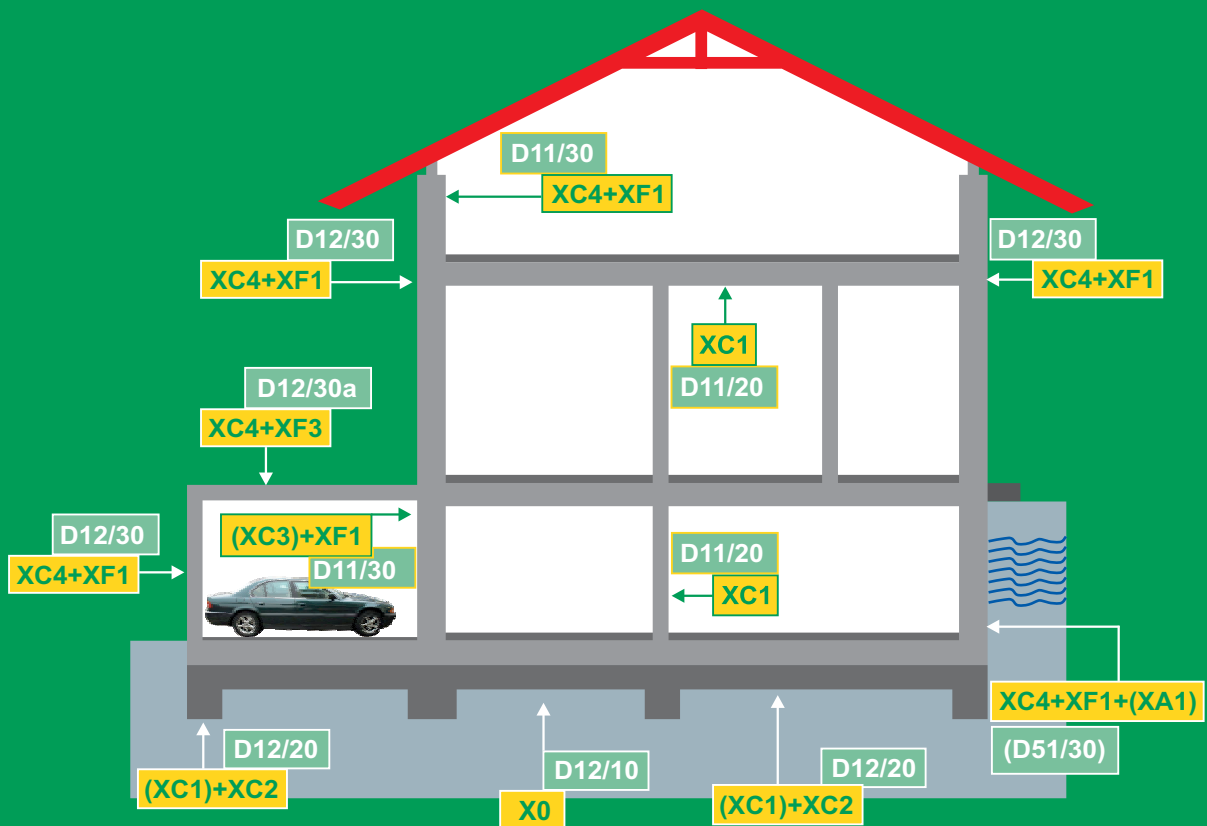


# DAN PAUL GEORGESCU

## ÎNDRUMĂTOR DE PROIECTARE A DURABILITĂȚII BETONULUI ÎN CONFORMITATE CU ANEXA NAȚIONALĂ DE APLICARE A SR EN 206-1. CLASE DE DURABILITATE



DAN PAUL GEORGESCU

---

**ÎNDRUMĂTOR DE PROIECTARE A DURABILITĂȚII BETONULUI  
ÎN CONFORMITATE CU ANEXA NAȚIONALĂ DE APLICARE  
A SR EN 206-1. CLASE DE DURABILITATE**

**ISBN 978-973-0-04914-5**

---

Tiparul executat la **Tipografia Everest 2001** – București

Tel.: 433.07.01; 433.07.02; 433.07.03

[www.everest.ro](http://www.everest.ro)

## CUPRINS

<b>1. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND DURABILITATEA BETONULUI.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducere .....	1
1.2. Concepte moderne privind durabilitatea structurilor din beton .....	11
1.2.1. Concepte moderne de proiectare a durabilității .....	12
1.2.1.1. Criterii de performanță și durata de serviciu .....	12
1.2.1.2. Caracterizarea agresivității mediului și modelarea mecanismelor de deteriorare .....	13
1.2.1.3. Proiectarea durabilității .....	14
1.2.1.4. Tendințe moderne în proiectarea durabilității .....	16
<b>2. INFLUENȚA ADAOSURILOR DIN CIMENTURI ASUPRA CARACTERISTICILOR BETONULUI PROASPĂT ȘI ÎNTĂRIT .....</b>	<b>19</b>
2.1. Efectele asupra betonului proaspăt .....	22
2.2. Efectele asupra betonului întărit .....	25
ANEXA 2.1. TIPURI DE CIMENT .....	36
<b>3. APLICAREA CLASELOR DE DURABILITATE A BETONULUI LA PROIECTAREA, EXECUȚIA ȘI INVESTIGAREA STRUCTURILOR DIN BETON. PREZENTAREA CONCEPTULUI DE CLASĂ DE DURABILITATE .....</b>	<b>38</b>
3.1. Aplicarea claselor de durabilitate la proiectarea structurilor din beton armat .....	39
3.2. Aplicarea claselor de durabilitate la evaluarea construcțiilor din beton armat .....	70
ANEXA 3.1. METODA DE ALEGERE A TIPURILOR DE CIMENTURI .....	75
ANEXA 3.2. TRATAREA BETONULUI DUPĂ TURNARE .....	79
ANEXA 3.3. ACOPERIREA CU BETON A ARMĂTURILOR .....	83
ANEXA 3.4. PRINCIPALELE METODE ȘI TEHNICI DE ÎNCERCARE A BETONULUI PENTRU DEFINIREA CLASELOR DE DURABILITATE .....	90
<b>4. REZULTATELE UNOR CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CARACTERISTICILE BETONULUI PROASPĂT ȘI ÎNTĂRIT PREPARAT CU DIFERITE CIMENTURI FABRICATE ÎN ROMÂNIA DE CARPATCEMENT HOLDING S.A. ....</b>	<b>104</b>
4.1. CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R .....	105
4.2. CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R .....	114
4.3. CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R .....	127
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>137</b>



## CUVÂNT ÎNAINTE

Cartea este concepută ca o continuare și o dezvoltare a problematicilor tratate de autor într-o ediție anterioară, care a avut ca subiect principal „**Utilizarea cimenturilor și aditivilor pentru asigurarea durabilității betonului**”.

Necesitatea apariției acestei noi ediții și implicit caracterul practic și aplicativ se datorează faptului că subiectele tratează în fond prevederile și aplicarea noilor reglementări românești de producere a betonului și în special a Anexei Naționale de aplicare a SR EN 206-1: Beton – Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate. Aceste prevederi au la bază experiența europeană și internațională reflectată inclusiv la nivelul unor reglementări de profil precum și rezultatele unor cercetări experimentale desfășurate în țară, la **INCERC** de un colectiv coordonat de autor.

Această nouă ediție dezvoltă un concept original elaborat de autor privind clasele de durabilitate ale betonului, concept prezentat în ansamblul unor abordări globale a durabilității, a unor considerații teoretice, dar și practice aplicabile la proiectarea și evaluarea construcțiilor din beton armat.

În carte se subliniază importanța alegerii tipurilor de cimenturi pentru asigurarea durabilității construcțiilor din beton situate în diferite medii de expunere și se prezintă rezultatele unor cercetări experimentale desfășurate la **INCERC** pentru stabilirea nivelelor de performanță ale betoanelor preparate cu cimenturi fabricate de **CARPATCEMENT HOLDING S.A.**

Cartea prezintă de asemenea și anumite considerații legate de investigarea construcțiilor existente din beton armat în ceea ce privește metodele utilizate și interpretarea rezultatelor.

Cartea răspunde unor necesități practice actuale privind proiectarea, executarea și investigarea construcțiilor din beton armat și se adresează tuturor specialiștilor care lucrează în acest domeniu.

Mulțumesc și dedic această carte tuturor celor care m-au ajutat și sprijinit în desfășurarea cercetărilor experimentale la **INCERC**, kolegei mele fizician Adelina Apostu pentru aportul adus la elaborarea acestei cărți, sponsorului acestei ediții **CARPATCEMENT HOLDING S.A.** și în special domnului profesor doctor inginer Tudor Postelnicu, Șeful Catedrei de beton armat de la Universitatea Tehnică de Construcții București, care mi-a deschis un nou drum în cariera mea profesională și m-a încurajat în a face publice rezultatele unor cercetări personale.



## 1. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND DURABILITATEA BETONULUI

### 1.1. Introducere

Structurile din beton armat vor rămâne în continuare o soluție pentru realizarea construcțiilor având diferite funcționalități. Avantajele pe care le conferă această soluție sunt legate de faptul că materialele din care se produce betonul sunt răspândite pe tot globul, comportarea în timp a betonului bine proiectat este corespunzătoare și că acest material de construcție este relativ ieftin raportat la performanțele sale.

Ultimii ani au produs schimbări importante în ceea ce privește concepția de proiectare și realizare a structurilor din beton armat.

Luarea în exclusivitate în considerare a cerințelor de rezistență și stabilitate în proiectarea elementelor și structurilor din beton armat este o concepție depășită la nivel internațional, comportarea în timp și durabilitatea construcțiilor fiind problematici din ce în ce mai actuale având în vedere aspectele multiple tehnice, economice, ecologice etc., pe care această abordare le generează.

Din punct de vedere al rezistenței, betonul este caracterizat prin clasa sa de rezistență la compresiune, celelalte caracteristici fiind legate în mare măsură de această caracteristică. Alegerea clasei de beton se face având în vedere în primul rând asigurarea cerințelor de rezistență ale elementelor și structurilor din beton.

Extinderea claselor betonului și la durabilitate va realiza o mai bună interferență între proiectarea de rezistență și proiectarea durabilității și de asemenea va conduce la “realizarea unei legături” între toți factorii care concură la asigurarea durabilității construcțiilor din beton armat (proiectanți, executanți, producători de materiale de construcție și de beton).

Având în vedere necesitatea înțelegerii de ansamblu a fenomenului durabilității betonului în contextul aplicării metodei de proiectare a acesteia pe baza conceptului claselor de durabilitate, în carte se reiau și se aprofundează o serie de aspecte cu caracter





general și particular tratate de autor în cartea “Utilizarea cimenturilor și aditivilor pentru asigurarea durabilității betonului” privind în special principiile generale de abordare a studiului durabilității la nivel mondial și influențele pe care le au adaosurile din cimenturi asupra comportării în timp a betonului. **S-au utilizat rezultatele unor cercetări experimentale desfășurate la INCERC utilizând la prepararea betoanelor cimenturi fabricate de CARPATCEMENT HOLDING S.A.**

Cartea tratează și aspecte privind investigarea caracteristicilor betonului structurilor din beton armat existente tot prin prisma conceptului de clasa de durabilitate.

Studiul betonului armat cunoaște, sub toate aspectele comportării acestuia la diferite tipuri de acțiuni inclusiv în timp și sub acțiunea mediului, dezvoltări continue, fiind în centrul preocupărilor specialiștilor din țară și străinătate. Unul din domeniile de preocupări de dată oarecum recentă îl constituie studiul durabilității elementelor și structurilor din beton armat și beton precomprimat. De fapt, se poate afirma că numai noțiunea de durabilitate este de dată recentă, preocupările care definesc acest domeniu au apărut practic odată cu observarea comportării în timp a construcțiilor și a constatării unor degradări premature a structurilor din beton armat aflate în diferite medii. În acest context este interesant de subliniat că la nivelul anilor ‘50 existau studii referitoare la Patologia betonului armat /3/ în care erau deja subliniate câteva principii privind asigurarea unei bune comportări în timp a construcțiilor.

Importanța durabilității și totodată explicarea dezvoltării fără precedent în ultima perioadă a preocupărilor și realizărilor în acest domeniu sunt legate în principal de două aspecte și anume:

- durabilitatea privită ca fiind în relație directă cu siguranța structurală (au fost semnalate cedări ale unor construcții datorate unor cauze legate de durabilitatea structurilor);
- rațiuni economice, o construcție durabilă reprezintă, per ansamblul duratei de viață, cea mai bună investiție (potrivit unor statistici recente circa 40% din totalul producției de materiale de construcții din țările industrializate se îndreaptă către operațiunile de reparare / întreținere).

Lucrarea tratează anumite aspecte legate de durabilitatea structurilor din beton armat în scopul aducerii unor contribuții la definirea unor criterii clare de selectare a principalelor materiale componente betonului, pe baza parcurgerii cercetărilor și literaturii de specialitate din țară și străinătate cât și pe baza unor cercetări proprii.

Problematika prezentată în lucrare reprezintă parte componentă a unui ansamblu complex de factori care, interconectați, contribuie la asigurarea unor construcții durabile din beton armat.

Proiectarea construcțiilor din beton armat trebuie să țină seama de aspecte legate de menținerea caracteristicilor materialelor în limite care să asigure o comportare corespunzătoare a construcțiilor pe durata lor de viață.

De asemenea, evaluarea durabilității trebuie să indice starea la un moment dat a materialelor / elementelor / structurilor din beton armat. Factorul comun care leagă aceste două activități fundamentale este determinarea și cuantificarea factorilor care influențează durabilitatea elementelor / structurilor din beton armat.

În figura 1.1. se prezintă schema generală de tratare în ansamblu a durabilității în contextul aplicării conceptului de **clasă de durabilitate**.

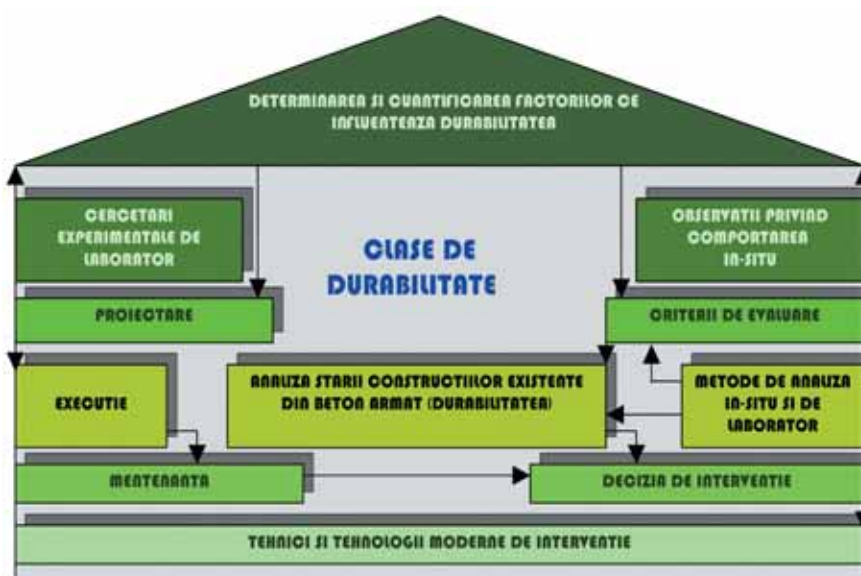


Figura 1.1 - Schema generală a studiului durabilității

Durabilitatea nu apare explicit ca o cerință esențială în Directiva europeană privind produsele pentru construcții, nr. 89/106/CEE care a fost preluată și în România prin HG 622/2004.

Trebuie însă subliniat că toate aceste cerințe esențiale sunt funcții de timp, deci trebuie îndeplinite nu numai la timpul inițial  $t_0$ , ci în orice moment al duratei de viață a unei construcții.

**Se poate afirma că durabilitatea este o înfășurătoare a unor cerințe esențiale sau chiar o cerință fundamentală a acestora.**

Studiile privind durabilitatea au evoluat atât pe plan conceptual, cât și în ceea ce privește abordarea teoretică și practică. Cel mai bine sunt reflectate aceste aspecte de către Baron J. și Olivier J.P. în lucrarea /1/. Asigurarea durabilității reprezintă, la un anumit nivel de dezvoltare al unei societăți, o conciliere între factorii economici și tehnici inclusiv ai comportării în timp. În acest sens s-ar putea desprinde două reguli generale:

1. **“Experiența timpului”**. Toate variantele alese, toate inovațiile trebuie evaluate prin comparație cu ce este cunoscut pentru a putea trece cu succes examenul timpului;

**2. Publicarea regulilor de comparație.** Comparația între nou și tradițional trebuie să facă obiectul unor deliberări inter și intra profesionale pentru a se putea determina care este cea mai bine adaptată regulă într-o anumită perioadă.

Prima regulă scoate în evidență dificultatea rezolvării unor problematici legate de durabilitate numai prin experimentări de laborator, chiar dacă acestea sunt efectuate (de exemplu) în condiții accelerate. Cel mai bun examen al soluțiilor adoptate îl constituie comportarea în timp sau / și analiza soluțiilor comparativ cu alte soluții "clasice" verificate.



Regula a doua se referă la dificultatea adoptării unor anumite soluții "generale", decizia fiind luată având în vedere atât considerații de ordin tehnic, cât și de aspecte legate de o anumită optimizare, ținând seama de condițiile economice și sociale. Consecința acestor decizii este apariția unor reglementări specifice care țin seama de evoluția cunoștințelor științifice și de realitățile și nevoile societății, aflate pe o anumită treaptă a dezvoltării.

În general aplicarea primei reguli se face în laboratoare de cercetare, iar regula a doua se traduce prin elaborarea de reglementări tehnice, standarde etc.

Caracteristic acestei epoci de schimbări rapide este tendința de inovare permanentă, astfel încât la nivelul reglementărilor se "lasă" o libertate mai mare mijloacelor de realizare, definindu-se însă cu claritate nivelele de performanță și modalitățile de verificare a acestora.

Obiectivul calitate se analizează prin performanțe multiple. Se pot defini performanțe legate de durabilitatea betonului dacă acestea sunt cuantificabile. În mod particular, legat de performanțele sale multiple, **un beton poate fi durabil într-un anumit mediu și mai puțin durabil în altul.** Durabilitatea are sensuri distincte pentru inginerul de execuție și pentru cel de laborator. Pentru primul durabilitatea constituie un obiectiv, iar pentru celălalt un nivel de performanță care-i permite o comparație cantitativă în limitele fixate prin obiectivele cercetărilor experimentale.

Baron J. și Olivier J.P. /1/ fac o analiză sintetică a relației rezistență - durabilitate.

**Rezistența la compresiune** este principala proprietate a betonului (care definește și clasa acestuia), cea care permite utilizarea acestuia ca material de construcție. Evident între această rezistență și **porozitatea capilară** există o relație clară: **cu cât porozitatea este mai redusă cu atât rezistența este mai mare.**

În general toate proprietățile betonului depind de această caracteristică a betonului, ca parametru de prim ordin, iar întrebarea care se pune este



dacă betonul este în aceste condiții și cel mai durabil. Dacă se pornește de la criteriul global al rezistenței la compresiune, durabilitatea poate fi apreciată în două etape:

- parametri constanți, comparând betoanele la care diferă rezistența la compresiune;

- la rezistențe egale, examinarea parametrilor specifici ai durabilității.

Dacă factorii compoziționali ai betonului sunt de aceeași calitate (liant, agregate, aditivi etc.) **betonul cel mai rezistent la compresiune este de asemenea cel mai puțin poros, cel mai puțin permeabil (la gaze sau lichide), iar difuzia ionilor este cea mai lentă. Din aceste motive betonul cu rezistență mai mare va fi mai durabil vis-a-vis de atacul chimic agresiv și va proteja mai bine împotriva coroziunii armăturii.**

La rezistențe egale ale betoanelor la compresiune, există diferențe uneori importante între betoane. În acest caz este insuficientă considerarea rezistenței ca unic criteriu de apreciere a durabilității. Rezistența (și implicit porozitatea) nu este decât un criteriu de prim ordin care trebuie completat cu alte caracteristici ale betonului, cum ar fi permeabilitatea sau difuzia.

Un alt factor foarte important este **dimensiunea porilor. La porozități egale, agenții agresivi penetrează cu atât mai greu cu cât porii sunt mai fini. Finețea porilor depinde de tipul de ciment, de adaosuri și chiar de dimensiunea și natura agregatelor.**

Astfel, criteriul de rezistență trebuie completat și de alte condiții mecanice, fizice, chimice și tehnologice:

- **ca un beton să fie durabil, acesta nu trebuie să fie fisurat.** Pentru explicarea clară a acestei condiții trebuie să se facă o distincție între fisurarea intrinsecă legată de comportarea betonului armat (fisurare “funcțională”) și fisurarea accidentală, care poate fi evitată. De exemplu fisurarea accidentală poate rezulta din contracția betonului, care se poate manifesta la un moment dat după turnare (de la câteva ore la câteva zile după turnare);



- **condițiile de ordin chimic** ce pot influența durabilitatea betonului sunt legate de compoziția mineralogică a cimentului Portland, de adaosurile din ciment precum și de stabilitatea chimică între ciment și agregate;

• în ceea ce privește **condițiile de ordin fizic**, de exemplu pentru **rezistența la îngheț-dezghet**, porozitatea nu este un parametru de prim ordin; parametrul specific în acest caz a fost descoperit în anii '50, pe baza unor studii termodinamice.

Conceptele termodinamicii clasice au fost utilizate de mai mulți autori pentru a explica comportarea betonului la îngheț-dezghet.

Teoriile se bazează pe principiul că gheața formează un dezechilibru termodinamic care împinge apa din capilare către interfața pastă de ciment – aer. Această mișcare crează tensiuni care sunt cu atât mai puternice cu cât spațiul de parcurs și viteza de îngheț sunt mai mari. Aceasta este considerată o teorie care explică în mare parte migrarea apei și fenomenele de disiccare produse de acțiunea înghețului.



• **oricare ar fi clasa sa de rezistență, betonul trebuie să fie pus în operă și tratat corespunzător împotriva pierderii apei.**

Apare astfel evident că, pentru asigurarea durabilității betonului, trebuie completat criteriul global de rezistență cu alte criterii specifice. Se poate aprecia apriori că betonul este un material durabil, pentru că practic este întotdeauna posibil să se găsească condiții compatibile între aceste criterii și rezistența betonului. Acestea reprezintă condiții esențiale, responsabilitatea respectării acestor condiții revine tuturor factorilor implicați în realizarea construcțiilor.

Frecvențele constatări efectuate în diferite ocazii asupra construcțiilor din beton armat au scos în evidență o comportare în timp inadecvată a acestora și au impus, pe plan internațional, dezvoltarea unor strategii generale care să clarifice aspectele degradărilor premature ale construcțiilor în relație directă cu condițiile de mediu și să orienteze măsurile ce trebuie luate la proiectarea construcțiilor noi sau pentru prevenirea intensificării degradărilor prin mentenanță / inspecție / diagnosticare în cazul construcțiilor existente.

O "cauză" care a condus la comportarea inadecvată în timp a construcțiilor a fost și aceea a considerării betonului ca un material durabil în sine, fără a fi necesar să se ia măsuri speciale. În aceste condiții, proiectanții de structuri erau preocupați aproape în exclusivitate de caracteristicile de rezistență ale betonului.

Pe plan internațional s-au făcut în ultimii ani eforturi susținute pentru schimbarea acestei concepții. Există în acest sens numeroase cercetări, multe finalizate prin manuale, ghiduri, care accentuează importanța

măsurilor ce trebuie luate pentru asigurarea performanțelor construcțiilor din beton pe întreaga durată de serviciu.

În concordanță cu A.C.I. 201.2R-01 /8/, ***durabilitatea betonului este definită ca fiind proprietatea acestuia de a rezista acțiunilor climatice, chimice, abraziune sau oricăror altor procese de deteriorare; astfel, un beton durabil este acela care-și păstrează forma inițială, caracteristicile și funcționalitatea în condițiile de mediu pentru care a fost proiectat.***



Este deosebit de important de subliniat faptul că această definiție a durabilității este legată de condițiile de mediu. Acest aspect este, de altfel, foarte bine ilustrat în standardul european de beton EN 206-1 și de asemenea în Anexa Națională de aplicare în România a acestui standard.

Dacă definim calitatea ca o aptitudine de satisfacere a nevoilor utilizatorilor, durabilitatea este menținerea acestei calități în timp.

Durabilitatea unei construcții având structura din beton armat sau precomprimat nu reprezintă numai durabilitatea betonului sau a armăturii luate separat, ci a ansamblului structurii în anumite condiții de mediu. Evident, în condiții de laborator, cercetările experimentale se pot efectua funcție de scopul urmărit pe anumite materiale componente, însă durabilitatea trebuie privită și analizată în ansamblu.

Un aspect semnificativ îl constituie faptul că ***durabilitatea construcțiilor din beton armat sau precomprimat nu este considerată o problemă numai în cazul mediilor agresive, ci și în cazul mediilor "curente", în care se găsesc cele mai multe dintre construcții și la care s-au înregistrat de asemenea fenomene îngrijorătoare de degradare.***

Durabilitatea betonului nu este o caracteristică absolută, ***un beton poate fi proiectat să fie durabil în anumite condiții de mediu, utilizarea lui putând fi inadecvată la schimbarea acestor condiții.*** De exemplu un beton proiectat să reziste unor medii cu agresivitate chimică nu va fi adecvat pentru medii caracterizate de cicluri de îngheț-dezghet și agenți de dezghețare.



Din această cauză este necesar ca betonul să fie proiectat, inclusiv din punctul de vedere al compoziției, funcție de condițiile de mediu și exploatare. Un exemplu edificator

privind relațiile complexe care intervin pentru asigurarea durabilității îl constituie faptul că pentru betonul component unor elemente care vor fi expuse unor medii agresive, durata tratării betonului după turnare trebuie să fie mai mare decât în cazul elementelor care vor fi supuse în medii obișnuite.

De asemenea betonul preparat cu cimenturi ce contin cantități mai mari de adaosuri (de exemplu tip II B sau III) trebuie tratat o perioadă mai îndelungată. Acest aspect a fost confirmat de rezultatele cercetărilor experimentale efectuate de autor și care sunt prezentate la capitolul 4.

Durabilitatea nu înseamnă "permanență", ca rezultat al interacțiunilor cu mediul, microstructura și evident proprietățile betonului se schimbă în timp. Atingerea duratei de viață proiectate, (efectuând numai reparații curente) în condiții de mediu date, cu menținerea performanțelor inițiale poate fi considerată ca sinonimă cu asigurarea durabilității cerute.

De altfel, toate cerințele formulate de standardele europene privind compoziția betonului (dozaj minim de ciment, raport maxim A/C etc.), grosimea stratului de acoperire cu beton etc. se referă la o anumită durată de viață a structurilor din beton armat, în general de 50 ani.

În afară de interdependența dintre noțiunile de performanță, siguranță, rezistență și durabilitate ale construcțiilor a mai apărut un aspect deloc de neglijat, și anume cel legat de partea economică.

Astfel, potrivit unor statistici recente /1/ circa 40% din totalul producției de materiale de construcții din țările industrializate se îndreaptă către operațiunile de întreținere și reparații, restul fiind destinat construcțiilor noi. Costurile legate de operațiunile de întreținere, reparații, consolidări sunt importante, chiar în comparație cu costurile inițiale, fapt ce a determinat să se acorde importanța cuvenită durabilității.

Se pune de asemenea problema relației dintre durabilitatea materialelor și ecologie. Conservarea resurselor naturale prin realizarea de materiale cât mai durabile este considerată o acțiune importantă din punct de vedere ecologic.

O altă latură ecologică importantă este legată de utilizarea materialelor reciclabile ca adaosuri în cimenturi. Utilizarea pe scară din ce în ce mai largă a cimenturilor cu adaosuri este determinată, printre alte avantaje, de îmbunătățirea calității și prețului betonului.

***Cenușa este un material tipic reciclabil care îmbunătățește structura internă (porozitatea) betonului.***

De asemenea, prin utilizarea la prepararea cimenturilor a unor



materiale reciclabile se obține o importantă economie de energie și o reducere a poluării. Astfel, pentru producerea zgurei se consumă 1/3 (1,3 / 5,0 MJ/kg) din energia necesară pentru producerea cimentului. De asemenea, emisia de dioxid de carbon este de 1/10 (69/670 CO<sub>2</sub>/kg) față de ciment.

În /24/ se face o observație deosebit de interesantă legată de relația construcțiilor de beton cu mediul.

Astfel, impactul fundamental al construcțiilor din beton armat asupra mediului este emisia de CO<sub>2</sub> din timpul producerii cimentului. Pe de altă parte CO<sub>2</sub> se consumă în timpul carbonatării betonului. Bineînțeles este deosebit de complicat să se stabilească o relație între aceste două tendințe opuse.

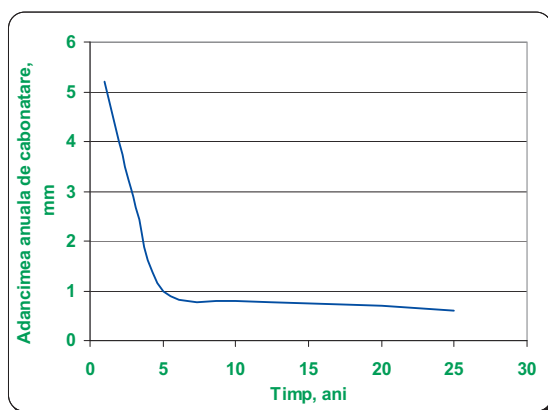


Figura 1.2a - Adâncimea anuală de carbonatare

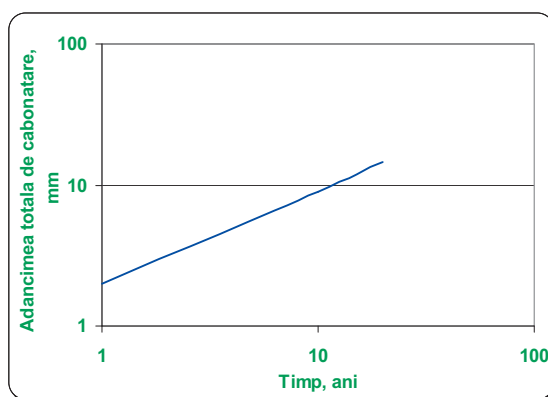


Figura 1.2b - Variația adâncimii de carbonatare în timp

În figura 1.2a se prezintă adâncimea anuală de carbonatare în mm, funcție de vârsta betonului (studiu realizat în Norvegia), iar în figura 1.2b



variația adâncimii de carbonatare în timp.

Un aspect interesant îl constituie relația (de optimizare) dintre importanța construcției, durabilitate, posibilitățile de reciclare. Această relație este reprezentată schematic în figura 1.3.

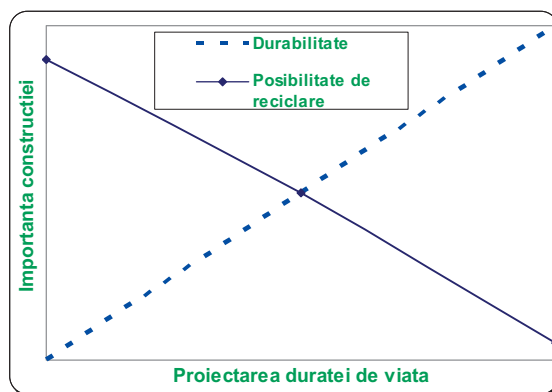


Figura 1.3 - Relația durabilitate-reciclare-importanța și durata de viață a construcțiilor

Una din cele mai comune deteriorări ale betonului armat este datorată coroziunii oțelului beton. În general, această deteriorare poate fi limitată, prevăzând o grosime adecvată a stratului de acoperire cu beton și de asemenea prin realizarea unui strat compact de beton de acoperire.

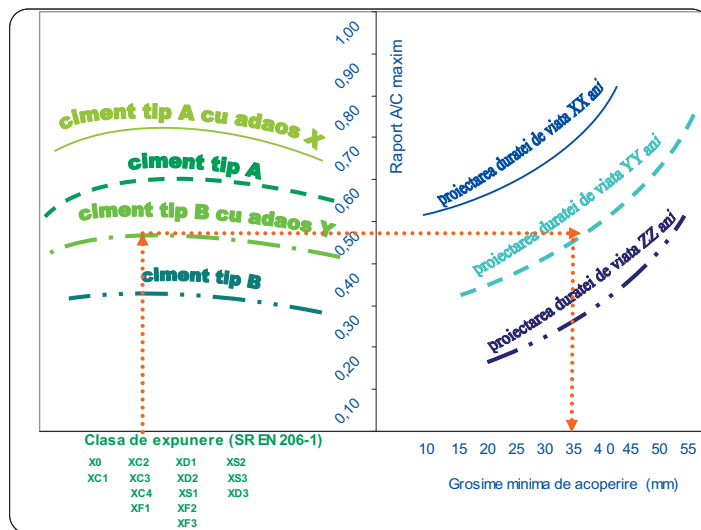


Figura 1.4 - Relații complexe pentru proiectarea durabilității

Utilizarea cimenturilor cu adaosuri, prevederea unor rapoarte A/C corespunzătoare și realizarea unor grosimi adecvate de beton de acoperire a armăturilor se află într-o interdependență care este indicată în figura 1.4.

Chiar dacă este prezentat la nivel de principiu, acest grafic ilustrează interdependența între diferiții parametri care pot influența durabilitatea betonului.

## 1.2. Concepte moderne privind durabilitatea structurilor din beton

Stabilirea duratei de serviciu a structurilor din beton armat, în concepția actuală, este o activitate ce trebuie să ia în considerare o serie de aspecte complexe tehnice, economice, legislative, precum și de natură organizatorică și educațională.

Schimbarea concepției privind asigurarea performanțelor construcțiilor din beton armat pe o lungă durată de timp a fost determinată în principal datorită următoarelor aspecte:

a) Experiența a arătat că procedurile clasice de proiectare și precizarea unor durate de serviciu pe termen lung nu au asigurat o durabilitate corespunzătoare și nu au fost confirmate de comportarea reală a structurilor, în special în medii agresive;

b) Stabilirea unor anumite nivele de performanță pentru structuri aflate în diferite medii este o activitate complexă ce ține seama de elemente de ordin tehnic, economic, managerial, politic, legislativ, precum și de tradițiile naționale. În orice caz, tendința ultimilor ani a fost în România de "asigurare" pe termen scurt, cu cheltuieli minime de investiții, fără a lua în considerare totalul cheltuielilor pe durata de viață a construcției (life cycle cost);

c) Potențialii "responsabili" pentru degradările apărute ca urmare a "durabilității neadecvate" pot fi: proiectanții, executanții, utilizatorii.



Observație: Toți acești factori pot "interveni", având în vedere următoarele aspecte:

- proiectanții preocupați în mod particular de "rezistență";
- executanții urmărind „eficiența” și "minimizarea cheltuielilor";
- utilizatorii prin neimplicare adecvată sau prin lipsa cunoștințelor necesare având în vedere:
  - "nepopularizarea" implicațiilor particulare și globale ale neasigurării durabilității de către factorii de decizie;
  - neexistența unor reglementări specifice;
  - nefuncționarea sau funcționarea necorespunzătoare a sistemelor de asigurare a calității și de control al calității;
  - neexistența unor programe de mentenanță sau nerespectarea lor

în cazul în care acestea există.

Toate aceste aspecte conduc la necesitatea creării unui nou concept de proiectare a durabilității și de caracterizare a stării construcțiilor existente.

### 1.2.1. Concepte moderne de proiectare a durabilității



Un concept rațional de proiectare pentru durabilitate trebuie să pornească de la definirea criteriilor de performanță și să se finalizeze cu o mentenanță continuă în timpul duratei de serviciu a construcției. Următoarele elemente sunt esențiale pentru definirea unui concept modern și rațional:

- definirea criteriilor de performanță pentru durabilitate;
- caracterizarea agresivității mediului și modelarea mecanismelor de deteriorare;
- definirea duratei de serviciu proiectate;
- proiectarea (concepția) pentru asigurarea durabilității;
- asigurarea calității și calitatea controlului în timpul execuției;
- inspecția și mentenanța în timpul duratei de serviciu prin proceduri stabilite la proiectare.

#### 1.2.1.1. Criterii de performanță și durata de serviciu

• Criteriile de performanță structurală (capacitatea portantă, siguranța și stabilitatea, deplasările maxime absolute și relative etc.) sunt bine stabilite și verificate prin metode de analiză și calcul cunoscute.

• Criteriile de performanță pentru durabilitate sunt mai dificil de definit și necesită verificări de mai multe tipuri.

• Una din problemele principale în definirea criteriilor de performanță pentru durabilitate în relația directă cu durata de serviciu este precizarea duratei de viață a construcției.

Deteriorările progresive pot conduce la o siguranță inacceptabilă pentru construcție. Pe de altă parte, intensificarea operațiunilor de întreținere curentă și reparații, chiar dacă implică o creștere a costului global al construcției, poate prelungi durata de viață a construcției pe o

perioadă nedefinită.

- Schimbarea destinației unei construcții, modificările prevederilor reglementărilor, pot influența durata de serviciu proiectată.
- În unele cazuri, deteriorările vizibile (indiferent de amploare și gravitate) conduc la pierderea încrederii utilizatorilor în capacitatea structurală și funcțională a acesteia.
- Definirea criteriilor de performanță trebuie să se facă în concordanță cu durata de viață proiectată. În general durata de viață specificată în diferite reglementări este de 50-100 ani.

### 1.2.1.2. Caracterizarea agresivității mediului și modelarea mecanismelor de deteriorare

Identificarea și clasificarea (cuantificarea) agresivității mediului precum și modelarea mecanismelor de transport al substanțelor agresive devin elemente importante în determinarea realistă a duratei de viață a unei construcții. De aceea, o importanță specială o reprezintă investigarea posibilelor influențe ale mediului “din amplasament” asupra structurilor.

Un exemplu elocvent îl constituie elementele de construcție aflate în mediul marin. Aici se pot identifica condiții de mediu local având influențe diferite asupra elementelor de construcție.

În figura 1.5 se prezintă zonele de mediu local marin.

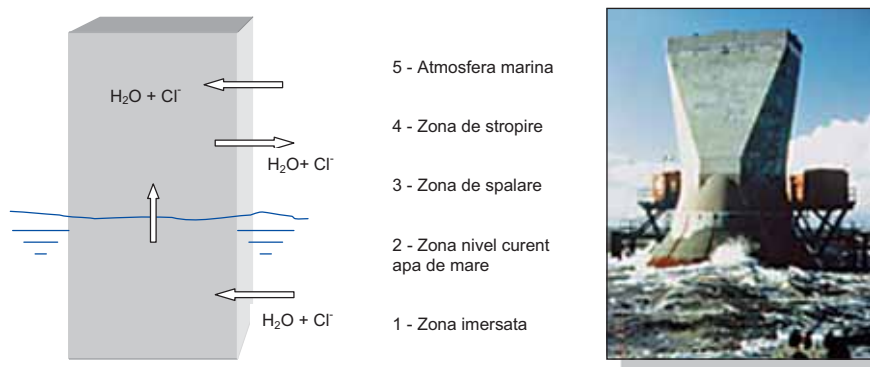


Figura 1.5 - Exemplu de condiții de microclimat - mediu-marin

Chiar și pentru același element, așa cum rezultă și din figura 1.5 există o diferență evidentă între riscul de coroziune a armăturii din zonele 1 și 5 față de zonele 3 și 4.

Aceste aspecte sunt luate în considerare în Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1, în care se prezintă cerințe diferite legate de compoziția betonului funcție de aceste condiții de microclimat.

De asemenea pot exista puncte “slabe” în structură (îmbinări, zone de acumulări de substanțe agresive din mediu) care pot mări vulnerabilitatea structurii.

Ca o consecință a acestor considerații rezultă ca indispensabilă concepția (proiectarea) formei elementelor / structurilor și investigarea interacțiunii între structură și mediu (inclusiv mediul local, micromediul).

### 1.2.1.3. Proiectarea durabilității

Conceptele moderne și tendințele actuale de proiectare a durabilității /5/ pot lua în considerare două strategii de protecție de bază:

A. Evitarea reacțiilor de degradare;

B. Selectarea materialelor, compozițiilor optime și alegerea detaliilor potrivite pentru a “rezista” reacțiilor de degradare considerate și așteptate.

Strategia A poate fi aplicată urmărind următoarele aspecte:

A1 - “Schimbând mediul” prin aplicarea pe elemente a unor membrane, acoperiri cu pelicule de protecție etc.;

A2 - Selectând materiale “nereactive” de exemplu oțel inoxidabil, oțel peliculizat, agregate nereactive, cimenturi rezistente la sulfat;

A3 - Inhibarea reacțiilor, prin protecția catodică, antrenarea aerului pentru a obține o rezistență sporită la îngheț-dezghet etc.

Strategia B poate acoperi o serie de categorii de intervenție. De exemplu protecția împotriva coroziunii poate fi asigurată prin selectarea unei compoziții adecvate a betonului și prin realizarea unui strat de acoperire cu beton a armăturii având grosimea stabilită în funcție de condițiile de mediu.

Standardele și normele europene de producere a betonului au la bază această strategie.

În tabelul 1.1 se prezintă alegerea unor anumite tipuri de strategii.

Tabelul 1.1 - Alegerea tipurilor de strategii

Condiții de mediu	Strategia		
	A1	A2	A3
Coroziune:			
- carbonatare	2	2	3
- cloruri	3	3	
Atac chimic sulfatic	3	1	
Îngheț	3		1
Cristalizarea sărurilor	3		1
Abraziune	3		

1 – Procedee normale

2 – Procedee posibile dar care nu sunt în mod obișnuit necesare

3 – Procedee alternative în condiții foarte severe



Prima etapă a acestei strategii constă în definirea criteriilor de performanță în relație directă cu condițiile de mediu așteptate. Alte elemente importante sunt modelarea acțiunii mediului și selectarea materialelor adecvate. Definirea criteriilor de performanță în ceea ce privește caracteristicile betonului trebuie să se bazeze pe rezultatele unor cercetări experimentale. Aceste experimentări sunt necesare pentru a verifica potențialul materialelor în condițiile de mediu modelate în laborator și care trebuie să asigure comportarea lor corespunzătoare in-situ.

Pentru a se exemplifica posibilitățile de aplicare în practică a strategiei, aceasta se va detalia pentru cazul protecției armăturii contra coroziunii.

În acest caz criteriul de performanță se poate defini astfel: nu se admit reduceri ale secțiunii de armătură în timpul duratei de viață a construcției.

În acest caz strategia se va desfășura pe trei nivele: primul nivel este implementarea modelului lui Tuutti (figura 1.6):

$$t_0 + t_1 > t_d \quad (1)$$

unde:  $t_0$  – timpul în care se produce carbonatarea betonului;  
 $t_1$  – timpul în care se produce coroziunea armăturii;  
 $t_d$  – durata de viață a construcției.

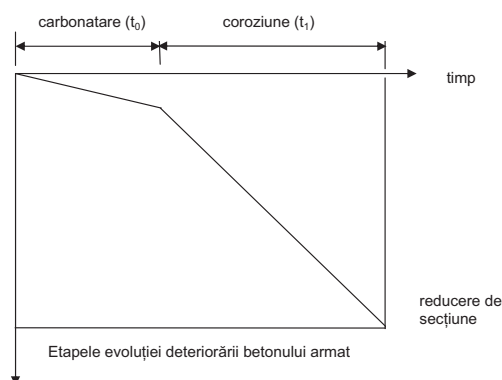


Figura 1.6 - Modelul Tuutti

Al doilea nivel constă în modelarea perioadelor de timp  $t_0$  și  $t_1$ . Pentru proiectare pot fi utilizate modele simplificat:

- pentru carbonatare, grosimea stratului de beton carbonatat  $X_c$

$$X_c = (K \times D \times t_0)^{1/2} \quad (2)$$

- pentru coroziune, reducerea de secțiune a armăturii  $\Delta A_s$

$$\Delta A_s = f \times t_1 < \Delta A_{s,critic} \quad (3)$$

Din aceste ecuații poate fi calculată grosimea minimă de acoperire cu beton a armăturii:

$$\min X_c = (K \times D \times (t_d - t_1))^{1/2} \quad (4)$$

Modelarea condițiilor de mediu reprezintă nivelul 3, prin definirea parametrilor ce intră în formulele de mai sus:

$K$  – constantă a materialului ce depinde de compoziția betonului și calitatea execuției și care reprezintă în fond rezistența matricei betonului la

acțiunea  $\text{CO}_2$ ;

D – coeficientul de difuzie a betonului ce depinde de tipul de ciment, de raportul A/C, de calitatea execuției și de condițiile de micro - climat;

f – factor ce descrie viteza de corodare a armăturii după carbonatarea betonului (în relație directă cu umiditatea).



#### 1.2.1.4. Tendințe moderne în proiectarea durabilității

Problema principală pentru proiectarea durabilității constă în dificultatea de a se putea preciza modalitățile de comportare a unor anumite materiale în condiții de mediu și servicii foarte diverse. Cunoștințele teoretice, testele de laborator, observațiile comportării unor structuri similare în medii apropiate pot oferi date importante, dar nu întotdeauna suficiente pentru stabilirea cu precizie a timpilor  $t_0$  și  $t_1$  din relația (1).



Ca o consecință a acestor considerații utilizarea rezultatelor experimentale efectuate asupra materialelor (chiar în condițiile “modelării” mediului în laborator) pentru stabilirea duratei de serviciu trebuie făcută cu prudență.

Testele sunt foarte importante și pot oferi un răspuns la întrebările legate de asigurarea unei durate de serviciu acceptabile în condițiile utilizării sau nu a unor materiale de protecție suplimentare (membrane, pelicule etc.).

Cerințele referitoare la amestecul de beton (tip ciment și dozaj, raport A/C maxim etc.), alți factori de proiectare (grosimea stratului de acoperire cu beton, deschiderea maximă admisă a fisurilor, detaliile constructive) și de execuție (compactare, tratare etc.) sunt esențiale în ceea ce privește stabilirea parametrilor necesari și a condițiilor de realizare a unor elemente / structuri din beton armat în anumite condiții de mediu, dar nu pot servi la determinarea duratei de viață a unei construcții sau la prognozarea evoluției proceselor de degradare.

Determinarea duratei de serviciu din faza de proiectare este o activitate dificilă și care s-a dovedit puțin realistă.

În schimb predicția performanțelor pentru construcțiile existente se poate face cu o precizie suficient de mare, având la bază rezultatele unor teste in-situ adecvate care să caracterizeze proprietățile materialelor componente elementelor / structurilor sau urmărirea continuă în timp a performanțelor structurale (monitorizarea structurii).

De exemplu, adâncimea de carbonatare a betonului determinată pentru o structură executată de 5 ani poate da date importante referitoare la evoluția acestui fenomen în beton.



Ca rezultat al acestor considerații se poate aplica următoarea **strategie de proiectare / verificare a structurilor din beton armat**:

a) Descrierea și modelarea proceselor de deteriorare cu precizarea, în măsura posibilităților, a unor relații care să cuantifice procesul. Aceste modele sunt necesare pentru înțelegerea proceselor care intervin, pentru a face o primă apreciere asupra duratei de viață și a o compara cu cea precizată în reglementări specifice;

b) Precizarea cerințelor de asigurare a durabilității funcție de condițiile de mediu (raport maxim A/C, tip și dozaj de ciment, procedee specifice de tratare a betonului în timpul execuției etc.);

c) Procedurile de control al calității trebuie să acopere toate etapele de execuție de la testarea materialelor componente, a betonului, până la punerea în operă și tratarea betonului;

d) Definirea unei perioade de referință pentru durabilitate, de exemplu 5 ani. După această perioadă relevantă, parametrii durabilității ca: porozitatea, permeabilitatea, carbonatarea, penetrarea clorurilor, etc., pot fi determinați prin teste in-situ sau de laborator. Prin aceasta modalitate se poate verifica comportarea structurii și atingerea nivelelor de performanță proiectate, în condițiile de mediu date.

Pentru construcțiile speciale se poate asigura o urmărire continuă a performanțelor materialelor componente elementelor structurii.

Utilizând aceste modele și măsurând parametrii care caracterizează



durabilitatea, pot fi estimate performanțele viitoare ale structurii.

Această metodă este deosebit de importantă, având în vedere că în momentul în care se constată o comportare necorespunzătoare a structurii în anumite condiții de mediu, pot fi luate măsuri adecvate cu consecințe favorabile privind atât siguranța și funcționalitatea structurii, cât și costul global al investițiilor.

***De altfel, acest mod de abordare a fost utilizat și în cazul cercetărilor ce au fost efectuate la **INCERC** de un colectiv condus de autor. Aceste cercetări experimentale au avut ca obiectiv determinarea caracteristicilor betoanelor (preparate cu anumite tipuri de cimenturi fabricate de **CARPATCEMENT HOLDING S.A.**) supuse la diferite medii de expunere în vederea definirii domeniilor de utilizare. În afară de cercetările experimentale „de laborator” s-au executat și elemente structurale de tip stâlp ce au fost expuse în mediul exterior (specific urban) pentru a se putea urmări evoluția în condiții reale a anumitor caracteristici ale betonului și coroborat cu rezultatele cercetărilor de laborator să se poată anticipa comportarea în timp a betoanelor.***



## 2. INFLUENȚA ADAOSURILOR DIN CIMENTURI ASUPRA CARACTERISTICILOR BETONULUI PROASPĂT ȘI ÎNTĂRIT

Studiile pentru definirea domeniilor de utilizare a cimenturilor sunt deosebit de complexe și necesită pe lângă teste de laborator și observații privind comportarea în timp a betoanelor în diferite medii. Etapele ce trebuie parcurse în vederea definirii domeniilor de utilizare a cimenturilor, propuse de autor, sunt prezentate în figura 2.1.

Se poate observa că **definirea domeniilor de utilizare a cimenturilor** implică parcurgerea mai multor etape legate de:

- **experiența și reglementările internaționale;**
- **determinarea pe o perioadă de minimum cinci ani a caracteristicilor betonului preparat în laborator și menținut în diferite condiții de mediu;**
- **urmărirea pe o perioadă de minimum cinci ani a evoluției caracteristicilor betoanelor turnate pentru realizarea unor construcții;**
- **întocmirea unor bănci de date și corelarea rezultatelor obținute în laborator cu cele obținute in-situ, etc.**

Una din condițiile esențiale pentru asigurarea unei bune comportări în timp a betonului este **alegerea tipului de ciment**.

Evident nu trebuie neglijați nici alți factori legați de **proiectarea amestecului, punerea în operă și tratarea betonului**.

Utilizarea pe scară din ce în ce mai largă a cimenturilor cu adaosuri face necesară o clarificare a influenței acestor adaosuri asupra comportării în timp și în diferite medii a betoanelor



preparate cu acestea.

Teoretic vorbind, nu se pot face decât considerații de ordin general, având în vedere multitudinea de factori care intervin:

- natura și proprietățile adaosurilor;
- procentul de utilizare în ciment;
- amestecarea în diferite procente a mai multor adaosuri.

**Cenușile, zgurile, praful de silice și puzzolanele naturale pot fi utilizate în ciment datorită proprietăților date de activitatea hidraulică sau /și puzzolanică.** Puzzolana este un material silicios sau aluminosilicios care în prezența umidității reacționează chimic cu hidroxidul de calciu obținut prin hidratarea cimentului Portland, rezultând silicatul de calciu hidratat și alți compuși cimentoizi. Puzzolanele și zgurile sunt în general considerate ca materiale cimentoide suplimentare.

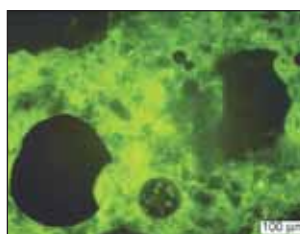
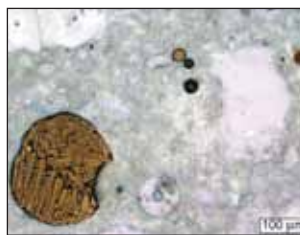
**Utilizarea unor materiale cimentoide suplimentare în cimenturi a început să se pună acut începând din anul 1970 din considerente legate atât de protecția mediului și de economia de energie, cât mai ales de avantajele potențiale pe care le conferă betonului.**

Adaosurile pot fi prezente în ciment sau direct în betoane. Utilizarea adaosurilor în cimenturi prezintă avantaje evidente având în vedere „controlul” strict la fabricație (caracteristicile adaosurilor și proporția de adaosuri) care conduce la asigurarea constanței calității cimenturilor și implicit a betoanelor preparate cu acestea. Anumite studii efectuate pe plan internațional se referă la efectele cenușilor și zgurilor adăugate direct în betoane asupra caracteristicilor betoanelor. O parte din concluziile acestor cercetări pot fi utilizate și în cazul studierii efectelor adaosurilor din ciment asupra caracteristicilor betoanelor. Aceste concluzii vor putea conduce inclusiv la posibilitatea alegerii unor anumite tipuri de cimenturi cu adaosuri în diferite medii de expunere.

**În orice caz, pentru asigurarea caracteristicilor betoanelor și pentru o comportare corespunzătoare în timp se recomandă utilizarea adaosurilor în cimenturi nu direct în betoane.**

Cel mai dificil aspect de elucidat este acela al găsirii domeniilor de utilizare în cazul în care adaosurile se amestecă în diferite proporții în ciment. Singura cale de rezolvare a acestei probleme este cercetarea experimentală (figura 2.1).

O sinteză a efectelor potențiale ale adaosurilor asupra betoanelor este prezentată de Kosmatka S.H., Kerkhoff B. și Panarese C. în lucrarea /9/.



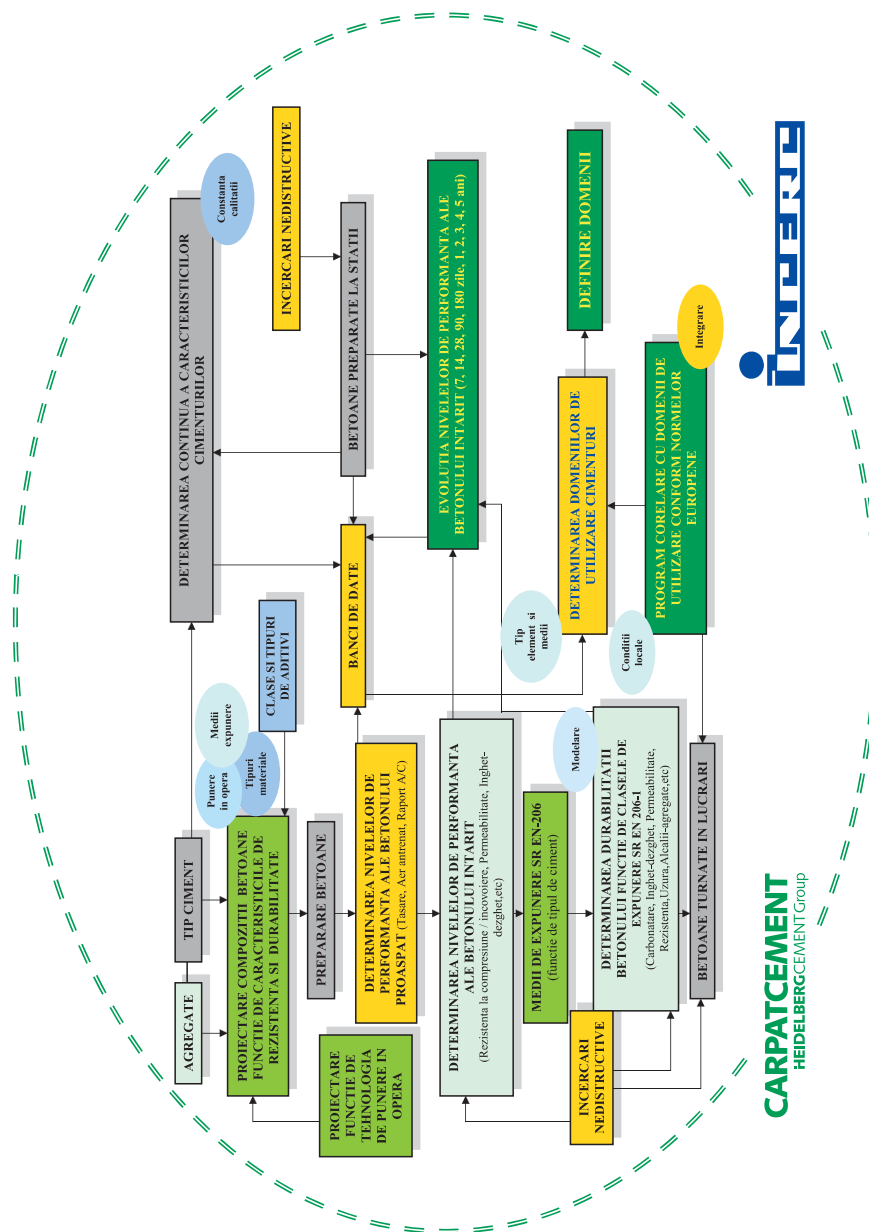


Figura 2.1 - Schema privind etapele ce trebuie parcurse în vederea definirii domeniilor de utilizare a cimenturilor

## 2.1. Efectele asupra betonului proaspăt

Trebuie notat că, datorită variabilității foarte mari a materialelor cimentoide și a caracteristicilor acestora, efectul lor diferă destul de mult în amestecul de beton.



Observații:

- **În general amestecurile de beton conținând cimenturi cu cenuși „cer” mai puțină apă (între 1% și 10%) pentru o anumită tasare, față de betonul conținând numai ciment Portland.**

- **Utilizarea unui dozaj ridicat poate însemna o mai mare reducere a cantității de apă. Totuși anumite cenuși pot “cere” o cantitate mai mare de apă până la 5%. Cenușile reduc necesarul de apă într-o manieră asemănătoare aditivilor reducători de apă. Zgurile, în general, reduc necesarul de apă cu cca. 1-10%, depinzând de dozaj.**

- **Necesarul de apă pentru betonul conținând praf de silice crește odată cu conținutul acestuia.**

- **Cimenturile cu cenuși și zgură îmbunătățesc în general lucrabilitatea betoanelor.**

- **Separarea apei și segregarea sunt în general mai mici în cazul utilizării cimenturilor cu cenuși. Acest efect conduce la utilizarea lor în special în amestecuri care sunt “deficitare” în partea fină.**

- **Separarea apei este mai puțin accentuată datorită reducerii cantității de apă necesare obținerii aceleași tasări.**

- **Betoanele conținând cimenturi cu zgură tind să separe apa mai mult decât betoanele preparate cu ciment Portland, dar fără efecte negative în ceea ce privește segregarea.**

- **Zgurile “mai fine” decât cimentul reduc separarea apei.**

- **Utilizarea prafului de silice reprezintă o metodă eficientă de reducere a segregării și separării apei.**

- **Cantitatea de aditivi antrenori de aer din amestec cerută pentru a obține un conținut specificat de aer antrenat este mai mare în cazul utilizării cimenturilor cu cenuși.**

- **Zgura are efecte variabile în ceea ce privește cantitatea necesară de aditivi antrenori de aer pentru obținerea unui anumit conținut de aer antrenat în amestec.**

- **Praful de silice are o influență mare asupra necesarului de aditivi antrenori de aer, necesar care crește rapid funcție de cantitatea de praf de silice.**

Concluzia este că **atât cenușile cât și praful de silice vor reduce cantitatea de aer oclus, în cazul betoanelor care nu au în compoziție aer antrenat.**

Cantitatea de aditivi antrenori de aer cerută pentru un anumit conținut de aer din beton este funcție de finețe, de conținutul de carbon, de alcali, de materiale organice, de pierderea la calcinare și de prezența impurităților în cenușă.

• **În general proporțiile de aer antrenat și aer oclus ale betonului conținând ciment cu zgură nu diferă de ale betonului preparat cu ciment Portland.**

#### Căldura de hidratare

• **Cenușile, puzzolanele naturale și zgurile au o căldură de hidratare mai redusă decât cea a cimenturilor Portland. În consecință, utilizarea cimenturilor care au în componență aceste adaosuri va conduce la reducerea cantității de căldură degajată în cazul realizării unei anumite structuri de beton.**

În mod evident acest lucru este benefic în cazul turnării elementelor masive.

#### Timpul de priză

• **Utilizarea cimenturilor cu cenuși și zgură de furnal conduce în general la întârzierea prizei betonului, la aceeași finețe de măcinare, față de utilizarea cimentului Portland fără adaosuri.**

Gradul de întârziere depinde de mai mulți factori cum ar fi:

- dozajul de ciment cu adaosuri;
- necesarul de apă;
- tipul de reactivitate a zgurii;
- temperatura betonului.

• **Întârzierea prizei este un avantaj în cazul turnării betonului în condiții de temperatură ridicată. În cazul turnării în condiții de temperatură scăzută trebuie să se utilizeze aditivi acceleratori de priză pentru a preîntâmpina efectele neplăcute datorate întârzierii prizei.**



#### Pompabilitate

**Utilizarea adaosurilor în cimenturi ajută în general la pompabilitatea betoanelor.**

### Finisarea suprafeței

**Betonul conținând cimenturi cu adaosuri (în dozaje sub 400 kg/m<sup>3</sup>) va putea fi în general la fel de bine sau chiar mai bine finisat față de betonul preparat cu cimenturi fără adaosuri.**

O atenție specială se va acorda finisării betonului conținând cantități mai mari de praf de silice.

### Fisurarea dată de contracție

Din cauza tendinței reduse de separare a apei în betonul conținând praf de silice crește pericolul fisurării din contracție plastică. Problema poate fi evitată prin protejarea betonului împotriva uscării înainte și după tratarea betonului.



**Alte puzzolane sau zgurile au în general un efect redus asupra fisurării date de contracție.**

**Materialele cimentoide care cresc substanțial timpul de priză pot conduce și la creșterea riscului fisurării datorat contracției.**

### Tratarea betonului

Efectul condițiilor de temperatură și umiditate asupra proprietăților de priză și de dezvoltare a rezistențelor betonului conținând materiale cimentoide suplimentare sunt similare cu efectele pe care le produc asupra betonului preparat numai cu ciment Portland. Totuși, **în cazul în care se utilizează materiale la care rezistențele inițiale ale betonului se ating mai greu, durata tratării betonului trebuie prelungită.**

• **O tratare adecvată a tuturor tipurilor de betoane și în special a celor care conțin cimenturi cu adaosuri va începe imediat după finisare.**

• **O tratare umedă de șapte zile este indicată pentru majoritatea cazurilor. Tratarea betonului la temperaturi scăzute poate conduce la scăderea valorilor rezistențelor la vârste timpurii față de cele obținute prin tratarea betonului la temperaturi normale.**



## 2.2. Efectele asupra betonului întărit

### Rezistențele betonului

Cenușa, zgura și alte materiale cimentoide contribuie la dezvoltarea rezistențelor în beton. Variația rezistenței betonului preparat cu astfel de cimenturi cu adaosuri este destul de mare, rezistența putând fi mai mare sau mai mică decât rezistența betonului utilizând ciment Portland.

**În general betonul ce conține cimenturi cu procente ridicate de adaosuri înregistrează creșteri mai mari de rezistență după 28 de zile față de betonul preparat numai cu ciment Portland.**

În figura 2.2 se poate observa variabilitatea rezistențelor și a evoluției acestora pentru betoane preparate cu ciment Portland, respectiv a betoanelor ce au în compoziție diferite tipuri de cimenturi cu cenușă.

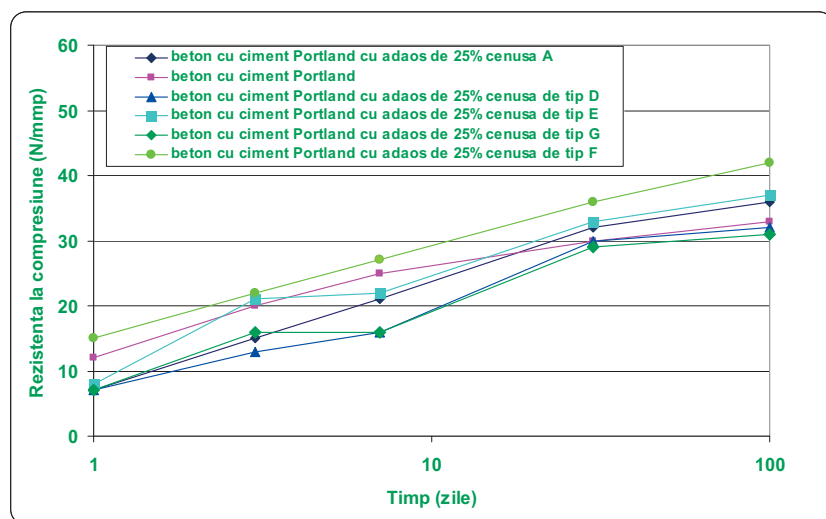


Figura 2.2 – Evoluția în timp a rezistenței betonului

Rezistența la întindere, încovoiere, torsiune, precum și aderența beton-armătură sunt afectate în aceeași manieră ca și rezistența la compresiune.

• Din cauza unei scăzute reacții puzzolanice a unor materiale cimentoide, **tratarea betonului preparat cu cimenturi cu adaosuri (în ceea ce privește umiditatea și temperatura) trebuie efectuată o perioadă mai lungă de timp decât în cazurile betoanelor preparate numai cu ciment Portland.**

Dezvoltarea rezistențelor betonului cu cimenturi cu cenușă / zgură este similară cu cea a betonului preparat numai cu ciment Portland, când betonul este tratat la temperaturi în jur de 23°C. În figura 2.3 se prezintă evoluția rezistenței betonului cu ciment cu cenușă.



- Se observă că **până la 28 de zile evoluția rezistenței betonului este practic aceeași cu a betoanelor preparate cu ciment Portland.** Unele betoane preparate cu cenuși foarte reactive sau cu zgură pot atinge aceleași rezistențe sau chiar mai mari decât cele ale betoanelor preparate cu ciment Portland de la 1 la 28 de zile /9/.

- Din figura 2.3 se observă **o creștere mai rapidă a rezistențelor după 28 de zile ale betoanelor cu cimenturi cu cenușă decât în cazul betoanelor preparate cu ciment Portland.**

- **Evoluția rezistențelor în timp poate fi influențată prin:**

- **utilizarea de adaosuri ce ating rezistențe mari la vârste mici;**
- **scăderea raportului A/C;**
- **creșterea temperaturii de tratare;**
- **utilizarea aditivilor acceleratori.**

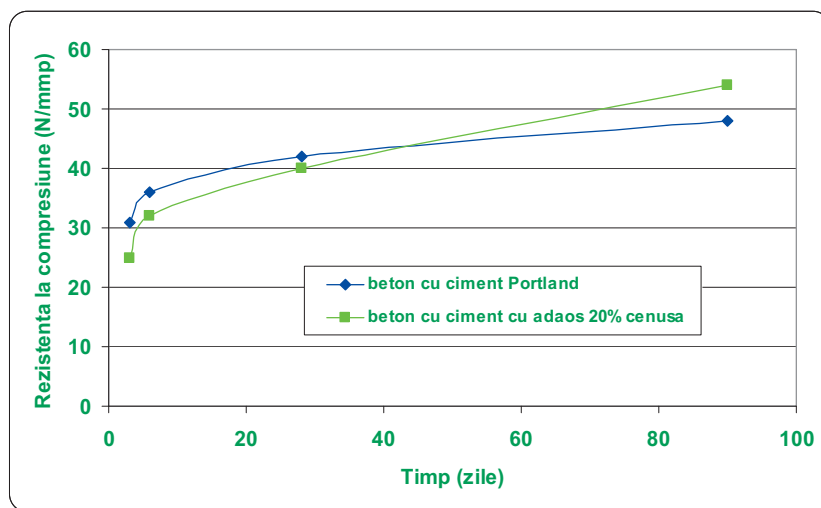


Figura 2.3 - Rezistența la compresiune pentru betoane tratate la 4°C în primele 24 de ore și la 23°C restul perioadei

Evoluția rezistențelor în timp și “întârzierea” atingerii unor rezistențe în cazul utilizării adaosurilor în cimenturi nu constituie întotdeauna un dezavantaj. Acest aspect se transformă într-un avantaj în cazul turnării betonului pe timp călduros, conducând la mărirea timpului de punere în operă și de finisare a betonului.

Având de asemenea în vedere că structura construcției nu este pusă în “serviciu” după 28 de zile, rezistența betonului în momentul în care structura este “încărcată” la valorile proiectate, va fi mai mare decât cea la care a fost proiectată (clasa betonului fiind



caracterizată prin rezistența la 28 de zile).

De evoluția în timp a rezistențelor betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi trebuie să se țină seama și în cazul altor operații tehnologice specifice betonului, cum ar fi decofrarea elementelor. Termenele de decofrare depind în mare măsură de viteza de întărire a betoanelor.

#### Rezistența la impact și abraziune

• Rezistența la impact și abraziune a betonului este legată de rezistența la compresiune și de tipul agregatelor. **Betonul conținând cimenturi cu cenușă are, după unii cercetători, aceeași rezistență la abraziune ca betonul ce conține ciment Portland. Rezistența la abraziune este o funcție a rezistenței la compresiune.**



#### Rezistența la îngheț-dezgeț

Pentru dezvoltarea rezistenței la deteriorările produse de ciclurile de îngheț-dezgeț, este esențial ca betonul să aibă o anumită rezistență la compresiune și un conținut adecvat de aer antrenat.

• **Pentru ca betoanele ce conțin cimenturi cu anumite procente de adaosuri să aibă aceeași rezistență la îngheț-dezgeț cu betoanele ce conțin numai ciment Portland, acestea trebuie să îndeplinească următoarele condiții:**



- să aibă aceeași rezistență la compresiune;
- să aibă un conținut adecvat de aer antrenat;
- trebuie să fie uscate în aer cel puțin o lună înainte să fie saturate și expuse la cicluri de îngheț-dezgeț;
- creșterea procentului de materiale cimentoide poate conduce la o scădere a rezistenței la îngheț-dezgeț.

#### Rezistența la agenți de dezghețare

Cercetările experimentale și constatările comportării în timp a unor structuri din beton conținând anumite dozaje normale de cenuși zburătoare sau zgură de furnal în cimenturi, supuse unor medii cu



îngheț-dezgeț și acțiunii agenților de dezghețare, au demonstrat o comportare corespunzătoare a acestora. Cercetările de laborator au indicat de asemenea că **betioanele ce conțin cimenturi cu adaosuri pot avea în cele mai multe cazuri rezistențe egale la acțiunea agenților de dezghețare cu cele ale betoanelor cu ciment Portland.**

- **Rezistența la aceste tipuri de acțiuni poate scădea în cazul creșterii procentului de materiale cimentoide. Important pentru o bună rezistență la aceste tipuri de acțiuni este alegerea corespunzătoare a compoziției, o bună punere în operă și tratare a betonului.**

- **Rezistența la agenții de dezghețare pentru toate tipurile de betoane este în mod substanțial îmbunătățită dacă se respectă următoarele condiții:**

- **se utilizează un raport A/C redus;**



- **se utilizează un dozaj moderat de ciment;**

- **se prevede un conținut adecvat de aer antrenat;**

- **tratarea betonului se face corespunzător;**

- **se menține betonul o perioadă minimă de timp în aer uscat înainte de a fi expus la îngheț-dezgeț și agenți de dezghețare.**

#### **Contrația și curgerea lentă**

- **Când se utilizează în cantități reduse, efectul cenușilor de termocentrală, a zgurilor din cimenturi și prafului de silice asupra contracției și curgerii lente a betonului este redus. Incluse în cantități mai mari, aceste adaosuri determină accentuarea contracției.**

#### **Permeabilitatea și absorbția**

- **Cu o tratare adecvată, betonul conținând cimenturi cu cenușă de termocentrală, zgură de furnal și puzzolane naturale prezintă permeabilitate și absorbție reduse.**

Cercetările de laborator au indicat că **permeabilitatea betonului se reduce cu creșterea cantității de materiale cimentoide hidratate și cu descreșterea raportului A/C. Absorbția betonului cu cimenturi cu cenuși este aproximativ aceeași cu a betonului preparat cu ciment fără adaosuri, deși anumite cenuși pot reduce absorbția cu 20% sau chiar mai mult.**

#### **Reactivitatea alcalii-agregate**

**Reactivitatea alcalii-agregate poate fi controlată prin utilizarea unor adaosuri (materiale cimentoide).**

Clasificarea cenușilor de termocentrală dată în ASTM C 618-94a /10/

se face funcție de tipul de cărbune din care provine cenușa.

Astfel cenușile de tip F provin din cărbuni bituminoși și sunt în general silicioase, iar cele de tip C provin din cărbuni sub-bituminoși și lignit și sunt bogate în CaO. Activitatea puzzolanică a cenușilor de clasă F este clară și depinde de finețea de măcinare.

• **Cimenturile cu cenuși din clasa F pot reduce reactivitatea, respectiv expansiunea, până la 70% sau mai mult în unele cazuri.**

Suplimentar, materialele cimentoide produc și silicat de calciu hidratat, care leagă chimic alcaliile în beton. Determinarea cantităților suplimentare (optime) de materiale cimentoide care să maximizeze reducerea reactivității se face pe bază de teste de laborator (de exemplu ASTM C1260 /11/, ASTM C1293 /12/, AASHTO 303/13/ etc.).

• **Adaosurile din cimenturi care reduc reacțiile alcalii-silice nu vor reduce reacțiile alcalii-carbonați.**

#### Rezistența la sulfatați

**Printr-o proporționare și selectare adecvate ale adaosurilor din cimenturi poate fi îmbunătățită rezistența betonului la sulfatați și la atacul apei de mare.**

Această caracteristică este dată în primul rând prin reducerea permeabilității și a conținutului de elemente reactive (cum ar fi calciu) necesare pentru reacțiile expansive sulfatice.

• **Unii cercetători consideră că un ciment cu 20% cenușă de clasa F este optim pentru îmbunătățirea rezistenței la sulfatați (un exemplu de cenușă silico-aluminoasă de tip F este cenușa de Mintia).**

• **Betoanele cu cimenturi cu cenușă din clasa F sunt mai rezistente la sulfatați decât cele preparate cu cenușa de clasa C.**

• **Zgura de furnal este în general considerată ca având un rol pozitiv în medii sulfatice.** Unele studii de lungă durată, desfășurate în medii foarte severe, au demonstrat că betonul conținând cimenturi cu zgură este cu puțin mai rezistent decât cel preparat numai cu ciment Portland. Una din cauzele acestei comportări a fost considerată ca fiind proiectarea necorespunzătoare a amestecului.

• **Multe studii indică însă faptul că betonul cu ciment cu zgură are o**



**rezistență la sulfați egală cu a betonului preparat cu cimenturi rezistente la sulfați.**

### Coroziunea armăturilor

Adaosurile din cimenturi reduc riscul coroziunii armăturii prin reducerea permeabilității betonului bine tratat, la apă, aer și ioni de clor.

• **Cenușa din ciment poate reduce în mod semnificativ penetrarea ionilor de clor. Betonul conținând praf de silice scade în mod substanțial permeabilitatea și penetrarea ionilor de clor și de asemenea crește permeabilitatea electrică, reducând astfel reacțiile electrochimice care provoacă coroziunea.**

• **Din această cauză, betoanele cu praf de silice se utilizează la poduri, parkinguri, garaje etc., având în vedere că aceste structuri sunt foarte vulnerabile la coroziunea datorată clorului.**



### Carbonatarea betonului

Carbonatarea betonului este un fenomen prin care dioxidul de carbon din aer penetrează betonul și reacționează cu hidroxizii, cum ar fi hidroxidul de calciu pentru a forma carbonații. În reacția cu hidroxidul de calciu se formează carbonatul de calciu.

• **Carbonatarea reduce alcalinitatea betonului.** Alcalinitatea ridicată a betonului este necesară pentru protejarea armăturii din oțel împotriva coroziunii, în consecință **betonul trebuie să fie rezistent la carbonatare pentru a preveni coroziunea oțelului beton.**

• **Gradul de carbonatare a betonului crește în următoarele cazuri:**

- raport A/C ridicat;
- dozaj mic de ciment;
- perioada scurtă de tratare, etc.

**În asemenea cazuri, betonul este permeabil și poros, iar carbonatarea este rapidă.**

• **La dozele normale cenușa din ciment conduce la o ușoară creștere a carbonatării, dar în general nesemnificativă în betonul supus unor medii normale.**



Problematica carbonatării betoanelor cu cimenturi cu adaosuri este deosebit de importantă din mai multe motive. Unul din motive este faptul că

acest fenomen apare atât în medii “normale” cât și agresive, putând afecta grav durabilitatea betoanelor armate.

În același timp, în lume, ca și în România utilizarea cimenturilor cu adaosuri se face pe scară din ce în ce mai largă. Din aceste motive se efectuează numeroase studii pe plan mondial. Concluziile acestor cercetări experimentale nu sunt întotdeauna convergente.

Se prezintă în continuare câteva din concluziile trase de cei mai cunoscuți specialiști din domeniu pe plan mondial. Neville /4/ în capitolul “Durabilitatea betonului” face o analiză a acestui fenomen.

Cimenturile cu cenușă, datorită silicei reacționează cu  $\text{Ca(OH)}_2$  care rezultă din hidratarea cimentului Portland. După întărire, cimentul cu cenușă conține o cantitate mai mică de  $\text{Ca(OH)}_2$  față de cimenturile Portland, fiind în consecință necesară o cantitate mai mică de  $\text{CO}_2$ , pentru transformarea  $\text{Ca(OH)}_2$  în  $\text{CaCO}_3$ .

• **S-a demonstrat că adâncimea de carbonatare este mai mare când cantitatea de  $\text{Ca(OH)}_2$  este mai mică. Acesta ar fi un argument că fenomenul de carbonatare este mai accentuat la betoanele preparate cu cimenturi conținând cenuși.**

Pe de altă parte ca urmare a reacției puzzolanice între  $\text{SiO}_2$  și  $\text{Ca(OH)}_2$  se produce o structură mai dură a pietrei de ciment, astfel încât difuzitatea ei este redusă și carbonatarea încetinită. Autorul își pune întrebarea care este efectul mai preponderent?

În acest caz intervine calitatea păstrării și tratării betonului pentru ca reacția puzzolanică să aibă loc. **În cazul tratării necorespunzătoare a betonului, efectul carbonatării este mai accentuat la betoanele preparate cu cimenturi cu cenuși.**

• **Totuși studiile au evidențiat faptul că în cazul în care conținutul de cenușă nu depășește 30%, iar rezistențele betonului obținut sunt mai mari de  $35 \text{ N/mm}^2$ , nu se înregistrează creșteri mari ale carbonatării.**

Utilizarea zgurii impune chiar mai imperios necesitatea unei tratări corespunzătoare. **Betonul care conține cimenturi cu zgură, după un an de păstrare, poate atinge adâncimi de carbonatare de 10-20 mm. Și în aceste cazuri studiile au indicat că, dacă conținutul de zgură este sub 50%, iar**



**betonul este în contact cu CO<sub>2</sub> la o concentrație de 0,03%, are loc doar o creștere limitată a carbonatării.**

• **Cimenturile rezistente la sulfați conduc la o carbonatare mai accentuată a betonului** în componența căruia intră, cu valori chiar cu 50% mai mari. Din această cauză este necesară, în cazul betoanelor armate, preparate cu aceste tipuri de cimenturi, o sporire a grosimii stratului de acoperire cu beton a armăturii.

La concluzii asemănătoare privind carbonatarea betoanelor preparate cu cimenturi cu cenuși de termocentrală ajunge și A. Desdevises în cartea sa "Durabilitatea betonului" /2/. Acesta mai precizează suplimentar că investigațiile efectuate pe construcții vechi (între 20 și 40 de ani) au condus la concluzia că **betoanele conținând cimenturi cu cenuși sau zgură carbonatază de două ori mai repede decât betoanele cu ciment Portland**. Acest aspect s-ar datora unei tratări inițiale necorespunzătoare a betonului.

Analiza rezultatelor în ceea ce privește influența adaosurilor minerale din cimenturi asupra carbonatării poate fi interpretată în funcție de structura microporoasă a betonului și de porozitate. Carbonarea portlanditei conduce la formarea de carbonat de calciu.

În fond disoluția cristalelor pastei de ciment întărite este implicată în reacția de carbonatare. Aceasta conduce la o "relaxare" a deformațiilor și produce o contracție.

• **Carbonatarea modifică distribuția și întărirea porilor și reduce porozitatea cimentului hidratat.** Măsurarea porozității arată că această "contracție" se produce la nivelul porilor de dimensiuni mici. Aceasta conduce la ameliorarea porozității și la creșterea rezistenței la compresiune a stratului superficial carbonatat. **Carbonatarea betoanelor cu cimenturi cu cenuși corespunde unei modificări a porozității stratului carbonatat.**

• **Se poate concluziona că porozitatea și carbonatarea variază în același sens. Din acest motiv betoanele de înaltă performanță au o carbonatare redusă.** Tot legat de fenomenul de carbonatare se prezintă un studiu efectuat în Australia /6/.

Cercetările au indicat ca valoarea carbonatării "Ca" obținută prin teste accelerate poate fi pusă în relație cu carbonatarea indusă în medii naturale de expunere, "Cn" cu ajutorul a doi factori  $\alpha$  și  $\beta$ , astfel:

$$Ca = \alpha \beta Cn$$

Factorul  $\alpha$  ține seama de diferitele valori ale concentrației de CO<sub>2</sub> în aceleași condiții de temperatură și umiditate. Factorul  $\beta$  corelează condițiile de mediu din laborator cu cele naturale.

Cercetările au indicat că  $\alpha$  poate fi considerat ca având valoarea de 7,2 la 23° C și 50% umiditate relativă.

Valoarea factorului  $\beta$  nu a fost încă determinată pe baza unor studii de lungă durată, dar după un an de cercetări s-a constatat că pentru condițiile naturale din Melbourne, carbonatarea a fost cu cca. 30% - 55% mai mică

decât cea obținută pe probele din laborator.

Influența tratării / păstrării și a diferitelor materiale utilizate este prezentată în figura 2.4.

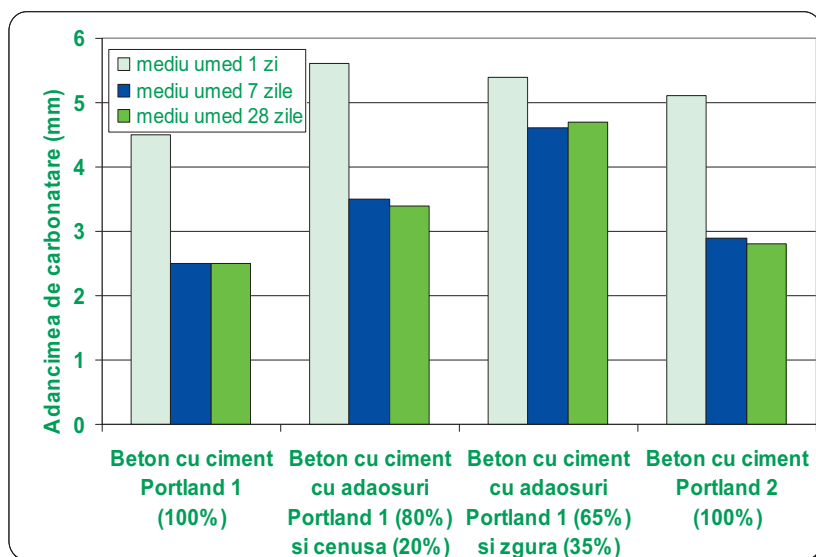
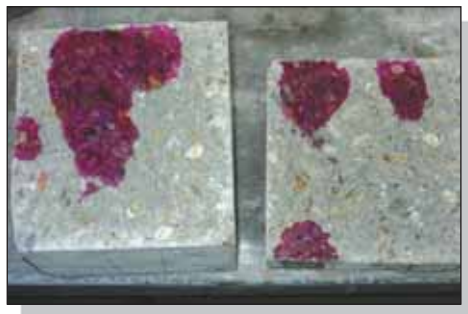


Figura 2.4 – Influența tratării inițiale a betonului și a tipurilor și procentelor de adaosuri în ciment asupra vitezei de carbonatare a betoanelor (valori ale adâncimii de carbonatare determinate la vârsta de 1 an)



Testele au fost efectuate cu betoane preparate numai cu ciment Portland C1 și C2 precum și cu cimenturi cu adaosuri 20% cenușă și respectiv 35% zgură.

• **Se poate observa că viteza de carbonatare a betoanelor preparate cu cimenturi Portland este mai mică decât cea a betoanelor preparate cu cimenturi cu adaosuri. Creșterea menținerii umede a betonului de la 1 la 7 zile reduce viteza de carbonatare.**



- **Prelungirea duratei de păstrare de la 7 la 28 de zile nu mai influențează practic viteza de carbonatare.**

Aceste rezultate scot în evidență influența adaosurilor și duratei de tratare asupra vitezei de carbonatare a betoanelor.

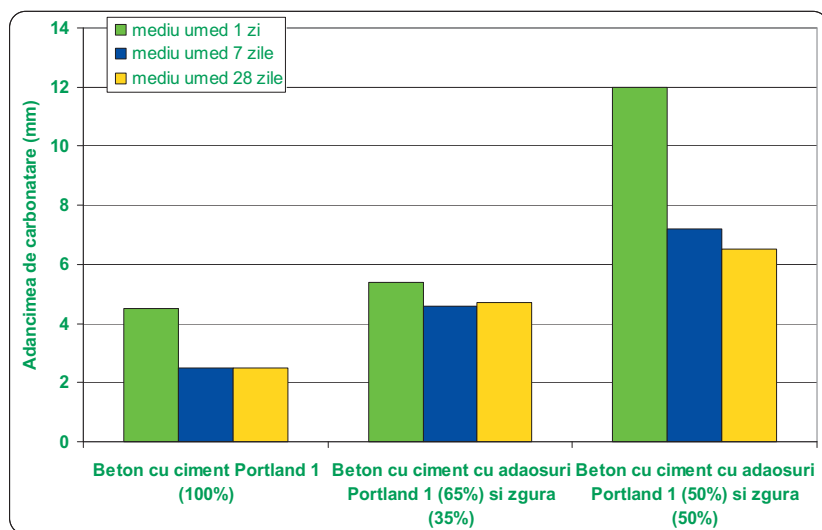


Figura 2.5 – Influența tratării inițiale a betonului și a tipurilor și procentelor de adaos în ciment (zgură) asupra vitezei de carbonatare a betoanelor (valori ale adâncimii de carbonatare determinate la vârsta de 1 an)

- **Creșterea conținutului de zgură din ciment de la 35% la 50% conduce la o creștere semnificativă a vitezei de carbonatare** (accelerată în condiții de laborator) de la 5,9 la 12,0 mm pe an (figura 2.5). La o asemenea viteză de carbonatare trebuie luate măsuri speciale privind tratarea și creșterea grosimii stratului de acoperire cu beton a armăturilor.

- **Prezența clorurilor asociată cu carbonatarea crește viteza de coroziune.**

- **Se constată variații ale carbonatării funcție de procentul de materiale de adaos din cimenturi.** În cantități mici, prezența acestora în beton conduce la o creștere mică a carbonatării betoanelor.

- **În cazul procentelor mari de adaosuri din cimenturi viteza de carbonatare poate crește semnificativ.**

- **Coroziunea armăturilor datorată carbonatării este influențată de mediul de expunere și în special de umiditate.**



**În toate cazurile și în special pentru betoanele preparate cu cimenturi care conțin cantități mari de adaosuri este deosebit de important să se utilizeze rapoarte A/C cât mai scăzute și o tratare prelungită a betoanelor după turnare.** În cazul respectării în principal a acestor cerințe, betoanele prezintă o viteză de carbonatare corespunzătoare, fapt dovedit de rezultatele cercetărilor experimentale desfășurate la INCERC pentru betoane preparate cu **CARPATCEMENT® CEM II/B-M 32,5R, CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R, CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R** prezentate în capitolul 4.

#### **Rezistența la agenți chimici**

**Adaosurile din cimenturi reduc în general efectele atacului chimic asupra betoanelor, prin reducerea permeabilității betonului.**

Deși multe din aceste materiale îmbunătățesc rezistența chimică, ele nu fac betonul imun la aceste atacuri. În multe cazuri este nevoie de metode de protecție secundară împotriva atacului chimic.

Considerațiile teoretice efectuate în acest capitol stau la baza recomandărilor privind utilizarea cimenturilor funcție de condițiile de expunere, prezentate la capitolul 3 și a metodei propuse de autor privind alegerea cimenturilor, metodă prezentată în Anexa 3.1.

În Anexa 2.1 se prezintă tipuri de cimenturi uzuale, o parte din acestea fiind în fabricație curentă în țară.



## ANEXA 2.1

### TIPURI DE CIMENT

Tip	Tip ciment	Adaos	
		%	Tip
<b>CEM I</b>	Ciment Portland	-	-
<b>CEM II/A-M</b>	Ciment Portland compozit	6÷20	amestec de : zgură, silice, cenușă, puzzolană, șist, calcar
<b>CEM II/A-S</b>	Ciment Portland cu zgură		zgură granulată de furnal
<b>CEM II/A-V</b>	Ciment Portland cu cenușă		cenușă zburătoare silicioasă
<b>CEM II/A-W</b>	Ciment Portland cu cenușă		cenușă zburătoare calcica
<b>CEM II/A-P</b>	Ciment Portland cu puzzolană naturală		puzzolană naturală
<b>CEM II/A-L</b>	Ciment Portland cu calcar		calcar
<b>CEM II/A-LL</b>	Ciment Portland cu calcar		calcar
<b>CEM II/A-Q</b>	Ciment Portland cu puzzolană		puzzolană naturală calcinată
<b>CEM II A-T</b>	Ciment Portland cu șist calcinat		șist calcinat
<b>CEM II/A-D</b>	Ciment Portland cu silice ultrafină	6÷10	silice ultrafină
<b>CEM II/B-M</b>	Ciment Portland compozit	21÷35	amestec de : zgură, silice, cenușă, puzzolană, șist, calcar
<b>CEM II/B-S</b>	Ciment Portland cu zgură		zgură granulată de furnal
<b>CEM II/B-P</b>	Ciment Portland cu puzzolană naturală		puzzolană naturală
<b>CEM II/B-L</b>	Ciment Portland cu calcar		calcar
<b>CEM II/B-LL</b>	Ciment Portland cu calcar		calcar
<b>CEM II/B-V</b>	Ciment Portland cu cenușă zburătoare		cenușă zburătoare silicioasă
<b>CEM II/B-W</b>	Ciment Portland cu cenușă zburătoare		cenușă zburătoare calcica
<b>CEM II/B-Q</b>	Ciment Portland cu puzzolana		puzzolana calcinată
<b>CEM II/B-T</b>	Ciment Portland cu șist calcinat		șist calcinat
<b>CEM III/A</b>	Ciment de furnal	36÷65	zgură granulată de furnal
<b>CEM III/B</b>	Ciment de furnal	66÷80	zgură granulată de furnal
<b>CEM III/C</b>	Ciment de furnal	81÷95	zgură granulată de furnal
<b>CEM IV/A</b>	Ciment puzzolanic	11÷35	puzzolană și cenușă
<b>CEM IV/B</b>	Ciment puzzolanic	36÷55	puzzolană și cenușă
<b>CEM V/A</b>	Ciment compozit	18÷30	amestec de zgură granulată de furnal, puzzolană, cenușă
<b>CEM V/B</b>	Ciment compozit	31÷50	amestec de zgură granulată de furnal, puzzolană, cenușă

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

Tip	Tip ciment	Adaos	
		%	Tip
<b>H I</b>	Ciment fără adaos	-	-
<b>H II A-S</b>	Ciment cu zgură	6÷20	zgură granulată de furnal
<b>H II B-S</b>		21÷35	
<b>H III A</b>		36÷65	
<b>SR I</b>	Ciment fără adaos	-	-
<b>SR II A-S</b>	Ciment cu zgură	6÷20	zgură granulată de furnal
<b>SR II A-P</b>	Ciment cu puzzolană	6÷20	puzzolană naturală
<b>SR II B-S</b>	Ciment cu zgură	21÷35	zgură granulată de furnal
<b>SR III A</b>	Ciment cu zgură	36÷65	

Nota: În conformitate cu SR EN 197-1/2002, cimenturile cu rezistența inițială uzuală se notează cu N, iar cele cu rezistența inițială mare cu R.

### 3. APLICAREA CLASELOR DE DURABILITATE A BETONULUI LA PROIECTAREA, EXECUȚIA ȘI INVESTIGAREA STRUCTURILOR DIN BETON. PREZENTAREA CONCEPTULUI DE CLASA DE DURABILITATE

Clasa de durabilitate reprezintă un concept nou, original care va putea avea o contribuție importantă la realizarea obiectivului privind asigurarea durabilității construcțiilor din beton armat în toate fazele de realizare a acestora (concepție, proiectare, execuție).

De asemenea se va realiza o legătură mai strânsă între cerințele de rezistență și de durabilitate ale betonului în abordarea tuturor etapelor de viață a construcțiilor din beton armat.

#### ***Definirea clasei de durabilitate***

Clasa de durabilitate se notează cu litera **D** urmată de două numere: primul număr (**z**) simbolizează combinațiile claselor de expunere specifice unei anumite construcții, amplasate într-un anumit mediu iar cel de-al doilea (**y**) reprezintă clasa betonului caracterizată prin rezistența caracteristică la compresiune determinată pe cuburi cu latura 150 mm.

Clasa de rezistență reprezintă valoarea maximă dintre valorile determinate din condiții de rezistență și respectiv din condițiile impuse de un anumit mediu de expunere.

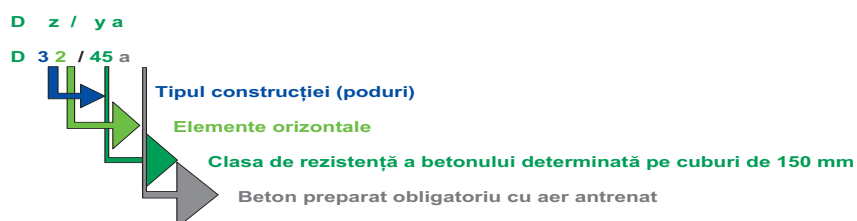
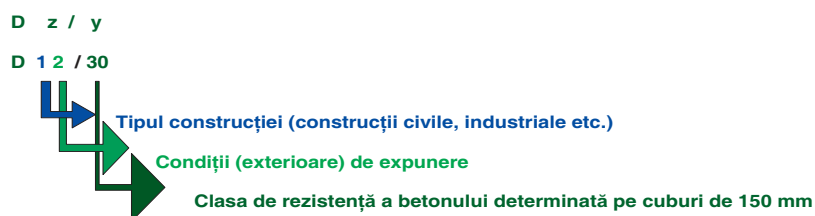
Rezultă deci o notație simbolizată **D z/y** în care z și y au semnificațiile prezentate anterior.

La această notație a clasei de durabilitate se mai adaugă în unele cazuri litera a care simbolizează faptul că în compoziția betonului este obligatorie utilizarea aditivilor antrenori de aer pentru a îmbunătăți rezistența la îngheț-dezghet (D z/ya). În general utilizarea aditivilor este obligatorie și se face în conformitate cu normele specifice de producere a betonului inclusiv Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1.

După cum se știe clasa de rezistență a betonului se notează **C x/y**, în care x reprezintă rezistența caracteristică la compresiune a betonului determinată pe cilindri cu dimensiunile 150 x 300 mm, iar y rezistența caracteristică la compresiune a betonului determinată pe cuburi cu latura de 150 mm.

Se poate observa că cele două notații pentru clasele de rezistență și durabilitate păstrează un element comun (de legătură) și anume rezistența caracteristică la compresiune care se determină pe cub, simbolizată cu y.

Exemplu de notare:



### 3.1. Aplicarea claselor de durabilitate la proiectarea structurilor din beton armat

În acest capitol se vor descrie pe larg modalitățile și de asemenea avantajele aplicării claselor de durabilitate la proiectarea elementelor și structurilor din beton armat.

Clasele de durabilitate reprezintă în fond un concept nou bazat pe aplicarea ultimelor reglementări europene de proiectare (SR EN 1992 - Eurocodul 2, Calculul structurilor din beton armat), de producere a betonului (SR EN 206-1), sau de execuție a structurilor din beton SR ENV 13670-1 (figura 3.1).

Se poate observa din figura 3.1 că la nivelul reglementărilor europene s-a creat o interdependență între standardele specifice tuturor etapelor necesare realizării construcțiilor din beton armat. Pe această linie a fost construit conceptul privind clasele de durabilitate și aplicat în diferite etape reprezentative, la proiectarea, execuția și evaluarea structurilor din beton armat.

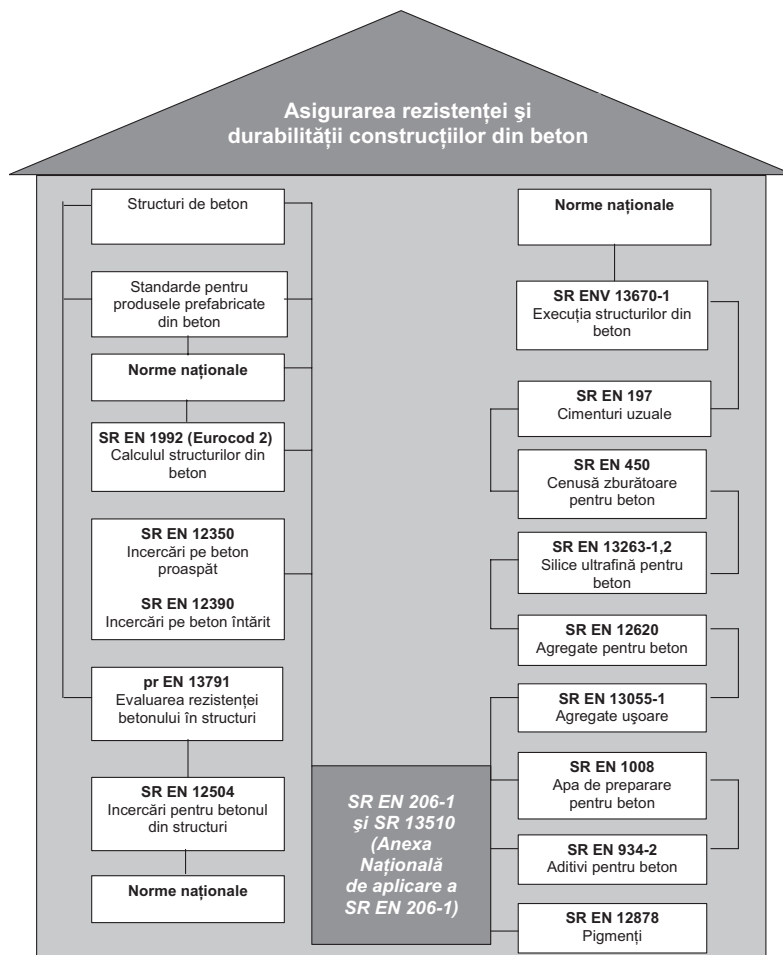
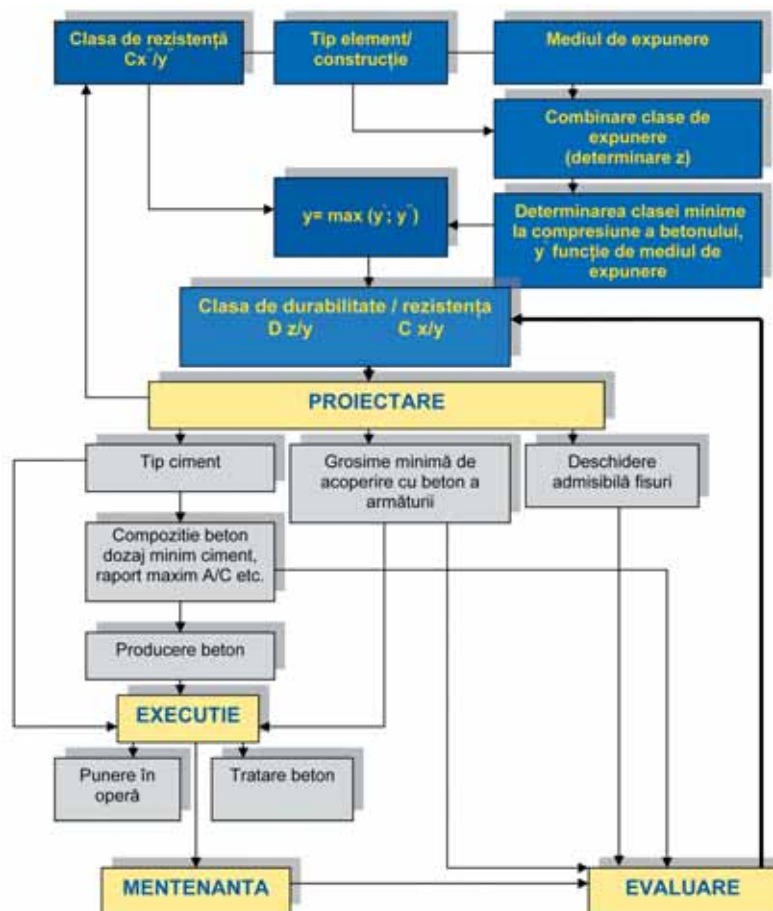


Figura 3.1 - Relații între SR EN 206-1, Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1, standardele și normele de concepție și execuție, standardele referitoare la materialele componente și standardele de încercări ale betonului

Metodologia de aplicare a claselor de durabilitate la proiectarea și evaluarea elementelor și structurilor din beton armat este prezentată în figura 3.2, care reprezintă în fapt prezentarea schematică a conceptului.

Metodologia prezentată se bazează în special pe prevederile Anexei Naționale de aplicare a standardului SR EN 206-1 elaborată de autor.

Această Anexă Națională a fost elaborată pe baza cercetărilor experimentale desfășurate la **INCERC**, o parte din rezultatele cercetărilor sunt prezentate în capitolul 4 în ceea ce privește caracteristicile betonului întărit (preparat cu diferite tipuri de cimenturi) și evoluția în timp a acestora, în diferite medii de expunere.



*x - rezistența caracteristică la compresiune a betonului determinată pe cilindri de 150 mm diametru și 300 mm înălțime; y - rezistența caracteristică la compresiune a betonului determinată pe cuburi cu latura de 150 mm; z - notație ce simbolizează un anumit tip de element/structură expus într-un mediu specific.*

Figura 3.2 - Metodologia de aplicare a claselor de durabilitate

Se poate observa că metodologia se bazează pe “combinarea claselor de rezistență și durabilitate”, precum și pe considerarea unor măsuri complexe care să conducă la asigurarea durabilității în fazele de proiectare și execuție a structurilor.

Pentru fiecare din clasele de durabilitate se definesc condiții și cerințe precise la:

- **proiectare**

- clasa minimă de rezistență;
- grosimea stratului de acoperire cu beton a armăturilor;
- deschiderea admisibilă a fisurilor etc.



- **execuție**

- alegere tip ciment;
- producere beton;
- punere în operă;
- tratare beton.

- **mentenanța**

- decizia privind măsurile necesare unei mentenanțe adecvate funcție de tipul de construcție și de mediu îi aparține proiectantului.



***Această metodologie “obligă” la respectarea de către toți factorii care contribuie la realizarea structurilor din beton armat a măsurilor necesare asigurării durabilității elementelor și structurilor de beton armat.***

Se vor prezenta exemple concrete de aplicare a acestei metodologii.

Unul din aspectele importante pentru aplicarea acestei metode este de “combinare” a mediilor de expunere tocmai în vederea definirii lui  $z$  din expresia clasei de durabilitate  $D z/y$ .

În tabelul 3.1 se prezintă clasele de expunere în conformitate cu prevederile Standardului SR EN 206-1 cu anumite completări în ceea ce privește exemplele privind alegerea claselor de expunere precum și cu adăugarea

clasei de expunere XM propusă în Documentul Național german de aplicare a standardului european, preluată și în Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1.



Standardul SR EN 206-1 definește diferite clase de expunere în funcție de mecanismele de degradare ale betonului. Notația utilizată pentru distingerea acestor clase este formată din două litere și o cifră.

Prima literă este **X** (e**X**posure) urmată de o alta care se referă la mecanismul de degradare considerat:

**C** de la **C**arbonation / Carbonatare

**D** de la **D**eicing Salt / Sare pentru dezgheț

**S** de la **S**eawater / Apă de mare

**F** de la **F**rost / Îngheț

**A** de la **A**ggressive environment / Agresivitate chimică

**M** de la **M**echanical abrasion / Atac mecanic.

A doua literă este urmată de o cifră care se referă la o caracteristică susceptibilă de a avea o influență importantă asupra mecanismului de degradare și anume umiditatea.

Tabelul 3.1 - Clase de expunere

Denumirea clasei	Descrierea mediului înconjurător	Exemple informative ilustrând alegerea claselor de expunere
<b>1. Nici un risc de coroziune sau atac</b>		
<b>X0</b>	Beton simplu și fără piese metalice înglobate. Toate expunerile, cu excepția cazurilor de îngheț-dezgheț, de abraziune și de atac chimic	Beton de umplutură / egalizare
<b>2. Coroziunea datorată carbonatării</b>		
Când betonul care conține armături sau piese metalice înglobate, este expus la aer și umiditate, expunerea trebuie clasificată în modul următor:  NOTĂ - Condițiile de umiditate luate în considerare sunt cele din betonul ce acoperă armăturile sau piesele metalice înglobate, dar în numeroase cazuri, această umiditate poate fi considerată că reflectă umiditatea ambiantă. În acest caz o clasificare fondată pe diferite medii ambiante poate fi acceptabilă. Situația nu poate fi aceeași dacă există o barieră între beton și mediul său înconjurător (acoperirea betonului cu un material de protecție).		
<b>XC1</b>	Uscat sau permanent umed	Beton în interiorul clădirilor unde gradul de umiditate a mediului ambiant este redus (inclusiv bucătăriile, băile și spălătoriile clădirilor de locuit) Beton imersat permanent în apă
<b>XC2</b>	Umed, rareori uscat	Suprafețe de beton în contact cu apa pe termen lung (de exemplu elemente ale rezervoarelor de apă) Un mare număr de fundații
<b>XC3</b>	Umiditate moderată	Beton în interiorul clădirilor unde umiditatea mediului ambiant este medie sau ridicată (bucătării, băi, spălătorii profesionale, altele decât cele ale clădirilor de locuit)
<b>XC4</b>	Alternanță umiditate – uscare	Beton la exterior, însă la adăpost de intemperii (elemente la care aerul din exterior are acces constant sau des, de exemplu : hale deschise) Suprafețe supuse contactului cu apa, dar care nu intră în clasa de expunere XC2 (elemente exterioare expuse intemperiilor)
<b>3. Coroziunea datorată clorurilor având altă origine decât cea marină</b>		
Când betonul care conține armături sau piese metalice înglobate este în contact cu apa având altă origine decât cea marină, conținând cloruri, inclusiv din sărurile pentru dezghețare, clasele de expunere sunt după cum urmează:  NOTĂ – În ce privește condițiile de umiditate, a se vedea de asemenea secțiunea 2 din acest tabel.		
<b>XD1</b>	Umiditate moderată	Suprafețe de beton expuse la cloruri transportate de curenți de aer (de exemplu suprafețele expuse agenților de dezghețare de pe suprafața carosabilă, pulverizați și transportați de curenții de aer, la garaje, etc.)
<b>XD2</b>	Umed, rar uscat	Piscine, rezervoare Beton expus apelor industriale conținând cloruri
<b>XD3</b>	Alternanță umiditate – uscare	Elemente ale podurilor, ziduri de sprijin, expuse stropirii apei conținând cloruri Șosele, dalele parcajelor de staționare a vehiculelor

Tabelul 3.1 - (continuare)

Denumirea clasei	Descrierea mediului înconjurător	Exemple informative ilustrând alegerea claselor de expunere
<b>4. Coroziunea datorată clorurilor din apa de mare</b>		
Când betonul care conține armături sau piese metalice înglobate, este pus în contact cu cloruri din apa de mare, sau acțiunii aerului ce vehiculează săruri marine, clasele de expunere sunt următoarele:		
<b>XS1</b>	Expunere la aerul ce vehiculează săruri marine, însă nu sunt în contact direct cu apa de mare	Structuri pe sau în apropierea litoralului (agresivitatea atmosferică marină acționează asupra construcțiilor din beton, beton armat pe o distanță de cca. 5 km de țărm)
<b>XS2</b>	Imersate în permanență	Elemente de structuri marine
<b>XS3</b>	Zone de amaraș, zone supuse stropirii sau cetei	Elemente de structuri marine
<b>5. Atac din îngheț-dezgheț cu sau fără agenți de dezghețare</b>		
Când betonul este supus la un atac semnificativ datorat ciclurilor de îngheț-dezgheț, atunci când este umed, clasele de expunere sunt următoarele:		
<b>XF1</b>	Saturație moderată cu apă fără agenți de dezghețare	Suprafețe verticale ale betonului expuse la ploaie și la îngheț
<b>XF2</b>	Saturație moderată cu apă, cu agenți de dezghețare	Suprafețe verticale ale betonului din lucrări rutiere expuse la îngheț și curenților de aer ce vehiculează agenți de dezghețare
<b>XF3</b>	Saturație puternică cu apă, fără agenți de dezghețare	Suprafețe orizontale ale betonului expuse la ploaie și la îngheț
<b>XF4</b>	Saturație puternică cu apă, cu agenți de dezghețare sau apă de mare	Șosele și tablere de pod expuse la agenți de dezghețare Suprafețele verticale ale betonului expuse la îngheț și supuse direct stropirii cu agenți de dezghețare Zonele structurilor marine expuse la îngheț și supuse stropirii cu agenți de dezghețare
<b>6 Atac chimic</b>		
Când betonul este expus la atac chimic, care survine din soluri naturale, ape de suprafață și ape subterane, clasificarea se face cum se indică în tabelul 3.1a. Clasificarea apelor de mare depinde de localizarea geografică, în consecință se aplică clasificarea valabilă pe locul de utilizare a betonului		
NOTĂ – Un studiu special, poate fi necesar pentru determinarea clasei de expunere adecvate în medii înconjurătoare, în situațiile următoare:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- nu se încadrează în limitele din tabelul 3.1a;</li> <li>- conține alte substanțe chimice agresive;</li> <li>- sol sau apă poluată chimic;</li> <li>- prezintă o viteză ridicată a apei de scurgere, în combinație cu anumite substanțe chimice din tabelul 3.1a.</li> </ul>		
<b>XA1</b>	Mediu înconjurător cu agresivitate chimică slabă, conform tabelului 3.1a	
<b>XA2</b>	Mediu înconjurător cu agresivitate chimică moderată, conform tabelului 3.1a	
<b>XA3</b>	Mediu înconjurător cu agresivitate chimică intensă, conform tabelului 3.1a	

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

Tabelul 3.1 - (continuare)

<b>7. Solicitarea mecanică a betonului prin uzură</b>		
Dacă betonul este supus unor solicitări mecanice care-i produc uzura, atunci acest tip de expunere poate fi clasificat după cum urmează:		
<b>XM1</b>	Solicitare moderată de uzură	Elemente din incinte industriale supuse la circulația vehiculelor echipate cu anvelope
<b>XM2</b>	Solicitare intensă de uzură	Elemente din incinte industriale supuse la circulația stivuitoarelor echipate cu anvelope sau bandaje de cauciuc
<b>XM3</b>	Solicitare foarte intensă de uzură	Elemente din incinte industriale supuse la circulația stivuitoarelor echipate cu bandaje de elastomeri / metalice sau mașini cu șenile
NOTĂ – Pentru caracterizarea expunerii betonului este necesară în general combinarea mai multor clase de expunere.		

Tabelul 3.1a - Valorile limită pentru clasele de expunere corespunzătoare la atacul chimic al solurilor naturale și apelor subterane

Mediile înconjurătoare chimic agresive, clasificate mai jos, sunt bazate pe soluri și ape subterane naturale la o temperatură apă/sol cuprinsă între 5 °C și 25 °C și în cazurile în care viteza de scurgere a apei este suficient de mică pentru a fi considerată în condiții statice.				
Alegerea claselor se face în raport de caracteristicile chimice ce conduc la agresiunea cea mai intensă.				
Când cel puțin două caracteristici agresive conduc la aceeași clasă, mediul înconjurător trebuie clasificat în clasa imediat superioară, dacă un studiu specific nu a demonstrat că acesta nu este necesar.				
Caracteristici chimice	Metode de încercări de referință	<b>XA1</b>	<b>XA2</b>	<b>XA3</b>
<b>Ape de suprafață și subterane</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/l	SR EN 196-2	≥ 200 și ≤ 600	> 600 și ≤ 3000	> 3000 și ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 și ≥ 5,5	< 5,5 și ≥ 4,5	< 4,5 și ≥ 4,0
CO <sub>2</sub> agresiv, în mg/l	EN 13577:99	≥ 15 și ≤ 40	> 40 și ≤ 100	> 100 până la saturație
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l	SR ISO 7150-1 sau SR ISO 7150-2	≥ 15 și ≤ 30	> 30 și ≤ 60	> 60 și ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> , mg/l	SR ISO 7980	≥ 300 și ≤ 1000	> 1000 și ≤ 3000	> 3000 până la saturație
<b>Sol</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/kg <sup>a</sup> total	SR EN 196-2 <sup>b</sup>	≥ 2000 și ≤ 3000	>3000 <sup>c</sup> și ≤ 12000	>12000 și ≤24000
Aciditate, ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	Nu sunt întâlnite în practică	
<sup>a</sup> Solurile argiloase a căror permeabilitate este inferioară la 10 <sup>-5</sup> m/s, pot să fie clasate într-o clasă inferioară.				
<sup>b</sup> Metoda de încercare prevede extracția SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> cu acid clorhidric; alternativ este posibil de a proceda la această extracție cu apă, dacă aceasta este admisă pe locul de utilizare a betonului.				
<sup>c</sup> Limita trebuie să rămână de la 3000 mg/kg până la 2000 mg/kg în caz de risc de acumulare de ioni de sulfat în beton datorită alternanței perioadelor uscate și perioadelor umede, sau prin ascensiunea capilară.				
NOTĂ - Valorile limită pentru clasele de expunere corespunzătoare atacului chimic al pământurilor naturale și apelor subterane date în tabelul 3.1a se aplică și apelor supraterane în contact cu suprafața betonului.				

În tabelele 3.2, 3.3 și 3.4 se prezintă condițiile referitoare la compoziția betonului funcție de diferitele clase de expunere, în conformitate cu SR EN 206-1 și respectiv cu Documentele Naționale de aplicare din Germania și din România. Aplicațiile prezentate în carte au drept referință Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1.

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

**Tabelul 3.2. - Condiții referitoare la compoziția betonului funcție de diferitele clase de expunere în conformitate cu SR EN 206-1**

Coroziune										
	Coroziune indusă de carbonatare				Coroziune indusă de cloruri			Coroziune indusă de cloruri din apa de mare		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Raport maxim A/C	0.65	0.60	0.55	0.50	0.55		0.45	0.50	0.45	
Dozaj minim ciment (kg/m <sup>3</sup> )	260	280		300	300		320	300	320	340
Clasa minimă de rezistență	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C35/45		
Deteriorarea / degradarea betonului										
	Fără risc	Atac îngheț / dezgheț				Atac chimic				
	X0	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3		
Raport maxim A/C	-	0.55		0.50	0.45	0.55	0.50	0.45		
Dozaj minim ciment (kg/m <sup>3</sup> )	-	300		320	340	300	320	360		
Clasa minimă de rezistență	C12/15	C30/37				C30/37		C35/45		

**Tabelul 3.3 - Clase de expunere (efecte ale mediului "atac") și măsuri tehnologice ("rezistență") pentru beton în conformitate cu Documentul Național german de aplicare a EN 206-1**

Clase de expunere (efecte ale mediului, "atac", etc.)			Măsuri tehnologice pentru beton ("rezistență")			
Simbol	Descriere		Raport A/C maxim	Dozaj minim ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Clasa minimă de rezistență	
<b>XO</b>		fără atac	-	-	C8/10	
<b>XC</b>	1	carbonatare	uscăt	0,75	240	C16/20
	2		permanent ud	0,75	240	C16/20
	3		umiditate moderată	0,65	260	C20/25
	4		umed/uscăt	0,60	280	C25/30
<b>XD/XS</b>	1	cloruri	umiditate moderată	0,55	300	C30/37
	2		permanent ud	0,50	320	C35/45
	3		umed/uscăt	0,45	320	C35/45
<b>XF</b>	1	îngheț-dezgheț ± agenți de dezghețare	umiditate moderată (fără agenți de dezghețare)	0,60	280	C25/30
	2		umiditate moderată (cu agenți de dezghețare)	0,55*	300	C25/30
				0,50	320	C35/45
	3		umiditate ridicată (fără agenți de dezghețare)	0,55*	300	C25/30
0,50		320		C35/45		
<b>XA</b>	1	atac chimic	umiditate ridicată (cu agenți de dezghețare)	0,50*	320	C30/37
			slab	0,60	280	C25/30
			moderat	0,50	320	C35/45
			puternic	0,45	320	C35/45
<b>XM</b>	1	abraziune	moderat	0,55	300	C30/37
			intensă	0,45	320	C35/45
			foarte intensă	0,45	320	C35/45

\*Cu aer antrenat

Tabelul 3.4 - Valorile limită recomandate pentru compoziția și proprietățile betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1

	Clasele de expunere												
	Nici un risc de coroziune sau atac chimic <b>X0<sup>a)</sup></b>	Coroziune indusă prin carbonatare						Coroziune datorată clorurilor					
		Cloruri din alte surse decât apa de mare			Cloruri din apa de mare			Cloruri din alte surse decât apa de mare			Cloruri din apa de mare		
	<b>XC1</b>	<b>XC2</b>	<b>XC3</b>	<b>XC4</b>	<b>XD1</b>	<b>XD2</b>	<b>XD3</b>	<b>XS1</b>	<b>XS2</b>	<b>XS3</b>			
Raport maxim apă/ciment	0,65	0,60	0,60	0,50	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45			
Clasa minimă de rezistență	C16/20	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C35/45	C35/45			
Dozaj minim de ciment (kg/m <sup>3</sup> )	260	260	280	300	300	320 <sup>b</sup>	320 <sup>b</sup>	300	320 <sup>b</sup>	320 <sup>b</sup>			
Conținut minim de aer antrenat (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Alte condiții	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

a) Pentru beton fără armătură sau piese metalice înglobate

b) La turnarea elementelor masive se recomandă cimenturile cu căldură redusă de hidratare. Pentru elemente masive (grosimea elementelor mai mare de 80 cm) se va adopta un dozaj de ciment de 300 kg/m<sup>3</sup>.

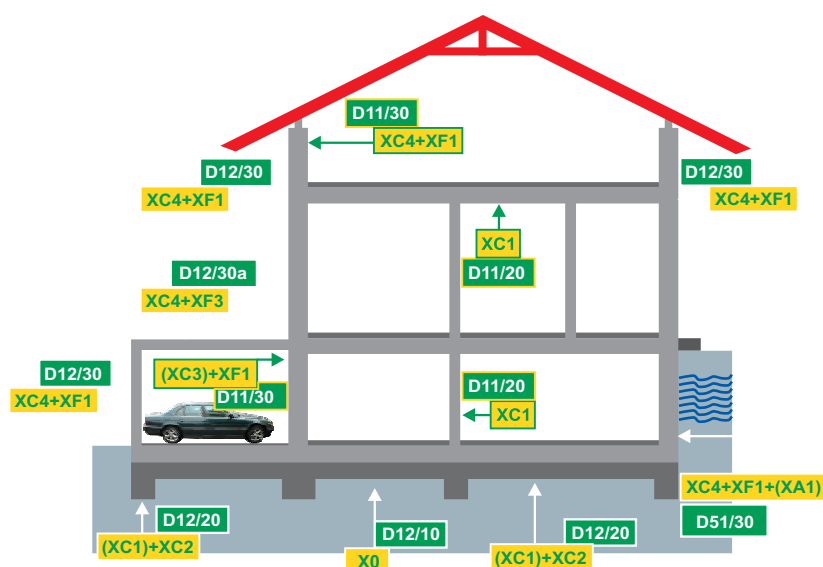
Tabelul 3.4 - (continuare)

	Clasele de expunere											
	Atac îngheț-dezgheț				Atac chimic				Atac mecanic			
	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 <sup>c</sup>	XA3 <sup>c</sup>	XM1	XM2	XM3		
Raport maxim apă/ciment	0,50	0,55 <sup>a</sup>	0,50	0,55 <sup>a</sup>	0,50	0,55	0,45	0,55	0,55	0,45		0,45
Clasa minimă de rezistență	C25/30	C25/30	C35/45	C25/30	C35/45	C25/30	C35/45	C35/45	C30/37	C35/45	C35/45	C35/45
Dozaj minim de ciment (kg/m <sup>3</sup> )	300	300	320	300	320	300	320	360	300	300	320	320
Conținut minim de aer antrenat (%)	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	-	-
Alte condiții	Agregate rezistente la îngheț-dezgheț conform SREN 12620											
a)	Conținutul de aer antrenat se stabilește în funcție de dimensiunea maximă a granulei în conformitate cu tabelul 3.5. Dacă betonul nu conține aer antrenat cu intenție, atunci performanța betonului trebuie să fie măsurată conform unei metode de încercări adecvate, în comparație cu un beton pentru care a fost stabilită rezistența la îngheț-dezgheț pentru clasa de expunere corespunzătoare.											
b)	De exemplu tratare prin vacuumare.											
c)	Când prezența de SO <sub>2</sub> <sup>c</sup> conduce la o clasă de expunere XA2 și XA3 este esențial să fie utilizat un ciment rezistent la sulfat. Dacă cimentul este clasificat după rezistența la sulfat, trebuie utilizate cimenturi cu o rezistență moderată sau ridicată la sulfat pentru clasa de expunere XA1 (și clasa de expunere XA1 este aplicabilă) și trebuie utilizat un ciment având o rezistență ridicată la sulfat pentru clasa de expunere XA3.											
d)	În cazul expunerii în zonele marine se vor utiliza cimenturi rezistente la acțiunea apei de mare.											

*Tabelul 3.5 - Valori minime ale aerului antrenat funcție de dimensiunea maximă a agregatelor*

Dimensiunea maximă a agregatelor (mm)	Aer antrenat (% volum) valori medii	Aer antrenat (% volum) valori individuale
8	≥6	≥5,5
16	≥5,5	≥5
22	≥5	≥4,5
32	≥4,5	≥4
63	≥4	≥3,5

Combinarea claselor de expunere este un aspect deosebit de important pentru definirea cerințelor de durabilitate. În normele europene nu se prezintă decât cerințele pentru fiecare clasă de expunere în mod separat.



*Figura 3.3a - Exemple de clase de durabilitate / combinații clase de expunere (construcții civile)*

Se poate observa din acest exemplu precum și din cele ce vor fi prezentate în continuare că, în cele mai multe cazuri, elementele de construcții sunt supuse concomitent la mai multe tipuri de medii, fiind astfel necesară combinarea claselor de expunere.

Diferitele combinații de medii de expunere au fost prezentate pentru toate tipurile reprezentative de construcții civile (figura 3.3a), drumuri, poduri, hidrotehnice (figura 3.3b) și industriale (figura 3.3c).



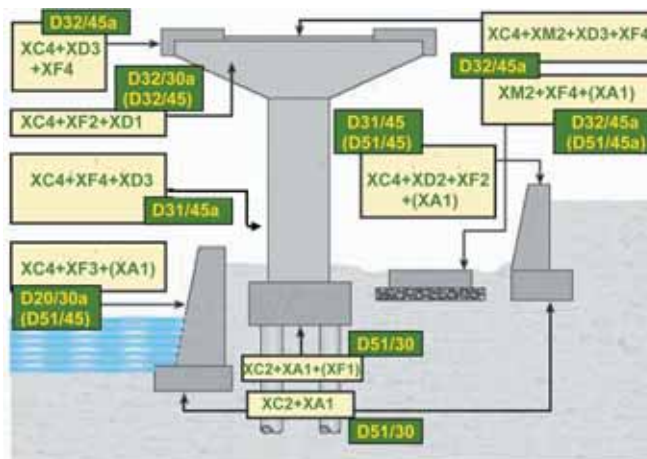


Figura 3.3b - Exemple de clase de durabilitate / combinații clase de expunere (construcții de drumuri, poduri, hidrotehnice)

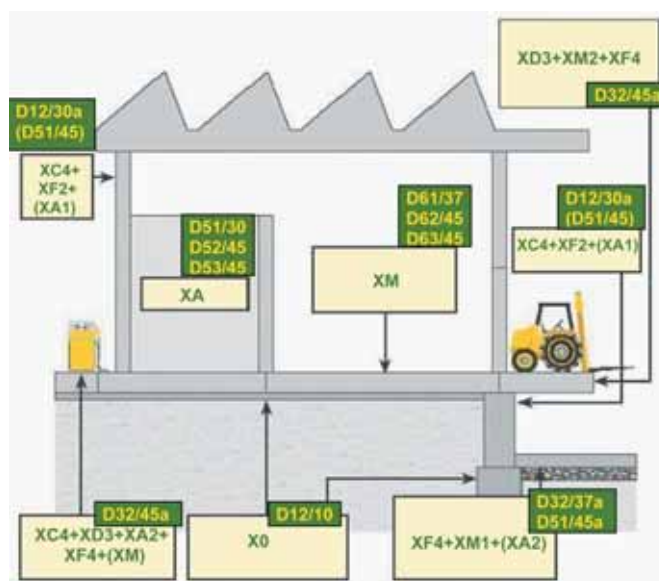


Figura 3.3c - Exemple de clase de durabilitate / combinații clase de expunere (construcții industriale)

În tabelul 3.6 se prezintă combinații de clase de expunere separat pentru beton simplu și pentru beton armat și precomprimat. În figura 3.3d se dau alte exemple privind combinațiile de clase de expunere.

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

Tabelul 3.6 - Combinații de clase de expunere

Expunere		Combinații de clase de expunere	
Descriere	Exemple	BNA <sup>(1)</sup>	BA <sup>(2)</sup> / BP <sup>(3)</sup>
<i>La interior</i>	Interiorul clădirilor cu destinație de locuit sau birouri	X0	XC1
<i>La exterior</i>			
Fără îngheț	Fundații sub nivelul de îngheț	X0	XC2
Cu îngheț dar fără contact cu ploaia	Garaje deschise acoperite, pasaje, etc	XF1	XC3 + XF1
Îngheț și contact cu ploaia	Elemente exterioare expuse la ploaie	XF1	XC4+ XF1
Îngheț-dezgeț cu agenți de dezghețare	Elemente ale infrastructurii rutiere orizontale	XM2+XF4	XM2+XD3+XF4+(XC4)
	Verticale (în zona de stropire)	XF4	XF4+ XD3+ XC4
<i>Mediu marin</i>			
<i>Fără contact cu apa de mare (aerul marin până la 5 km de coastă)</i>			
Cu îngheț	Elemente exterioare ale construcțiilor expuse ploii în zonele litorale	XF2	XC4+ XS1+ XF2
<i>În contact cu apa de mare</i>			
Imersate	Elemente structurale sub apă	XA1 (XA2)	XC1+XS2+XA1 (XA2)
Elemente supuse stropirii	Pereții cheiurilor	XF4+XA2 (XA1)	XC4+XS3+XF4+XA2 (XA1)

- 1) Beton nearmat
- 2) Beton armat
- 3) Beton precomprimat

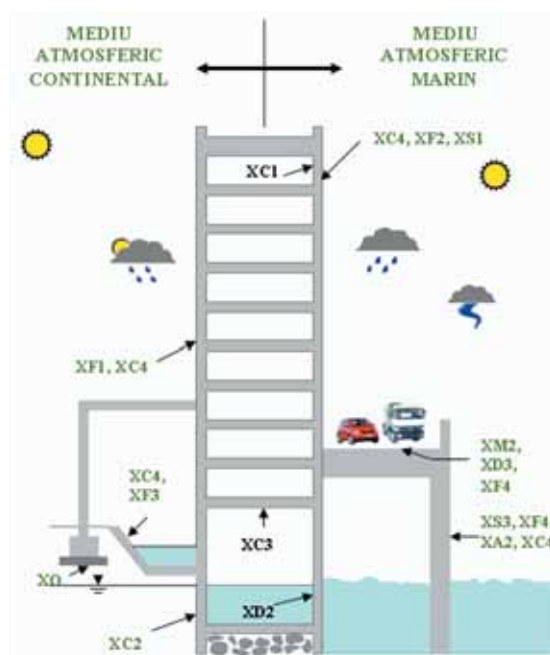


Figura 3.3d - Exemple de combinații de clase de expunere pentru diferite tipuri de construcții și medii de expunere

În tabelul 3.7 se prezintă anumite condiții pe care trebuie să le îndeplinească compoziția betonului funcție de mediul specific de expunere precum și încadrarea în clasele de durabilitate corespunzătoare.

Tabelul 3.7 - Exemple de definire a claselor de durabilitate

Domenii	Condiții de expunere elemente (medii)	Clase de expunere	Clase de beton	Raport A/C	Clase de durabilitate (exemple)
1. Construcții civile și alte tipuri de construcții	1.1 Interior (funcție de umiditate)	XC1, XC2, XC3, XC4	C16/20 C16/20 C20/25 C25/30	0.65 0.60 0.60 0.50	D11/20 D11/20 D11/25 D11/30
	1.2 Exterior	XC1, XC2, XC3, XC4 XC4, XF1	C16/20 C16/20 C20/25 C25/30 C25/30	0.65 0.60 0.60 0.50 0.50	D12/20 D12/20 D12/25 D12/30 D12/30
2. Construcții hidrotehnice		XC4, XF3	C25/30 cu aer antrenat C35/45	0.50 0.50	D20/30a D20/45
3. Poduri și/sau drumuri	3.1 Elemente verticale ale podurilor și/sau drumurilor	XC4, XD2, XF2 (în afara zonei de stropire) XC4, XD3, XF4 (în zona de stropire)	C35/45 C35/45 cu aer antrenat	0.45 0.45	D31/45 (în afara zonei de stropire) D31/45a (în zona de stropire)
	3.2 Elementele orizontale	(XC4), XM2, XD3 XF4	C35/45 cu aer antrenat	0.45	D32/45a
4. Mediu marin	4.1 Construcții civile și alte tipuri de construcții	XC4, XS1 XF2	C30/37 cu aer antrenat C35/45	0.50 0.50	D41/37a D41/45
	4.2 Construcții hidrotehnice	XS3, XF4 XA2, XC4	C35/45 cu aer antrenat	0.45	D52/45a*
5. Atac chimic 5.1 slab 5.2 moderat 5.3 puternic	Toate tipurile de construcții*	XA	C25/30 C35/45 C35/45	0.55 0.50 0.45	D51/30 D52/45 D53/45
6. Abraziune fara îngheț 6.1 slaba 6.2 moderata 6.3 puternica	Platforme industriale acoperite	XM	C30/37 C35/45 C35/45	0.55 0.45 0.45	D61/37 D62/45 D63/45

Notă - \*) În cazul betoanelor aflate în medii agresive (XA) definirea clasei de durabilitate se face pe baza acestui mediu, indiferent de celelalte condiții de expunere sau de tipul de element / construcție (D51/..., D52/..., D53/...).

Același aspect este valabil și pentru elementele de construcție din beton aflate în mediu marin (D41/...). Clasa de durabilitate D61/... se aplică numai în cazul platformelor industriale acoperite (fără posibilitate de îngheț). În restul cazurilor se aplică clasa D32/....



În lucrare se vor prezenta exemple de "combinații" de clase de expunere, fiind evident dificil de a trata exhaustiv tipurile de construcții /

tipuri de medii.

De exemplu pentru clasa de durabilitate D 12/30, 12 indică tipul de construcție (1) și faptul că este mediu exterior (2) iar 30 rezistența caracteristică pe cub corespunzătoare clasei minime de rezistență pentru această combinație de expuneri (XC4, XF1).

Așa cum se observă din schema prezentată în figura 3.2, valoarea 30 se adoptă în cazul în care și clasa de rezistență necesară determinată prin calcul este egală sau mai mică cu această valoare. În caz contrar se adoptă rezistența (superioară) rezultată din calcul. De exemplu dacă clasa de rezistență rezultă din calculul structural C 30/37 se va adopta clasa de durabilitate corespunzătoare și anume D12/37.

Din combinațiile posibile de medii de expunere pentru definirea clasei de durabilitate se aleg cele mai exigente / severe condiții de la fiecare clasă de expunere în ceea ce privește raportul A/C, clasa minimă la compresiune, aer antrenat etc. Exemple sugestive privind combinarea claselor de expunere și/sau definirea claselor de durabilitate sunt prezentate în figurile 3.3a, b, c, d.

***Clasa de durabilitate astfel definită va putea fi înscrisă în planșele de execuție. Se vor scrie în mod obligatoriu și combinațiile de clase de expunere, de exemplu D12/30 (XC4, XF1).***

Etapă I a metodologiei este de definire de către proiectant pe baza unor tabele/scheme corespunzătoare celor prezentate în prezenta lucrare (tabelul 3.7, figurile 3.3a, b, c, d) a încadrării într-o anumită "combinație de clase de expuneri", adică definirea primului termen al clasei de durabilitate z. Termenul al doilea y se stabilește având în vedere atât condițiile rezultate din calculul de rezistență, cât și din condițiile de clasă minimă corespunzătoare combinațiilor de expunere.

Astfel termenul y' se poate determina având în vedere prevederile tabelelor 3.1, 3.4, 3.6, 3.7, care sunt în conformitate cu reglementările și standardele românești armonizate.

Odată înscrisă clasa de durabilitate (însotită și de combinațiile de clase de expunere) în planșele de execuție, betonul trebuie să respecte toate condițiile corespunzătoare acestei clase de durabilitate.

Proiectanții, producătorii de betoane și "executanții" vor avea la îndemână un simbol al clasei de durabilitate în care vor fi înscrise toate cerințele necesare betonului pentru fiecare clasă de durabilitate în parte. Proiectantul va cunoaște cerințele specifice (grosime strat acoperire cu beton a armăturilor, deschidere admisibilă fisuri, tip ciment etc.), executantul



va fi obligat să respecte condițiile specifice legate de punerea în operă și tratare a betonului și evident va fi obligat să comande producătorului de beton o anumită clasă de durabilitate (pentru care producătorul va respecta toate cerințele specifice, inclusiv alegerea tipului de ciment).

Principalul aspect al stabilirii clasei de durabilitate este combinarea claselor de expunere (așa cum sunt prezentate în Anexa Nationala de aplicare a SR EN 206-1) și precizarea condițiilor celor mai exigente referitoare la raportul A/C, dozaj de ciment etc.

Exemple de combinare a claselor de expunere pentru diferite elemente de construcții:

- elemente din beton armat interioare cu umiditate “redușă”, inclusiv bucătăriile, băile și spălătoriile clădirilor de locuit

→ **clasa durabilitate D11/20 (XC1)**

- elemente din beton armat interioare cu umiditate a mediului ambiant medie sau ridicată, bucătării, băi, spălătorii profesionale, altele decât cele ale clădirilor de locuit

→ **clasa durabilitate D11/25 (XC3)**

- elemente din beton armat la exterior la adăpost de intemperii, elemente la care aerul din exterior are acces constant sau des, de exemplu hale deschise

→ **clasa durabilitate D12/25 (XC3)**

- elemente din beton armat exterioare verticale, expuse intemperii-  
lor

→ **clasa de durabilitate D12/30 (XC4, XF1)**

- elemente din beton armat exterioare orizontale expuse intemperii-  
lor

→ **clasa de durabilitate D12/30 a (cu aer antrenat) sau D12/45 (XC4, XF3)**

- fundațiile care pot fi încadrate inclusiv în funcție de agresivitatea chimică a mediului:

- elemente din beton simplu fără expunere la îngheț-dezghet și atac chimic

→ **clasa de durabilitate D12/10 (X0)**

- elemente din beton armat în contact prelungit cu apa

→ **clasa de durabilitate D12/20 (XC2)**

- elemente din beton armat în contact cu ape subterane agresive chimic (agresivitate slabă)

→ **clasa de durabilitate D51/30 (XC2, XA1)**

- platforme industriale exterioare

→ **clasa de durabilitate D32/45 a (cu aer antrenat) (XC4, XD3, XF4, XM2)**

- piloții fundațiilor

→ **clasa de durabilitate D51/30 (XC2, XA1, (XF1))**

Alte exemple de combinații ale claselor de expunere se dau în continuare pentru poduri:

- elementele verticale ale podurilor (inclusiv stâlpii supratraversărilor fără zone de stropire)
  - **clasa de durabilitate D31/45 (XC4, XD2, XF2)**
  - sau cu zone de stropire a stâlpilor
  - **clasa de durabilitate D31/45a (cu aer antrenat) (XC4, XD3, XF4)**
- elemente orizontale în contact direct cu intemperii și cu traficul
  - **clasa de durabilitate D32/45 a (cu aer antrenat) (XC4, XM2, XD3, XF4)**
- elemente de tip grindă care nu sunt în contact direct cu traficul
  - **clasa de durabilitate D32/45 (XF2, XD1, XC4).**

În exemplele prezentate mai sus termenul al doilea din expresia clasei de durabilitate reprezintă rezistența minimă determinată numai din condiții de durabilitate ( $y'$ ).

În figura 3.4 se prezintă schema prin care se determină clasa de durabilitate precum și condițiile și cerințele privitoare la proiectarea și execuția construcțiilor de beton funcție de încadrarea în acea clasă.

Pentru fiecare din clasele de durabilitate se pot întocmi “fișe” privind cerințele necesare pentru asigurarea durabilității betonului în ceea ce privește:

- compoziția betonului:
  - tip ciment;
  - dozaj minim;
  - raport A/C maxim;
- tratarea betonului având în vedere tipul cimentului, condițiile de punere în operă, agresivitatea mediului în care va fi exploatată construcția;
  - grosimea stratului de acoperire cu beton;
  - deschiderea admisibilă a fisurilor.

Observație:

**Tipul de ciment se alege ținând seama și de condițiile de punere în operă, masivitatea elementului etc. (tabelele 3.15, 3.16 și 3.17).**



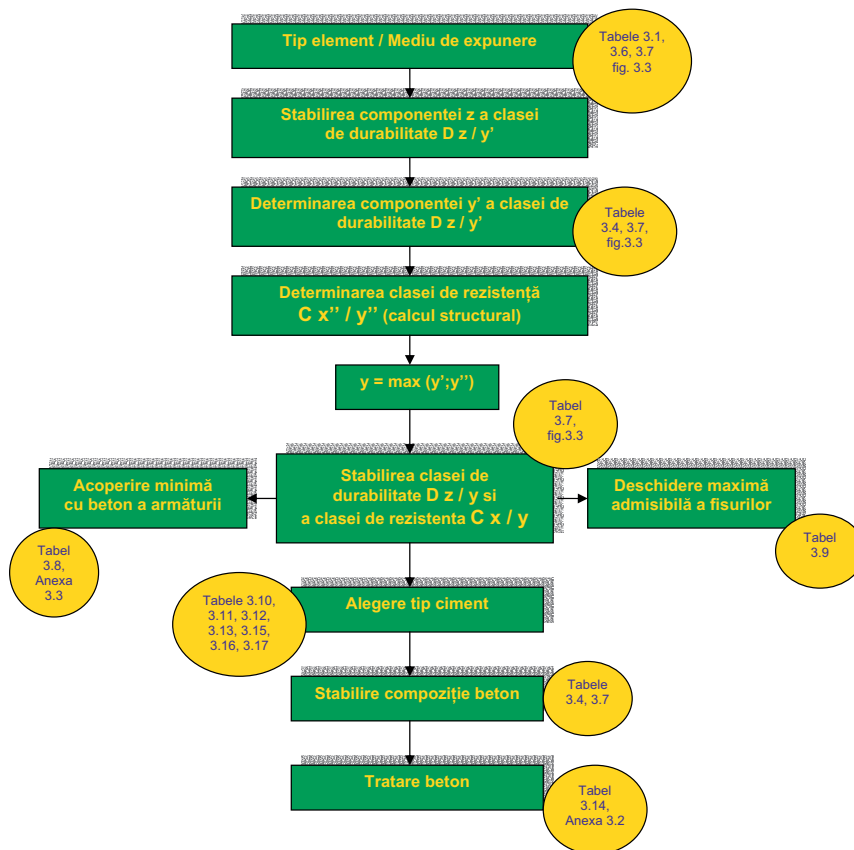


Figura 3.4 – Schema de proiectare a durabilității

Fișele corespunzătoare fiecărei clase de durabilitate se întocmesc având în vedere prevederile reglementărilor în vigoare, precum și pe baza unor cercetări experimentale.

Se vor avea în vedere:

- tabelele 3.1 și 3.4 (care prezintă clasele de expunere și valorile limită recomandate pentru compoziția și proprietățile betonului);
- tabelele 3.6, 3.7 și considerațiile făcute în cadrul acestui capitol privind combinarea claselor de expunere;
- tabelele 3.8 și 3.9, Anexa 3.3 privind acoperirea minimă cu beton a armăturilor și respectiv deschiderea admisibilă a fisurilor funcție de clasele de expunere;
- tabelele 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.15, 3.16, 3.17 având în vedere alegerea tipului de ciment în conformitate cu diverse norme naționale europene (Belgia, Luxemburg, Austria, Polonia etc.) și în special cu norma germană DIN 1045-2, prevederi ce sunt preluate și în Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 din România.

• tabelul 3.14 și Anexa 3.2 privind tratarea betonului.

Se vor putea de asemenea utiliza:

- Figurile 3.3 a, b, c și d.
- Anexa 3.1 în care se prezintă o metodă propusă de autor pentru alegerea cimenturilor pentru o anumită lucrare.

În tabelul 3.8 se prezintă date privind acoperirea minimă cu beton a armăturii în conformitate cu prevederile euronormei SR EN 1992 - Eurocodul 2. În Anexa 3.3 se prezintă anumite prevederi din această euronormă privind determinarea acoperirii cu beton a armăturii betonului armat și precomprimat funcție de clasele de expunere. De asemenea în această anexă se prezintă recomandările privind grosimea stratului de acoperire cu beton în funcție de clasa de expunere, în conformitate cu BS 8500.



Tabelul 3.8 - Valori ale acoperirii minime cu beton a armăturii cerute de condiția de durabilitate în cazul armăturilor pentru beton armat conform cu EN 10080

Clasa structurală*	Cerință de mediu pentru $c_{min,dur}$ (mm)						
	Clasa de expunere conform Tabelului 3.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1/XS1	XD2 / XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

\*) În conformitate cu Anexa 3.3, clasa structurală S4 este cea recomandată (durată de utilizare de proiect 50 ani).  
Notă – În cazul armăturilor pentru beton precomprimat valorile acoperirilor minime sunt mai mari.

În tabelul 3.9 se prezintă deschiderea admisibilă a fisurilor funcție de clasele de expunere în conformitate cu euronorma SR EN 1992 – Eurocodul 2.

Se menționează că aceste valori sunt propuse pentru medii „naturale”. În cazul elementelor / structurilor supuse unor medii puternic agresive specifice unor anumite tipuri de industrii este posibil ca valorile deschiderilor maxime admisibile ale fisurilor elementelor din beton armat sau precomprimat să fie mai reduse funcție de agresivitatea mediului, în conformitate cu reglementările specifice.

Se poate observa că valorile deschiderilor maxime admisibile ale fisurilor sunt prezentate pentru acele clase de expunere care „afectează” armăturile din oțel și se referă în mod evident la tipurile de fisuri care pot fi „controlate” prin calcul.



Tabelul 3.9 - Deschiderea maximă admisibilă a fisurilor funcție de clasele de expunere

Clase de expunere	Elemente din beton armat și elemente din beton precomprimat cu armături neaderente	Elemente din beton precomprimat cu armături aderente
	Combinăția cvasi-permanentă de încărcări	Combinăția frecventă de încărcări
X0, XC1	0,4 <sup>1</sup>	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 <sup>2</sup>
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Decomprisiune
<p>Nota 1 - Pentru clasele de expunere X0 și XC1, deschiderea fisurilor nu are incidență asupra durabilității și această limită este fixată pentru a garanta un aspect acceptabil. În absența condițiilor de aspect, această limită poate fi tratată mai puțin strict.</p> <p>Nota 2 - Pentru aceste clase de expunere, în plus, trebuie verificată decomprisiunea sub combinația cvasi-permanentă de încărcări.</p> <p>Nota 3 - Prevederi particulare pot fi necesare pentru elementele încadrate în clasa de expunere XD3, funcție de natura agentului agresiv.</p>		

În tabelele 3.10, 3.11, 3.12 și 3.13 se stabilesc domeniile de utilizare a cimenturilor funcție de mediile de expunere în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 în România.

Se menționează că în aceste tabele au fost incluse atât cimenturile fabricate în conformitate cu SR EN 197-1 cât și cimenturile fabricate în conformitate cu standarde românești (SR 3011, STAS 10092, SR 7055) care cuprind în general cimenturi speciale. Pentru aceste tipuri de cimenturi există o experiență de utilizare în țară, pentru celelalte recomandările de utilizare s-au făcut având în vedere prevederile existente în reglementări europene, cât și pe baza rezultatelor unor cercetări experimentale desfășurate la **INCERC** de un colectiv coordonat de autor.

Multitudinea de combinații posibile de adaosuri, caracteristicile particulare ale acestora, procente diferite în care se adaugă în ciment fac în mod obligatoriu necesară cercetarea experimentală pentru a se observa modul de comportare a betoanelor supuse diferitelor medii de expunere. Rezultatele obținute și concluziile acestor studii nu sunt întotdeauna unitare, un exemplu elocvent îl constituie faptul că aceleași tipuri de cimenturi nu au domenii de utilizare comune în diferite Documente Naționale de aplicare a EN 206-1.

De altfel în capitolul 4 se prezintă **rezultatele acestor cercetări experimentale efectuate pe betoanele preparate cu cimenturile fabricate de CARPATCEMENT HOLDING S.A.**

*Notă - Recomandările efectuate în carte țin seama de prevederile standardelor și reglementărilor aflate în vigoare la data apariției acesteia. Orice modificări aparute ulterior trebuie luate în considerare. Metodologia propusă permite adaptarea la noile reguli și prevederi specifice.*

Tabetul 3.10 - Domenii de utilizare pentru cimenturi conform SR EN 197-1, SR 3011, STAS 10092, SR 7055 și SR EN 206-1

Tip ciment	Clasele de expunere														
	Nici un risc de coroziune sau atac chimic	Coroziune indusă prin carbonatare						Coroziune datorată clorurilor				Coruri din apa de mare			
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4		XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3		
<b>CEM I*</b>	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			
SR I	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			
<b>CD 40*</b>	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			
I A 52,5c	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			
<b>A*/B*</b>	X	X	X	X	X	S	X	X	X	X	X	X			
<b>H III A*</b>	X	X	X	X	X	S	X	X	X	X	X	X			
<b>A*</b>	X	X	X	X	X	V	X	X	X	X	X	X			
B	X	X	X	X	X	V	X	X	X	X	X	X			
A	X	X	X	X	X	LL	X	X	X	X	X	X			
B	X	X	X	X	X	LL	X	X	X	X	X	X			
A	X	X	X	X	X	L	X	X	X	X	X	X			
B	X	X	X	X	X	L	X	X	X	X	X	X			
A	X	X	X	X	X	M	X	X	X	X	X	X			
B	X	X	X	X	X	M	X	X	X	X	X	X			
<b>B*</b>	X	X	X	X	X	M	X	X	X	X	X	X			
<b>CEM III</b>	X	X	X	X	X	M	X	X	X	X	X	X			

Se vor utiliza în conformitate cu prevederile tabelelor 3.11. și 3.13

**Se vor utiliza în conformitate cu prevederile tabelelor 3.11. și 3.13**

\*) Cimenturi fabricate de CARPATCEMENT HOLDING S.A.

Tabelul 3.10 – (continuare)

Tip ciment	Clasele de expunere												
	Atac îngheț-dezghet						Atac chimic						
	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 <sup>c</sup>	XA3 <sup>c</sup>	XM1	XM2	XM3			
CEM I*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
SR I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CD 40*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
I A 52,5c	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CEM II	A*/B*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	H II A*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	A*	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X	X	
	B	X	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	B	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	A	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	
	B	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	A	M	Se vor utiliza în conformitate cu prevederile tabelelor 3.11 și 3.13										
	B*	M	Se vor utiliza în conformitate cu prevederile tabelelor 3.11 și 3.13										
CEM III	A*	X	X	X	X <sup>b</sup>	X	X	X	X	X	X	X	

x = se poate aplica  
o = nu se aplică

a) Prezentul tabel prezintă domeniile de utilizare a unor cimenturi fabricate în conformitate cu SR EN 197-1 și a standardelor naționale.  
a) Se utilizează CEM III având clasa de rezistență  $\geq 42,5$  sau  $\geq 32,5$  cu zgură în cantitate  $\leq 50\%$  din masă, în cazul demonstrării comportării corespunzătoare la acțiunile de îngheț-dezghet și agenți de dezghetare sau apa de mare.  
b) Când prezența de  $SO_4^{2-}$  conduce la o clasă de expunere XA2 și XA3 este esențial să fie utilizat un ciment rezistent la sulfați. Dacă cimentul este clasificat după rezistența la sulfați, trebuie utilizate cimenturi cu o rezistență moderată sau ridicată la sulfați pentru clasa de expunere XA2 (și clasa de expunere XA1 este aplicabilă) și trebuie utilizat un ciment având o rezistență ridicată la sulfați pentru clasa de expunere XA3.

\*) **Cimenturi fabricate de CARPATCEMENT HOLDING S.A.**

Tabelul 3.11 - Domenii de utilizare pentru cimentul de tip II M în conformitate cu SR EN 197-1 și SR EN 206-1

Tip ciment	Clasele de expunere												
	Nici un risc de coroziune sau atac chimic	Coroziune indusă prin carbonatare						Coroziune datorată clorurilor			Cloruri din apa de mare		
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
CEM II	A	S-D; S-T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-LL; D-T D-LL; T-LL											
M	B	S-P; S-V; D-P; D-V; P-V; P-T; P-LL; V-T; V-LL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-D; S-T; D-T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-P; D-P; P-T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-V*; D-V; P-V; V-T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-LL; D-LL;	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		P-LL; V-LL; T-LL											

Tip ciment	Clasele de expunere											
	Atac îngheț-dezghet						Atac chimic			Atac mecanic		
	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 <sup>a</sup>	XA3 <sup>a</sup>	XM1	XM2	XM3		
CEM II	A	S-D; S-T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-LL; D-T D-LL; T-LL										
M	B	S-P; S-V; D-P; D-V; P-V; P-T; P-LL; V-T; V-LL	X	O	X	O	X	X	X	X	X	
		S-D; S-T; D-T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-P; D-P; P-T	X	O	X	O	X	X	X	X	X	
		S-V*; D-V; P-V; V-T	X	O	O	O	X	X	X	X	X	
		S-LL; D-LL;	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		P-LL; V-LL; T-LL										

x = se poate aplica  
o = nu se aplica

a) Când prezența de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> conduce la o clasă de expunere XA2 și XA3 este esențial să fie utilizat un ciment rezistent la sulfați. Dacă cimentul este clasificat după rezistența la sulfați, trebuie utilizate cimenturi cu o rezistență moderată sau ridicată la sulfați pentru clasa de expunere XA2 (și clasa de expunere XA1 este aplicabilă) și trebuie utilizat un ciment având o rezistență ridicată la sulfați pentru clasa de expunere XA3.

\*) Ciment fabricat de CARPATCEMENT HOLDING S.A.

Tabelul 3.12 - Exemple de utilizare a unor tipuri de cimenturi pentru diferite combinații de clase de expunere

Component / Construcție	Clase de expunere relevante pentru proiectare	CEM I*	SR I	CD 40*	IA 52,5c	CEM II				CEM III
						S* T D A-L P/Q H I I A S*	V <sup>2</sup> A-L <sup>3</sup> P/Q	B-LL B-L	A-M B-M*	
Beton simplu (nearmat)	X0	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elemente protejate împotriva înghețului (în interior sau în apă)	XC1, XC2, XC3, XC4	X	X	X	X	X	X <sup>5</sup>			X
Elemente exterioare	XC, XF1	X	X	X	X	X	O			X
Construcții hidrotehnice	XC, XF3	X	X	X	X	X	O			X
Elemente exterioare supuse la îngheț-dezghet și agenți de dezghetare	XC, XD, XF2, XF4	X	X	X	X	X	O			X <sup>1</sup>
Structuri marine	XC, XS, XF2, XF4	X	X	X	X	X	O			X <sup>1</sup>
Atac chimic <sup>*)</sup>	XA	X	X	X	X	X	O			X
Zone cu trafic	XF4, XM	X	X	X	X	X	O			X <sup>1</sup>
Abraziune fără îngheț-dezghet	XM	X	X	X	X	X	O			X

1) Pentru expunere în clasa XF4: se va utiliza, în cazul demonstrării comportării corespunzătoare a betonului aflat supus acțiunilor de îngheț-dezghet și agenți de dezghetare sau apa de mare, numai CEM III/A cu clasa de rezistență  $\geq 42,5$  sau  $\geq 32,5$  R cu zgură în cantitate  $\leq 50\%$  din masă;

2) CEM II/B-V nu se va utiliza pentru clasa de expunere XF3;

3) Nu se utilizează pentru clasele de expunere XF1 și XF3;

4) În caz de atac chimic sulfatic peste clasa de expunere XA1 este obligatorie utilizarea cimenturilor rezistente la sulfat;

5) Nu se utilizează pentru clasele de expunere XC3 și XC4.

\*) **Cimenturi fabricate de CARPATCEMENT HOLDING S.A.**

Tabelul 3.13 - Exemple privind utilizarea cimenturilor de tip CEM II-M (funcție de componența principalilor constituenți), fabricate în conformitate cu SR EN 197-1

Component / construcție	CEM II-M										
	Clase de expunere relevante pentru proiectare	A		A		B		S-V* D-V P-V V-T	B	B	S-LL D-LL P-LL V-LL T-LL
		S-D S-T S-LL D-T D-LL T-LL	S-P S-V D-P D-V P-T P-LL V-T V-LL	S-D S-T D-T	S-P S-V D-P D-V P-T P-LL V-T V-LL						
Beton simplu (nearmat)	X0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elemente protejate împotriva înghețului (în interior sau în apă)	XC1, XC2, XC3, XC4	X	X	X	X	X	X	X	X	X <sup>3</sup>	X
Elemente exterioare	XC, XF1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0
Construcții hidrotehnice	XC, XF3	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0
Elemente exterioare supuse la îngheț-dezghet și agenți de dezghetare	XC, XD, XF2, XF4	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0
Structuri marine	XC, XS, XF2, XF4	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0
Atac chimic <sup>1</sup>	XA	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0
Zone cu trafic	XF4, XM	X <sup>2</sup>	X	0	0	0	0	0	0	0	0
Abraziune fără îngheț	XM	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0

x = se poate aplica  
o = nu se aplică  
1) În caz de atac chimic sulfatic, peste clasa de expunere XA1 se utilizează ciment rezistent la sulfați;  
2) Nu este permisă utilizarea pentru beton de drumuri;  
3) Nu se utilizează pentru clasele de expunere XC3 și XC4.  
\*) Ciment fabricat de CARPATCEMENT HOLDING S.A.

**Comentarii:**

Acest mod de tratare, prezentat în tabelele 3.12 și 3.13, a fost introdus pentru prima dată în standardul german DIN 1045-2, care abordează două problematice de importanță foarte mare:

- i) combinarea claselor de expunere pentru a fi în concordanță cu medii reale de expunere a elementelor și structurilor din beton armat;
- ii) indicarea utilizării diferitelor tipuri de cimenturi funcție de mediile reale de expunere a elementelor și structurilor.

În general pot fi utilizate toate cimenturile fabricate în concordanță cu SR EN 197-1.

Trebuie însă subliniat că diferențele legate de diferite tipuri de cimenturi se reflectă și în domeniile acestora de utilizare, având în vedere asigurarea durabilității elementelor și structurilor din beton armat. Comentariile pe marginea standardului german arată că stabilirea acestor domenii de utilizare s-a făcut pe baza experienței în utilizare și a experimentelor de laborator.



O tratare specială o prezintă cimenturile de tip CEM II-M, pentru care se stabilesc domeniile de utilizare în funcție de combinațiile de adaosuri din componența cimenturilor.

De aceste aspecte a ținut seama și Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Un aspect deosebit de important este legat de tratarea betonului după turnare, durata tratării depinde în mare măsură de temperatura betonului și viteza de dezvoltare a rezistenței betonului care este în mod evident dependentă de tipul cimentului. Durata minimă de tratare a betonului este prezentată în tabelul 3.14.

*Tabelul 3.14 - Durata minimă de tratare a betonului pentru toate clasele de expunere cu excepția claselor X0 și XC1*

Dezvoltarea rezistenței betonului $r = f_{cm2} / f_{cm28}^{(1)}$	Rapidă $r \geq 0,50$	Medie $r \geq 0,30$	Lentă $r \geq 0,15$	Foarte lentă $r \geq 0,15$
Temperatura suprafeței betonului t în °C	Durata minimă de tratare în zile <sup>(2)</sup>			
$t \geq 25$	1	2	2	3
$25 > t \geq 15$	1	2	4	5
$15 > t \geq 10$	2	4	7	10
$10 > t \geq 5^{(3)}$	3	6	10	15

(1) Este permisă interpolarea liniară a valorilor lui r;  
 (2) Se va extinde cu o durată echivalentă în cazul în care lucrabilitatea este menținută mai mult de 5 ore;  
 (3) În cazul în care temperatura este sub 5°C tratarea trebuie prelungită cu durata în care temperatura indică mai puțin de 5°C.  
 Evoluția rezistenței descrie raportul între valoarea rezistenței medii la 2 și respectiv 28 de zile (determinată în conformitate cu testele inițiale sau cu betoane de compoziție comparabilă).  
 Acest tabel nu se referă la tratamente speciale care se aplică elementelor prefabricate.  
 Durata tratării betonului funcție de tipul de ciment utilizat la prepararea acestuia este specificată în reglementări specifice de execuție.

În Anexa 3.2 se prezintă date privind tratarea betonului în conformitate cu normativul NE 012.

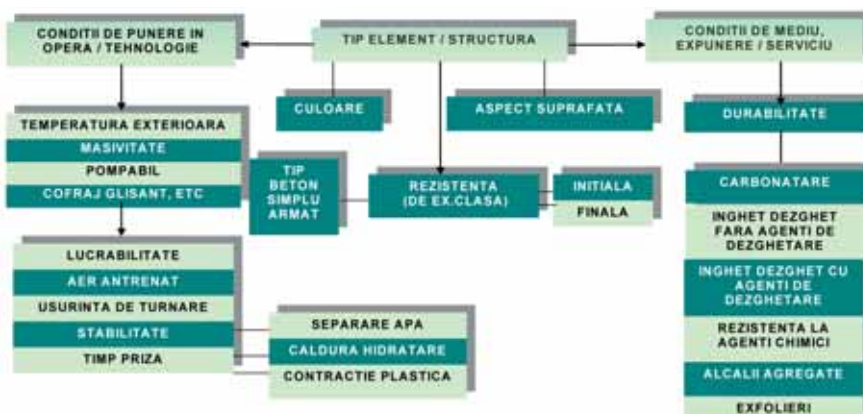


Figura 3.5 - Caracteristici relevante pentru alegerea tipului de ciment



Alegerea unui anumit tip de ciment trebuie să țină seama de mai mulți factori, care sunt prezentați sintetic în figura 3.5 și în tabelele 3.15, 3.16, 3.17, 3.18.

Tabelul 3.15 - Caracteristici ale unor tipuri de cimenturi din România

Tip ciment	Sensibilitatea la frig	Degajare de căldură	Utilizare <sup>1</sup> Preferențială	Contraindicații	Observații particulare
CEM I 52,5R	Insensibil	Ridicată	Elemente monolite și prefabricate Betonare pe timp friguros	Betoane masive <sup>2</sup> , mortare, șape	Destinat în special elementelor prefabricate; Pe timp călduros se vor lua măsuri speciale
CEM I 42,5 R*	Insensibil	Ridicată	Elemente monolite și prefabricate Betonare pe timp friguros	Betoane masive <sup>2</sup> , mortare, șape	Destinat în special elementelor prefabricate; Pe timp călduros se vor lua măsuri speciale
I A 52,5c	Insensibil	Ridicată	Elemente prefabricate	Betoane masive <sup>2</sup>	Destinat în special elementelor prefabricate
SR I	Insensibil	Redusă	Betoane rezistente la sulfati		
CD 40*	Insensibil	Redusă	Betoane de drumuri		



Tabelul 3.15 – (continuare)

Tip ciment	Sensibilitatea la frig	Degajare de căldură	Utilizare <sup>1</sup> Preferențială	Contraindicații	Observații particulare
<b>CEM II A-S 32,5 N sau R*</b>	<b>Puțin sensibil</b>	<b>Redusă</b>	<b>Beton, beton armat</b>		
<b>CEM II A-S 42,5 N sau R*</b>	<b>Puțin sensibil</b>	<b>Medie</b>	<b>Beton, beton armat</b>		
<b>H II A S</b>	<b>Puțin sensibil</b>	<b>Redusă</b>	<b>Betoane masive</b>		
<b>CEM II B 32,5 N sau R*</b>	<b>Sensibil</b>	<b>Redusă</b>	<b>Beton, beton armat</b>		<b>Necesită o tratare prelungită</b>
<b>CEM II B 42,5 N sau R</b>	<b>Sensibil</b>	<b>Redusă</b>	<b>Beton, beton armat</b>		<b>Necesită o tratare prelungită</b>
<b>CEM III A 32,5R*</b>	<b>Foarte sensibil</b>	<b>Redusă</b>	<b>Beton, beton armat Betonare pe timp călduros</b>	<b>Betonare pe timp friguros</b>	<b>Necesită o tratare prelungită</b>

1) În conformitate cu tabelele 3.10, 3.11, 3.12, 3.13  
 2) La turnarea elementelor masive (având grosimea egală sau mai mare cu 80 cm) se recomandă utilizarea cimenturilor cu degajare redusă de căldură. Tabelele 3.16, 3.17, 3.18 prezintă în completare recomandări generale privind alegerea tipului de ciment funcție de condițiile climatice la punerea în operă.  
 \*) **Cimenturi fabricate de CARPATCEMENT HOLDING S.A.**

### Condiții normale

În cazul în care temperatura la punerea în operă, înainte de decofrare și/sau la punerea în serviciu se încadrează în intervalul de la 5° la 25°C, betonul nu este destinat să fie în contact cu agenți agresivi (sulfati, săruri de dezghețare, etc.) și elementele din beton au dimensiuni normale, tabelul 3.16 prezintă recomandări de utilizare a cimenturilor în funcție de atingerea rezistenței la 28 de zile.

Se poate observa din tabel că, în ceea ce privește viteza de atingere a unei anumite rezistențe a betonului la 28 de zile, esențiale sunt caracteristicile de rezistență ale cimenturilor și mai puțin tipurile și proporțiile de adaosuri.

Tabelul 3.16 - Indicarea tipului de ciment funcție de atingerea rezistenței la 28 zile

Clasa de rezistență a cimentului	CEM I	CEM II A	CEM II B	CEM III A
32,5 N sau R		viteză medie de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă până la C25/30)	viteză medie de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă până la C25/30)	viteză medie de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă până la C25/30)
42,5 N sau R	viteză mare de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă de peste C 25/30)	viteză mare de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă de peste C 25/30)	viteză mare de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă de peste C 25/30)	
52,5 N sau R	viteză foarte mare de atingere a rezistenței la 28 zile			

### Condiții speciale

#### • Turnare pe timp friguros (<5°C)

Tabelul 3.17 - Recomandări de utilizare a cimenturilor pentru turnarea betonului pe timp friguros

Clasa de rezistență a cimentului	CEM I	CEM II A	CEM II B	CEM III A
32,5 N sau R		Recomandabil	Puțin recomandabil	Puțin recomandabil
42,5 N sau R	Foarte recomandabil <sup>1)</sup>	Recomandabil	Recomandabil	
52,5 N sau R	Foarte recomandabil <sup>1)</sup>			

1) a se vedea art. 8.5 "Tratare și protecție" și anexa E 8.5 a SR ENV 13670-1 „Execuția structurilor de beton - Partea I: Generalități”.

#### • Turnare pe timp călduros (>25°C)

Tabelul 3.18 - Recomandări de utilizare a cimenturilor pentru turnarea betonului pe timp călduros

Clasa de rezistență a cimentului	CEM I	CEM II A	CEM II B	CEM III A
32,5 N sau R		Recomandabil	Foarte recomandabil <sup>1)</sup>	Foarte recomandabil <sup>1)</sup>
42,5 N sau R	Puțin recomandabil	Recomandabil	Recomandabil	
52,5 N sau R	Puțin recomandabil			

1) a se vedea art. 8.5 "Tratare și protecție" și anexa E 8.5 a SR ENV 13670-1 „Execuția structurilor de beton - Partea I: Generalități”.

Recomandările privind alegerea tipurilor de cimenturi funcție de temperatura la punerea în operă a betonului trebuie corelate cu alegerea cimenturilor funcție de o anumită aplicație și mediu de expunere care se face având în vedere regulile prezentate în tabelele 3.10, 3.11, 3.12, 3.13.

#### Exemple de aplicare a metodologiei

Aplicarea metodologiei trebuie să conducă la determinarea cerințelor de durabilitate pentru betonul unei construcții amplasate într-un anumit mediu.

Schema generală după care se determină aceste cerințe este următoarea:

- 1 - Încadrarea construcției funcție de domeniu și mediu de expunere (condiții / clase de expunere);
- 2 - Determinarea clasei de durabilitate;
- 3 - Determinarea cerințelor corespunzătoare clasei de durabilitate.

Având în vedere considerațiile prezentate în lucrare, construcția se încadrează într-o anumită clasă de durabilitate pentru care se pot întocmi «fișe» cu cerințe.

Așa cum s-a precizat, după încadrarea într-o anumită clasă de durabilitate trebuie întocmite și aplicate prevederile fișelor de cerințe.

Aceste fișe pot avea următorul format :

**CLASA DE DURABILITATE**

• **CERINȚE PRIVIND COMPOZIȚIA BETONULUI**

- Clasa minimă de rezistență;
- Raportul A/C maxim;
- Tip ciment;
- Dozaj minim ciment;
- Alte cerințe: (de exemplu aer antrenat, agregate rezistente la îngheț,

etc.).

• **CERINȚE PRIVIND ALCĂTUIREA ȘI VERIFICAREA ELEMEN-  
TELOR** (din punct de vedere al durabilității)

- Grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton;
- Deschidere admisibilă fisuri;

• **CERINȚE PRIVIND EXECUȚIA LUCRĂRILOR**

- Tipul elementelor;
- Masivitatea elementelor;
- Condiții meteorologice la turnare;
- Durata tratării;
- Alte condiții speciale;

• **CERINȚE SPECIALE PRIVIND VERIFICAREA / CONTROLUL  
CALITĂȚII**

• **CERINȚE SPECIALE PRIVIND MENTENANȚA**

Se vor prezenta în continuare exemple de aplicare a acestei metodologii prin utilizarea claselor de durabilitate.

**i. Betonul unei construcții de locuințe (suprastructura) aflată în mediu urban.**

Proiectantul va preciza clasa de durabilitate care, în cazul exemplului ales, este în conformitate cu prevederile tabelului 3.7: D12/30.

Notă - Conform metodologiei prezentate, 30 reprezintă clasa minimă de rezistență la compresiune a betonului determinată din condiții de durabilitate. În cazul în care din calculul de rezistență va rezulta o clasă mai mare se va adopta aceasta.

Pentru această clasă de durabilitate cerințele sunt:

**CLASA DE DURABILITATE D12/30 (XC4, XF1)**

• **CERINȚE PRIVIND COMPOZIȚIA BETONULUI**

- Clasa minimă de rezistență a betonului determinată din condiții de durabilitate: C25/30 (tabelele 3.6, 3.7);

- Raportul A/C maxim: 0,50 (tabelul 3.7);

- Tip ciment: se va alege având în vedere dimensiunile (masivitatea) elementelor și condițiile (inclusiv climatice) în care se efectuează



turnarea elementelor (tabelele 3.10...3.17);

De exemplu: I; II A-S; II A-V; II B-S; II B-M (funcție de tipurile și combinațiile de amestecuri din ciment); III A (tabelele 3.10.... 3.18);

- Dozaj minim de ciment: 300 kg/m<sup>3</sup> (tabelul 3.4);

- Alte cerințe: -

• **CERINȚE PRIVIND ALCĂTUIREA ȘI VERIFICAREA ELEMENTELOR**

- Grosime minimă strat de acoperire: 30 mm (tabelul 3.8 și Anexa 3.3);

- Deschidere admisibilă fisuri: 0,3 mm (Tabelul 3.9);

• **CERINȚE PRIVIND PROTECȚIA LUCRĂRILOR**

- Durata tratării: se determină funcție de tipul de ciment utilizat și de condițiile de expunere din timpul execuției (tabelul 3.14 și Anexa 3.2);

• **CERINȚE SPECIALE PRIVIND VERIFICAREA / CONTROLUL CALITĂȚII**

- Se vor respecta prevederile reglementărilor în vigoare.

**ii. Beton din elementele orizontale (beton armat) ale podurilor în contact direct cu intemperiiile și cu traficul**

În conformitate cu tabelul 3.7, betonul se încadrează în clasa de durabilitate D32/45a.

Notă - Conform metodologiei prezentate, 45 reprezintă clasa minimă de rezistență la compresiune a betonului determinată din condiții de durabilitate. În cazul în care din calculul de rezistență va rezulta o clasă mai mare se va adopta aceasta.

Pentru această clasă fișa de cerințe se prezintă în felul următor:



**CLASA DE DURABILITATE D32/45a (XC4, XM2, XD3, XF4)**

• **CERINȚE PRIVIND COMPOZIȚIA BETONULUI**

- Clasa minimă de rezistență a betonului determinată din condiții de durabilitate: C 35/45a (tabelul 3.7);
- Raport A/C minim: 0,45 (tabelul 3.7);
- Tip ciment: de exemplu ciment special de drumuri CD, I, II A-S (tabelele 3.10...3.18);
- Dozaj minim de ciment: 340 kg/m<sup>3</sup> (tabelul 3.4);
- Beton cu aer antrenat (tabelul 3.5).

• **CERINȚE PRIVIND ALCĂȚUIREA ȘI VERIFICAREA ELEMEN-TELOR**

- Grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton 45 mm (tabelul 3.8 și Anexa 3.3);
- Deschidere admisibilă fisuri 0,3 mm, în cazul în care nu sunt necesare prevederi speciale (tabelul 3.9).

• **CERINȚE PRIVIND EXECUȚIA LUCRĂRILOR**

- Durata tratării: se va ține seama de faptul că mediul este agresiv, de sensibilitatea amestecului de beton având în vedere tipurile de ciment utilizate; se vor considera condițiile de mediu din timpul tratării (Anexa 3.2 și tabelul 3.14).

- Alte condiții speciale:

• **CERINȚE SPECIALE PRIVIND VERIFICAREA / CONTROLUL CALITĂȚII**

- Se vor verifica probe din beton supuse la cicluri de îngheț-dezghet și la agenți de dezghețare.

Se poate constata că metoda propusă asigură legătura necesară între măsurile luate la proiectare, producerea betonului și execuție pentru asigurarea durabilității construcțiilor din beton armat având în vedere prevederile Anexei Naționale de aplicare a SR EN 206-1. De asemenea aplicarea este simplă și nu necesită interpretări sau cunoștințe speciale.

**3.2 Aplicarea claselor de durabilitate la evaluarea construcțiilor din beton armat**

Utilizarea claselor de durabilitate la evaluarea structurilor din beton armat este mai dificilă decât în cazul proiectării.

Acest aspect este firesc având în vedere că o serie din caracteristicile care definesc clasele de durabilitate nu pot fi determinate experimental.

Clasa de rezistență a beto-



nului poate fi determinată relativ ușor la construcții existente utilizând diferite metode distructive sau nedistructive. Clasa de durabilitate cuprinde (înglobează) mai multe caracteristici și deci necesită mai multe metode de investigare/evaluare.

Metodele care trebuie utilizate sunt de fapt cele în urma cărora se pot determina anumite caracteristici necesare încadrării într-o anumită clasă de durabilitate.

Revenind la definirea clasei de durabilitate  $Dz/y$ , în care  $z$  reprezintă/ caracterizează elementul situat într-un anumit mediu de expunere, iar  $y$  clasa de beton minimă corespunzătoare aceluși mediu de expunere, se poate constata că **în evaluarea durabilității construcțiilor din beton existente se pornește de la o clasă de durabilitate cunoscută și se compară cu cea reală**. În acest caz se vor compara toate valorile caracteristicilor betonului care pot fi "măsurate" cu cele corespunzătoare clasei prescrise.

Se vor compara astfel următoarele valori:

$Dz/y (c_{n,1} \dots c_{n,i})$  cu  $(c_{m,1} \dots c_{m,i})$

în care:

$c_{n,1} \dots c_{n,i}$  sunt caracteristici ale betonului corespunzătoare clasei de durabilitate  $Dz/y$ ; ( $n$  – necesar;  $1 \dots i$  număr caracteristici);

$c_{m,1} \dots c_{m,i}$  sunt caracteristicile măsurate ale betonului din construcție; ( $m$  – măsurat;  $1 \dots i$  număr caracteristici).

Funcție de valorile obținute și în special de importanța caracteristicilor pentru durabilitate se poate face o apreciere asupra stării construcției din beton armat.

În conformitate cu definirea claselor de durabilitate se pot determina următoarele caracteristici notate  $c_{m,1} \dots c_{m,n}$ :

- rezistența la compresiune a betonului (clasa de rezistență a betonului);
- grosimea stratului de acoperire cu beton / adâncimea stratului de beton carbonat;
- existența / deschiderea fisurilor;
- dozajul de ciment.

Evident că pentru caracterizarea unei structuri din beton armat din punctul de vedere al durabilității se mai pot aplica și alte metode de investigare. Aceste investigații suplimentare sunt necesare pentru caracterizarea stării de degradare. Pe de altă parte caracteristici esențiale pentru comportarea betonului în diferite medii cum ar fi tipul de ciment sau raportul A/C nu pot fi determinate experimental în cazul unor construcții existente, în schimb vizualizarea/determinarea stării betonului din elementele structurale constituie un important indiciu asupra analizării durabilității.

În Anexa 3.4 se prezintă o serie din metodele de evaluare a caracteristicilor betonului.

Evaluarea este o activitate mai dificilă decât proiectarea propriu-zisă. În schimb pot fi determinate valorile reale ale caracteristicilor betonului.

În cazul evaluării este necesară efectuarea unei analize de ansamblu, o simplă comparare între valorile măsurate și cele corespunzătoare unei anumite clase de durabilitate a betonului nu este suficientă.

Din acest motiv în cazul evaluării se propune următoarea **metodologie**:

1 - se determină valorile caracteristicilor  $c_{n,1} \dots c_{n,i}$  ale clasei de durabilitate corespunzătoare funcției de tipul de element / structură / mediu de expunere. Valorile se stabilesc tot pe baza "fișelor tip" prezentate în cazul aplicării claselor de durabilitate la proiectare.

2 - se determină experimental valorile caracteristicilor corespunzătoare:  $c_{m,1} \dots c_{m,i}$

3 - se compară valorile obținute.

4 - se face o analiză a rezultatelor obținute și se fac propuneri privind alte investigații suplimentare (dacă este cazul).

5 - în urma acestor analize se trag concluzii privind valorile caracteristicilor obținute față de cele care ar fi trebuit să caracterizeze o anumită clasă de durabilitate. Concluziile trebuie trase având în vedere starea generală a elementelor și structurilor din beton.

Concluziile vor avea un caracter mai mult calitativ:

• **Elementul / structura SE încadrează în clasa de durabilitate corespunzătoare (tipului de construcție și mediului de expunere).**

• **Elementul / structura NU SE încadrează în clasa de durabilitate corespunzătoare (tipului de construcție și mediului de expunere).**

În acest caz se vor specifica măsurile necesare.

Chiar dacă, așa cum era și normal, utilizarea noțiunii de clasă de durabilitate la evaluarea durabilității este mai dificilă decât în cazul proiectării și în acest caz se pot pune bazele unei metodologii originale.

În acest caz aplicarea metodei trebuie să se facă numai de personal având cunoștințele necesare și experiența în evaluarea durabilității structurilor din beton armat.

În acest caz expertul trebuie să răspundă la o serie de întrebări legate de ponderea/importanța în care pot interveni anumiți parametri.

### **Exemple de aplicare**

Pentru a se face o legătură cu metoda de proiectare la care s-au utilizat clasele de durabilitate se alege exemplul 1, în care se precizau cerințele pentru elementele din beton armat exterioare ale unei construcții civile "Etapela aplicării" sunt:

i) Definierea clasei de durabilitate care se face în mod similar



ca și în cazul proiectării (rezultă astfel clasa de durabilitate necesară D12/30);

ii) Utilizarea “fișei” tip pentru evidențierea caracteristicilor necesare ale betonului.

În acest caz se utilizează în mod evident numai cerințele privind compoziția betonului (și dintre acestea numai cele care se pot determina în mod efectiv pe construcții existente), cerințele privind alcătuirea elementelor și se verifică îndeplinirea condițiilor de mentenanță (dacă există).

Fișa tip (redușă) pentru investigare / evaluare indică următoarele caracteristici:

**CLASA DE DURABILITATE D12/30**

**• CERINȚE PRIVIND COMPOZIȚIA BETONULUI**

- clasa de beton minimă: C25/30

- dozaj minim de ciment: 300 kg/m<sup>3</sup> (tipul de ciment nu se poate determina, dar pot exista date la “Cartea Construcțiilor”) (raportul A/C inițial “poate fi dedus” dar nu se poate determina experimental); pot fi utilizate date din reglementările tehnice valabile la data proiectării / executării construcțiilor.

Observații:

- Majoritatea caracteristicilor betonului sunt în relație directă cu rezistența la compresiune, care la rândul ei este dependentă de raportul A/C;

- Starea betonului determinată printr-o serie de teste adecvate poate da indicații asupra alegerii inițiale “corespunzătoare” a cimentului.

**• CERINȚE PRIVIND ALCĂTUIREA ȘI VERIFICAREA ELEMENTELOR**

- Grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton: 30 mm;

- Deschidere admisibilă fisuri: 0,3 mm.

iii) Determinarea experimentală, într-o primă etapă, a următoarelor caracteristici:

- rezistența la compresiune;

- dozajul de ciment;

- grosimea stratului de acoperire cu beton;

- măsurarea deschiderii fisurilor (dacă este cazul).

Se aplică metodele în conformitate cu cele indicate în Anexa 3.4.

iv) Se compară valorile determinate experimental cu valorile corespunzătoare claselor de durabilitate. Se concluzionează funcție de rezultatele obținute.

În cazul în care oricare dintre valorile obținute experimental este inferioară celor prescrise se concluzionează că structura respectivă nu se încadrează în clasa de durabilitate necesară.

De exemplu grosimea măsurată a stratului de acoperire cu beton este inferioară valorii de 30 mm.



v) Se fac propuneri de investigații suplimentare, în acest caz stabilirea stratului de beton carbonatat.

vi) Se analizează rezultatele și se stabilesc (dacă este cazul) măsuri corespunzătoare.

Funcție de grosimea stratului de beton carbonatat se poate face o estimare a perioadei până la care betonul va fi carbonatat pe întreaga grosime; în cazul în care se estimează că perioada de la darea în folosință a construcției și până când betonul este complet carbonatat este mai mare sau egală decât cea considerată inițial, inclusiv în ipotezele privind încadrarea în clasa de durabilitate D12/30, nu sunt necesare măsuri speciale. În caz contrar se studiază posibile măsuri de intervenție.



Din exemplul prezentat se poate observa că **evaluarea este un proces care necesită atât aplicarea unor metode și echipamente speciale de investigare cât și specialiști calificați în aplicarea metodelor și în interpretarea și analizarea rezultatelor.**

În orice caz, pentru aplicarea claselor de durabilitate la evaluarea construcțiilor s-a creat posibilitatea unor evaluări cantitative directe a unor caracteristici foarte importante ale betonului în ceea ce privește comportarea corespunzătoare în timp a structurilor din beton armat.

## ANEXA 3.1

### METODA DE ALEGERE A TIPURILOR DE CIMENTURI

Metoda constă în **alegerea cimentului funcție de tipul de element, condițiile de punere în operă precum și de mediul de expunere la care va fi supus betonul.**

Se determină în prealabil **influența cimenturilor asupra unor caracteristici ale betonului supus la diferite tipuri de acțiuni (lucrabilitate, separarea apei, timp de priză, căldură de hidratare, rezistențe la 2 zile și la 28 de zile, îngheț-dezgheț, atac sulfatic, carbonatare).** Determinarea influenței cimenturilor este cuantificată prin punctaje de la 0 la 4 funcție de impactul produs asupra betonului.

A doua etapă constă în **determinarea condițiilor impuse de o anumită utilizare a betonului (de exemplu tip element și implicit condiții de punere în operă și de expunere)** care se cuantifică prin punctaje de la 0 la 6 ținând seama de aceleași criterii ca cele utilizate pentru determinarea influenței cimenturilor.

Evident metoda are un caracter orientativ.

**Se exemplifică aplicarea metodei pentru cimenturile CEM II/A-S, CEM II/A-M, CEM II/A-V, CEM II/B-S, CEM II/B-M și CEM I, pentru betoane masive hidrotehnice și pentru betonul din suprastructura unor construcții supuse la îngheț-dezgheț.**

Rezultatele aplicării metodei sunt prezentate în tabelele 3.1.1...3.1.5.

**Aplicarea metodei se face în felul următor:**

- 1. Se determină punctajele de la 0 la 4, pentru fiecare ciment în parte în vederea cuantificării influenței acestora asupra unor caracteristici ale betonului (tabelele 3.1.1 și 3.1.3);**
- 2. Funcție de tipul de aplicație se determină cerințele pe care trebuie să le îndeplinească betonul, având în vedere tipul de element, modalitățile de punere în operă și mediile de expunere și serviciu; (cuantificarea se face de la 0 la 6 puncte pentru aceleași criterii ca cele folosite pentru cimenturi și descrise la punctul anterior, tabelele 3.1.2 și 3.1.4).**
- 3. Se analizează punctajele obținute prin aplicarea celor două criterii și se elimină cimenturile care au un impact negativ și negativ accentuat asupra condițiilor esențiale cerute într-o anumită aplicație.**

4. Pentru cimenturile care îndeplinesc condițiile de utilizare se calculează produsul pentru aceleași criterii între punctajele “pentru cimenturi și pentru elementele din beton”.
5. Se însumează „produsele obținute” pentru fiecare criteriu și tip ciment, iar valoarea cea mai mare obținută este aceea a cimentului cel mai indicat pentru o anumită aplicație. Evident și celelalte cimenturi care au obținut punctaje pot fi utilizate pentru acea aplicație.
6. Clasa de rezistență a cimentului ce se va utiliza la prepararea betonului se alege funcție de clasa de rezistență proiectată a betonului (tabelul 3.1.5).

Notă - Se precizează că exemplele de utilizare a cimenturilor date în prezenta anexă nu „acoperă toate posibilitățile”, alegerea anumitor tipuri de cimenturi a fost efectuată în scopul demonstrării aplicării metodei.

Tipurile de cimenturi utilizabile pentru diferitele aplicații sunt prezentate în capitolul 3.

Metoda a urmărit să scoată în evidență posibilitatea cuantificării criteriilor de alegere a cimentului pentru o anumită aplicație pe baza particularităților de comportare în betoane a diferitelor tipuri de cimenturi și a identificării cerințelor specifice pentru o anumită aplicație.

Tabelul 3.1.1 - Influența utilizării cimenturilor asupra unor caracteristici ale betonului armat de clasă C 25/30 (cu aer antrenat), beton masiv supus la îngheț-dezgheț, clasa de durabilitate D20/30a

Tip ciment	Lucrabilitate	Separare apă	Țimp de priză	Căldura de hidratare	Rezistența la compresiune la 2 zile	Rezistența la compresiune la 28 zile	Îngheț-dezgheț	Atac sulfatic*	Carbonatare
CEM II/A-S	2	2	2	2	2	3	3	2	3
CEM II/A-M	2	2	2	2	2	2	0**	2	2
CEM II/A-V	2	2	2	2	2	2	1	2	2
CEM II/B-S	3	1	3	3	1	2	2	3	2
CEM II/B-M	3	2	3	3	1	2	0**	3	2
CEM I	2	2	1	1	4	4	4	0	4

Legenda:  
**0 impact negativ accentuat**  
**1 impact negativ**  
**2 fără impact**  
**3 impact pozitiv**  
**4 impact pozitiv accentuat**  
 \*Se referă la agresivitate chimică slabă (XA1), pentru agresivitate chimică moderată și intensă se folosesc cimenturi rezistente la sulfați  
 \*\* Se poate considera valoarea 2 funcție de tipurile de adaosuri utilizate la fabricarea cimenturilor (a se vedea capitolul 3, tabelele 3.11 și 3.13)

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

**Tabelul 3.1.2 - Stabilire cerință tip ciment funcție de tip element / „condiții de punere în operă”, mediu expunere XC4, XF3, clasa de durabilitate D20/30a (exemplu beton armat de clasă C 25/30 (cu aer antrenat), beton masiv supus la îngheț-dezghet)**

Tip ciment	Lucrabilitate	Separare apă	Țimp de priză	Căldura de hidratare	Rezistența la compresiune la 2 zile	Rezistența la compresiune la 28 zile	Îngheț-dezghet	Atac sulfatic*	Carbonatare	Total punctaje
Influență tip element / mediu	2	4	4	6	2	6	6	2	6	
<b>CEM II/A-S</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>Produs</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>94</b>
Influență tip element / mediu	2	4	4	6	2	6	6	2	6	
<b>CEM II/B-S</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	
<b>Produs</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>84</b>

Legenda:  
**0 nu se impun condiții speciale**  
**2 condiție necesară**  
**4 condiție importantă**  
**6 condiție esențială**  
 \*Se referă la agresivitate chimică slabă (XA1), pentru agresivitate chimică moderată și intensă se folosesc cimenturi rezistente la sulfati  
 Notă - Se pot utiliza și cimenturile CEM II/A-M și CEM II/B-M funcție de tipurile de adaosuri și evident cimenturile cu căldură de hidratare redusă (capitolul 3, tabelele 3.10...3.13).

**Tabelul 3.1.3 - Influența utilizării cimenturilor asupra unor caracteristici ale betonului armat de clasă C25/30, pentru suprastructură, supus la îngheț-dezghet, clasa de durabilitate D12/30**

Tip ciment	Lucrabilitate	Separare apă	Țimp de priză	Căldura de hidratare	Rezistența la compresiune la 2 zile	Rezistența la compresiune la 28 zile	Îngheț-dezghet	Atac sulfatic*	Carbonatare
<b>CEM II/A-S</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>CEM II/A-M</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0**</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>CEM II/A-V</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>CEM II/B-S</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>CEM II/B-M</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0**</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>CEM I</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>

Legenda:  
**0 impact negativ accentuat**  
**1 impact negativ**  
**2 fără impact**  
**3 impact pozitiv**  
**4 impact pozitiv accentuat**  
 \*Se referă la agresivitate chimică slabă (XA1), pentru agresivitate chimică moderată și intensă se folosesc cimenturi rezistente la sulfati  
 \*\* Se poate considera valoarea 2 funcție de tipurile de adaosuri utilizate la fabricarea cimentului (a se vedea capitolul 3, tabelele 3.11 și 3.13)

Notă - Se poate observa că metoda ia în considerare influența tipurilor de cimenturi asupra betonului proaspăt și întărit, inclusiv în ceea ce privește durabilitatea.

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

**Tabelul 3.1.4 - Stabilire cerință tip ciment funcție de tip element / condiții de punere în operă, mediu expunere XC4, XF1, clasa de durabilitate D12/30 (exemplu beton armat de clasă C25/30, pentru suprastructură, supus la îngheț-dezgheț)**

Tip ciment	Lucrabilitate	Separare apă	Temp de priză	Căldura de hidratare	Rezistența la compresie la 2 zile	Rezistența la compresie la 28 zile	îngheț-dezgeț	Atac sulfatic*	Carbonatare	Total punctaje
Influență tip element / mediu	6	2	2	0	4	6	6	0	6	
<b>CEM II/A-S</b>	2	2	2	2	2	3	3	2	3	
<b>Produs</b>	12	4	4	0	8	18	18	0	18	82
Influență tip element / mediu	6	2	2	0	4	6	6	0	6	
<b>CEM II/B-S</b>	3	1	3	3	1	2	2	3	2	
<b>Produs</b>	18	2	6	0	4	12	12	0	12	66
Influență tip element / mediu	6	2	2	0	4	6	6	0	6	
<b>CEM I</b>	2	2	1	1	4	4	4	0	4	
<b>Produs</b>	12	4	2	0	16	24	24	0	24	106

*Legenda:*  
**0 nu se impun condiții speciale**  
**2 condiție necesară**  
**4 condiție importantă**  
**6 condiție esențială**  
 \*Se referă la agresivitate chimică slabă (XA1), pentru agresivitate chimică moderată și intensă se folosesc cimenturi rezistente la sulfat  
 Notă - Se pot utiliza și cimenturile CEM II/A-M și CEM II/B-M funcție de tipurile de adaosuri, precum și alte tipuri de cimenturi (capitolul 3, tabelele 3.10...3.13).

**Tabelul 3.1.5 - Alegerea clasei de rezistență a cimentului funcție de clasa de rezistență proiectată a betonului**

CLASA BETONULUI	CLASA CIMENTULUI		
	32,5	42,5	52,5
C8/10	X		
C12/15	X		
C16/20	X	X	
C20/25	X	X	
C25/30	X	X	X
C30/37		X	X
C35/45		X	X
C40/50			X
C45/55			X
C50/60			X

## ANEXA 3.2

### TRATAREA BETONULUI DUPĂ TURNARE

(Extras din NE 012-99)

Tratarea betonului este de asemenea un element deosebit de important în asigurarea durabilității elementelor și structurilor din beton armat.

Durata tratării depinde de mai mulți factori. Acești factori sunt bine reflectați în reglementările românești de execuție, în care se indică elemente necesare duratei și modalităților de tratare a betonului

#### **Durata tratării**

Durata tratării depinde de:

a) Sensibilitatea betonului la tratare, funcție de compoziție.

Cele mai importante caracteristici ale compoziției betonului, care influențează durata tratării betonului, sunt: raportul apă/ciment, tipul și clasa cimentului, tipul și proporția aditivilor.

Betonul cu un conținut redus de apă (raport A/C mic) și care are în compoziție cimenturi cu întărire rapidă (R) atinge un anumit nivel de impermeabilitate mult mai rapid decât un beton preparat cu un raport A/C ridicat și cu cimenturi cu întărire normală, durata tratării diferind în consecință.

De asemenea, având în vedere că, funcție de clasa de expunere, betoanele preparate cu cimenturi de tip II - V compozite, sunt mai sensibile la carbonatare decât betoanele preparate cu cimenturi portland de tip I, în cazul folosirii aceluiași raport A/C se recomandă prelungirea duratei de tratare pentru primul caz.

b) Temperatura betonului

În general, cu cât temperatura exterioară este mai scăzută, cu atât timpul necesar de tratare este mai mic. Temperatura betonului după turnare depinde de temperatura mediului ambiant, tipul și clasa cimentului, dimensiunile elementelor structurale și proprietățile de izolator ale cofrajului.

c) Condițiile atmosferice în timpul și după turnare

Durata de tratare depinde de temperatura mediului ambiant, umiditate și viteza vântului, care pot accelera uscarea prematură a betonului.

d) Condițiile de serviciu, inclusiv de expunere, ale structurii

Cu cât condițiile de expunere sunt mai severe cu atât este necesar

ca durata de tratare să fie prelungită.

În figura 3.2.1. se prezintă schematic durata de tratare, funcție de următorii parametri:

- agresivitatea mediului pe timpul duratei de serviciu;
- condițiile de mediu în timpul tratării betonului;
- sensibilitatea amestecului (funcție de tipul de ciment și raportul apă/ciment); pentru a se obține un amestec mai puțin sensibil la tratare trebuie în general redus raportul apă/ciment.

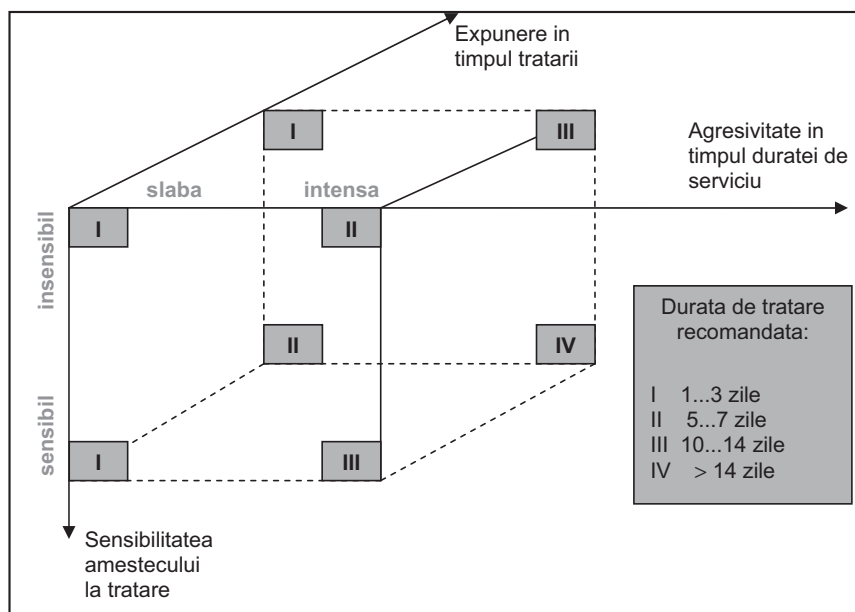


Figura 3.2.1 - Durata de tratare a betonului

În tabelul 3.2.1. se prezintă durata orientativă (în zile) a tratării betonului funcție de dezvoltarea rezistenței betonului, temperatura betonului și condițiile de mediu în timpul tratării.

În tabelul 3.2.2. se prezintă aprecieri asupra dezvoltării rezistenței betonului funcție de raportul apă/ciment și clasa de rezistență a cimentului.

Duratele minime orientative privind tratarea betonului funcție de dezvoltarea rezistenței și temperatura betonului sunt prezentate și în tabelul 3.14 din capitolul 3 și se bazează pe principiul că tratarea betonului trebuie continuată până la atingerea a 50% din rezistența caracteristică a betonului elementului structural.

Tabelul 3.2.1 - Durata orientativă (în zile) a tratării betonului

Dezvoltarea rezistenței betonului	rapidă			medie			lentă		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Temperatura betonului în timpul tratării ( ° C )									
Condiții de mediu în timpul tratării:									
Elemente expuse indirect razelor solare, umiditate sub 80%	2	2	1	3	3	2	4	4	2
Elemente expuse razelor solare sau vântului cu viteză medie, umiditate peste 50%	4	3	2	6	4	3	8	5	4
Elemente expuse la razele intense ale soarelui sau la o viteză mare a vântului sau la o umiditate sub 50%	4	3	2	8	6	5	10	8	5

Tabelul 3.2.2 - Aprecieri asupra dezvoltării rezistenței betonului funcție de raportul apă/ciment și clasa de rezistență a cimentului

Viteza de dezvoltare a rezistenței betonului	Raport apă / ciment	Clasa de rezistență a cimentului
rapidă	< 0,5	42,5 R-52,5 R
medie	0,5 ÷ 0,6	42,5 R
	< 0,5	32,5 R - 42,5
lentă	toate celelalte cazuri	

Durata tratării exprimată în tabelul 3.2.1. are un caracter orientativ, aceasta stabilindu-se pentru fiecare caz în parte.

În tabelul 3.2.1. sunt prezentate recomandări privind durata tratării betonului pentru cimenturi de tip I (Portland) și pentru temperaturi de 5° C, 10 °C și 15 °C. Durata de tratare depinde în mod substanțial de temperatura betonului; de exemplu la 30 °C durata tratării poate fi aproximativ jumătate din durata tratării betonului la 20 °C. Astfel izolarea prin cofraj poate fi o metodă de reducere a timpului de tratare.

Betonul preparat cu cimenturi conținând și alte componente decât clincher (tip II, III, IV etc.) sau conținând anumite tipuri de adaosuri este mult mai sensibil la tratament decât betonul preparat cu ciment de tipul I, la același raport apă/ciment. În aceste cazuri se recomandă, față de condițiile date în tabel, ca durata tratării să crească în medie cu două zile pentru betonul preparat cu cimenturi de tip II, III, IV sau V.

În cazul în care betonul este supus intens la uzură sau structura se va afla în condiții severe de expunere, se recomandă creșterea duratei de tratare cu (3 - 5) zile.

Notă - În lipsa unor date referitoare la compoziția betonului, condițiile de expunere în timpul duratei de serviciu a construcției - pentru a asigura condiții favorabile de întărire și a reduce deformațiile din contracție - se va menține umiditatea timp de minimum 7 zile după turnare.

Protecția betonului se va realiza cu diferite materiale (prelate, strat de nisip, etc.). Materialul de protecție trebuie menținut permanent în stare umedă.

Stropirea cu apă va începe după (2 - 12) ore de la turnare, în funcție



de tipul de ciment utilizat și temperatura mediului, dar imediat după ce betonul este suficient de întărit pentru ca prin această operație să nu fie antrenată pasta de ciment.

Stropirea se va repeta la intervale de (2-6) ore, în așa fel încât suprafața să se mențină permanent umedă. Se va folosi apă care îndeplinește condițiile de calitate similare cu condițiile de la apa de amestecare. În cazul în care temperatura mediului este mai mică de +5 °C, nu se va proceda la stropire cu apă, ci se vor aplica materiale sau pelicule de protecție. În general, în momentul în care se obține o rezistență a betonului de 5 N/mm<sup>2</sup> nu mai este necesară protecția. Peliculele de protecție se aplică în conformitate cu reglementările speciale.

Pe timp ploios suprafețele de beton proaspăt vor fi acoperite cu prelate sau folii de polietilenă atâta timp cât prin căderea precipitațiilor există pericolul antrenării pastei de ciment.

## ANEXA 3.3

### ACOPERIREA CU BETON

(Extras din SR EN 1992-1)

#### 3.3.1 Generalități

(1) Acoperirea este distanța între suprafața armăturii (incluzând agrafele și etrierii, precum și armăturile suprafață dacă este cazul) cea mai apropiată de suprafața betonului și aceasta din urmă.

(2) Acoperirea nominală trebuie să fie specificată pe planuri. Ea este definită ca acoperirea minimă  $c_{\min}$  (a se vedea 3.3.2) plus o suplimentare care ține seama de toleranțele de execuție  $\Delta c_{\text{dev}}$  (a se vedea 3.3.3):

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} \quad (3.1)$$

#### 3.3.2 Acoperirea minimă, $c_{\min}$

(1) Se va prevedea un strat de acoperire minim  $c_{\min}$  pentru a garanta:

- o bună transmitere a forțelor de aderență (a se vedea, de asemenea, secțiunile 7 și 8 din SR EN 1992-1);

- protecția de armăturilor contra coroziunii (durabilitate);

- o rezistență la foc convenabilă (a se vedea SR EN 1992-1-2).

(2) Valoarea ce se va utiliza este cea mai mare dintre valorile  $c_{\min}$  care satisfac în același timp cerințele privitoare la aderență și condițiile de mediu.

$$c_{\min} = \max (c_{\min,b}; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) \quad (3.2)$$

CU:

$c_{\min,b}$  acoperirea minimă față de cerințele de aderență, a se vedea 3.3.2 (3)

$c_{\min,dur}$  acoperirea minimă față de cerințele de mediu, a se vedea 3.3.2 (5)

$\Delta c_{dur,\gamma}$  marjă de siguranță, a se vedea 3.3.2 (6)

$\Delta c_{dur,st}$  reducerea acoperirii minime în cazul oțelului inoxidabil, a se vedea

3.3.2 (7)

$\Delta c_{dur,add}$  reducerea acoperirii minime în cazul unei protecții suplimentare, a se vedea 3.3.2 (8).

(3) Pentru a se asigura în același timp o transmitere fără riscuri a

forțelor de aderență și un beton suficient de compact, se recomandă ca acoperirea minimă să nu fie mai mică decât valorile  $c_{min,b}$  date în Tabelul 3.3.1.

Tabelul 3.3.1 - Acoperire minimă  $c_{min,b}$  din condiția de aderență

Cerințe față de aderență	
Disponerea armăturilor	Acoperire minimă $c_{min,b}$ *
Armătura individuală	Diametrul barei
Pachet de armături	Diametru echivalent ( $\phi_n$ ) (a se vedea 8.9.1 din SR EN 1992-1)
*Dacă dimensiunea nominală a celei mai mari granule de agregat este mai mare de 32 mm, se recomandă să se mărească $c_{min,b}$ cu 5 mm	

Notă - În ceea ce privește acoperirea armăturilor de precomprimare pre-întinse și acoperirea canalelor de precomprimare de secțiune circulară sau plată, pentru armături aderente, valorile lui  $c_{min,b}$  care se vor utiliza într-o țară dată pot fi furnizate de către Anexa Națională. Valorile recomandate pentru canale pentru beton cu armătura post-întinsă sunt următoarele:

- canale de secțiune circulară: diametrul;
- canale plate: cea mai mică dimensiune sau jumătate din dimensiunea cea mai mare, dacă aceasta este mai mare.

Pentru canale de secțiune circulară sau plate nu există cerință mai mare de 80 mm.

Valorile recomandate pentru armăturile de precomprimare pre-întinse sunt următoarele:

- 1,5 x diametrul toronului sau sârmei netede
- 2,5 x diametrul sârmei amprentate.

(4) Pentru ancoraje, în cazul betonului precomprimat, se va prevedea o acoperire minimă a ancorajului conform Acordului Tehnic European corespunzător.

(5) Acoperirea minimă a armăturilor pentru beton armat și a armăturilor de precomprimare într-un beton de masă volumică normală, care ține cont de clasele de expunere și de clasele structurale, este  $c_{min,dur}$ .

Notă - Clasele structurale și valorile  $c_{min,dur}$  ce se vor utiliza într-o țară dată pot fi furnizate în Anexa Națională. Clasa structurală recomandată (durata de utilizare de proiect egală cu 50 de ani) este clasa S4, pentru rezistențele, cu titlu de indicație, ale betonului date în Anexa E a SR EN 1992-1; Tabelul 3.3.2 prezintă modificările Clasei structurale recomandate. Clasa Structurală minimă recomandată este clasa S1.

Valorile recomandate ale  $c_{min,dur}$  sunt date în Tabelul 3.3.3 N (armături pentru beton armat) și în Tabelul 3.3.4 N (armături de precomprimare).

Observație - Valorile sunt recomandate pentru anumite clase de expunere specifice, corespunzătoare unor medii care au influențe negative asupra armăturilor din oțel (asigurarea durabilității betonului armat).

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

Tabelul 3.3.2 N - Clasificare structurală recomandată

Criteriul	Clasa structurală						
	Clasa de expunere conform tabelului 3.1 (capitolul 3)						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3/ XS2/ XS3
Durata de utilizare din proiect de 100 ani	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase
Clasa de rezistență <sup>1) 2)</sup>	≥C30/37 micșorare cu 1 clasă	≥C30/37 micșorare cu 1 clasă	≥C35/45 micșorare cu 1 clasă	≥C40/50 micșorare cu 1 clasă	≥C40/50 micșorare cu 1 clasă	≥C40/50 micșorare cu 1 clasă	≥C45/55 micșorare cu 1 clasă
Element asimilabil unei plăci (poziția armăturilor neafectată de procesul de construcție)	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă
Control special al calității de producție a betonului	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă	micșorare cu 1 clasă

Note:

1. Clasa de rezistență și raportul A/C se consideră legate. Pentru a obține o permeabilitate redusă se poate considera o compoziție specială (tip de ciment, raport A/C, părți fine).
2. Limita poate fi redusă cu o clasă de rezistență dacă aerul antrenat este peste 4%.

Tabelul 3.3.3 N - Valori ale acoperirii minime  $c_{min,dur}$  cerute de condiția de durabilitate în cazul armăturilor pentru beton armat conform cu EN 10080

Clasa structurală	Cerință de mediu pentru $c_{min,dur}$ (mm)						
	Clasa de expunere conform tabelului 3.1 (capitolul 3)						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1/XS1	XD2 / XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Tabelul 3.3.4 N - Valori ale acoperirii minime  $c_{min,dur}$  cerute de condiția de durabilitate în cazul armăturilor pentru beton precomprimat

Clasa structurală	Cerință de mediu pentru $c_{min,dur}$ (mm)						
	Clasa de expunere conform tabelului 3.1 (capitolul 3)						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1/XS1	XD2 / XS2	XD3/XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

(6) Se recomandă să se sporească acoperirea cu marjă de siguranță

$\Delta_{cdur,\gamma}$

Notă - Valoarea lui  $\Delta c_{dur,\gamma}$  care se va utiliza într-o țară dată poate fi furnizată de Anexa Națională. Valoarea recomandată este  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0$  mm.

(7) Acoperirea minimă poate fi redusă cu  $\Delta c_{dur,st}$  atunci când se utilizează oțel inoxidabil sau atunci când se iau alte dispoziții speciale. În acest caz, se va ține seamă de efectele asupra ansamblului proprietăților materialelor în cauză, inclusiv aderența.

Notă - Valoarea lui  $\Delta c_{dur,st}$  care se va utiliza într-o țară dată poate fi furnizată de Anexa Națională. Valoarea recomandată, în absența unor precizări suplimentare, este  $\Delta c_{dur,st} = 0$  mm.

(8) În cazul unui beton ce beneficiază de o protecție suplimentară (acoperiri, de exemplu), acoperirea minimă poate fi redusă cu  $\Delta c_{dur,add}$ .

Notă - Valoarea lui  $\Delta c_{dur,add}$  care se va utiliza într-o țară dată poate fi furnizată de Anexa Națională. Valoarea recomandată, în absența unor precizări suplimentare, este  $\Delta c_{dur,add} = 0$  mm.

(9) În cazul unui beton turnat pe șantier în contact cu alte elemente de beton (prefabricate sau turnate pe șantier), acoperirea minimă în raport cu interfața poate fi redusă la valoarea corespunzând celei cerute pentru aderență (a se vedea (3) de mai sus), sub rezerva că:

- betonul aparține cel puțin clasei de rezistență C25/30;
- expunerea suprafeței de beton la mediul exterior este de scurtă durată (< 28 zile);
- interfața este făcută rugoasă.

(10) Se recomandă ca acoperirea minimă a armăturilor de precomprimare neaderente să fie conformă cu Acordul Tehnic European.

(11) În cazul fețelor exterioare neregulate (beton cu agregate aparente, de exemplu), se recomandă să se sporească acoperirea minimă cu cel puțin 5 mm.

(12) Se recomandă să se acorde o atenție specială compoziției betonului (a se vedea SR EN 206-1) atunci când se prevede că acesta va fi expus la îngheț-dezgheț sau la un atac chimic (clasele XF și XA).

(13) În ceea ce privește abraziunea betonului, se recomandă să se acorde o atenție specială agregatelor, conform cu SR EN 206-1. O opțiune constă în a ține cont de abraziunea betonului prin mărirea stratului de acoperire (grosime de sacrificiu). Se recomandă, în acest caz, mărirea stratului minim de acoperire  $c_{min}$  cu  $k_1$  pentru clasa de abraziune XM1, cu  $k_2$  pentru clasa XM2 și cu  $k_3$  pentru clasa XM3.

Notă - Clasa de abraziune XM1 corespunde la o abraziune moderată, cum ar fi cea a elementelor din incinte industriale supuse la circulația vehiculelor echipate cu anvelope. Clasa de abraziune XM2 corespunde la

o abraziune importantă, cum ar fi cea a elementelor din incinte industriale supuse la circulația stivuitoarelor echipate cu anvelope sau bandaje de cauciuc. Clasa de abraziune XM3 corespunde la o abraziune extremă, cum ar fi cea a elementelor din incinte industriale supuse la circulația stivuitoarelor echipate cu bandaje de elastomeri sau metalice sau mașini cu șenile.

Valorile  $k_1$ ,  $k_2$  și  $k_3$  de utilizat într-o țară dată pot fi furnizate în Anexa Națională. Valorile recomandate sunt respectiv 5 mm, 10 mm și 15 mm.

### 3.3.3 Luarea în considerare a abaterilor de execuție

(1) Pentru calculul acoperirii nominale  $c_{nom}$ , acoperirea minimă trebuie majorată, la nivelul din proiect, pentru a ține cont de abaterile de execuție ( $\Delta c_{dev}$ ). Astfel, acoperirea minimă trebuie mărită cu valoarea absolută a abaterii acceptate.

Notă - Valoarea lui  $\Delta c_{dev}$  ce se va utiliza într-o țară dată poate fi furnizată de Anexa Națională. Valoarea recomandată este  $\Delta c_{dev} = 10$  mm.

(2) Pentru clădiri, abaterea acceptată este dată de SR ENV 13670-1. Această valoare se poate lua, în mod normal, și pentru alte tipuri de structuri. Se recomandă să se țină seama de această abatere la alegerea acoperirii nominale de calcul. Se recomandă ca la proiectare să se utilizeze acoperirea nominală de calcul și ca aceasta să fie indicată pe planuri, dacă nu se specifică o altă valoare (valoarea minimă, de exemplu).

(3) În anumite cazuri abaterea acceptată și în consecință toleranța  $\Delta c_{dev}$ , pot fi reduse.

Notă - Reducerea lui  $\Delta c_{dev}$  ce se va utiliza, în aceste cazuri, într-o țară dată poate fi furnizată de Anexa Națională. Valorile recomandate sunt următoarele:

- atunci când fabricația este supusă unui sistem de asigurare a calității în care supravegherea include măsurarea acoperirii, este posibil să se reducă marja de calcul pentru toleranțele de execuție  $\Delta c_{dev}$  astfel încât:

$$10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm} \quad (4.3N)$$

- atunci când se poate garanta utilizarea unui aparat de măsură foarte precis pentru supraveghere precum și respingerea elementelor neconforme (elemente prefabricate, de exemplu), se poate reduce marja de calcul pentru toleranțele de execuție  $\Delta c_{dev}$  astfel încât:

$$10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm} \quad (4.3N)$$

(4) În cazul unui beton turnat în contact cu suprafețe neregulate, se recomandă în general, să se mărească acoperirea minimă luând o marjă mai mare pentru calcul. Se recomandă să se aleagă o mărire în raport cu diferența cauzată de iregularitate, acoperirea minimă trebuind să fie cel

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

puțin egală cu  $k_1$  mm pentru un beton turnat în contact cu un sol care a fost pregătit (inclusiv prin beton de egalizare) și  $k_2$  mm pentru un beton turnat în contact direct cu solul. De asemenea, se recomandă să se mărească acoperirea armăturilor pentru orice suprafață prezentând iregularități, cum ar fi suprafețe striate sau beton cu agregate aparente, cu scopul de a ține seamă de iregularitatea suprafeței (a se vedea 3.3.2 (11) de mai sus).

Notă - Valorile lui  $k_1$  și  $k_2$  ce se vor utiliza într-o țară dată pot fi furnizate în Anexa Națională. Valorile recomandate sunt 40 mm și respectiv 75 mm.

\*

\*

\*

În tabelul 3.3.5 se prezintă selectiv recomandările privind grosimea stratului de acoperire cu beton funcție de clasa de expunere, clasa de beton, dozajul minim de ciment în conformitate cu BS 8500 – Beton /25/. În acest tabel la acoperirea minimă cu beton a armăturii se adaugă valoarea  $\Delta c_{dev}$  obținându-se „acoperirea nominală”. Valorile recomandate pentru acoperirea nominală sunt prezentate la punctul 3.3.3. al prezentei anexe.

*Tabelul 3.3.5 - Recomandări privind calitatea betonului ( $\varnothing$  max=20 mm) și grosimea stratului de acoperire cu beton a armăturilor funcție de diferite combinații de clase de expunere, pentru o durată de viață de 50 de ani*

Condiții de expunere			Tip ciment	Clasa de rezistență, raport maxim A/C, dozaj minim de ciment							
Exemple	Principale	Secundare		Acoperirea cu beton a armăturilor							
				15+ $\Delta c_{dev}$	20+ $\Delta c_{dev}$	25+ $\Delta c_{dev}$	30+ $\Delta c_{dev}$	35+ $\Delta c_{dev}$	40+ $\Delta c_{dev}$	45+ $\Delta c_{dev}$	50+ $\Delta c_{dev}$
Mediu interior (cu excepția încăperilor cu umiditate ridicată)	XC1			C20/25 0,70 240	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<
Beton în fundații	XC2			-	-	C25/30 0,65 260	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<
Suprafețe verticale protejate de intemperii	XC3 & XC4			-	C40/50 0,45 340	C32/40 0,55 300	C28/35 0,60 280	C25/30 0,65 260	<<<	<<<	<<<
Suprafețe verticale expuse la intemperii	XC3 & XC4	XF1		-	C40/50 0,45 340	C32/40 0,55 300	C28/35 0,60 280	<<<	<<<	<<<	<<<
Suprafețe orizontale expuse la intemperii	XC3 & XC4	XF3		-	C40/50 0,45 340 <sup>1</sup>	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<
		XF3 cu aer antrenat		-	-	C32/40a 0,55 300 <sup>1</sup>	C28/35a 0,60 280 <sup>1</sup>	C25/30a 0,60 280 <sup>1,2</sup>	<<<	<<<	<<<
Elemente ale structurilor parcajelor expuse curenților de aer ce vehiculează agenți de dezghețare	XD1	XC3/4		-	-	C40/50 0,45 360	C32/40 0,55 320	C28/35 0,60 300	<<<	<<<	<<<
Elemente ale structurilor parcajelor expuse stropirilor cu agenți de dezghețare	XD3	XC3/4	II/B-V, III/A	-	-	-	-	-	C35/45 0,40 380	C32/40 0,45 360	C28/35 0,50 340
			CEM I, II/A, II/B-S	-	-	-	-	-	C45/55 0,35 380	C40/50 0,40 360	C35/45 0,45 360
			III/B	-	-	-	-	-	C32/40 0,40 380	C28/35 0,45 360	C25/30 0,50 340

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

*Tablul 3.3.5 - (continuare)*

Condiții de expunere			Tip ciment	Clasa de rezistență, raport maxim A/C, dozaj minim de ciment							
Exemple	Principale	Secundare		Acoperirea cu beton a armăturilor							
				15+ $\Delta C_{dev}$	20+ $\Delta C_{dev}$	25+ $\Delta C_{dev}$	30+ $\Delta C_{dev}$	35+ $\Delta C_{dev}$	40+ $\Delta C_{dev}$	45+ $\Delta C_{dev}$	50+ $\Delta C_{dev}$
Elemente verticale expuse la îngheț-dezghet și agenți de dezghetare	XD3	XC3/4 + XF2	II/B-V, III/A	-	-	-	-	-	C35/45 0,40 380	C32/40 0,45 360	C32/40 0,50 340
			CEM I, II/A, II/B-S	-	-	-	-	-	C45/55 0,35 380	C40/50 0,40 380	C35/45 0,45 360
			III/B	-	-	-	-	-	C32/40 0,40 380	C32/40 0,45 360	C32/40 0,50 340
Elemente orizontale expuse la îngheț-dezghet și agenți de dezghetare	XD3	XC3/4 + XF4	CEM I, II/A, II/B-S	-	-	-	-	-	C45/55 0,35 380 <sup>1</sup>	C40/50 0,40 380 <sup>1</sup>	<<<
		XC3/4 + XF4 cu aer antrenat	III/B	-	-	-	-	-	-	C28/35 0,45 360 <sup>1</sup>	C28/35 0,50 340 <sup>1</sup>
Suprafețe verticale expuse în zona litorală	XS1	XC3/4 + XF2	II/B-V, III/A	-	-	-	C45/55 0,35 380	C35/45 0,45 360	C32/40 0,50 340	<<<	<<<
			CEM I, II/A, II/B-S	-	-	-	C50/60 0,35 380	C40/50 0,45 360	C35/45 0,50 340	<<<	<<<
			III/B	-	-	-	C35/45 0,40 380	C32/40 0,50 340	C32/40 0,55 320	<<<	<<<
Suprafețe orizontale expuse în zona litorală	XS1	XC3/4 + XF4	CEM I, II/A, II/B-S	-	-	-	C50/60 0,35 380 <sup>1</sup>	C40/50 0,45 360 <sup>1</sup>	<<<	<<<	<<<

Legenda:  
- Nu se recomandă  
<<< Indică faptul că nu se admit reduceri ale calității betonului față de cea indicată în căsuța din stanga  
<sup>1</sup> Se va specifica rezistența la îngheț-dezghet a agregatelor  
<sup>2</sup> Nu se va aplica pentru suprafețe expuse la abraziune severă



## ANEXA 3.4

### PRINCIPALELE METODEDE ȘI TEHNICI DE ÎNCERCARE A BETONULUI PENTRU DEFINIREA CLASELOR DE DURABILITATE

#### 3.4.1 Metoda de duritate superficială

##### Principiul metodei

Metoda se bazează pe măsurarea reculului pe care un corp mobil îl suferă în urma impactului cu suprafața betonului din elementul încercat.

Acest recul este un indicator al durității superficiale a betonului și poate fi folosit pentru estimarea rezistenței betonului, în limitele garantate de precizia metodei.

##### Aparatura de încercare

Aparatura de încercare este reprezentată de unul din Sclerometrele tip Schmidt cu recul liniar sau unghiular.

##### Domeniul de utilizare

##### Recomandat

- Informații în legătură cu calitatea (rezistența) betonului - în primii 2-3 cm de la suprafață;
- Controlul prin faze (decofrare, transfer, livrare) a elementelor de grosimi relativ mici și mijlocii și de vârste de regulă sub 60 de zile.

##### Contraindicat

- Elemente la care calitatea betonului din stratul de suprafață este diferită de cea din straturile profunde (elemente supuse acțiunilor chimice sau fizice de suprafață, elemente multistrat, etc.).
- Elemente ce conțin defecte interne sau de suprafață în zonele respective.
  - Betoane cu dozaj sub 200 kg/m<sup>3</sup>.
  - Elemente subțiri, de mare flexibilitate (b<10 cm).
  - Elemente masive (b>100 cm).
  - Elemente ce stau într-o atmosferă bogată în CO<sub>2</sub>.
  - Elemente realizate cu beton macroporos.
  - Elemente care au o maturitate mai mare de 6 luni.

##### Tehnica de încercare

Principalele operațiuni ale acestei tehnici constau în:

- Stabilirea elementelor și alegerea zonelor de încercare;

- Pregătirea zonelor de încercare;
- Executarea încercărilor cu respectarea condițiilor prevăzute în Instrucțiunile de utilizare.
- Prelucrarea măsurătorilor directe - criterii de selectare a măsurătorilor.
- Interpretarea rezultatelor.

#### **Precizia metodei**

Se stabilește în funcție de datele avute la dispoziție (compoziție și cuburi de probă), fiind superioară celei corespunzătoare cazurilor când există numai corpuri de probă sau este cunoscută numai compoziția betonului.

#### **Personalul de execuție**

- Încercările nu se pot executa decât de personalul autorizat cu experiență din laboratoarele autorizate.

#### **Cerințe privind raportul de încercare**

Raport de încercare - cu respectarea următoarelor cerințe minime:

- localizarea punctelor de încercare pe elemente și a elementelor în planul construcției;
- înregistrarea, prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute;
- specificarea tipului de sclerometru utilizat;
- precizarea datei, laboratorului și a personalului care a efectuat încercarea.

#### **Norme tehnice care reglementează metoda**

- "Normativ pentru încercarea betonului prin metode nedistructive"
- indicativ C 26-85 - partea I-a - "Încercarea betonului cu Sclerometrul Schmidt".

### **3.4.2 Metoda ultrasonică de impuls**

#### **Principiul metodei**

Metoda se bazează pe măsurarea timpului de propagare a impulsurilor ultrasonice în beton, între emițător și receptor, prin transmisie.

Din această măsurătoare se deduce de regulă, în prima etapă, viteza de propagare longitudinală a ultrasunetelor în beton și ulterior, dacă aplicația o cere, rezistența betonului la compresiune, ținând seama de compoziția sa.



#### **Aparatura de încercare**

- Aparatura de încercare cu ultrasunete numită în general Betonoscop
- poate fi:

- cu tub catodic;
- cu afișaj digital;
- palpatorii trebuie să aibă frecvența cuprinsă între 40-100 kHz;
- precizia de măsurare a timpului de propagare trebuie să fie de cel puțin  $\pm 1\%$ ;
- aparatul trebuie să dispună de un mijloc de verificare a măsurătorilor de timp de propagare;
- aparatura de încercare trebuie să-și mențină performanțele la:
  - temperatură cuprinsă între  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  și  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
  - umiditate până la 90%.

### **Domeniul de utilizare**

#### **Recomandat**

- Determinarea proprietăților elasto-dinamice ale betonului;
- Depistarea defectelor din element sau structură;
- Determinarea rezistenței betonului la compresiune;
- Determinarea omogenității betonului;
- Urmărirea întăririi betonului;
- Determinarea gradului de compactare al betonului;
- Determinarea degradărilor structurale ale betonului în timpul solicitărilor sau acțiunilor fizice sau chimice agresive;
- Controlul calității betonului turnat în elemente masive.



#### **Contraindicat**

- Utilizarea metodei în zonele cu mari aglomerări de armătură, mai ales când aceasta este orientativ paralel cu direcția de propagare emițător-receptor;
- La determinarea rezistenței betonului în zonele în care acesta prezintă degradări structurale;
- La betoane cu compoziție complet necunoscută;
- La betoane cu dozaje de ciment ridicat (peste  $400\text{ kg/m}^3$ ).

#### **Tehnica de încercare**

Principalele operațiuni ale acestei tehnici constau în:

- Stabilirea elementelor și alegerea zonelor de încercare;
- Trasarea secțiunilor și a punctelor de încercare cu respectarea cap. 5 - Influența și condițiile de încercare din Normativul C 26-85 - partea a II-a;
- Curățirea de praf a locurilor de încercare și aplicarea unui strat cuplant (vaselină sau plastelină);
- Pregătirea aparaturii pentru încercare - reglaje de zero;
- Efectuarea măsurătorilor;

- Prelucrarea măsurătorilor;
- Interpretarea măsurătorilor.

#### **Precizia metodei**

Prin precizie - în sensul Instrucțiunilor tehnice care reglementează metoda, se înțelege intervalul în care sunt cuprinse cel puțin 90% din abaterile rezistențelor calculate pe baza măsurătorilor de viteză de propagare, față de rezistențele reale ale betonului, determinate prin încercarea la presă.

Această precizie poate fi de:

$\varepsilon = \pm(10-20)\%$  când se dispune de toate datele referitoare la compoziția și condițiile de păstrare ale betonului încercat cerute de metodă, precum și de existența cuburilor de contra probă sau carote;

$\varepsilon = \pm(20-30)\%$  când se cunosc numai datele de compoziție ale betonului;

$\varepsilon = \pm(30-40)\%$  când lipsesc datele și cuburile sau carotele.

#### **Personalul de execuție**

Încercările nu se execută decât de laboratoare autorizate de personal tehnic atestat.

#### **Prezentarea rezultatelor**

Se face printr-un "Raport de încercare" cu respectarea următoarelor cerințe minime:

- localizarea punctelor de încercare pe elemente și a elementelor în planul construcției;
- înregistrarea, prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute;
- specificarea tipului de betonoscop utilizat;
- precizarea datei, laboratorului și a personalului care a efectuat încercarea.



#### **Norme tehnice care reglementează metoda**

"Normativ pentru încercarea betonului prin metode nedistructive" - indicativ C 26-85 - partea a II-a "Încercarea betonului prin metoda ultrasonică de impuls".

### **3.4.3 Metoda nedistructivă combinată**

#### **Principiul metodei**

Metoda se bazează pe legătura care există între combinația celor două mărimi fizice măsurate - viteza de propagare longitudinală a ultrasunetelor și indicele de recul pe de o parte și rezistența betonului la compresiune, pe de altă parte.

Această corelație este influențată de unele date ale compoziției betonului încercat.

### **Aparatura de încercare**

Această aparatură este compusă din:

- Aparatura pentru măsurarea vitezei de propagare a impulsurilor ultrasonice în beton;
- Aparatura pentru măsurarea durtății superficiale a betonului cu ajutorul indicelui de recul (Sclerometrul).

### **Domeniul de utilizare**

#### **Recomandat**

- Determinarea rezistenței betonului în structuri și elemente de construcții, pe șantier sau în fabrici de prefabricate;
- Determinarea omogenității betonului precum și zonele în care s-a turnat un beton necorespunzător în elemente ale construcțiilor;
- Determinarea gradului de compactare, prin determinarea rezistenței betonului;
- Urmărirea întăririi betonului în condiții normale, accelerate sau întârziate;



#### **Contraindicat**

- În zonele cu defecte locale de turnare, ascunse sau aparente (segregări, rosturi, goluri);
- În zonele fisurate sau microfisurate;
- În zonele în care nu există o concordanță între calitatea betonului din stratul de suprafață și cel din adâncime;
- În zonele cu aglomerări de armătură;
- La mai puțin de 6-8 cm de la muchia elementelor de construcții;
- La betoane a căror clasă de beton este sub C 4/5.



#### **Tehnica de încercare**

Principalele operațiuni constau din:

- Alegerea elementelor și a zonelor de încercat;
- La elementul încercat se aleg cel puțin 3 secțiuni diferite pentru examinare;
- Fiecare secțiune de încercare trebuie să aibă cel puțin 3 perechi de puncte de încercare pentru ultrasunete și o zonă de 20 x 20 cm cu cel puțin 6 puncte de încercare cu sclerometrul;
- Măsurătorile cu ultrasunete se fac cu respectarea tehnicii de încercare a metodei ultrasonice;

- Măsurătorile cu sclerometrul se fac cu respectarea tehnicii de încercare a metodei de duritate superficială;

- Prelucrarea măsurătorilor;
- Interpretarea măsurătorilor.

#### **Precizia metodei**

Prin precizie - în sensul Instrucțiunilor tehnice care reglementează metoda, se înțelege intervalul de abateri în care sunt cuprinse 90% din rezultatele experimentărilor.

Această precizie poate fi de:

$\varepsilon = \pm(15-20)\%$  când se cunosc corect elementele de compoziție ale betonului;

$\varepsilon = \pm(10-15)\%$  când pe lângă datele de compoziție ale betonului se mai dispune de corpuri de probă sau carote;

$\varepsilon = \pm(25-35)\%$  când nu se cunosc nici un fel de date referitoare la beton.



#### **Personalul de execuție**

Încercările nu se pot executa decât de către personal tehnic autorizat (operator, șef profil, etc.) din laboratoare autorizate.

#### **Prezentarea rezultatelor**

Se face printr-un "Raport de încercare" cu respectarea următoarelor cerințe minime:

- localizarea punctelor de încercare pe elemente și a elementelor în planul construcției;
- înregistrarea, prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute;
- specificarea tipurilor de aparatură utilizate (sclerometru și betoscop);
- precizarea datei, laboratorului și a personalului care a efectuat încercarea.

#### **Norme tehnice care reglementează metoda**

"Normativ pentru încercarea betonului prin metode nedistructive" - indicativ C 26-85 - partea a III-a "Încercarea betonului prin metoda nedistructivă combinată".

### **3.4.4 Metoda seminedistructivă de smulgere de pe suprafață pentru determinarea rezistenței betonului**

#### **Principiul metodei**

Metoda se bazează pe măsurarea forței necesare smulgerii unui disc metalic, lipit pe suprafața betonului cu o rășină epoxidică.

Ținând seama de suprafața discului se poate deduce nemijlocit rezistența la întindere directă (prin smulgere) a betonului și indirect, cu

ajutorul unor curbe, tabele sau relații de transformare, rezistență la compresiune.

#### **Aparatura de încercare**

Aparatura de încercare poate fi considerată ca formală din trei părți componente:

- un disc metalic cu guler, care se lipește pe suprafața betonului încercat;
- o presă de tracțiune, capabilă să dezvoltă forța necesară smulgerii de pe suprafața betonului;
- o tijă de tracțiune, capabilă să asigure transmiterea forței dezvoltată de presa de tracțiune discului metalic lipit de suprafața betonului.



#### **Domeniul de aplicare**

##### **Recomandat**

- la construcțiile existente la care există o concordanță între calitatea betonului de la suprafață și cel din profunzime;
- la elemente torcretate sau cămășuite pentru controlul calității stratului de suprafață.

##### **Contraindicat**

- la construcții sau elemente de construcții aflate într-un mediu agresiv, la care atacul chimic se produce de la suprafață;
- în zonele cu defecte locale interne sau cu degradări structurale ale betonului, produse de solicitări;
- la construcții sau elemente de construcții aflate într-o atmosferă bogată în CO<sub>2</sub>. Se înțelege prin atmosferă bogată în CO<sub>2</sub>, o atmosferă la care concentrația de CO<sub>2</sub> depășește de cel puțin 2 ori concentrația naturală;
- la elemente sau zone cu armătură deasă (sub 10 cm între bare, la un strat de acoperire uzual de 1-3 cm).

#### **Tehnica de încercare**

Conține mai multe operațiuni:

- alegerea locului de încercare suficient de îndepărtat față de armături;
- se nivelează suprafața de încercare;
- degresarea și curățarea suprafeței de lipire;
- se trasează poziția discului pe suprafața betonului;
- se aplică un strat de amorsă și se face o pauză de 24 de ore pentru întărirea amorsei;
- se curăță suprafața de lipire a discului metalic;
- se lipește discul de suprafața de beton;
- după 30 de minute de la lipire se curăță excesul de adeziv;
- se lasă 48 de ore pentru întărire;

- se poansonează cu ajutorul unui kerner ascuțit conturul discului;
- se conectează presa;
- se asigură centrarea presei;
- se aplică forța de smulgere progresiv;
- se prelucrează rezultatele.

#### **Precizia metodei**

Precizia determinării rezistenței betonului din lucrare definită cu ajutorul intervalului în care se încadrează 90% din rezultatele încercărilor este:

- pentru încercări pe suprafețe orizontale de turnare:  $\varepsilon = \pm 12 \%$
- pentru încercări pe suprafețe verticale de turnare:  $\varepsilon = \pm 18 \%$

#### **Personalul de execuție**

Încercările nu se efectuează decât de personal tehnic atestat din laboratoare autorizate.

#### **Prezentarea rezultatelor**

Se face prin "Raportul de încercare" care va trebui să respecte următoarele cerințe minime:

- localizarea punctelor de încercare pe elemente și a elementelor în planul construcției;
- înregistrarea, prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute;
- specificarea tipului de aparatură;
- precizarea datei efectuării încercării, a laboratorului și a personalului care a efectuat încercarea.

#### **Norme tehnice care reglementează metoda:**

"Instrucțiuni tehnice privind folosirea metodei seminedistructive prin smulgere de pe suprafață la determinarea rezistenței betonului din lucrare"  
- indicativ C 231-89.

### **3.4.5 Metode seminedistructive de smulgere din profunzime pentru determinarea rezistenței betonului**

#### **Principiul metodei**

Metoda se bazează pe măsurarea forței necesare smulgerii unei ancore introduse în beton cu ajutorul unei găuri forate și apoi fixată cu o rășină epoxidică.

Ținând seama de forța de smulgere și de aria laterală a trunchiului de con de rupere se poate deduce nemijlocit rezistența convențională de forfecare (prin smulgere) a betonului și indirect cu ajutorul unor curbe, tabele sau relații de transformare, a rezistenței la compresiune.

#### **Aparatura de încercare**

- Aparatura se compune din:
- o ancoră de oțel;



- o flanșă pentru transmiterea forței la ancoră;
- o presă de tracțiune;
- o pompă hidraulică ce acționează presa.

#### **Domeniul de aplicare**

##### **Recomandat**

- Construcțiile existente la care nu mai există corpuri de probă nici date de compoziție ale betonului utilizat.
- Construcții la care există o concordanță între calitatea betonului de la suprafață și cel din profunzime.

##### **Contraindicat**

- la construcții sau elemente de construcții aflate într-un mediu agresiv la care atacul chimic se produce la suprafață;
- în zonele cu defecte locale, interne sau cu degradări structurale ale betonului, produse de solicitări;
- la elemente cu armătura deasă;
- la construcțiile sau elemente de construcții aflate într-o atmosferă bogată în CO<sub>2</sub>.

##### **Tehnica de încercare**

Conține mai multe operații:

- alegerea locului de amplasare a ancorei;
- forarea găurii;
- îndepărtarea prafului rezultat;
- degresarea și curățarea suprafețelor găurii;
- aplicarea unui strat de amorsă;
- introducerea ancorei și poziționarea ei perpendicular pe suprafața betonului;
- completarea găurii cu mortar epoxidic;
- întărirea masei aproximativ 72 de ore;
- executarea smulgerii;
- notarea formei de rupere și a forței de rupere;
- interpretarea rezultatelor.

##### **Precizia metodei**

Precizia determinării rezistenței betonului din lucrare cu ajutorul intervalului în care se încadrează 90 % din rezultatele încercate este:

$$\varepsilon = \pm(15-18)\%$$

##### **Personalul de execuție**

Încercările nu se execută decât de personal tehnic atestat din laboratoare autorizate.

##### **Prezentarea rezultatelor**

Se face prin "Raportul de încercare", care va trebui să respecte următoarele cerințe minime:

- localizarea zonelor de încercare pe elemente și a elementelor în

planul construcției;

- înregistrarea, prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute;
- specificarea tipului de aparatură;
- precizarea datei efectuării încercării a laboratorului și a personalului care a executat încercarea.

#### **Norme tehnice care reglementează metoda**

“Instrucțiuni tehnice privind folosirea metodei nedistructive prin smulgere din profunzime la determinarea rezistenței betonului din lucrare”  
- indicativ C 236-91.

### **3.4.6 Încercarea betonului cu ajutorul carotelor**

#### **Principiul metodei**

Carota - este un cilindru extras dintr-un element sau structură de beton prin operația de tăiere.

Încercările prin extrageri de carote, sunt încercări distructive prin efectul pe care îl au asupra betonului din elementul examinat.



#### **Aparatura de încercare**

- Caroteza echipată cu cuțite de diferite dimensiuni - pentru operația de extragere;
- Presa de diferite tonaje pentru încercarea distructivă a acestor carote.

#### **Domeniul de utilizare**

##### **Recomandat**

Carotele pot fi folosite la determinarea următoarelor caracteristici:

- rezistența la compresiune;
- rezistența la întindere prin despicare;
- rezistența la îngheț-dezghet;
- densitatea aparentă;
- porozitatea;
- gradul de impermeabilitate;
- modulul de elasticitate static și dinamic;
- corelația dintre mărimi nedistructive - rezistențe mecanice;
- grosimea betonului din lucrare, în structuri mono sau multi strat accesibile pe o față;
- grosimea stratului de beton degradat de acțiuni fizice (îngheț, foc) sau chimice (carbonatare - impregnare);
- gradul de coroziune al armăturii.



#### **Tehnica de încercare**

În funcție de parametrul pe care se do-



rește a fi determinat, tehnica de încercare diferă, totuși câteva reguli de bază trebuie respectate în ceea ce privește locul, numărul și dimensiunile carotelor extrase.

Poziționarea locului de extragere

- trebuie să fie astfel ales încât să fie cât mai îndepărtat de zonele de intersecție a armăturilor.

- trebuie amplasat în zonele cu nivel redus de solicitare.

#### **Numărul de carote**

Acest număr se alege în general în funcție de:

- numărul elementelor examinate;
- variațiile locale ale calității betonului;
- gradul și mijlocul de solicitare al elementelor;
- amploarea avariilor produse.

În general  $n = 42/d$ , în care  $d$  = diametrul carotei pentru a se obține informațiile echivalente cu cel realizat prin încercarea a 3 cuburi cu latura de 15 cm.

#### **Diametrul carotei**

Se alege în funcție de:

- dimensiunea maximă a agregatului:  $d \geq (3-4) \Phi_{\max \text{ agregat}}$

#### **Lungimea carotei**

În general ea trebuie să satisfacă relația:  $d \leq h \leq 2d$

Transportul trebuie făcut astfel încât carotele să nu se deterioreze în timpul acestei operațiuni.

Prelucrarea fețelor de capăt se face prin:

- tăiere;
- polizare;
- completarea suprafeței de capăt.

Executarea încercărilor se face în funcție de parametru ce se dorește a fi determinat.

Prelucrarea măsurătorilor și interpretarea lor se efectuează funcție de caracteristica ce se dorește determinată.

#### **Precizia metodei**

Precizia depinde de respectarea cu strictețe a Instrucțiunilor tehnice specifice pentru fiecare parametru a cărui determinare se dorește.

#### **Personal de execuție**

Încercările nu se pot executa decât un personal tehnic autorizat din laboratoare autorizate.

#### **Prezentarea rezultatelor**

Se face în "Raportul de încercare" cu respectarea următoarelor



cerințe minime:

- localizarea punctelor de încercare pe elemente și a elementelor în planul construcției;
- precizarea dimensiunilor carotelor;
- specificarea caracteristicilor care s-au obținut prin încercarea carotelor și a metodelor utilizate;
- înregistrarea, prelucrarea și interpretarea rezultatelor;
- specificarea tipului de caroteză utilizată;
- precizarea datei efectuării încercării, a laboratorului și a personalului care a efectuat încercarea.

#### **Norme tehnice care reglementează metoda**

- “Instrucțiuni tehnice pentru încercarea betonului cu ajutorul carotelor”  
- indicativ C 54-81.

### **3.4.7 Metodă de determinare a adâncimii de carbonatare a betonului**

#### **Descrierea metodei**

Metoda se poate aplica atât in-situ cât și în laborator prin tratarea betonului cu o soluție alcoolică de fenoftaleină de concentrație 1% pentru a se determina gradul de carbonatare a betonului.

#### **Echipamente, aparatura și substanțe necesare**

- pentru determinarea in-situ: mijloace de spargere a betonului în straturi succesive, ciocan, daltă, rotopercutantă precum și soluție alcoolică de fenoftaleină.
- pentru determinarea în laborator: mijloace de prelevare a probelor de beton ciocan, daltă, caroteză de mici dimensiuni precum și mijloace de mărunțire a probei de beton, sită de 0.2 mm, soluție alcoolică de fenoftaleină.



#### **Modalități de efectuare**

In-situ, se tratează betonul în spărtură proaspătă cu soluție de fenoftaleină. În cazul în care se constată că betonul și-a pierdut alcalinitatea (nu se colorează în roșu violet) se repetă operația de verificare pe straturi succesive de circa 5 mm grosime, până la betonul sănătos. Testul se poate realiza și pe materialul pulverulent obținut prin forarea betonului cu ajutorul echipamentelor de forare (rotopercutante).

În laborator, determinarea alcalinității se realizează pe un extract apos al unei probe de beton cu ajutorul unui pH-metru sau al unei hârtii indicatoare.

### Personal de execuție

Metoda se aplică de către personal calificat și cu experiență în investigarea stării structurilor existente.

### Cerințe privind întocmirea rapoartelor de încercare

Raportul de încercare trebuie să conțină următoarele date:

- identificarea probelor și localizarea acestora pe element și a elementului în cadrul planului general al construcției;
- specificarea adâncimii de carbonatare a betonului;
- indicarea datei la care s-a efectuat testul și a laboratorului și personalului implicat în această activitate.

### Referințe

Specificația tehnică privind stabilirea calității betoanelor și mortarelor din construcții existente prin metode fizico-chimice. Indicativ ST 001-96 (nepublicată).

## 3.4.8 Metode chimice de determinare a calității betoanelor

### Descrierea metodei

Metodele chimice se aplică pentru:

- determinarea unor caracteristici ale compoziției betonului (dozaj de ciment, tipul, caracteristicile și proporția agregatelor);
- determinarea unor caracteristici de durabilitate ale betonului (absorbție, porozitate, adâncimea de carbonatare, alcalinitatea);
- stabilirea gradului de alterare al betonului (atacul ionilor corozivi de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

Metodele se bazează pe anumite tipuri de reacții chimice funcție de caracteristicile ce se urmăresc a se obține. Metodele chimice se aplică în general în laborator pe probele prelevate din construcțiile existente, inclusiv din materialul pulverulent de beton rezultat prin forarea betonului cu echipamente adecvate. Avantajul acestor metode constă în stabilirea cu precizie a compoziției betonului, a unor parametri ai durabilității sau a contaminării betonului cu diferite substanțe agresive. Metoda poate fi aplicată atât ca metodă independentă, cât și ca metodă auxiliară a metodelor nedistructive, caz în care poate fi utilizată ca mijloc de calibrare a curbei sau relației de transformare a mărimii nedistructive măsurate - rezistența la compresiune a betonului.



### Echipamente, aparatura și substanțe necesare

- mijloace specifice pentru prelevarea probelor, ciocan, daltă, caroteze, rotopercutante etc.
- echipamente specifice de mărunțire a probelor;

- site;
- substanțe chimice (acid clorhidric, clorură de sodiu, carbonat de sodiu, etc.) pentru tratarea probelor de beton;
- etuve, cuptoare.

#### **Modalități de efectuare**

Metoda se aplică în laborator după prelevarea probelor din elementele din beton.

După pregătirea probelor de beton, funcție de caracteristicile ce se doresc a se obține, există mai multe metode de analiză care se bazează pe tratarea termică și cu diferite substanțe chimice a betonului.

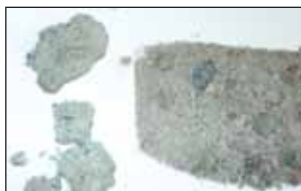
#### **Personal de execuție**

Metodele chimice de verificare a calității betonelor din construcții existente pot fi aplicate numai în laboratoare autorizate, de către personal atestat.

#### **Cerințe privind întocmirea rapoartelor de încercare**

Raportul de încercare trebuie să conțină următoarele date:

- identificarea probelor și localizarea acestora pe element și a elementului în cadrul planului general al construcției;
- specificarea dimensiunilor probelor prelucrate;
- specificarea caracteristicilor care au fost determinate asupra agregatelor și/sau betonului;
- descrierea rezultatelor înregistrate;
- indicarea datei la care s-a efectuat testul și a laboratorului și personalului implicat în această activitate.



#### **Limitările metodei**

Metodele sunt foarte sensibile la erori, necesitând o aparatură specială și personal cu înaltă calificare.

#### **Referințe**

Specificația tehnică privind stabilirea calității betoanelor și mortarelor din construcții existente prin metode fizico-chimice. Indicativ ST 001-96 (nepublicată).

#### 4. REZULTATELE UNOR CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CARACTERISTICILE BETONULUI PROASPĂT ȘI ÎNTĂRIT PREPARAT CU DIFERITE CIMENTURI FABRICATE ÎN ROMÂNIA DE CARPATCEMENT HOLDING S.A.

În acest capitol se prezintă **rezultatele unor cercetări experimentale desfășurate la INCERC** de un colectiv coordonat de autor în vederea determinării unor caracteristici ale betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi fabricate în România de **CARPATCEMENT HOLDING S.A.**

S-a avut în principal în vedere testarea unor betoane preparate cu cimenturi fabricate în conformitate cu SR EN 197-1 de tip CEM II/B-M (S-V) 32,5R, CEM II/B-S 32,5R și respectiv CEM III/A 32,5R. Alegerea acestor cimenturi s-a datorat faptului că betoanele preparate cu aceste tipuri de cimenturi necesitau teste speciale în vederea definiției domeniilor de utilizare în conformitate cu Anexa Națională de aplicare SR EN 206-1.



***Extinderea domeniilor de utilizare a cimenturilor având în componență mai mult de 21% adaosuri a devenit o necesitate pe plan european, având în vedere avantajele pe care le aduce în ceea ce privește reducerea emisiei de CO<sub>2</sub> și a consumului de energie la fabricarea cimentului.***

România, spre deosebire de alte țări europene, nu a utilizat decât în cazuri de excepție aceste tipuri de cimenturi și numai pentru prepararea unor betoane inferioare. Utilizarea cimenturilor cu adaosuri în betoane preparate la rapoarte A/C ridicate nu putea oferi nici pe departe o imagine a potențialului acestor cimenturi și le crea apriori un domeniu limitat de utilizare și o comportare necorespunzătoare (datorită compoziției betonului) în timp.

Din acest motiv programul de cercetări experimentale desfășurat la **INCERC** a urmărit determinarea unor caracteristici fundamentale pentru caracterizarea rezistenței și durabilității betoanelor preparate având în vedere parametrii compoziționali proiectați în conformitate cu prevederile standardului SR EN 206-1 precum și a unor documente naționale de

aplicare a acestui standard.

**S-a urmărit în mod special verificarea / determinarea experimentală a condițiilor din Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 (SR 13510: 2006) ținând seama și de experiența europeană în domeniu reflectată în documentele naționale de aplicare a standardului european EN 206-1.** Așa cum s-a indicat și în capitolul 3 există deosebiri între cerințele standardului european și cele ale documentelor naționale de aplicare, care au fost luate în considerare și în Anexa Națională din România.

Pentru betonul proaspăt s-au determinat în principal raportul A/C și tasarea, iar pentru betonul întărit rezistența la compresiune, absorbția, porozitatea, permeabilitatea, contractia, rezistența la îngheț-dezghet și carbonatarea. S-au studiat influențele tipurilor și dozajelor de ciment, ale raportului A/C asupra unor caracteristici importante ale betonului întărit.



#### 4.1. CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R

Programul de cercetare experimentală a avut în vedere prepararea unor betoane la parametrii compoziționali proiectați în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1, determinarea experimentală a caracteristicilor betonului proaspăt și întărit și urmărirea evoluției în timp a acestor caracteristici, în vederea definirii unor domenii de utilizare.

În tabelele 4.1 și 4.2 se prezintă caracteristicile cerute ale betonului (clasa minimă, raport A/C maxim) în conformitate cu prevederile SR EN 206-1 și ale Anexei Naționale de aplicare a SR EN 206-1 și respectiv caracteristicile compoziționale ale betonului utilizate/obținute în mod efectiv.

Tabelul 4.1 - Caracteristicile betonului (clasa minimă, raport maxim A/C) funcție de domeniile de utilizare

Domenii	Condiții de expunere elemente	Clase de expunere conform A.N. SR EN 206-1	Descriere mediu	Clasa minimă de rezistența a betonului	Clasa de durabilitate	Raport maxim A/C
1. Construcții civile și alte tipuri de construcții	1.1 Interior	XC1	Uscat sau permanent umed	C 16/20	D11/20	0.65
		XC2	Umed, rar uscat	C 16/20	D11/20	0.60
		XC3	Umiditate moderată	C 20/25	D11/25	0.60
	1.2 Exterior	XC4	Alternanța umezire - uscare	C 25/30	D11/30	0.50
		XC4	Alternanța umezire - uscare	C25/30	D12/30 (D12/37)	0.50
	XF1	Suprafețe ale betoanelor « moderat » saturate de apă, fără agenți de dezghetare	C25/30* C30/37**	0.50		
5. Atac chimic	Toate tipurile de construcții	XA1	Mediu cu agresivitate chimică slabă	C25/30	D51/30	0.55

\*) În conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 (SR 13510)

\*\*\*) În conformitate cu SR EN 206-1



S-au executat suplimentar față de probele de laborator elemente structurale din beton armat (stâlpi) care au fost expuse la exterior, într-un mediu specific urban (clase de expunere XC4, XF1).

Se prezintă în continuare rezultatele obținute privind nivelele de performanță ale unor caracteristici ale betoanelor preparate cu acest tip de ciment și evoluția lor în timp.

S-au preparat betoane de clase C16/20, C20/25, C25/30 și C30/37 corespunzătoare unor medii specifice de expunere.

**Betoanele au fost preparate având în vedere respectarea condițiilor pentru asigurarea durabilității în conformitate cu prevederile Anexei Naționale de aplicare a standardului SR EN 206-1 și anume dozajul minim de ciment, raportul maxim A/C.**



Tabelul 4.2 – Caracteristicile compoziționale și proprietățile betonului proaspăt preparat cu CEM III/A 32,5R

Clasa beton	Condiții de expunere	Dozaj ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Aditiv	Raport A/C	Tasare (cm)
C16/20	1.1	325	Aditiv superplastifiant	0,472	11,5
C20/25	1.1	370		0,408	11
C25/30	1.1	420		0,374	11
	1.2			0,347	11
C30/37	1.2	470			

S-au determinat valorile rezistențelor la compresiune, absorbțiilor, permeabilităților, porozităților și contracțiilor până la 180 de zile.

S-au determinat de asemenea rezistențele la compresiune utilizând metoda nedistructivă combinată, atât pentru epruvetele de beton cât și pentru stâlpul din beton armat.



Pentru stâlp s-a determinat și adâncimea de carbonatare a betonului la circa 9 luni de expunere și respectiv la un an.

În figura 4.1 se prezintă evoluția în timp a rezistențelor la compresiune a betoanelor preparate cu CEM III/A 32.5 R funcție de dozajul de ciment, iar în figura 4.2 același fenomen funcție de raportul A /C. Se observă în primul rând ca **evoluția rezistenței**

**betonului s-a produs în mod accentuat până la vârsta de 90 zile.** Valorile obținute pentru rezistențele la vârsta de 180 zile sunt relativ apropiate cu cele obținute la vârsta de 90 zile.

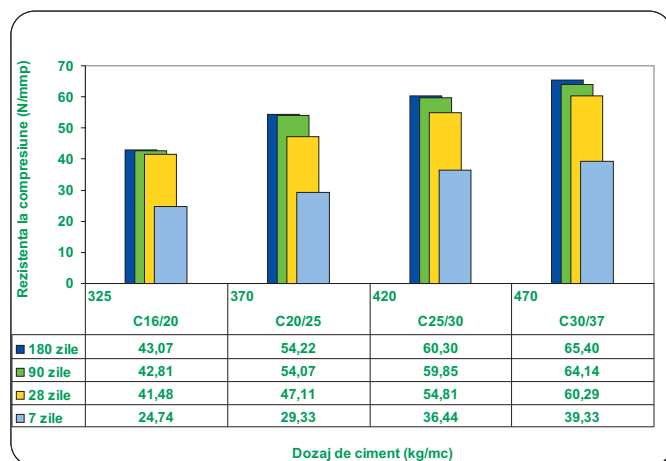


Figura 4.1 - Variația rezistenței la compresiune a betonului la n zile în funcție de dozajul de ciment (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R)

Se poate observa că **s-au obținut rezistențe ridicate la compresiune**, în cazul în care valorile rezistențelor sunt interpretate având în vedere criteriile de conformitate ale claselor, se observă că **la un dozaj de 325 kg/m<sup>3</sup> de ciment se poate obține un beton de clasa C30/37 (rezistența medie la compresiune la 28 zile a fost de circa 42 N/mm<sup>2</sup>).**

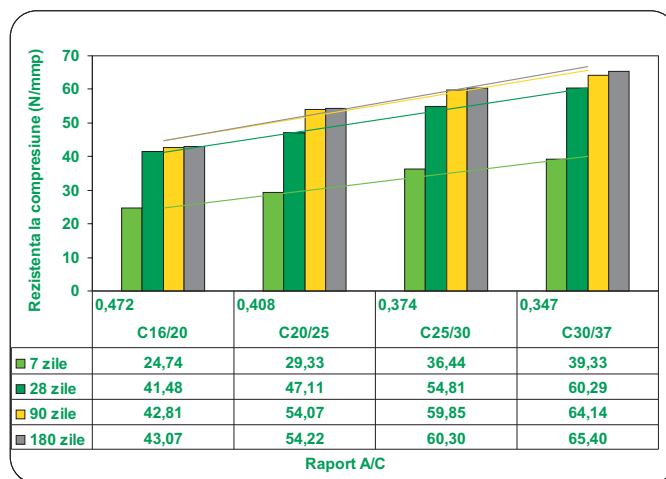


Figura 4.2 - Variația rezistenței la compresiune a betonului la n zile funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R)

Creșterile medii de rezistență la 180 zile față de 28 zile sunt de circa

9%. **Rezultatele obținute pentru rezistența la compresiune a betoanelor indică performanțele cimentului III/A 32,5R, astfel la un dozaj de 470 kg/m<sup>3</sup> de ciment s-a obținut o rezistență de 60 N/mm<sup>2</sup> la 28 zile, la un raport A/C de 0,347.**



În figurile 4.3 și 4.4 se prezintă rezultatele obținute pentru absorbții și respectiv permeabilități la apă. Așa cum era de așteptat **se observă o ușoară scădere în timp a valorilor absorbțiilor**, care oricum prezentau valori scăzute la 28 de zile, în general sub 2,5% și de asemenea o scădere funcție de raportul A/C.

**Rapoartele A/C scăzute sub 0,5 pentru clasele de beton C16/20 și C20/25 și, respectiv, sub 0,4 pentru clasele C25/30 și C30/37 precum și aportul cimentului au determinat obținerea unor valori deosebit de scăzute ale absorbțiilor și o evoluție corespunzătoare în timp a acestora. Astfel, la vârsta de 180 zile s-au obținut valori ale absorbțiilor sub 2% pentru clasele de beton C20/25, C25/30 și C30/37.**

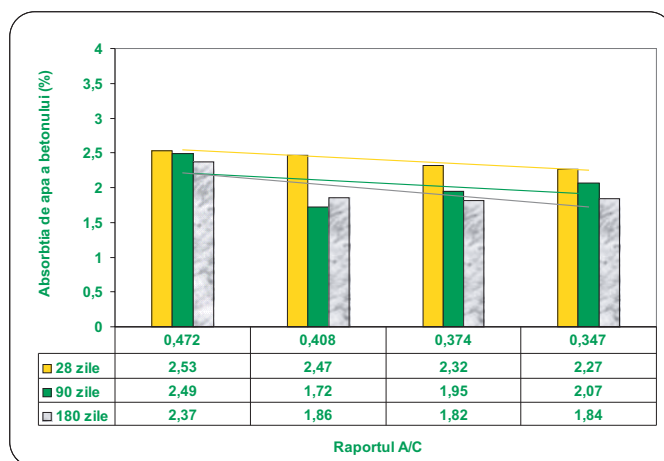


Figura 4.3 - Variația absorbției de apă a betonului la n zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R)

În ceea ce privește permeabilitatea la apă a betoanelor, s-au obținut grade corespunzătoare presiunilor P8 pentru clasele C16/20 și C20/25 (raport A/C sub 0,5) și respectiv P12 pentru clasele C25/30 și C30/37 (raport A/C sub 0,4).

Valorile permeabilității la 180 de zile au indicat valori apropiate cu cele determinate la 28 de zile. Și valorile determinate pentru această caracteristică au indicat **bunele performanțe ce se pot obține pentru betoanele preparate cu CEM III/A 32,5R.**

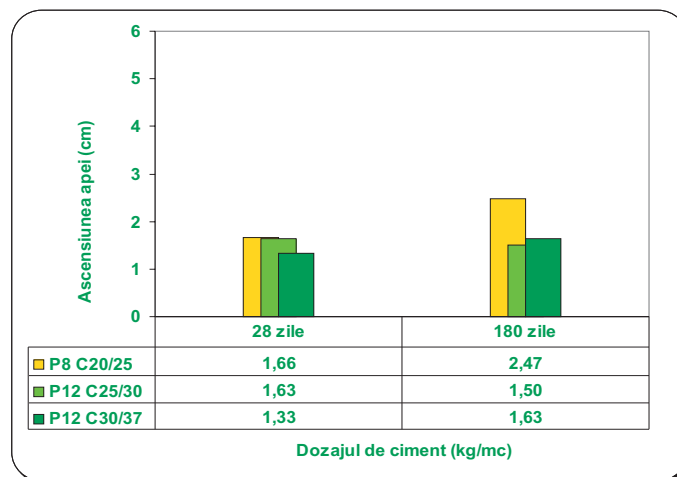


Figura 4.4 - Variația permeabilității la apă a betonului în timp (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R)

În figura 4.5 se prezintă evoluția în timp a contracțiilor betonului. **Betoanele preparate cu acest tip de ciment au înregistrat la 28 de zile valori reduse ale contracțiilor sub 0,2‰ pentru clasele C16/20 și C20/25 și respectiv sub 0,25‰ pentru clasele C25/30 și C30/37. În timp, valorile acestor caracteristici au evoluat în mod corespunzător.** Valorile superioare ale contracțiilor la clasele mai mari ale betonului se datorează dozajelor mai mari de ciment (părții active în cantitate mai mare).

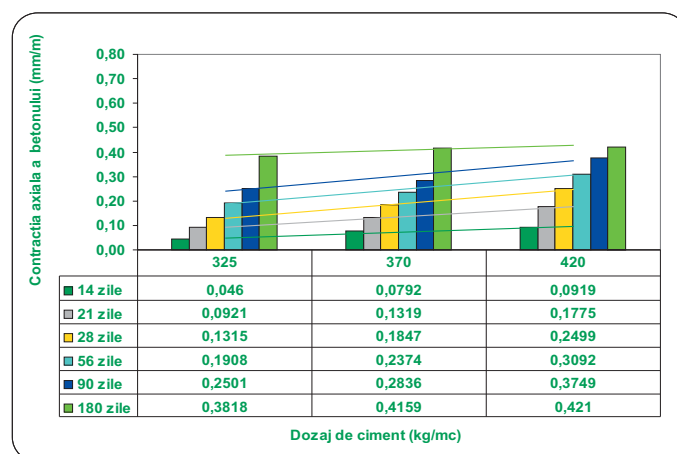


Figura 4.5 - Variația contracției axiale a betonului la n zile în funcție de dozajul de ciment (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R)

În ceea ce privește **stâlpul din beton armat expus în mediu urban (XC4, XF1)**, s-au determinat in-situ două caracteristici importante ale betonului:

- rezistența la compresiune la 28 și 180 zile;

- carbonatarea la 270 și 360 de zile.

Rezistența la compresiune la 180 de zile a betonului determinată utilizând metoda nedistructivă combinată a fost de 40,85 N/mm<sup>2</sup>.

Se observă o evoluție a rezistenței betonului față de rezistența obținută la vârsta de 28 de zile de 35,78 N/mm<sup>2</sup>. Având în vedere dozajul de ciment utilizat pentru obținerea clasei prescrise de C30/37 și anume 470 kg/m<sup>3</sup> este necesară afectarea rezultatelor obținute (aplicând metoda combinată) prin coeficienți supraunitari cu valori mai mari de 1,1. Se poate concluziona că rezistența obținută este superioară celei corespunzătoare clasei prescrise.



**Betoanele de clase C25/30 și C30/37 au fost testate și la îngheț-dezgeț, rezultatele fiind corespunzătoare**, înregistrându-se pentru clasa C25/30, la 50 de cicluri, scăderi ale rezistențelor de 3,8%, respectiv pentru clasa C30/37 scăderi de 2,1% la 50 de cicluri și 4,55% la 100 de cicluri (figura 4.6).

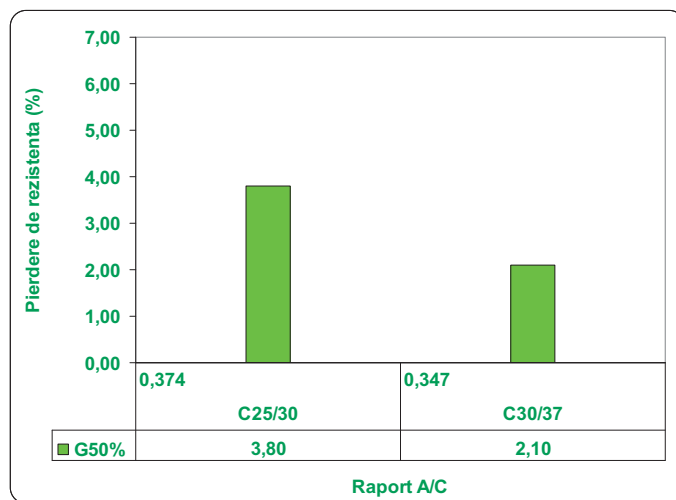


Figura 4.6 - Variația pierderii de rezistență a betonului datorată acțiunii de îngheț-dezgeț funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R)

**Principalul factor care influențează rezistența la îngheț-dezgeț a betonului este porozitatea care este în principal dependentă de raportul A/C. Rezultatele cercetărilor efectuate în cadrul programului european**

**ECO-SERVE au indicat această dependență pentru betonul preparat cu CEM III/A 32,5R (figura 4.7).**

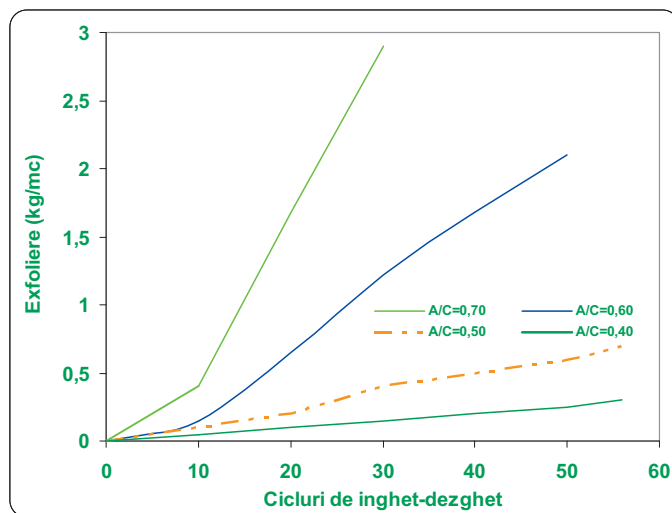


Figura 4.7 - Exfolierea betonului determinată conform prevederilor SR EN 12390-9 funcție de raportul A/C (beton preparat cu CEM III/A 32,5R cu 53% zgură)

Cealaltă caracteristică determinantă in-situ a betonului o reprezintă adâncimea de carbonatare.

**După circa 9 luni de expunere în mediu natural urban s-a constatat prin tratarea cu soluție alcoolică de fenolftaleină a unor spărturi proaspete, că betonul preparat cu ciment de tip III/A 32,5R din stâlp nu este carbonatat pe o adâncime măsurabilă (perioada de expunere a fost relativ ploioasă).**

**La vârsta de 360 zile s-a determinat carbonatarea și pe probe de beton menținute în condiții de laborator (umiditate ridicată, peste 80%) (figura 4.8a). S-au înregistrat valori reduse ale adâncimii de carbonatare sub 2 mm având în vedere valorile reduse ale raportului A/C (sub 0,5).** Astfel s-a înregistrat o valoare de 1,83 mm pentru clasa C16/20 (raport A/C = 0,472) și respectiv 1,33 mm pentru clasa C30/37 (raport



A/C = 0,347). În cazul menținerii probelor în încăperi cu umiditate mai redusă (sub 65%), la vârsta de un an s-au obținut valori ale adâncimii de carbonatare de circa 5 mm, cu mici variații între diferitele clase de beton (figura 4.8a).

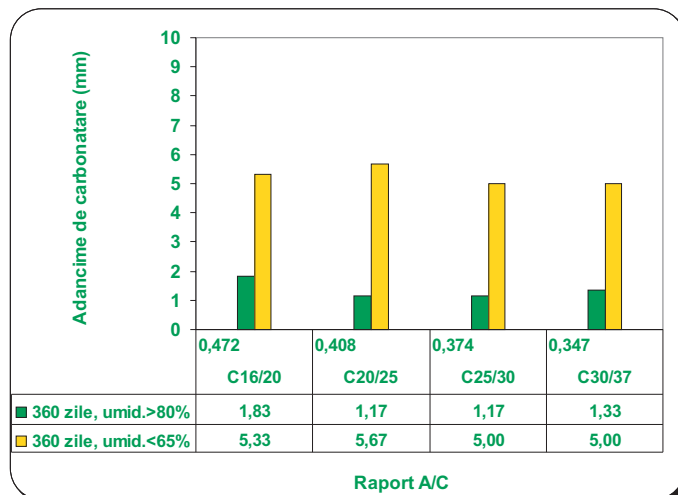


Figura 4.8a - Variația adâncimii de carbonatare la un an funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R)

În condițiile preparării unor microbetoane cu raport A/C de cca. 0,5 s-au obținut în condiții de menținere în laborator (umiditate sub 65%) adâncimi de carbonatare la vârsta de un an de 5,5 mm și respectiv 2 mm pentru probe menținute în exterior, valori normale pentru betoanele preparate cu acest tip de ciment (figura 4.8b).

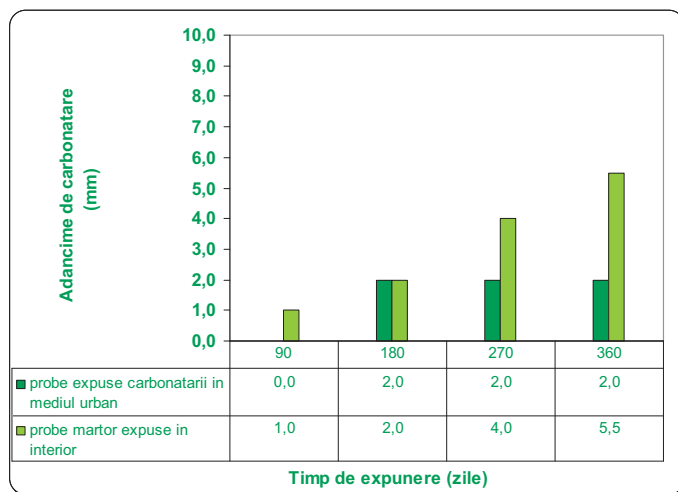


Figura 4.8b - Variația adâncimii de carbonatare funcție de raportul A/C (pentru microbetoane de clasa C25/30, raport A/C = 0,5 realizate cu CARPATCEMENT® CEM III/A 32,5R)

Se pot face următoarele comentarii privind aceste rezultate.

i. Din punctul de vedere **al adâncimii de carbonatare se știe că aceasta scade cu creșterea umidității (datorită scăderii difuziei de**

$CO_2$ ). Din acest punct de vedere elementele situate în exterior în clasa de expunere XC4 “carbonatează mai puțin”. Acest mediu este considerat însă mai agresiv în ceea ce privește pericolul de coroziune având în vedere faptul că umiditatea și penetrarea oxigenului favorizează coroziunea. Gradele de carbonatare sunt deci diferite funcție de mediu fiind mai intense în interiorul construcțiilor decât în exterior (fapt confirmat și de rezultatele cercetărilor experimentale obținute la INCERC). Aceste aspecte sunt ilustrate în mod sugestiv în figura 4.9./ ECO-SERVE/



Gradele de carbonatare sunt deci diferite funcție de mediu fiind mai intense în interiorul construcțiilor decât în exterior (fapt confirmat și de rezultatele cercetărilor experimentale obținute la INCERC). Aceste aspecte sunt ilustrate în mod sugestiv în figura 4.9./ ECO-SERVE/

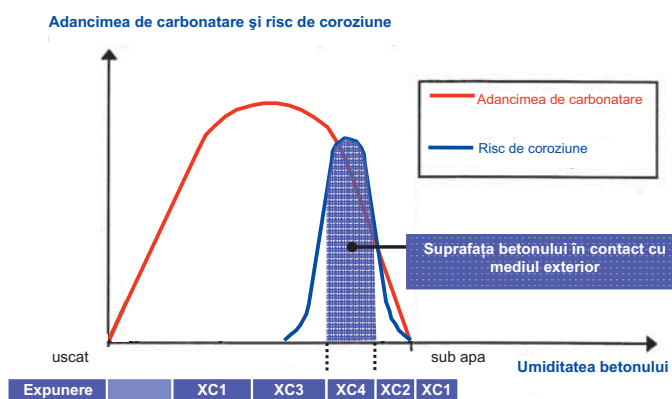


Figura 4.9 - Variația adâncimii de carbonatare și a riscului de coroziune funcție de umiditatea betonului

ii. **Adâncimile de carbonatare deosebit de reduse înregistrate pentru probele menținute în laborator (cu umiditate ridicată)** au următoarele explicații principale. Prima este legată de rapoartele A/C foarte reduse (sub 0,5) și a doua de faptul că prin menținerea inițială în apă 7 zile probele au fost «tratate» corespunzător, factor esențial pentru betoanele preparate cu aceste tipuri de cimenturi. De asemenea, umiditatea ridicată a mediului a contribuit la obținerea acestor valori ale adâncimilor de carbonatare.





***Trebuie respectate cu strictețe regulile legate de rapoartele A/C maxime și de durata tratării, care reprezintă condiții esențiale pentru asigurarea unei bune comportări în timp a betonului.***

***Per ansamblu, betoanele preparate cu acest tip de ciment au avut o comportare corespunzătoare în mediile pentru care au fost proiectate.***

#### **4.2. CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R**

Și în cazul betonului preparat cu cimentul tip II/B-S 32,5R s-au identificat domenii potențiale de utilizare, prezentate în tabelul 4.3. ***Se poate observa un «spectru» deosebit de larg de utilizări, domeniile extinse datorându-se experienței bogate privind utilizarea acestor tipuri de betoane pe plan internațional.*** Și în acest caz proiectarea compozițiilor s-a făcut având în vedere prevederile SR EN 206-1 și ale Anexei Naționale de aplicare a SR EN 206-1. Având în vedere particularitățile betonului cu aer antrenat, acesta a fost tratat separat față de betonul preparat cu aditiv superplastifiant.

Acest tip de ciment acoperă o gamă foarte largă de domenii de utilizare a betoanelor în componența cărora intră. În multe din Anexele Naționale de aplicare a EN 206-1 acest tip de ciment acoperă practic toate domeniile de aplicare ale betoanelor, indiferent de clasele de expunere. Acest aspect este ilustrat și prin exemplele prezentate în Anexa 3.1, în care se prezintă influența utilizării acestui tip de ciment asupra unor caracteristici ale betonului proaspăt și întărit.

În tabelul 4.3 sunt prezentate domeniile potențiale de utilizare a cimentului și date privind compoziția betonului corespunzătoare condițiilor de expunere precum și clasele de durabilitate pentru fiecare tip de element de construcție / domeniu. Pentru fiecare din aceste categorii au fost preparate betoane (având compoziții care au respectat condițiile impuse), ce au fost supuse ulterior cercetărilor experimentale pentru determinarea nivelelor caracteristicilor și evoluției acestora în timp, în diferite medii de expunere (trecerea de la abordarea descriptivă la cea de performanță).

Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate.

Tabelul 4.3 - Caracteristicile betonului (clasa minimă, raport A/C maxim) funcție de domeniile de utilizare

Domenii	Condiții de expunere elemente	Clase de expunere conform A.N.SR EN 206-1	Descriere mediu	Clasa minimă de rezistență a betonului	Clasa de durabilitate	Raport maxim A/C
1. Construcții civile și alte tipuri de construcții	1.1 Interior	XC1	Uscat sau permanent umed	C16/20	D11/20	0.65
		XC2	Umed, rar uscat	C16/20	D11/20	0.60
		XC3	Umiditate moderată	C20/25	D11/25	0.60
		XC4	Alternanța umezire - uscare	C25/30	D11/30	0.50
	1.2 Exterior	XC4	Alternanța umezire - uscare	C25/30	D12/30 (D12/37)	0.50
		XF1	Suprafețe ale betoanelor «moderat» saturate de apă, fără agenți de dezghețare	C25/30* C30/37**		0.50
2. Construcții hidrotehnice	2a. Exterior	XC4	Alternanța umezire - uscare	C25/30 cu aer antrenat	D20/30a	0.55
		XF3	Suprafețe ale betoanelor «puternic» saturate cu apă, fără agenți de dezghețare	C35/45	D20/45	0.50
4. Mediu marin	4.1a. Construcții civile și anumite construcții industriale	XC4	Alternanța umezire - uscare	C30/37 cu aer antrenat	D41/37a	0.55
		XS1	Expuse la clorurile din atmosferă			
		XF2	Suprafețe ale betoanelor «moderat» saturate de apă, cu agenți de dezghețare			
	4.1b. Construcții civile și anumite construcții industriale	XC4	Alternanța umezire - uscare	C35/45	D41/45	0.50
		XS1	Expuse la clorurile din atmosferă			
		XF2	Suprafețe ale betoanelor «moderat» saturate de apă, cu agenți de dezghețare			
	4.2a. Construcții hidrotehnice	XS3	Zone de stropire	C35/45 cu aer antrenat	D52/45a	0.45
		XF4	Suprafețe ale betoanelor «puternic» saturate cu apă, cu agenți de dezghețare			
		XA2	Mediu moderat agresiv din punct de vedere chimic			
		XC4	Alternanța umezire - uscare			
5. Atac chimic	Toate tipurile de construcții	XA1	Mediu cu agresivitate chimică slabă	C25/30	D51/30	0.55

\*) În conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 (SR 13510: 2006)

\*\*) În conformitate cu SR EN 206-1

În tabelul 4.4 se prezintă caracteristicile compoziționale și proprietățile betonului proaspăt obținut prin utilizarea CEM II/B-S 32,5R.

Se poate observa că rapoartele A/C obținute se situează sub cele indicate ca maxime în funcție de clasele de expunere corespunzătoare, raportul A/C fiind un indicator esențial în ceea ce privește caracteristicile de rezistență și durabilitate ale betonului.

Tabelul 4.4 – Caracteristicile compoziționale și proprietățile betonului preparat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R

↳ **Beton cu aditiv superplastifiant**

Clasa de beton	Condiții de expunere	Dozaj ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Aditiv	Raport A/C	Tasare (cm)
C16/20	1.1	315	superplastifiant	0,513	10,5
C20/25	1.1	360		0,445	11
C25/30	1.1 1.2	400		0,395	11
C30/37	1.2	460		0,338	11,5
C35/45	4.1b	600		0,289	10,5

↳ **Beton cu aditiv antrenor de aer**

Clasa de beton	Condiții de expunere	Dozaj ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Aditiv	Raport A/C	Tasare (cm)	Aer antrenat (%)
C25/30	2a	470	antrenor de aer	0,385	7	4,8
C30/37	4.1a	530		0,370	7	4,3
C35/45	4.2a	600		0,343	7,5	4,2

Caracteristici ale betonului întărit au fost determinate și urmărite în evoluția lor până la vârsta de 2 ani.

Rezultatele înregistrate au evidențiat următoarele aspecte:

**1. Rezistența la compresiune**

***Beton cu aditiv superplastifiant***

Rezultatele înregistrate sunt prezentate în figurile 4.10 și 4.11.

- Creșterea rezistenței la compresiune de la 1 an la 2 ani este aproximativ aceeași (8%) pentru dozajele de ciment de 315, 360, 400 și 600 kg/m<sup>3</sup> și, respectiv, 11% pentru dozajul de ciment de 460 kg/m<sup>3</sup>;

- Sporul de dozaj de ciment de la 460 la 600 kg/m<sup>3</sup> nu a adus o contribuție importantă la rezistența betonului la vârsta de 2 ani (0,96 N/mm<sup>2</sup>), în timp ce la 28 de zile creșterea era de 10,97 N/mm<sup>2</sup>;

**- S-au obținut valori foarte ridicate ale rezistențelor la compresiune la vârsta de 2 ani pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant, peste 65 N/mm<sup>2</sup> pentru dozaje de ciment mai mari de 400 kg/m<sup>3</sup>.**

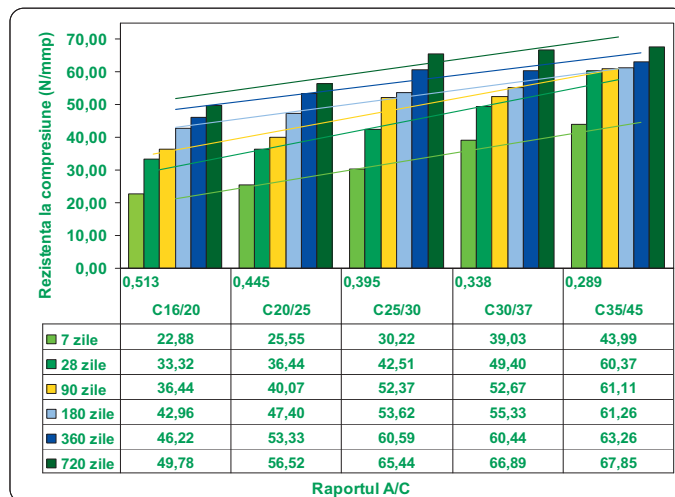


Figura 4.10 - Variația rezistenței la compresiune la n zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv superplastifiant)

- Se observă că pentru clasele de beton C 16/20, C 20/25, C 25/30, rezistența la compresiune a crescut de la vârsta de 28 zile la 2 ani cu aproximativ 50%. Odată cu creșterea dozajului de ciment se observă o diminuare a creșterii rezistenței, astfel că, pentru un dozaj de ciment de 460 kg/m<sup>3</sup> (C 30/37, A/C = 0,338) creșterea rezistenței de la 28 zile la 2 ani este de 35%, în timp ce pentru un dozaj de 600 kg/m<sup>3</sup> (A/C = 0,289) creșterea este de numai 12% (figura 4.11).

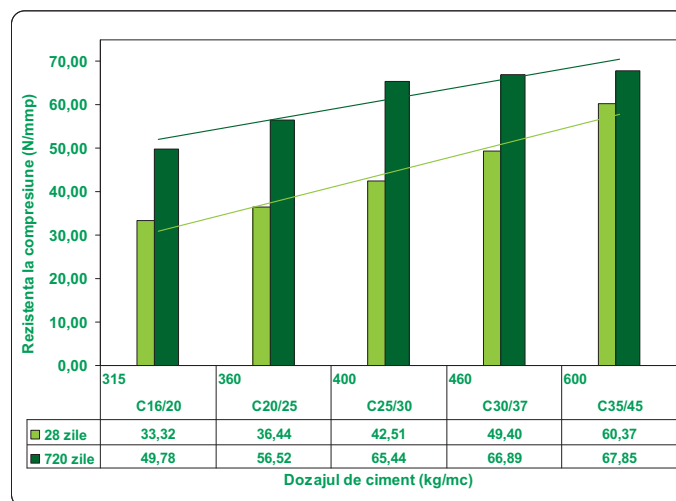


Figura 4.11 - Variația rezistenței la compresiune la 28 și 720 zile în funcție de dozajul de ciment (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv superplastifiant)

### **Beton cu aditiv antrenor de aer**

Rezultatele înregistrate sunt prezentate în figura 4.12.

- Datorită valorilor apropiate ale rapoartelor A/C rezistențele obținute nu diferă foarte mult chiar în cazul unor diferențe substanțiale de dozaj de ciment;

- Creșterea rezistenței de la 1 an la 2 ani este de aproximativ 7 % pentru betoanele de clase C 25/30 și C 35/45 și de numai 0,8% pentru betonul de clasă C 30/37;

- **Betonul cu antrenor de aer a prezentat creșteri de rezistență uniforme pentru toate clasele, de aproximativ 50% între vârsta de 28 zile și 2 ani;**

- Rezistențele betoanelor cu aer antrenat sunt puțin mai scăzute (cu aproximativ 20%) la dozaje comparabile față de cele preparate cu aditiv superplastifiant.

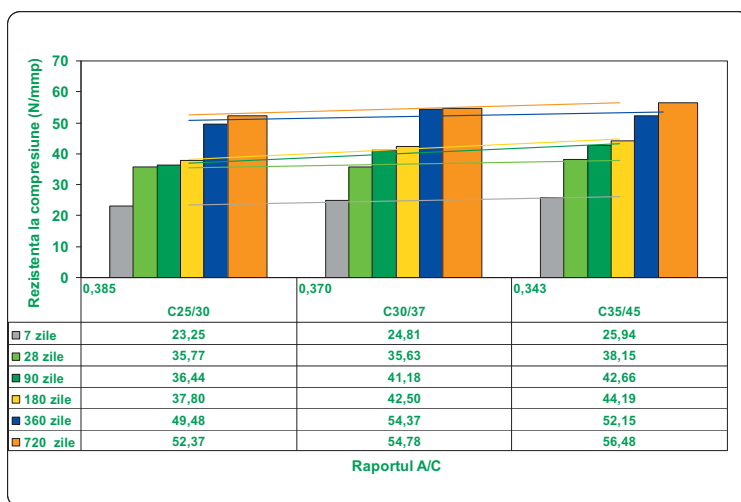


Figura 4.12 - Variația rezistenței la compresiune la n zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv antrenor de aer)

## **2. Porozitatea și absorbția**

- **Porozitatea și absorbția scad odată cu scăderea raportului A/C, indiferent de vârsta de încercare.** Acest aspect este ilustrat pentru valorile înregistrate la 180 zile (figura 4.13).

Graficul indică valori deosebit de scăzute ale porozităților, atât datorită rapoartelor A/C reduse cât și tipului de ciment utilizat.

Aceste rezultate confirmă influența importantă a raportului A/C asupra durabilității betonului precum și avantajele acestui tip de ciment pentru obținerea unor betoane puțin permeabile.

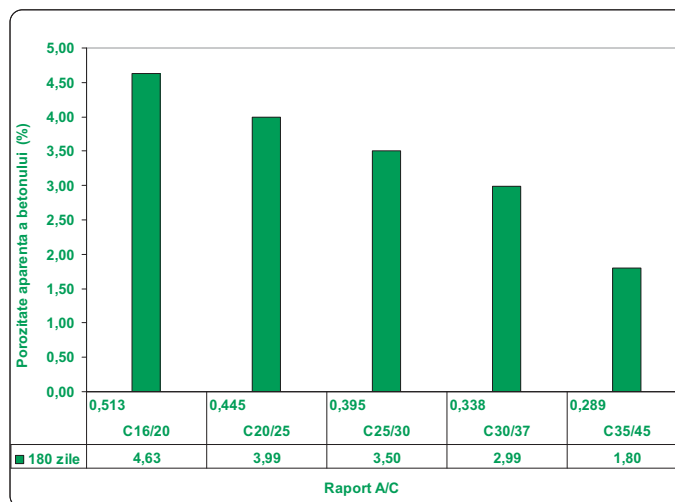


Figura 4.13 - Variația porozității aparente a betonului la 180 de zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv superplastifiant)

Betoanele preparate cu aditivi antrenori de aer prezintă de asemenea o tendință de scădere a porozităților și absorbțiilor în timp și odată cu reducerea raportului A/C (figura 4.14).

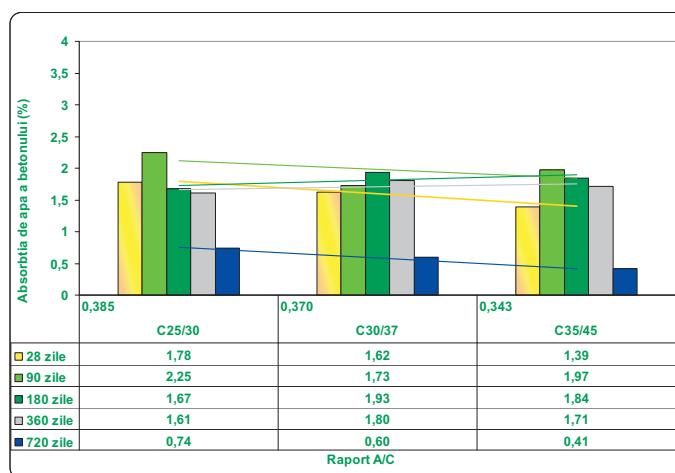


Figura 4.14 - Variația absorbției de apă a betonului la n zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv antrenor de aer)

- Reducerea porozităților și absorbțiilor în timp, de la vârsta de 28 zile la 2 ani variază între 130% și 265%, capătul inferior al intervalului fiind valabil, în general, pentru dozaje mari de ciment / rapoarte A/C mici;

- **S-au obținut valori mici ale porozităților și absorbțiilor, indiferent de clasa betonului pentru betoane cu aditiv superplastifiant, ceea ce indică o bună comportare în timp a acestor betoane;**

- În cazul betoanelor cu aer antrenat (figura 4.14), valorile obținute pentru absorbție (deși reduse) sunt puțin mai mari decât cele ale betoanelor cu aditiv superplastifiant.

### 3. Permeabilitatea la apă

- Se observă o tendință de reducere a ascensiunii apei cu scăderea raportului A/C la gradul de permeabilitate P12 (figura 4.15).

- Valorile obținute pentru ascensiunea apei se reduc în timp de la vârsta de 1 an la 2 ani cu 8 – 21% pentru betoanele cu aditiv superplastifiant și cu 14 – 25% pentru betoanele cu antrenor de aer (figura 4.16).

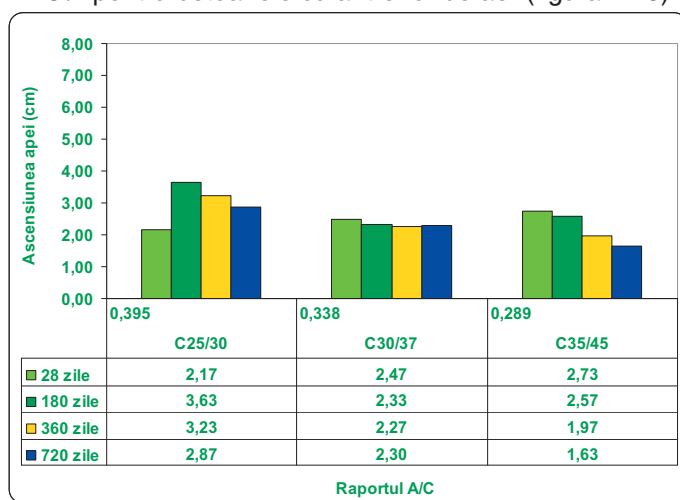


Figura 4.15 - Variația permeabilității la apă (P12) a betonului la n zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv superplastifiant)

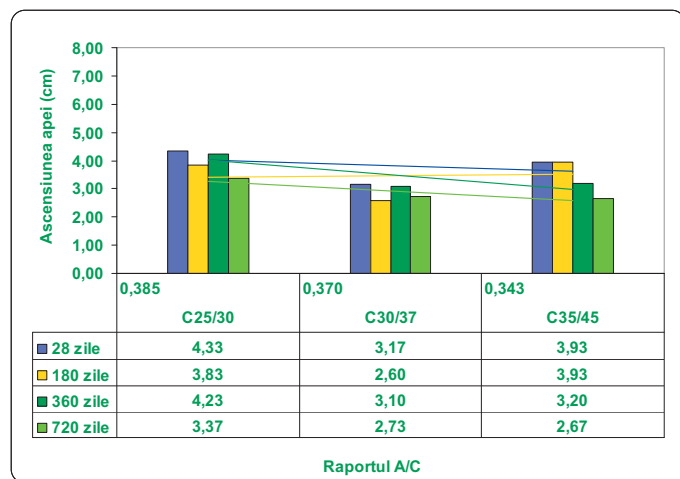


Figura 4.16 - Variația permeabilității la apă (P12) a betonului la n zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv antrenor de aer)

#### 4. Constrația liniară (figurile 4.17 și 4.18)

- Se observă creșteri ale constrațiilor la 2 ani față de vârsta de 1 an cuprinse între 21% (C25/30) și 63% (C16/20) pentru betonul preparat cu aditiv superplastifiant și între 21% (C35/45) și 45% (C25/30) pentru betonul preparat cu antrenor de aer.

- Creșterea valorilor constrațiilor de la 28 de zile la 2 ani variază între 150% (pentru betoanele de clasă C16/20, C25/30 cu aditiv superplastifiant și C30/37 cu aditiv antrenor) și 315% (pentru C20/25 cu superplastifiant, C30/37 cu superplastifiant);

- **În general constrațiile cresc cu dozajul de ciment.**

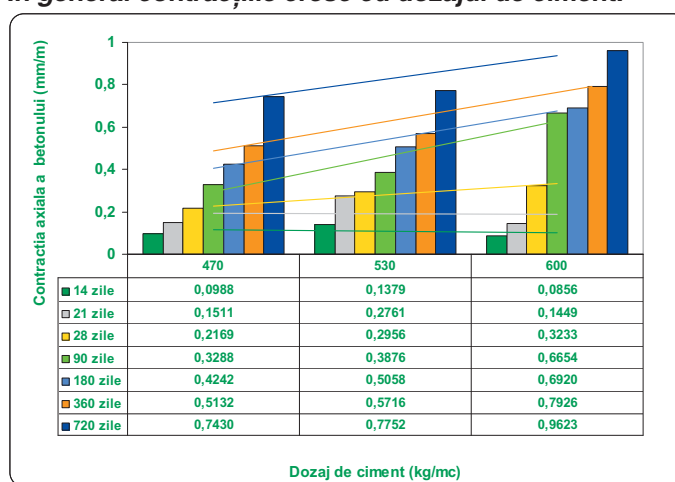


Figura 4.17 - Variația constrației axiale a betonului la n zile în funcție de dozajul de ciment (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv antrenor de aer)

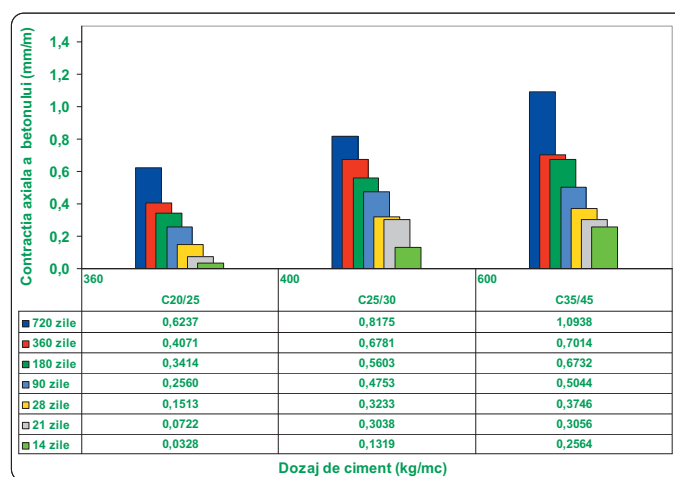


Figura 4.18 - Variația constrației axiale a betonului la n zile în funcție de dozajul de ciment (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv superplastifiant)



## 5. Rezistența la îngheț-dezghet

- **Rezistența la îngheț-dezghet a betoanelor preparate cu II/B-S 32,5 R la 50 / 100 / 150 cicluri este corespunzătoare**, înregistrându-se scăderi de rezistență sub 10% (pentru G50 și G100) și sub 12% (pentru G150). Rezultatele sunt prezentate în figura 4.19 pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant și, respectiv, în figura 4.20 pentru betoanele preparate cu aditiv antrenor de aer. Se observă aportul important al aditivilor antrenori de aer la îmbunătățirea rezistenței la îngheț-dezghet, dar și influența raportului A/C redus.

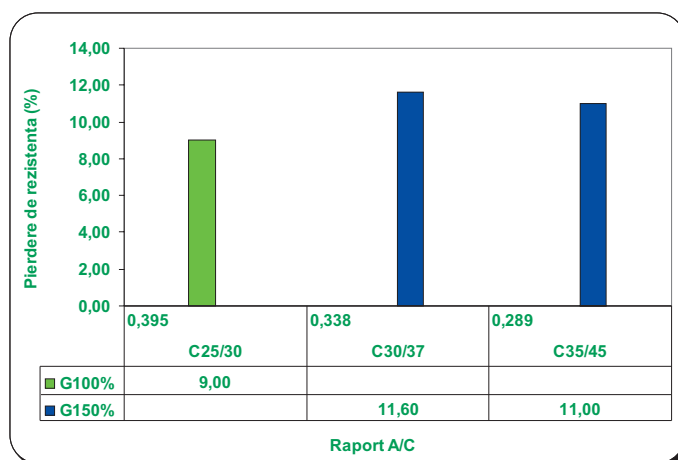


Figura 4.19 - Variația pierderii de rezistență a betonului datorată acțiunii de îngheț-dezghet funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv superplastifiant)

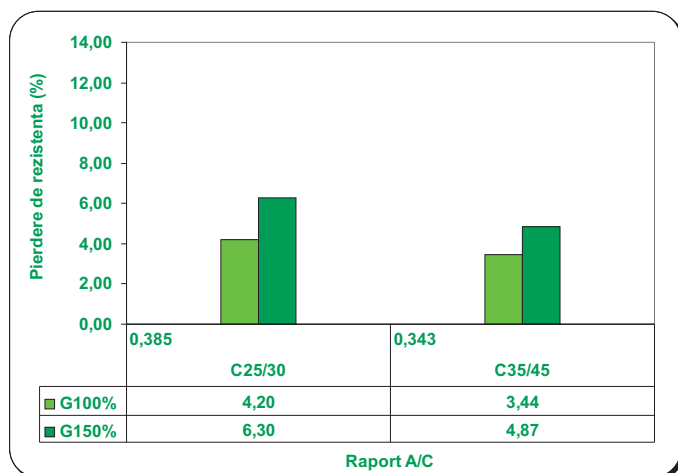


Figura 4.20 - Variația pierderii de rezistență a betonului datorată acțiunii de îngheț-dezghet funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv antrenor de aer)

## 6. Carbonatare

- **Adâncimea de carbonatare la 2 ani scade cu raportul A/C, evoluția de la 1 an la 2 ani fiind redusă, cea mai mare valoare, de 1,5 mm, înregistrându-se pentru betoane de clasa C16/20 cu raport A/C peste 0,5. La betoanele preparate cu rapoartele A/C sub 0,4 evoluția carbonatării a fost ne semnificativă.**

- Valorile obținute pentru probele menționate în exterior sunt prezentate în figura 4.21 pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant și figura 4.22 pentru betoanele preparate cu antrenor de aer.

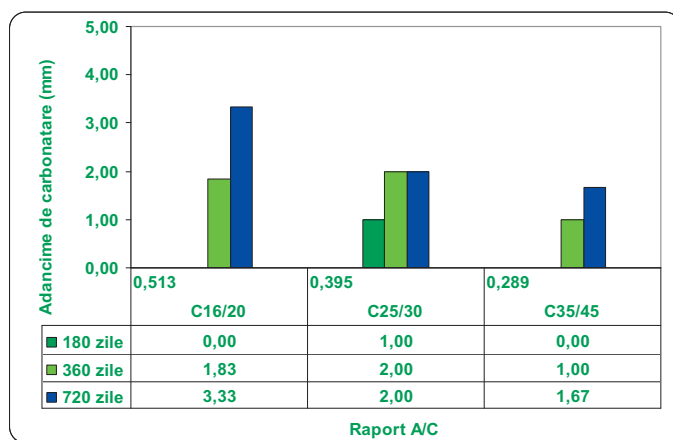


Figura 4.21 - Variația adâncimii de carbonatare funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv superplastifiant)

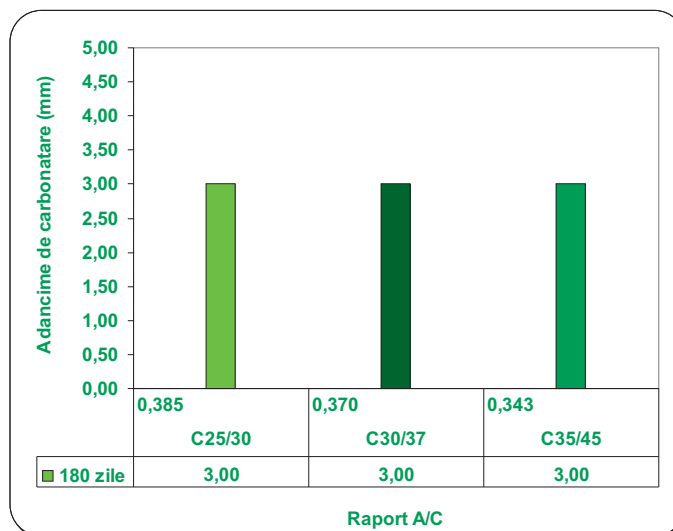


Figura 4.22 - Adâncimea de carbonatare funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-S 32,5R și aditiv antrenor de aer)

- **Ca și în cazul betonului preparat cu CEM III/A 32,5R, valorile mici ale adâncimilor de carbonatare se datorează rapoartelor A/C reduse, "tratării" probelor 7 zile în apă înainte de expunere și a mediului de menținere a probelor.**

#### **7. Comportarea la atac chimic a microbetoanelor realizate cu CEM II/B-S 32,5R**

Ținând cont de utilizările preconizate ale acestui ciment, au fost realizate probe de microbeton care ulterior au fost supuse acțiunii unuia dintre următoarele două medii corozive:

- **Mediul care generează coroziunea sulfatică** - mediu care, conform SR EN 206-1:2002, a fost modelat corespunzător clasei XA1, a cărei descriere, cu valori limită ale concentrației de ioni  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/l), este redată în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Coroziunea sulfatică. Clasa de expunere

Denumirea clasei	Descrierea mediului înconjurător	Valori limită ale concentrației de ioni $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l) pentru clasa de expunere
XA1	Mediu înconjurător cu agresivitate sulfatică slabă	$\geq 200$ și $\leq 600$

- **Mediul care generează coroziunea marină**, mediu care, conform SR EN 206-1:2002, a fost modelat corespunzător claselor XS1 (coroziune sub acțiunea apei de mare), respectiv XS2 (coroziune sub acțiunea aerului atmosferic marin), clase a căror descriere, cu exemple informative, este prezentată în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6. Coroziunea cauzată de clorurile din apa de mare / aerul atmosferic marin. Clase de expunere.

Denumirea clasei	Descrierea mediului înconjurător	Exemple informative ilustrând alegerea claselor de expunere
XS1	Expunere la aerul ce vehiculează săruri marine, însă nu sunt în contact cu apa de mare	Structuri pe sau în apropierea litoralului
XS2	Imersate în permanentă	Elemente de structuri marine

Pentru CEM II/B-S 32,5R, la modelarea coroziunii sub acțiunea mediului marin s-a considerat că, simultan cu coroziunea betonului sub acțiunea aerului atmosferic marin, va avea loc și coroziunea prin carbonatare.

Ținând cont de domeniile de utilizare a CEM II/B-S 32,5R, s-au modelat experimental următoarele clase de agresivitate:

- pentru coroziunea sulfatică (imersie completă a epruvetelor): clasa XA1 (agresivitate chimică slabă), respectiv imersie continuă în soluție de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , de concentrație de 600 mg  $\text{SO}_4^{2-}$  / l. Mediul martor: apă potabilă, imersie continuă. Pentru atacul sulfatic, s-au realizat prisme din microbeton 4x4x16 cm.

- pentru coroziunea în mediul marin artificial (imersie parțială a modulelor din beton 10x10x30cm): clasa XS1 – pentru partea de beton care este în contact permanent cu aerul atmosferic și clasa XS2 – pentru partea

de beton care este imersată permanent în apă de mare artificială. Mediile martor: apă potabilă, imersie continuă - pentru zona de beton imersată continuu în apă de mare artificială, respectiv aerul atmosferic din laborator, expunere continuă – pentru zona de beton neimersată în apă de mare artificială, în realitate, zona „de stropire” cu nivel variabil.

- pentru coroziunea în mediul atmosferic marin, natural, modulii din beton 10x10x50cm au fost expuși la „Poligonul de încercări la coroziune în mediu marin” de la Constanța, iar mediul martor ales a fost mediul atmosferic urban, regim de expunere continuă.

Modulii din beton 10x10x30cm și 10x10x50cm, atât cei supuși acțiunii mediilor agresive, cât și cei din mediile martor, au fost realizați în trei clase de rezistență, anume: clasa C30/37 cu aditiv antrenor de aer, clasa C35/45 cu antrenor de aer și clasa C35/45 cu aditiv superplastifiant.

Pentru prisme din microbeton, s-a urmărit comportarea la acțiunea coroziunii sulfatice prin determinarea rezistențelor mecanice - rezistența la încovoiere  $R_f$  și rezistența la compresiune  $R_c$  - la următoarele termene: 28 de zile de la turnare, o lună, trei luni, șase luni, nouă luni, 1 an, 1 an și 3 luni, 1 an și 6 luni, 1 an și 9 luni și 2 ani de expunere. Pentru modulii din beton 10x10x30cm, respectiv pentru modulii din beton 10x10x50cm, s-au făcut aceleași determinări ale rezistențelor mecanice, la 28 de zile de la turnare, trei luni, șase luni și un an de expunere.

Din analiza valorilor obținute se constată următoarele aspecte:

- **pentru prisme din microbeton imersate în soluție de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$** , rezistențele la încovoiere  $R_f$  și rezistențele la compresiune  $R_c$ : atât pentru epruvetele imersate în mediul agresiv cât și pentru epruvetele martor, rezistențele mecanice au avut, în ansamblu, o creștere relativ continuă.

- **pentru modulii din beton expuși în mediul atmosferic marin natural (Constanța) / modulii martor și pentru modulii imersați în apă de mare artificială/ modulii martor corespunzători:** pentru fiecare dintre cele trei clase de betoane, rezistențele mecanice au avut, în linii mari, o tendință de creștere. Acest gen de teste necesită, în general, expuneri îndelungate, fiind necesară continuarea cercetărilor experimentale pentru a avea informații mai concludente în ceea ce privește comportarea acestor betoane la acțiunea mediilor agresive.

Evoluția adâncimii de carbonatare în timp în diferite medii după 1 an de expunere este prezentată în tabelul 4.7. Și în acest caz se confirmă faptul că mediul interior (laborator) este cel mai “favorabil” carbonatării, valorile înregistrate fiind însă normale pentru perioada la care s-au efectuat măsurătorile, având în vedere tipul de ciment utilizat.

Rezultatele obținute privind adâncimea de carbonatare a probelor menținute în exterior sunt sensibil egale pentru mediu urban (București) și respectiv mediu marin (Constanța) și sunt inferioare rezultatelor obținute pentru probele menținute în interior.

Tabelul 4.7 - Evoluția în timp a adâncimii de carbonatare (d) pentru betoanele expuse în mediu urban (terasă), în mediul atmosferic de laborator și în mediul atmosferic marin

Nr. crt.	Clasă beton	d <sub>Terasă</sub> (mm)	d <sub>Laborator</sub> (mm)	d <sub>Polișon</sub> (mm)
După 3 luni de expunere				
1.	C30/37 (cu antrenor)	0,0	2,0...3,0	0,5
2.	C35/45 (cu antrenor)	0,0	2,0...2,5	1,0
3.	C35/45 (cu superplastifiant)	0,0	1,5...2,0	0,5
După 6 luni de expunere				
1.	C30/37 (cu antrenor)	1,0	5,5	1,5...2,0
2.	C35/45 (cu antrenor)	2,0	5,5	1,0...2,0
3.	C35/45 (cu superplastifiant)	2,0	5,5	1,1
După 1 an de expunere				
1.	C30/37 (cu antrenor)	2,5	6...7	1,5
2.	C35/45 (cu antrenor)	2,0	7...8	1...1,5
3.	C35/45 (cu superplastifiant)	2,0	5,5	1,1

Aceste rezultate se situează la nivelul celor obținute pe plan european. Se prezintă spre exemplificare rezultatele cercetărilor experimentale desfășurate în cadrul programului european ECO-SERVE (figurile 4.23, 4.24, 4.25).

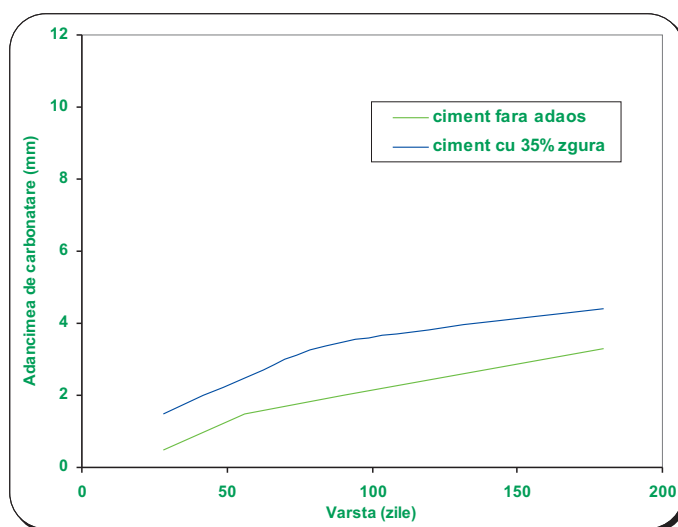


Figura 4.23 - Variația adâncimii de carbonatare în timp (dozaj ciment 260 kg/mc, A/C = 0,65)

Se observă o diferență între rezultatele obținute pe betoanele preparate cu cimentul tip I și cele preparate cu cimentul cu adaos de zgură. Chiar dacă există o dependență între proporția de adaosuri și adâncimea de carbonatare, influența acestora poate fi "diminuată" prin utilizarea unor rapoarte A/C reduse și printr-o tratare prelungită a betonului.

Se observă de asemenea influența foarte importantă a mediului de expunere asupra evoluției în timp a adâncimii de carbonatare, cel mai „favorabil” mediu al acestui fenomen fiind interiorul clădirilor cu umiditate obișnuită (figura 4.25).

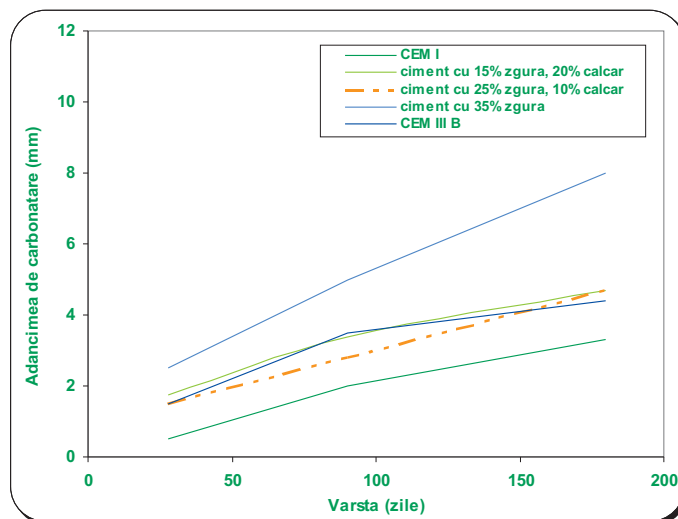


Figura 4.24 - Variația adâncimii de carbonatare în timp (dozaj ciment 260 kg/mc, A/C = 0,65)

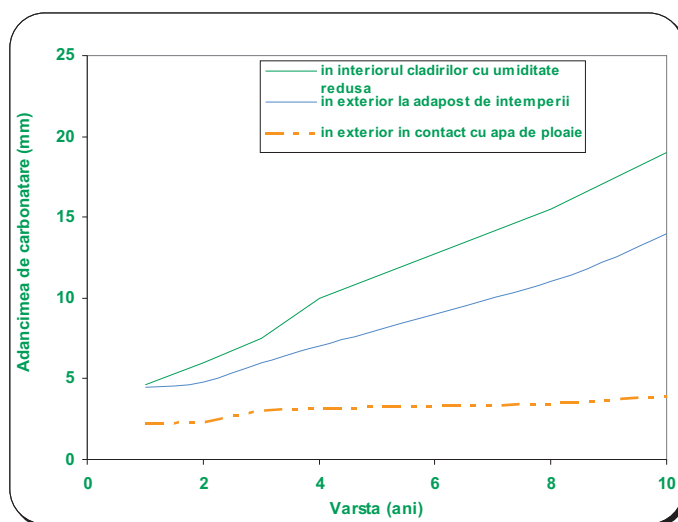


Figura 4.25 - Variația adâncimii de carbonatare în timp

### 4.3. CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R

Studiile au urmărit evoluția în timp (până la vârsta de doi ani) a unor caracteristici ale betonului preparat cu ciment tip II/B-M 32,5 R.

Menționăm că și în acest caz **betonul a fost preparat având în vedere condițiile impuse de Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 pentru mediile specifice de expunere și anume construcții civile și in-**

**dustriale, mediul interior (XC1...XC4) și respectiv exterior (XC4; XF1). De asemenea s-a avut în vedere și mediul chimic slab agresiv (XA1).**

Betoanele s-au preparat la o tasare de 11 cm, clasele minime și rapoartele A/C maxime ce s-au obținut (tabelul 4.8) sunt în conformitate cu prevederile impuse de standardul SR EN 206-1 și de Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 (tabelul 4.9).

Tabelul 4.8 – Caracteristicile compoziționale și proprietățile betonului proaspăt preparat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M 32,5R

Clasa beton	Condiții de expunere	Dozaj ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Aditiv	Raport A/C	Tasare (cm)
C16/20	1.1	325	superplastifiant	0,489	11
C20/25	1.1	370		0,429	11,5
C25/30	1.1 1.2	420		0,392	12
C30/37	1.2	470		0,370	12

Tabelul 4.9 - Caracteristicile betonului (clasa minimă, raport maxim A/C) funcție de domeniile de utilizare

Domenii	Condiții de expunere elemente	Clase de expunere conform A.N.SR EN 206-1	Descriere mediu	Clasa minimă de rezistență a betonului	Clasa de durabilitate	Raport maxim A/C
1. Construcții civile și alte tipuri de construcții	1.1 Interior	XC1	Uscat sau permanent umed	C 16/20	D11/20	0.65
		XC2	Umed, rar uscat	C 16/20	D11/20	0.60
		XC3	Umiditate moderată	C 20/25	D11/25	0.60
		XC4	Alternanța umezire - uscare	C 25/30	D11/30	0.50
	1.2 Exterior	XC4	Alternanța umezire - uscare	C25/30	D12/30 (D12/37)	0.50
XF1		Suprafețe ale betoanelor «moderat» saturate de apă, fără agenți de dezghețare	C25/30* C30/37**	0.50		
5. Atac chimic	Toate tipurile de construcții	XA1	Mediu cu agresivitate chimică slabă	C25/30	D51/30	0.55

\*) În conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 (SR 13510)

\*\*\*) În conformitate cu SR EN 206-1

În figurile 4.26 și 4.27 sunt prezentate rezultatele obținute în ceea ce privește evoluția în timp a rezistențelor la compresiune a betonului funcție de raportul A/C și, respectiv, funcție de dozajul de ciment.

Evoluția în timp a rezistenței betonului care se manifestă în mod mai accentuat în cazul betoanelor preparate cu cimenturi cu adaosuri constituie un avantaj evident, betonul căpătând în timp caracteristici fizico-mecanice superioare celor luate în considerare în proiectare.

Creșterea în timp a rezistențelor betonului și reducerea permeabilității au efecte pozitive și asupra comportării în timp a betoanelor preparate cu acest tip de ciment, obținându-se betoane durabile.

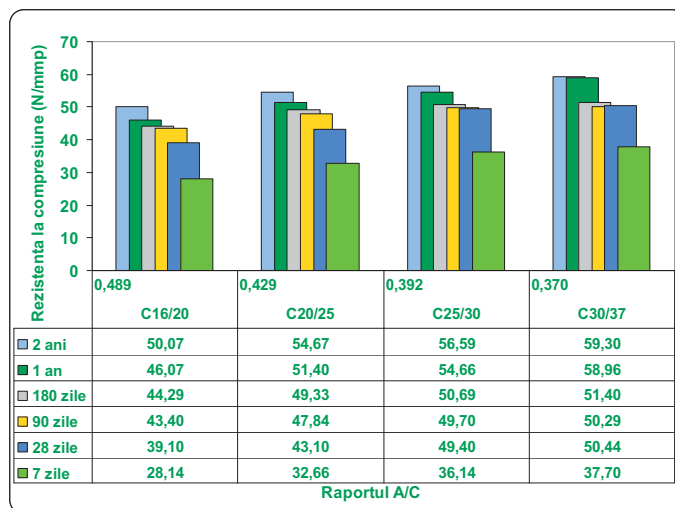


Figura 4.26 - Variația rezistenței la compresiune la n zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

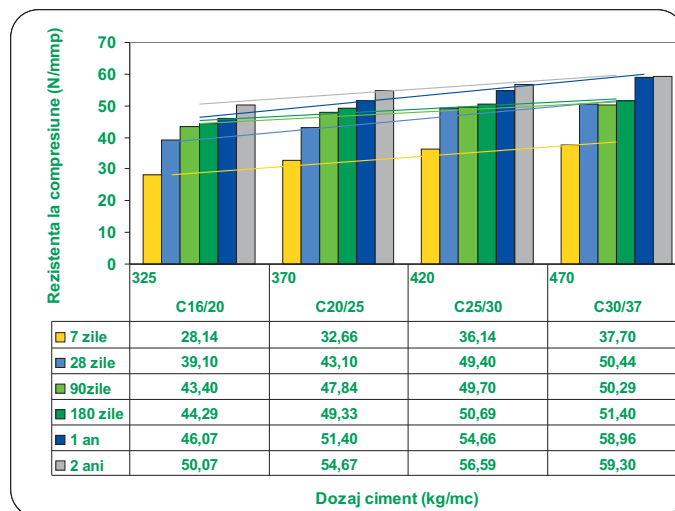


Figura 4.27 - Variația rezistenței la compresiune la n zile în funcție de dozajul de ciment (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

Se observă că rezistența betonului prezintă tendința de creștere și între 1 an și 2 ani. Sporul de rezistență s-a înregistrat la toate clasele, fiind ceva mai mare la clasele de beton C16/20 și C20/25. De altfel la aceste clase se observă cea mai accentuată evoluție de la 28 de zile la 2 ani, înregistrându-se sporuri de cca. 11 N/mm<sup>2</sup>.

Pentru clasele mai mari (având evident dozaje de ciment superioare) sporul de rezistență este cca. 7 N/mm<sup>2</sup> (figura 4.28).

O altă observație importantă este că sporul de dozaj de ciment (de



exemplu peste 400 kg/m<sup>3</sup> de ciment) nu mai aduce o creștere importantă a rezistențelor la compresiune, fapt sesizabil la toate vârstele de încercare.

Dacă un spor de 45 kg/m<sup>3</sup> de ciment de la 325 la 370 kg/m<sup>3</sup> „aduce” o creștere de rezistență de 4 N/mm<sup>2</sup> (practic la toate vârstele de încercare), un spor de 50 kg/m<sup>3</sup> de la 420 la 470 kg/m<sup>3</sup> aduce un supliment de rezistență la compresiune de numai 1 N/mm<sup>2</sup> la 28 de zile, diferențe mai mari înregistrându-se la 1 și 2 ani.

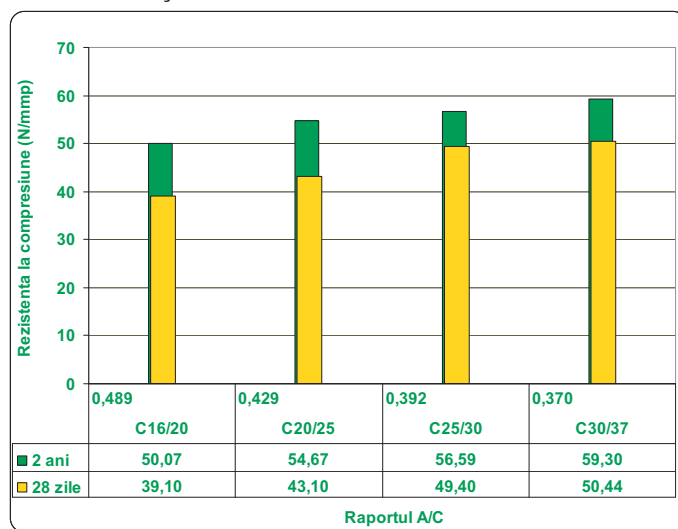


Figura 4.28 - Variația rezistenței la compresiune la 28 zile și 2 ani în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

Scăderea raportului A/C are consecințe pozitive asupra durabilității betonului, aspect ce se poate observa din figura 4.29, în care se prezintă evoluția în timp a porozității. Se observă valorile deosebit de reduse ale porozităților și tendința de diminuare în timp a acestora.

Se remarcă diferențele foarte mari între valorile porozităților determinate la 1 an și respectiv 2 ani, „îmbunătățirea” în timp a structurii betonului fiind un fenomen mai accentuat în cazul betoanelor preparate cu cimenturi cu adaosuri.

**Este evidentă dependența acestor caracteristici de raportul A/C și având în vedere că valorile acestuia se situează sub 0,5, în cazul betoanelor de clase C16/20 și C20/25, sau chiar sub 0,4, în cazul claselor C25/30 și C30/37, porozitățile și absorbțiile prezintă valori care indică apriori o bună comportare în timp a betoanelor preparate cu acest tip de ciment.**

Rezultatele experimentale confirmă faptul că măsurile luate la proiectarea amestecului, în special în ceea ce privește limitarea raportului A/C, au condus la obținerea unor betoane compacte puțin permeabile.

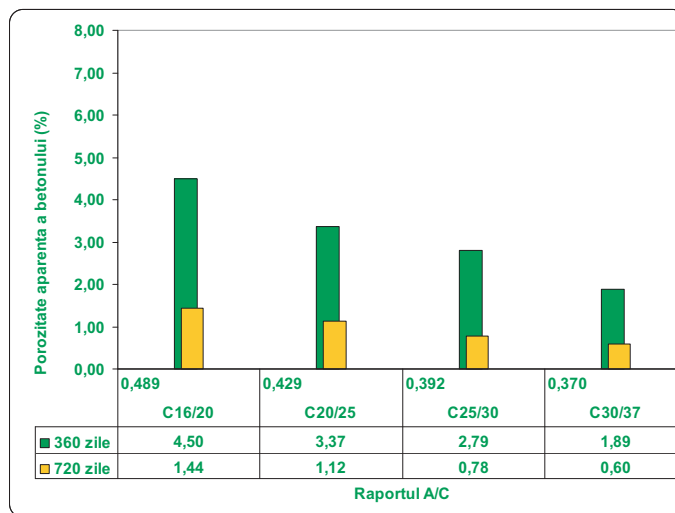


Figura 4.29 - Variația porozității aparente a betonului la 360 și 720 de zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

Același aspect rezultă și din rezultatele obținute pentru permeabilitate. S-au obținut permeabilități P8 în cazul rapoartelor A/C sub 0,5 și respectiv P12 în cazul unor valori ale rapoartelor A/C situate sub 0,4.

Această regulă a fost stabilită în cadrul cercetărilor experimentale și are un caracter de mare repetabilitate, fiind valabilă indiferent de tipul de ciment utilizat.

**Și în acest caz se observă o tendință de scădere în timp a permeabilității betonului.** Rezultatele sunt prezentate în figurile 4.30 și 4.31.

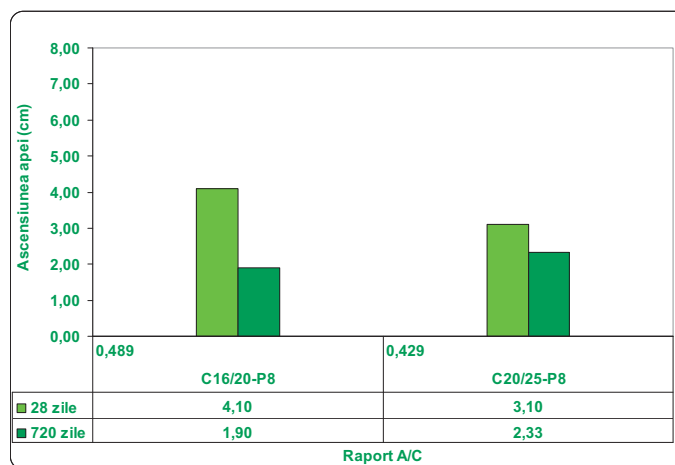


Figura 4.30 - Variația permeabilității (P8) betonului la 28 și 720 zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

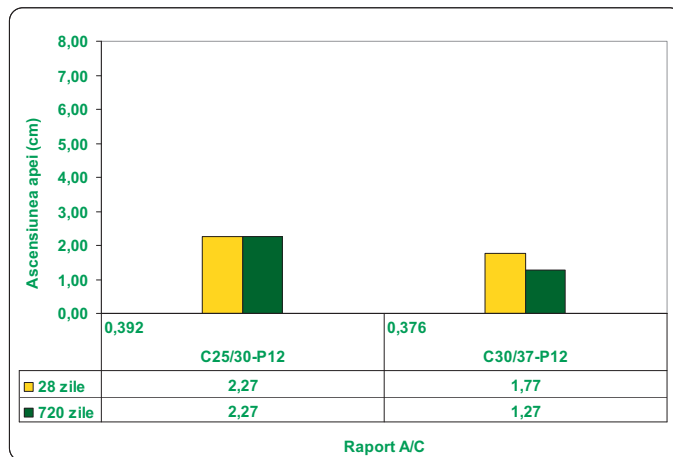


Figura 4.31 - Variația permeabilității (P12) betonului la 28 și 720 zile în funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

În ceea ce privește contracțiile (figura 4.32) se observă evoluția în timp, la 2 ani înregistrându-se valori superioare celor înregistrate la un an.

Contracții mai mari s-au înregistrat în cazul betoanelor cu dozaje mai ridicate de ciment (cu "partea activă" superioară cantitativ).

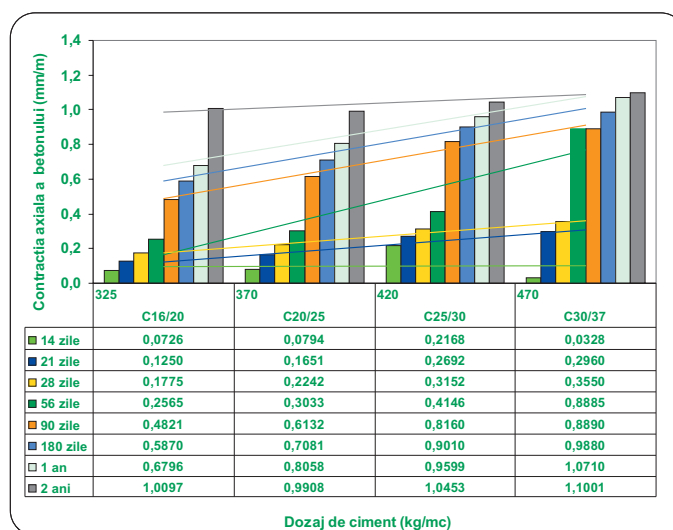


Figura 4.32 - Variația contracției axiale a betonului la n zile în funcție de dozajul de ciment (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

Trebuie precizat că rezistențele betoanelor au fost analizate prin prisma criteriilor corespunzătoare "încercărilor preliminare".

**În cazul "judecării" rezistențelor în conformitate cu criteriile specifice claselor, betonul având dozajul de 370 kg/m<sup>3</sup> și raportul A/C**

**de 0,429 prezintă la 28 de zile o rezistență de 43 N/mm<sup>2</sup>, adică corespunzătoare clasei C 30/37.**

Au fost de asemenea studiate alte două caracteristici importante pentru comportarea în timp a betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi și anume rezistența la îngheț-dezghet și carbonatarea.

**În ceea ce privește rezistența la îngheț-dezghet s-au obținut rezultate corespunzătoare la 50 de cicluri, obținându-se reduceri de rezistență de sub 6% (figura 4.33).**

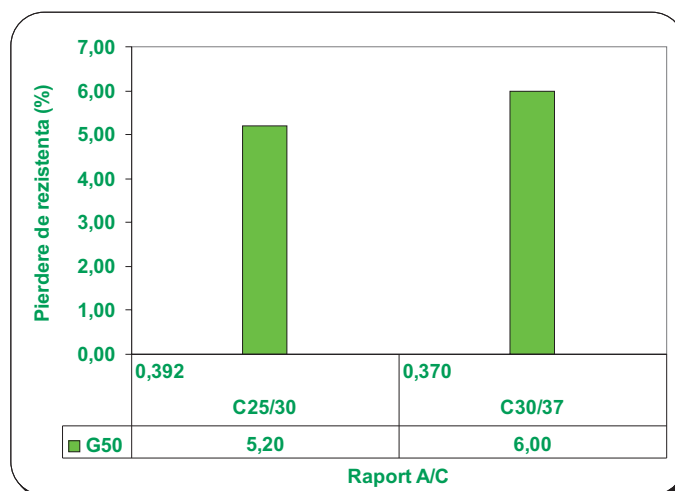


Figura 4.33 - Variația pierderii de rezistență datorată acțiunii de îngheț-dezghet a betonului funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

Rezultatele obținute la 180 de zile pentru adâncimea de carbonatare sunt prezentate în figura 4.34 (mediu cu umiditate peste 80%).

Încercările de determinare a rezistenței la îngheț-dezghet și determinarea carbonatării sunt deosebit de importante, în special în cazul stabilirii comportării la asemenea tipuri de acțiuni a betoanelor ce au în componență cimenturi ce conțin mai multe adaosuri.

Deosebit de important de subliniat este faptul că în cazul betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi și în special a celor de tip II B-M cu mai multe tipuri și proporții de adaosuri, singura modalitate de caracterizare a acestora, de determinare a comportării în diferite medii și de stabilire în final a domeniului de utilizare este cercetarea experimentală.

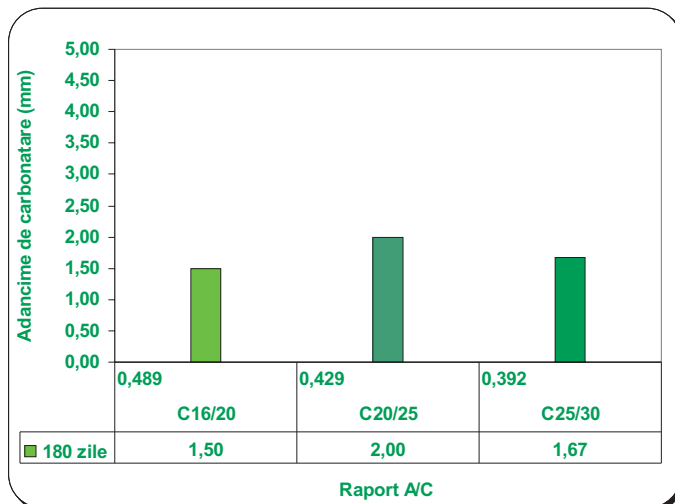


Figura 4.34 - Variația adâncimii de carbonatare la 180 de zile funcție de raportul A/C (pentru beton realizat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

În figura 4.35 se prezintă evoluția în timp a carbonatării pentru un microbeton preparat la un raport A/C de 0,5 (mediu cu umiditate sub 65%).

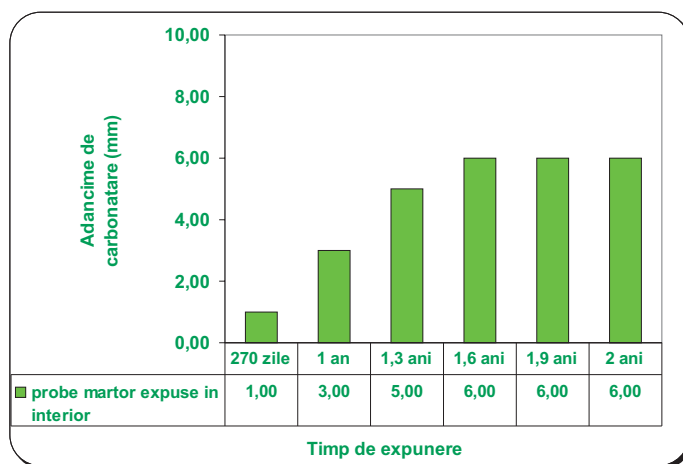


Figura 4.35 – Evoluția adâncimii de carbonatare în timp (pentru beton preparat cu CARPATCEMENT® CEM II/B-M (S-V) 32,5R)

**Valorile obținute pentru carbonatare sunt normale pentru mediul de expunere (interior) și tipul de ciment utilizat.**

**Cercetările experimentale desfășurate de un colectiv din INCERC coordonat de autor pe betoane preparate cu cimenturi cu adaosuri fabricate de CARPATCEMENT HOLDING S.A. au relevat câteva aspecte deosebit de importante:**

- **Proporționate corespunzător compozițiilor specificate în Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 (SR 13510), betoanele preparate cu cimenturile cu adaosuri ating nivelele de performanță cerute, funcție de clasele de expunere corespunzătoare;**

- **Evoluția în timp a caracteristicilor de rezistență și durabilitate a fost corespunzătoare domeniilor pentru care au fost proiectate amestecurile;**

- **Extinderea domeniilor de utilizare a acestor tipuri de cimenturi, în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1 (prezentate în capitolul 3, tabelele 3.10...3.13), este perfect justificată, având în vedere atât experiența internațională, cât și rezultatele cercetărilor experimentale desfășurate în țară;**

- **Introducerea în practica curentă la prepararea betoanelor a acestor cimenturi necesită respectarea cu strictețe a valorilor limită recomandate pentru compoziția și proprietățile betonului funcție de clasele de expunere corespunzătoare și, de asemenea, respectarea celorlalte măsuri ce trebuie luate la prepararea și punerea în operă a betonului, o atenție specială trebuie dată perioadei de tratare care trebuie prelungită.**



## BIBLIOGRAFIE

1. Baron J., Olivier J.P. La Durabilité des Béton, Presses Ponts et Chaussées, Paris 1992.
2. Desdevides A. La Durabilité et l'organisation de la Qualité, Presses Ponts et Chaussées, Paris 1992.
3. Lossier H. La Pathologie du Béton Armé, Dunod, Paris 1952.
4. Neville A.M. Proprietatile betonului, Editura Tehnica, Bucuresti 2003.
5. Rostam S. Service Life Design in Practice Today and Tomorrow, International Conference-Concrete across Borders- Copenhagen 1994.
6. Sirivatnanon V. Durability of Blended Cements, Melbourne 2002.
7. EN 1992-1 Design of Concrete Structures
8. ACI 201.2R-01 Guide to Durable Concrete
9. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION Design and Control of Concrete Mixtures Illinois 2003.
10. ASTM C 618 Fly – ash and Natural Pozzolans.
11. ASTM C 1260 Potential Alkali Reactivity of Aggregates (mortar-bar method)
12. ASTM C 1293 Determination of Length Change of Concrete due to Alkali-silica Reaction (concrete prism test)
13. AASHTO 303 Potential Alkali Reactivity of aggregates (mortar-bar method)
14. NE-012/99 Cod de practica pentru executarea lucrarilor de beton si beton armat
15. SR EN 197-1 Ciment - Compozitie, specificatii si criteriile de conformitate
16. ANA. SR EN 206-1 Beton – Partea I: Specificatie, performanta, productie si conformitate
17. DIN 1045-2 Concrete reinforced and Prestressed Concrete Structures – Part 2: Concrete Specification, Properties, Production and Conformity – Application Rules for DIN EN 206-1



---

18. ASTM 260	Air-entraining Admixtures for Concrete
19. ASTM 233	Test Method for Air-Entraining Admixtures for Concrete
20. AASHTO M 154	Air-entraining Admixtures for Concrete
21. AASHTO T 157	Air-entraining Admixtures for Concrete
22. ASTM C 494	Chemical Admixtures for Concrete
23. AASHTO M 194	Chemical Admixtures for Concrete
24. fib 21/2003	Environmental Issues in Prefabrication
25. BS 8500	Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1
26. ECO-SERVE	European Construction in Service of Society
27. ASTM C 1017	Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete
28. CEB 183	Durable Concrete Structures, Design Guide, Bulletin d'Information Nr.183,1992.

**Fotografiile au fost preluate de pe următoarele site-uri:**

<http://www.digitalblasphemy.com/userg/images/998474099.shtml>  
<http://www.we-make-money-not-art.com/yyy/divesof.jpg>  
<http://www.type-k.com/cts05/images/scrack.jpg>  
<http://www.webstercountya.org/Engineer/Bellville%20Bridge%20Project/Building%20the%20Superstructure.htm>  
<http://www.mit.edu/people/jmp/gallery/flowers/pages/flower-red-on-concrete.htm>  
[http://www.cement.org/tech/cct\\_cement\\_specifying.asp](http://www.cement.org/tech/cct_cement_specifying.asp)  
[http://www.fibre.net.info/edilizia\\_en.html](http://www.fibre.net.info/edilizia_en.html)  
[http://www.eng.uab.edu/cee/reu\\_nsf99/reu\\_nsf00/sheida/sheida.htm](http://www.eng.uab.edu/cee/reu_nsf99/reu_nsf00/sheida/sheida.htm)  
<http://www.uwm.edu/Dept/CBU/About.html>  
[www.mayang.com/textures/popular.html](http://www.mayang.com/textures/popular.html)  
[http://www.mslexperts.com/concrete\\_reality/steel\\_reinforcement\\_corrosion/fs\\_steel\\_reinforce.html](http://www.mslexperts.com/concrete_reality/steel_reinforcement_corrosion/fs_steel_reinforce.html)  
<http://www.durham.gov.uk/durhamcc/usp.nsf/pws/Scientific+Services+-+Building+Scientific+Services+-+Building>  
<http://ciks.cbt.nist.gov/~garboz/nistir6399/node14.htm>  
[www.215515project.com/Concrete%20work%20at%20...](http://www.215515project.com/Concrete%20work%20at%20...)  
[www.mmr.org/construction/0605\\_treatmentplant/...](http://www.mmr.org/construction/0605_treatmentplant/)

Introducerea în această carte a noțiunii de **clasă de durabilitate a betonului**, abordare originală la nivel internațional, a căutat să creeze numitorul comun al măsurilor ce trebuie luate de diferiții participanți la realizarea construcțiilor din beton armat (proiectanți, executanți, beneficiari / utilizatori) pentru asigurarea durabilității.

Bazate pe cercetări proprii și pe aplicarea standardelor europene de profil, prevederile conținute în carte se constituie într-un **Îndrumător de proiectare a durabilității în conformitate cu SR 13510:2006 (Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1: „Beton – Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate”) și cu SR EN 1992 (Eurocodul 2): „Proiectarea structurilor din beton”**.

Prevederile conținute în carte reprezintă o primă etapă, foarte importantă de altfel, a măsurilor ce trebuie întreprinse pentru asigurarea durabilității, în special în faza de proiectare.

Ne propunem să completăm aceste măsuri într-o ediție viitoare care să se bazeze pe rezultatele unor cercetări naționale și internaționale și pe prevederile standardului european SR ENV 13670-1 privind „Execuția structurilor din beton”. Se va avea astfel la dispoziție un material complet, în conformitate cu reglementările naționale viitoare armonizate cu cele europene, privind asigurarea durabilității construcțiilor din beton armat.

*Cartea face parte din campania*  
**“BETON LA STANDARDE EUROPENE”**  
*a S.C. CARPATCEMENT HOLDING S.A*

