

1.

DURABILITATEA CONSTRUCȚIILOR

1.1. Introducere

Componentele principale ale activității din construcții pot fi rezumate la proiectare, execuție și exploatare. Proiectarea unei structuri de rezistență se referă la alegerea tipului de structură cel mai potrivit scopului propus, determinarea acțiunilor care solicită structura și a combinării lor, calculul eforturilor și a deplasărilor în secțiunile sau punctele caracteristice ale structurii, dimensionarea și alcătuirea elementelor structurii așa încât să satisfacă condițiile de rezistență, stabilitate, oboseală, deformații, etc. Execuția și exploatarea reprezintă, pe de altă parte, folosirea unor tehnologii optime din punct de vedere tehnic și economic pentru transpunerea în realitate a proiectelor întocmite, cât și pentru găsirea mijloacelor cele mai adecvate pentru menținerea unei durabilități îndelungate a construcțiilor.

Printre materialele de construcții utilizate la ora actuală betonul este unul dintre cele mai importante. Este un material de construcție ieftin, larg disponibil și relativ ușor de utilizat. Poate fi folosit pe șantiere pentru a realiza elemente de construcție într-o mare varietate de forme, dimensiuni și moduri de finisare, această flexibilitate ajutând la dezvoltarea construcțiilor de beton.

Betonul prin natura lui, este un material durabil, care nu necesită o întreținere deosebită. Într-adevăr, componentele de bază ale betonului, adică oxizii de Si, Al și Fe, sunt aceiași cu cei care formează rocile naturale durabile. În consecință, există doar câteva efecte ale mediului natural înconjurător care pot degrada rapid un beton de bună calitate. În orice caz, caracteristicile unui beton de bună calitate nu sunt ușor de definit și adăugând faptul că în timpul realizării construcțiilor un beton nedurabil are un aspect similar cu un beton durabil vor exista, deci, dificultăți în asigurarea unei durabilități corespunzătoare a structurilor de beton.

Problema durabilității betonului a apărut cu mult timp în urmă. Astfel, chiar în 1837, Vicat era preocupat de faptul că modul deficitar, neglijent de execuție a lucrărilor de construcții poate cauza deteriorarea rapidă a acestora (conform [1.1]).

În ultimii ani durabilitatea betonului și a materialelor de construcții în general, sau lipsa acesteia, a atras preocupările unui număr mare de specialiști. La ora actuală s-a scos în evidență multitudinea de probleme din construcții datorate durabilității, fiind recunoscută necesitatea rezolvării urgente a acestora. Soluțiile trebuie să ia în considerare complexitatea utilizării materialelor și influența deselor practici de proiectare, construcție, exploatare și întreținere inadecvate.

Totuși, intensele preocupări relativ recente în domeniul durabilității nu au rezolvat toate problemele existente. Astfel normele de proiectare nu sunt foarte specifice în măsuri ce ar trebui luate pentru asigurarea durabilității construcțiilor până la atingerea duratei de serviciu proiectată. De aceea se studiază și posibilități de remediere, refacere, reparații a construcțiilor în scopul măririi durabilității acestora. Toate acestea pornesc de la evaluări exacte a condițiilor de expunere la factorii agresivi din mediul înconjurător și a degradărilor efective care apar în construcții, metodele folosite în aceste scopuri reprezentând la rândul lor subiecte de cercetare, de perfecționare.

1.2. Definirea durabilității

Durabilitatea este definită prin intervalul de timp în care construcția își păstrează toate caracteristicile funcționării ei normale.

Această noțiune este strâns legată de alți termeni, cum ar fi siguranța și calitatea, termeni care cuprind aspecte foarte importante în practica construcțiilor. Astfel **siguranța** reprezintă ansamblul condițiilor necesare a fi îndeplinite la proiectarea și execuția unei construcții pentru ca aceasta să nu sufere avarii datorită diverselor acțiuni, iar **calitatea** reprezintă gradul de perfecțiune sau ceea ce se dorește să fie inclus în proiecte și să se realizeze prin construcție [1.2]. Siguranța construcțiilor este indisolubil legată de conceptul de calitate și se exprimă cantitativ prin probabilitatea de supraviețuire fără apariția de avarii.

Durabilitatea care face să intervină factorul timp în aprecierea construcțiilor reprezintă o componentă principală a noțiunii de calitate.

Durabilitatea se poate defini și prin **durata de serviciu** a construcțiilor.

1.2.1. Teorii referitoare la prevederea duratei de serviciu a construcțiilor

Durata de serviciu a construcțiilor are implicații tehnice și economice deosebite asupra întregii vieți economice și sociale a unei țări. Potrivit informațiilor RILEM (conform [1.3]), în cele mai multe țări dezvoltate, peste 40 % din totalul resurselor industriale de construcții sunt folosite la repararea și menținerea construcțiilor existente și mai puțin de 60 % sunt folosite pentru realizarea construcțiilor noi. Procentul total al resurselor destinate reparațiilor și întreținerilor construcțiilor devine tot mai mare.

Durata de serviciu este pusă în evidență de probabilitatea atingerii uneia dintre stările limită ale funcționării normale, care pot fi exprimate, indirect, ca fiind valorile minime, uneori maxime, ale unei caracteristici fundamentale sau ale unui complex de caracteristici fundamentale.

Un **model teoretic** pentru descrierea duratei de serviciu a unui element de construcție este prezentat în Figura 1.1 (conform [1.4]):

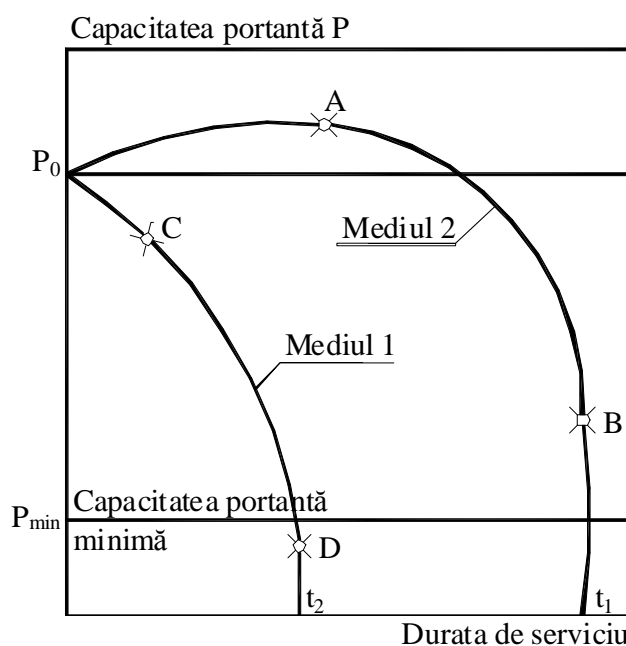


Figura 1.1. Model teoretic pentru durata de serviciu a unui element de construcție [1.4].

Este pusă în evidență influența cauzelor externe asupra durabilității elementului studiat, care pentru exemplul calitativ ilustrat este considerat a fi din beton armat. Funcționarea normală a elementului, deci durata de serviciu, este apreciată prin capacitatea lui portantă, care suferă următoarele schimbări:

- în mediul 1, care este considerat a nu fi deosebit de agresiv, are loc o creștere inițială a capacității portante datorită continuării procesului de hidratare, până în punctul A, când începe corodarea armăturilor, care conduce la scăderea continuă a capacității portante a elementului, până în punctul B, când elementul cedează; durata de serviciu este t_1 .

- în mediul 2, care este deosebit de agresiv (de exemplu în contact direct cu elementul există sare), creșterea inițială a capacității portante este anulată de acțiunea mediului agresiv, care după un timp relativ scurt atacă armăturile (punctul C), care încep să corodeze, elementul diminuându-și continuu capacitatea portantă până în punctul D; durata de serviciu t_2 este cu mult mai mică decât în cazul precedent.

Modelul teoretic prezentat în Figura 1.1 este valabil pentru orice fel de material de construcții cu deosebirea că nu se va produce creșterea capacității portante, stipulată pentru păstrarea elementului în mediul 1.

Față de cele prezentate, este necesar a se face precizarea sesizată în lucrarea [1.5], că modelul prezentat în Figura 1.1 este posibil pentru un element al unei structuri, el devenind mai greu de descris pentru o structură formată din mai multe elemente, la care are loc un proces de redistribuție a eforturilor datorită modificării continue a schemei statice prin ieșirea din funcționare a diverselor secțiuni și elemente. Astfel, în cazul unei structuri de beton armat funcționând în mediul 2, este posibil ca inițial să aibă loc, și în această situație, o creștere a capacității portante a structurii în ansamblu, efectul coroziv al mediului manifestându-se numai asupra elementelor direct afectate de prezența acestuia. Cu toate acestea modelul din Figura 1.1 reprezintă o bază acceptabilă pentru studiul durabilității construcțiilor.

Abordarea probabilistică a determinării duratei de serviciu a construcțiilor este datorată lui A. Siemes ș.a. [1.6], care descrie trei metode diferite de studiu.

Prima metodă este bazată pe cunoașterea unor date statistice ale probabilității de rupere sau ale distribuției duratei de serviciu. Este specificat faptul că nu este absolut necesar de a avea la dispoziție date foarte exacte: este suficient a fi făcute estimări rezonabile ale valorii medii și abaterilor standard ale duratei de serviciu.

Cea de-a doua metoda este bazată pe calculul probabilistic al distribuției duratei de serviciu t_s , care în multe din cazurile cercetate poate fi explicită într-un număr de cantități stocastice x_i astfel:

$$t_s = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.1)$$

și în acest caz se poate calcula media t_s și abaterea standard s_t fără a fi necesară determinarea formei distribuției.

Cea de-a treia metodă presupune calculul, pe baze probabilistice, al probabilității de cedare cu luarea în considerare a funcției de reabilitate, adică se face o evaluare statistică a siguranței structurii. Probabilitatea de cedare pentru cazul în care parametrii care caracterizează încărcările exterioare x^a și capacitatea portantă x^r sunt independente de timp, este:

$$P_c = P(x^a > x^r) = \int_0^{\infty} F(x^r) f(x^a) dx \quad (1.2)$$

în care: $F(x^r)$ este funcția de repartiție a variabilei x^r ;
 $f(x^a)$ este densitatea de repartiție a variabilei x^a .

În problemele de durabilitate însă, x^r și/sau x^a sunt dependente de timp, astfel încât cedarea se produce, pentru durata de timp t cea mai mică din intervalul $(0 - t)$, când capacitatea portantă $x^r(t)$ este mai mică decât efectul corespunzător al încărcării $x^a(t)$ (Figura 1.2), adică:

$$P_{c,t} = P(x^a(\tau) < x^r(\tau)), \tau \in (0, t) \quad (1.3)$$

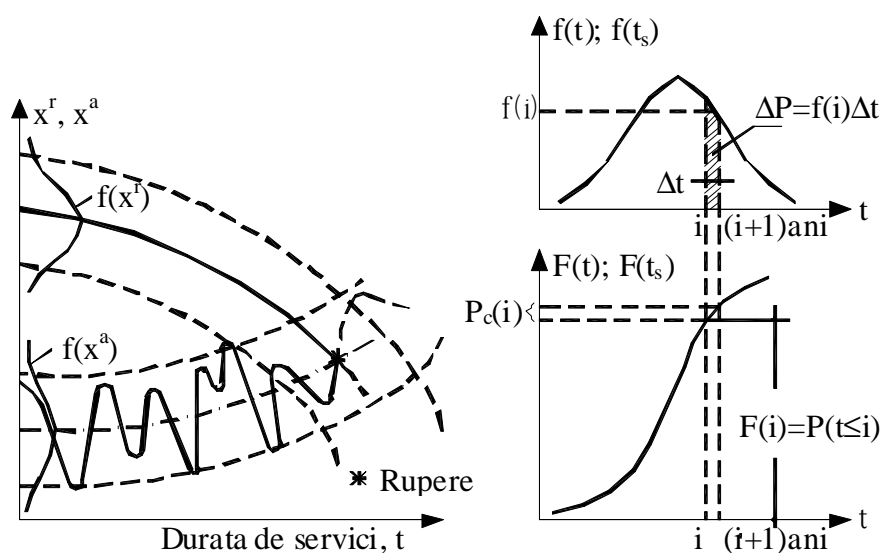


Figura 1.2. Model teoretic probabilistic pentru descrierea duratei de serviciu.

Figura 1.3. Definirea duratei de serviciu în funcție de probabilitatea de cedare.

Durata de serviciu a construcției t_s poate fi definită în funcție de probabilitatea de cedare $P_{c,t}$, așa cum este ilustrat în Figura 1.3. Întrucât $t_s < t$, rezultă că durata de serviciu este identică cu durata până când poate avea loc cedarea structurii, astfel încât funcția de repartiție $F(t)$ este chiar funcția de repartiție (distribuție) a duratei de serviciu $F(t_s)$, iar densitatea de repartiție $f(t)$ este și cea a duratei de serviciu $f(t_s)$.

1.3. Factori care influențează durabilitatea

Referitor la durabilitatea betonului, aceasta poate fi privită din mai multe puncte de vedere, interdependente:

- întreaga structură;
- macrostructura materialului;
- microstructura materialului;
- interfața armatură - beton.

Principalele cauze ale problemelor de durabilitate a structurilor de beton, conform studiilor din Marea Britanie, sunt scoase în evidență în Figura 1.4 (conform [1.7]).

Deficiențele de proiectare și construcție sunt mai periculoase decât materialele folosite, producând într-o mai mare proporție distrugerii. Materialele pe bază de cimenturi sunt, chimic, complexe și chiar în zilele noastre, după 150 ani de utilizare, procesul de hidratare a cimentului portland nu este complet înțeles în toate detaliile sale. Utilizarea adaosurilor chimice, a aditivilor pentru ciment, a materialelor înlocuitoare a cimentului cum ar fi cenușa de termocentrală, zgura granulată de furnal și microsiline, au adus beneficii tehnice și economice dar au introdus și complicații suplimentare. Frecvent apar confuzii sau chiar contradicții privind claritatea normelor, prevederilor de folosire eficientă a acestor materiale.

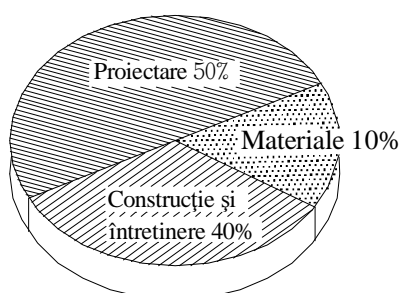


Figura 1.4. Cauzele problemelor de durabilitate.

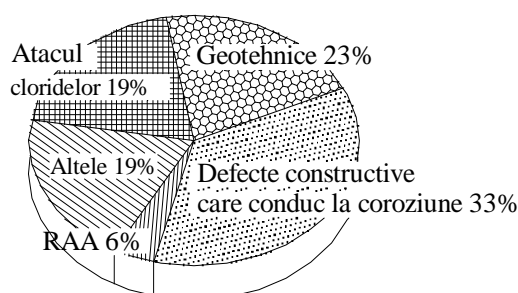


Figura 1.5. Probleme tipice durabilității betonului.

Figura 1.5 ne prezintă deficiențele tipice întâlnite în structurile de beton [1.8]. De cea mai mare importanță este coroziunea armăturilor și nu deteriorarea betonului însuși. În acest caz acoperirea cu beton a armăturilor trebuie să asigure protecția oțelului, reprezentând o barieră chimică și fizică împotriva agenților agresivi. La ora actuală este cunoscut faptul că betonul de acoperire al armăturilor poate avea o calitate mult scăzută în comparație cu betonul din interiorul elementelor de beton, Figura 1.6 conform [1.9].

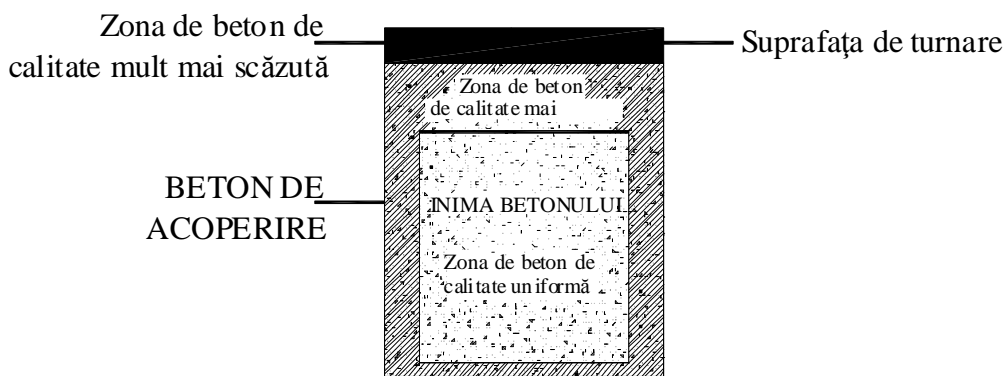


Figura 1.6. Variația calității betonului pe secțiunea transversală.

În condiții de șantier calitatea lucrărilor efectuate de muncitori este foarte importantă iar tratarea betonului nu poate fi prevăzută întotdeauna, acestea impunând concluzia că normele care prevăd o rezistență minimă necesară, un conținut minim de ciment și un raport minim apă/ciment vor fi inadecvate în privința asigurării durabilității.

1.3.1. Caracterizarea efectelor condițiilor de expunere ale betonului

Betonul este folosit în orice condiții de mediu înconjurător, fiecare din aceste condiții având efecte particulare asupra betonului și/sau armăturii. Deteriorarea este inevitabilă, dar specialiștii sunt preocupați de viteza cu care se degradează betonul. Aceasta poate fi definită ca [1.10]:

$$\text{Viteza de deteriorare a betonului} = f \left[\begin{array}{l} \text{Condiții de} \\ \text{expunere și} \\ \text{agresivitatea lor} \end{array} ; \begin{array}{l} \text{Rezistența} \\ \text{betonului} \\ \text{la deteriorare} \end{array} \right]$$

ceea ce arată că estimarea potențialului de durabilitate necesită cunoașterea caracteristicilor betonului și a mediului de expunere. Factorii care afectează durabilitatea betonului sunt prezentați în Figura 1.7. Acești factori sunt diverși și în foarte multe situații acționează simultan. În general, se poate face o clasificare în patru mari categorii:

1. Degradarea internă a materialului: reacția alcaliilor din ciment cu agregatele, conversia cimentului super-aluminos.
2. Pătrunderea (penetrarea) fluidelor și/sau ionilor din mediul înconjurător care pot ataca betonul și/sau armătura: pătrunderea clorului, carbonatarea, atacul sulfatilor.
3. Uzura directă și impactul: eroziunea, cavitația.
4. Distrugerile mecanice datorate deformațiilor excesive: din acțiunea temperaturii, fisurarea din încovoiere, umezire și uscarea, acțiunea înghețului.

Categoria 1 tinde să se producă neașteptat, deseori ca o consecință neprevăzută a schimbărilor în producția betoanelor sau datorită cunoștințelor insuficiente a limitelor materialelor, cum este cazul cimentului super-aluminos. Totuși, în general vorbind, soluții la aceste probleme sunt relativ ușor de găsit și aplicat, chiar dacă există câteva detalii de disputat, exemplul fiind reducerea riscului de reacție a alcaliilor din ciment cu agregatele. Însă pe măsură ce resursele materiale finite folosibile se împuținează, va deveni necesară utilizarea materialelor alternative, cu proprietăți asemănătoare, reciclate sau de calitate mai redusă. Aceste materiale pot da betoane cu caracteristici de performanță diferite de cele ale materialelor tradiționale, și nu va fi posibil să fie tratate în același mod. Astfel, specialiștii vor aprecia, din considerente de durabilitate, că aceste materiale vor fi utilizate cu o mai mare atenție și grijă.

Categoria 2 reprezintă, de departe, sursa majoră a problemelor de durabilitate. Pătrunderea umidității care conține ioni dizolvați, în special cloruri, sau a dioxidului de carbon poate conduce la coroziunea armăturilor. Problema constă în faptul că nu a existat un mijloc tradițional, simplu de evaluare a rezistenței betonului la pătrunderea acestor agenți.

Categoria 3 este asociată cu traficul auto pe stratul de uzură al autostrăzilor și planșelor industriale. Rata de uzură este funcție de caracteristicile pietrei de ciment și a agregatelor grosiere. Pentru evaluarea rezistenței la uzură potențiale a agregatelor există teste bine stabilite, teste care pot fi folosite și pentru evaluarea rezistenței potențiale la uzură a betonului.

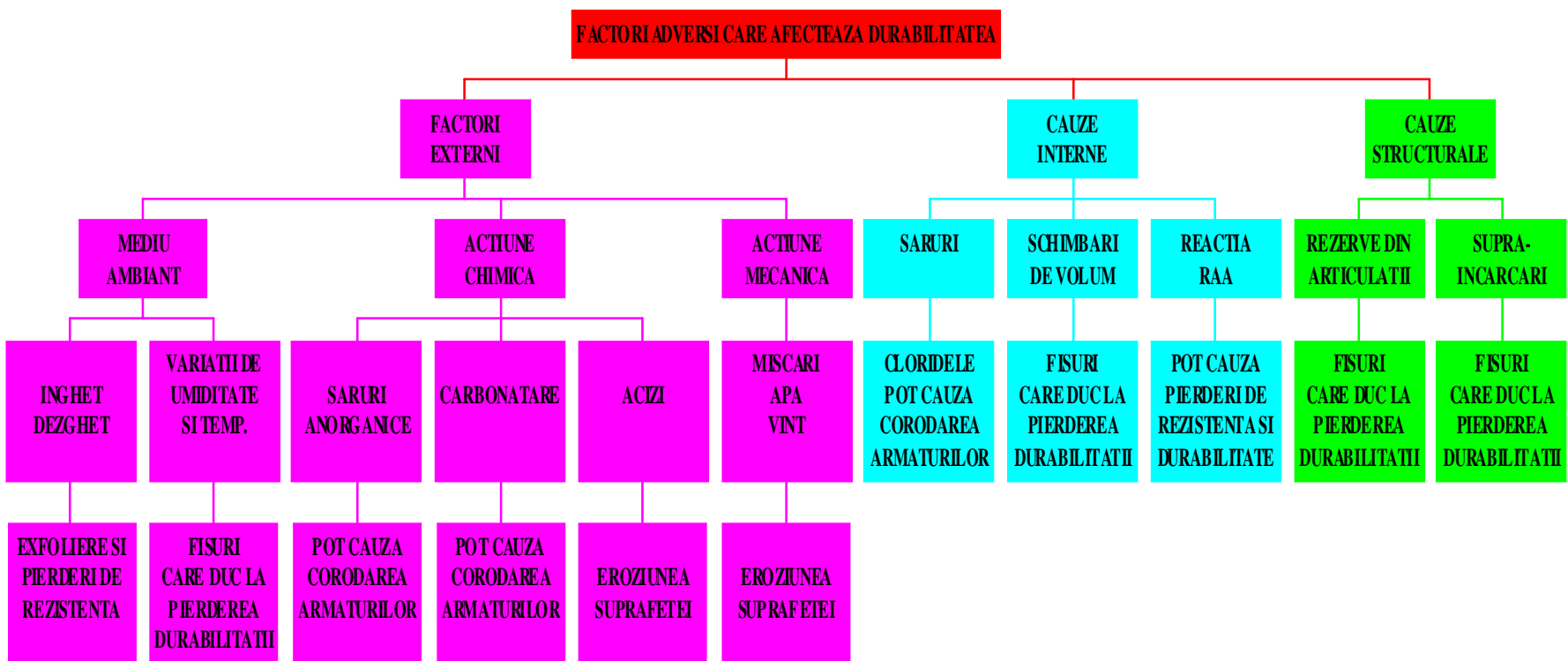


Figura 1.7. Factori adversi care afectează durabilitatea.

Categoria 4: factori care pot fi subdivizați în două grupe adiționale, adică aceia care afectează direct macrostructura betonului (de exemplu: atacul înghețului-dezghețului), și aceia care afectează betonul ca făcând parte din structura de beton (de exemplu: deformațiile datorate temperaturii, încovoierii și umidității).

Ațiunea primilor factori poate fi prevenită prin folosirea aditivilor antrenori de aer, în timp ce pericolul apariției ultimilor factori poate fi evitată printr-o proiectare și realizare a detaliilor de construcție foarte atentă.

O problemă specifică de durabilitate, care apare în mod curent, este coroziunea armăturilor datorată atacului clorurilor [1.11]. În ultimul timp s-au folosit tot mai mult săruri pentru înlăturarea gheții de pe șosele. Aceasta, împreună cu o construire și întreținere neadecvate au condus la degradări, datorate clorurilor, ale structurii podurilor din Anglia și Țara Galilor [1.12] a căror reparare costă extrem de mult. S-a observat, de asemenea, că structurile de beton localizate în pământuri cu ape subterane saline se deteriorează rapid [1.13].

În zonele cu clima caldă coroziunea armăturilor indusă de carbonatare a fost studiată timp de 5 ani de la terminarea construcției structurilor [1.14].

Mather [1.15] a pus în discuție problema interacțiunii diferitelor schimbări ale caracteristicilor de expunere la condiții de mediu înconjurător care se poate să nu fie sesizabile specialistului. El a ilustrat aceasta descriind distrugerile provocate de reacții importante între alcalii din ciment și agregate ce au avut loc în interiorul unei clădiri. Problema a fost studiată în timpul schimbărilor în modul de curățire al clădirii, uscat sau umed. Acest exemplu subliniază posibilele probleme cu care va avea de-a face inginerul când într-o construcție vor apărea schimbări ale modului de utilizare, și în special, ale condițiilor de expunere interne sau externe.

1.4. Posibilități de control a durabilității construcțiilor

1.4.1. Aprecieri prin studii teoretice

Acestea s-au cristalizat de-a lungul timpului, în activitatea de cercetare a specialiștilor, având la bază o multitudine de experimente științifice care urmăresc descrierea și previziunea cât mai exactă a fenomenelor reale care afectează durabilitatea materialelor de construcții și a construcțiilor în general.

Metalele se distrug în timp, în principal, datorită fenomenului de coroziune, deci este interesant de cunoscut viteza de coroziune a metalelor. Aceasta este în funcție de modul de creștere a peliculei rezultate în urma coroziunii, care depinde de natura metalului. Astfel, dacă această peliculă este poroasă și agentul corosiv poate pătrunde, atunci coroziunea continuă liniar în funcție de timp (Figura 1.8, curba a) [1.2].

În cazul în care pelicula de produse de reacție este compactă iar agentul agresiv nu poate difuza prin ea, atunci procesul de coroziune este foarte lent sau chiar se oprește, așa cum este ilustrat în Figura 1.8 curba b și respectiv curba c; în ambele situații volumul produselor de oxidare este mai mare decât volumul metalului de origine. Continuarea proceselor de coroziune, în aceste cazuri, este cauzată de desprinderea peliculei compacte formate. Curbele din Figura 1.8 pot fi descrise prin legi analitice de variație în timp a coroziunii.

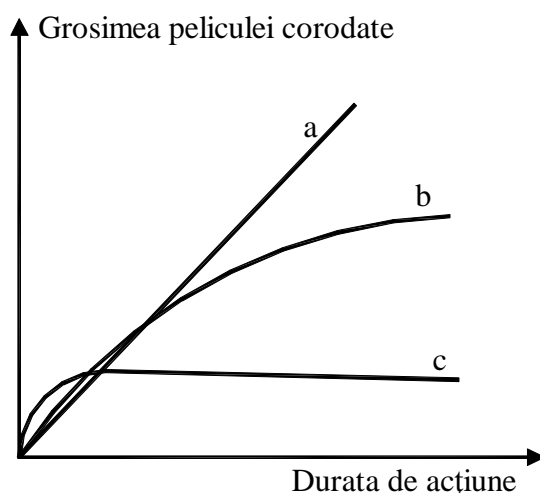


Figura 1.8. Corelația dintre grosimea peliculei corodate și durata de acțiune a agentului agresiv.

Din cele prezentate în Figura 1.8 se constată că în timp ce la elementele de aluminiu primul strat de oxid format se transformă în strat protector, la construcțiile de oțel (partea preponderentă este Fe) procesul de coroziune este continuu, întrucât pe măsură ce se formează rugina, aceasta se desprinde și cade, rămânând astfel suprafețe expuse.

Mecanismele deteriorării **betonului armat** sunt: coroziunea betonului, coroziunea armăturilor din beton, gelivitatea betonului, oboseala elementelor din beton, eroziunea suprafeței betonului.

Coroziunea armaturilor din beton, atât în cazul elementelor de beton armat, cât și a celor de beton precomprimat, reprezintă una din cauzele frecvente ale micșorării durabilității acestor elemente. Este bine știut faptul că la o structură corect proiectată și bine executată, problema coroziunii armăturii nu se pune; piatra de ciment, datorită caracterului său alcalin, asigură un grad de protecție ridicat împotriva coroziunii, iar un beton compact, cu grad de impermeabilitate înalt reduce la minimum penetrația oxigenului, ionilor de clor și bioxidului de carbon, factori care produc și accelerează procesul de coroziune, așa cum se poate observa și din Figura 1.9 [1.16]:

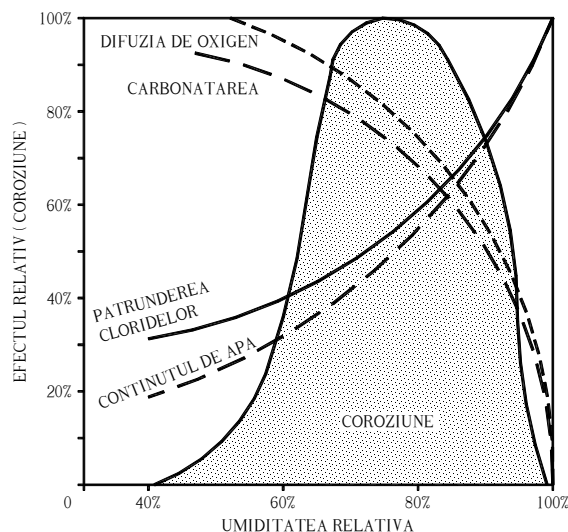


Figura 1.9. Efectul umidității mediului exterior asupra coroziunii armaturilor din beton.

Durata de exploatare a unui element din beton armat sau precomprimat poate fi pusă în evidență prin explicarea procesului de coroziune, care este apreciat a avea doua perioade (vezi Figura 1.10 conform [1.17]):

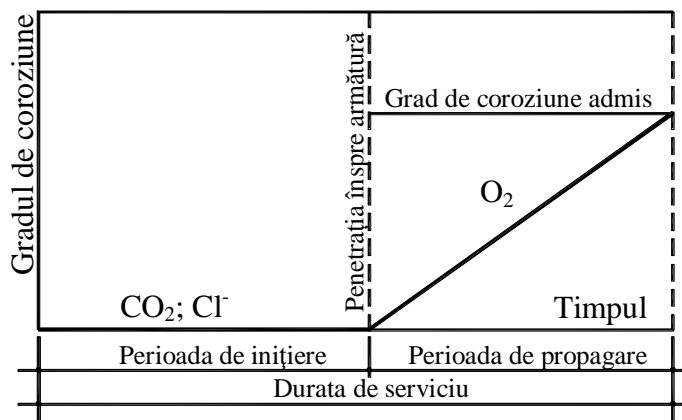


Figura 1.10. Model teoretic privind durata de exploatare a unui element din beton armat [1.17].

- perioada de inițiere ca se datorează prezenței activatorilor procesului de coroziune care sunt ionii de clor (Cl^-) și bioxidul de carbon (CO_2);
- perioada de propagare a coroziunii în barele de oțel, care este pusă în evidență, experimental, prin degajarea de oxigen la catod, temperatură, rezistivitatea betonului, etc.

Durata de exploatare a unei structuri de beton este, în consecință, determinată de perioada de inițiere și de perioada în care procesul de coroziune a metalului (armăturilor) atinge un grad de distrugere care nu afectează siguranța minimă a construcției (vezi Figura 1.10).

Perioada de inițiere poate fi stabilită în funcție de penetrația ionilor de clor și de procesul de carbonatare a betonului, adică funcție de acoperirea cu beton a armăturilor sau adâncimea de carbonatare, concentrația ionilor de clor și difuziunea materialului care la rândul ei depinde și de dozajul de ciment.

Întrucât carbonatarea este factorul care conduce la inițierea coroziunii armăturilor, foarte mulți cercetători au abordat acest subiect, în continuare fiind prezentate câteva studii în această direcție.

Astfel, adâncimea de carbonatare x în mm, poate fi exprimată ca o funcție de timpul t (durata de acțiune), în ani [1.6]:

$$x^2 = a^2 t \quad (1.4)$$

în care: a este un parametru depinzând de: permeabilitatea betonului care este în funcție de raportul (A/C), dozajul de ciment, tipul cimentului, dimensiunea granulelor de agregat, modul de tratare a betonului, umiditate, conținutul de bioxid de carbon din aer.

După studiile lui De Sitter citat în [1.6] parametrul a se calculează cu formula:

$$a = \frac{46\left(\frac{A}{C}\right) - 17,6}{2,7} RK \quad (1.5)$$

în care: **R** este un parametru care introduce influența cimentului și are următoarele valori:

R = 1,0 pentru ciment portland clasa A, **R = 0,6** - portland clasa B, **R = 1,4** pentru ciment portland cu 30 - 40 % zgură de furnal, **R = 2,2** pentru ciment portland cu 60 % zgură.

K - introduce condițiile climatice, având valorile: **K = 0,3** pentru beton umed; **K = 0,5** pentru condiții medii din exterior, **K = 0,7** condiții de protecție în exterior, **K = 1,0** pentru păstrare în interior.

A/C - raportul apă-ciment care nu va depăși valoarea **0,6**.

Se precizează că relația (1.4) este o valoare medie. Adâncimea maximă de carbonatare este, în general cu **5 - 10 mm** mai mare, așa cum se indică în Figura 1.11.

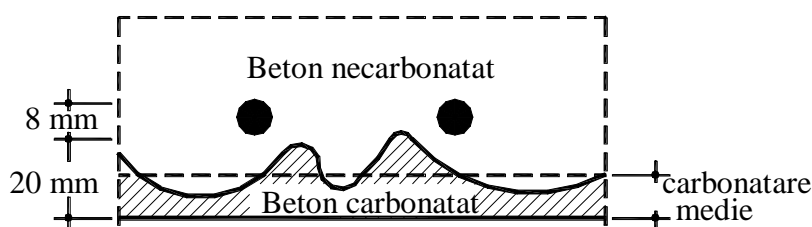


Figura 1.11. Schema mecanismului de carbonatare a betonului.

De asemenea, procesul de carbonatare care se produce în timp este influențat de fenomenul continuu de întărire a betonului, de pori, de fisuri, etc. Pe de altă parte, în aprecierea adâncimii de carbonatare **x**, trebuie luată în considerare influența fluctuației de carbonatare, care se introduce prin notația **D** și are o valoare medie de circa 5 mm. În consecință, relația (1.4), ținând seama și de (1.5), devine:

$$(x - \Delta)^2 = \left(\frac{46\left(\frac{A}{C}\right) - 17,6}{2,7} RK \right)^2 t \quad (1.6)$$

În cazul în care suprafața betonului este acoperită cu un strat protector impermeabil, cum ar fi foliile de policlorură de vinil sau vopsirea cu rășini epoxidice, atunci apare un timp suplimentar Δt , necesar pentru producerea carbonatării, care se exprimă prin relația:

$$\Delta t = \frac{(d - \Delta)s}{180f} \quad (1.7)$$

în care: **s** este grosimea acoperirii cu pelicula protectoare, în mm, **f** - fracțiunea din suprafața neacoperită cu pelicula protectoare, care este apreciată a fi **f = 10⁻⁵**. Este precizat însă, că în timp grosimea peliculei se reduce continuu fapt de care se ține seama, ceea ce conduce la reducerea sensibilă a timpului suplimentar Δt .

După CEB [1.18] adâncimea de carbonatare este definită de relația:

$$x = \sqrt[n]{Kt} \quad (1.8)$$

în care: $n = 2$ pentru mediu uscat (interior); $n > 2$ pentru mediu cu umiditate schimbătoare (exterior);

K - constantă depinzând de porozitatea betonului și puterea liantă;

t - timpul.

La concluzii oarecum asemănătoare privind carbonatarea betonului a ajuns și "Grupul de cercetare privind durabilitatea" din R.P. Chineză (conform [1.19]). Adâncimea de carbonatare x se exprimă în funcție de timpul t prin formula:

$$x = \alpha\sqrt{t} \quad (1.9)$$

în care: α este coeficientul ratei de carbonatare care depinde, în condiții speciale, de raportul apă-ciment, tipul cimentului, calitatea betonului, etc.

Pe baza studiilor și cercetărilor experimentale efectuate, C. Bob propune [1.2] relația (1.10) din Tabelul 1.1 prin care se stabilește corelația dintre adâncimea de carbonatare x , în mm, și durata de expunere t , în ani, a construcțiilor de beton.

Deosebirea calitativă esențială dintre formula (1.10) și relațiile anterioare este aceea că în corelația adâncime de carbonatare - durată de expunere se introduce rezistența betonului la compresiune R_b , în locul altor parametri, cum ar fi: raportul apă-ciment, dozajul de ciment, etc.

Faptul că relația (1.10) introduce mai corect influența calității betonului și chiar a raportului apă-ciment este ilustrat în Figura 1.12 [1.2] unde este dată variația duratei de carbonatare, pentru un strat de acoperire cu beton de $d(x) = 20 \text{ mm}$, în funcție de calitatea betonului, exprimată prin rezistența la compresiune.

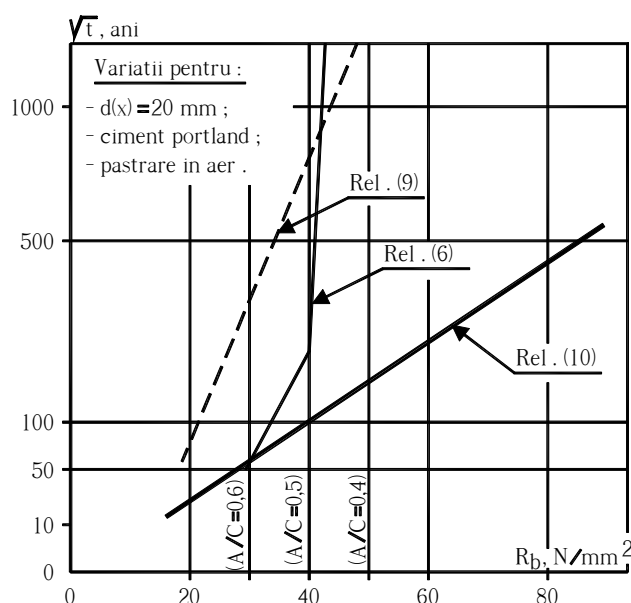


Figura 1.12. Corelația dintre durata de carbonatare și rezistența la compresiune a betonului.

Tabelul 1.1

Model cantitativ al coroziunii armăturilor

PERIOADA INIȚIALĂ

$$\bar{x} = \frac{150ckd\sqrt{t}}{R_b} \quad (1.10)$$

\bar{x} - adâncimea medie de carbonatare sau de penetrare a clorului, [mm];
R_b - rezistența la compresiune a betonului, [N/mm²];
t - durata de acțiune a CO₂ și/sau Cl⁻, [ani].

Valori numerice pentru c, k și d:

Proces de carbonatare					Penetrarea ionilor de clor						
c - tipul cimentului					c - tipul cimentului						
Ciment	I52,5	I42,5	II/A	II/B	III/A	Ciment		I	II/A	II/B	III/A
c	0,8	1,0	1,2	1,4	2,0	c		1,00	0,90	0,75	0,67
k - condiții de mediu					k - condiții de mediu						
Condiții de mediu	Interior	Exterior		Beton umed	Condiții de mediu	Valoarea lui k = k₁ * k₂					
		protejat	medii			Temp. [°C]	0-5	5-15	15-25	25-35	35-45
RH [%]	< 60	70-75	80-85	> 90	k₁	0,67	0,75	1,00	1,25	1,50	
k	1,0	0,7	0,5	0,3	RH	[%]	50	85	100		
					k₂		0,75	1,00	0,75		
d - concentrația de CO ₂					d - concentrația de ioni de clor						
CO ₂	[%]	0,03	0,10	% de concentrație pe supr. față	0 % în						
	[g/m ³]	0,36	1,20		față	20	50	65	85		
d		1,00	2,00	d	2,00	1,00	0,50	0,33	0,16		
Notă: % de concentrație pe suprafață reprezintă concentrația critică de clor (aprox. 0,2 % în greutate față de conținutul de ciment pentru beton carbonatat și 0,4 % pentru beton necarbonatat) din mediile cu clor.											
DURATA PROCESULUI DE COROZIUNE											
Condiții de mediu	Influența asupra vitezei de coroziune										
	Calitativ										Cantitativ v_c [mm/an]
Interior	Nu există coroziune semnificativă dacă umiditatea relativă ≤ 60 %										-
Exterior	Viteza mică de coroziune în atmosfera obișnuită										0,04
	Viteza medie de coroziune în medii industriale										0,1
Agresive	Viteza mare de coroziune în soluții saline										0,20 - 0,30
	Viteza foarte mare de coroziune în soluții saline concentrate										0,60 - 1,80

Ionii de clor, rezultați de la apa de mare sau de la sarea folosită pentru dezgheț, pătrund în interiorul betonului prin porii acestuia; pătrunderea ionilor este un proces de difuzie care are loc prin porii umpluți parțial sau total cu apă. Este de precizat faptul că pentru coroziunea armăturilor din beton au influență numai ionii de clor liberi, existenți în apa din pori. Pe de altă parte, după carbonatarea betonului, clorul legat, existent în apa din pori, influențează de asemenea procesul de coroziune. Adâncimea de penetrare a ionilor de clor se supune unei legi asemănătoare cu cea a bioxidului de carbon (vezi relația 1.4): concentrația ionilor de clor descrește cu adâncimea și crește cu timpul.

Ionii de clor produc asupra armăturilor cunoscutele pete de coroziune (pitting corrosion), întrucât stratul pasiv va fi dislocat pe suprafețe mici; în plus ionii de clor vor acționa ca și catalizator în procesul electrochimic de coroziune a armăturii. Mecanismul complet al coroziunii datorită cloridelor nu este elucidat încă pe deplin.

Corelația dintre conținutul critic al ionilor de clor cu condițiile mediului și calitatea betonului este redată în Figura 1.13 [1.18]:

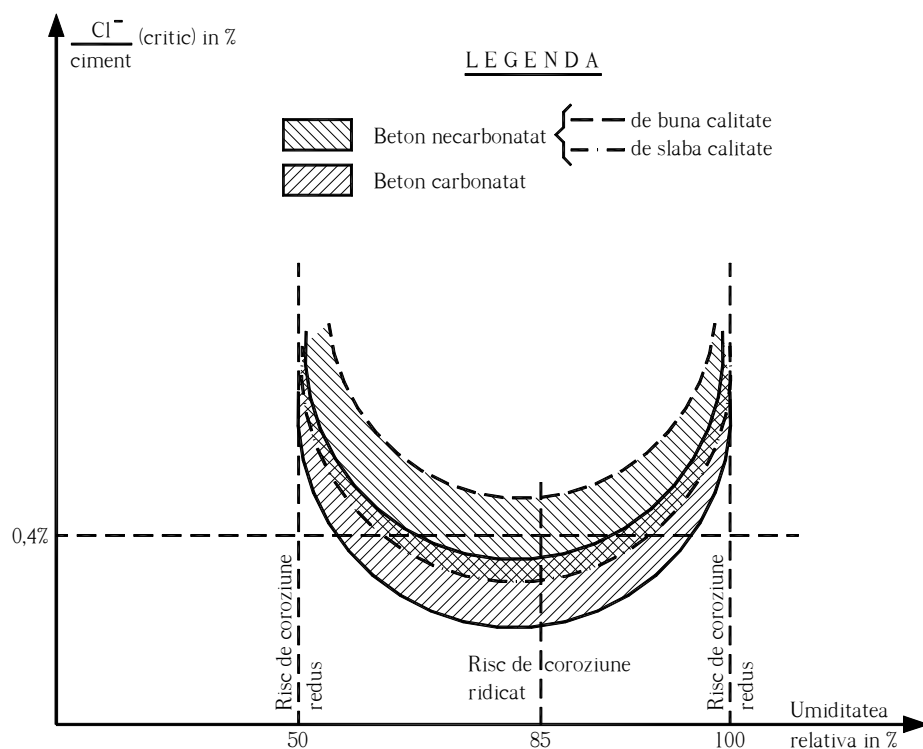


Figura 1.13. Corelația dintre conținutul de clor, condițiile mediului și calitatea betonului [1.18].

Riscul de coroziune cel mai mare se atinge în zona în care umiditatea relativă este variabilă (85 %). La umidități constante de 50 % riscul de coroziune este mai mic întrucât procesul electrochimic este împiedicat, iar la umiditate relativă de 100 % riscul coroziunii este, de asemenea, mic datorită lipsei oxigenului.

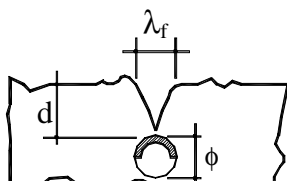
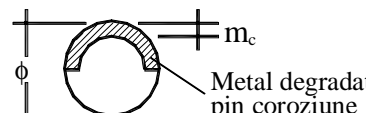
Perioada de propagare a coroziunii în barele de armătură depinde de calitatea betonului, natura armăturilor și condițiile de mediu ambiant. Coroziunea armăturilor din beton este însoțită de o sporire a volumului acestora, ceea ce conduce la apariția unor fisuri paralele cu barele de oțel; se poate produce și o desprindere a stratului de beton de acoperire datorită

creșterii volumului armăturilor corodate. Prin observarea fisurilor cauzate de coroziune (aceiași tip de fisuri pot fi cauzate și de contracție, variație de temperatură etc.) se poate stabili gradul de coroziune admis pentru o exploatare normală. Pe baza unor date experimentale s-a stabilit că la o deschidere a fisurilor din coroziune de circa 0,1 mm **se atinge limita maximă a procesului de distrugere a armăturilor**; în Tabelul 1.2 sunt date aceste valori experimentale [1.17]:

Tabelul 1.2

Efectele cantitative ale coroziunii armăturilor [1.17]

Rezultate ale coroziunii	ϕ [mm]	λ_f [mm]	m_c [mm]
Caracteristici ale betonului			
$A/C = 0,9$ $d = 10$ mm	5 11	0,10 ... 0,15 0,10 ... 0,20	0,25 0,19
$A/C = 0,9$ $d = 30$ mm	5 11	0,05 0,05 ... 0,10	0,48 0,23
$A/C = 0,5$ $d = 10$ mm	5 11	0,05 ... 0,20 0,05 ... 0,25	0,16 0,11

Siemes ș.a. [1.6] apreciază că pentru producerea fenomenului de coroziune, adică până când aceasta devine vizibilă prin desprinderea stratului de acoperire, la timpul de carbonatare calculat cu relația (1.6) (eventual se ține și de (1.7), se mai adaugă timpul necesar ca vârfurile de carbonatare (vezi Figura 1.11) să atingă și să înconjoare armăturile. Acest timp suplimentar în ani se calculează cu relația:

$$t_1 = \frac{0,08d}{\phi v_c} [\text{ani}] \quad (1.11)$$

în care: d - este acoperirea cu beton, în mm; ϕ - diametrul barelor, în mm, v_c - viteza de coroziune, în mm/an (autorii dau ca limite ale vitezei **0,015 ... 0,09 mm/an**, adică valori mai mici decât cele citate mai sus); **0,08** este un coeficient cu dimensiune de mm, pentru ca relația să corespundă din punct de vedere dimensional.

Viteza medie de coroziune a armăturilor din beton este analizată și de Müller [1.20] care prezintă mai multe cazuri de elemente și medii atmosferice. Astfel, în condiții de funcționare a elementelor de beton armat în interior viteza de coroziune este neglijabilă sau chiar nulă. Pentru cazul în care construcțiile de beton armat neprotejate se găsesc în exterior, chiar în medii industriale, viteza de coroziune variază între **0,01 și 0,16 mm/an** cu medii de circa **0,05 mm/an** în condiții obișnuite și de **0,10 mm/an** în atmosferă industrială. În cazul când acționează ionii de clor din sare, procesul de coroziune este foarte accelerat; la betoane la care se folosește sare pentru dezgheț, viteza de coroziune este de **0,2 ... 0,3 mm/an**, iar dacă soluțiile

apoase cu 3,5 % NaCl acționează timp mai îndelungat (65 de zile pe an), viteza de coroziune a rezultat de **0,6 ... 1,8 mm/an** .

J. Medgyesi ș.a. [1.21] studiază efectul carbonatării asupra procesului de coroziune a armăturilor din beton. Studiile și cercetările efectuate au condus la stabilirea corelației dintre reducerea medie a diametrului armăturilor în funcție de durata de exploatare, în ani, și grosimea stratului de acoperire cu beton, Figura 1.14:

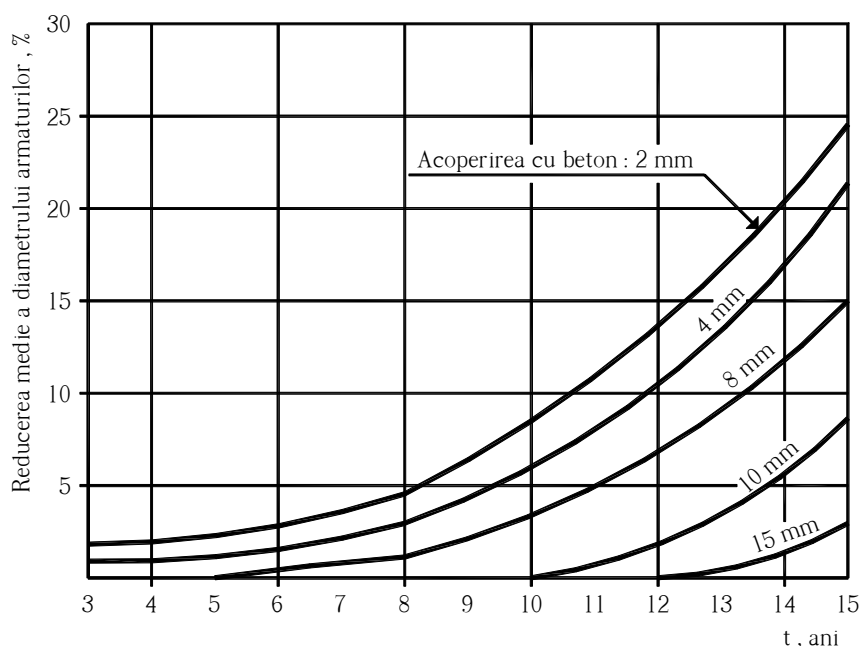


Figura 1.14. Corelația dintre reducerea medie a diametrului armăturilor și durata de exploatare [1.21].

Se subliniază că la o degradare a armăturilor pe o adâncime de **0,15 mm** se produce fisurarea unui strat de acoperire de **15 mm** .

M. Adam [1.24] studiază influența dimensiunii maxime a agregatului asupra grosimii stratului de acoperire cu beton în scopul asigurării unei durabilități corespunzătoare. Astfel, conform investigațiilor efectuate, se constată că prescripțiile tehnice sunt necorespunzătoare în privința grosimii stratului de acoperire (grosimea stratului mai mare decât diametrul maxim) putând să conducă la riscul corodării armăturii. În consecință, pentru obținerea unui beton omogen în stratul de acoperire, se propune ca grosimea acestuia să depășească de **1,8** ori diametrul maxim al agregatului.

Studii asupra durabilității construcțiilor existente a făcut și N. Kashino [1.25] care a constatat următoarele:

- pentru betoane la care raportul apă-ciment a fost de **0,6 - 0,7** , iar stratul de acoperire a depășit **30 mm** , o coroziune perceptibilă a armăturilor nu s-a produs, chiar la o vârstă de peste **50 de ani** ;
- dacă deschiderea fisurilor depășește **0,1 mm** , procesul de coroziune se produce în timp de **2 - 3 ani** ;
- în cazul când la suprafața elementelor de beton există cloruri în proporții egale sau mai mari de **0,1 %** - în greutate (NaCl / nisip), atunci procesul de coroziune se produce în timp de **2 - 3 ani** .

Modul de influență a diferiților factori asupra vitezei de coroziune este prezentat în Figura 1.15, în concordanță cu datele prezentate mai sus după diverși cercetători.

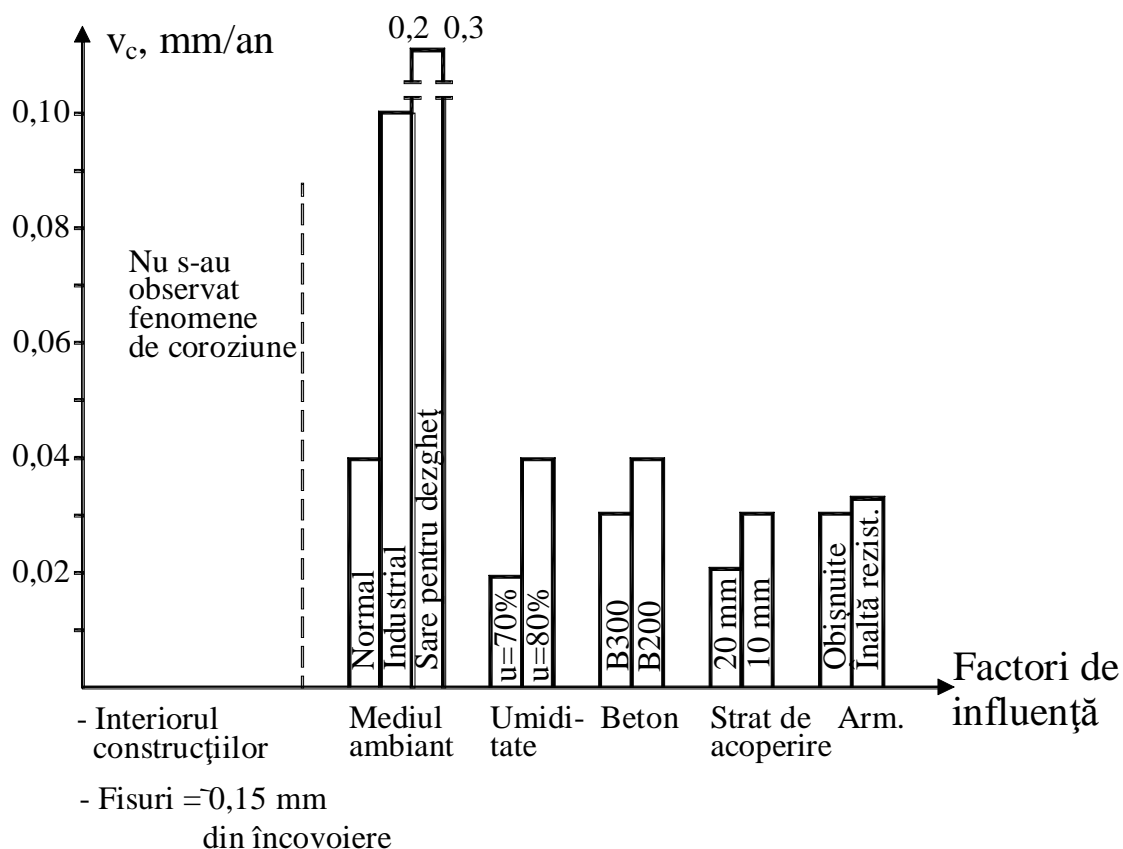


Figura 1.15. Modul de influență a diferiților factori asupra vitezei de coroziune.

Acțiunea altor fenomene care afectează durabilitatea betonului este în funcție de natura și intensitatea fenomenului agresiv, cât și de caracteristicile betonului de a se opune cauzelor distructive.

Coroziunea betonului sau gradul la care a ajuns coroziunea se poate pune în evidență prin criterii cantitative, cum sunt [1.26]: determinarea schimbărilor chimice ale elementului (eprovetei); determinarea modificărilor rezistențelor mecanice; determinarea modificărilor modului de elasticitate; prin măsurarea coeficientului de difuzie; prin metoda de calcul.

Cinetica coroziunii de difuziune în interiorul betonului este pusă în evidență de adâncimea de pătrundere a substanței agresive. Ratinov [1.27] dă următoarea expresie a adâncimii de pătrundere j a substanței agresive, pentru reacții de orice ordin:

$$j = \frac{1}{Z} \sqrt{\frac{d \cdot D'}{K'}} \quad (1.12)$$

în care K' este o constantă de viteză modificată, având legătură cu K - constanta de viteză, prin relația:

$$K = N \cdot Z \cdot \pi \cdot d \cdot K'$$

unde: **N** este numărul de pori (capilare) pe unitatea de suprafață; **d** - diametrul mediu al porilor (capilarelor); **Z** - tortuozitatea, care este un coeficient cuprins între **10** și **40** pentru beton; **D'** - coeficientul de difuziune moleculară.

Se constată că adâncimea de pătrundere a fluidului în beton crește în timp, iar desfășurarea reacției chimice încetinește treptat pe măsură ce substanța agresivă pătrunde în interior.

Rezistența la acțiuni agresive a pietrei de ciment poate fi estimată prin cunoașterea cantitativă a compoziției betonului. Spre exemplu rezistența la sulfatați (coroziunea de tipul III) se poate evalua cunoscând conținutul de C_3A ; acest lucru este posibil când componenții mineralogici ai cimentului sunt corect determinați, atât calitativ cât și cantitativ.

Gelivitatea betonului este una din cauzele care condiționează, în mod hotărâtor, durabilitatea construcțiilor. La noi în țară, ca de altfel și în multe alte țări, comportarea betonului la îngheț-dezghet este apreciată prin încercări accelerate, fiind definit gradul de gelivitate prin numărul de cicluri îngheț-dezghet, până la care epruvetele nu suferă o reducere a rezistenței la compresiune mai mare de 25 %; sunt definite betoane cu grade de gelivitate G50, G100 și G150. În S.U.A., durabilitatea betoanelor la îngheț-dezghet, după ASTM, este apreciată printr-un factor de durabilitate [1.28]:

$$FD = \frac{NC \cdot p}{300} \quad (1.13)$$

în care: **FD** este factorul de durabilitate;

$$p = \frac{E_{din}^{NC}}{E_{din}^o} \cdot 100$$

p - procentul față de modulul de elasticitate dinamic inițial, a cărui valoare nu scade sub 60 %; **NC** - numărul de cicluri îngheț-dezghet, având valoare maximă **NC = 300** sau valori mai mici, la care **p = 60 %** .

În funcție de **FD** betonul se împarte în: beton nesatisfăcător **FD < 40 %** ; beton cu performanțe îndoielnice **FD = 40 ... 60 %** ; beton corespunzător **FD > 60 %** .

Condițiile de încercare accelerată nu reflectă însă, comportarea reală a betonului la îngheț-dezghet: în condiții reale intervine uscarea betonului din timpul verii, în timp ce la încercările de laborator toate bulele de aer sunt saturate cu apă. De asemenea, influențează valorile temperaturilor și viteza de îngheț. Se apreciază că deși condițiile forțate din laborator sunt nereale, capacitatea unui beton de a rezista la un număr foarte mare de cicluri îngheț-dezghet (de exemplu 150 de cicluri în laborator) este o indicație a durabilității în condiții de exploatare [1.28].

Eroziunea datorată acțiunilor mecanice asupra suprafeței betonului poate fi apreciată prin rezistența la uzură a epruvetelor din beton.

În cazul în care eroziunea betonului este produsă de influența mecanică a unor particule solide transportate de apă, uzura **u** este dată de relația (conform [1.6]):

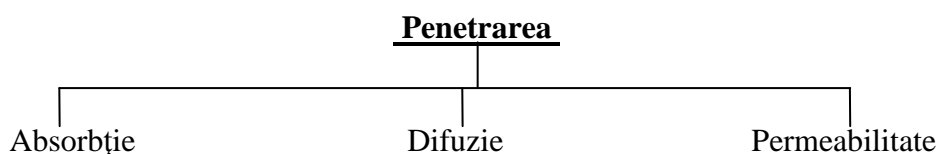
$$u = a t + b t v^k \quad (1.14)$$

în care: **a** este valoarea proporției de particule solide care dau uzura prin frecare; **b** reprezintă efectul particulelor care lovesc suprafața betonului; **v** - viteza apei; **k** - constantă care se determină experimental; **t** - durata de acțiune a procesului de erodare.

1.4.2. Aprecieri prin teste de laborator și in-situ

Cei mai importanți parametri care definesc rezistența betonului la deteriorare sunt caracteristicile de penetrare ale betonului de suprafață și din apropierea suprafeței. Nu numai betonul de acoperire interacționează la factorii de mediu înconjurător ci masa de beton cu calități slabe.

Penetrarea betonului poate fi divizată în 3 fenomene de transport, distincte dar în același timp conexe, a vaporilor de umezeală, ionilor dizolvați, gazelor și soluțiilor apoase.



Absorbția este procesul prin care betonul trage în masa sa lichid, apă obișnuită sau soluții apoase, prin atracție capilară. Viteza de pătrundere a apei este definită prin absorbțivitate (putere de absorbție) sau sorbtivitate (putere de sorbție) și poate fi descrisă prin:

$$\text{Absorbțivitatea} = f [\text{mărimea capilarelor, interconectarea capilarelor, gradientul de umiditate}]$$

Umiditatea poate conține săruri dizolvate, de clor sau sulfati, și gaze dizolvate, oxigen, dioxid de carbon, dioxid de sulf. Transportul ionilor reprezintă adeseori o combinație de absorbție și difuzie. Betonul va tinde, în situații obișnuite, să absoarbă umiditate conținând ioni, pe o adâncime probabilă de 20 - 25 mm, penetrarea ionilor mai departe producându-se prin difuzie.

Absorbția de apă conduce deseori la deformații din umezire și uscare care pot participa la producerea atacului datorat reacțiilor alcali-silice sau înghețului-dezghetului. Absorbția poate fi controlată prin reducerea mărimii și interconectării porilor capilari prin utilizarea unui raport scăzut apă-ciment și a unei bune tratări la punerea în operă a betonului.

Difuziunea este procesul prin care un vapor, gaz sau ion poate străbate betonul sub acțiunea gradientului de concentrație. Difuzivitatea (coeficientul de difuziune) definește viteza de mișcare a agentului de difuziune și poate fi descris astfel:

$$\text{Difuzivitatea} = f [\text{gradientul de concentrație, cantitatea de reacție a agentului de difuziune cu produșii de hidratare, mărimea și interconectarea capilarităților}]$$

Difuziunea este mecanismul prin care se poate produce carbonatarea care de asemenea caracterizează pătrunderea clorului și a altor ioni. Este deci îndeaproape legată de problemele de coroziune ale armăturilor. Difuziunea poate fi controlată într-o manieră similară cu absorbția dar importantă în acest caz este și "capacitatea de legare" a hidraților din beton, în particular față de ioni, cum ar fi cei de clor.

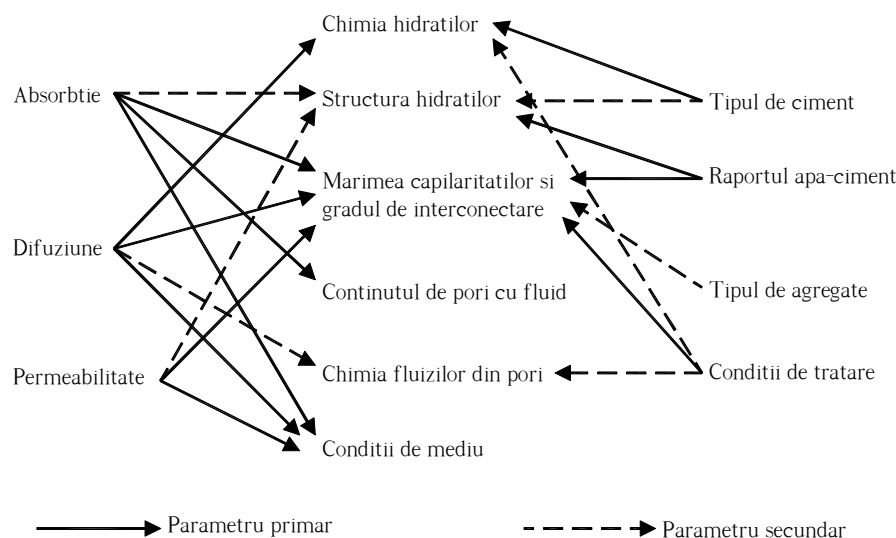
Înlocuitorii cimentului în betoane, cenușa de termocentrală sau zgura granulată de furnal, au un bun efect în apariția zonelor de legare a ionilor de clor și deci de reducere a difuziunii acestora în beton.

Permeabilitatea este definită ca și proprietatea de răspândire în beton, care cantitativ caracterizează ușurința cu care un fluid va trece prin beton, sub acțiunea unei diferențe de presiune. Aceasta contrastează cu absorbția și difuziunea care sunt cauzate de diferența de concentrație. Permeabilitatea poate fi descrisă prin:

$$\text{Permeabilitatea} = f [\text{gradientul de presiune, mărimea și interconectarea capilarităților}]$$

Deci, în sens strict, permeabilitatea este o caracteristică aplicabilă numai situațiilor specifice, cum ar fi barajele sau tunelele unde se pot dezvolta presiuni semnificative. Permeabilitatea se poate controla într-un mod similar cu absorbția.

Procesele de transport, de migrare în beton pot fi deci influențate de un larg număr de parametri ai materialului și mediului înconjurător, spre exemplu [1.10]:



Aceasta demonstrează existența unui extrem de complexă interacțiune între proprietățile materialelor, condițiile de mediu înconjurător în timpul turnării, tratării betonului, calitatea muncii și rezultatele referitoare la caracteristicile de penetrare. Rezultă clar imposibilitatea determinării caracteristicilor de penetrare din parametrii specifici normali ai betonului. Pentru măsurarea directă a caracteristicilor de penetrare în beton s-au dezvoltat teste specifice, conform [1.10]:

- Absorbția
 - Testul de absorbție inițială la suprafață (ISAT) conform standardului britanic BS 1881 [1.29]
 - Testul de absorbție a betonului de acoperire (CAT) conform [1.30]
 - Testul de absorbție a apei conform standardului britanic BS1881
- Difuziunea
 - Carbonatare accelerată conform [1.31]
 - Difuziunea accelerată a clorului conform [1.32]

- Permeabilitatea

Permeabilitatea la apă conform [1.33]

Permeabilitatea la gaz conform [1.34]

Utilizând aceste metode de testare in-situ a betonului este posibilă evaluarea efectelor diferitelor materiale și condiții de expunere asupra betonului de acoperire și, de asemenea, datele obținute pot fi folosite pentru prevederea durabilității betonului, spre exemplu carbonatarea acestuia. Dezvoltarea unor astfel de teste poate permite inginerilor aplicarea controlului calității la durabilitate pentru betonul in-situ într-o manieră asemănătoare celei aplicate pentru rezistențe și specificarea explicită a performanțelor necesare betonului. Este încă necesar un mare efort de cercetare înainte ca aceste metode de testare să poată fi adoptate pe șantier.

Deci în prezent s-a cristalizat posibilitatea de a mări eficiența controlului, din normele de proiectare, asupra carbonatării și coroziunii datorate acesteia pe baza unor măsurători corespunzătoare a performanțelor betoanelor și nu a proporțiilor de amestec. S-au dovedit viabile [1.35] în acest sens câteva teste asupra performanțelor betoanelor (rezistența la 28 de zile, rezistența după tratarea betonului, rezistența de lungă durată în condiții de expunere și pierderea inițială de greutate în condiții de expunere) și pare posibil ca și alte măsurători similare celor amintite anterior, de absorbție, difuziune și permeabilitate, să fie folosibile.

Alte serii de teste care sunt folosite la ora actuală în scopul aprecierii durabilității betonului sunt testele de alcalinitate. Acestea se fac in-situ pe suprafețele de beton sau în laborator, pe epruvete extrase din elementele de beton. Testul de alcalinitate se execută cu indicatori, spre exemplu fenolftaleina, stropiți pe suprafețele de beton. Funcție de modul de colorare a betonului rezultă scăderea alcalinității. Din prezentele studii și teste [1.36] stropirea cu substanțe indicatoare s-a dovedit foarte folositoare în identificarea zonelor de beton cu **pH** mult scăzut datorită pătrunderii puternice a ionilor de clor. Testul prin stropire este o metodă rapidă de determinare a ariilor și a adâncimii de beton de acoperire afectate.

Concentrația conținutului de clor solubil în apă se poate determina pe epruvete extrase din elementele de beton [1.37] prin metoda titrării potențiale diferențiate utilizând un electrod selectiv de ioni de clor, rezultatele fiind exprimate în termenul de conținut procentual de NaCl la greutatea de beton.

În multe probleme de durabilitate este foarte importantă evaluarea deteriorărilor prin coroziunea armăturilor. Aceasta se poate rezolva prin teste directe pe barele de armătură extrase din elementele de beton armat sau prin teste in-situ. La armături se urmărește aria corodată, lungimea corodată, adâncimea de coroziune, pierderea de greutate datorită coroziunii, și legătura dintre fisuri și corodarea armăturilor prin frecvența de apariție a coroziunii în fisurile betonului [1.38]. Testele in-situ pentru determinarea efectelor coroziunii se fac prin măsurării potențialului electric prin metoda "semi-celulei" [1.37].

În scopul asigurării durabilității structurilor din beton se recurge la multe soluții, una dintre acestea fiind folosirea acoperirilor și căptușirilor suprafețelor de beton, soluție detaliată la punctul 1.5.2 al prezentului capitol.

Cunoscând condițiile de mediu înconjurător precum și cerințele care trebuie satisfăcute de materialele folosite pentru realizarea acoperirilor și căptușirilor este necesară evaluarea modului în care acestea vor rezolva problemele de protecție a betonului, fapt care a dus la dezvoltarea unor teste specifice:

- determinarea ratei de difuzie a CO₂ prin acoperiri și căptușiri;
 - infiltrarea CO₂ în beton;
 - transmisia vaporilor de apă;
 - rata (viteza) de transmitere a apei;
 - viteza de absorbție a apei, teste de capilaritate;
 - viteza cu care betonul pe care s-au aplicat straturi de acoperire se usucă după ce absorbit apă;
 - adâncimea de carbonatare prin teste in-situ pentru elemente cu suprafețele protejate.
- a

Pe lângă aceste teste speciale, se execută și o serie de teste mai generale [1.44] dar care sunt strâns legate de necesitatea precizării cât mai exacte a proprietăților de protecție și de comportare în exploatare a acoperirilor:

- determinarea rezistenței la oboseală datorată deschiderii și închiderii fisurilor din beton, determinări efectuate la diferite temperaturi și deschideri ale fisurilor;
- determinarea efortului de aderență la beton pentru diferite condiții de expunere exterioară și efectul conținutului de apă din betonul structural asupra acestuia;
- determinarea rezistenței la factori climaterici: de expunere exterioară (radiații solare, temperatură, umiditate, averse de ploaie) urmărindu-se evoluția rezistenței la întindere și a alungirii; căldură, urmărindu-se aceiași parametri;
- determinarea rezistenței, în condiții normale de presiune și presiuni mărite, la difuzia apei, aer, ioni de clor, vapori de apă a acoperirilor și căptușirilor aplicate pe elementele de beton.

Aceste metode de testare directă în scopul determinării proprietăților betonului și armăturilor, legate de durabilitate și a distrugerilor datorate factorilor de mediu fac parte din programe largi de investigare a construcțiilor susceptibile deteriorării. Investigările complete ale construcțiilor trebuie să ia în considerare istoria structurii și a mediului înconjurător, rezultatele studiilor anterioare, inspectarea vizuală și fotografică a structurii, urmate și suplimentate de teste distructive și nedistructive. Toate elementele de construcție trebuie atent și detaliat inspectate și în special zonele deteriorate, prin măsurători in-situ sau pe epruvete extrase din construcții.

1.5. Măsurile de protecție în scopul asigurării durabilității construcțiilor

Este necesar în prezent ca beneficiarii să-și schimbe modul de a înțelege durata de viață proiectată a construcțiilor. Inginerii devin acum conștienți de implicațiile unei durate de viață proiectată finită. Figura 1.16 ilustrează cerințele tipice privind durata de viață proiectată a diferitelor structuri, conform [1.39]:

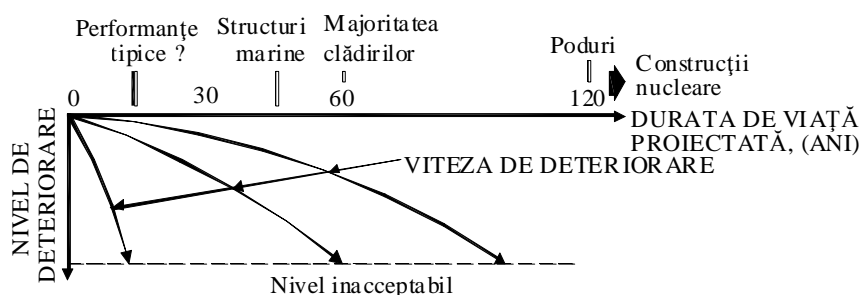


Figura 1.16. Durata de viață proiectată pentru diferite structuri.

Posibilitățile ca betonul să satisfacă aceste durate de viață proiectate sunt diverse. Considerarea acestui concept conduce la modelul operațional și de proiectare care indică calea optimă de a beneficia de cea mai eficientă construcție din punct de vedere economic, așa cum se prezintă în Figura 1.17 [1.10]:

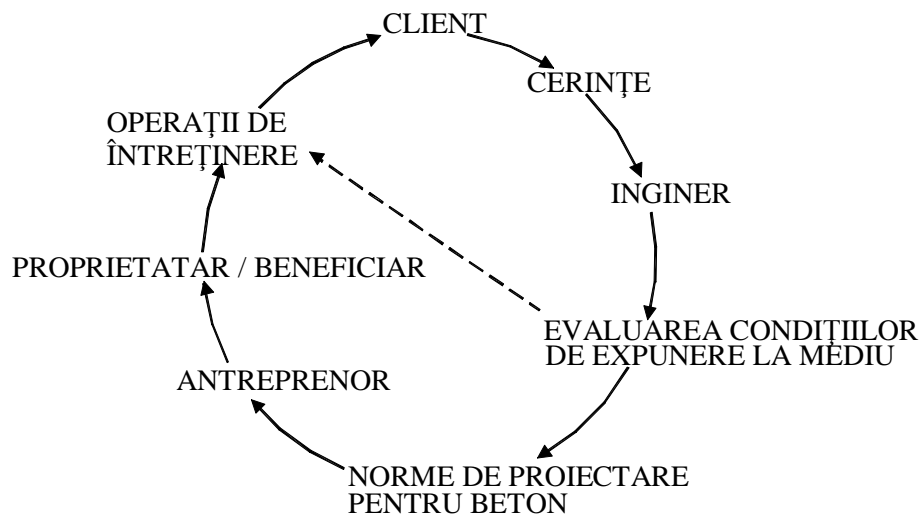


Figura 1.17. Modelul operațional și de proiectare pentru structuri durabile.

Dacă oricare dintre părțile "cercului" lipsește atunci, fie durata de viață proiectată nu se va atinge, fie betonul nu va fi exploatat economic. Pentru ca acest cerc să fie complet este necesar ca beneficiarul să-și definească adecvat cerințele, și asigurarea unui control simplu și sigur al calității privind durabilitatea.

Betonul poate fi produs într-o largă varietate de forme, cu rezistențe ajungând la 150 daN/mm² și densități de la 500 la 4000 kg/m³. Indiferent de betonul folosit, atunci când se are în vedere durabilitatea se poate considera că există, în esență, 5 opțiuni principale de protejare prin realizarea:

- betoanelor obișnuite;
- betoanelor superioare;
- betoanelor căptușite;
- betoanelor cu armături căptușite;
- betoanelor eficiente.

Betonul obișnuit este produs conform normelor uzuale și, probabil, va necesita lucrări de reparație și întreținere periodice pentru restabilirea funcționalității, așa cum se arată în Figura 1.18 (conform [1.39]):

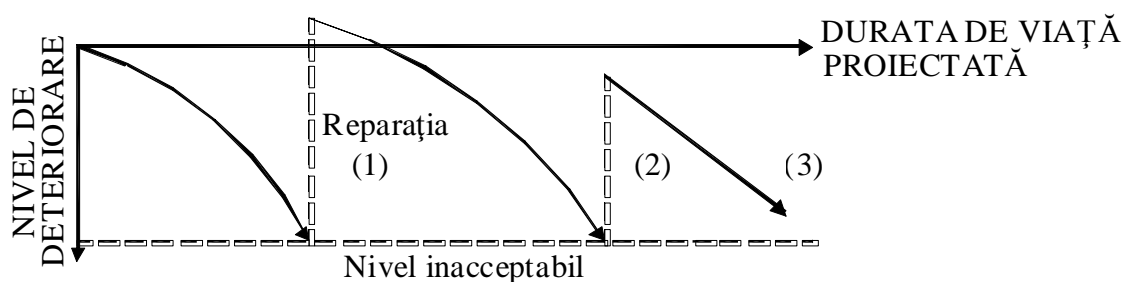


Figura 1.18. Durata de serviciu pentru betoane obișnuite.

Betonul obișnuit este adeseori afectat de practica defectuoasă de pe șantiere și deci este improbabil că va satisface cerințele privind durata de viață proiectată fără măsuri și cheltuieli adiționale.

Betonul superior este produs conform normelor curente, satisface cerințele de durabilitate și într-o măsură excesivă cerințele structurale. Acest beton poate fi obținut prin folosirea unui conținut de ciment ridicat ($> 400 \text{ kg/m}^3$) și a unui raport scăzut apă-ciment ($< 0,4$). Funcție de modul de punere în operă, este probabilă realizarea unor rezistențe la compresiune in-situ mai mari de 50 N/mm^2 . Pot apărea probleme datorită căldurii de hidratare degajate asociată conținutului mare de ciment.

Betonul căptușit este proiectat pentru a satisface cerințele structurale, apoi fiind protejat prin căptușire pentru a furniza durabilitatea adecvată. În ultimii 5 ani sistemele de căptușire penetrante pe bază de silani și siloxani au fost privite pe plan mondial ca una dintre posibilele soluții ale problemei de coroziune a armăturilor. Oricum, există semne de întrebare privitor la longevitatea sistemelor de căptușire, costurile lor și performanțele betoanelor recăptușite. Este de asemenea dificil de apreciat, în cazul structurilor căptușite în întregime, pe ce adâncime apare o rezistență continuă la atacul consecutiv al substanțelor agresive.

Betonul cu armături căptușite este proiectat pentru a satisface cerințele structurale și este utilizat numai în mediile în care este necesară protecția armăturilor împotriva coroziunii. În contrast cu soluția precedentă armăturile sunt căptușite, spre exemplu cu zinc sau rășini epoxidice aderente prin fuziune. Controlul atent care poate fi exercitat pe timpul realizării armăturilor căptușite oferă o încredere mai solidă în performanțele betonului armat. Totuși, astfel de armături sunt scumpe, de aici atenția cu care trebuie mânuite și puse în operă. Orice deteriorare a lor poate să nu fie detectată ceea ce duce la posibilitatea coroziunii locale puternice. Trebuie rezolvate și întrebările referitoare la aderența dintre armături și beton.

Betonul eficient este realizat conform prescripțiilor cele mai moderne, utilizându-se complet potențialul materialelor componente prin îmbunătățirea construcției, calității muncii pe șantier și a practicilor de punere în operă ale betonului. Un astfel de beton nu necesită considerații speciale în afara exploatării complete a potențialului materialelor existente. Astfel, pentru realizarea betonului eficient se vor utiliza aditivii chimici și materialele înlocuitoare a cimentului împreună cu folosirea membranelor de protecție eficiente. Betonul eficient va fi ieftin luând în considerare costul pe întreaga durată de viață a construcției în comparație cu celelalte opțiuni de betoane, iar pentru realizarea lui vor fi necesare doar îmbunătățiri și schimbări nu deosebite ale practicii curente de construcții.

Opțiunile prezentate pentru realizarea unor structuri de beton armat durabile trebuie să aibă în vedere în fazele de proiectare, execuție și apoi întreținere a construcțiilor.

1.5.1. Măsuri de protecție luate prin proiectare

În general normele de proiectare se referă la problemele de durabilitate a structurilor de beton armat prin indicarea acoperirii minime de beton a armăturilor. Astfel standardul românesc STAS 10107/0-90 [1.40] are prevederi în acest sens, precum și normele europene, standardul britanic BS 8110 (conform [1.41]), codurile europene comune de proiectare pentru structuri de beton EUROCODE 2 [1.42].

Grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton a armăturilor se diferențiază pentru structuri de beton armat sau precomprimat, și funcție de clasa de expunere la condiții de mediu înconjurător. În general, aceste condiții sunt clasificate, într-o primă fază, funcție de acțiunea sau nu a sărurilor. În mediile fără acțiunea sărurilor stratul minim de acoperire cu beton a armăturilor crește de la elementele situate în medii protejate de acțiuni agresive la cele supuse umidității mărite, umezirii repetate sau înghețului-dezghețului. De asemenea și în mediile în care acționează sărurile se face o diferențiere funcție de agresivitatea acestora: îngheț-dezgheț, apă de mare, substanțe acide.

Pe lângă descripțiile referitoare la stratul minim de acoperire cu beton al armăturilor apar, în diferite norme (BS 8110, ENV 206 [1.43] care se folosește împreună cu EUROCODE 2), cerințe referitoare la raportul maxim apă-ciment și dozajul minim de ciment pentru diferitele clase de expunere la condiții de mediu a betonului armat sau precomprimat. O astfel de corelație conform standardului britanic BS 8110 este prezentată în Figura 1.19:

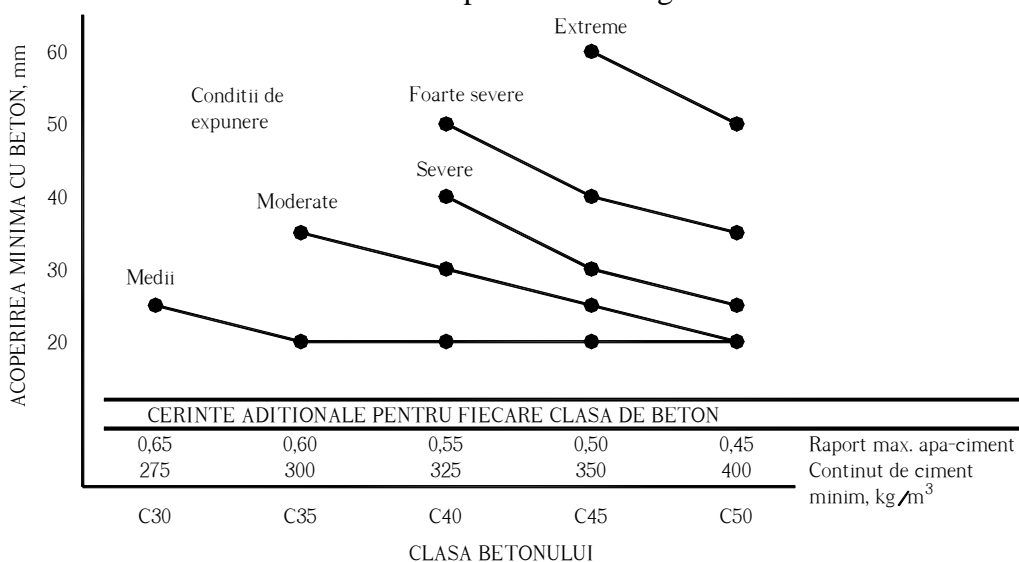


Figura 1.19. Cerințele de durabilitate conform standardului britanic BS 8110.

În același standard sunt de asemenea recomandate o serie de perioade minime de tratare și protejare a betonului după punerea în operă, perioade diferențiate pe tipuri de betoane și condiții ambientale (umiditate, existența sau nu a protecției față de soare și vânt). Perioadele de tratare și protecție a betonului variază până la 10 zile și pot fi asigurate prin:

- 1) menținerea cofrajelor în pozițiile de turnare;
- 2) acoperirea suprafețelor betonului cu folii impermeabile;
- 3) aplicarea unei membrane de protecție;
- 4) aplicarea unui material absorbant de umiditate;
- 5) continua sau frecventa stropire cu apă.

Prescripțiile date de diferitele standarde în vigoare prezintă totuși numeroase limitări și deficiențe în asigurarea durabilității. Astfel standardul european EUROCODE 2 împreună cu ENV 206 nu țin cont foarte exact de problemele ce pot apărea datorită carbonatării și coroziunii armăturilor. În acest scop ele vor fi îmbunătățite în urma cercetărilor, una dintre soluții fiind detalierea mai adâncă a claselor de expunere la condițiile de mediu. Aceleași deficiențe le prezintă și standardul britanic BS 8110 în privința problemelor deosebite de durabilitate din mediile saline. De asemenea, nu este cuantificată eficiența metodelor de tratare și protecție a betonului după punerea sa în operă.

1.5.2. Măsuri de protecție luate prin execuție

Există în prezent, așa cum s-a mai arătat până acum, un număr mare de opțiuni pentru îmbunătățirea performanțelor de durabilitate, opțiuni care pot fi folosite singure sau în combinații. Adoptarea lor în diferite situații particulare depinde de câțiva factori care includ: ușurința de aplicare, eficiența în relație cu riscul de deteriorare care apare pe durata de viață a construcției, dacă sistemul poate fi aplicat retroactiv și de asemenea costul și ușurința realizării întreținerilor viitoare.

În execuție, soluțiile problemelor de durabilitate sunt multiple. Una dintre soluții o reprezintă realizarea unor structuri de beton armat de înaltă calitate. Principalii factori în acest sens ar fi: stabilirea și realizarea acoperirii optime cu beton a armăturilor; selectarea și dozarea constituenților betoanelor (cimenturile și înlocuitorii acestora, calitatea și porozitatea agregatelor, raportul apă-ciment, aditivii); tehnicile de vibrare pentru furnizarea compactității maxime; sporuri de calitate și rezistență realizate prin folosirea elementelor prefabricate; metode de tratare și protejare a betonului după punerea în operă, pentru optimizarea hidratării cimentului și reducerea contracțiilor, fisurilor și micro-fisurilor datorate uscării; cerințele de răcire a masei betonului pentru prevenirea fisurilor din expansiunea termică.

Utilizarea materialelor înlocuitoare ale cimenturilor, cum sunt cenușa de termocentrală și zgura granulată de furnal și un raport foarte scăzut apă-ciment (**0,35 - 0,40**) duce la obținerea betoanelor cu permeabilitate redusă și rezistente la difuzia ionilor.

O altă soluție o reprezintă acoperirile și căptușirile de protecție a suprafeței betonului, soluție care poate fi aplicată de la început în execuția construcțiilor noi sau în timp pentru realizarea lucrărilor de întreținere la construcțiile existente și remediere a construcțiilor deteriorate datorită posibilelor probleme de durabilitate. O largă gamă de tipuri de căptușiri sunt disponibile la ora actuală pentru a furniza protecție împotriva pătrunderii clorurilor și sulfatilor, carbonatarea acidă și alte atacuri chimice agresive, îngheț-dezghet și abraziune.

Pentru selectarea căptușirilor potrivite diferitelor scopuri trebuie luați în considerare o multitudine de factori:

- locul de aplicare: în interiorul sau exteriorul structurii, prefabricat sau in-situ
- rezistențe chimice: la săruri (stropire cu apă sărată, cicluri umezire-uscare cu apă sărată, imersiunea în apă de mare), la acizi;
- rezistența la difuzia: apei, aerului (oxigen, dioxid de carbon), ionilor de clor, vaporilor de apă, aerului sub presiune;
- rezistența la factorii climaterici: expunere exterioară (lumină ultravioletă, ozon, temperatură, umiditate variabilă), rezistența la căldură, rezistența la permeabilitatea apei;
- rezistența la forțele de expansiune date de: îngheț-dezghet, reacția alcali-silice;
- rezistența la impact;
- rezistența la eroziune (abraziune);
- cerințe legate de faptul că structurile de beton, aproape în majoritate, lucrează în exploatare în stare fisurată: capacitate de acoperire a fisurilor; rezistență și comportare elastică adecvată la oboseală (pentru a rezista la închiderea-deschiderea fisurilor), capacitate de deformare (trebuie determinată curba caracteristică efort-deformație), adeziunea la suprafață (continuitatea stratului de substanță), compatibilitatea termică cu betonul;
- inflamabilitatea și emisia de fum toxic la ardere;
- pregătirea suprafeței de beton și cerințele în aplicare;
- cerințe economice: ușurința de aplicare, durata de viață lungă, aspect plăcut, costuri de realizare și întreținere.

Eficacitatea acoperirilor și căptușirilor în protecția elementelor din beton este scoasă în evidență comparativ prin acțiunea mediilor marine asupra epruvetelor neprotejate și protejate conform [1.45]:

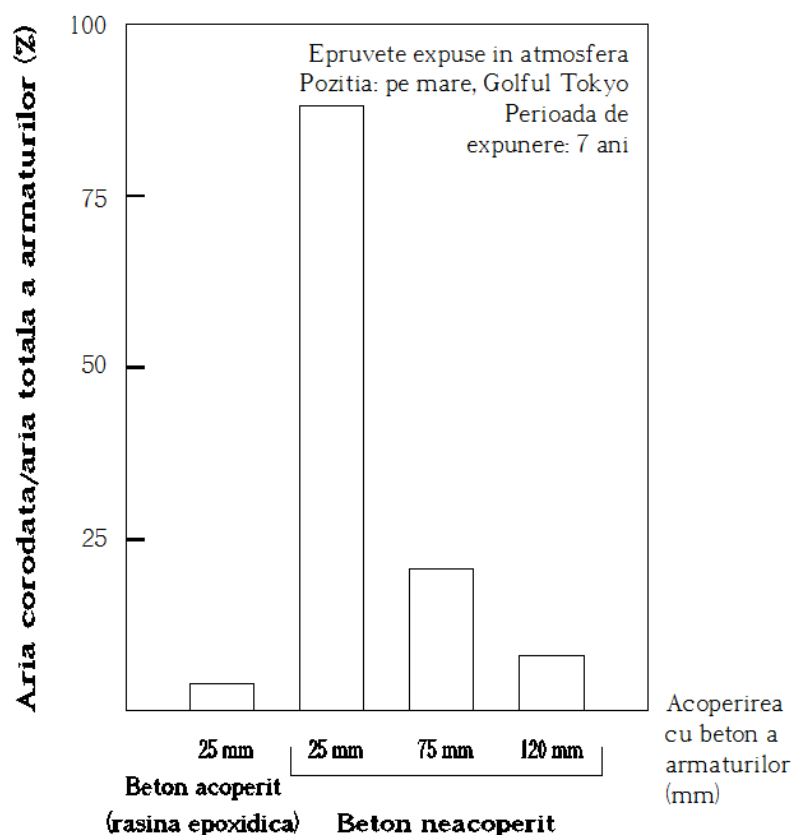


Figura 1.20. Eficacitatea acoperirilor betonului armat.

Tipurile generice indicate aplicării structurilor de beton armat pot fi sintetizate astfel:

a) Căptușiri de suprafață.

Acestea sunt fluide vâscoase care formează un film de substanță pe suprafața betonului și asigură protecția prin calitățile filmului. Adeseori sunt extinse sau umplute pentru obținerea unor grosimi aplicate mai mari.

Exemplele includ: rășinile epoxidice, poliuretanică, vinilice și acrilice; bitumuri.

Selectarea unui tip particular depinde de protecția furnizată, aplicabilitatea, și caracteristicile de inflamabilitate.

b) Acoperiri.

Sunt fluide vâscoase care penetrează betonul și formează un film subțire pe suprafața betonului. Uneori sunt utilizate ca și strat primar pentru căptușiri.

Exemplele includ: rășinile epoxidice, poliuretanică și acrilice.

Nu furnizează protecție la atacul chimic agresiv.

c) Substanțe penetrante.

Sunt fluide de o vâscozitate redusă care penetrează câțiva milimetri în beton. Ele reacționează cu substratul închizând porii din beton. Aceste materiale hidrofobe lucrează prin respingerea apei și împiedicarea accesului diferitelor soluții (de exemplu: ioni de clor și dioxid de carbon) în substrat. Nu sunt potrivite folosirii în condiții de saturare sau pentru protecție împotriva atacului chimic.

Exemplele includ: silani, siloxani și substanțe siliconice.

Așa cum s-a putut remarca materialele pe bază de polimeri sunt foarte utilizate în realizarea acoperirilor și căptușirilor. Polimerii, care pot fi de multe tipuri, au rolul de liant al diverselor materiale folosite pentru protecție, furnizând majoritatea proprietăților sistemului de protecție inclusiv rezistența la carbonatare și, în unele cazuri, flexibilitatea. În realizarea straturilor de acoperire sau căptușire se mai folosesc pigmentii pentru culoare și filer pentru obținerea grosimii și structurii suprafeței. Agentul purtător al polimerilor poate fi apa sau un solvent, încorporate în sistem pentru reducerea vâscozității și îmbunătățirea aplicării pe suprafața betonului. În general solvenții au un efect sporit în reducerea vâscozității, împiedicarea spălării premature, uscare rapidă și fac posibilă aplicarea la temperaturi reduse a sistemului de acoperire [1.45].

Dintre polimeri, cei epoxidici - EP sunt foarte utilizați în ciuda prețului relativ ridicat. Acoperirile cu polimeri epoxidici se pot prezenta sub forma emulsiilor, soluțiilor sau fără solvent și sunt în majoritatea cazurilor compuse din 2 substanțe de bază, rășinile lichide și agenții de întărire. Soluțiile de rășini epoxidice au, în general, vâscozitatea mai redusă decât sistemele fără solvent, deci vor avea un efect penetrant mărit în beton față de sistemele care folosesc apa. Rășinile epoxidice prezintă o excelentă aderență la beton, contracție scăzută și durabilitate ridicată la apă, acizi și baze. Dezavantajul major este tendința de carbonatare când sunt supuse la acțiunea razelor ultraviolete în mediu exterior, dezavantaj care poate fi redus prin îmbunătățirea tehnologiei. Rășinile epoxidice, în general, nu sunt așa flexibile ca și poliuretani [1.45]. Polimerii epoxidici pot fi utilizați ca strat de aderență pentru alte acoperiri, ca film de protecție al suprafeței, sau ca liant pentru mortare de protecție. Pentru preparare este necesar a avea cantități bine precizate, o bună amestecare a componentilor și o pregătire îngrijită a suprafeței de beton. Întărirea se produce gradual într-o perioadă mai lungă de timp.

O altă categorie de polimeri folosiți pentru acoperiri sunt poliesterii - PES care se caracterizează prin polimerizare rapidă în comparație cu EP, fiind indicați pentru acoperirea unor suprafețe mari, așa cum sunt piste de aerodromuri (aceste piste pot fi utilizate la o oră după acoperirea cu PES) [1.46].

Acoperirile cu poliuretani - PU formează filme flexibile anti-carbonatare cu comportare excelentă la radiații ultraviolete, acțiunea solvenților exteriori și o foarte bună aderență la beton. Principalul dezavantaj este susceptibilitatea la distrugerile provocate de îngheț-dezgeț precum și de umiditate [1.45].

Polimerii furanici - FU se utilizează ca lianți la materialele de acoperire, având o bună rezistență la agenți chimici și la abraziune.

Foarte folosite, cu rezultate foarte bune, sunt rășinile acrilice sau metacrilice. Ele sunt deschise la culoare și deci este posibil a se produce sisteme de acoperire nepigmentate. Rășinile acrilice curate, neamestecate, dau un film mai puțin rezistent la carbonatare în comparație cu produsele pigmentate pe bază de rășini metil-metacrilice diluate cu o serie de solvenți care prezintă o excelentă rezistență la carbonatare. Aceste rășini sunt, de asemenea, durabile având durata de viață mai mare de 15 ani și rezistente la radiații ultraviolete [1.45].

Un alt tip de polimeri folosit pentru protecția betonului este clor-cauciucul cu care se execută acoperiri rezistente la umiditate, alcali și carbonatare. Clor-cauciucul prezintă și o anumită flexibilitate dar nu este rezistent la acțiunea radiațiilor ultraviolete [1.45].

Limitarea folosirii acoperirilor pe bază de polimeri provine din lipsa de flexibilitate a filmelor de protecție realizate. Astfel, în zonele unde betonul fisurează filmul de acoperire poate el însuși fisura permițând accesul direct al agenților externi corozivi. Metoda tradițională de mărire a flexibilității constă în adăugarea unui plastifiant extern ceea ce duce, însă, la formarea de murdărie pe suprafața acoperirilor. Aceasta deoarece agentul plastifiant nu este încorporat în structura polimerului și continuă să fie eliminat la suprafața acoperirii chiar după ce sistemul a fost tratat, ceea ce duce la atragerea murdăriei. Soluția la această problemă o reprezintă rășinile acrilice flexibile care încorporează agentul plastifiant în polimerul de bază (plasticizare internă) și care prezintă toate proprietățile rășinilor acrilice convenționale, adică rezistența la carbonatare, stabilitatea la radiații ultraviolete, precum și capacitatea de acoperire a fisurilor cu deschidere (0 - 3) mm, [1.45].

Pentru a face o comparație între multitudinea de polimeri utilizați ca acoperiri și căptușiri se prezintă unele dintre proprietățile, foarte importante, ale acestora: permeabilitatea la apă, Figura 1.21 [1.47], alungirea și rezistența la întindere, Figura 1.22 [1.47].

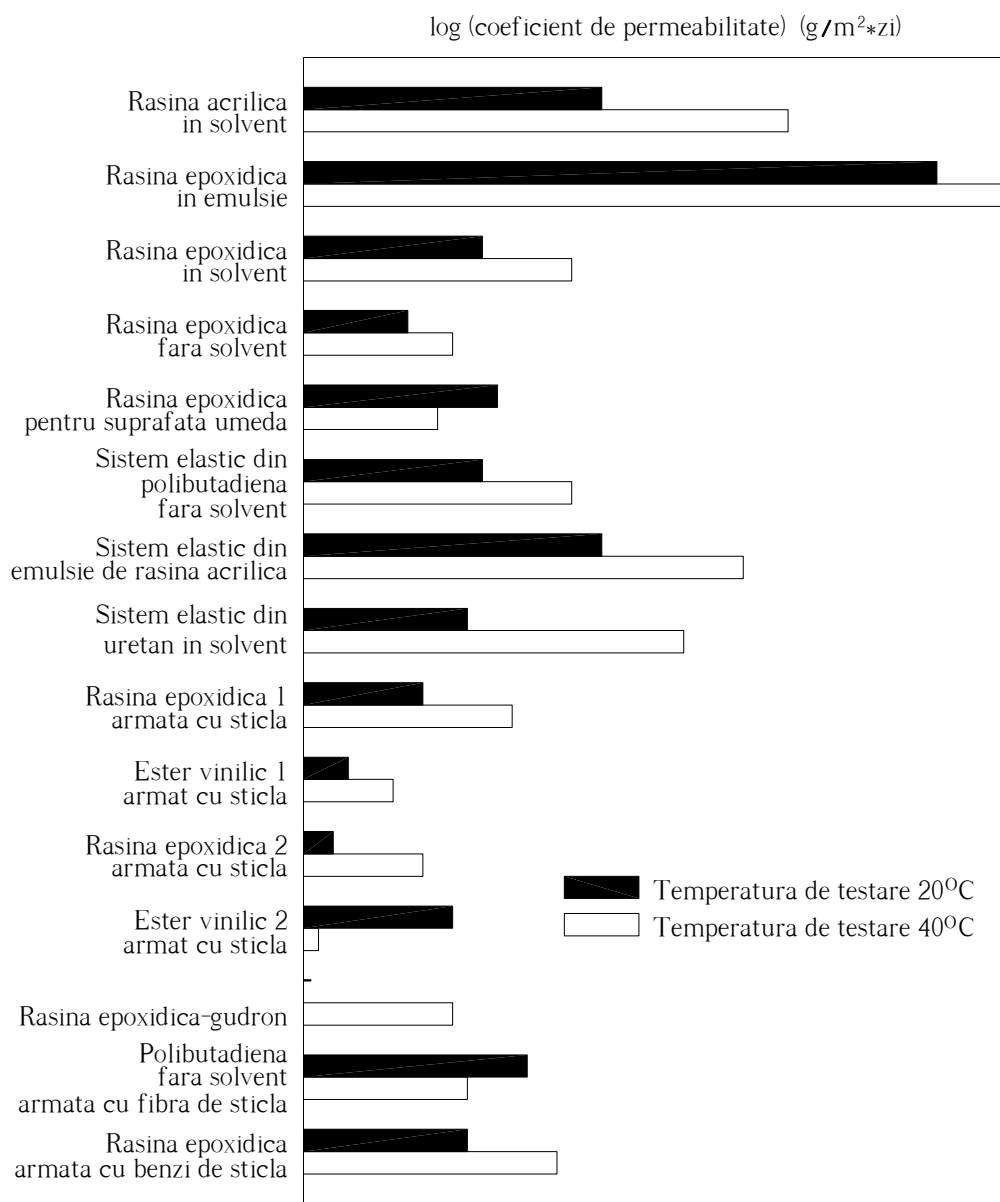


Figura 1.21. Rezultatele testelor asupra permeabilității polimerilor.

După cum se observă din figură, performanțe excelente privind împiedicarea pătrunderii apei, care va conduce la coroziunea armăturilor din beton, sunt caracteristice rășinilor epoxidice (exclusiv rășinile epoxidice în emulsie) și materialelor armate cu sticlă conținând rășini epoxidice sau rășini esterice de vinil.

Proprietățile foarte importante de flexibilitate, cele necesare urmării de către materialele din acoperiri a deschiderii-închiderii fisurilor din beton, apreciate prin alungire și rezistența la întindere, au fost îmbunătățite față de polimerii clasici prin folosirea filmelor groase de mare performanță din cauciuc, a rășinilor de polibutadienă și a rășinilor epoxidice foarte elastice și flexibile care se desprind din Figura 1.22.

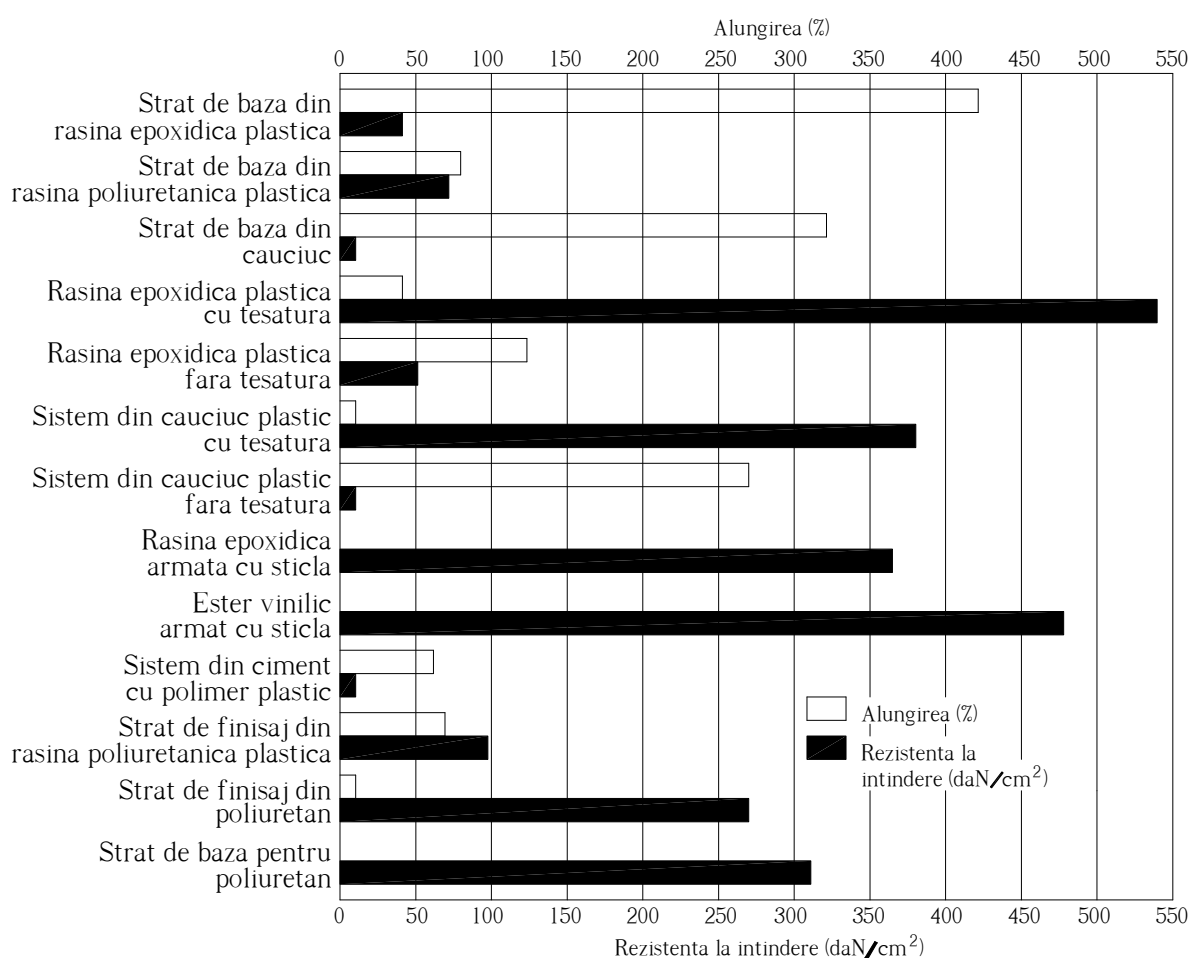


Figura 1.22. Rezultatele testelor asupra proprietăților acoperirilor de urmărire a fisurilor.

Polimerii pot fi folosiți și la impregnarea suprafețelor elementelor de beton, urmată de aplicarea a 2 sau 3 straturi de polimeri ceea ce asigură o foarte bună impermeabilitate și rezistență la îngheț-dezgeț. Pentru realizarea impregnării, polimerul trebuie să aibă o vâscozitate scăzută și să nu conțină solvenți volatili. Folosindu-se polimeri epoxidici EP se pot obține penetrări de până la 10 mm; micșorarea vâscozității se poate realiza prin ridicarea temperaturii polimerului și betonului [1.46].

O altă soluție pentru acoperiri și căptușiri de protecție o reprezintă finisajele pe bază de ciment. Aceste sisteme sunt folosite, în general, pentru aspectul estetic plăcut și uneori furnizează și protecția elementelor din beton. Cele mai utilizate soluții de acest gen sunt materialele cu proprietăți modificate datorită polimerilor, rezultatul fiind un finisaj comparativ mai ieftin, cu o durabilitate rezonabilă combinată cu capacitatea de a adera la suprafețe umede. Probleme apar când se folosesc polimerii foarte ieftini cum ar fi poliacetatul de vinil care nu este suficient de rezistent. Cu aceste materiale, degradarea acoperirilor poate fi extrem de rapidă. Recent s-a dezvoltat utilizarea rășinilor acrilice foarte flexibile care împreună cu cimenturile dau un produs cu un grad de flexibilitate suficient pentru urmărirea deformațiilor și deplasărilor din fisurile fine existente în beton. S-au propus în ultimul timp ca soluții pentru bariere contra clorurilor și dioxidului de carbon, finisaje care conțin "materiale care dezvoltă cristale" care se presupun că migrează în porii substratului de beton și cristalizează blocând acești pori [1.45]. Totuși există rezerve asupra performanțelor acestor materiale.

Pentru o maximă protecție posibilă a structurilor de beton s-au formulat sistemele combinate. Aceste produse au fost dezvoltate inițial în America de Nord. Ele combină excelența rezistență la clor cu excepționale calități anti-carbonatate. Unul dintre sistemele cu cele mai bune rezultate constă într-un strat primar de silani/siloxani acrilici plus o acoperire superioară de rășini acrilice pigmentate. În acest sistem, stratul primar conținând silan/siloxan cu vâscozitate și volatilitate redusă penetrează substratul de beton obținându-se rezistența la săruri solubile în apă. În completare, procentul mic de rășină epoxidică conținut în sistem acționează ca un stabilizator și condiționează porozitatea. Acoperirea superioară este o rășină epoxidică pigmentată, un film format peste suprafața betonului care dă sistemului rezistență la carbonatate. Combinația celor 2 substanțe dă posibilitatea eliminării din structură a vaporilor de apă potențial dăunători. Două straturi de acoperire superioară sunt necesare pentru a minimiza posibilitatea apariției unor orificii, pori care vor reduce semnificativ proprietățile generale ale sistemului [1.45].

Pentru a oferi performanțe maxime și pentru a asigura o estetică îmbunătățită a structurii trebuie să existe o mare varietate de sisteme combinate, în culori variate. Sistemele flexibile sunt necesare în zonele deformabile iar acoperiri texturate sunt cerute pentru a masca imperfecțiunile grosiere ale substratului de beton. Trebuie reținut faptul că sistemele texturate folosite singure nu oferă, în general, o barieră suficientă anti-carbonatate datorită filmului limitat de substanță constituit între imperfecțiunile cu profil ridicat. Deci, dacă este cerută rezistență la carbonatate va trebui aplicat suplimentar un strat superior de acoperire.

Rezolvarea problemelor de durabilitate și în special a celor de coroziune a armăturilor se poate face prin protejarea specială a acestora.

Una dintre soluțiile de protecție o reprezintă armăturile căptușite cu rășini epoxidice, legătura între cele două materiale făcându-se prin fuziune. Aplicarea acestui procedeu este esențial controlat prin operațiile din fabrici specializate. Este necesară decontaminarea armăturilor și curățarea lor. Următorul pas în proces este încălzirea uniformă a barelor la o temperatură în jurul a 230°C. Odată încălzite barele sunt trecute printr-o mașină care realizează acoperirea cu rășină epoxidică, apoi aceasta fiind tratată prin reîncălzire.

Până în prezent principala tehnică pentru aplicarea căptușirilor armăturilor a fost stropirea electrostatică a barelor drepte, urmată de tratarea stratului de protecție și fasonarea barelor la forma dorită.

O alternativă la acest procedeu o reprezintă realizarea căptușirii armăturilor prin scufundarea acestora într-un pat fluid de rășină epoxidică, procedeu mai avantajos deoarece: carcasa complexă de armături prefabricate în orice formă pot fi căptușite; nu mai este necesară fasonarea armăturilor căptușite și se evită astfel potențialele suprafețe deficitare căptușite în zonele îndoiturilor; pot fi asigurate straturi de căptușire mai groase ceea ce va îmbunătăți rezistența chimică și electrică a oțelului. Deci prin această metodă se realizează o căptușire mai groasă și mai durabilă comparativ cu prima metodă.

Folosirea armăturilor protejate prin căptușire va duce la unele reduceri ale aderenței la beton, la creșterea deschiderii fisurilor și mărimii săgeților. Aceste aspecte trebuie luate în considerare la proiectare structurilor și în special la prevederea detaliilor de execuție.

În scopul protejării armăturilor la coroziune datorată pătrunderii ionilor de clor în beton, în medii marine, s-a încercat cu succes folosirea betoanelor de înaltă rezistență [1.38] betoane care prezintă o permeabilitate redusă. Realizarea betonului de înaltă rezistență s-a făcut printr-o metodă obișnuită, prin tehnica presării puternice și vacuumare. Studiile efectuate, în condiții accelerate de coroziune, asupra unor elemente structurale, grinzi și stâlpi, au scos în evidență avantajele soluției propuse: coroziunea, care în general se extinde longitudinal pe suprafața barelor de armătură în beton obișnuit, s-a limitat numai la zona din apropierea fisurilor; penetrarea ionilor de clor în beton depinde în mare măsură de calitatea betonului și deci betoanele de înaltă rezistență reduc acest fenomen.

Ca armătură pentru betoane expuse în medii marine sau puternic corozive se pot folosi un nou tip de bare, realizate din fibre de sticlă înglobate în materiale plastice [1.48]. Aceste armături sunt rezistente la coroziune și au o bună comportare mecanică. Pentru a utiliza complet potențialul de rezistență la întindere a acestor armături, ele trebuie bine înglobate și ancorate în beton. În acest scop normele obișnuite de proiectare nu sunt adecvate, fiind necesare specificații noi care să țină seama de modulul de elasticitate și modul de deformare al fibrelor de sticlă.

În cazul betoanelor armate, susceptibile de a fi afectate pe suprafețe mari prin pătrunderea ionilor de clor, se propune protejarea catodică a acestora, soluție care duce la evitarea reparațiilor la scară largă sau completa înlocuire a unor elemente de construcție. Pentru aplicarea efectivă a procedurii de protecție catodică trebuie asigurate condiții electrolitice uniforme în și împrejurul betonului. Structurile subterane și în special conductele și tunelurile sunt indicate de a fi protejate catodic.

Tipurile de sisteme anodice disponibile în prezent pentru realizarea protecției anodice sunt:

- rețele de oxid metalic de titanu căptușite, dispuse în matricea de ciment;
- fire conductive din polimeri dispuse în matricea de ciment;
- căptușiri conductive;
- căptușiri metalice stropite;
- sisteme de fire distribuite;
- asfalturi conductive.

Alegerea celui mai potrivit sistem anodic pentru o structură anumită va depinde de natura instalațiilor necesare. În prezent există specificații pentru folosirea procedurilor de protecție catodică [1.49].

Prin folosirea unor aditivi speciali la prepararea betoanelor este, de asemenea, posibilă asigurarea unei durabilități superioare.

Astfel de aditivi sunt cei care inhibă coroziunea armăturilor din beton, protecția realizându-se prin dezvoltarea unei reacții de oxidare între ionii de nitrați și oțel rezultând regenerarea sau îngroșarea filmului pasiv. Aceste produse nu sunt indicate la structuri supuse la acțiunea ionilor de clor sau la diferențe de presiuni.

Se folosesc în practica preparării betoanelor și aditivii reducători de permeabilitate, a căror componenți principali sunt emulsiile bituminoase și stearați de amoniu. Acești ultimi componenți reacționează cu hidroxidul de calciu formând stearați de calciu care precipită pe suprafața interioară a vaselor capilare, rezultă o căptușire impermeabilă a suprafeței betonului. Câmpul electric creat de stearați are un efect de respingere a moleculelor de apă în loc ca acestea să fie atrase prin tensiune capilară. Globulele din emulsiile bituminoase rămân în porii capilari blocând pătrunderea apei în masa de beton.

1.5.3. Măsuri de protecție luate prin întreținere

Practica actuală a construcțiilor de beton armat a scos în evidență apariția deteriorărilor la structurile existente și necesitatea remedierii urgente a acestora.

Este recunoscut faptul că durata de serviciu a structurilor este limitată. Problemele de durabilitate au început să apară relativ târziu, din această cauză normele de proiectare nefiind complete în privința prescripțiilor pentru asigurarea atingerii duratei de viață proiectate, fapt scos în evidență la paragraful 1.5.1. De aceea trebuie, ca cei ce au în exploatare construcții, să recurgă la măsuri suplimentare pentru protecția lor, aceasta în urma unei evaluări a condițiilor de expunere la factorii de mediu înconjurător, a eventualelor degradări structurale, după care trebuie efectuată întreținerea, repararea, remedierea acestor construcții.

Calea pentru a se hotărî necesitatea executării reparațiilor, remediilor unei structuri și etapele realizării unor astfel de lucrări sunt prezentate, în cazul unui pod de beton precomprimat, în Figura 1.23 [1.51]. Deteriorarea podului s-a produs datorită condițiilor de expunere în mediu marin și în special datorită acțiunii sărurilor.

Investigarea detaliată a structurii a urmărit:

- evaluarea cantitativă a distrugerilor;
- determinarea adâncimii de neutralizare a betonului și efectul acesteia asupra coroziunii armăturilor;
- scăderea de rezistență a betonului (testul cu sclerometrul Schmidt);
- conținutul de clor din beton și efectul acesteia asupra coroziunii armăturilor;
- coroziunea barelor de armătură;
- grosimea stratului de acoperire cu beton a armăturilor;
- starea da coroziune a cablurilor de precomprimare.

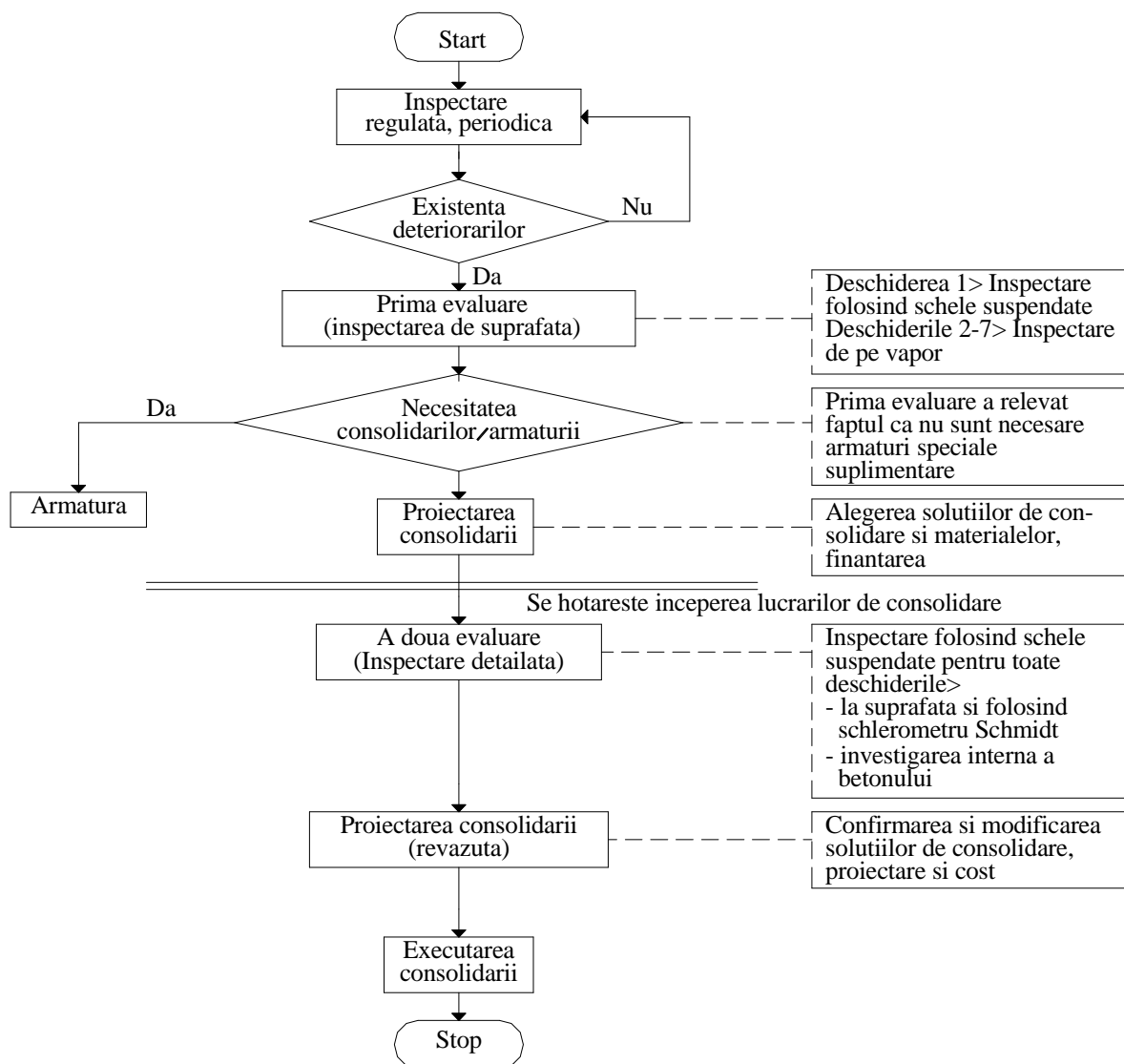


Figura 1.23. Proceduri de reparație

Ca rezultat al investigărilor efectuate s-au adoptat metodele de remediere prezentate în continuare:

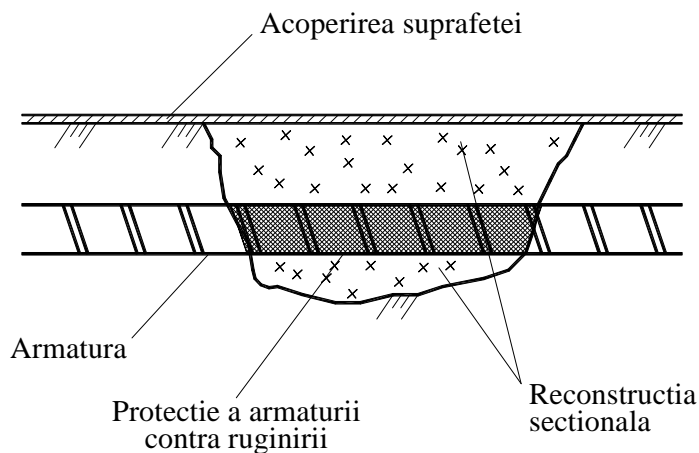


Figura 1.24. Metode de reconstrucție secțională.

a) tratamentul barelor de armătură pentru a preveni ruginirea lor. Pentru aceasta s-a îndepărtat, inițial, betonul din jurul armăturilor din zonele deteriorate. Apoi s-a îndepărtat rugina de pe armături, porțiunile din bare foarte degradate au fost înlocuite și s-au adăugat bare suplimentare în zonele foarte deteriorate. După aceea s-au vopsit cu rășini epoxidice armăturile dezvelite, pentru a împiedica ruginirea viitoare.

b) reconstrucția secțiunilor de beton degradate sau a zonelor unde betonul a fost îndepărtat pentru repararea armăturilor, care s-a făcut cu mortar ușor cu rășini epoxidice și beton, betonarea realizându-se prin introducerea inițială a agregatelor în goluri și injectarea cu pastă de ciment și polimeri.

c) acoperirea suprafeței betonului cu rășini epoxidice astfel:

- după ce s-a verificat că umiditatea betonului și cantitatea de clor depozitată pe suprafața betonului nu depășește anumite valori s-a dispus un prim strat de rășini epoxidice urmat de un chit de rășini epoxidice pentru eliminarea porilor și defectelor din filmul intermediar de rășini următor, prin umplerea golurilor și nivelarea suprafeței de beton;

- s-a dispus un strat intermediar de rășini epoxidice, un film gros, al cărui rol este de a împiedica pătrunderea spre armături a factorilor de coroziune (clor, oxigen, umiditate). Ultimul strat, 2 filme subțiri de rășini poliuretanică, s-a aplicat pentru îmbunătățirea rezistenței la factori climaterici și a durabilității stratului intermediar.

Sinteza acestor procedee de remediere este prezentată în Figura 1.25:

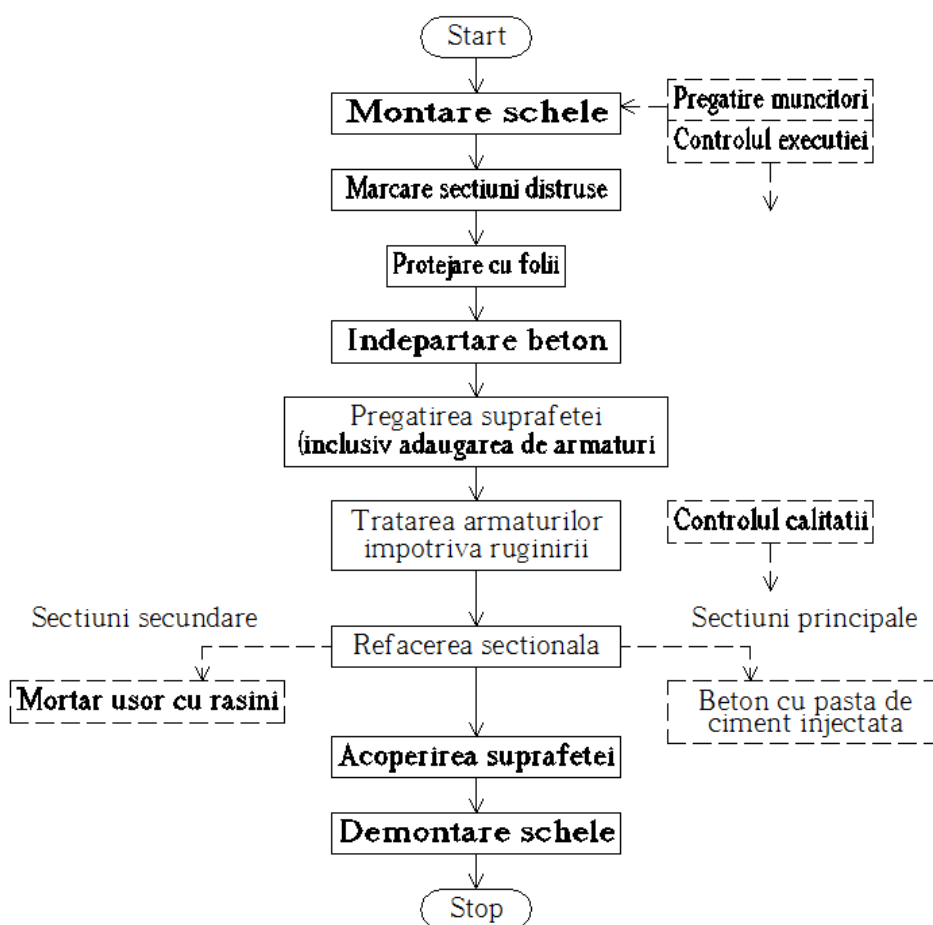


Figura 1.25. Execuție a lucrărilor de reparații.

Măsurile de reparare prezentate în acest exemplu pot fi generalizate pentru structurile de beton degradate.

Așa cum s-a arătat anterior folosirea polimerilor este foarte eficientă în realizarea reparațiilor elementelor de beton. Injectarea cu polimeri a fisurilor sau a altor defecte este posibilă dacă se respectă câteva reguli referitoare la: vâscozitatea polimerilor; modulul de elasticitate a polimerilor; aria ce urmează a fi reparată este perforată, interspațiul dintre perforații fiind funcție de lățimea fisurilor iar adâncimea funcție de grosimea stratului de beton deteriorat; timpul de întărire este condiționat de lungimea porțiunii reparate. Se pot folosi polimeri epoxidici și poliesteri [1.46].

1.6. Concluzii

Experiența recentă din domeniul construcțiilor de beton a scos în evidență existența problemelor de durabilitate fiind recunoscută necesitatea urgentă de rezolvare a acestora. Îmbunătățirile trebuie să ia în considerare complexitatea utilizării betonului și influența practicilor, adesea inadecvate, de proiectare și execuție.

Codurile actuale de proiectare, existente pe plan mondial, asigură durabilitatea prin prescripții referitoare la calitatea materialelor, conținutul de ciment, raportul apă-ciment, rezistența betonului, stratul de acoperire al armăturilor, punerea în operă a betonului (turnare, compactare și tratare, protecție după turnare). În orice caz calitatea finală a betonului in-situ depinde foarte mult de practicile de pe șantiere. O altă dificultate apare în anumite situații chiar dacă prescripțiile de proiectare au fost respectate, durabilitatea nefiind asigurată.

O alternativă la rezolvarea problemelor de protecție a betonului o reprezintă modificarea normelor de proiectare prin includerea unor cerințe mai detaliate de performanță. Un număr considerabil de teste adecvate s-au dezvoltat în scopul evaluării potențialului de durabilitate al betonului, teste care pot fi folosite in-situ. Multe din aceste teste se concentrează asupra acoperirii cu beton care, trebuie să asigure protecția armăturilor, interacționează direct cu mediul înconjurător și care este cea mai vulnerabilă la efectele practicii de pe șantiere și a metodelor de tratare. Schimbarea normelor de proiectare și testare a betonului va cere un efort tehnic și material deosebit.

De asemenea este necesar ca viziunea de durabilitate infinită a construcțiilor de beton să se schimbe, acceptându-se diferite soluții pentru atingerea duratei de viață proiectate sau prelungirea acesteia.

Există în prezent numeroase opțiuni pentru a furniza o protecție adecvată betonului, pornind de la soluțiile adoptate în proiectare la cele din execuție și apoi exploatare, întreținere. Fiecare dintre posibilități poate fi avantajoasă în diferite situații de expunere, de deteriorare a structurilor. Sunt necesare, în continuare, cercetări pentru identificarea soluțiilor cele mai potrivite situațiilor generale și particulare multiple de expunere a betonului.

Trebuie luată în considerare și inadecvata pregătire în tehnologia betonului a personalului care lucrează în construcții. Este necesară pregătirea continuă în scopul cunoașterii problemelor de durabilitate și a metodelor de rezolvare a acestora.