

ZONA LITORALĂ A MĂRII NEGRE – O SOLICITARE SEVERĂ PENTRU CONSTRUCȚIILE SUPRATERANE DIN BETON ARMAT

Irina POPA

Dr. Ing., INCĐ “URBAN-INCERC, Sucursala INCERC București,
Secția „Fizica și Chimia Construcțiilor”, e-mail: irina.popa@incerc2004.ro

Vasilica VASILE

Ing., INCĐ “URBAN-INCERC, Sucursala INCERC București,
Secția „Fizica și Chimia Construcțiilor”, e-mail: vasilica.vasile@incerc2004.ro

Abstract. The paper constitutes a synthetic approach of the main theoretical and practical aspects which are specific for the complex requests of reinforced concrete constructions located in marine environment. With special references about the Romanian Black Sea coast line, are treated some problems concerning: the severe aggressiveness of this type of environment towards reinforced concrete, specific types of corrosive attacks towards construction materials and reinforced concrete elements.

Keywords: marine environment, constructions, reinforced concrete

1. Introducere

Problematika referitoare la urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor amplasate în medii agresive naturale, în particular în mediul marin, și reabilitarea construcțiilor degradate prin coroziune este de mare actualitate și prezintă o importanță deosebită, atât din punct de vedere al protecției fondului construit afectat prin coroziune, cât și al necesității perfecționării continue a concepției, proiectării, execuției și exploatării construcțiilor ce urmează a fi amplasate în asemenea medii agresive.

De asemenea, trebuie remarcat faptul că schimbările climatice semnificative înregistrate pe teritoriul întregii țări în ultimii 10 ani (variații mari de temperatură, variații mari de precipitații, geruri cu temperaturi mult scăzute față de medie, vânturi puternice, furtuni frecvente, activitate solară intensă) au determinat o intensificare a agresivității naturale, a corozivității mediului atmosferic, în general, deci și a mediului atmosferic marin specific zonei de coastă a României.

În acest context, este necesară și utilă creșterea nivelului de mediatizare și implicit de conștientizare a factorilor interesați cu privire la severitatea solicitărilor manifestate de acest mediu natural asupra construcțiilor, pentru o abordare corespunzătoare a problematicii teoretice dar în special a celei practice referitoare la comportarea în timp a construcțiilor supraterane sub acțiunea mediului marin. Utilitatea unor asemenea demersuri îi vizează în special pe deținătorii sau/și utilizatorii unor obiective amplasate în mediul marin românesc, precum și pe potențialii investitori ai unor obiective ce urmează a fi construite și exploatare în acest mediu natural.

Articolul de față își propune emiterea unor semnale de atenționare și de sensibilizare a tuturor factorilor interesați, cu intenția de a crea condiții care să stea la baza unei noi atitudini, constructive și de o reală responsabilitate, față de proiectarea, execuția și urmărirea în exploatare a construcțiilor amplasate pe litoralul românesc.

2. Agresivitatea mediului marin față de construcții. Aspecte generale

În general, fenomenele de coroziune care au loc asupra construcțiilor aflate în medii agresive naturale (marin, alpin) se desfășoară cu o viteză relativ redusă, comparativ cu cazul în care construcțiile se află în medii agresive industriale și din acest motiv, în primul caz, evoluția degradărilor prin coroziune este mai greu de perceput prin examinare vizuală, în lipsa unei preocupări continue de urmărirea comportării în timp a structurii respective.

În prezent, în România, există un bogat fond construit de structuri supraterane din beton armat, oțel și lemn amplasate în mediul marin, clădiri care, din diverse cauze – de proiectare, execuție, absența protecției anticorozive sau aplicarea unei protecții ineficiente, lipsa unui program de urmărirea comportării în exploatare și a unor măsuri minime de întreținere a protecției anticorozive – se află în diferite stadii de degradare prin coroziune, cu sau fără afectarea structurii.

Atmosfera marină este constituită din particule fine de ceață salină transportată de curenții de aer și care se depun, pe suprafețele expuse, sub formă de sare cristalizată sau, în condiții extreme, sub formă de cruste de sare (INCERC București, 2009). În aceste condiții, toate construcțiile supraterane sunt afectate de diferite fenomene de degradare sub

acțiunea mediului marin, dar este de menționat faptul că în timp ce, în cazul anumitor materiale de construcție efectele distructive sunt evidente încă din etapele de început ale degradării (de exemplu finisajele peliculogene, lemnul, oțelul), în cazul betonului/betonului armat, efectele distructive ale mediului marin generate prin fenomenele de coroziune, de multe ori sunt evidente abia în stadii avansate ale atacului.

Având în vedere complexitatea agresivității mediului marin asupra structurilor subterane și supraterane și totodată complexitatea betonului armat ca material de construcție, dat fiind volumul mare al fondului construit alcătuit din structuri supraterane din beton armat, articolul de față prezintă în continuare aspecte caracteristice, definitorii, atât privind agresivitatea mediului marin față de betonul armat, cât și formele specifice de degradare a elementelor de construcție supraterane ale structurilor din beton armat sub acțiunea acestui mediu natural deosebit de agresiv.

2. 1. Factori de agresivitate ai mediului marin față de construcțiile supraterane din beton armat

Pe țărmul românesc al Mării Negre, lung de 244 km, climatul temperat-continental al României, respectiv a județului Constanța, prezintă o puternică influență marină. Prezența apei Mării Negre conduce la realizarea unui climat aparte, climatul marin, care este caracterizat prin veri a căror căldură este atenuată de briza mării și ierni blânde, marcate de vânturi puternice și umede care bat dinspre mare. Valorile temperaturilor medii anuale variază între 10-15 °C. Precipitațiile anuale variază între 400-500 mm, zona cea mai săracă în precipitații fiind litoralul, unde valoarea cantității de precipitații se situează sub 400 mm (<http://www.prefectura-ct.ro/judetul-constanta/prezentare/geografia-judetului-82004.htm>).

Elementele de construcție ale structurilor de beton armat din zona Litoralului Mării Negre sunt supuse agresivității solului marin (terenul din imediata apropiere a țărmului mării care, adeseori, este alcătuit din pământuri permeabile la apă și poate conține săruri în concentrații mai mari decât apa de mare), a apei de mare (cu acțiune asupra betoanelor 'spălate', în contact direct cu apa) și a mediului atmosferic, atmosfera marină acționând asupra betoanelor pe o distanță de aproximativ 5 km de coastă (Nicolescu, 1987).

Agresivitatea mediului marin asupra elementelor de construcție din beton, beton armat se manifestă într-un mod complex, fiind determinată de un număr mare de factori de natură chimică, fizică, biochimică, electrochimică și mecanică. Toți acești factori acționează cu intensități diferite, în funcție de zona costieră în care sunt amplasate obiectivele respective.

Efectul de degradare a elementelor de construcție din beton armat ale structurilor amplasate în mediul marin este o rezultată a acțiunii tuturor acestor factori, rezultată care nu constituie o simplă însumare ci o intercondiționare reciprocă a unor acțiuni concomitente, de cele mai multe ori cu amplificarea efectelor.

Astfel, în urma analizei critice a numeroaselor date și informații existente în literatura de specialitate în acest domeniu, în cele ce urmează sunt prezentate sintetic procesele de degradare a betonului armat sub acțiunea factorilor distructivi de natură chimică, fizică, biochimică și mecanică specifici mediului marin, respectiv:

- a) degradarea betonului din cauza *agresivității chimice a apei de mare* (acțiunea ionilor SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , HCO_3^- ș.a.);
 - b) degradarea betonului prin efectului distructiv al *factorilor fizico-chimici din climatul marin* (aerosolii salini, fenomenele de îngheț/dezghet, cristalizarea și concentrarea sărurilor);
 - c) degradarea betonului armat ca urmare a *coroziunii armăturilor de oțel* (mecanism electrochimic);
 - d) degradarea betonului din cauza *agresivității biochimice a apei de mare* (în funcție de gradul de oxigenare a apei);
 - e) degradarea betonului prin efectului distructiv al *factorilor mecanici specifici mediului marin* (acțiunea valurilor, loviri accidentale) – Teodorescu și Tafan, 1976.
- Pentru a se putea interveni cu măsuri eficiente de prevenire a degradării elementelor de construcție din beton armat exploatate în mediul marin este nu numai utilă dar și necesară cunoașterea, cel puțin ca principiu, a **mecanismelor proceselor de degradare prin coroziune a materialelor de construcție** respective (beton, armătură de oțel) sub acțiunea factorilor agresivi specifici mediului marin:

a) Degradarea betonului din cauza agresivității chimice a apei de mare. Atacul chimic al apei mării asupra betoanelor este datorat conținutului acesteia în săruri. Unele dintre săruri - sulfatii de sodiu și sulfatii de magneziu - reacționează cu produșii din piatra de ciment, iar altele - clorurile de sodiu și clorurile de magneziu - care acționează în principal asupra armăturilor de oțel din betonul armat. Procesele chimice sunt în mare măsură influențate și de prezența bicarbonaților în apa de mare, în diferite proporții.

Conținutul în săruri al apelor mărilor și oceanelor este foarte diferit și dacă se ține seama și de condițiile climatice specifice, se poate afirma că agresivitatea mediului marin variază de la o țară la alta. Apele de mare conțin cantități relativ mari de săruri dizolvate, în proporții diferite (Tabelul 1) și au pH-ul cuprins între 8,0 și 8,3, în funcție de vegetația marină și de prezența viețuitoarelor animale (Nicolescu, 1987).

Tabelul 1. Compoziția medie a sărurilor, conținute în apa de mare

Constituent	NaCl	MgCl ₂	MgSO ₄	CaSO ₄	K ₂ SO ₄	CO ₂
Proportie [%]	75-80	10-11	4-5	3-3, 5	0, 2-2, 5	0, 2-0, 3

Salinitatea apelor mărilor și oceanelor este variabilă având valori de 7g/l în Marea Baltică, 38g/l în Marea Mediterană, 42g/l în Marea Roșie, 35g/l în Marea Nordului și Oceanul Atlantic, iar în Marea Moartă – 313g/l.

Marea Neagră are un conținut relativ redus de săruri, cca. 18g/l, însă în vecinătatea sa se găsește o salbă de lacuri, a căror concentrație în săruri este cu mult mai mare, din care cauză, apele freactice din zonă au o concentrație în săruri superioară salinității apei de mare. Astfel, lacul Sinoe are un conținut în săruri de 26g/l, lacul Nuntași cca. 37g/l, lacul Techirghiol cca. 80g/l, lacul Costinești 26g/l.

Originalitatea Mării Negre constă în lipsa curenților verticali, care ar asigura pătrunderea aerului în adanc. Aceasta explică existența a două straturi de apă: unul din adânc, ceva maisărat (22 %), neaerat, ceea ce conduce la acumularea de gaze toxice (H₂S), fiind lipsit de viețuitoare; altul la suprafață (circa 180 m grosime), alimentat cu ape fluviale, deci mai dulce (doar 17-18‰ salinitate), influențat de factori climatici.

Marea Neagră mai prezintă o particularitate în ceea ce privește concentrația în săruri și anume că aceasta crește de la Nord spre Sud, respectiv de la 2-3 g/l în zona Sfântului Gheorghe-Sulina, datorită aportului de apă dulce al Dunării, la 16-18 g/l în zona Constanța-Vama Veche (Vasilii *et al.*, 1973).

Sub aspect chimic, urmare a compoziției sale ionice complexe, apa de mare exercită asupra betonului acțiuni agresive multiple, prin mecanisme diferite, astfel încât procesele de distrugere a betonului sunt rezultatul mai multor cauze conjugate, respectiv mai multor tipuri de coroziune: sulfatică (în prezența sulfaților), corozivă magneziană (în prezența sărurilor de magneziu), carbonică (în anumite condiții, ca urmare a formării de CO₂ în exces – “CO₂ agresiv”) sau/și agresivității prin dizolvare-levigare (prin îndepărtarea ionilor Ca²⁺, ca urmare a percolării, filtrării, apei prin beton).

Întrucât acțiunea agresivităților naturale asupra construcțiilor din beton armat se încadrează în majoritatea cazurilor în limitele corozivității chimice (respectiv electrochimice, în cazul armăturii de oțel), sunt prezentate în continuare, sintetic, procesele chimice de corodare a betonului și betonului armat sub acțiunea mediului marin - clasificarea generală a acestor procese și mecanismele de a tac.

- *Coroziunea de tipul I* cuprinde procesele de corozivitate în care se produc dizolvări selective și parțiale ale componentelor pietrei de ciment a betonului, concomitent cu transformarea treptată

a acestora într-un amestec de geluri. Dizolvarea și levigarea selectivă se exercită mai ales asupra compușilor de calciu, sub acțiunea apei cu duritate mică (apa moale) sub forma apelor meteorice sau a umidității atmosferice ridicate (peste 75%) dar și sub acțiunea apei cu bioxid de carbon agresiv.

- *Coroziunea de tip II* este provocată de agenții agresivi care în parte acționează ca în cazul corozivității de tipul I, iar în parte formează ei înșiși compuși noi, prin reacții de schimb cu componentele pietrei de ciment, compuși care sunt de obicei ușor solubili și fără proprietăți liante. Exemple tipice de astfel de agenți agresivi sunt, în cazul apei de mare, soluțiile de săruri de magneziu.

- *Coroziunea de tipul III* este provocată de toate soluțiile de sulfați și de soluțiile concentrate de clorură de calciu. Soluțiile de sulfați solubili decalcifică betonul formând sulfat de calciu, care reacționează în stare solidă cu hexahidroaluminatul tricalcic din piatra de ciment întărită, formând o sare complexă, asemănătoare mineralului etringit, cristalizată cu 30 - 33 molecule de apă. Formarea acestei sări complexe, voluminoase, provoacă fisurarea apoi, în faze avansate ale atacului, distrugerea pietrei de ciment, respectiv a betonului, datorită presiunii de cristalizare care este mai mare decât coeziunea proprie a pietrei de ciment, fenomen cunoscut sub numele de “expansiune sulfatică”.

Este de menționat, o observație comună aproape tuturor celor care s-au ocupat de probleme de corozivitate maritimă, anume că adeseori, deteriorarea betonului în apa de mare nu este caracterizată prin expansiunea constatată la corozivitatea în ape sulfatice, ci are mai mult aspectul unei eroziuni sau al unei pierderi de constituenți din masă (****, NE 012-99).

Procesul global de degradare a betoanelor sub acțiunea atacului chimic al apei de mare este compus dintr-un număr mare de reacții separate, dar mai mult sau mai puțin simultane. Acțiunea de levigare îndepărtează Ca(OH)₂ și CaSO₄ · 2H₂O, în timp ce reacția cu MgSO₄ va duce la formarea sulfatului aluminatului tricalcic. Acesta, printr-un caracter mai mult sau mai puțin pronunțat de expansiune, va face betonul mai sensibil la atacul apei de mare. Depunerea de Mg(OH)₂, blocând porii betonului, tinde să reducă atacul în cazul betoanelor compacte, dar rămâne fără efect în cazul betoanelor mai permeabile. Contribuția relativă a expansiunii și levigării la distrugerea betonului depinde de condițiile de expunere și de dimensiunile elementelor de beton. Un beton cu

dimensiuni nu prea mari va prezenta mai mult efecte de levigare, în timp ce structuri, ca de exemplu pereții docurilor, în care apa de mare poate percola, însă în cantitate prea mică pentru a produce un efect considerabil de levigare, vor prezenta mai mult efecte de expansiune. Viteza atacului chimic al apei de mare este mărită considerabil de temperatură.

b) Degradarea betonului prin efectul distructiv al factorilor fizico-chimici din climatul marin.

În condițiile în care, după cum am precizat la începutul articolului, elementele de construcție ale structurilor din beton armat sunt supuse unei agresivități triple sub acțiunea mediului marin, anume a solului marin, a apei de mare și a mediului atmosferic, în cazul elementelor de construcție supraterane, mecanismele de atac chimic al mediului atmosferic asupra betonului sunt aceleași ca și în cazul atacului apei de mare, cu unele particularități. Aceste diferențieri asupra mecanismelor și efectelor sunt date de condițiile de exploatare a structurii, respectiv de poziția relativă a elementului de construcție în raport cu nivelul apei mării, în esență, de factorii de mediu care participă la atac.

Referitor la agresivitatea mediului marin asupra construcțiilor din beton, conform prevederilor NE 012-99 „Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea I: Producerea betonului” (****, NE 012-99), mediul marin constituie clasa 4 de expunere a betonului, penultima din cele 5 clase de expunere, în ordinea crescătoare a agresivității și este structurat pe trei niveluri, corespunzătoare regimului de expunere (normal, moderat și sever), separat pentru agresivitatea apei de mare, respectiv pentru agresivitatea atmosferică.

În funcție de poziția relativă a elementului de construcție în raport cu nivelul apei mării, solicitările mediului marin sunt clasificate după cum urmează:

- Cele mai grele condiții de exploatare le au betoanele aflate în *zona de nivel variabil al apei de mare*, asupra cărora acționează toți factorii cu caracter distructiv din mediul marin. În această zonă are loc o concentrație a sărurilor rezultate din atacul chimic al apei de mare, iar din cauza umezirii și uscării repetate, betonul este supus tensiunilor alternante provenite din măririle de volum, respectiv contracțiile repetate. La acestea se adaugă efectul acțiunii mecanice a valurilor dar mai ales, efectul deosebit de distructiv al fenomenului de îngheț-dezghet repetat, care, combinat cu atacul chimic al apei de mare, are un efect substanțial amplificat.

- Betonul aflat permanent în imersie, în *zona situată sub nivelul mării*, este supus în special atacului chimic și atacului biochimic.

- Betonul aflat în *zona de deasupra nivelului maxim al apei mării* este supus variațiilor de volum ca urmare a schimbărilor de umiditate și temperatură din mediul atmosferic, precum și ca urmare a expunerii la soare, expunere care provoacă evaporarea apei de mare din porii betonului (pătrunsă prin accesiune capilară sau din aerul atmosferic bogat în aerosoli salini) și cristalizarea de săruri concentrate în porii betonului. La distrugerea mai pronunțată a betonului din zonele de deasupra nivelului apei contribuie și acțiunea îngheț-dezghetului repetat, precum și efectul de eroziune sub acțiunea valurilor și a vânturilor puternice.

În conformitate cu SR EN 206-1: 2002 “Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate”, acțiunile datorate mediului înconjurător sunt clasificate în clase de expunere, iar situația în care betonul este supus la un atac semnificativ datorat ciclurilor de îngheț-dezghet, atunci când este puternic saturat cu apă de mare, este încadrată în clasa de expunere XF4, cea mai agresivă din grupa solicitărilor la îngheț-dezghet (****, SR EN 206-1: 2002).

De menționat că, urmare a efectului de îngheț-dezghet asupra stratului suport de mortar sau beton, se constată și degradări ale produselor peliculogene de protecție și finisare respective.

În ceea ce privește efectele expunerii la însoleiere directă a construcțiilor, este cunoscut faptul că în cazul suprafețelor de beton sau beton armat protejate anticoroziv prin sisteme peliculogene, lumina solară, prin radiațiile ei cu diferite lungimi de undă, determină deteriorarea prin îmbătrânire a peliculelor de protecție organice, din cauza reacțiilor fotochimice (Păunel, 2002).

Lumina cu lungimea de undă (λ) scurtă, din domeniul UV, posedă suficientă energie pentru ca să excite și să rupă legăturile chimice și din această cauză degradarea produsă de lumină are o importanță majoră. Având în vedere caracteristicile de absorbție și caracterul legăturilor chimice, λ care produce nivelul maxim de degradări are o valoare specifică pentru fiecare tip de material polimeric peliculogen sau sub altă formă (INCERC București, 2003).

De evidențiat faptul că intensificările activității solare înregistrate în ultimii ani, semnalate în special cu privire la creșterea nocivității asupra pielii omului, se regăsesc într-o anumită măsură și în creșterea agresivității razelor solare asupra materialelor de protecție, în general, peliculogene sau nepeliculogene.

c) Degradarea betonului ca urmare a coroziunii armăturilor din betoanele armate.

Betonul armat este mult mai sensibil la coroziunea produsă de mediul marin decât betonul simplu, deoarece coroziunea armăturii, prin pătrunderea apei de mare sau a umidității atmosferice cu conținut ridicat de ioni de Cl^- are ca rezultat expansiunea stratului de acoperire cu beton a armăturii, fenomen care amorsează ulterior un atac coroziv mai intens, spre interiorul elementului.

Coroziunea propriu-zisă a armăturii de oțel din elementele de beton armat este un proces de natură electrochimică iar concentrarea eforturilor din sarcini statice sau dinamice în elementul de construcție în exploatare are ca urmare accelerarea procesului de coroziune la nivelul armăturii.

Caracteristicile fizico-chimice cele mai importante ale betonului, care determină rezistența la coroziune a armăturilor, sunt pH-ul și compoziția ionică a lichidului din porii betonului, precum și structura acestuia. Structura betonului constituie o barieră împotriva pătrunderii, la nivelul armăturii de oțel, a oxigenului dar și a altor agenți agresivi, unul dintre cei mai importanți fiind ionul de clor.

Pasivitatea oțelului în beton este asigurată de caracterul alcalin al electrolitului din porii pietrei de ciment ($\text{pH} = 12-13$) și este determinată de compoziții de hidratare ai cimentului. Pe măsură ce alcalinitatea electrolitului scade sub valoarea de 9 unități de pH, ca rezultat al pătrunderii unor agenți agresivi din exterior, armătura trece din stare pasivă în stare activă, de coroziune. Odată declanșat atacul la acest nivel, producția de coroziune ai oțelului (rugina), cu un volum de cca. 8 ori mai mare decât cel al oțelului inițial, generează tensiuni interne în betonul de acoperire, producând mai întâi fisurarea apoi expulzarea acestuia (Budán *et al.*, 2010; <http://corrosion-doctors.org/Concrete/Nature.htm>).

Conform SR EN 206-1: 2002, pentru betonul care conține armături sau piese metalice înglobate și care vine în contact cu clorurile din apa de mare sau cu mediul atmosferic marin, care la rândul său vehiculează săruri marine, sunt stabilite trei clase de expunere - XS1, XS2, XS3 - în funcție de mediul înconjurător cu care vine în contact betonul armat, practic de poziția relativă a elementului de construcție în raport cu nivelul apei mării, aspecte precizate la pct. b).

d) Degradarea betonului din cauza agresivității biochimice a apei de mare.

Atacul biochimic al apei mării asupra betoanelor se produce prin acțiunea bacteriilor, algelor, mușchilor, ciupercilor, fie prin substanțele pe care le secretă, fie prin transformările pe care le generează în mediul înconjurător.

Bacteriile aerobe exercită o acțiune de oxidare a substanțelor organice hidrocarbonate, proteice, frecvente în apele reziduale, transformându-le în CO_2 , SO_2 , săruri de Ca, Mg, K, P. Sulfur și SO_2 sunt oxidați de aceste bacterii până la sulfati, care acționează agresiv asupra betonului, iar bacteriile anaerobe reduc sulfatii până la sulf și hidrogen sulfurat.

Algele și mușchii, în urma asimilării clorofilene, elimină CO_2 , iar la putrezire formează acizii humici; agresivitatea lor asupra betonului este deci de natura acidă, ca și în cazul ciupercilor xilofage, acestea creând la nivelul betonului un mediu acid puternic ($\text{pH}=1, 9-2, 8$) – Nicolescu, 1987.

3. Manifestări ale atacurilor prin coroziune asupra construcțiilor supraterane din beton armat

Comparativ cu agresivitatea celorlalte medii naturale specifice climatului țării noastre, agresivitatea mediului marin asupra construcțiilor din beton armat impune, ca urmare a intensității și a particularităților specifice ale atacurilor prin coroziune, acordarea unei atenții deosebite atât în etapa de proiectare cât și în etapele ulterioare, de execuție, exploatare, respectiv întreținere și urmărire a comportării în timp.

În țara noastră au existat preocupări privind efectul agresiv al apei de mare asupra betoanelor încă de la începutul secolului, dacă ținem seama de faptul că la construirea silozurilor din portul Constanța în 1906-1908, Anghel Saligny a utilizat la pilonii de susținere, cimenturi speciale cu adaos de puzzolane în scopul obținerii de betoane cu rezistență mărită față de agresivitatea chimică a apei de mare. Cu ocazia unor lucrări de reparații la fundațiile silozurilor din port efectuate în anii 1960-1965 s-a constatat că fundațiile silozurilor construite de Saligny nu prezentau degradări după 60 de ani de exploatare, spre deosebire de fundațiile silozurilor construite ulterior (în anii 1920-1930) la care nu s-au utilizat cimenturi rezistente față de acțiunea apei de mare și care au necesitat lucrări de consolidare (INCCRC București, 1995).

Fenomenele de degradare prin coroziune afectează atât construcțiile noi cât și pe cele vechi, iar natura și intensitatea degradărilor apărute din cauza coroziunii sunt favorizate sau accelerate de o serie de factori legați de concepția/proiectarea, execuția și exploatarea obiectivului respectiv.

În cazul construcțiilor ce urmează a fi proiectate și executate, o parte esențială în asigurarea protecției anticorozive a elementelor de beton armat constă în proiectarea și ulterior executarea unui beton de înaltă calitate, calitatea corespunzătoare a betonului având o importanță deosebită în temporizarea declanșării atacului

coroziv sau, în unele cazuri, chiar în temporizarea evoluției degradării de la declanșate.

Întrucât coroziunea armăturii din oțel a elementului de beton armat este o consecință directă a deteriorării betonului, un beton de înaltă calitate ce urmează a fi utilizat în mediul marin va fi realizat dintr-un ciment rezistent la sulfatați și va trebui să îndeplinească următoarele cerințe principale: omogenitate, compactitate, respectiv densitate ridicată, iar în cazul betonului armat, realizarea acoperirii minime cu beton a armăturii și a unei armări corespunzătoare, în vederea preluării solicitărilor prevăzute a se manifesta pe parcursul exploatarei.

În cazul unei construcții existente, istoricul acesteia, din punct de vedere tehnic, reprezintă întotdeauna un aspect determinant pentru evoluția fenomenelor de degradare și ar trebui să fie un element de bază de care să țină seama proprietarul, respectiv utilizatorul construcției, în măsura în care este interesat să asigure investițiile sale o durată de viață cât mai mare.

În funcție de istoricul său, din punct de vedere tehnic, o construcție poate fi încadrată în una din următoarele categorii, în ordinea crescătoare a gravității fenomenelor de degradare prin coroziune:

(i) construcții noi la care s-a constatat apariția primelor semne de deteriorare.

(ii) construcții degradate prin coroziune sau aflate în curs de degradare, care nu au fost supuse unor intervenții anterioare;

(iii) construcții care au fost supuse unor intervenții anterioare (reparații, consolidări, protecții) pe durata exploatarei (Teodorescu și Taflan, 1976).

(i) *Asupra construcțiilor noi*, degradările prin coroziune se manifestă mai întâi asupra finisajelor. De multe ori aceste degradări sunt neglijate, trecute cu vederea, iar remediile sunt amânate din diferite considerente, în special economice. În lipsa unui program de urmărire a comportării în timp a construcției, operațiunile de remediere sunt inițiate abia ca urmare a producerii unor degradări deosebit de inestetice, atât ca manifestare cât și ca suprafață afectată, degradări sub formă de: bășcări, exfolieri locale ale protecțiilor decorative, fisurări locale ale vopsitoriei și tencuielii (Fig. 1), desprinderi locale ale plăcilor (Figueiredo *et al.*, 2009) – Fig. 2, ș. a.

Alte aspecte tipice de degradare prin coroziune întâlnite la construcțiile noi sunt cele generate de diferite defecte de execuție, ca de exemplu:

- existența unor zone cu beton segregat sau/și cu discontinuități, ceea ce favorizează accesul agenților agresivi în adâncimea elementului de beton armat, mai ales în cazul în care elementul de construcție nu a fost tencuit și protejat anticoroziv (Fig. 3);

- grosimea insuficientă a stratului de acoperire cu beton a armăturii sau chiar armătura aparentă, aspecte care, în cazul unui element din beton armat netencuit și neprotejat determină, în condițiile umidității ridicate a aerului marin, declanșarea rapidă a atacului coroziv la nivelul armăturii (Fig. 4);

- utilizarea unor distanțieri metalici care, în timp, reprezintă surse suplimentare de declanșare a atacului coroziv în elementul de beton armat.

Un element economic esențial de care trebuie să țină cont, în general, utilizatorul sau proprietarul unei construcții, cu atât mai mult cu cât aceasta este amplasată în mediul marin, este faptul că nivelul cheltuielilor financiare aferente efectuării operațiunilor de intervenție asupra unei construcții afectate de coroziune crește exponențial în timp, astfel încât, este de preferat efectuarea unor cheltuieli minime pentru remedierea degradărilor generate de procesele de coroziune, încă din fazele de început ale atacului.

(ii) *La construcțiile degradate prin coroziune sau aflate în curs de degradare și care nu au fost supuse unor intervenții anterioare*, în special în cazul structurilor amplasate în mediul marin, degradările se află, în general, în faze avansate, ca de exemplu:

- degradarea plăcilor realizate cu dale de piatră (Fig. 5);

- fisurarea și desprinderea locală a tencuielii sau chiar a betonului din unele elemente de construcție din beton armat (Fig. 6);

- fisurarea betonului de acoperire pe traseul rețelei de armături (Fig. 7), sau fisurarea și desprinderea betonului în lungul armăturii de rezistență (Fig. 8), ulterior cu expulzarea betonului de acoperire și corodarea armăturilor rămase aparente, până la secționarea și chiar dispariția lor (Fig. 9).

Neefectuarea la timp a operațiunilor de intervenție generează, pe lângă deprecierea continuă, în ritm tot mai accelerat, a stării de degradare prin coroziune a construcției, și pericole tot mai mari în exploatare, în cazul în care degradările prin coroziune au afectat rezistența structurii.

(iii) Deși din categoria construcțiilor care au fost supuse unor intervenții anterioare (reparații, consolidări, protecții) pe durata exploatarei poate face parte orice obiectiv în alcătuirea căruia intră elemente de beton armat afectate prin coroziune și ale căror degradări au fost remediate necorespunzător, în mod repetat, considerăm că un loc aparte în acest grup îl ocupă construcțiile din beton armat care, amplasate în mediul marin, adăpostesc în incinta lor activități care au ca specific efectuarea de proceduri de tratament balnear utilizând apa de mare, apa de ghiol sau nămolurile cu proprietăți terapeutice.

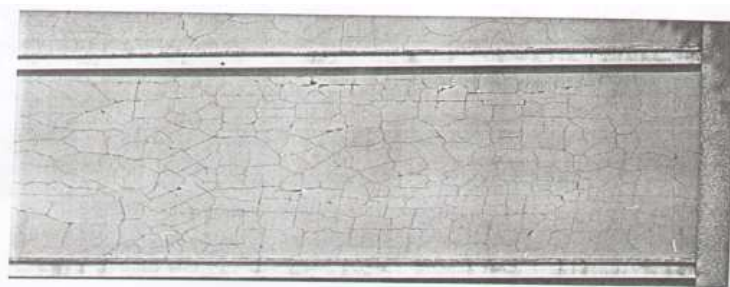


Fig. 1. Perete fațadă: fisurarea vopsitoriei sub formă de “pânză de paianjen” și exfolierea locală a acesteia

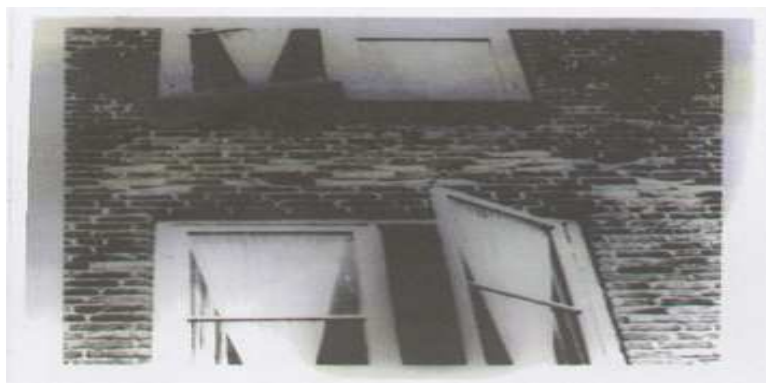


Fig. 2. Coroziunea unei plăci cu cărămidă brată, desprinderi locale

În general, din cauza corozivității ridicate pe care aceste fluide/substanțe naturale o au asupra sistemului de conducte prin care sunt transportate (de multe ori la temperaturi ridicate, de cca. 50 de grade Celsius), sunt frecvente situațiile în care, ca urmare a unor defecte de etanșare produse în sistemul de instalații, unele elemente de construcție din beton armat sunt în contact direct și prelungit cu fazele agresive menționate. În asemenea cazuri, în urma infiltrațiilor acestor fluide, elementele din beton armat ale structurii prezintă degradări prin coroziune în diferite stadii, de la fisurarea betonului și până la existența unor zone de beton armat cu armătura puternic corodată (Fig. 10), uneori chiar cu reapariția atacului/infiltrațiilor, din cauza executării necorespunzătoare a unor lucrări de reparație.

Efectuarea necorespunzătoare, superficială, a remedierilor degradărilor prin coroziune constatate (refacerea protecțiilor peliculogene anticorozive sau chiar a celor decorative, prin vopsire, placare, ș. a.) fără pregătirea adecvată a suprafeței-suport de beton, respectiv fără remedierea elementului din beton armat afectat, este cel puțin la fel de periculoasă și neprofitabilă pentru utilizatorul sau proprietarul construcției, ca și neefectuarea reparațiilor.

Faptul în sine constituie doar o sursă de cheltuieli suplimentare și inutile, întrucât menținerea agenților agresivi în masa betonului, sub protecția nou aplicată, chiar dacă în acel moment armătura nu este vizibil

corodată, favorizează și întreține evoluția atacului coroziv, în prezența umidității, cu avansarea acestuia în adâncimea elementului de construcție din beton armat infestat.



Fig. 3. Beton cu discontinuități (defect de execuție), element netencuit, corodarea armăturilor aparente

4. Concluzii

Din conținutul acestui articol pot fi trase următoarele concluzii:

1. În condițiile în care, elementele de construcție ale structurilor din beton armat sunt supuse, sub acțiunea mediului marin, unei agresivități triple - a solului marin, a apei de mare și a mediului atmosferic specific - iar efectele de degradare prin coroziune sunt o rezultantă a acțiunii unui număr mare de factori - de natură chimică, fizică, biochimică, electrochimică și mecanică - rezultă în mod evident complexitatea și severitatea agresivității cu care acest tip de mediu natural acționează asupra construcțiilor din beton armat.

2. Pentru o abordare corespunzătoare a problematicii practice privind comportarea în exploatare a construcțiilor supratereștrii din mediul marin românesc, este necesară și utilă creșterea nivelului de mediatizare, implicat de conștientizarea a deținătorilor sau/și a utilizatorilor de obiective amplasate în acest tip de mediu, precum și a potențialilor investitori ai obiectivelor ce urmează a fi construite și exploatate pe litoralul românesc. Aceste categorii de factori interesați constituie elemente active care pot contribui la crearea unei noi atitudini, constructive și de o reală responsabilitate, față de proiectarea, execuția și urmărirea în exploatare a construcțiilor în mediul specific litoralului românesc.

3. În cazul structurilor ce urmează a fi proiectate și construite în acest mediu natural, este esențial să se țină seama de faptul că o parte importantă în asigurarea protecției anticorozive a elementelor de beton armat constă în proiectarea și ulterior executarea unui beton de înaltă calitate. Realizat dintr-un ciment adecvat, betonul trebuie să îndeplinească cerințele principale de omogenitate, compactitate, respectiv densitate ridicate, iar în cazul betonului armat, realizarea unei acoperiri minime cu beton a armăturii și a unei armări corespunzătoare, în funcție de solicitările prevăzute la care urmează a fi supusă construcția pe parcursul exploatării. Ulterior stabilirii protecției anticorozive corespunzătoare fiecărei structuri în parte, conform normelor în vigoare, alegerea unor produse de protecție anticorozivă eficiente și chiar a unor finisaje adecvate sub aspect tehnic, este absolut necesar a fi făcută în baza confirmării satisfacerii aptitudinilor de utilizare a produselor respective, prin Acorduri Tehnice complete și relevante, elaborate de organisme abilitate în acest sens.

4. În cazul construcțiilor noi, fără semne evidente de degradare prin coroziune, este necesară, în vederea asigurării durabilității, stabilirea și îndeplinirea unui program adecvat de urmărire a comportării în exploatare și efectuarea în timp util a eventualelor reparații minore constatate. În acest sens, subliniem din nou faptul că, un element economic esențial de care trebuie să țină cont utilizatorul sau deținătorul unei construcții este faptul că nivelul cheltuielilor financiare aferente efectuării operațiunilor de intervenție asupra unei construcții afectate de coroziune crește exponențial în timp, fapt

pentru care, cel puțin sub aspect economic, este de preferat efectuarea unor cheltuieli minime pentru remedierea degradărilor generate de procesele de coroziune, încă din fazele de început ale atacului.

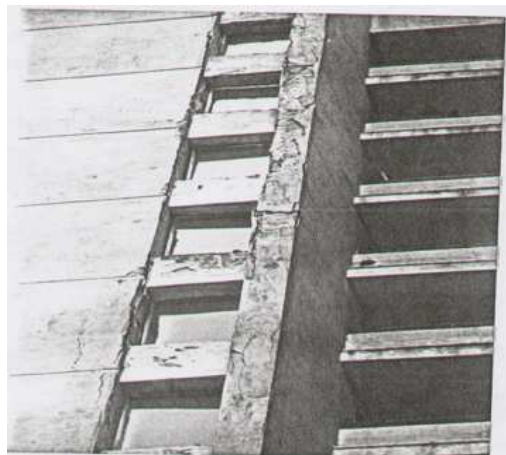


Fig. 6. Degradarea vopsitoriei, fisurări și desprinderi de tencuială/beton



Fig. 7. Fisurarea betonului de acoperire pe traseul rețelei de armături, coroziune incipientă a armăturii, betonul de acoperire încă nu a fost expulzat

5. În cazul construcțiilor existente, atât al celor degradate prin coroziune sau aflate în curs de degradare și care nu au fost supuse unor intervenții anterioare, cât și al celor care au fost supuse unor intervenții anterioare (reparații, consolidări, protecții) pe durata exploatării, este important de luat în considerare faptul că neefectuarea la timp a operațiunilor de intervenție generează, pe lângă deprecierea continuă, în ritm tot mai accelerat, a

stării de degradare prin coroziune a construcției, și pericole tot mai mari în exploatare, în cazul în care degradările prin coroziune au afectat rezistența structurii. Stabilirea și îndeplinirea unui program adecvat de urmărire a comportării în exploatare și efectuarea în timp util a eventualelor reparații, în stadii cât mai puțin avansate de degradare prin coroziune este, și pentru această categorie de construcții, soluția obținerii unei durate maxime de viață a construcției cu efectuarea unor cheltuieli minime.

6. Un aspect aparte de care este obligatoriu să se țină seama, în spiritul celor de mai sus, îl constituie necesitatea solicitării, de către deținătorii sau/și utilizatorii obiectivelor în cauză, a unor investigații pentru stabilirea stării de deteriorare prin coroziune a construcției, în vederea stabilirii unor măsuri adecvate, eficiente, de remediere a degradărilor existente, cu stabilirea unor protecții anticorozive corespunzătoare nivelului de atac și solicitărilor la care este supusă construcția. Esențial este ca investigațiile să fie efectuate de către instituții abilitate, prin echipe mixte de specialiști în domeniile de coroziune și structuri, sucursala INCERC București fiind una dintre reprezentatele de tradiție în domeniu, în care experiența în activitatea de cercetare aplicativă este în mod eficient

completată cu experiența în rezolvarea cu profesionalism a situațiilor specifice privind degradarea prin coroziune a construcțiilor.

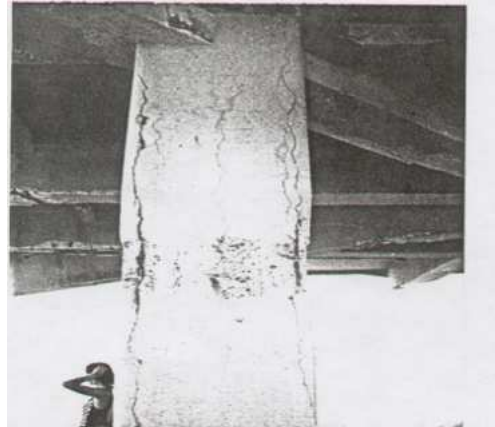


Fig. 8. Fisurarea și desprinderea betonului în lungul armăturii de rezistență corodate a stâlpului. Zonă cu piatră de ciment degradată (zona de spargere a valurilor mării pe timp de furtună/anotimp friguros)



Fig. 4. Element de beton armat netencuit, coroziune avansată a armăturii aparente



Fig. 5. Plăci de piatră de pe soțul clădirii, cu pete albe de săruri, care au îmbibat stratul poros de finisare al fațadei

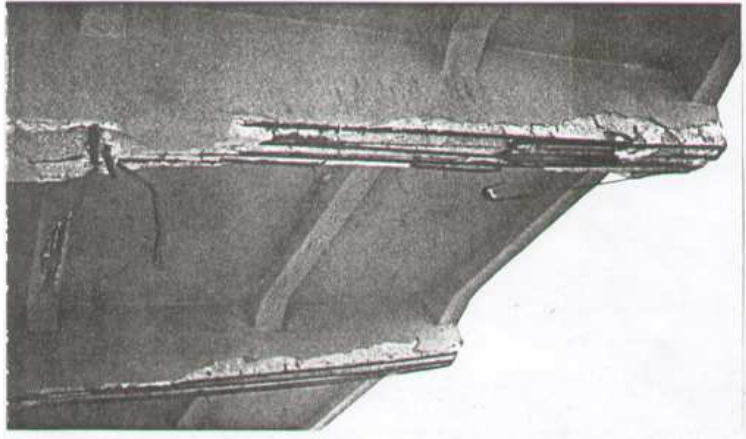


Fig. 9. Grinzi de beton armat, acoperiș terasă. Expulzarea betonului de acoperire pe suprafețe mari din cauza coroziunii armăturilor. Coroziunea avansată a armăturilor rămase aparente, cu reducere de secțiune, secționarea și chiar dispariția lor locală (în special a etrierilor)



Fig. 10. Plafon cu infiltrații de apă de mare. Zonă de beton armat cu plasa de armătură puternic corodată

BIBLIOGRAFIE

****, NE 012-99 - *Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea I: Producerea betonului.*

****, SR EN 206-1: 2002 - *Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate.*

Budan C., Stoica D. N., Cotescu A. M. (2010), *Aspecte privind coroziunea armăturii în beton*, Revista Română de Materiale **40 (2)**: 132-140.

Figueiredo M. O., Pereira da Silva T., Veiga J. P. (2009), *Andent glazed ceramic tiles: a long-term study from the remediation of environmental impact to the non-destructive characterization of materials.*

INCERC București (2003), *Asigurarea protecției mediului ambiant și a sănătății oamenilor prin mărirea siguranței în exploatare și la foc a elementelor de construcții realizate din materiale și compozite polimerice.*

INCERC București (1995), *Studii și cercetări experimentale privind comportarea la coroziune marină a materialelor și elementelor de construcții.*

INCERC București (1996), *Studii și cercetări experimentale privind comportarea la coroziune marină a materialelor și elementelor de construcții.*

INCERC București (2009), *Protecția durabilă a construcțiilor prin utilizarea de produse peliculogene performante, cu caracteristici ecologice, supuse la solicitări complexe (mediu urban-industrial, marin, alpin), de lungă durată.*

Nicolescu L. (1987), *Betoane hidrotehnice pentru lucrări de îmbunătățiri funciare*, Editura CERES, București.

Păunel A. M. (2002), *Combaterea coroziunii structurilor din oțel supraterean*, Editura BREN, București.

Teodorescu D., Taflan F. (1976), *Betoane în mediul marin*, Conferința a VIII-a de betoane, Cluj Napoca.

Vasilii A., Popescu E., Solaciu C., Teodorescu D. (1973), *Agresivitatea naturală pe teritoriul României*, Centrul de Documentare pentru Construcții, Arhitectură și Sistemizare, București.