reprezintă un element foarte important în momentul în care se dorește modificarea portofoliului unei fabrici. Un scurt istoric al

---

<sup>15</sup> Sub aspectul condițiilor de performanță prevăzute de standardul EN 197-1

<sup>16</sup> o durată de serviciu prestabilită

<sup>17</sup> în special în cazul CPC/C tip CEM II/B

---

domeniului înainte de 2006, precum și al ultimelor evoluții, în ceea ce privește tipurile de ciment existente pe piață, conturează cu claritate stadiul domeniului în discuție.

Plecând de la bibliografia disponibilă și experiența proprie, în lucrare se prezintă câteva elemente particulare în ceea ce privește utilizarea calcarului ca adaos în ciment precum și aspecte legate de comportarea calcarului, a zgurii și cenușii în cimentul Portland compozit. Este prezentată experiența europeană actuală, relevantă, în ceea ce privește cimenturile cu adaos de calcar, precum și motivele pentru care, pe plan european, au fost studiate și produse aceste tipuri de cimente. O atenție deosebită este acordată modului în care CPC CEM II/B cu adaos mixt zgură-calcar au fost acceptate<sup>18</sup> pentru utilizare în Germania.

În lucrare se promovează faptul că o abordare echilibrată și selectivă, înțelegând prin aceasta o acceptare doar în anumite clase de expunere și doar pentru anumite surse de clincher și zgură reprezintă „cheia” cu care se poate generaliza, ulterior, extinderea domeniului de utilizare al acestui tip de ciment CEM II/B-M(S-LL). Este inclusă și o sinteză, utilă în practică, a principalelor limitări impuse atât din punct de vedere tehnologic cât și sub aspectul durabilității acestor tipuri de cimente.

Din datele statistice prelucrate reiese faptul că, pe plan european, calcarul reprezintă principalul adaos de fabricație în ciment, arătând potențialul enorm al acestui tip de adaos.

În lucrare se prezintă și o serie de considerații teoretice privind efectele prezenței calcarului în ciment sub aspectul porozității și influenței asupra curbei granulometrice precum și reprezentări grafice sugestive, originale. Este arătat cu exemple concrete<sup>19</sup> sau doar din punct de vedere practic, plecând de la experiența proprie, efectul adaosului combinat zgură-calcar asupra caracteristicilor fizico-mecanice și chimice ale cimentului, respectiv betonului;

Cu o abordare inovativă și proactivă, bazată pe criterii de performanță, lucrarea trece în revistă indicii și parametrii care caracterizează adaosurile folosite așa încât respectivele valori (intervale de variație) să poată fi utile în estimarea unor comportamente similare.

Cea mai importantă contribuție a capitolului constă în analizarea și prelucrarea<sup>20</sup> unor date primare în vederea formulării unor concluzii privind influența adaosurilor de calcar sau zgură asupra parametrilor cimenturilor CPC. Pentru o cantitate mare de date se face o sinteză a parametrilor principali pentru cimente cu adaosuri unitare de zgură sau calcar arătându-se influența adaosurilor asupra unor parametri esențiali ai cimenturilor cu legătura directă asupra comportării acestora în betonul proaspăt și întărit.

Pentru CPC/C tip CEM II /B-M(S-LL) în urma analizării parametrilor cimenturilor fabricate experimental, precum și a practicii se pot afirma următoarele:

- nu se poate stabili o corelație clară între creșterea dozajului de calcar și sporirea necesarului de apă pentru prepararea pastei de consistență normală. Acest lucru poate fi pus pe seama prezenței în compoziție și a zgurii, ca adaos, care are efect contrar celui observat pentru calcar, pentru această influență;

---

<sup>18</sup> aceasta acceptare este foarte importanta intrucat se constituie intr-un precedent (limitat) pe plan european

<sup>19</sup> pe CPC cu adaos de zgura-calcar produse experimental

<sup>20</sup> prelucrarea nu contine și prelucrari statistice, acestea putand fi considerate informatii “sensibile”

- se poate stabili faptul că pe măsură ce cantitatea de calcar din ciment crește este necesară o cantitate mai redusă de apă de preparare pentru obținerea aceleiași consistențe (tasări) pe beton prin „efectul de filler”, adaosul de zgură<sup>21</sup> utilizat neinfluențând prea mult acest aspect;
- se constată o creștere<sup>22</sup> a timpilor de priză pe măsura creșterii adaosului de calcar;
- pe măsura creșterii adaosului de calcar este necesară sporirea fineții de măcinare pentru încadrarea în aceeași clasă de rezistență, întrucât se reduc atât rezistențele la compresiune pe termen scurt, cât și la 28 de zile;
- este posibil ca frecvența de apariție a eflorescențelor să fie mai ridicată în cazul folosirii CPC/C, întrucât creșterea dozajului de calcar în ciment aduce după sine o porozitate mai ridicată a matricii, respectiv o sensibilitate mai ridicată la carbonatare;
- în cazul folosirii CPC/C este foarte probabilă o adâncime mai mare<sup>23</sup> de carbonatare pe seama creșterii porozității matricii de piatră de ciment asociată cu o cantitate mai redusă de  $\text{Ca(OH)}_2$  bazic în matrice, întrucât o parte din clincher este substituită;
- în cazul folosirii CPC/C este posibilă o adâncime mai mare de difuzie a ionilor de clor datorită creșterii porozității matricii de piatră de ciment;
- domeniul utilizării CPC/C în betoane expuse agresiunii chimice, sulfatice, trebuie abordat cu precauție;
- CPC/C prezintă o caldură de hidratare totală mai redusă decât CPC la egal conținut de adaos efect al substituirii materialelor cimentoide cu calcar, fără caldură de hidratare. Pe termen scurt aceasta poate fi mai ridicată<sup>24</sup> datorită efectului de generare de centre de nucleație;
- pe măsura creșterii dozajului de adaos în ciment se constată creșterea contracțiilor axiale proporțional cu creșterea fineții de măcinare în vederea asigurării claselor de rezistență;
- pe măsura creșterii dozajului de adaos de calcar în ciment se constată creșterea permeabilității atât la lichide, cât și la gaze, efect al sporirii porozității capilare.

Pe ansamblu, din comparația parametrilor cimenturilor „de referință” CEM II/A-S 32,5R, CEM II/B-S 32,5R și „candidat” CEM II/A-LL 32,5R se constată următoarele:

- Pentru aproximativ același conținut de adaos (~18-20%), finețea de măcinare a cimenturilor „candidat” este mai ridicată cu 400... 600  $\text{cm}^2/\text{g}$  față de cimenturile „de referință”;
- Timpii inițiali și finali de priză ai cimenturilor „candidat” sunt ușor mai reduși decât ai cimenturilor „de referință”;
- Rezistențele la compresiune ale cimenturilor „candidat” și „de referință” sunt similare, în condițiile în care finețea de măcinare este diferită, după cum s-a arătat mai sus;
- Necesarul de apă pentru prepararea pastei de consistență normală pentru cimenturile „candidat” este ușor mai redus decât pentru cimenturile „de referință”.

Din analizarea acestor date se conturează concluzia că, pentru obținerea unor rezistențe similare la 2 și 28 de zile, un ciment cu adaos de calcar este necesar să fie macinat la o finețe mai mare decât un ciment cu

<sup>21</sup> dozată corespunzător unui CEM II/B-M

<sup>22</sup> prin comparație cu un ciment CEM II/A-S de egală clasă de rezistență

<sup>23</sup> prin comparație cu un ciment CEM II/A-S de egală clasă de rezistență

<sup>24</sup> prin comparație cu un ciment CEM II/A-S 32,5R, de exemplu

---

zgură, ambele având un procent similar de adaos. Din acest motiv pot apărea scăderi de productivitate a morii și de consum energetic mai mare în cazul măcinării cimenturilor cu calcar, însă o evaluare exactă trebuie făcută prin urmărirea nemijlocită a echipamentelor de măsură și control, decizia fiind de natură tehnico-economică.

Comparația între parametrii CEM II/A-S și CEM II/A-LL arată diferențe sesizabile asupra necesarului de apă pentru prepararea pastei de consistență normală, precum și asupra fineții de măcinare în vederea obținerii unor nivele de rezistențe la compresiune similare la toate termenele de încercare. Modificarile asupra timpilor de priză nu sunt semnificative, de natură a genera probleme pe șantier. Se observă faptul că există anumite diferențe între caracteristicile cimenturilor funcție de sursă, în special în ceea ce privește finețea de măcinare, principal parametru prin care se controlează rezistențele la compresiune ale cimentului.

Având în vedere orientarea către aspectele practice, teza de doctorat stabilește cele patru categorii de factori care concură la asigurarea durabilității betoanelor preparate cu CPC/C tip CEM II/(S-LL) respectiv:

- Factori ce țin de caracteristicile cimentului;
- Factori ce țin de caracteristicile betonului;
- Factori ce țin de modul de punere în operă și eficiența tratării;
- Factori ce țin seama de temperatura mediului, în special în prima parte a duratei de serviciu.

Toti acești factori trebuie gestionați în mod eficient în vederea asigurării unei durate corespunzătoare de serviciu unei structuri de beton preparat cu CEM II/(S-LL) indiferent de clasa de rezistență.

Considerațiile teoretice, sistematizate în acest capitol, constituie fundamentul prezentării ulterioare a aspectelor tehnice cuprinse în teza de doctorat, în special în ceea ce privește răspunsul CPC/C la metode moderne de abordare a durabilității betoanelor.

Sub aspect practic, contribuțiile personale ce se conturează în acest capitol pot sprijini deciziile de introducere și susținere din punct de vedere tehnic a CPC/C, precum și de concepere a unor programe științifice, experimentale, de natură a extinde domeniile de utilizare ale acestora.

*Capitolul I are 4 figuri, 9 tabele și 2 fotografii.*

## **Rezumatul capitolului II**

Capitolul II denumit „**Metode moderne de abordare a problematicii durabilității betonului în corelație cu durata de serviciu**” prezintă o serie de elemente tehnice generale precum și de ordin juridic ale durabilității lucrărilor din beton identificând principalii factori de care depinde durabilitatea unei structuri din beton, cuantificabilă prin durata ei de serviciu, după cum urmează:

- a) corectitudinea alegerii parametrilor compoziționali ai betonului în corelație cu agresivitatea mediului;
- b) calitatea punerii în opera și a tratării betonului;
- c) menținerea (relativ) constantă a nivelului de agresivitate al acțiunilor fizico-chimice și mecanice, luat în considerare la proiectare, pe întreaga durată de serviciu;
- d) efectuarea lucrărilor de întreținere și reparații la timp și de calitate.

---

Proiectarea durabilității betonului constă, concret, în respectarea unui set de exigențe/condiții/criterii (impuse de reglementări sau de practica ingineriască) care conduc, cu o probabilitate anume, la o performanță satisfacatoare pe o durată de serviciu predeterminată.

Durabilitatea structurilor din beton, cerința de importanță capitală din toate punctele de vedere (tehnic, economic, social, emoțional etc), nu presupune o durată de viață „nelimitată” și nici nu înseamnă ca betonul trebuie să reziste cu succes oricăror agresiuni venite din partea mediului înconjurător, accidentale și/sau neluate în considerare în etapa de proiectare.

Datorită faptului că, de cele mai multe ori, un beton corect proiectat sub aspectul durabilității reprezintă cea mai eficientă<sup>25</sup> soluție tehnico-economică de realizare a unei structuri, preocupările privind asigurarea durabilității s-au intensificat în ultima perioadă pe plan național și internațional. Răspunsul la aceste preocupări reprezintă de altfel obiectivul tezei de doctorat pentru betoanele preparate cu cimenturi Portland compozite cu adaos de calcar.

Una din constatările reieșite din experiența practică în proiectarea durabilității betonului, în general, este că degradările care apar în timp sunt costisitoare și dificil de gestionat din punct de vedere tehnic în cadrul operațiilor de remediere/reparații [15]. O altă constatare este că un beton de clasa ridicată de rezistență este, în general, un beton durabil. Revine specialistului sarcina de a proiecta betoane care să fie în același timp atât economice cât și durabile.

În condițiile unei întrețineri normale, construcțiile trebuie să îndeplinească un set de șapte cerințe fundamentale aplicabile pe o durată de serviciu rezonabilă din punct de vedere tehnico-economic. Aceste cerințe sunt [42] rezistență mecanică și stabilitate, securitatea la incendiu, igienă, sănătate și mediu înconjurător, siguranță și accesibilitate în exploatare, protecție împotriva zgomotului, economie de energie, izolare termică precum și utilizare sustenabilă a resurselor naturale.

Abordarea corectă din punct de vedere tehnico-economic este ca, plecând de la exigențele impuse unui element de beton din considerente structurale (din calcule de rezistență), să se stabilească un set de valori limită pentru clasa betonului. O evaluare complet separată, plecând de la condițiile de mediu (încadrabile în clase de expunere „X”) în care acesta este exploatat, poate impune alte valori limită (clasa minimă, A/C max. etc.), de cele mai multe ori chiar mai exigente decât primul set de valori. Aceasta reprezintă o noutate a aplicării noilor reglementări, europene, în domeniu.

În final, setul de parametri aferenți elementului de beton respectiv, rezultă ca o înfașurătoare a celor două categorii de valori limită (din considerente structurale și de durabilitate). Această corelație este prezentată în figura următoare.

---

<sup>25</sup> *dat fiind raportul excelent dintre cost și performanțele oferite*

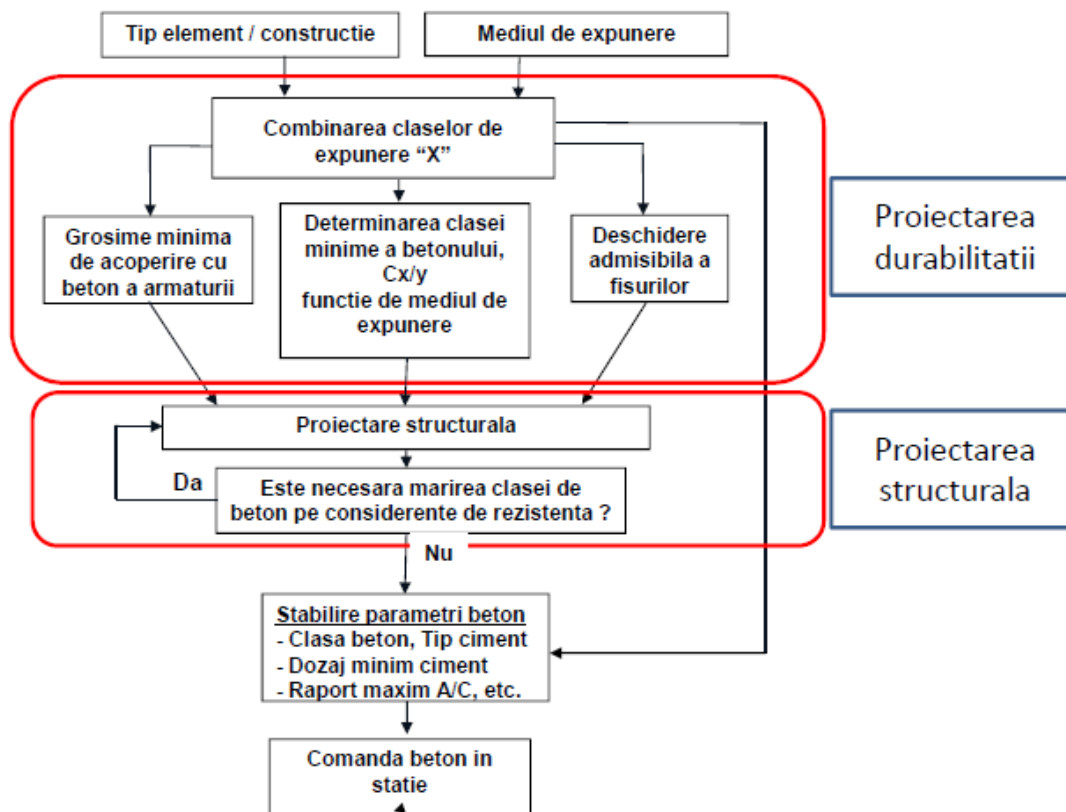


Fig. 1. Alegerea clasei minime de rezistență a betonului și a altor parametri (A/C etc.) în funcție de clasele/combi-națiile de clase de expunere (mediul de expunere). Proiectarea durabilității betonului este util să precedă proiectarea structurală.

În proiectare, durabilitatea betonului este specificată prin valori limită compoziționale (clasa minimă a betonului, raport maxim A/C, dozaj minim de ciment, tip ciment). Pe cuprinsul Capitolului II se face și o prezentare a conceptului de clasă de durabilitate [1], original, foarte interesant și de perspectivă în ceea ce privește realizarea legăturii fizice atât de necesare în practică între exigențele impuse betonului (în principiu clasa de rezistență), atât pe considerente de calcul structural, cât și de durabilitate.

Capitolul II tratează aspecte de bază ale aplicării unor metode de evaluare a durabilității în corelație cu durata de serviciu făcând referire la *serviceabilitate* și *reliabilitate*, noțiuni explicate pe cuprinsul tezei de doctorat. Lucrarea conturează o serie de concluzii care sunt prezentate în continuare:

1. Durabilitatea betonului face obiectul a numeroase studii și reglementări tehnice ca urmare a unor degradări structurale premature și al apariției de noi posibilități compoziționale de producere a betonului<sup>26</sup>. Există de asemenea necesitatea imperioasă a predicției duratei de serviciu pentru lucrări importante, în special în domeniul infrastructurii de transport;
2. Principalele degradări care afectează fondul construit din România sunt datorate unor fenomene asociate îngheț-dezghețului în stare saturată, atacului dat de ionii de clor din diverse surse, precum și datorită unor agresiuni chimice - industriale sau naturale;

<sup>26</sup> de exemplu a noi tipuri de ciment

- 
3. Durabilitatea unei structuri de construcții trebuie să fie asigurată prin măsuri eficiente, adoptate în etapele de proiectare și executare, împreună cu *inspecții periodice* suficient de detaliate și activități de întreținere pe durata de serviciu, corespunzătoare din punct de vedere tehnic;
  4. Durabilitatea betonului se asigură, în majoritatea țărilor europene, în anexe naționale de aplicare a EN 206-1 prin abordări gen „proiectat să dureze” („deem-to-satisfy”). Această abordare „conservatoare” este necesar să fie schimbată pe măsură ce se trece la cimenturi noi (pentru care nu există deocamdată experiență națională) sau cu un conținut ridicat de adaosuri, la betoane cu noi tipuri de adaosuri sau pentru lucrări deosebit de importante având durate de serviciu mai mari de 50 de ani. Trecerea la stabilirea duratei de serviciu prin metode probabilistice sau semiprobabilistice (bazate pe coeficienți parțiali de proiectare) este necesară în cazul structurilor pentru construcții având durata de serviciu mai mare de 50 de ani;
  5. Reglementările tehnice naționale oferă, pentru o durată de serviciu de 50 de ani (prevăzută de EN 206-1) valorile limită din punct de vedere compozițional ale betonului în corelație cu grosimi de strat de acoperire, deschidere maximă a fisurilor în exploatare și exigențe privind modul de punere în operă și tratare. Dată fiind inerția mare a adaptării participanților la noi exigențe de proiectare / executare a lucrărilor, este important ca noile tipuri de cimenturi să poată fi acceptate în noi clase de expunere, păstrându-se neschimbată grosimea stratului de acoperire, precum și modul de evaluare a deschiderii fisurilor, conform actualelor reglementări europene;
  6. Codurile Model dezvoltate între 1996 și 2003 în cadrul unui program extins de cercetare științifică derulat în Uniunea Europeană pot reprezenta cadrul general pe baza căruia, în România, să se poată începe abordarea integral probabilistică și/sau bazată pe coeficienți parțiali de proiectare a durabilității betonului;
  7. În ultima perioadă au apărut noi modalități de abordare a tandemului „clasă de expunere – clasa betonului” (de exemplu prin intermediul clasei de durabilitate [1]) așa încât utilizatorul să aibă sintetizate informațiile esențiale în ceea ce privește durabilitatea și acestea să poată fi transmise și păstrate pe toată durata de serviciu a structurii;
  8. Degradările sunt costisitoare și dificil de gestionat din punct de vedere tehnic în cadrul operațiilor de întreținere. Revine specialistului sarcina de a proiecta betoane care să fie în același timp economice și durabile, respectiv să poată gestiona, la costuri rezonabile, în mod eficient, riscurile legate de durabilitate o perioadă de serviciu predeterminată. În diagnosticarea cauzelor degradărilor este întotdeauna util să se urmărească realizarea corelațiilor necesare între “cauza degradării” și “soluțiile de remediere” așa încât, pe cât posibil din punct de vedere ingineresc, să se îndeparteze cauza;
  9. În capitol se face o sinteză a unor prevederi privind durabilitatea, *serviceabilitatea*<sup>27</sup>, durata de serviciu și stările limită care caracterizează structurile din beton. Este trecut în revistă specificitatea executării lucrărilor de beton în corelație cu durabilitatea, reliabilitatea și serviceabilitatea în ceea ce privește executarea lucrărilor de construcții cu beton conținând CPC/C. Aceasta reprezintă particularizarea unor reglementări tehnice, de exemplu NE 012/2:2010, la tema tezei de doctorat;
  10. Capitolul prezintă principii și cerințe aflate în standarde și reglementări europene privind asigurarea durabilității, insistându-se asupra măsurilor de evitare sau de limitare a avariilor. Sunt prezentate strategiile de stabilire a duratelor de serviciu (de proiectare a durabilității betonului) conform Codurilor

---

<sup>27</sup> *satisfacerea condițiilor de exploatare, de serviciu*



---

MODEL [44], [45] introducându-se în discuție o nouă metodă de analizare (bazată pe abordarea de performanța a durabilității betonului);

Contribuția adusă de teza de doctorat, în cadrul acestui capitol, constă în realizarea unei analize extinse a modului de abordare al controlului calității lucrărilor de betonare cu CPC/C plecând de la prevederile [47]. Se face trimitere către managementul diferențierii nivelului (claselor) de fiabilitate (RC) între structurile pentru construcții, prin intermediul claselor de consecințe (CC), nivelurilor de supervizare în proiectare (DSL) și inspecție în execuție (IL), precum și prin intermediul indicelui de fiabilitate „ $\beta$ ”;

Plecând de la faptul că managementul diferențierii nivelului (claselor) de fiabilitate (RC) între structurile pentru construcții în care se utilizează CPC/C se poate face și prin intermediul altor măsuri, plecând de la prevederile conținute în [47], în lucrare se trec în revistă posibilitățile concrete de influențare a nivelului de fiabilitate, în cazul utilizării CPC/C, după cum urmează:

- O diferențiere a factorilor de multiplicare „ $K_{Fi}$ ” funcție de tipul de ciment poate fi teoretic utilizată însa este sub aspect practic inaplicabilă;
- O diferențiere a claselor de robustețe „ROC” în sensul introducerii unor clase mai exigente în cazul utilizării CPC/C este o opțiune doar din punct de vedere teoretic, întrucât implicațiile legate de proiectare o fac inaplicabilă;
- Un management diferențiat al calității în etapa de proiectare, prin intermediul nivelelor de supervizare a proiectării „DSL” este, de asemenea, inaplicabilă;
- Un management diferențiat al calității executării lucrărilor funcție de tipul de ciment, prin intermediul claselor de exigență la executarea lucrărilor „EXC” poate fi util, întrucât este vorba despre o inspecție a șantierului, foarte necesară în special în etapa post-turnare cand se face tratarea betonului, esențiala pentru durabilitate în special în ceea ce privește CPC/C CEM II/B;
- Un management corect, diferențiat, al calității condițiilor de control (de urmărire în timp) pe durata de serviciu este decisiv pentru nivelul corespunzător de fiabilitate. Un nivel mai ridicat al condițiilor de control „CCL” în cazul utilizării CPC/C este perfect aplicabil sub aspect practic și reprezintă o măsură normală, suplimentară, de siguranță. În plus, pe măsura câștigării încrederii și acumulării de experiență în utilizare, nivelul de condiții de control ce poate fi asociat utilizării CPC/C poate fi scăzut de la CCL3 la CCL2, de exemplu;
- O evaluare a costurilor măsurilor necesar a fi luate pentru diferențierea claselor de fiabilitate este întotdeauna utilă dată fiind influența acestora asupra claselor „CC”, „DSL” și „IL”, precum și asupra indicelui de fiabilitate „ $\beta$ ”. În situația în care pentru un CPC/C costul asigurării unei anumite clase de fiabilitate (RC) este prea mare se pot analiza diferite măsuri de acompaniere, de la caz la caz, pentru atenuarea deficiențelor;
- Alegerea unor factori parțiali de siguranță „ $\gamma_R$ ” pentru rezistența „R” corespunzătoare acțiunilor „A” în cazul utilizării unui CPC/C nu reprezintă un mecanism funcțional întrucât se prevede reducerea unui factor de siguranță în același timp cu sporirea măsurilor de inspecție pe șantier.

În concluzie, se consideră că asigurarea, pentru structuri, a unui anumit nivel de fiabilitate în cazul folosirii CPC/C poate fi realizată doar printr-un management diferențiat al calității executării lucrărilor „EXC” și al calității condițiilor de urmărire în timp „CCL”. Aceste măsuri trebuie să fie luate în condiții de siguranță din punct



---

de vedere tehnic și de rentabilitate economică fiind, posibil, necesare măsuri de atenuare a deficiențelor ce pot fi asociate CPC/C.

În lucrare se consideră că, în mod evident, aplicarea abordării actuale tip „deem-to-satisfy” devine limitată, nemaiputând fi utilizată pentru structuri a căror durată de serviciu este mai mare decât cea obișnuită de 50 de ani, în acest caz fiind necesară trecerea la abordarea bazată pe performanța sau pe metode probabilistice. Limitarea abordării actuale se constată, de altfel, și în cazul extinderii domeniilor de utilizare ale CPC/C, subiect al tezei de doctorat, fiind imperios necesar să se treacă la armonizarea pe plan european a unor criterii de performanță menite a stabili în ce condiții compoziționale (clasa, A/C etc.) un anumit tip de ciment este acceptat într-o clasă de expunere „X”.

În finalul capitolului II se face referire la situația actuală din România, precum și la perspectivele trecerii de la actuala abordare la una bazată pe performanță și în perspectiva, la cea bazată pe metode semi și integral probabilistice.

*Capitolul II are 5 figuri, 15 tabele și o fotografie.*

### Rezumatul capitolului III

Pe cuprinsul capitolului III denumit „**Abordarea descriptivă. Grosimea stratului de acoperire. Deschiderea maximă calculată a fisurilor și controlul fisurării**” se prezintă nivelul actual al condițiilor de acceptare, în reglementările în vigoare, al cimenturilor cu adaos de calcar în România atât în ceea ce privește cimenturile cu adaos exclusiv de calcar (L, LL) cât și a CPC/C (LL) care, de altfel, fac obiectul tezei de doctorat.

Pe plan european se manifestă un interes din ce în ce mai mare [120] cu privire la cimenturile cu conținut ridicat de adaosuri, din care unul este calcarul, în sensul intensificării cercetărilor în vederea extinderii domeniilor de utilizare [58], [59]. Atenția se concentrează pe cimenturile Portland compozite CEM II/B-M(S-LL), CEM II/B-M(V-LL) și Portland cu calcar CEM II/B-LL, urmărindu-se fundamentarea tehnică a unor domenii de utilizare pentru acestea, respectiv acceptarea lor în betoane structurale. Comportarea betoanelor preparate cu cimenturi Portland cu calcar (CEM II/LL) și compozite cu două adaosuri (S-LL, V-LL) sub aspectul durabilității trebuie să fie analizată local prin studii experimentale extinse, folosindu-se inclusiv elemente la scară naturală.



*Foto 1. Amenajarea în zona urbană (București) a unui poligon de încercare „in situ” a betoanelor preparate cu cimenturi „candidat” Portland compozite cu adaos de calcar și “de referință” cu CEM II/A-S 32,5R. Elemente tip „stâlp din beton armat”. Un poligon similar este amenajat și în zona litorală (Constanța) pentru CEM III/A.*

---

Nivelul de acceptare al cimenturilor oferit prin abordarea de tip descriptiv întâlnită în reglementarea [12] trebuie înțeles, în context național și european, ca fiind raportat la nivelul de experiență, cunoaștere și siguranță la care s-a ajuns până în anul 2006. Reglementarea stabilește o acceptare generală de utilizare pentru o gama largă de cimenturi, produse în conformitate cu SR EN 197-1 [5], atât în baza experienței naționale și a celei europene relevante, concretizată în reglementări.

Testarea unui tip de ciment „candidat”, respectiv acceptarea sa în clase de expunere esențiale pentru durabilitate „X”, trebuie să precedă utilizarea pe scara largă în aplicații uzuale. Acceptarea dată de SR 13510:2006 [12] este acordată în principiu și trebuie citită împreună cu #5.1.2. din acesta și nu disociată de aceasta prevedere. Pe de altă parte, testarea unui tip de ciment compozit CEM II/B-M poate acoperi sub aspectul informațiilor obținute, comportarea cimentului CEM II/A-M „corespondent”<sup>28</sup> cercetarea experimentală a celui din urmă, putând avea rol de confirmare doar în aspecte ce pot fi considerate sensibile, așa cum este îngheț-dezghețul sau atacul chimic XA2, XA3, fără agresiune sulfatică. Așa se procedează și în teza de doctorat, concluziile testărilor intensive efectuate pe CEM II/B-M(S-LL) putând conduce la concluzii și pentru CEM II/A-M(S-LL) – cimentul „corespondent”. Pentru aceasta, rețeta de fabricație a cimentului „candidat” CEM II/B-M(S-LL) este necesar să fie declarată și trebuie să acopere toate potențialele rețete specifice cimenturilor „corespondente” CEM II/A-M(S-LL).

Extinderea domeniilor de utilizare ale unui ciment „candidat” ar trebui să se facă la aceiași parametri compoziționali ca și cei ai cimenturilor deja acceptate în [12]. În diferite clase de expunere „X” creșterea clasei minime de beton și reducerea A/C, creșterea dozajului minim de ciment precum și alte măsuri<sup>29</sup> sunt părgihii foarte importante pe care realizatorul reglementării de extindere le poate folosi cu succes.

Durabilitatea betoanelor preparate cu cimenturi Portland compozite cu adaos de calcar este influențată<sup>30</sup> de dozajul de ciment (clasa betonului), raportul A/C, ponderea (%) adaosurilor, finețea de măcinare, caracteristicile clincherului, ale zgurii și calcarului, fiind astfel dependentă de modul de utilizare și (uneori predominant) de sursă (fabrică), așa cum arată [120]. De aceea, este posibilă, și o „acceptare limitată” a acestor tipuri de cimenturi în diferite clase de expunere, funcție de sursele și caracteristicile adaosurilor așa cum se procedează în Germania.

Conform [12], [13], pentru alte cimenturi care nu sunt cuprinse în SR EN 197-1 (de exemplu cimenturi care sunt produse în baza unui standard național) utilizarea trebuie să se facă pe baza prevederilor altor standarde europene de cimenturi în vigoare, a standardelor naționale relevante, elaborate cu respectarea unor principii și proceduri recunoscute și conforme cu standardul SR EN 206-1. Respectiva prevedere privind standardele naționale, atât timp cât acestea nu conțin anexa ZA, este neaplicabilă, întrucât pentru introducerea pe piață a unui ciment este necesară aplicarea marcajului de conformitate CE. Introducerea prin reglementări tehnice naționale a principiilor și procedurilor care să stabilească aptitudinea de utilizare devine din acest motiv necesară.

Considerând ca reper<sup>31</sup> STAS 10107/0-90 [105] privind grosimea stratului de acoperire cu beton a armăturilor, este analizat efectul aplicării Eurocod 2 [228] asupra grosimilor de strat de acoperire conform

---

<sup>28</sup> având aceeași combinație de adaosuri

<sup>29</sup> de exemplu privind executarea lucrărilor sau limitarea conținutului unui anumit adaos

<sup>30</sup> pe langa cele enumerate este influențată covarsitor de durată și eficiența tratării,

<sup>31</sup> mai puțin pentru zona litorală și zonele cu agresivitate chimică, prevăzute în reglementări specifice NE 012/1999 [64] și C 170 [107]

prevederilor naționale, ieșite din vigoare, care pot fi considerate că reprezintă tradiția națională (grosimi de acoperire “martor” sau “de referință”).

Tabel 2. Stabilirea grosimii de strat de acoperire conform reglementărilor naționale STAS 10107/0-90 [105], NE 012-1999 [64] și C 170 [107]. Comparația cu valorile grosimii de strat de acoperire nominale „ $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ ” stabilite prin Eurocod 2 [183] și anexa sa națională [186].

Regl.	Împărțirea mediului în categorii, cf reglementării	Clase de expunere relevante	Clasificare	Grosimea minimă a stratului de acoperire a betonului monolit (#) și prefabricat [#] / valoare <sup>32</sup> cf EC 2 pt S4			
				Placi, nervuri dese ale planșeelor	Pereti structurali	Grinzi, stâlpi și alte elemente structurale	Fundații și funduri de rezerv și castel apa
[105] STAS 10107/0-90	Categoria I	XC3		(10)[10]/30	(15)[10]/35	(25)[20]/35	(-)[-]/35
	Categoria a II-a	XC4		(15)[15]/35	(20)[15]/40	(30)[25]/40	(-)[-]/40
	Categoria a III-a	XC4		(20)/35	(30)/40	(35)/40 (•)	(35)/40 (•)
	Categoria a IV-a	XC2		(-)/30	(45)/35	(-)/35	(45)/35
[64] NE 012-1999	4a, mediu marin, Agresiv. slabă apa mare	XC4+ XS3		[(40)]/50	[(40)]/55	[(40)]/55	[(40)]/55
	4a, mediu marin, Agresiv. intensă apa mare	XC4+ XS3		[(70)]/50	[(70)]/55	(70)[40]/55	[(70)]/55
	4 b, mediu marin, Agresiv. atm. moderată	XC4+ XS1	S I	(15)[15]/40 (20)[20]/40	(20)[15]/45 (25)[20]/45	(30)[25]/45 (35)[30]/45	(-)[-]/45 (-)[-]/45
	4 b, mediu marin, Agresiv. atm. severă	XC4+ XS1	S I	(20)[20]/40 (25)[25]/40	(25)[20]/45 (30)[25]/45	(35)[30]/45 (40)[35]/45	(-)[-]/45 (-)[-]/45
[107] C 170	Agresivitate industrială foarte slabă	XA1b		[(15)] / *	[(20)] / *	G: [(30)] / * St: [(30)] / *	*
	Agresivitate industrială slabă	XA2b		[(20)] / *	[(25)] / *	G: [(30)] / * St: [(35)] / *	*
	Agresivitate industrială medie	XA3b		[(30)] / *	[(35)] / *	G: [(35)] / * St: [(40)] / *	*
	Agresivitate industrială puternică	XA4b		[(40)] / *	[(45)] / *	G: [(45)] / * St: [(45)] / *	*

Legenda: (#) – valoarea grosimii stratului de acoperire pentru betonul monolit, [#] - valoarea grosimii stratului de acoperire pentru betonul prefabricat, [(#)] – valoarea grosimii stratului de acoperire pentru betonul monolit și prefabricat, / # - valoarea grosimii stratului de acoperire pentru beton conform EC 2[183], [186] care nu face distincția între betonul monolit și prefabricat,

S – nivel slab de agresivitate, I – nivel intens de agresivitate, G – grinzi, St - stâlpi “\*” – valoare nestabilită  
In tabelul de mai sus nu s-au luat în considerare grosimile de strat de acoperire pentru elemente turnate cu cofraje glisante, din beton având în compoziție inhibitori de coroziune și nici pentru elementele din beton care au armături pretensionate.

Compararea grosimilor de strat de acoperire prevăzute de către Eurocod 2 [228] cu cele anterioare<sup>33</sup> are sens, întrucât acestea din urma pot fi analizate (sub aspectul eficienței) în condițiile de clima și eventual disciplină tehnică specifice țării noastre anterior anului 2012, anul ieșirii din vigoare a STAS 10107/0-90 [105].

<sup>32</sup> se refera la valoarea „ $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ ” în care  $c_{min}$  este preluat din [183], [186] iar „ $\Delta c_{dev}$ ” este preluat din [186] având valoarea de 10mm pentru toate elementele mai puțin placile unde valoarea este de 5mm („ $\Delta c_{dur,y}$ ” este considerat 0mm conform prevederilor anexei naționale [186]);

<sup>33</sup> prevazute de vechile reglementari nationale

---

Comparația este importantă întrucât experiența națională are la bază grosimi de strat de acoperire stabilite pe baza utilizării unor cimenturi CEM I sau CEM II/A cu maxim 20% conținut de adaos, iar anexa națională de aplicare a EN 206-1 [12] prevede extinderea, în diferite clase de expunere "X", a cimenturilor cu un conținut mai ridicat de 21% adaos, rezultând pe de-o parte un risc mai ridicat de carbonatare (XC) și, pe de altă parte, un risc mai redus de difuzie a ionilor de clor (XD, XS) în cazul adaosurilor puzzolanice. De menționat, în acest context, este faptul că anexa națională SR 13510:2006 [12] crește clasa betonului și reduce raportul A/C față de vechile reglementări naționale [64], adică asociază prin valorile limită impuse betonului un risc mai scăzut de carbonatare, respectiv de difuzie a ionilor de clor. În discuție rămân cimenturile Portland compozite cu adaos de calcar a căror comportare la carbonatare și difuzie a ionilor de clor (comparativ cu CEM II/A-S 32,5R) este analizată în teză.

STAS 10107/0-90 [105] face o împărțire a construcțiilor, în funcție de condițiile de expunere la acțiunea mediului înconjurător, în patru categorii (I, II, III și IV), stabilind grosimea stratului de acoperire pentru fiecare din acestea, pentru beton monolit și prefabricat. Propuneri de asimilare orientativă a categoriilor de mediu înconjurător conform STAS 10107/0-90 [105], NE 012-1999 [64] și C 170 [107], precum și de definire a clasei de expunere acoperitoare pentru stabilirea grosimii stratului de acoperire sunt făcute în teza de doctorat.

Se observă faptul că, în cea mai mare parte a situațiilor, grosimea de strat de acoperire s-a majorat prin prevederile EC2 [183] și ale anexei naționale de aplicare [186] cu minim 5mm, ajungând până la 25mm.

Valorile subliniate în tabelul 2 prezintă, pentru o durată de serviciu de 50 de ani, grosimi mai reduse ale stratului de acoperire stabilite prin Eurocod 2 [183] decât prin reglementările naționale considerate "de referință"<sup>34</sup> [64], [105] și [107]. Cimenturile CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) pot să nu fie acceptate în elemente de beton expuse în combinația de clase de expunere „XC4+XS3” (zonă marină expusă ceții și stropirii apei de mare<sup>35</sup>) datorită prezenței sării. Aceasta restricție nu se aplică însă clasei de expunere XC4 (luată separat) ci doar XS3.

Valorile marcate (\*) corespund unor zone cu un grad de risc sporit datorită faptului că aplicarea EC2 [183], [186] conduce la majorări ale grosimii de strat de acoperire de doar 5mm. Asupra acestor zone trebuie concentrată atenția în ceea ce privește asigurarea durabilității elementelor din beton în cazul utilizării unui ciment CPC/C CEM II/B care are procent mai ridicat de 21% de adaos, în special când acesta nu prezintă reacție puzzolanică (L, LL). Domeniul de utilizare în discuție este reprezentat de asigurarea duratei de serviciu de 50 de ani în clasele de expunere la carbonatare și atacul dat de cloruri, din diferite surse, pentru grinzi, stâlpi, precum și alte elemente structurale aflate în categoria a III-a<sup>36</sup> (majoritatea betonului structural expus în XC4).

Reglementarea unei legături între grosimea stratului de acoperire și tipul cimentului are o foarte redusă aplicabilitate practică, așa cum s-a arătat, reprezentând mai degrabă o abordare teoretică. Există un singur exemplu de reglementare europeană [103] care stabilește grosimi de strat de acoperire, prin intermediul pachetului de valori (clasa betonului, raport A/C, dozaj minim de ciment) funcție de tipul cimentului. Această situație este explicabilă prin tradiția în mare măsură diferită a producătorilor (de ciment, respectiv beton) britanici, prin comparație cu cei din restul Europei.

---

<sup>34</sup> reglementările naționale [64], [105] și [107] nu prevăd o anumită durată de serviciu

<sup>35</sup> elemente/structuri monolite și prefabricate aflate în clasa de expunere 4a, mediu marin cu agresivitate intensă a apei de mare și 4b, mediu marin cu agresivitate atmosferică severă. Aceste zone se întind în zona de sud a litoralului național (M. Neagră).

<sup>36</sup> elemente situate în aer liber, expuse la îngheț-dezghet în stare umezită precum și elemente aflate în spații închise cu umiditate relativă de peste 75%, hale industriale cu umiditate superioară acestei limite, acoperisurile rezervoarelor și bazinelor, grupurile sanitare și bucatariile din construcțiile de utilizare publică, subsolurile neîncalzite ale clădirilor etc. fundații și funduri de rezervoare și de castele de apă

---

Capitolul III tratează succint, inclusiv sub aspect istoric, etapele de armonizare a prevederilor tehnice privind cimentul și betonul pe plan european, făcând o trecere în revistă a modului în care s-au definit domenii de utilizare pentru o serie de tipuri de cimenturi.

În Europa anexele naționale se bazează pe o abordare eminentemente descriptivă în stabilirea domeniilor de utilizare a cimenturilor oferind valori limită sub aspect compozițional în contextul unei durate de serviciu clar specificate în EN 206-1 (de 50 de ani) și pentru grosimi ale stratului de acoperire stabilite prin intermediul Eurocodurilor și anexelor lor naționale. Diversificarea compozițională și sub aspectul claselor de rezistență a cimenturilor, specifică ultimului deceniu în Europa, impune analizarea lor sub aspectul durabilității în vederea includerii în anexe de aplicare a EN 206-1, respectiv identificarea unor domenii de utilizare materializate prin acceptarea în clase de expunere „X”. Acceptarea oricărui ciment într-o clasă de expunere „X” trebuie corelată cu anumite nivele de exigență în ceea ce privește valorile limită ale betonului, grosimea minimă a stratului de acoperire, existența unor măsuri eficiente de control a fisurării, precum și privind punerea în operă.

Se constată pe plan european atât mari diferențe (Ungaria-Austria) cât și similitudini (Germania-Polonia) între nivelul de acceptare a unor cimenturi în țări apropiate din punct de vedere geografic, înțelegând prin aceasta „o climă similară”. În cadrul actualului mod de abordare descriptiv, existența într-o țară europeană a unui precedent în ceea ce privește acceptarea unui anumit tip de ciment într-o anumită clasă de expunere este foarte importantă, dată fiind existența unui cadru comun de reglementări (EN 206-1 și EN 197-1). Trecerea de la abordarea actuală (descriptivă) la o abordare bazată pe performanța, pe baza unor criterii de performanță unitare, armonizate pe plan european, va conduce la atenuarea diferențelor între nivelele de acceptare ale cimenturilor în țările Uniunii Europene.

Având la bază nivelul actual de acceptare a CPC conform SR 13510:2006, care folosește o abordare descriptivă, se pot formula următoarele două concluzii:

a) acceptarea cimenturilor CPC în anexa națională a fost făcută în mod echilibrat, la nivelul experienței naționale și europene relevante, având la bază prevederi naționale și europene privind stabilirea grosimii stratului de acoperire, deschiderea maximă a fisurilor în exploatare și pentru o durată de serviciu de 50 de ani a structurii. Rezultatele de laborator obținute în România [19], [57] au fost convergente cu rezultatele obținute pe plan internațional;

b) calitatea calcarului (L, LL) este decisivă în ceea ce privește acceptarea unui ciment (cel puțin) la acțiunea de îngheț-dezghet (XF), acceptarea unor cimenturi CPC/C CEM II/B în clasele de expunere XC3, XC4 și XF1 (cel puțin) este condiționată de folosirea unui calcar de puritate ridicată (LL), fără compuși organici în exces;

Pe plan național și european se constată o preocupare pentru identificarea unor domenii de utilizare pentru CPC/C tip CEM II/B. Includerea acestora în programe experimentale bazate pe o abordare de performanță reprezintă calea extinderii actualelor domenii de utilizare. Acesta este, de altfel, în mare parte, și obiectul tezei de doctorat.

Capitolul III prezintă o serie de prevederi privind grosimea stratului de acoperire prin prisma SR EN 1992-1-2 [106] făcând referire la reglementările naționale STAS 10107/0-90 [105], NE 012/1999 [64], C 170

---

[107] și NE 013:2002 [111] a căror valabilitate din punct de vedere tehnic sau juridic practic a încetat. În România modul de stabilire al grosimii stratului de acoperire se realizează integral conform Eurocodurilor.

Capitolul prezintă succint măsurile de control al fisurării arătând modul în care se face evaluarea cantității minime de armatură transversală aderentă, așa încât fenomenul să poată fi gestionat.

Una din contribuțiile aduse de lucrare, în cadrul acestui capitol, o reprezintă sistematizarea modului în care cimenturile cu adaos de calcar, inclusiv CPC/C, au fost acceptate în anexa națională de aplicare a SR EN 206-1:2002. Parametrul principal de care depinde nivelul de acceptare al unui ciment CEM II îl reprezintă calitatea calcarului.

Lucrarea analizează durabilitatea CPC/C arătând care sunt factorii de influență precum și puternica dependență a comportării acestora de sursa de clincher, zgură și calcar recomandând o „acceptare limitată”, funcție de sursă, ca fiind pasul preliminar pentru o acceptare generalizată, prin documentul național de aplicare a SR EN 206-1 revizuit;

Nivelul actual al acceptării acestor tipuri de cimenturi este făcut în corelație cu grosimea stratului de acoperire - un parametru esențial în ceea ce privește durabilitatea în clasele de expunere XC, XD, XS. O sinteză a principalelor prevederi naționale - în vigoare până la trecerea la Eurocodul 2 [183] - arată faptul că pentru betonul structural este necesară o prudență mai mare în utilizarea acestor cimenturi. Acest aspect trebuie înțeles în corelație cu conținutul (%) și tipul de adaos din ciment, întrucât grosimea de strat de acoperire a crescut cu doar 5mm existând și zone (este adevărat, foarte limitate) unde aceasta grosime chiar s-a redus (XS3);

Prin comparația prevederilor naționale, recent ieșite din vigoare, cu cele impuse de Eurocodul 2 [226], în lucrare se consideră că sunt aplicații în care atenția trebuie concentrată<sup>37</sup> pe respectarea cu strictețe a grosimii stratului de acoperire atât pentru betonul structural expus în mediul continental cât mai ales marin, dată fiind imposibilitatea practică a prevederii unor grosimi de strat de acoperire specifice, separate, pentru diferite CPC/C.

În consecință, se apreciază că extinderea domeniilor de utilizare pentru CPC/C - în special a celor de tip CEM II/B - trebuie făcută cu prudență pentru betonul structural expus în clasele de expunere XC, XD, XS, în special XD3 și XS3, a căror agresivitate este mai ridicată<sup>38</sup>;

Plecând de la faptul că CPC/C sunt caracterizate de valori mari ale contracțiilor care se manifestă pe perioade relativ lungi, se apreciază că este important ca, într-o primă etapă, aceste tipuri de cimenturi să nu fie utilizate la elemente din beton armat precomprimat indiferent de tipul armăturilor, pre sau postîntinse;

În lucrare se apreciază că, urmare a caracterului într-o anumită măsură aleator al fisurării, CPC trebuie utilizate cu prudență în elemente de beton armat, cu raport suprafața/volum mare, exploatate în clasele de expunere XS3 și XD3, până la stabilirea unor măsuri corespunzătoare (tip caiet de sarcini) de control și de limitare a fisurării în aceste elemente constructive particulare.

Capitolul III sprijină dezvoltarea ulterioară a subiectului durabilității structurilor din beton preparate cu CPC/C prezentând o serie de aspecte importante în ceea ce privește nivelul actual de acceptare, privind evoluția reglementărilor în ceea ce privește grosimea de strat de acoperire și tendința acestor betoane de a fisura.

*Capitolul III are 3 tabele și o fotografie.*

---

<sup>37</sup> *atat în etapa de proiectare a durabilității betonului cât și în executarea lucrărilor*

<sup>38</sup> *iar concentrația de ioni clorură pe suprafața betonului necuantificată în descrierea claselor de expunere conform [12], [13];*



---

## Rezumatul capitolului IV

Capitolul IV denumit „**Abordarea de performanță. Conceptul de performanță echivalentă a betonului în ceea ce privește durabilitatea. Extinderea conceptului la ciment**” prezintă aspecte generale privind conceptul de performanță echivalentă, evoluția conceptului, precum și modul său de aplicare. Durabilitatea betonului face obiectul, în ultimii 20 ... 30 de ani, a numeroase studii și reglementări tehnice, ca urmare a înregistrării unor degradări structurale premature, apariției de noi posibilități<sup>39</sup> compoziționale de producere a betonului, precum și datorită necesității predicției duratei de serviciu pentru lucrări importante, în special în domeniul infrastructurii de transport, aflată într-o continuă dezvoltare.

Asigurarea durabilității betonului se face, în majoritatea țărilor europene, prin abordări gen „proiectat să dureze” („deem-to-satisfy”) care oferă, pentru o durată de serviciu de 50 de ani, valorile limită<sup>40</sup> ale betonului, sub aspect compozițional, în corelație cu grosimi de strat de acoperire și exigențe privind modul de punere în operă și tratare. Aceasta abordare este necesar să fie schimbată pe măsură ce se trece la cimenturi noi, cu conținut ridicat de adaosuri, la betoane cu noi tipuri de adaosuri sau pentru lucrări de clasă ridicată de importanță. Pasul decisiv îl reprezintă stabilirea pe plan național, printr-o reglementare, a modului de aplicare a conceptului de performanță echivalentă în ceea ce privește durabilitatea.

Modul de alegere a tipurilor de ciment “de referință” și „candidate” pentru aplicarea conceptului de performanță echivalentă la betoane (“de referință” respectiv „candidate”) face obiectul unui subcapitol care precede prezentarea unor criterii de performanță și metode de testare aplicate pe plan european, în țări cu o îndelungată tradiție în aplicarea acestui concept.

Aplicarea conceptului de performanță echivalentă pe plan național reprezintă cheia extinderii domeniilor de utilizare a CPC/C și a altor cimenturi. De exemplu, aplicarea acestui concept la betoane poate permite amendamente/revizuri ale reglementărilor naționale [12], [13] privind conținutul minim de ciment și raportul maxim A/C, atunci când în betonul „candidat” o combinație de adaos specific este folosită împreună cu un ciment specific<sup>41</sup>. Aceasta presupune inclusiv modificări ale clasei de rezistență minime și ale raportului A/C maxim. Conceptul de performanță echivalentă a betonului poate fi aplicat acolo unde acceptarea unui adaos în beton a fost deja stabilită printr-un acord tehnic european sau o reglementare națională valabilă la locul de utilizare a acestuia. Dată fiind dificultatea elaborării unui acord tehnic european pe subiectul în discuție, realizarea unei reglementări naționale pare a fi cea mai accesibilă soluție. Aplicarea conceptului de performanță echivalentă pe plan național se poate face în baza unei reglementări (proceduri) care trebuie să definească, cel puțin, următoarele aspecte pentru fiecare clasă de expunere „X”:

- a) Care este compoziția betonului “de referință” și care este performanța “de referință”<sup>42</sup>,
- b) Care este criteriul de performanță și metoda (metodele) de încercare;
- c) Care este numărul minim<sup>43</sup> de teste pentru validare;
- d) Care este perioada maximă<sup>44</sup> pentru validarea performanței;

---

<sup>39</sup> utilizarea de adaosuri, noi tipuri de ciment și aditivi etc.

<sup>40</sup> clasa de rezistență, raport A/C etc.

<sup>41</sup> pentru care producătorul și caracteristicile fiecăruia (adaos și ciment) sunt identificate cu claritate

<sup>42</sup> de exemplu pentru îngheț-dezgheț aceasta poate fi exfolierea, scăderea de rezistență la compresiune etc.

<sup>43</sup> dacă este necesar să fie mai multe de trei, de exemplu

---

La nivelul CEN/TC/SC1 s-a creat un grup de lucru pentru analizarea posibilității de a se introduce în EN 206-1 revizuit [141] o procedură privind performanța echivalentă a betonului însa a fost, de la început, evident că pentru a se putea utiliza această procedură, trebuia asigurată, înainte de toate, o infrastructură comună, europeană, de standarde privind metodele de testare<sup>45</sup>. În plus, pentru a se genera încredere în sistem, este puternic recomandabil ca testele inițiale și validarea periodică să fie făcută de o entitate tehnică, juridic independentă de producătorul de beton. Aceste condiții sunt în mare măsură îndeplinite în prezent.

Întrucât nicio încercare accelerată de laborator nu este de așteptat să ofere o indicație cantitativă exactă asupra performanțelor betoanelor exploatate „in situ” pe o perioadă de serviciu de ordinul a zeci de ani, este necesară o abordare prudentă, asiguratoare, așa încât compozițiile, metodele de testare, precum și criteriile de performanță specificate în procedură să ofere rezultate care să caracterizeze, într-un mod rezonabil, performanța și comportarea reală a betonului.

Exploatat în anumite medii, betonul continuă să câștige în timp rezistență la pătrunderea agenților agresivi prin reducerea porozității, creșterea rezistenței la compresiune etc. fiind astfel necesară specificarea în procedură<sup>46</sup> a perioadei de tratare și vârstei de testare care să ofere rezultate rezonabile, acoperitoare sub aspectul asigurării durabilității, în ceea ce privește comportarea reală, „in situ”. În acest context trebuie să fie luate în considerare efectele prezenței adaosurilor<sup>47</sup> la stabilirea modului de tratare a probelor, precum și perioada de tratare. Aceste elemente pot fi stabilite pe plan național plecând de la exigențele standardelor europene de metodă și, pentru actualul nivel de informații, devine chiar necesară în cazul testării anumitor cimenturi cu conținut ridicat de adaosuri la îngheț-dezgheț.

În continuare (Fig. 2) este prezentată o propunere de metodă [229] de determinare a parametrilor compoziționali ai betonului (în speță a A/C, cel mai important parametru al durabilității), așa încât nivelul de performanță („N”) al betoanelor „de referință” și „candidate” să fie egal. Betonul „de referință” este preparat cu cimentul „de referință” (CEM<sub>ref</sub>), iar betonul „candidat” are în compoziție cimentul „candidat” (CEM<sub>candidat</sub>).

Metoda pornește de la abordarea descriptivă cuprinsă în [12], [13] și [141] în care, în funcție de o anumită clasă de expunere „X”, sunt definiți parametrii compoziționali ai betonului, clasa minimă, raportul A/C maxim și conținutul minim de ciment / m<sup>3</sup>.

Ideea care stă la baza propunerii [229] este ca unui beton „candidat”, care eventual nu poate oferi<sup>48</sup> același nivel al performanței în ceea ce privește durabilitatea, să i se poată stabili parametrii compoziționali așa încât să aibă același nivel de performanță „N”, respectiv aceeași durată de serviciu, ca și cel „de referință”. În figura 2 este prezentat pe abscisă parametrul cheie al durabilității (A/C). Se face mențiunea că reducerea acestui parametru pentru un beton „candidat” (preparat cu cimentul „candidat”) înseamnă creșterea clasei betonului și, eventual, impunerea unei limite minime de dozaj de ciment.

---

<sup>44</sup> *dacă este necesar să fie mai mare de 3 ani, de exemplu*

<sup>45</sup> *aceasta este în mare măsură realizată*

<sup>46</sup> *dacă acest lucru nu este deja prezentat în standardele de încercare*

<sup>47</sup> *în special a celor care au o viteză de reacție mai redusă decât adaosurile consacrate gen zgura sau au un alt tip de reacție*

<sup>48</sup> *la aceiași parametri compoziționali cu cei ai unui beton „de referință”*



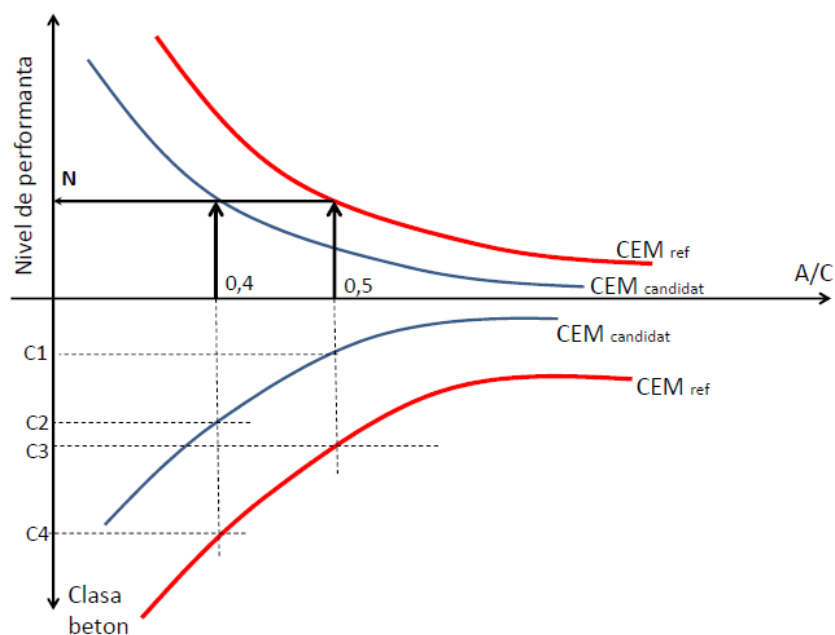


Fig. 2. Prezentare schematica a propunerii naționale (românești) [229] de identificare a parametrilor compoziționali (în speța A/C) aferenți betoanelor „de referință” și „candidate” pentru același nivel de performanță „N” în ceea ce privește durabilitatea.

Prima etapă în aplicarea metodei propuse este identificarea metodelor de testare, a criteriilor de performanță și a compozițiilor de beton ce vor fi utilizate. Trecerea la etapa următoare este condiționată de satisfacerea criteriilor de performanță cuprinse în reglementări aplicabile, atât de către betonul (cimentul) „de referință”, cât și de cele „candidate”.

Etapă a II-a constă în efectuarea în paralel a unor încercări, utilizând aceleași metode ca și cele aplicate în prima etapă, însă pe betoane având compoziții diferite. Se prepară un beton „de referință” cu un ciment „de referință” (care a trecut cu succes „proba timpului”) la parametri compoziționali recomandați de reglementările aplicabile, de exemplu [12], [13]. Se determină care sunt performanțele acestui beton. Se prepară apoi compoziții diferite de betoane „candidat” (cu cimentul „candidat”) pornind de la parametri compoziționali inițial utilizați pentru betonul „de referință”. Se determină performanțele betoanelor „candidat” urmărindu-se identificarea acelei compoziții care oferă cel puțin<sup>49</sup> același nivel de performanță ca și betonul „de referință”.

Metoda se poate aplica atât acelor performanțe cărora prin standardul de metoda le sunt impuse compoziții predeterminate de beton<sup>50</sup>, cât și unor performanțe care nu sunt evaluate pe betoane având compoziții predeterminate (îngheț-dezghet după norma națională [81], carbonatarea, difuzia ionilor de clor, rezistența la abraziune etc.). Metoda este perfect aplicabilă betoanelor exploatate în mediu natural, în poligoane de încercare. Capitolul trece în revistă și modul cum, pe plan european, extinderea conceptului de performanță echivalentă la cimenturi s-a aplicat în Germania (caz particular), chiar pentru cimenturi Portland compozit tip CEM II/B-M(S-LL) și CEM II/B-M(V-LL).

<sup>49</sup> la limita acelasi nivel al performantei

<sup>50</sup> asa cum este exfolierea datorata îngheț-dezghetului [79]

---

Capitolul IV tratează, în general, domeniul proiectării durabilității betonului prin metode specifice abordării bazate pe performanță. Pe cuprinsul acestuia se face o introducere în domeniu, precum și o sinteză a ceea ce fundamentează cele două concepte (*conceptul de performanța echivalentă* și *conceptul de durabilitate echivalentă*), așa cum sunt ele prevăzute în diferite reglementări naționale europene. Se face o trecere în revistă a conceptului de *performanță echivalentă în ceea ce privește durabilitatea*, a evoluției și a modului în care acesta poate fi adoptat în legislația națională.

Aplicarea acestui concept permite „derogări controlate” de la prevederile [12], [13] în cazul în care anumitor componenți aflați în compoziția betonului „candidat” li se asociază exigențe și caracteristici sporite, care *nu ies însă din limitele prevăzute de standardul de produs*. În oricare situație, aplicarea conceptului de performanță echivalentă este un element de progres tehnic ce aparține acestei noi abordări, de performanță, a durabilității cimenturilor și betoanelor.

Capitolul prezintă, într-un cadru mai extins al abordării de performanță sub aspectul durabilității, conceptul de performanță echivalentă a betonului făcându-se extinderea acestuia și la ciment. Conceptul este important, se regăsește în prima ediție a standardului EN 206-1, iar importanța sa va crește având în vedere modul și locul conceptului în ultima ediție a EN 206-1 care urmează să intre în vigoare.

În cadrul Capitolului IV se face o prezentare a evoluției și a modului de aplicare a conceptului, insistându-se asupra măsurilor, practice, de siguranță care trebuie luate de operator. Se subliniază ideea că aplicarea conceptului de performanță echivalentă în domeniul betonului restrânge și personalizează componenții betonului în funcție de surse, caracteristici etc., chiar dacă aceștia sunt produse standardizate.

Sunt prezentate diferite modalități de „indigenizare”, prin proceduri pe plan național, ale acestui concept în țări cu tradiție în utilizarea unor cimenturi cu conținut ridicat de adaos (ex. zgură) precum și diferite criterii de performanță. În capitol sunt expuse succint metodele olandeze și belgiene de aplicare a conceptului de performanță echivalentă, arătându-se care este experiența locală în stabilirea unor criterii, în adoptarea unor metode de testare, a stabilirii unor cimenturi “de referință” și, în final, care este impactul asupra evaluării duratei de serviciu.

În partea finală a capitolului se face o trecere în revistă a modului în care conceptul de performanță echivalentă, este aplicat în mod concret la obținerea de aprobări tehnice, limitate în timp, pentru utilizarea unor CPC/C de tip CEM II/B personalizate funcție de sursă.

Capitolul, plecând de la „modele” de criterii de performanță aplicate pe plan european, pune bazele identificării concrete a unor criterii de performanță pentru cimenturi, CPC/C în particular.

Reprezentând o contribuție personală, în capitol se trece în revistă evoluția conceptului de performanță echivalentă în ceea ce privește durabilitatea cu referire la evoluția sa în diferite ediții ale standardului EN 206-1 care guvernează pe plan european producerea betonului. Plecând de la modul general de aplicare al conceptului la betoane, în lucrare există preocupări privind extinderea conceptului și la cimenturi (CPC/C în particular).

Se consideră că, pe plan național, conceptul de performanță echivalentă prezentat în acest capitol ar trebui implementat printr-o procedură sau schemă de lucru care să aibă ca finalitate stabilirea unor limite de performanță sigure, de natura a furniza încredere în momentul acceptării unor betoane sau cimenturi „candidat”. În lucrare se identifică ceea ce trebuie să conțină și să definească reglementarea, așa încât aplicarea conceptului să poată fi făcută pentru fiecare clasă de expunere în parte, devenind un instrument foarte util în extinderea domeniilor de utilizare ale cimenturilor, CPC/C în particular.

---

Capitolul IV, prin sintezele realizate precum și prin dese referiri la practica europeană, furnizează liniile directoare pentru abordarea ulterioară a problematicii durabilității prin această nouă metodă, bazată pe compararea performanțelor.

Lucrarea propune, ca rod al colaborării [229], o metoda originală de determinare a parametrilor compoziționali ai betonului preparat cu cimenturi „candidat” și prezintă o schemă sugestivă de aplicare a acestei metode. Pentru obținerea de performanțe echivalente în ceea ce privește durabilitatea, sunt identificate o serie de posibilități concrete de acțiune asupra compoziției cimentului candidat, betonului preparat cu acesta, grosimii de strat de acoperire și exigențelor necesar a fi respectate la executarea lucrărilor. Aplicarea în practică a acestor posibilități este pe deplin realizabilă și deschide calea extinderii domeniilor de utilizare ale diferitelor tipuri de cimenturi, CPC/C în particular.

*Capitolul IV are 8 tabele și o figură.*

## **Rezumatul capitolului V**

În capitolul V denumit „**Abordarea de performanță. Aspecte privind rezistența la compresiune și contracția axială**” se prezintă o sinteză a progreselor tehnologice înregistrate în industria cimentului și betonului care fac posibilă acum realizarea unor betoane structurale performante, cu caracteristici controlabile și durabilitate deosebită, chiar dacă sunt utilizate cimenturi cu conținut ridicat de adaos, așa cum sunt CPC/C, de exemplu.

Pe cuprinsul capitolului V sunt prezentați factorii de influență ai rezistenței la compresiune a cimentului, insistându-se asupra componentilor mineralogici ai clincherului, fineții de măcinare, distribuției granulometrice, dozajului și tipurilor de adaos etc. Sunt evidențiate pârghiile de menținere a performanțelor CPC/C în condițiile în care dozajul de adaos (în speță de calcar) crește. În cadrul analizei factorilor de influență a rezistenței la compresiune a betonului se insistă asupra dozajului de ciment, raportului A/C, temperaturii mediului ambiant în care se face întărirea etc., cu dese referiri la CPC/C.

În lucrare se consideră că aplicarea conceptului de performanță echivalentă poate conduce la extinderea domeniului de utilizare pentru CPC/C în anumite clase de expunere – cum sunt, de exemplu, XC4 sau clasele XF – însă la clase de beton mai ridicate și rapoarte A/C mai reduse decât cele stabilite în [12], [13]. Prin urmare, printr-un program experimental de determinare a corelațiilor ce se pot stabili între dozaj, raport A/C și rezistența la compresiune se poate urmări<sup>51</sup> dacă respectivele clase înalte de beton pot fi obținute la dozaje rezonabile de CPC/C, precum și, dacă respectivul ciment poate furniza rapoarte A/C reduse, de încredere, cu diferiți aditivi identificați<sup>52</sup> și prezenți în piață.

Rezultatele programului experimental referitor la determinările de rezistențe la compresiune arată că, pe măsură ce dozajul de calcar<sup>53</sup> sporește în compoziția cimentului (pentru același dozaj de ciment/m<sup>3</sup>) se constată scăderea rezistenței la compresiune pe beton la ambele termene de încercare, 2 și 28 de zile. Aceasta este de fapt o consecință a faptului ca pe ciment, pentru aproximativ aceeași finețe de măcinare, creșterea dozajului de

---

<sup>51</sup> spre exemplu o atenție deosebită este necesar să fie acordată CPC/C și puzzolana (P) care pot satisface exigentele de raport A/C doar la dozaje foarte ridicate de ciment / m<sup>3</sup>. Aceste tipuri de ciment trebuie să fie puternic susținute din punct de vedere tehnic la introducerea pe piața așa încât principalul parametru de asigurare a durabilității (raportul A/C) să fie obținut pe betoanele marfa la consistentele betonului practicate pe piața.

<sup>52</sup> prin substanțele de baza

<sup>53</sup> provenit din ambele surse (1 și 3)

---

calcar are ca efect reducerea rezistențelor la compresiune la ambele termene de încercare, sporirea într-o anumită măsură a rezistenței la 1..2 zile<sup>54</sup> nefiind întotdeauna sesizabilă experimental.

Se mai observă experimental că, la dozaje mari de ciment (>450Kg/m<sup>3</sup>), o suplimentare a dozajului de ciment / m<sup>3</sup> nu aduce după sine un aport important în creșterea de rezistență la compresiune, situația fiind tipică pentru un beton în care cimentul este dozat în exces, acesta reactionând incomplet cu apa de preparare. Pentru cimenturile provenind din doua surse, practic începând cu 28...56 de zile, variația rezistenței la compresiune se aplatizeaza pentru ambele dozaje de ciment utilizate. Se remarcă faptul că, între 28 și 360 de zile, pentru un dozaj de ciment între 400 și 470Kg/m<sup>3</sup>, rezistența la compresiune poate crește cu pâna la 10MPa arătând potențialul reacției puzzolanice a zgurii folosite.

În urma interpretării rezultatelor programului experimental, se poate spune că este normal ca un ciment cu adaos de calcar să prezinte valori mai ridicate ale contracțiilor axiale decât un ciment cu adaos de zgură<sup>55</sup> sau decât un ciment Portland unitar CEM I de egală clasă de rezistență. Se mai constată că influența condițiilor de tratare a betonului în prima perioadă de timp, după punerea în opera, este ridicată. În cadrul programului experimental s-au testat betoane preparate cu cimenturi „de referință” CEM II/A-S 32,5R și CEM II/B-S 32,5R, respectiv „candidat” de tip CEM II/A-V 32,5R (o sursă) și CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R (din trei surse) la dozaje ridicate de ciment de 400Kg/m<sup>3</sup>, respectiv 470Kg/m<sup>3</sup>. Se confirmă faptul că pe măsură ce dozajul de calcar, respectiv cenușă, din compoziția cimentului crește, nivelul contracțiilor axiale crește de asemenea, prin comparație cu cimenturile „de referință”.

Pe betoanele preparate cu 400, respectiv 470Kg ciment/m<sup>3</sup>, pentru determinarea contracțiilor axiale, s-au făcut și determinări ale rezistențelor la compresiune la diferite termene de încercare, arătând o evoluție interesantă a acestui parametru în funcție de modul în care au fost păstrate probele pâna la termenul de încercare. CPC/C CEM II/B-M(S-LL) 32,5R, care au făcut obiectul programului experimental, au provenit din două surse.

Pe cuprinsul acestui capitol este amintită percepția tehnică negativă existentă în piața anterior anului 1990 cu privire la cimenturile cu conținut ridicat de adaos (M30 și F25).

De asemenea, sunt trecute în revistă în mod sistematizat evoluțiile înregistrate privind modul de tratare al probelor, precum și consecințele pe care acesta le aduce asupra nivelului rezistenței la compresiune pe beton. În lucrare s-a încercat, pentru zece determinări pe cimenturi provenind din două surse, fixarea limitelor de variație a coeficientului de echivalare între rezistența la compresiune la 28 de zile pe probe păstrate 7 zile și pâna la termenul de încercare în apa. Limitele de variație determinate<sup>56</sup> arată faptul că pe măsură ce dozajul de calcar crește, raportul între rezistența la compresiune (28 de zile apa) și (7 de zile apa / 21 de zile aer) scade la ambele dozaje de ciment (400 și 470kg/m<sup>3</sup>) manifestându-se astfel și în produsele finale (betoane) diferența de cantitate de masa de liant<sup>57</sup> care reacționează prin hidratare - hidroliza. *Coeficienții de transformare* determinați, pentru clase de beton aflate în intervalul C30/37 (400Kg/m<sup>3</sup>) ... C35/45 (470Kg/m<sup>3</sup>) se situează între 0,82 și 0,90, fiind ușor mai scăzuți decât coeficientul de transformare general „0,92” (pentru clase sub C55/67) considerat în literatura de specialitate [104], [108].

---

<sup>54</sup> efect al prezentei calcarului (abordare teoretică)

<sup>55</sup> cu același dozaj de zgura

<sup>56</sup> pentru rezistența la compresiune pe cuburi de latura 15cm la 28 de zile

<sup>57</sup> clincher+zgura, ghips

---

Din rezultatele determinărilor se concluzionează că, *pe măsură ce conținutul de calcar din compoziția cimentului crește, coeficientul de transformare scade*, fiind identificate și următoarele specificități:

- Păstrarea în apă până la termenul de încercare a betoanelor preparate cu aceste tipuri de cimenturi are un impact mai mare<sup>58</sup> decât cel cunoscut și documentat, pentru alte cimenturi. Acest impact crește pe măsură ce crește dozajul de calcar;
- Având ca referință determinările de rezistență la compresiune pe beton ținut în apă până la termenul de încercare<sup>59</sup>, determinările de rezistență la compresiune pe betonul turnat în șantier *vor prezenta valori mai înalte ale acestora prin comparație cu cele de laborator*, precum și față de creșterea cu care suntem obișnuiți<sup>60</sup>, aceste aspecte funcționând ca o măsură de siguranță suplimentară.

În lucrare se consideră că analizarea rezistențelor la compresiune a cimenturilor „candidat” prin comparație cu cimenturile “de referință” este importantă pentru că poate sugera eventuale măsuri suplimentare de tratare pe șantier. În urma determinării raportului „r”<sup>61</sup>, se constată faptul că CPC/C se comportă ca un ciment cu evoluție “rapida” a rezistențelor la compresiune începând cu un dozaj de 370Kg / m<sup>3</sup> beton, fiind posibilă și o evoluție “medie” pentru anumite surse. Rezultă pe de-o parte importanța determinării în stație a rezistenței la 2 zile pe beton în vederea asigurării suportului tehnic (durata de tratare) în execuție iar pe de alta parte cunoașterea, de către utilizator, a sursei de ciment.

Având în vedere prevederile NE 012/1:2007 [13] (Anexa N) conform căroră „*durata tratării funcție de tipul de ciment utilizat (...) este specificată în reglementări specifice de execuție*”, în lucrare se recomandă întocmirea acestora printr-o completare a NE 012/2:2010 [47] privind executarea lucrărilor de betonare cu CPC/C. Pe de altă parte, se consideră necesară întotdeauna confirmarea experimentală a capacității CPC „candidat” de a furniza rezistențe la compresiune, la dozaje „comparabile” cu cele oferite de cimenturile “de referință” și la rapoarte A/C corespunzătoare clase de beton uzual livrate<sup>62</sup> de o stație.

Pe cuprinsul Capitolului V se prezintă sumar tipurile de contracție care se întâlnesc, simultan sau separat, pe durata de serviciu a unui element de beton, precum și factorii care influențează acest fenomen. Se prezintă un criteriu de performanță pentru contracția axială a betonului care este discutabil într-o anumită măsură, întrucât mărimea contracțiilor betonului întâlnit în practica nu depinde doar de tipul de ciment. Cu toate acestea, un ciment care prezintă contracții mari la termene reduse de încercare sau o evoluție rapidă a acestora în prima perioadă trebuie să fie urmărit cu atenție astfel încât să poată fi limitate<sup>63</sup> domeniile de utilizare, până la realizarea unor prevederi de tip „caiet de sarcini” de natura a limita riscurile.

Se consideră că *analizarea contracțiilor cimenturilor „candidat” trebuie să se facă pentru a se verifica dacă sunt anumite diferențe (ca valori punctuale sau ca viteză de creștere) prin comparație cu cimenturile “de referință”. Urmărirea se propune a se face pe o perioadă de un an pentru cimenturi uzuale și pe doi ani pentru CPC/C. De asemenea, este important să se verifice dacă, sub aspectul dozajelor de ciment, al rapoartelor A/C și*

---

<sup>58</sup> în sensul ca rezistența la compresiune pe beton pe șantier (ținut 7 zile în apă + condiții standardizate 20/65) va scădea mai mult decât suntem obișnuiți dacă acesta este ținut în apă până la termenul de încercare

<sup>59</sup> care de fapt dau clasa betonului, în laborator

<sup>60</sup> în cazul utilizării cimenturilor “obișnuite” pentru care este documentată diferența “*ud până la termenul de încercare*” vs. “*pastrat în apă 7 zile restul 20/65 până la termenul de încercare*”;

<sup>61</sup>  $r = f_{cm2} / f_{cm28}$  - adică raportul între rezistența medie la compresiune la 2 și 28 de zile (din Anexa N a NE 012/1:2007 [13], care indică durata minimă informativă de tratare a betonului)

<sup>62</sup> la clasele de tasare necesare / uzual practicate

<sup>63</sup> de exemplu acestea să nu fie folosite în elemente de etasare sau în elemente armate expuse în XS3, XD3

---

ale rezistențelor la compresiune obținute pe beton, pot fi obținute „pe stație”, cu CPC/C, clasele de beton C30/37 ... C35/45 suficiente pentru necesitățile de producție curentă. În situația în care contracțiile CPC/C nu le depășesc în limite rezonabile (10...15%) pe cele ale cimenturilor “de referință”, pe șantier se pot lua măsuri eficiente de reducere a efectelor fisurării prin măsuri de limitare a dozajului maxim de ciment/m<sup>3</sup> sau de tratare, de exemplu.

Capitolul V al tezei de doctorat furnizează informații utile privind comportarea CPC/C în ceea ce privește corelația ce se poate stabili între dozajul de ciment și rezistența la compresiune (în principal), precum și asupra potențialului CPC/C de a genera contracții în betoanele preparate cu acestea.

Capitolul V are 20 tabele și 2 figuri.

## Rezumatul capitolului VI

Capitolul VI al tezei de doctorat, denumit „**Abordarea de performanță prin criterii relative: absorbția, permeabilitatea și porozitatea**” tratează din punct de vedere teoretic (sinteze) și practic (teste de laborator) absorbția, permeabilitatea și porozitatea betonului preparat cu CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R – caracteristici ce oferă o imagine sugestivă a durabilității la diferite acțiuni ale mediului înconjurător. În urma analizării bibliografiei precum și pe baza rezultatelor testelor de laborator s-a demonstrat că absorbția, permeabilitatea și porozitatea capilară se influențează reciproc și că, pentru același dozaj de CPC în beton, pe măsura creșterii dozajului de calcar cele trei caracteristici sporesc, devenind necesară o gestionare atentă a riscurilor privind durabilitatea.

În lucrare se face o sinteză a unor aspecte teoretice legate de absorbția betoanelor, se stabilește un criteriu de performanță și se prezintă un program experimental aplicat asupra unor betoane preparate cu nouă CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R și un CEM II/A-S 32,5R (“de referință”). Asupra acestora s-au făcut determinări ale absorbției aparente, în condiții standard („AA”) precum și „la masă constantă” („Act”), pentru diferite dozaje de ciment (280, 320, 370, 400, 470Kg/m<sup>3</sup>).

În urma prelucrării rezultatelor oferite de programul experimental s-a constatat, pentru toate sursele de ciment, faptul că pe măsură ce dozajul de calcar în CPC/C crește, absorbția la masă constantă „Act” crește, precum și că pentru toate dozajele de ciment „candidat” analizate sunt necesare suplimentări de dozaj de ciment pentru satisfacerea criteriului stabilit asupra „Act”. Lucrarea stabilește, funcție de dozajele de adaos de calcar din CPC pe surse, care sunt suplimentările de dozaj de ciment asociate cu creșterile de clase de beton pentru a se putea atinge absorbții „Act” inferioare cimentului “de referință” cu un factor de siguranță  $\theta = 1,0$ .

În subcapitolul referitor la permeabilitate, lucrarea sintetizează o serie de aspecte teoretice legate de această caracteristică a betoanelor, stabilește un criteriu de performanță și prezintă programul experimental aplicat asupra unor betoane preparate cu nouă CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R și un CEM II/A-S 32,5R (“de referință”). Programul experimental a constatat în determinarea permeabilității „X” pentru diferite dozaje de ciment (280, 320, 370, 400, 470Kg/m<sup>3</sup>).

În urma prelucrării rezultatelor oferite de programul experimental, se constată că, pentru toate sursele de ciment, pe măsură ce dozajul de calcar în CPC/C crește, permeabilitatea „X” crește, pentru toate dozajele de ciment „candidat”, fiind necesare suplimentări de dozaj de ciment pentru satisfacerea criteriului referitor la „X”. În lucrare s-a stabilit, funcție de dozajele de adaos pe surse, care sunt suplimentările de dozaj de ciment asociate

---

cu creșterile de clase de beton pentru a se putea atinge permeabilități „X” inferioare cimentului “de referință” *cu un factor de siguranță  $\theta = 1,0$* .

În subcapitolul referitor la porozitate se face o expunere a aspectelor teoretice specifice cu prezentarea tipurilor de pori întâlniți la beton precum și o sinteză a concluziilor rapoartelor ECOSERVE [26], [27].

Se prezintă un program experimental de determinare a porozimetriei pe patru CPC/C tip CEM II/B și a unui ciment “de referință” CEM II/A-S 32,5R. În urma analizelor de porozimetrie cu porozimetrul cu mercur s-a constatat faptul că volumul total, cumulativ, al porilor crește pe măsură ce crește dozajul de calcar în ciment, atât prin comparație cu cimentul “de referință”, cât și în cadrul aceleiași surse. Aceasta specificitate a CPC/C vine să confirme cele constatate pe amestecuri de beton și reprezintă cea mai importantă concluzie ce se poate contura în urma acestui program experimental. Într-o anumită măsură, rezultatele neconcludente oferite de porozimetrul cu mercur (MIP) conduc spre concluzia ca această metoda nu este totuși suficient de fiabilă în a caracteriza diferențe de porozitate pe CPC/C obținute industrial.

În ceea ce privește determinarea porozității betoanelor prin metoda națională standardizată [63], în lucrare se prezintă un criteriu de performanță și un program experimental în care s-au făcut determinări ale porozității aparente (efective) în stare de umiditate „standard” („PA”), respectiv a porozității în stare uscată, în etuvă, la 105°C până la masă constantă („Pct”) asupra unor betoane preparate cu nouă CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R și unui CEM II/A-S 32,5R (“de referință”) pentru diferite dozaje de ciment (280, 320, 370, 400, 470Kg/m<sup>3</sup>).

În urma prelucrării rezultatelor oferite de programul experimental s-a constatat, pentru toate fabricile de ciment, faptul că pe măsură ce dozajul de calcar crește, porozitatea la masă constantă „Pct” crește, pentru toate dozajele de ciment „candidat”, fiind necesare suplimentări de dozaj de ciment pentru satisfacerea criteriului la „Pct”. În lucrare se stabilesc, funcție de dozajele de adaos pe fabrici, care sunt suplimentările de dozaj de ciment asociate cu creșterile de clase de beton pentru a se putea atinge porozități „Pct” inferioare cimentului “de referință” *cu un factor de siguranță  $\theta = 1,0$* . În final sunt prelucrate în mod centralizat, rezultatele referitoare la absorbția „Act”, permeabilitatea „X” și porozitatea „Pct”, urmărind (funcție de dozajul de adaos și sursă) care din CPC/C respectă criteriile de performanță enunțate.

Concluzia și principala contribuție a lucrării în cadrul acestui capitol o reprezintă identificarea faptului ca un CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) - având maxim 10% calcar, maxim 14,5% zgură și fără CAM<sup>64</sup> - satisface toate criteriile relative de performanță referitoare la „Act”, „X” și „Pct” în condițiile în care betoanele preparate au următoarele caracteristici compoziționale limită pe tip de aplicație:

#### Beton de fundație

- ➔ Clasa minimă de rezistență: C30/37
- ➔ Raport A/C: maxim 0,30
- ➔ Dozaj minim de ciment: 400 Kg / m<sup>3</sup>

#### Beton structural

- ➔ Clasa minimă de rezistență: C35/45
- ➔ Raport A/C: maxim 0,33
- ➔ Dozaj minim de ciment: 470 Kg / m<sup>3</sup>

---

<sup>64</sup> *componenti auxiliari minori*



---

Aceste valori limită compoziționale nu se referă la fenomenele de degradare: carbonatare, difuzia ionilor de clor sau îngheț-dezghet, fiind relaționate doar cu respectarea criteriilor prezentate pentru absorbție, permeabilitate și porozitate care reprezintă caracteristici „de bază”, microstructurale, ale betonului și care influențează în mod decisiv durabilitatea sa.

*Capitolul VI are 20 tabele și 2 figuri.*

## **Rezumatul capitolului VII**

Capitolul VII al tezei de doctorat denumit „**Abordarea de performanță prin criterii relative: carbonatarea și difuzia ionilor de clor**” este un capitol foarte extins care prezintă, sub aspect teoretic și practic (criteriu de performanță, rezultate experimentale), fenomenele de carbonatare (naturală, accelerată și „in situ”) respectiv de difuzie a ionilor de clor (determinare în laborator) pe betoane preparate cu diferite tipuri de ciment, în special CPC/C.

Capitolul tratează aspecte privind carbonatarea și difuzia ionilor de clor, insistând asupra corelațiilor ce se pot stabili între parametri compoziționali ai betonului (clasa, dozaj și tip de ciment, A/C) și viteza de avansare a frontului de carbonatare, respectiv de difuzie a ionilor de clor.

Pe parcursul capitolului sunt stabilite criterii de performanță relative pentru carbonatarea naturală<sup>65</sup> și difuzie, precum și informative<sup>66</sup> privind carbonatarea accelerată. Pentru carbonatarea naturală criteriul face referire atât la adâncimea de carbonatare medie, cât și la cea individuală maximă, acest aspect fiind o măsură de siguranță suplimentară dat fiind impactul deosebit al acestui tip de degradare asupra betoanelor preparate cu CPC/C.

Pe cuprinsul capitolului sunt prezentate rezultate ale adâncimilor determinate de carbonatare - naturală și accelerată - pentru betoane având diferite compoziții și păstrate diferit în prima perioadă de întărire. Este în general cunoscut faptul că modul de păstrare a probelor în prima perioadă are un impact deosebit asupra structurii interne a pietrei de ciment.

Creșterea duratei de păstrare în apă a probelor se face resimțită în dinamica fenomenului de carbonatare, pentru toate probele analizate, indiferent de dozajul de adaos, zgură sau calcar. Acest lucru atestă importanța tratării betoanelor în general, a celor preparate cu CPC/C, în particular. Testarea la carbonatare a inclus nouă cimenturi „candidat” CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R, având diferite dozaje de adaos (S-LL) și diferite tipuri de cimenturi “de referință”, în special pe baza de adaos de zgură tip CEM II/A-S 32,5R și CEM II/B-S 32,5R.

Pe cuprinsul Capitolului VII se fac trimiteri și către valori și metode de testare a carbonatării în medii naturale, fie ca este vorba despre mediu urban, industrial sau marin (Marea Neagră).

### Carbonatarea obișnuită

În lucrare este stabilit un criteriu de analizare a performanțelor betoanelor „candidat” și “de referință” având la baza compararea adâncimilor de carbonatare obișnuită, obținută în laborator.

A. Analizarea determinărilor adâncimilor de carbonatare pentru cimenturile din seria „B” (cimenturi „candidat”) pâna la termenul de 180 de zile, arată faptul că:

---

<sup>65</sup> carbonatarea în mediu natural (de exemplu în mediu de laborator).

<sup>66</sup> data fiind imprastierea mare a rezultatelor acestui mod de testare



a) Până la un dozaj de 400Kg/m<sup>3</sup> și o durată de tratare de 7 zile, la 1 an, adâncimile de carbonatare oferite de cimentul “de referință” CEM II/A-S 32,5R sunt inferioare, în cele mai multe cazuri, adâncimilor de carbonatare oferite de cimentul „candidat” la 180 de zile, arătând neîndeplinirea criteriului.

b) pentru o durată de tratare a probelor de 7 zile, pentru dozaje de ciment “de referință” CEM II/A-S 32,5R și „candidat” CEM II/B-M(S-LL) 32,5R în intervalul 280...470Kg/m<sup>3</sup> și rapoartele A/C declarate, sunt necesare suplimentări ale dozajului de ciment „candidat” într-o plajă foarte largă de valori, de la 20 la 210Kg/m<sup>3</sup>, pentru îndeplinirea criteriului o îndeșire a determinărilor este, în consecință, necesară pentru a stabili o serie de limite (trepte).

Tabel 3. Limitele de dozaj ciment (minim, maxim) pentru care cimenturile „candidat” din seria „1” îndeplinesc criteriul de performanță relativ ( $\theta=1$ ), la 180 de zile în programul experimental realizat

Tip ciment CEM II/B-M(S-LL)	Dozaj [%] zgură / calcar	Suplimentare dozaj [Kg/m <sup>3</sup> ]	
		minim	maxim
11	15,5 / 7,4	20	210
12	14,5 / 13,9	110	210
13	14,4 / 17,3		

Aceste rezultate confirmă faptul că, pe măsură ce crește dozajul de calcar din compoziția cimentului CPC/C „candidat”, crește și necesarul de dozaj minim de ciment „candidat” pentru egală performanța între acesta și betonul “de referință”.

Analizând diferențele de dozaj între cimenturile „candidat” și “de referință”, așa cum apar în teză, pentru satisfacerea criteriului se constată faptul că se pot defini valorile minime necesare de creșteri ale dozajului de ciment după cum urmează:

Tabel 4. Cantitatea minimă de ciment „candidat” pentru care cimenturile din sursa „1” îndeplinesc criteriul de performanță relativ ( $\theta=1$ ), la 180 de zile, pt. un dozaj de ciment “de referință” de 260Kg/m<sup>3</sup>

Beton de referință			Betonul candidat care îndeplinește criteriul este			
Ciment	Dozaj [Kg/m <sup>3</sup> ]	A/C	Ciment	Dozaj [Kg/m <sup>3</sup> ]	A/C	Suplimentare minimă dozaj ciment [Kg/m <sup>3</sup> ]
CEM II/A-S 32,5R	260	0,59	11	280	0,61	+ 20 (*)
			12	370	0,40	+ 110
			13		0,42	

(\*) suplimentarea atât de redusă de dozaj de ciment reprezintă o excepție

Prin urmare, față de un beton “de referință” care are 260Kg/m<sup>3</sup> (A/C = 0,59)<sup>67</sup>, un ciment „candidat” poate prezenta o mai bună performanță pentru un dozaj de ciment suplimentar de 20 ... 110Kg/m<sup>3</sup>, funcție și de dozajul de calcar.

Se mai constată și faptul că pentru dozaje ale cimentului “de referință” mai mari de 260Kg/m<sup>3</sup> (practic *beton structural*), o suplimentare a dozajului de ciment „candidat” – seria 1 - de până la 210Kg/m<sup>3</sup> nu mai este suficientă pentru îndeplinirea criteriului.

<sup>67</sup> dozaj aproximativ caracteristic unui beton “de fundație”

---

Cu alte cuvinte, sub aspectul capacității betonului, în general, de a se opune avansării frontului de carbonatare, creșteri ale dozajului de ciment “de referință” peste  $260\text{Kg/m}^3$  fac atât de performant betonul “de referință”, încât cimentul „candidat” CEM II/B-M(S-LL) – seria 1 - nu se mai poate compara cu acesta, chiar și la dozaje de ciment mari, de ordinul a  $470\text{Kg/m}^3$ .

B. Analizarea determinărilor adâncimilor de carbonatare pentru cimenturile „candidat” din sursa „2”, până la termenul de 180 de zile, arată faptul că:

a) pentru o durată de tratare a probelor de 2 zile, pentru dozaje de ciment de ordinul  $260\text{...}280\text{Kg/m}^3$ , o suplimentare a dozajului de ciment „candidat” cu  $20\text{Kg/m}^3$  nu este suficientă pentru respectarea criteriului. Acest lucru era oarecum de așteptat dată fiind durata redusă de tratare (păstrare a probelor în apă).

b) pentru o durată de tratare a probelor de 7 zile, pentru dozaje de ciment “de referință” de ordinul  $260\text{...}280\text{Kg/m}^3$ , o suplimentare a dozajului de ciment „candidat” cu  $20\text{Kg/m}^3$  devine suficientă pentru respectarea criteriului doar de către cimentul D1 (17% zgură și 8,4% calcar). Suplimentarea atât de redusă de dozaj de ciment reprezintă o excepție.

Aspectul semnalat arată deosebita importanță pe care o are durata de tratare a probelor. Se poate afirma că, pentru un dozaj redus de ciment „21”, o suplimentare a dozajului de ciment cu  $20\text{Kg/m}^3$  asociată cu o reducere în consecință a A/C și o tratare de minim 7 zile a betonului conduce la rezultate corespunzătoare privind rezistența la carbonatare.

c) analizarea determinărilor adâncimilor de carbonatare arată faptul că o suplimentare a dozajului de ciment cu minim  $80\text{Kg/m}^3$  față de un dozaj<sup>68</sup> de  $320\text{Kg/m}^3$  la care sunt proiectate compozițiile betonului “de referință” este suficientă pentru satisfacerea criteriului pentru toate cimenturile “21” și “22”, la termenul de 180 de zile. De asemenea, o suplimentare de dozaj cu minim  $150\text{Kg/m}^3$  conduce la respectarea criteriului și pentru cimentul “23”, cu cel mai ridicat conținut de calcar.

*Pentru confirmare – și respectare integrală criteriu - sunt necesare comparații și la termene mai înaintate, de minimum 1 an, conform celor stabilite în criteriul de performanță.*

C) Analizarea determinărilor adâncimilor de carbonatare pentru cimenturile din sursa „3” până la termenul de 180 de zile, arată faptul că:

Pentru o durată de tratare a probelor de 7 zile, pentru dozaje de ciment “de referință” și „candidat” în intervalul  $280\text{...}470\text{Kg/m}^3$  și rapoartele A/C declarate, sunt necesare suplimentări ale dozajului de ciment „candidat” într-o plajă foarte largă, până la  $210\text{Kg/m}^3$  – o îndesire a determinărilor fiind necesară pentru a stabili o serie de limite (trepte);

Analizând diferențele de dozaj între cimenturile „candidat” și “de referință” pentru satisfacerea criteriului, la 180 de zile, se constată faptul că se pot defini valorile minime necesare de creșteri ale dozajului de ciment, după cum urmează:

---

<sup>68</sup> dozaj aproximativ caracteristic unui beton “de fundație”

Tabel 5. Cantitatea minimă de ciment „candidat” pentru care cimenturile din sursa „3” îndeplinesc criteriul de performanță relativ ( $\theta=1$ ), la 180 de zile, pentru un dozaj de ciment “de referință” de 260Kg/m<sup>3</sup> (Tabelul VII.8.)

Beton de referință			Betonul candidat care îndeplinește criteriul este			
Ciment	Dozaj	A/C	Ciment	Dozaj	A/C	Suplimentare minimă dozaj ciment [Kg/m <sup>3</sup> ]
CEM II/A-S 32,5R	260	0,59	31	370	0,39	+110
			32	400	0,39	+140
			33		0,36	

Pentru confirmare – și respectare integrală criteriu - sunt necesare comparații și la termene mai înaintate, de minimum 1 an, conform celor stabilite în criteriul de performanță.

#### Carbonatarea accelerată

În lucrare este stabilit un criteriu de analizare a performanțelor betoanelor „candidat” și “de referință” având la bază compararea adâncimilor de carbonatare accelerată. Dat fiind faptul că pe plan european metoda de testare accelerată este intens contestată, asociat cu gradul ridicat de împrăștiere al rezultatelor programului experimental, s-a preferat ca acest criteriu să fie considerat (temporar) informativ<sup>69</sup>. În plus, pledează pentru păstrarea informativă a criteriului faptul că în baza acestei determinări accelerate de adâncimi de carbonatare nu se pot identifica eventuale majorări de dozaj de ciment „candidat” vs. “de referință” de natură a sprijini decizia practică.

În lucrare sunt prezentate comparativ adâncimi de carbonatare accelerată ciment “de referință” vs. „candidat”, strict la aceiași dozaj de ciment / m<sup>3</sup>.

Se constată experimental faptul că, pe măsură ce dozajul de ciment crește, atât pentru cimentul “de referință”, cât și „candidat”, în egală măsură, criteriul devine din ce în ce mai dificil de îndeplinit în sensul că, dacă pentru 280Kg/m<sup>3</sup> acesta era practic integral îndeplinit, pentru 470Kg/m<sup>3</sup> acesta este practic integral neîndeplinit. *Aceasta poate arata faptul că betonul “de referință” devine atât de performant sub aspectul rezistenței la carbonatare pe măsură ce dozajul de ciment “de referință” crește, încât betonul „candidat” nu-l mai poate depasi – la dozaj egal, chiar mare - sub aspectul performanțelor.*

La un dozaj de 470Kg/m<sup>3</sup> adâncimea de carbonatare a betonului „candidat” este, practic fără excepție mai mare decât a betonului “de referință” în condițiile în care, sub aspect microstructural, (performanțele comparative<sup>70</sup> în ceea ce privește absorbția, permeabilitatea și porozitatea), situația ar trebui să fie invers.

Este posibil, la concentrația de CO<sub>2</sub> specifică și la presiunea de testare din incintă să se producă un fenomen suplimentar în microstructura betonului de natură a afecta rezultatele, acest lucru realizându-se în special pentru dozaje ridicate de ciment.

Dată fiind specificitatea semnalată, este necesară îndeșirea testelor de laborator de carbonatare naturală, accelerată și „in situ” - comparativă ciment “de referință” vs. „candidat” - în intervalul de dozaj 400... 470Kg/m<sup>3</sup>.

<sup>69</sup> de natura a sprijini „din exterior” o decizie sau alta, însă nu de natura a se lua decizii pe baza lui.

<sup>70</sup> beton candidat vs. de referință

### Carbonatarea determinată „in situ”

În lucrare este stabilit un criteriu de analizare a performanțelor betoanelor „candidat” și “de referință” având la baza și compararea adâncimilor de carbonatare determinată „in situ”.

Determinările de adâncime de carbonatare efectuate asupra unor elemente tip „stâlp din beton armat” aflate într-un poligon în zona urbană (București) și în cadrul CNE Cernavodă au aratat puternica dependență a fenomenului de carbonatare de clasa betonului, raportul A/C, tipul cimentului, durata de tratare și calitatea punerii în operă. Sub acest aspect lucrările de betonare în care se folosesc CPC/C trebuie să fie mai atent gestionate, iar sistemul de monitorizare a adâncimilor de carbonatare în poligoane experimentale continuat și aprofundat.



Foto 1. Exemple de poligoane pentru determinarea adâncimilor de carbonatare, în stânga mediu urban (București), în centru mediu industrial (fabrică de ciment) și în dreapta mediu marin (zona litorală a Marii Negre, ~500m față de țărm).

### Difuzia ionilor de clor

Pe cuprinsul capitolului se fac o serie de considerații teoretice privind difuzia ionilor de clor, prezentându-se și cea mai dificil de gestionat aplicație a betonului sub acest aspect, respectiv îmbracamînțile rutiere din beton armat continuu care lucrează în exploatare fisurate și pe care se aplică sare pentru dezghețare.

În lucrare este stabilit un criteriu de analizare a performanțelor betoanelor „candidat” și “de referință” având la bază compararea adâncimilor de difuzie a ionilor de clor.

Pentru determinarea adâncimii de difuzie a ionilor de clor s-au testat trei tipuri de ciment „candidat” CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R cu procente variabile de calcar, respectiv zgură și un tip de ciment “de referință”, tip CEM II/A-S 32,5R.

Testarea s-a efectuat pe microbetoane corespunzătoare claselor C25/30 (cu A/C < 0,55 și dozaje de ciment mai mari de 300 kg/m<sup>3</sup>), respectiv C35/45 (cu A/C < 0,45 și dozaje de ciment mai mari de 360 kg/m<sup>3</sup>).

Din analizarea adâncimii de penetrare a ionilor de clor, la 28 de zile, se constată că:

- doar în cazul betonului (C25/30, A/C=0,42, 408Kg/m<sup>3</sup>) preparat cu cimentul CEM 1 (17% zgură, 8,4% calcar) este respectat criteriul de performanță;
- pentru dozaje ridicate de ciment (564 Kg/m<sup>3</sup>), desi criteriul nu este respectat, adâncimile de patrundere a ionilor de clor au tendința evidentă de uniformizare, indiferent de tipul de ciment. Acest aspect poate conduce la concluzia că, în primul rand un dozaj de ciment ridicat este esențial în reducerea adâncimii

---

de penetrare a ionilor de clor și apoi faptul că aceasta este dependentă de tipul de ciment. O lipsă de sensibilitate a metodei poate, de asemenea să fie luată în calcul.

Din analizarea adâncimii de penetrare a ionilor de clor, la 60 de zile, se constată că:

- în cazul betonului (C25/30, A/C=0,42, 408Kg/m<sup>3</sup>) preparat cu cimentul CEM 1 (17% zgură, 8,4% calcar) nu este respectat criteriul de performanță, însă la limită<sup>71</sup>;
- pentru un dozaj de ciment de 408Kg/m<sup>3</sup> tendința de uniformizare a adâncimilor de penetrare a ionilor de clor se păstrează.

În toate situațiile analizate, pentru un același dozaj de ciment, se constată faptul că o creștere a dozajului de adaos de calcar în CPC/C conduce la o sporire a adâncimii de patrundere a ionilor de clor. Aceasta concluzie impune necesitatea unei prudențe sporite în abordarea extinderii domeniului de utilizare a cimenturilor cu adaos de calcar în clasele de expunere XD și XS, aceasta putând fi făcută cu limitarea (superioara a) conținutului de calcar din ciment și (inferioară) a dozajului de ciment/m<sup>3</sup>.

Plecând de la rezultatele prezentate, pentru o singură sursă de ciment, se poate afirma, în mod preliminar, faptul că un beton de clasă C25/30 cu un A/C<sub>max</sub>=0,42 și un dozaj minim de ciment de 410Kg/m<sup>3</sup>, preparat cu un ciment CEM II/B-M(S-LL) 32,5R, având minim<sup>72</sup> 17% zgură și maxim 8% calcar poate fi acceptat în clasele de expunere XD1 și XS1 cu mențiunea că sunt necesare în continuare teste de laborator, precum și identificarea unor măsuri eficiente de tratare suficientă a betonului pe șantier.

Testarea nu a inclus determinări de adâncimi de penetrare a ionilor de clor în mediu natural însă un astfel de poligon experimental, în care cilindri de beton având suprafața generatoarei etanșezată și dispuși<sup>73</sup> pe un rastel în mediu marin sau în zona rutieră este pe deplin realizabil iar rezultatele furnizate pot fundamenta, în mod corect, decizia.

La trecerea de la mortare la betoane (în poligoane experimentale) este important de stabilit care sunt caracteristicile compoziționale și clasa betoanelor "de referință" preparate cu cimenturile "de referință" întrucât este normal să reprezinte referința („etalonul”) clase și compoziții care au confirmat pe teritoriul național, prin proba timpului, o bună comportare și să nu se aștepte de la betonul „candidat” să respecte criteriul enunțat pentru toate clasele și compozițiile la care este testat betonul "de referință".

Pe ansamblu, Capitolul VII concentrează, pe lângă aspecte teoretice, un număr mare de determinări ale adâncimilor de carbonatare în mediu controlat (20/65), în mediu accelerat și „in situ” (poligon de încercare), precum și de adâncimi de difuzie a ionilor de clor în mediu controlat, de laborator. Întrucât ambele fenomene (carbonatarea și difuzia ionilor de clor) se supun aceleiași legi a lui Fick, anumite aspecte compoziționale, de tratare și punere în operă ce pot fi asociate CPC/C sunt comune, fiind interesant de analizat în cadrul aceluiași capitol.

Plecând de la modul în care anumite compoziții de beton se comportă în ceea ce privește carbonatarea prin luarea în considerare a criteriului de performanță relativ enunțat, în lucrare se consideră că se pot formula următoarele concluzii:

---

<sup>71</sup> o diferență de sub 1mm poate fi considerată în toleranțele de evaluare a adâncimii de penetrare a ionilor de clor iar criteriul satisfăcut „la limită”

<sup>72</sup> este cunoscut și demonstrat, inclusiv în România, efectul benefic al unui conținut ridicat de zgură din ciment asupra difuziei ionilor de clor în sensul că pe măsura ce dozajul de zgură din compoziția cimentului crește viteza de patrundere a frontului de difuzie scade.

<sup>73</sup> orizontal sau vertical

---

Parametrii compoziționali ai betonului, tratarea și punerea în opera a betoanelor preparate cu CPC/C sunt aspecte esențiale în dinamica fenomenului de carbonatare, indiferent de dozajele de adaosuri. S-a înregistrat o situație în care diferența între a fi respectat sau nu criteriul a reprezentat-o durata de tratare<sup>74</sup>;

Utilizarea în programul experimental a unui poligon de testare „in situ” a fenomenului de carbonatare, în cazul CPC/C, este un factor de progres și de fundamentare tehnică a deciziilor luate.

Pe măsura creșterii dozajului de calcar în CPC/C CEM II/B-M(S-LL) este necesară creșterea dozajului de ciment/m<sup>3</sup> pentru satisfacerea criteriului de performanță relativ stabilit.

Pentru dozaje peste medie (>260Kg/m<sup>3</sup>) ale cimentului “de referință”, betoanele preparate cu acesta devin atât de performante în întârzierea pătrunderii frontului de carbonatare, încât betonul „candidat” nu mai poate îndeplini criteriul nici pentru dozaje mari (>470Kg/m<sup>3</sup>) de CPC „candidat”;

Criteriul de performanță enunțat este satisfăcut ( $\theta=1$ ) pentru o dozare suplimentară a betonului preparat cu CPC/C „candidat” între 20 și 210Kg/m<sup>3</sup>, funcție de fabrica producătoare, în mod evident fiind necesară îndeșirea determinărilor pentru a restrânge acest domeniu. Acest aspect arată puternica dependență a comportării CPC/C „candidat” funcție de sursă (fabrică);

Pentru confirmarea celor enunțate este importantă extinderea programului experimental de determinare a adâncimilor de carbonatare până la 2 ani, date fiind erorile inerente, umane, în evaluarea acestei mărimi.

Pentru evaluarea rezistenței la carbonatare determinată prin metoda accelerată s-a enunțat, în mod informativ, un criteriu de performanță relativ. Încercarea furnizează rezultate contradictorii privind adâncimea de carbonatare, raportate la performanțele ce caracterizează microstructura pietrei de ciment (absorbția, permeabilitatea și porozitatea).

Pentru confirmarea celor enunțate este importantă extinderea programului experimental de determinare accelerată a adâncimilor de carbonatare, date fiind rezultatele obținute uneori contradictorii.

Determinările de adâncimi de carbonatare pe elemente expuse în poligon sau „in situ” o durată relevantă de timp, arată în mod clar atât dependența acestui fenomen de parametrii compoziționali ai betonului, cât și de modul de tratare / punere în operă.

Criteriul este respectat pentru dozaje de ciment de ordinul a 400Kg/m<sup>3</sup> și dozaje limitate de calcar în CPC. Pe măsură ce dozajul de ciment crește foarte mult, de ordinul a 560Kg/m<sup>3</sup> - un dozaj teoretic de ciment desigur – adâncimile de patrundere a ionilor de clor se uniformizează indiferent de tipul de ciment și conținutul de adaos. Este necesară abordarea cu prudență a domeniului utilizării CPC/C în betoane expuse în XS2, XS3, XD2, XD3, dată fiind posibilă lipsă de sensibilitate a metodei. Pentru confirmarea posibilității de utilizare în aceste clase de expunere este necesară realizarea unor poligoane de încercare „in situ”;

În mod preliminar faptul că un beton de clasă C25/30 cu un A/C<sub>max</sub>=0,42 și un dozaj minim de ciment de 410Kg/m<sup>3</sup>, preparat cu un ciment CEM II/B-M(S-LL) 32,5R având minim<sup>75</sup> 17% zgură și maxim 8% calcar poate fi acceptat în clasele de expunere XD1 și XS1 cu mențiunea că sunt necesare în continuare teste de laborator, precum și identificarea unor măsuri eficiente de tratare suficientă a betonului pe șantier.

În lucrare se consideră că este important de stabilit care sunt caracteristicile compoziționale și clasa betoanelor “de referință” preparate cu cimenturile “de referință”, întrucât este normal să reprezinte referința („etalonul”) clase și compoziții care au confirmat pe teritoriul național, prin proba timpului, o bună comportare la

---

<sup>74</sup> respectiv o diferență de 5 zile de durată de tratare pe elemente în poligon experimental

<sup>75</sup> este cunoscut și demonstrat, inclusiv în România, efectul benefic al unui conținut ridicat de zgură din ciment asupra difuziei ionilor de clor, în sensul că, pe măsura ce dozajul de zgură din compoziția cimentului crește, viteza de patrundere a frontului de difuzie scade.



---

carbonatare și/sau la difuzia clorurilor și sa nu se aștepte de la betonul „candidat” sa respecte criteriul enunțat pentru toate clasele și compozițiile la care este testat betonul “de referință”.

Capitolul VII are 26 de tabele, 4 figuri și 4 fotografii.

## Rezumatul capitolul VIII

Pe cuprinsul capitolului VIII denumit „**Abordarea de performanță prin criterii absolute: rezistența la îngheț-dezghet**”, pe lângă o serie de aspecte introductive, generale, se analizează efectul îngheț-dezghetului asupra betonului proaspăt și întărit, în general precum și în mod particular, asupra celui preparat cu CPC/C.

O parte consistentă a capitolului este dedicată modului de reglementare tehnică, în România precum și în alte țări europene, a evaluării rezistenței la îngheț-dezghet arătându-se care este stadiul acesteia, în special în ceea ce privește cimenturile CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL). Sunt făcute dese referiri la metodele europene de determinare a rezistenței la îngheț-dezghet precum și la criteriile de performanță, atât cele stabilite pe plan european cât și pe plan național, în diferite lucrări de cercetare.

O comparație între metoda națională de stabilire a rezistenței la îngheț-dezghet și cele europene pune în evidență lipsa de sensibilitate a celei conform SR 3518 precum și a limitărilor acesteia în simularea claselor de expunere XF2 și XF4, esențiale pentru studiul și modelarea fenomenului în cauza, în anumite aplicații.

Prezentarea nivelului de acceptare a CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) în clasele de atac din îngheț-dezghet pe plan european semnalează prudența necesar a fi alocată stabilirii metodei de testare, numărului de probe testate precum și interpretării rezultatelor experimentale obținute, în baza unor criterii de performanță recunoscute.

Testarea în conformitate cu prevederile **SR 3518:2009** [81] este o evaluare bazată pe criteriile de performanță incluse în textul standardului. Reglementarea **CEN/TS 12390-9** [79] introduce trei metode de determinare a rezistenței la îngheț-dezghet respectiv *metoda de referință „slab test”, metoda “cube test” și metoda „CF/CDF test”, primele două fiind aplicate în lucrare asupra cimenturilor „candidat” CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R*. Specificația tehnică europeană nu conține criteriile de evaluare a rezistenței la îngheț-dezghet, însă metodele incluse pot modela toate clasele de expunere la îngheț-dezghet (XF1, XF2, XF3, XF4). Prin **CEN/TR 15177** [80] se introduc trei mari categorii de metode „beam test”, „slab test” și „CIF test”, fiecare cu 2 sau 3 variante. În lucrare s-a utilizat metoda “SLAB TEST” în varianta „UPTT”.

În continuare este prezentată o sinteză a criteriilor oferite de reglementări sau literatura de specialitate. Acestea sunt considerate utile pentru caracterizarea rezistenței la îngheț-dezghet a betonului / cimentului „candidat” și “de referință” în diferite clase de expunere.

Criterii europene (codificare **EUR**), bazate pe cantitatea de material exfoliat:

Criteriul **EUR-1**: Pentru acceptarea în **XF1**, în urma efectuării “**CUBE TEST**”, cantitatea de material exfoliat trebuie să determine o reducere mai mică de 5% a masei probei de beton (dozaj de ciment de 300 kg/m<sup>3</sup>, A/C = 0,6) după aplicarea a 56 de cicluri de îngheț-dezghet și respectiv mai mică de 10% după 100 de cicluri de îngheț-dezghet. Compoziția de beton este realizată cu un dozaj de ciment de 300 kg/m<sup>3</sup> și un raport A/C = 0,6.

Criteriul **EUR-2**: Pentru acceptarea în **XF3**, în urma efectuării “**CUBE TEST**”, cantitatea de material exfoliat trebuie să determine o reducere mai mică de 3% a masei probei de beton după aplicarea a 56 de cicluri

---

de îngheț-dezgeț și respectiv mai mică de 5% după 100 de cicluri de îngheț-dezgeț. Compoziția de beton este realizată cu un dozaj de ciment de  $300 \text{ kg/m}^3$  și un raport A/C = 0,6.

Criteriul **EUR-3**: Pentru acceptarea în **XF4**, în urma efectuării „**SLAB TEST**”, cantitatea de material exfoliat de pe suprafața probei de beton trebuie să fie mai mică de  $1 \text{ Kg/m}^2$  după 56 de cicluri de îngheț-dezgeț în prezența agenților de dezgețare. Compoziția de beton este realizată cu un dozaj de ciment de  $320 \text{ kg/m}^3$ , un raport A/C = 0,5 și cu aditiv antrenor de aer.

Criterii europene (codificare **EUR**), bazate pe evaluarea reducerii modulului de elasticitate

Criteriul **EUR-4**: Pentru acceptarea în **XF3**, în urma efectuării testului privind evaluarea „**REDUCERII MODULULUI DE ELASTICITATE**”, după aplicarea a 28 de cicluri de îngheț-dezgeț probele de beton trebuie să prezinte o reducere a modulului de elasticitate dinamic mai mică de 25%. Compoziția de beton este realizată cu un dozaj de ciment de  $320 \text{ kg/m}^3$  și un raport A/C = 0,5.

Criteriul **EUR-5**: Pentru acceptarea în **XF3**, în urma efectuării „CF/CDF test”, betonul nu trebuie să prezinte o valoare a modului de elasticitate dinamic relativ mai mică de 75% după 28 de cicluri de îngheț-dezgeț și o cantitate de material exfoliat mai mare de  $1 \text{ Kg/m}^2$ . *Acest criteriu nu s-a putut aplica datorită lipsei dotarilor pentru aplicarea metodei „CF/CDF test”.*

Criteriul **EUR-6**: Pentru acceptarea în **XF2**, **XF4**, în urma efectuării „CDF test”, betonul nu trebuie să prezinte o cantitate de material exfoliat mai mare de  $1,5 \text{ Kg/m}^2$ . *Acest criteriu nu s-a putut aplica datorită lipsei dotărilor pentru aplicarea metodei, fiind însă utilizat pentru a caracteriza rezistența la îngheț – dezgeț a unor cimenturi „candidat” CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R și CEM II/B-M(V-LL) 32,5R.*

Criterii propuse pe plan național (codificare **RO**)

În urma unui program de testare în care s-a evaluat rezistența la îngheț-dezgeț pe șase CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL), s-au propus pe plan național următoarele criterii (RO) plecând de la rezultatele favorabile obținute prin metoda „SLAB TEST - UPTT” conform CEN/TR 15177 [80]. La baza acestora stau determinări ale cantităților de material exfoliat pe probele care au trecut criteriul prin metoda „slab test – UPTT” conform aceleiași reglementări CEN/TR 15177 [80].

Criteriul **RO-1**: Pentru acceptarea în **XF1**, în urma efectuării „SLAB TEST”, cantitatea de material exfoliat de pe suprafața probei de beton trebuie să fie mai mică de  $1,3 \text{ Kg/m}^2$  după 56 de cicluri de îngheț-dezgeț. Compoziția de beton este realizată cu un dozaj de ciment de  $320 \text{ kg/m}^3$  și un raport A/C = 0,5.

Criteriul **RO-2**: Pentru acceptarea în **XF2**, în urma efectuării „SLAB TEST”, cantitatea de material exfoliat de pe suprafața probei de beton trebuie să fie mai mică de  $1,3 \text{ Kg/m}^2$  după 56 de cicluri de îngheț-dezgeț în prezența agenților de dezgețare. Compoziția de beton este realizată cu un dozaj de ciment de  $320 \text{ kg/m}^3$ , cu un raport A/C = 0,5 și în condițiile folosirii unui aditiv antrenor de aer.

Criteriul **RO-3**: Pentru acceptarea în **XF3**, în urma efectuării „SLAB TEST”, cantitatea de material exfoliat de pe suprafața probei de beton trebuie să fie mai mică de  $1 \text{ Kg/m}^2$  după 56 de cicluri de îngheț-dezgeț. Compoziția de beton este realizată cu un dozaj de ciment de  $320 \text{ kg/m}^3$  și un raport A/C = 0,5.

Pentru a se putea face anumite calibrări ale criteriilor propuse pe plan național și a căpăta o fundamentare tehnică suficientă și atât de necesară, este important sub aspectul durabilității, să existe o baza de



date suficientă de rezultate pe betoane cu cimenturi „candidat” și “de referință” (care au arătat, prin proba timpului, o rezistență corespunzătoare la îngheț-dezghet în practica de șantier). Un astfel de ciment “de referință” este pentru România cimentul Potland cu zgură CEM II/A-S pentru betoane uzuale (expuse în mod obișnuit agresiunii specifice de îngheț-dezghet) și CEM I pentru betoane rutiere.

În conformitate cu prevederile SR 3518 [81], prin metoda distructivă, s-au efectuat determinări ale rezistenței la îngheț-dezghet asupra unui set de nouă CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R care au provenit din trei surse. Pentru ciment “de referință” s-a ales CEM II/A-S 32,5R. Pentru diferite confirmări s-au efectuat determinări și asupra a două CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) 32,5R din două surse, compoziții preparate cu două tipuri de aditivi plastifianți. În conformitate cu prevederile CEN/TS 12390-9 [79] (metodele „slab test” și „cube test”) precum și cu prevederile CEN/TR 15177 [80] (metoda de evaluare a degradărilor interne prin măsurarea reducerii modulului de elasticitate dinamic UPTT) s-au efectuat determinări asupra unui pachet de șase cimenturi „candidat” din 2 surse. Pentru ciment “de referință” s-a ales CEM II/A-S 32,5R. *Acesta este cel mai consistent program național de testare a durabilității CPC/C la atacul din îngheț-dezghet, evaluată după normele naționale [81] și europene [79], [80].* În continuare este prezentată, centralizat, situația nivelului de acceptare al criteriilor de performanță, anterior enunțate, la atacul din îngheț-dezghet.

Tabel 6. Acceptarea / neacceptarea cimenturilor conform metodelor și criteriilor propuse

CEM	Cod	Dozaj LL (%)	Dozaj S (%)	Clasă de expunere la îngheț-dezghet						
				XF 1		XF2	XF3			XF4
				Cube test	Slab Test	Slab Test	Cube test	Slab Test	„Slab test” „UPTT”	Slab Test
				*	**	**	*	**	*	*
				EUR-1	RO-1	RO-2	EUR-2	RO-3	EUR-4	EUR-3
CEM II / B-M (S-LL) 32,5R	3-1	11,40	14	X	X	X	X	X	X	X
	3-2	14,10	16	X	X	X	X	X	X	X
	3-3	18,10	16	O	X	X	O	X	X	XO
	1-1	7,40	15,5	OX	X	X	O	X	X	XO
	1-2	13,9	14,5	O	X	XO	O	XO	XO	O
	1-3	17,3	14,4	X*	X	X	OX	X	X	XO
CEM II/A-M(S-LL) 32,5R (1)		N*	N*	X(56)	X	X	X(56)	X	-	X
CEM II/A-M(S-LL) 32,5R (2)		N*	N*	-	X	X	-	X	-	X
CEM II/A-S 32,5R		0	18	X	X	X	-	-	XO	-
CEM II/A-LL 42,5R		18,7	0	X	X	X	O	-	X	-
CEM B-M(S-LL) 32,5R		12,8	11	O	-	-	O	-	-	-
CEM B-M(S-LL) 42,5N		12,9	9,2	O	-	-	O	-	-	-
CEM B-LL 42,5N		13,4	0	O	-	-	O	-	-	-
CEM B-S 32,5R		3,3	22,4	X	-	-	X	-	-	-
CEM I 42,5R		3	0	-	-	X	-	-	X	-

X – criteriu îndeplinit      X(56) – criteriu îndeplinit la 56 de cicluri, netestat la 100 de cicluri      XO – criteriu îndeplinit „la limita” -----  
OX – criteriu neîndeplinit „la limita”      X\* – criteriu îndeplinit (insa este necesara indesirea numarului de determinari pentru o explicatie completa)      O – criteriu neîndeplinit      N\* - netestat      - -> netestat  
\*) – criteriu existent în literatura de specialitate      \*\*) – criteriu propus (in discutie)

---

Pe baza interpretării rezultatelor obținute se pot formula o serie de concluzii cu privire la programul de testari, precum și la durabilitatea CPC/C „candidat” la atacul din îngheț-dezgheț:

1. Programul de testari prezentat în teza de doctorat reprezintă cel mai important și consistent program național de evaluare a durabilității CPC/C, precum și a altor cimenturi cu adaos de calcar la atacul din îngheț-dezgheț. Evaluarea durabilității s-a făcut în toate situațiile prin raportarea rezultatelor la criteriile de performanță absolute anterior definite, așadar printr-o abordare exclusiv de performanță;
2. În situațiile unde au putut fi extrase concluzii din compararea nivelului în care diferite CPC/C se raportează la exigențele (limitele) criteriilor sau îndeplinesc performanțe specifice, rezultatele au fost utilizate făcându-se trecerea spre o abordare de performanță prin criterii relative;
3. Întotdeauna aplicarea unui criteriu de performanță care reiese din literatura de specialitate trebuie verificată prin încercări „in situ” care să confirme justetea acestuia, dată fiind diferența inerentă între modelarea în laborator a fenomenului de îngheț-dezgheț, între compozițiile betonului testat în laborator și folosit „in situ”, precum și reieșită din modul în care se manifestă atacul;
4. Din cele trei metode prevăzute de către CEN/TS 12390-9 [79] au fost aplicate două, din care una („slab test”) de referință. Din cele opt metode prevăzute de CEN/TR 15177 [80] a fost aplicată una, iar din cele două metode cuprinse în SR 3518 [81] a fost aplicată metoda distructivă, utilizabilă în caz de litigiu;
5. Criteriul de performanță cuprins în SR 3518:2009 [81] (metoda distructivă) nu este suficient de exigent și/sau metoda nu este suficient de selectivă, în corelație cu modul în care betoanele sunt expuse atacului mediului înconjurător. De altfel, metoda distructivă prevăzută de standardul național [81] nu simulează atacurile în clasele de expunere XF2, XF4, acest aspect conducând la necesitatea trecerii la metode europene [79], [80] de caracterizare a comportării betonului;
6. Plecând de la performanțele CPC/C „candidat” și „de referință” obținute cu metoda distructivă, se poate concluziona că pentru performanțe similare este necesară o sporire a dozajului de ciment cu mai mult de 50Kg/m<sup>3</sup> și o reducere a raportului A/C cu mai mult de 0,08;
7. Rata de pierdere a rezistenței la compresiune a betonului testat cu metoda distructivă [81] este mai mare pe măsură ce dozajul de calcar în ciment crește, arătând efectul acestui parametru asupra durabilității;
8. Creșterea dozajului de ciment cu 20Kg/m<sup>3</sup> și o reducere în consecință a raportului A/C cu 0,1 unitați are un impact deosebit asupra pierderii de rezistență la compresiune evaluată prin metoda națională [81], distructivă. Se constată diferențe mari între comportamentul CPC/C plecând de la acest aspect – în consecință durabilitatea betonului trebuie evaluată pe tipuri de cimenturi și pe surse (fabrici), similar sistemului de aprobări existent în Germania;
9. Principalul parametru identificat, în funcție de care se ierarhizează rezistența la îngheț-dezgheț a cimenturilor este dozajul de calcar (LL). Pe măsură ce crește dozajul de calcar, adsorbția de apă crește, iar rezistența la îngheț-dezgheț scade. Alt parametru care poate influența rezistența la îngheț-dezgheț îl reprezintă compoziția mineralogică a clincherului, în special C<sub>3</sub>S (silicatul tricalcic) și C<sub>3</sub>A (aluminatul tricalcic); acest aspect conduce la posibilitatea obținerii de aprobări punctuale, pe „surse”;
10. Atât la testarea prin „cube test”, cât și prin „slab test” există o anumită „împrăștiere” a rezultatelor care necesită un efort suplimentar de îndesire a determinărilor. La ambele metode pierderile de masă („cube test”) sau masa de beton exfoliat („slab test”) sunt foarte reduse pentru cimentul „de referință” CEM II/A-S 32,5R, prin comparație cu CPC/C „canditate”;

- 
11. La testarea prin metoda „UPTT” se constată faptul că reducerea modulului de elasticitate dinamic (prin care se evaluează rata de degradare a betonului supus unui anumit număr de cicluri de îngheț-dezghet) în cazul cimentului “de referință” CEM II/A-S 32,5R este mult mai mare decât a cimenturilor „candidat” punând semne de întrebare suplimentare asupra metodei și criteriului de performanță;
  12. Cimentul CEM II/B-LL 42,5N prezintă o vulnerabilitate deosebită la atacul din îngheț-dezghet în ciuda clasei sale ridicate de rezistență;
  13. Creșterea fineții de măcinare a CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) are ca efect reducerea vulnerabilității la atacul din îngheț-dezghet;

Concluzii cu privire la metodele de testare și performanțele cimenturilor:

14. Metoda distructivă prevăzută în SR 3518 [81] nu este o metodă suficient de sensibilă pentru a separa cimenturile în *rezistente* și care *nu sunt rezistente la îngheț-dezghet* în clasele de expunere XF1 și XF3, care pot fi modelate. De altfel, standardul nu specifică în mod explicit care din cele două clase de expunere este modelată;
15. Metoda de testare „cube test” are cel mai ridicat număr de neîndepliniri ale criteriilor de performanță (EUR-1 corespunzător XF1, EUR-2 corespunzător XF3). Se constată o buna corelație între nivelul de îndeplinire al criteriilor corespunzătoare claselor de expunere XF1 respectiv XF3 în sensul că, în general, nu se constată, pentru același ciment, îndepliniri ale criteriului EUR-2, însa neîndepliniri ale criteriului EUR-1, acest lucru putând conduce la confuzii în practică;
16. Metoda de testare „cube test” este sensibilă în ceea ce privește evaluarea vulnerabilității unui ciment CEM II/A-LL 42,5R (mix) în sensul că, în clasă de expunere XF1, criteriul este îndeplinit, iar în clasa de expunere XF3 acesta nu este îndeplinit, situații similare putând fi considerate și pentru cimenturile „B-1” și „B-3”;
17. CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) 32,5R (sursele „1” și „2”) îndeplinesc criteriile de performanță pentru metodele în care s-au efectuat testele. Acest aspect nu trebuie să conducă pe viitor la o acceptare fără testare a acestor tipuri de cimenturi în diferite clase de expunere, acceptarea oferită de [12], [13] fiind „de principiu”;
18. CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R „F1” și „F2” îndeplinesc integral criteriile de performanță referitoare la îngheț-dezghet, pentru toate metodele considerate și pentru toate clasele de expunere (XF1, XF2, XF3, XF4);
19. Toate CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R testate în conformitate cu metoda națională (care modelează clasele de expunere XF1 și XF3) au satisfăcut criteriul de performanță; comparativ între cimenturile “de referință” și „candidat”, pierderile de rezistență la compresiune sugerează necesitatea sporirii dozajului de ciment cu minim  $50\text{Kg/m}^3$  și reducerea în consecință a A/C cu minimum 0,08 pentru a prezenta performanțe similare. Aceasta „comportare echivalentă” nu a fost demonstrată pe un număr mare de teste, fiind necesare experimente suplimentare.

Tabel 7. Tabel centralizator cu parametrii fizico-mecanici ai cimenturilor care îndeplinesc ambele criterii **EUR-1** („cube test”) și **RO-1** („slab test”) corespunzătoare clasei de expunere **XF1**.

Tip ciment	Dozaj adaosuri [%]		Finețe [cm <sup>2</sup> /g]	Rezistențe la compresiune ciment [MPa]			Timpi de priză [min]	Absorbție beton [%]	Obs.
	LL	S		1 zi	2 zile	28 zile			
3 1 - (S-LL)	11,40	14,0	3690	-	18,2	36,6	165/225	1,84	
3 2 - (S-LL)	14,10	16	3770	-	18,1	37	180/240	1,69	
<del>1 3 - (S-LL)</del>	<del>17,3</del>	<del>14,4</del>	<del>4290</del>	<del>-</del>	<del>16,7</del>	<del>36</del>	<del>210/275</del>	<del>2,29</del>	(*)
A-S 32,5R	0	18	-	-	-	-		1,52	
A-LL 42,5R	18,7	0	3900	9,5	19,2	44,0	180/-	2,59	

(\*) – rezultat paradoxal întrucât cimenturile 1-1 și 1-2 nu satisfac criteriile. Se ignoră acest rezultat.

Se constată faptul că pot fi identificate cimenturi „candidat” CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R codificate (3 1 și 3 2) care îndeplinesc criteriile „EUR-1” și „RO-1” de performanță la îngheț-dezghet corespunzătoare clasei de expunere XF1. Alături de acestea se situează cimenturile CEM II/A-S 32,5R și CEM II/A-LL 42,5R. De asemenea, cele două CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) 32,5R testate satisfac criteriul „RO-1”, însă în ceea ce privește criteriul „EUR-1” testarea s-a făcut doar la 56 de cicluri, nu și la 100 de cicluri – neexistând rezultate, în consecință, nu se poate afirma că îndeplinește criteriul.

Tabel 8. Tabel centralizator cu parametrii fizico-mecanici ai cimenturilor care îndeplinesc criteriul **RO-2** („slab test”) corespunzător clasei de expunere **XF2**.

Tip ciment	Dozaj adaosuri [%]		Finețe [cm <sup>2</sup> /g]	Rezistențe la compresiune ciment [MPa]			Timpi de priză [min]	Absorbție beton [%]
	LL	S		1 zi	2 zile	28 zile		
3 1 - (S-LL)	11,40	14,0	3690	-	18,2	36,6	165/225	1,84
3 2 - (S-LL)	14,10	16,0	3770	-	18,1	37	180/240	1,69
3 3 - (S-LL)	18,10	16,0	3570	-	15,1	32,6	195/255	2,28
1 1 - (S-LL)	7,40	15,5	3320	-	19,7	39,2	190/250	1,97
1 2 - (S-LL)	13,9	14,5	3550	-	17,1	38,6	195/250	2,08
1 3 - (S-LL)	17,3	14,4	4290	-	16,7	36,0	210/275	2,29
A-M (1)	12	7	3320	-	14,5	36,6	185/250	2,21
A-M (2)	10	8	3150	-	15,1	37,1	165/240	1,80
A-S 32,5R	0	18	3040	-	17,0	39,2	190/285	1,52
A-LL 42,5R	18,7	0	3900	9,5	19,2	44,0	180/-	2,59
CEM I 42,5R	3	0	3520	-	26	47	-	-

„-” – valoare nedeterminată

Se constată faptul că toate cimenturile „candidat” (31, 32, 33, 11, 12 și 13) îndeplinesc criteriul „RO-2” de performanță la îngheț-dezghet corespunzător clasei de expunere XF2. Alături de acestea se situează cimenturile CEM II/A-S 32,5R, CEM II/A-LL 42,5R și CEM I 42,5R.

O anumită neconcordanță între satisfacerea de către aceleași cimenturi „candidat” a criteriilor corespunzătoare claselor de expunere „XF1” și „XF2”, în sensul că toate cimenturile „candidat” pot fi acceptate în clasa de expunere XF2, însă doar două cimenturi în XF1, poate conduce la ipoteza că fie criteriul de performanță corespunzător XF1 este prea riguros fie că, acela corespunzător XF2 este prea permisiv, fie o combinație între cele două ipoteze de lucru.

Tabel 9. Tabel centralizator cu parametrii fizico-mecanici ai cimenturilor care îndeplinesc criteriile **EUR-2** („cube test”), **RO-3** („slab test”) și **EUR-4** („UPTT test”) coresp. clasei de expunere **XF3**.

Tip ciment	Dozaj adaosuri [%]		Finețe [cm <sup>2</sup> /g]	Rezistențe la compresiune ciment [MPa]			Timp de priză [min]	Absorbție beton [%]
	LL	S		1 zi	2 zile	28 zile		
3 1 - (S-LL)	11,40	14,0	3690	-	18,2	36,6	165/225	1,84
3 2 - (S-LL)	14,10	16,0	3770	-	18,1	37	180/240	1,69

Observatie importanta: Cu toate cele trei metode și aplicand toate criteriile s-a testat întreg setul de sase cimenturi CEM II/B-M(S-LL) 32,5R codificate 31, 32, 33, 11, 12, și 13.

Se constată faptul că pot fi identificate două CPC/C „candidat” tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R (31 și 32) care îndeplinesc criteriile „EUR-2”, „RO-3” și „EUR-4” de performanță la îngheț-dezgeț corespunzătoare clasei de expunere XF3.

Tabel 10. Tabel centralizator cu parametrii fizico-mecanici ai cimenturilor care îndeplinesc criteriul **EUR-3** („slab test”) corespunzător clasei de expunere **XF4**.

Tip ciment	Dozaj adaosuri [%]		Finețe [cm <sup>2</sup> /g]	Rezistențe la compresiune ciment [MPa]			Timp de priză [min]	Absorbție beton [%]
	LL	S		1 zi	2 zile	28 zile		
3 1 - (S-LL)	11,40	14,0	3690	-	18,2	36,6	165/225	1,84
3 2 - (S-LL)	14,10	16,0	3770	-	18,1	37	180/240	1,69
A-M (1)	12	7	3320	-	14,5	36,6	185/250	2,21
A-M (2)	10	8	3150	-	15,1	37,1	165/240	1,80

Observatie importanta: Cu aceasta metoda („slab test”) s-a testat întreg setul de sase cimenturi CEM II/B-M(S-LL) 32,5R codificate 31, 32, 33, 11, 12, și 13.

Se constată faptul că pot fi identificate CPC/C „candidat” tip CEM II/B-M(S-LL) 32,5R (31 și 32) care îndeplinesc criteriul „EUR-3” de performanță la îngheț-dezgeț corespunzător clasei de expunere XF4. De asemenea, îndeplinesc criteriul „EUR-3” cele două CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) 32,5R testate.

Având în vedere faptul că, pe ansamblu, CPC/C „candidat” tip **CEM II/B-M(S-LL) 32,5R** codificate „31” și „32” îndeplinesc toate criteriile de performanță corespunzătoare tuturor claselor de expunere la îngheț-dezgeț (XF1, XF2, XF3, XF4), se vor analiza în continuare o serie de elemente care pot defini exigențe impuse cimentului de tip **CEM II/B-M(S-LL) 32,5R** în producție. În continuare atenția se va concentra pe aceste două cimenturi, codificate „31” și „32”.

Cu privire la compoziția oxidică<sup>76</sup> a clincherului utilizat în „31” și „32”

Compoziția oxidică a clincherului Portland utilizat la fabricarea cimenturilor „31” și „32” este:

Tabel 11. Compoziția oxidică (selectie) a clincherului Portland utilizat la cimenturile „31” și „32”

Oxid	I	II	III
CaO [%]	65,45	65,71	65,73
SiO <sub>2</sub> [%]	20,20	20,30	20,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	4,94	4,97	5,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	3,81	3,88	3,91
MgO [%]	1,15	1,16	1,21
SO <sub>3</sub> [%]	1,42	0,91	0,93

Caracterizarea clincherului prin intermediul modurilor este prezentată în continuare:

<sup>76</sup> fabricarea acestor clinchere s-a derulat pe cuprinsul anilor 2006-2007, datele avand în consecinta o vechime mai mare de 5 ani.

Tabel 12. Modulii clincherului cimenturilor „31” și „32”

	I	II	III
Grad de saturare în calce (LSF)	100,9	100,7	99,7
Modul de silice ( $M_{Si}$ )	2,31	2,29	2,29
Modul de alumina ( $M_{Al}$ )	1,30	1,28	1,29
Modul hidraulic ( $M_H$ )	2,26	2,25	2,23
Calcea standard ( $C_S$ )	1,17	1,17	1,15

Tabel 13. Compoziția mineralogică a clincherelor cimenturilor „candidat” „31” și „32”:

Component mineralogic	Calculată cu formulele Boque [%]			Analiza XRD [%]		
	I	II	III	I	II	III
Silicat tricalcic ( $C_3S$ )	74,29	74,29	72,20	75,19	74,55	73,95
Silicat dicalcic ( $C_2S$ )	1,90	2,19	4,33	6,01	4,69	6,39
Aluminat tricalcic ( $C_3A$ )	6,64	6,61	6,79	5,78	6,52	7,02
Feritaluminat tetracalcic ( $C_4AF$ )	11,58	11,80	11,89	9,54	8,84	8,56

Caracteristicile fizico-mecanice ale cimenturilor „candidat” „31” și „32”, care îndeplinesc toate criteriile de performanță la îngheț-dezghet corespunzătoare claselor de expunere XF1, XF2, XF3 și XF4, sunt:

Tabel 14. Caracteristicile fizico-mecanice ale cimenturilor „candidat” „31” și „32”:

Tip ciment	Dozaj adaosuri [%]		Finețe [ $cm^2/g$ ]	Rezistențe la compresiune ciment [MPa]		Timpi de priză [min]		Absorbție pe beton [%]
	LL	S		2 zile	28 zile	inițial	final	
3 2 - (S-LL)	14,10	16,0	3770	18,1	37	180	240	1,69

#### Cu privire la CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) cod „31” și „32” - sinteza principalelor caracteristici

Dată fiind împrăștierea mare a rezultatelor testelor de laborator este necesară întotdeauna verificarea experimentală, sistematică, a respectării criteriilor corespunzătoare diferitelor clase de expunere pentru oricare CPC/C. Aceste caracteristici principale asociate CPC/C de tip CEM II/B-M(S-LL) acoperă și CPC/C corespondent de tip CEM II/A-M(S-LL), din aceeași sursă.

Pe cuprinsul capitolului VIII sunt prezentate aspecte generale referitoare la atacul din îngheț-dezghet cu trimiteri la specificații tehnice europene și naționale precum și la efectele negative pe care acest tip de atac le produce asupra betoanelor proaspete și întărite, cu referire la CPC/C. Este trecut în revistă stadiul reglementărilor tehnice privind evaluarea rezistenței la îngheț-dezghet pe plan internațional identificându-se categoriile de teste în care se încadrează acestea, sub aspectul modului de încercare. Este analizat și stadiul reglementării domeniului pe plan național.

Întrucât domeniul analizat este de o deosebită importanță, practic făcând distincția între *betonul structural* și cel *nestructural*, în capitol se face o evaluare comparativă, teoretică, a diferențelor înregistrate între metodele europene (mai sensibile) și cea națională, inclusiv în ceea ce privește modul de modelare a fenomenului.

Programul de testari prezentat reprezintă cel mai important și consistent cadru național de evaluare a durabilității CPC/C, precum și a altor cimenturi la atacul din îngheț-dezghet. Evaluarea durabilității s-a făcut, în

---

toate situațiile, prin raportarea rezultatelor obținute la criteriile de performanță absolute anterior definite, așadar printr-o abordare exclusiv de performanță. Acolo unde a fost necesar s-a făcut trecerea însa și spre o abordare de performanță prin criteriile relative.

O contribuție a tezei de doctorat o reprezintă sintetizarea nivelului de acceptare a CPC/C în diferite norme europene, în clasele de expunere specifice atacului din îngheț-dezgheț, prezentând și o serie de criterii de performanță europene și naționale. Pentru diferite tipuri de ciment, inclusiv CPC/C, lucrarea prezintă și interpretează rezultate ale determinărilor de rezistență la îngheț-dezgheț prin diferite metode, făcând un inventar al acestora stabilind totodată o serie de considerații privind criteriile de performanță și metodele de testare.

Plecând de la performanțele CPC/C „candidat” și “de referință” obținute prin testarea prin metoda națională distructivă, juridic valabilă pe teritoriul României, lucrarea concluzionează că pentru performanțe similare este necesară o sporire a dozajului de CPC/C și o reducere a raportului A/C, valorile fiind variabile. Aceasta arată importanța evaluării durabilității pe tipuri de cimenturi și pe surse chiar și în cazul acestei metode considerate puțin sensibile.

În lucrare se consideră că toate rezultatele și confirmările obținute rămân a fi verificate și prin încercări „in situ” datorită modului variat, neomogen, în care metodele de testare (națională și europene) aplicate au modelat acțiunea reală a mediului înconjurător, oferind rezultate în consecință.

Pentru aceleași caracteristici compoziționale, lucrarea identifica faptul că dozajul de calcar din CPC/C reprezintă parametrul care influențează, în mod decisiv, durabilitatea în fața atacului de îngheț-dezgheț. Alături de acesta, un alt parametru îl poate reprezenta compoziția mineralogică a clincherului, în special C<sub>3</sub>S (silicatul tricalcic) și C<sub>3</sub>A (aluminatul tricalcic). În lucrare se consideră că acest aspect conduce la necesitatea obținerii de aprobări punctuale, pe „surse” de ciment.

Analizând rezultatele programului experimental, se constată și că sporirea fineții de măcinare a CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) are ca efect reducerea, într-o anumită măsură, a vulnerabilității la atacul din îngheț-dezgheț. În consecință, o creștere a clasei de rezistență a CPC/C de la 32,5 (majoritatea cimenturilor testate) la 42,5 ar putea avea efect benefic asupra durabilității.

În lucrare se consideră că deși CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) 32,5R („1” și „2”) testate îndeplinesc criteriile de performanță pentru metodele în care s-au efectuat testele, acest aspect nu trebuie să conducă pe viitor la o acceptare fără testare prealabilă, pe surse, a acestor tipuri de cimenturi în diferite clase de expunere, acceptarea oferită de [12], [13] fiind „de principiu”. Se apreciază și că utilizarea unor rezultate punctuale în extinderea domeniilor de utilizare reprezintă o abordare superficială, fiind necesare mai multe determinări care să poată conduce la o decizie având la bază o minimă prelucrare și interpretare statistică.

În lucrare se identifică, în baza rezultatelor obținute, faptul că există cimenturi tip CEM II/B-M(S-LL) **32,5R** („31” și „32”) care îndeplinesc integral criteriile de performanță referitoare la îngheț-dezgheț, pentru toate metodele considerate și pentru toate clasele de expunere (XF1, XF2, XF3, XF4). Acest aspect este deosebit de important și arată faptul că pot exista CPC/C cu foarte bune performanțe în ceea ce privește rezistența la acest atac.

Plecând de la rezultatele interpretate și stabilite anterior, teza de doctorat consideră că se poate defini preliminar CPC/C „candidat” tip CEM II/B-M(S-LL), produs la sursa „3”, care poate fi acceptat în toate clasele de expunere (XF1, XF2, XF3, XF4) la acțiunea îngheț-dezghețului ca având (cel puțin) următoarele caracteristici:



---

- Conținut în silicat tricalcic (C <sub>3</sub> S) al clincherului:	minim 75 %;
- Conținut în aluminat tricalcic (C <sub>3</sub> A) al clincherului:	minim 7 %;
- Dozaj maxim de calcar (LL) :	maxim 14 %;
- Dozaj maxim de zgură :	maxim 16 %;
- Conținut de carbonat de calciu (CaCO <sub>3</sub> ) al calcarului:	> 93% (media 96-97%);
- Conținut de argila (cf EN 933-9):	max. 0,40g / 100 g;
- Conținut de carbon organic total (TOC):	max. 0,20 %;
- Finețe de măcinare:	minim 3700 cm <sup>2</sup> /g;
- Rezistența la compresiune la 2 zile:	minim 18 MPa;
- Rezistența la compresiune la 28 zile:	minim 36 MPa;
- Timp inițial de priză:	maxim 165 min;
- Timp final de priză:	maxim 225 min;
- Absorbție beton (compoziție cu 300Kg/m <sup>3</sup> , A/C=0,6):	maxim 1,84%

Dată fiind împrăștierea mare a rezultatelor testelor de laborator interpretate este necesară întotdeauna verificarea experimentală a respectării criteriilor corespunzătoare diferitelor clase de expunere, pentru oricare CPC/C. Aceste caracteristici principale asociate CPC/C de tip CEM II/B-M(S-LL) acoperă, bineînțeles, și CPC/C corespondent de tip CEM II/A-M(S-LL) din aceeași sursă.

Stabilirea parametrilor compoziționali ai betonului (clasa, A/C, dozaj minim de ciment, prezența aditivului antrenor de aer etc.) se vor putea reconfirma, în baza unor rezultate obținute în poligon experimental printr-o abordare comparativă, de performanță.

*Capitolul VIII are 22 de tabele și o figură.*

## **Rezumatul capitolului IX**

În Capitolul IX „Evaluarea duratei de serviciu prin metode probabilistice” se prezintă obiectivul analizei de reliabilitate efectuată prin metode integral sau semiprobabilistice exemplificând situații practice în care aceasta se dovedește utilă factorilor de decizie. Utilizarea acestor abordări moderne, bazate pe prelucrări statistice ale parametrilor implicați în stabilirea duratei de serviciu, reprezintă un mijloc eficient pentru stabilirea valorilor limită compoziționale și/sau verificarea<sup>77</sup> grosimii stratului de acoperire în vederea extinderii domeniilor de utilizare a noi tipuri de cimenturi, inclusiv CPC/C. Metodele prezentate în capitol răspund și unor situații de litigiu sau de schimbare de destinație a unei structuri, permițând formularea unor răspunsuri concrete la evenimente sau aspecte ce reies din practica de proiectare și de șantier.

Metodele prezentate sintetic în acest capitol răspund și necesității concrete de proiectare a duratei de serviciu de 100 de ani pentru elemente/structuri monumentale, poduri etc. prin stabilirea parametrilor compoziționali ai betonului, identificând parametrii cheie ce pot fi asociați unor tipuri de agresiuni ale mediului înconjurător. În partea finală a capitolului se face o prezentare a metodelor semi-probabilistice, a conceptului și parametrilor ce stau la baza acestei metode. Se demonstrează modul de aplicare practică a metodei pentru

---

<sup>77</sup> *inclusiunea în reglementari naționale, în mod specific pentru CPC/C, a unei grosimi de strat de acoperire diferită de Eurocod nu are aplicabilitate practică. În consecință, prin aplicarea metodelor se poate face doar verificarea nivelului în care, actualele grosimi de strat de acoperire răspund, pentru anumite valori limită compoziționale, duratei de serviciu dorite (de obicei 50 de ani).*

---

determinarea duratei de serviciu a unei structuri la carbonatare pentru parametrul cheie „adâncimea de carbonatare” și SLS „depasivarea armăturilor”. Metoda poate fi aplicată atât pentru structuri de beton aflate în stadiul de proiect (sau recent executate) cât și pentru cele cu durata de serviciu mai mare de 50 de ani.

Obiectivul metodelor semi-probabilistice este de a oferi o proiectare a duratei de serviciu pentru o SLS care presupune inițierea unor degradări din îngheț-dezgheț prin calcule simple, fără efectuarea suplimentară a unor calcule probabilistice a parametrilor de intrare.

În capitol este prezentată și metoda integral probabilistică de evaluare a duratei de serviciu a unei structuri împreună cu modul de aplicare practic în vederea determinării duratei de serviciu a unei structuri la carbonatare pentru SLS “depasivarea armăturilor” și SLS „aparitia fisurilor”.

Pentru parametrul cheie „creșterea razei armăturilor datorită coroziunii din carbonatare” și SLS „aparitia fisurilor”, sunt trecute în revistă doar ecuațiile de stare, arătându-se faptul că aplicarea practică a metodei este greoaie datorită dificultăților de cuantificare a parametrilor ce intervin în relația de stabilire a duratei de serviciu și lipsei metodelor de încercare.

Toate aceste metode, cât și adaptările făcute, prezintă particularitatea de a fi relativ ușor de aplicat degradărilor al căror mecanism se derulează după o lege de evoluție (ex. legea lui Fick), în condițiile în care betonul nu prezintă fisuri. Atunci când mecanismele de evoluție se îndepărtează de legi de evoluție se intră în zone teoretice ale aplicării metodelor, rezultate concrete fiind dificil de obținut.

Pentru parametrul cheie „adâncimea de carbonatare” și SLS „depasivarea armăturilor”, capitolul prezintă modul concret de adaptare practică a metodei integral probabilistice de stabilire a duratei de serviciu la carbonatare pentru următoarele tipuri de structuri:

- *structuril de beton executate, având deja o anumita vârstă, în vederea estimării duratei de serviciu reziduale, pâna la îndeplinirea SLS;*
- *structuril de beton nou executate în vederea confirmării duratei de viața proiectate (plecând de la datele obținute „in situ”), precum și:*
- *în etapa de proiectare a durabilității unei structuri speciale, în vederea stabilirii unei grosimi de strat de acoperire și/sau anumitor parametri ai betonului funcție de durata de serviciu dorită și modul de expunere al structurii, dacă această durată depășește 50 de ani<sup>78</sup>;*
- *în etapa de introducere în reglementări a unui nou tip de ciment, neacceptat în [12], [13] în clasele de expunere la carbonatare „XC”.*

Pentru aplicarea concretă există stabilite metode de determinare a parametrului cheie și de identificare practică a SLS enunțată. Un exemplu de aplicare poate fi găsit în [180] pentru un ciment pentru care au fost disponibile valori ale carbonatării „in situ” (poligon de încercare) pe o perioadă de timp suficientă. Adaptările prezentate pot fi aplicate unor situații concrete.

În cazul atacului cu cloruri, pentru parametrul cheie „conținut de cloruri” și SLS „depasivarea armăturilor”, se prezintă modul concret de adaptare practică a metodei integral probabilistice de stabilire a duratei de serviciu în cazul atacului dat de cloruri la următoarele tipuri de structuri:

- *structuri de beton executate, având o anumită vârstă, în vederea estimării duratei de serviciu rămase pâna la îndeplinirea SLS;*

---

<sup>78</sup> limita maxima prevazuta în EN 206-1

- 
- structuri de beton nou executate în vederea confirmării (plecând de la datele obținute „in situ”) duratei de viața proiectate, precum și
  - în etapa de proiectare a durabilității unei structuri deosebite, expuse unei agresiuni foarte intense<sup>79</sup> a clorurilor, în vederea stabilirii unei grosimi de strat de acoperire sau anumii parametri ai betonului, în funcție de durata de serviciu dorită și modul de expunere al structurii, dacă aceasta durată depășește 50 de ani (limită maximă acoperita de [12], [13]);

Pentru aplicarea concretă a acestei metode există stabilite metode de determinare a parametrului cheie și de identificare practică a SLS enunțată, precum și prezentate ordinele de mărime ale conținutului de cloruri în componenții betonului. În consecință, adaptările metodei pot fi aplicate unor situații concrete.

Pentru parametrii cheie ai betonului „grad de saturație” respectiv „temperatură” și SLS „inițierea degradărilor de exfoliere din îngheț-dezghet” în capitol se trec în revistă doar ecuațiile de stare arătându-se faptul că aplicarea practică a metodei este dificilă datorită dificultăților de cuantificare a parametrilor ce intervin în relația de stabilire a duratei de serviciu și lipsei metodelor de încercare.

Pe lângă sistematizarea unor informații provenite din surse nu întotdeauna omogene în prezentarea metodelor și rezultatelor obținute, capitolul aduce ca și element de noutate propunerile de adaptare a metodelor integral și semiprobabilistice, așa încât aparatul matematic complex, pus la punct în [45] și [220], să poată fi adaptat nevoilor concrete întâlnite în practică.

*Capitolul IX are 3 tabele.*

## **Rezumatul capitolului X**

Capitolul final X, intitulat „**Concluzii finale, contribuții personale și potențiale direcții de dezvoltare**” reprezintă partea finală, de sinteză a concluziilor, cercetărilor experimentale precum și de descriere a unor potențiale direcții de aprofundare ale domeniului abordat.

Teza de doctorat cu tema *„Utilizarea unor abordări moderne în vederea stabilirii domeniilor de utilizare ale cimenturilor Portland compozite cu adaos de calcar”* tratează teoretic și experimental domeniul asigurării durabilității betoanelor preparate cu CPC/C - în particular a celor cu adaos de zgură și calcar de tip **CEM II/A-M(S-LL)** și **CEM II/B-M(S-LL)** și clasa de rezistență **32,5R**. În teză sunt prezentate o serie de posibilități moderne de stabilire a performanțelor, sunt stabilite criteriile de performanță, se fac interpretări asupra rezultatelor obținute și adaptări asupra unor metode de evaluare a duratei de serviciu a structurilor.

În general CPC răspund bine exigențelor perioadei pe care o traversăm. În particular CPC cu adaos mixt zgură-calcar (S-LL) studiate în teza de doctorat reprezintă – sub aspect compozițional – cea mai apropiată formulă de ciment CEM II/B-M cu calcar utilizabil în betoane structurale, în clasele de expunere XC4, XF1 (reprezentând un minim).

Teza de doctorat, având o atitudine proactivă în fața provocărilor globale privind necesitatea reducerii emisiilor de CO<sub>2</sub>, abordează o serie de teme generale, de interes, așa cum este utilizarea calcarului ca adaos de fabricație în ciment, modul de stabilire a duratei de serviciu, modul de evaluare a performanței în ceea ce

---

<sup>79</sup> de exemplu într-o salină sau în mediu industrial

---

privește durabilitatea precum și identificarea unor măsuri eficiente de asigurare a durabilității betoanelor preparate cu CPC/C.

Tema tezei de doctorat ține seama de realitățile actuale caracterizate de:

- Creșterea nivelului de informație în ceea ce privește comportarea cimenturilor<sup>80</sup> cu adaosuri;
- Apariția echipamentelor industriale de mare performanță în industriile de profil;
- Reducerea cantitativă a adaosurilor cimentoide disponibile;
- Preocuparea pentru utilizarea calcarului ca adaos de fabricație în ciment;
- Adaptarea continuă a portofoliului de produse la noi cerințe, într-o piață puternic concurențială;
- Competiția în ceea ce privește eficiența diferitelor tipuri și clase de cimenturi<sup>81</sup>;
- Creșterea exigenței pieții în ceea ce privește performanțele cimenturilor și betoanelor;

Teza de doctorat abordează preocupări și necesități concrete, practice, ale industriilor cimentului și betoanelor prin stabilirea unor modalități:

- de reducere a consumului de clincher Portland și a dozajului de ciment în beton;
- de stabilire a exigențelor impuse cimentului și betonului pentru o comportare corespunzătoare<sup>82</sup>;
- de utilizare în betoane structurale a cimenturilor cu conținut mare de adaosuri de fabricație<sup>83</sup>;
- de extindere a domeniilor de utilizare ale cimenturilor cu conținut ridicat de adaos, respectiv de depășire a impasului actual prin abordări și metode moderne;
- de adaptare și aplicare a conceptului de performanță echivalentă în domeniul cimentului;
- de stabilire a duratei de serviciu în contextul diversificării compoziționale a cimenturilor;
- de eficientizare a costurilor și consumurilor pe care le presupune realizarea durabilității;

Lucrarea, sub aspect tehnico-științific, sistematizează și prezintă:

- Istoria și stadiul atins de cimenturile cu adaos de calcar în Europa;
- Efectele și influențele prezenței calcarului și zgurii în compoziția cimentului;
- Nivelul de acceptare al cimenturilor cu adaos de calcar în anexa națională;
- Noi metode, moderne, de abordare a domeniului durabilității cu referire la durata de serviciu;
- Aspecte teoretice, practice și experimentale privind grosimea stratului de acoperire, controlul fisurării, rezistența la compresiune și contracția axială a betonului preparat cu CPC/C;
- Aspecte teoretice, practice și experimentale privind durabilitatea betoanelor la carbonatare, la difuzia ionilor de clor și îngheț-dezghet;
- Noi metode, semi și integral probabilistice, de evaluare a duratei de serviciu a structurilor.

În urma sistematizării aspectelor teoretice și interpretării rezultatelor experimentale se pot formula următoarele concluzii generale:

---

<sup>80</sup> a CPC/C în speta

<sup>81</sup> în aplicațiile finale în care cimentul ajunge să fie utilizat

<sup>82</sup> sub aspectul durabilității

<sup>83</sup> exprimată prin gestionarea extinderii acceptării în clase de expunere „X” relevante

---

• Betoanele trebuie să fie, în același timp, economice și durabile. Identificarea optimului din acest punct de vedere se poate face prin utilizarea unor noi metode, avansate, de gestionare a duratei de serviciu, în mod evident vechea abordare<sup>84</sup> epuizându-și resursele de sprijin a deciziei.

• Asigurarea durabilității unor structuri de beton preparat cu CPC/C nu poate fi realizată prin măsuri diferențiate în etapa de proiectare, în ceea ce privește alcatuirea constructivă<sup>85</sup>. Aplicarea în stația de betoane a unor exigențe compoziționale mai restrictive și/sau de măsuri în etapa de execuție și post-execuție rămân principalele modalități de acțiune, posibil a fi aplicate din punct de vedere practic.

• Întotdeauna evaluarea durabilității betonului trebuie să țină seama de corelațiile necesare a fi făcute între exigențele compoziționale<sup>86</sup>, grosimea de strat de acoperire, deschiderile maxime calculate ale fisurilor în exploatare și exigențele privind executarea lucrărilor și urmărirea post-execuție.

• Durabilitatea se dezvoltă ca știință în ritm accelerat și trebuie studiată în universități datorită impactului deosebit, *egal cu cel pe care-l au calculele structurale*, în stabilirea parametrilor betonului. Aceasta disciplină prezintă o dinamică deosebită în ultima perioadă datorită diversificării compoziționale a cimenturilor disponibile pe piață, creșterii exigențelor privind durabilitatea în contextul necesității utilizării unor noi metode de evaluare a duratei de serviciu etc.

• Conceptul de performanță echivalentă privind durabilitatea este generos și poate fi aplicat inclusiv la extinderea domeniilor de utilizare a CPC/C, problema fiind de asigurare a unui cadru legal și a unui număr suficient de teste așa încât rezultatele să poată fi considerate reprezentative pentru fenomenul studiat iar concluziile reproductibile.

• În cazul CPC/C, o performanță echivalentă cu cea a unui ciment "de referință" presupune modificări compoziționale<sup>87</sup> ale produselor finale (betonul), mai importante sau mai reduse, funcție de dozajul de calcar din ciment și alți parametri. În final această operațiune poate conduce către obținerea de aprobări tehnice punctuale asociate (comod, înșă sigur) unei fabrici de ciment.

• Extinderea domeniilor de utilizare a unui CPC/C indiferent de compoziție se poate face printr-un program experimental similar cu cel conținut în această lucrare, eventual extins în ceea ce privește clasele de expunere XA și XM. Date fiind efectele identificate în teză ale creșterii dozajului de calcar asupra parametrilor<sup>88</sup> ce caracterizează microstructura betonului este esențială analiza în cadrul programului experimental și a acestora, conform unor metode standardizate, în vederea sprijinirii și fundamentării deciziei.

• Cimenturile sunt produse standardizate. Diferențele valorice între parametrii diferitelor CPC/C „candidat” și ale unor cimenturi „de referință” nu sunt mari, acestea putând a fi gestionate prin măsuri tehnologice. În ceea ce privește produsele finale, măsurile ce pot fi luate în stație și pe șantier, pot conduce (vizibil și pe termen scurt) la o „egala performanță” între acestea. Sub aspectul durabilității, pe termen lung, diferențele între diferite CPC/C „candidat” și cimenturile „de referință” devin semnificative în ceea ce privește microstructura<sup>89</sup> betonului, comportarea acestuia la carbonatare, la difuzia ionilor de clor, la îngheț-dezghet și (evident și la) la atac chimic manifestându-se de la sursă la sursă și funcție în special de conținutul de calcar (LL) și alți parametri de fabricație nestructuralizați. Acest aspect arată faptul că nu este suficientă identificarea unui

---

<sup>84</sup> „deem-to-satisfy” prezenta în actualele reglementari

<sup>85</sup> grosimea de strat de acoperire, de exemplu

<sup>86</sup> clasa minimă a betonului, raport maxim A/C, dozaj minim de beton, alte exigențe etc.

<sup>87</sup> creșterea dozajului de ciment, a clasei betonului și reducerea în consecință a raportului A/C etc.

<sup>88</sup> absorbție, permeabilitate și porozitate

<sup>89</sup> evaluată prin porozitate, absorbție și permeabilitate

---

CPC/C „etalon”<sup>90</sup> și extinderea generală a domeniilor de utilizare a CPC/C prin raportarea la acesta ci acest demers trebuie sa fie făcut selectiv, prudent, funcție de sursă și alte exigențe. Alte elemente ce nu țin de sursă, de caracteristicile cimentului sau compoziția betonului le reprezintă corectitudinea punerii în operă și a eficienței tratării de care trebuie să se țină seama în programe experimentale și eventual reglementate în practică.

În teza de doctorat, pe lângă prezentarea evoluției și stadiului atins de conceptul de performanță echivalentă, se extinde conceptul și la ciment ca materie primă de producere a betonului considerând absolut necesară demararea unei inițiative de reglementare tehnică a domeniului și în România. Pe lângă acest aspect, prin faptul că sunt identificate o serie de linii directoare, lucrarea poate deveni un instrument util în extinderea domeniilor de utilizare ale cimenturilor prin utilizarea conceptului de performanță echivalentă, așa cum parțial s-a făcut și în alte țări europene.

S-a ales ca extinderea domeniului de utilizare pentru cimenturile „candidat” CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL), fie ca este vorba despre caracteristici de microstructură<sup>91</sup>, carbonatare sau difuzie a ionilor de clor, să fie făcută parcurgând următoarele etape:

- stabilirea bazei teoretice a domeniului analizat;
- propunerea (selectarea) unui criteriu de performanță;
- efectuarea de experimente pe cimenturile „candidat” și “de referință” și analizarea rezultatelor;
- identificarea parametrilor esențiali pentru egala performanță între cimenturile „candidat” și “de referință”;

Acestea sunt și etapele parcurse la extinderea domeniului de utilizare în clasele de îngheț-dezgheț.

În lucrare se adaptează metodele integral probabilistice de determinare a adâncimii de carbonatare și difuzie a ionilor de clor la o serie de necesități practice, concrete, de determinare a duratei de serviciu punând în evidență faptul că acestea reprezintă un instrument eficient de extindere a domeniilor de utilizare a CPC/C în clasele de expunere XC, XD și XS.

Se consideră că actualul impas în ceea ce privește extinderea domeniilor de utilizare a cimenturilor cu adaosuri îl reprezintă modul conservator de abordare al problematicii durabilității tip „proiectat să dureze” și ca aplicarea abordării de performanță reprezintă singura cale de extindere a domeniilor de utilizare ale CPC/C pentru care nu există experiența națională, în special a celor CEM II/B.

Extinderea domeniilor de utilizare a cimenturilor cu calcar – în special a CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL) – reprezintă o preocupare nu doar în România ci și în diferite tari ale UE. Având la bază programul de cercetare experimentala a CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) și în special CEM II/B-M(S-LL) se pot formula următoarele propuneri cu privire la domeniile de utilizare ale acestor tipuri de cimenturi.

---

<sup>90</sup> „care indeplinește toate sau majoritatea testelor de durabilitate”

<sup>91</sup> absorbție, permeabilitate și porozitate

Tabel 15. Propunere de stabilire a nivelului de acceptare a CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) și CEM II/B-M(S-LL) în conformitate cu interpretarea rezultatelor obținute și anexe naționale de aplicare a EN 206-1, inclusiv [12].

„X”	CEM II/A-M(S-LL)			CEM II/B-M(S-LL)		
	Nivel de acceptare	Condiționari	Parametri compoziționali (clasa minimă beton, A/C maxim, dozaj minim de ciment)	Nivel de acceptare	Condiționari	Parametri compoziționali (clasa minimă beton, A/C, maxim, dozaj minim de ciment)
X0	X	-	min. C8/10	X	-	min. C8/10
XC1	X	-	min. C16/20, max. 0,65, min. 260 Kg/m <sup>3</sup>	X	-	min. C16/20, max. 0,65, min. 260 Kg/m <sup>3</sup>
XC2	X	-	min. C16/20, max. 0,60, min. 260 Kg/m <sup>3</sup>	X	Max. 11% LL, Max. 14 % S	min. C30/37, max. 0,30, min. 400 Kg/m <sup>3</sup>
XC3	X	-	min. C20/25, max. 0,60, min. 280 Kg/m <sup>3</sup>	X	Max. 10% LL, Max. 14,5% S	min. C35/45, max. 0,33, min. 470 Kg/m <sup>3</sup>
XC4	X	-	min. C25/30, max. 0,50, min. 300 Kg/m <sup>3</sup>	X	Fara CAM <sup>92</sup> testare „in situ” <sup>93</sup>	

Legenda: „X” – acceptat necondiționat „O” – neacceptat în baza programului experimental  
 „XO\*” – acceptat {3} – fabrica #3. (nu masive) – nu se va utiliza în elemente/structuri susceptibile la fisurare din contracție până la reglementarea, prin caiet de sarcini, a unor măsuri de diminuare a riscurilor

<sup>92</sup> componente auxiliari minori (<5%)

<sup>93</sup> necesita reconfirmare prin testare „in situ” pe o perioada de maxim 2 ani;



Tabel 16. Propunere de stabilire a nivelului de acceptare a CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) și CEM II/B-M(S-LL) în conformitate cu interpretarea rezultatelor obținute și anexe naționale de aplicare a EN 206-1, inclusiv [12].

„X”	CEM II/A-M(S-LL)			CEM II/B-M(S-LL)		
	Nivel de acceptare	Condiționari	Parametri compoziționali (clasa minimă beton, A/C maxim, dozaj minim de ciment)	Nivel de acceptare	Condiționari	Parametri compoziționali (clasa minimă beton, A/C, maxim, dozaj minim de ciment)
XD1	X	-	min. C30/37, max. 0,55, min. 300 Kg/m <sup>3</sup>	X	Max. 8% LL, Min 17% S (nu masive)	min. C25/30, max. 0,42, min. 410 Kg/m <sup>3</sup>
XD2	X	-	min. C35/45, max. 0,50, min. 320 Kg/m <sup>3</sup>	O	Necesar program experimental	
XD3	X	-	min. C35/45, max. 0,45, min. 320 Kg/m <sup>3</sup>	O	Necesar program experimental	
XS1	X	-	min. C30/37, max. 0,55, min. 300 Kg/m <sup>3</sup>	X	Max. 8% LL, Min 17% S (nu masive)	min. C25/30, max. 0,42, min. 410 Kg/m <sup>3</sup>
XS2	X	-	min. C35/45, max. 0,50, min. 320 Kg/m <sup>3</sup>	O	Necesar program experimental	
XS3	X	-	min. C35/45, max. 0,45, min. 320 Kg/m <sup>3</sup>	O	Necesar program experimental	

Legenda: „X” – acceptat necondiționat „O” – neacceptat în baza programului experimental

„XO\*” – acceptat {3} – fabrica #3. (nu masive) – nu se va utiliza în elemente/structuri susceptibile la fisurare din contracție până la reglementarea, prin caiet de sarcini, a unor măsuri de diminuare a riscurilor

Tabel 17. Propunere de stabilire a nivelului de acceptare a CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) și CEM II/B-M(S-LL) în conformitate cu interpretarea rezultatelor obținute și anexe naționale de aplicare a EN 206-1, inclusiv [12] (continuare).

„X”	CEM II/A-M(S-LL)			CEM II/B-M(S-LL)		
	Nivel de acceptare	Condiționari	Parametri compoziționali (clasa minimă beton, A/C maxim, dozaj minim de ciment)	Nivel de acceptare	Condiționari	Parametri compoziționali (clasa minimă beton, A/C, maxim, dozaj minim de ciment)
XF1	X	-	min. C25/30, max. 0,50, min. 300 Kg/m <sup>3</sup>	XO*	Vezi Cap. VIII pt. identificarea	min. C25/30, max. 0,50, min. 300 Kg/m <sup>3</sup> , [a]
XF2	X	-	min. C35/45, max. 0,50, min. 320 Kg/m <sup>3</sup>	XO*	valorilor de prag în {3}.	min. C35/45, max. 0,50, min. 320 Kg/m <sup>3</sup> , [a]
XF3	XO*	Se vor analiza la introducerea în producție	min. C35/45, max. 0,50, min. 320 Kg/m <sup>3</sup>	XO*	Acceptarea se analizează pt. fiecare sursă de ciment	min. C35/45, max. 0,50, min. 320 Kg/m <sup>3</sup> , [a]
XF4	XO*		min. C30/37, max. 0,50, aer antrenat, min. 340 Kg/m <sup>3</sup>	XO*		min. C30/37, max. 0,50, [aer] min. 340 Kg/m <sup>3</sup> , [a].
XA1	X	-	min. C25/30, max. 0,55, min. 300 Kg/m <sup>3</sup>	O	Necesar program experimental	
XA2	XO*	Compoziționale, în clasele de expunere XA2, XA3 fără atac sulfatic		O		
XA3	XO*			O		
„SEA”	O	Nu se utilizează		O	Nu se utilizează	
XM1	X	-	min. C30/37, max. 0,55, min. 300 Kg/m <sup>3</sup>	O	Necesar program experimental	
XM2	XO*	Necesar program experimental		O		
XM3	XO*	Necesar program experimental		O		

Legenda: „X” – acceptat necondiționat „O” – neacceptat în baza programului experimental „XO\*” – acceptat condiționat „SEA” – clasă de expunere specifică atacului chimic complex dat de apa de mare {3} – fabrica #3. [a] – agregate rezistente la îngheț-dezghet, [aer] – aditiv antrenor de aer

Pentru CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) se consideră că acceptarea oferita de principiu de către [12], [13] poate fi menținută, nivelul de risc tehnic în ceea ce privește durabilitatea fiind suficient de redus pentru o durată de serviciu de 50 de ani și la parametrii compoziționali prevăzuți de reglementările în vigoare. Practic se confirmă, fără modificari, parametrii compoziționali oferiți de către [12], [13] cu menționarea necesității dezvoltării unor programe experimentale aferente claselor de expunere XF3, XF4, XA2, XA3, XM2, XM3. *La baza acestei*

---

*afirmații stau rezultatele obținute pe cimentul CEM II/B-M(S-LL), intensiv analizat, care acopera sub aspect compozițional limitele de variație ale adaosurilor din CEM II/A-M(S-LL).*

Pentru CPC/C tip CEM II/B-M(S-LL), contribuțiile tezei de doctorat la extinderea domeniilor de utilizare (impunând condiții compoziționale pe ciment și un cadru legal adecvat) sunt:

- a) extinderea posibilității de utilizare în clasele de expunere XC3, XC4 cu impunerea unor parametri foarte exigenți betonului (clasa, dozaj minim ciment etc.) și tratării acestuia;
- b) extinderea posibilității de utilizare în clasele de expunere XD1, XS1 pentru un dozaj de ciment de minim 410Kg/m<sup>3</sup> în elemente fără risc de fisurare din contracție;
- c) extinderea limitată în timp și condiționată (de elemente compoziționale și dpdv. juridic) a posibilității de utilizare în clasele de expunere XF1, XF2, XF3, XF4.

Condiționarea se referă la sursa<sup>94</sup> de ciment și la respectarea unor valori de prag pentru ciment și beton<sup>95</sup>. Aceasta acceptare trebuie să fie limitată în timp, cu posibilitatea de prelungire în cazul unei comportări corespunzătoare „in situ”. CEM II/B-M(S-LL) din fabrica 3 poate fi folosit în betoane expuse la îngheț-dezghet, în diferite clase de expunere XF, la aceiași parametri compoziționali ca și cei prezentați în anexa națională [12], [13].

Întreaga lucrare este orientată către aspectele practice, concrete, ale extinderii domeniilor de utilizare a CPC/C tip CEM II/A-M și în special CEM II/B-M, către consecințele acestei activități precum și asupra modalităților de diminuare a riscurilor tehnice asociate acestei extinderi, identificând măsurile necesare a fi luate în mod preliminar.

Domeniile de utilizare stabilite pentru CPC/C tip CEM II/A-M(S-LL) și CEM II/B-M(S-LL) permit utilizarea acestora în betoane structurale, cu respectarea anumitor exigențe, pentru durate de serviciu de 50 de ani. Conceperea programului experimental și interpretarea rezultatelor care au condus la recunoașterea posibilității de utilizare a unor CEM II/B-M(S-LL) în clasele de expunere XC3, XC4, XD1, XS1, XF1, XF2, XF3, XF4 prin intermediul unor criterii de performanță reprezintă o noutate pe plan european.

În lucrare se consideră că o acceptare echilibrată și selectivă, prin asocierea cimentului acceptat de fabrica sa producătoare, reprezintă cheia cu care se poate aborda, limitat în timp, extinderea domeniilor de utilizare ale acestor cimente, aparând inevitabil o serie de constrângeri după cum urmează:

- d) respectarea unor criterii de performanță și valori de prag pentru adaosuri, ciment și beton și
- e) respectarea unei anumite tehnologii de punere în operă (în special partea de tratare);

Pe lângă abordarea de performanță - care reprezintă de fapt nucleul tezei de doctorat - lucrarea prezintă și adaptează metodele probabilistice și semiprobabilistice la nevoi concrete, practice, ale utilizatorului, cu o consistentă referire la carbonatare și difuzia ionilor de clor.

Referitor la direcții ulterioare de dezvoltare a domeniului, teza de doctorat furnizează o bază solidă de abordare, teoretică și experimentală, în continuare, a problematicii asigurării durabilității betoanelor preparate cu cimente cu adaosuri, CPC și CPC/C cu adaos de zgură și calcar în special.

---

<sup>94</sup> în sensul că se referă doar la cimentul CEM II/B-M(S-LL) din fabrica 3

<sup>95</sup> absorbția pentru o compoziție de beton prestabilită

---

Teza de doctorat recunoaște și demonstrează capacitatea acestor cimenturi de a putea fi utilizate în betoane armate (structurale), în anumite clase de expunere și cu respectarea anumitor exigențe și limitari, ceea ce reprezintă o premieră pe plan național.

*Capitolul X are 8 tabele.*

---

*Autorul tezei de doctorat este angajat al S.C. Carpatcement Holding S.A. – Heidelberg Cement Group ocupand funcția de Șef Departament Consultanță Tehnică a Clienților. Cele conținute în această teza de doctorat reprezintă opinii personale ale autorului și nu poziția oficială a Companiei, neimplicând în niciun fel Grupul Heidelberg Cement.*

---

---

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] - Dan Paul GEORGESCU - Indrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu anexa națională de aplicare a SR EN 206-clase de durabilitate, Tipografia Everest 2001, București;
- [2] Ministerul Mediului și Pădurilor - agenția Națională pentru Protecția Mediului – Schimbări climatice, document guvernamental;
- [4] – Gabriela Niculae - Impactul coincinerării deșeurilor în cuptoarele de clincher asupra emisiilor de noxe și asupra clincherului și cimentului, teza de doctorat, Cond. Științific Prof. dr. ing. Maria GEORGESCU, Universitatea Politehnică București - Facultatea de Chimie Aplicată și Știința Materialelor;
- [5] – SR EN 197-1:2002 (Ciment – Partea 1: Compoziție, specificății și criteriile de conformitate ale cimenturilor uzuale (referința bibliografică acoperă și EN 197-1:2000 pe care-l conține integral);
- [6] - Ion IONESCU, Traian ISPAS – Proprietățile și tehnologia betoanelor, Editura Tehnică, 1997;
- [7] - SR EN 197-2 - Ciment – Partea 2 : Evaluarea conformității;
- [8] - SR CR 14245 – Ghid pentru aplicarea EN 197-2 "Evaluarea conformității";
- [9] – SR EN 413-1 :2004. Ciment de zidarie. Compoziție, specificatii și criteriile de conformitate;
- [10] – SR ENV 13282:2002 – Lianți hidraulici rutieri. Compoziție, specificății și criteriile de conformitate;
- [11] - SR EN 206-1:2002 Beton. Partea 1: Specificăție, performanță, producție și conformitate, cu amendamentele SR EN 206-1:2002 /A1:2005, SR EN 206-1:2002/A2:2005 și erata SR EN 206-1:2002/C91:2008 (referința bibliografică acoperă și EN 206-1:2000 pe care-l conține integral);
- [12] - SR 13510:2006 Beton. Partea 1: Specificăție, performanță, producție și conformitate. Document național de aplicare a SR EN 206-1, cu erata SR 13510:2006/C91:2008;
- [13] - NE 012/1-2007 "Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: Producerea betonului";
- [14] - Nastasia SACA – Implicații ale CaCO<sub>3</sub> în întărirea și proprietățile materialelor compozite pe baza de liant mineral. Teza de doctorat. Cond. Științific Prof. Dr. ing. Maria Georgescu, Universitatea Politehnică București - Facultatea de Chimie Aplicată și Știința Materialelor;
- [15] - A. M. NEVILLE – Proprietățile betonului, Editura Tehnică, 2003;
- [16] - prCEN/TR 15868 (final draft) - Survey of național requirements used în conjunction with EN 206-1:2000;
- [17] – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – DIN 1045-2;
- [18] - Zamfirescu Dan, Postelnicu Tudor – Durabilitatea betonului armat, Sinteza elementelor de baza, Editura MatrixRom, București, 2003;
- [19] - Studii experimentale asupra durabilității cimenturilor cu adaos produse de către SC C a r p a t c e m e n t H o l d i n g S.A., INCERC București 2003-2006;
- [20] - Alina Badanoiu, Maria Georgescu s.a. Lianți ecologici complecsi, Universitatea Politehnică București - Facultatea de Chimie Aplicată și Știința Materialelor;
- [21] – Institutul German pentru Tehnică de Construcții, Autorizație generală de construcție pentru Ciment compozit Portland CEMII/B-M (S-LL)-AZ "Burglengenfeld";
- [22] - Institutul German pentru Tehnică de Construcții, Autorizație generală de construcție pentru Ciment compozit Portland CEMII/B-M (S-LL)-AZ "Lengfurt";
- [23] - Institutul German pentru Tehnică de Construcții, Autorizație generală de construcție pentru Ciment compozit Portland CEMII/B-M (S-LL)-AZ "Wetzlar";
- [24] - Institutul German pentru Tehnică de Construcții, Autorizație generală de construcție pentru Ciment compozit Portland CEMII/B-M (S-LL)-AZ "Schelklingen";
- [25] – VDZ Activity Report 2007-2009;
- [26] - European Construction în Service of Society – ECO-SERVE Network, Cluster 2 (Production and application of blended cements), Periodic Report 2004;
- [27] - European Construction în Service of Society – ECO-SERVE Network, Cluster 2 (Production and application of blended cements), periodic report 2004 - FINAL TECHNICAL REPORT;
- [28] – ISO/CD 16204 – Durability – Service life of concrete structures, 2011;
- [34] – Polska Norma. PN -B-06265. Krajowe uzupelnienia PN-EN 206-1:2003. Beton Czesc 1: Wymagania, wlasciowosci, produkcja i zgodnosc;
- [35] – Institutul Național de Ciment CEPROCIM S.A. (sub coordonarea S. Opris) – Manualul Inginerului din Industria Cimentului, Editura Tehnică 1994;

- 
- [36] – Prof. Dr. Jan Bijen – Blast Furnance Slag for durable marine structures. Stichting BetonPrisma, Netherlands, 1996;
- [37] – Cementy, w ofercie handlowej G orazdze Cement S.A. H eidelberg Cement Group;  
(PNCDI 2004, Program AMTRANS, NR. 7B1aD, Acronim D RUSOL);
- [39] - LEGE nr.10 din 18 ianuarie 1995 privind calitatea în construcții ;
- [40] – SR EN 1504 – Produse și sisteme pentru repararea structurilor din beton.
- [41] - HOTĂRÂRE nr. 622 din 21 aprilie 2004 privind stabilirea condițiilor de introducere pe piață a produselor pentru construcții;
- [42] - Regulamentul (UE) nr. 305/2011 al Parlamentului European și al Consiliului din 9 martie 2011 de stabilire a unor condiții armonizate pentru comercializarea produselor pentru construcții și de abrogare a Directivei 89/106/CEE a Consiliului;
- [43] - ISO 22965-1:2007. Concrete - Part 1: Methods of specifying and guidance for the specifier;
- [44] - fib (internațional Federation for Structural Concrete) - Model Code for Service Life Design, 2006;
- [45] - fib (internațional Federation for Structural Concrete)-MODEL Code 2010 – First complete draft, March 2010;
- [46] – COD DE PROIECTARE. BAZELE PROIECTĂRII CONSTRUCȚIILOR - Indicativ CR 0 – 2012
- [47] - Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 2: Executarea lucrărilor din beton, indicativ NE 012/2: 2010;
- [48] - CEN/TC 104 N 758 - Survey of național provisions for EN 206-1, 2007-02-22;
- [49] - Equivalent performance concept – Green Concrete, Claus Pade – Technical Seminar – Fly ash în concrete, Polan, 9-11 march 2005;
- [50] – Equivalent durability performance concept - A discussion document for CEN /TC 104/SC1 to decide upon what is achievable for the 2010 revision of EN 206-1, Draft 6, rev. 1, 2008;
- [51] - TG5-170 - Guidance for the use of k-value concept, Equivalent concrete performance concept and Equivalent performance of combinations concept (CEN Technical Report, Draft, 2011);
- [52] - Draft for CEN /TC104/SC1 Comment: Principles of the equivalent durability procedure;
- [53] - CEN/TC 104 N 758 - Survey of național provisions for EN 206-1, 2007-02-22;
- [54] - Minuta intalnirii CEN/TC 104, Milano 24, 25 noiembrie 2011;
- [55] – The European Union, Miniproject Chloride Induced Corrosion, Duracrete project. Brite Euram III – Final Technical Report, 2003;
- [56] - Magne Maage and Sverre Smeplass - Skanska Norge AS, Norway - Norwegian Concrete - carbonation - A probabilistic approach to derive durability related provisions for EN 206-1;
- [58] – Forchunginstitut der Zement Industrie Betontechnik - OkotopZement Study;
- [59] - Durability of concrete made with Portland-limestone and Portland-composite cements CEM II-M (S-LL) – VDZ, Concrete Technology Reports 2004-2006;
- [60] - INTRON – CUR VC 12 WG4 - Dutch guideline for the equivalent concrete performance concept (draft version);
- [61] - NBN B 15-100 – Norme belge – Methodologie pour l'evaluation et l'attestation a l'emploi de ciments et d'additions de type II destines au beton, 2008 (indice B15) ;
- [62] - CUR-Aanbeveling 48:2010 „Assessment of the suitability of new cements for use în concrete and of the equivalent performance of concrete with additions. Procedures, criteria and test methods”
- [63] – STAS 2414:1991 – Determinarea densitatii, compactitatii, absorbtiei de apa și a porozitații betonului intarit;
- [64] - NE 012/1999 – Cod de practica pentru executarea lucrărilor din beton și beton armat;
- [65] - C 140/1986 – Normativ pentru executarea lucrărilor din beton și beton armat;
- [66] – Dan Georgescu, Adelina Apostu, Constantin Cosma – Construcții din beton cu impact redus asupra mediului și sanataii, Editura MatrixRom 2009;
- [67] – Dan Georgescu, Adelina Apostu - Studiu documentar preliminar referitor la capacitatea betonului de a fixa dioxidul de carbon atmosferic prin carbonatare și recarbonatare, UTCB - 2008;
- [68] – SR CR 12793 - Masurarea adâncimii de carbonatare în betonul intarit, ASRO;
- [69] – SR 13379 – Betoane și mortare. Estimarea adâncimii de penetrare accelerata a dioxidului de carbon, ASRO 1997
- [70]–SREN1992-1-1.Eurocod 2:Proiectarea structurilor de beton.Parte1-1:Reguli generale și reguli pentru clădiri;
- [71] – SR EN 13382:1997–Betoane și mortare de ciment. Estimarea penetrarii accelerate a ionilor de clor, ASRO;
- [72] - Raymond A. Cook, Kenneth C. Hover b - Mercury porosimetry of hardened cement pastes (în Cement and Concrete Research 29 (1999) 933–943);
- [73] - Ion Neamtu – Caracteristicile tiglelor din beton obținute pe baza unor mase liante complexe, Revista Romana de Materiale, 40 (2) / 2010;
- [74] - Studii experimentale asupra durabilității cimenturilor cu adaos de calcar, Universitatea Tehnică de Construcții București

- 
- [75] - Michelle Nokken - Development of Capillary Discontinuity in Concrete and its Influence on Durability, Doctoral These, University of Toronto, 2004
- [76] - Florica Paul – Considerații asupra durabilității betonului, SELC Editia a XIV-a, Neptun 2003;
- [77] - Strategic Highway Research Program (SHRP) –  
SHRP-C-628. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-C-628.pdf>
- [78] - Douglas Winslow, Ding Liu - The pore structure of paste in concrete (CEMENT and CONCRETE RESEARCH. Vol. 20, pp. 227-235, 1990.);
- [79] - CEN/TS 12390-9: Încercări pe beton întărit. Partea 9: Rezistență la îngheț-dezghet. Exfolierea;
- [80] - CEN/TR 15177: Rezistența la îngheț-dezghet. Determinarea deteriorărilor interne;
- [81] - SR 3518-09: Încercări pe beton. Determinarea rezistenței la îngheț-dezghet;
- [82] – <http://www.wbcscement.org/>
- [83] – [http://en.wikipedia.org/wiki/Engineered\\_cementitious\\_composite](http://en.wikipedia.org/wiki/Engineered_cementitious_composite)
- [84] GB 175-2007 - Common Portland Cements (Chinese standard);
- [85] ASTM C-150 07 - Standard Specification for Portland Cement;
- [86] GOST 30.515 - Cement. General technical standards (Цементы. Общие технические условия);
- [87] – Cembureau - Cements for a low-carbon Europe through clinker substitution - A review of the diverse solutions applied by the European cement industry to reducing the carbon footprint of cement and concrete in Europe, 2012;
- [88] – Ziarul Adevarul din 29 mai 2012 - „Cum s-a construit Casa Scanteii”  
([http://www.adevarul.ro/dupa\\_20\\_de\\_ani/Scanteii-Casa-Cum-construit\\_0\\_58194241.html](http://www.adevarul.ro/dupa_20_de_ani/Scanteii-Casa-Cum-construit_0_58194241.html))
- [89] – <http://en.wikipedia.org/wiki/Eco-cement>
- [90] – <http://www.cement.org/> (Portland Cement Association)
- [91] – Portland cement - [http://en.wikipedia.org/wiki/Portland\\_cement](http://en.wikipedia.org/wiki/Portland_cement)
- [92] - STAS 4606 – 80. Agregate naturale grele pentru betoane și mortare cu lianți minerali. Metode de încercare;
- [93] - SR EN 1097-2/2002. Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 2: Metode pentru determinarea rezistenței la sfaramare;
- [94] – Cembureau – WG D TF „Products Standards & Regulations” – Options for Standardisation of ternary cements, Bruxelles 2012;
- [95] – Alina BADANOIU, Georgeta VOICU – Rezistență la îngheț-dezghet a unor mortare pe baza de ciment portland cu zgură, tuf vulcanic și filer calcaros, în RRM 40 (4) / 2010;
- [96] – Alina BADANOIU, Georgeta VOICU – Rezistență la coroziune sulfatică a unor cimenturi Portland mixte și de tip compozit, în RRM 38 (4) / 2008;
- [97] – Alina BADANOIU, Georgeta VOICU – Durabilitatea unor lianți micști și de tip compozit în condiții de coroziune acida, în RRM 39 (3) / 2009;
- [98] – AFNOR (Association Francaise de Normalisation) NF EN 206-1:2004. Beton – Partie 1: Specification, performances, production et conformite;
- [99] – Polska Norma PN-B-06265. Krajowe uzupelnienia PN-EN-206-1:2003 Beton. Czesc 1: Wymagania, wlasciwosci, produkcja i zgodnosc;
- [100] – ČSN EN 206-1. 73.2403 - Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda;
- [101] – SR EN 933-9:2001. Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Aprecierea fineții – Încercare cu albastru de metilen;
- [102] - pr EN 13639:1999 - Determination of total organic carbon in limestone;
- [103] - Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1 – Part 1: Method of specifying and guid. for the specifier;
- [105] – STAS 10107/0-90 – Calculul și alcatuirea elementelor structurale din beton, beton armat și beton precomprimat;
- [106] - SR EN 1992-1-2 - Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-2: Reguli generale. Proiectarea la foc a structurilor;
- [107] – Normativ privind protecția anticorozivă a elementelor din beton armat și beton precomprimat situate în medii agresive atmosferice", indicativ C 170-2007;
- [110] - SR EN 13670:2010 – Execuția structurilor din beton;
- [111] - Cod de practica pentru execuția elementelor prefabricate din beton, beton armat și beton precomprimat, indicativ NE 013-2002;
- [112] - HOTĂRÂREA nr. 766 din 21 noiembrie 1997 pentru aprobarea unor regulamente privind calitatea în construcții (împreună cu anexele);
- [113] - ISO 2394:1998 - General principles on reliability for structures;



- 
- [115] – Norme europene NF EN 206-1:2004. Norme française P18-325-1. Beton. Partie 1: Specification, performances, production et conformité (NAD din Franța);
- [116] – Ion Ionescu – A VI-a conferința internațională CANMET/ACI „Dezvoltări recente în tehnologia betonului”, în volumul SELC 2003, Ediția a XV-a;
- [117] – M. Filip – Soluții de reparare a fisurilor la elementele de construcții, în volumul SELC 2003, Ediția a XV-a;
- [118] – Ion Ionescu, Emilia Ionescu – Comportarea în timp a unor tipuri de elemente prefabricate din beton cu L.Z.A. (fără ciment Portland), în volumul SELC 2004, Ediția a XVI-a;
- [119] – M. Ioan, L. Radu, V. Sorescu, S. Nechifor, A. Tautan, D. Mirza – Contribuții la aplicarea și implementarea metodei rapide de determinare a rezistenței standard a cimenturilor de tip CEM I și CEM II/A-, B-S, în volumul SELC 2004, Ediția a XVI-a;
- [120] - Durability of concrete made with Portland-limestone and Portland-composite cements  
CEM II M (S-LL). C. Muller, E. Land. VDZ – Concrete Technology Report 2004-2006;
- [121] - Durability of concrete with „CEM X cements“ - Christoph Müller, VDZ, Germany, Düsseldorf, 8. April 2008;
- [122] – BETON. CEM II- und CEM III/A Zemente im Betonbau. VDZ Brochure;
- [123] – VDZ (Verein Deutscher Zementwerke e.V.) Activity Report, 1999 – 2001;
- [124] – VDZ (Verein Deutscher Zementwerke e.V.) Activity Report, 1996 – 1999;
- [125] - VDZ (Verein Deutscher Zementwerke e.V.) Activity Report, 2003 – 2005;
- [126] - VDZ (Verein Deutscher Zementwerke e.V.) Activity Report, 2001 – 2003;
- [127] – VDZ (Verein Deutscher Zementwerke e.V.) - Mitteilungen, #119 / sept 2002
- [128] – VDZ (Verein Deutscher Zementwerke e.V.) Activity Report, 1999 – 2001;
- [129] - Cristina DUMITRESCU, Mirela MENICU, Georgeta VOICU, Ionela POPOVICI -Evaluarea efectului adaosului de calcar asupra hidratării și întării materialelor cimentoidale, în corelație cu caracteristicile fizice și mecanice ale acestora (Articol MULTIMATCON);
- [130] - UTCB-MDRT, Stabilirea în funcție de domeniul de utilizare a cerințelor pentru caracteristicile betonului determinate prin aplicarea standardelor europene armonizate. Metode bazate pe încercări- cercetare prenormativă, 2011;
- [131] – S. Vicolleanu – Costurile calității, în volumul SELC 2004, Ediția a XVI-a;
- [133] - Maria GHORGHE, Ecaterina ANDREESCU, Dorinel VOINIȚCHI – Aspecte privind durabilitatea betoanelor cu ciment având conținut ridicat de zgură - în RRM;
- [134] – Eurocod 2. Commentary. European Concrete Platform;
- [135] – Eurocod 2. Worked examples. European Concrete Platform;
- [136] - RILEM CPC-18 – Measurement of hardened concrete carbonation depth, RILEM draft recommendations, Materials and Structures 1984;
- [137] - NBN B15-231 (1987) – Resistance du beton au gel (standard belgian);
- [138] - NBN EN 1339 (2003) - Bending strength and breaking load. Total water absorption. Abrasion resistance - Capon method. Freeze/thaw resistance with de-icing salt (serie de standard belgiene);
- [139] – NT Build 443 (1995) – Hardened concrete – Accelerated chloride penetration test;
- [140] - NT Build 492 – Concrete, mortar and cement based repairs materials. Chloride migration coefficient from non-steady state migration experiment.
- [141] – prEN 206-1:2011 – Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate. Revizia din 2011;
- [142] – NBN B 15-001. B 15. Supplement a la NBN EN 206-1. Beton – Specification, performances et conformité.
- [143] – SR EN 197-1:2011 (Ciment – Partea 1: Compoziție, specificații și criterii de conformitate ale cimenturilor uzuale. (referința reprezintă revizia EN 197-1 [5]).
- [144] – NE 014 – Normativ pentru executarea imbracamintilor rutiere din beton de ciment în sistemele cofraje fixe și glisante, indicativ NE 014:2002, Incertrans București;
- [145] - Instrucțiuni privind betoanele hidrotehnice (actualizare 713/1999, 714/1994, Agresivitatea apelor) – stadiu de ancheta pentru aprobarea ca normativ republican;
- [146] – EN 14630:2006 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method
- [147] - CEN/TS 12390-10:2007 - Testing hardened concrete - Part 10: Determination of the relative carbonation resistance of concrete
- [148] – CEN/TS 12390-12 - Testing hardened concrete Part 12: Determination of the potențial carbonation resistance of concrete: Accelerated carbonation method

- 
- [149] - CEN/TS 12390-11:2010 Testing hardened concrete - Part 11: Determination of the chloride resistance of concrete, unidirectional diffusion
- [150] - SR EN 13863-4:2006 - Îmbrăcăminți rutiere de beton. Partea 4: Metode de încercare pentru determinarea rezistenței îmbrăcăminților de beton la uzura cauzată de pneurile cu crampoane
- [151] - SR EN 13863-3:2006 - Îmbrăcăminți rutiere de beton. Partea 3: Metode de încercare pentru determinarea grosimii îmbrăcămintei rutiere de beton pe carote
- [152] - SR EN 13892-5:2004 ver.eng. - Metode de încercare a materialelor pentru șape. Partea 5: Determinarea rezistenței la uzură cu rola pivotantă a materialului de șape pentru stratul de uzură
- [153] - ONR CEN/TS 12390-12 - Testing hardened concrete — Part 12: Determination of the potențial carbonation resistance of concrete: Accelerated carbonation method
- [154] - pr.ENV 196-X: Determinarea rezistenței cimenturilor la atacul soluțiilor sulfatice și al apei de mare
- [155] - SR EN 196-1 - Metode de încercări ale cimenturilor. Partea 1: Determinarea rezistențelor mecanice
- [156] - SR EN 12390-2/2002 - Încercare pe beton întărit. Partea 2: Pregătirea și păstrarea epruvetelor pentru încercări de rezistență
- [157] - STAS 1275 / 88 - Încercări pe betoane. Încercări pe betonul întărit. Determinarea rezistențelor mecanice
- [158] - G. Lucaci, I. Costescu, F. Belc – Construcția drumurilor, Editura Tehnică, 2000.
- [160] – GP 115/2011 - Ghid de proiectare pentru controlul fisurării elementelor masive și peretilor structurali de beton armat datorită contracției împiedicate, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca (faza ancheta națională);
- [161] – STAS 2833 / 2009 – Încercări pe betoane. Determinarea contracției axiale a betonului întărit
- [162] – SR EN 13877-2:2005 – Structuri rutiere de beton: Partea 2: Cerințe funcționale pentru structurile rutiere de beton.
- [163] - Raportul CIRIA (Construction Industry Research and Information Association), Marea Britanie;
- [164] - ČSN 73 1326 (731326) - Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek
- [165] - SR EN 196-21 - Metode de încercări ale cimenturilor. Determinarea conținutului în cloruri, dioxid de carbon și alcali din cimenturi.
- [166] - STAS 3049 – 88 - Apă potabilă. Determinarea conținutului de cloruri
- [167] – SR EN 1744-1:2004 – Încercări pentru determinarea proprietăților chimice ale agregatelor, partea 1: Analiza chimică;
- [168] - SR EN 480-10 - Aditivi pentru beton, mortar și pasta. Metode de încercare. Partea 10: Determinarea conținutului de cloruri solubile în apa;
- [169] - SR EN 196-21 - Metode de încercări ale cimenturilor. Determinarea conținutului în cloruri, dioxid de carbon și alcali din cimenturi.
- [170] - ASTM C1152/C1152M - Standard test method for acid soluble chloride în mortar and concrete
- [173] – Ion IONESCU, Traian ISPAS, Augustin POPAESCU – Betoane de înaltă performanță, Editura Tehnică, 1999.
- [174] – STAS 388 – Ciment Portland;
- [175] – STAS 1500 – Cimenturi Compozite uzuale de tip II, III, IV și V;
- [176] – UTCB – Catedra de Construcții din Beton Armat – Referat asupra unor încercări nedistructive pentru elementele din beton ale estacadei de conducte existent U1-U0, CNE Cernavoda, 2012
- [177] - C 26-85 - Normativ pentru încercarea betonului prin metode nedistructive, indicativ C 26-85
- [178] – AND 585-2002 – Normativ privind proiectarea și execuția îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment armat continuu, indicativ AND 585-2002;
- [179] – Australian Government - Analysis of Climate Change Impacts on the Deterioration of Concrete Infrastructure. Part 1: Mechanisms, Practices, Modelling and Simulations – A Review, 2011;
- [180] – SR EN 1990:2004 – Eurocod 0 - Bazele proiectării structurilor
- [180] – SR EN 1990:2004/A1:2006/AC:2010 – Eurocod - Bazele proiectării structurilor
- [182] - SR EN 1990:2004/NA:2006 – Eurocod 0. Bazele proiectării structurilor. Anexa națională.
- [183] – SR EN 1992-1-1:2004 – Eurocod 2 – Proiectarea structurilor din beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. Clădiri
- [184] – SR EN 1992-1-1:2004/AC:2008 – Eurocod 2 – Proiectarea structurilor din beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri - Erata. Clădiri
- [185] – SR EN 1992-1-1:2004/AC:2012 – Eurocod 2 – Proiectarea structurilor din beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri - Amendament. Clădiri
- [186] – SR EN 1992-1-1:2004/NB:2008 – Eurocod 2 – Proiectarea structurilor din beton. Clădiri. Anexa Națională
- [187] – SR EN 1990:2004/A1:2006 – Eurocod – Bazele proiectării structurilor – Poduri
- [188] – SR EN 1990:2004/A1:2006/NA:2009 – Eurocod: Bazele proiectării structurilor podurilor de sosea, pasarele și poduri de cale ferată. Anexa națională.

- 
- [189] - EN 1992-2:2006 – Eurocod 2 – Proiectarea structurilor din beton. Partea 2: Poduri din beton – proiectare și prevederi constructive. Poduri.
- [190] - EN 1992-2:2006/AC:2009 – Eurocod 2 – Proiectarea structurilor din beton. Partea 2: Poduri din beton – proiectare și prevederi constructive. Poduri. Erata
- [191] - EN 1992-2:2006/NA:2009 – Eurocod 2 – Proiectarea structurilor din beton. Partea 2: Poduri din beton – proiectare și prevederi constructive. Poduri. Anexa națională.
- [192] - SR EN 1992-3:2007 – Eurocod 2: Proiectarea structurilor din beton. Partea 3: Silozuri și rezervoare
- [193] - SR EN 1992-3:2007/NA 2008 – Eurocod 2: Proiectarea structurilor din beton. Partea 3: Silozuri și rezervoare. Anexa națională
- [194] - Maria GEORGESCU, Nastasia PANAIT – Influența unor adaosuri de  $\text{CaCO}_3$  asupra proceselor de hidratare și întărire în sistemul liant  $\text{C}_3\text{A}-(\text{CSH}_2)\text{-H}$ ;
- [195] - Maria GEORGESCU, Nastasia SACA, Georgeta VOICU – Procese de hidratare-hidroliza în cimenturi complexe, cu conținut de calcar și cenușa – în revistă de Materiale de Construcții 38 (4) din 2008;
- [196] - Alina BADANOIU, Georgeta VOICU - Rezistență la coroziune sulfatică a unor cimenturi portland mixte și de tip compozit, – în revistă de Materiale de Construcții 38 (4) din 2008;
- [197] - Marcela MUNTEAN, Nicolae NOICA, Lidia RADU, Ioan ROPOTA, Adina IONESCU, Ovidiu MUNTEAN – Carbonatarea betoanelor și durabilitatea lor, în revistă de Materiale de Construcții 38 (4) din 2008;
- [199] - EMACO Nanocrete (BASF): Beton – Reparatii eficiente și simple cu ajutorul nanotehnologiei (Ghid de utilizare și punere în operă);
- [200] - BASF – Cream chimie pentru construcții sustenabile (brosura de prezentare);
- [201] – Ion IONESCU, Decebal ANASTASESCU, Ioan KORECK – Durabilitatea betoanelor din unele construcții civile și energetice realizate în anii 60-70, sec XX – în SELC editia a XV-a, 2003, Piatra Neamt;
- [202] – Boudewijn Piscaer – Limestone fillers or calcium carbonate fillers (CCF) – a welcome  $\text{CO}_2$  reducer, prezentare 2008;
- [203] – George ILINOIU – Noi concepte în studiul și cercetarea maturității betonului, Revista CIVIO – Construcții civile și industriale, ian-feb 2004;
- [204] – Mosongo Moukwa – Durability of silica fume concrete, Progress în cement and concrete,
- [205] – Ion IONESCU, Traian ISPAS – Proprietățile betoanelor cu cimenturi cu adaosuri de zgură și cu lianți pe baza de zgură activată, Consilox IV 1984, în revistă Materiale de Construcții vol. XV, nr. 1, 1985;
- [206] – Ion IONESCU, Decebal ANASTASESCU, Ioan KORECK – Realizarea clădirilor de locuit și hoteliere cu prefabricate din beton ușor și beton ușor transportat, în revistă Materiale de Construcții vol. VII, nr. 3, 1977;
- [207] – Annemarie PURI, Gheorghe DUMITRU, Ivona HORHOIANU – Ciment hidrotehnic cu cenușa de termocentrală, în revistă Materiale de Construcții vol. XIII, nr. 2, 1983;
- [208] – Dezbateri tehnice „Utilizarea cenușilor de la electrofiltrele CET la prepararea betoanelor și extinderea domeniilor de utilizare a cenușilor” în în revistă Materiale de Construcții vol. XVI, nr. 1, 1986;
- [209] – Liviu CUCU, Olimpiu MATEI, Eugen POPESCU s.a. – Experiența IMC Deva privind utilizarea cenușilor de la electrofiltrele CET la prepararea betoanelor folosite la realizarea panourilor mari prefabricate și altor tipuri de elemente prefabricate, în revistă Materiale de Construcții vol. XVI, nr. 1, 1986;
- [210] – George SOLLOSU, Cezar GEORGESCU, Eugen POPESCU s.a. – Utilizarea cenușilor de termocentrală la prepararea betoanelor pentru elemente prefabricate din beton armat la IPB Craiova, în revistă Materiale de Construcții vol. XVI, nr. 1, 1986;
- Referințe bibliografice realizate în colaborare sau personale
- [211] - Dan GEORGESCU, Adelina A POSTU, Radu G AVRILESCU – Evaluarea rezistenței la compresiune din structuri în conformitate cu standardele europene – Simpozionul Național „Noi reglementări pentru beton (producere, proiectare, execuție), București 2009;
- [212] - Radu G AVRILESCU, Mîr za Dorina, Tau tan Angela - Utilizarea cimentului  $\text{C a r p a t c e m e n t}^{\text{®}}$  CEM I 52.5R fabricat conform SR EN 197-1:2002 în traversele de cale ferată, metrou și tramvai – Al doilea simpozion național de cai ferate, București 2003;
- [213] – Radu G AVRILESCU – Raport de cercetare 1 - Porozitatea, permeabilitatea și absorbția betoanelor preparate cu cimenturi Portland compozite cu adaos de calcar. Sinteze teoretice. Analizarea rezultatelor experimentale obținute, București 2012;
- [214] - Radu G AVRILESCU - Raport de cercetare 2 - Abordări moderne în vederea stabilirii domeniilor de utilizare ale cimenturilor Portland compozite cu adaos de calcar – atacul din îngheț-dezghet (XF). Sinteze teoretice. Analizarea rezultatelor experimentale obținute. București 2012;
- [215] - Radu G AVRILESCU Raport de cercetare 3 - Abordări moderne în vederea stabilirii domeniilor de utilizare ale cimenturilor Portland compozite cu adaos de calcar în clasele de expunere la carbonatare (XC) și difuzia ionilor de clor (XD, XS). Sinteze teoretice. Analizarea rezultatelor experimentale obținute. București 2012;

- 
- [216] – Radu G AVRILESCU - Concepte moderne în ingineria structurilor: Rezistență la compresiune a cimentului și betonului - factori de influență și evoluție în timp (sinteze teoretice și rezultate experimentale) – (Disciplina electiva 1);
- [217] - Radu G AVRILESCU: Cimenturi cu adaosuri utilizate la fabricarea betonului structural, martie 2011 (Disciplina electiva 2);
- [218] - Radu G AVRILESCU: Utilizarea calcarului ca adaos în industria cimentului, aprilie 2011 (Disciplina electiva 3);
- [219] - Radu G AVRILESCU: Probleme generale referitoare la durabilitatea betoanelor executate cu diferite cimenturi (Disciplina electiva 4);
- [220] - Radu G avrilescu, C osturile structurilor rutiere aplicabile noilor trasee de drumuri și autostrazi, Revista Drumuri Poduri;
- [221] - Radu G AVRILESCU - Life Cycle Cost Analysis (LCCA) of the pavements, Days of Concrete, Bosnia & Hertegovina, 2006;
- [222] - Dan G EORGESCU, Adelina A POSTU, Radu G AVRILESCU – Cercetarea experimentală, componenta esențială în aplicarea diferitelor norme de stabilire a duratei de serviciu a construcțiilor din beton în revistă Romana de Materiale 41 (3) din 2011;
- [223] - Dan G EORGESCU, Adelina A POSTU, Radu G AVRILESCU - Abordarea descriptivă și de performanță pentru asigurarea durabilității betonului. Aplicație pentru CEM II/B-M (S-LL) 32.5R – în revistă de Materiale de Construcții 39 (4) din 2009;
- [224] - Radu G AVRILESCU - Implementarea în România a standardului european de betoane a EN 206-1. Propuneri de utilizare a cimenturilor – Al treilea simpozion național de cai ferate, București 2005;
- [225] - Dan G EORGESCU, Adelina A POSTU, Radu G AVRILESCU – Evaluarea rezistenței la compresiune a betonului din structuri în conformitate cu standardele europene – Simpozionul Național „Noi reglementări pentru beton (producere, proiectare, execuție), București 2009;
- [226] - Dan G EORGESCU, Adelina APOSTU, Radu G AVRILESCU - Abordări moderne privind evaluarea conformității betonului – în revistă de Materiale de Construcții 41 (1) din 2011;
- [227] - Dan G EORGESCU, Adelina APOSTU, Radu G AVRILESCU – Metode experimentale în proiectarea duratei de serviciu a construcțiilor din beton supuse acțiunii de îngheț-dezghet. Partea I Prezentarea și analiza metodelor– în revistă de Materiale de Construcții 41 (4) din 2011;
- [228] - Dan G EORGESCU, Adelina A POSTU, Radu G AVRILESCU – Metode experimentale în proiectarea duratei de serviciu a construcțiilor din beton supuse acțiunii de îngheț-dezghet. Partea a II-a Prezentarea și analiza rezultatelor cercetărilor experimentale – în revistă de Materiale de Construcții 42 (1) din 2012;
- [229] – Tudor SEBA, Radu G AVRILESCU, Dan G EORGESCU – Conceptul de performanță echivalentă a betonului – Buletinul științific al Universitatii Tehnice de Construcții București, Serie nouă, Nr. 2 / iunie 2012;
- [230] – Radu G AVRILESCU – CEM III/A 42.5N-LH – Ciment destinat betoanelor obisnuite și masive exploatate în condiții de agresivitate chimică, sulfatică – Art la SELC 10-12 iunie 2011, Editia a XX-a;

10.09.2013