

CZU 699.87

*Croitoru Gh., Lvovschi E.*

## **Influența coroziunii elementelor din beton asupra stabilității construcțiilor**

### **Abstract**

*The paper presents a study on the corrosion processes in reinforced concrete construction elements operated in harsh environments, which may influence the stability of the building. In the experimental program were tried and nefisurate prefisurate evidence in the form of beams, the service limit state (SLS) after accelerated corrosion tests in solutions of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  and  $\text{NaCl}$ . Election quick schemes testing corrosive mechanism respected the processes occurring on the surface of reinforcement under natural conditions.*

*Due to accelerated corrosion exposure prefisurate beams in  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  and  $\text{NaCl}$  solutions, the yield strength is 7% lower than the corresponding standard beams exposed to accelerated corrosion in gullies service limit state (SLS).*

*The tested beams have shown good results at external influences that allows to carry out the further researches, is especial at studying influence of duration of the accelerated influence of the corrosion environment, potential of a current and other diameters of armatures.*

### **Rezumat**

*În articol se prezintă un studiu privind procesele de coroziune a elementelor de construcții din beton armat, exploatate în medii agresive, care pot influența stabilitatea construcțiilor. În baza programului experimental s-au încercat probe prefisurate și nefisurate, sub forme de grinzi, la stadiul limită de serviciu (SLS), după testări la coroziune accelerată în soluții de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  și  $\text{NaCl}$ . Alegerea regimurilor de testare corosivă rapide s-a făcut cu respectarea mecanismului proceselor care au loc pe suprafața armăturii în condiții naturale.*

*Datorită expunerii la coroziune accelerată a grinzilor prefisurate, în soluții de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  și  $\text{NaCl}$ , valoarea forței de cedare este cu 7 % mai mică, decât cea corespunzătoare grinzilor etalon, expuse la coroziune accelerată fără fisuri în stadiul limită de serviciu (SLS).*

*Grinzile testate au demonstrat o comportare bună la acțiunea solicitărilor exterioare, încurajând studii viitoare asupra subiectului, cu precădere la studiul influenței timpului de expunere la coroziune accelerată, intensității curentului aplicat și al altor diametre de armături.*

### Резюме

*В статье представлено исследование процессов коррозии железобетонных элементов конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, которые могут повлиять на устойчивость конструкций. На основании экспериментальной программы были испытаны пробы в виде балок с трещинами и без, на несущую способность, после ускоренных коррозионных испытаний в растворах  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaCl}$ . Выбор режимов коррозионных испытаний проводился с соблюдением механизмов процессов, которые проходят на поверхности арматуры, в естественных условиях.*

*В результате ускоренных коррозионных испытаний балок с трещинами, в растворах  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaCl}$ , значение усилия разрушения на 7 % ниже, чем соответствующее значение балок эталон, подверженные ускоренному коррозионному испытанию, без трещин при крайних стадиях работы.*

*Испытанные балки показали хорошие результаты при внешних воздействиях, что позволяет провести дальнейшие исследования, особенно при изучении влияния продолжительности ускоренного воздействия коррозионной среды, потенциала тока и других диаметров арматур.*

### Introducere

În trecut, betonul era considerat un material „indestructibil”. Această convingere i-a determinat pe mulți constructori și proiectanți să ignore cele mai elementare norme pentru a garanta durabilitatea structurilor din beton. Însă, în majoritatea cazurilor, după 20-30 de ani de la exploatare, cea mai mare parte a construcțiilor din beton prezintă semne evidente de degradare.

În prezent, creșterea continuă a costurilor de construcție face ca uneori să fie mai avantajoasă repararea și consolidarea construcțiilor degradate din beton, chiar dacă procesul de degradare a atins un stadiu destul de avansat.

Odată cu degradarea betonului concomitent are loc degradarea armaturii prin coroziune. În rezultat, construcția își pierde capacitatea portantă. Armatura în beton este protejată împotriva coroziunii, în primul rând, prin pasivitatea dată de alcalinitatea **betonului** (valoarea pH-ului în porii umpluți cu apă trebuie să fie mai mare de 9).

Însă, în unele cazuri (existența curenților vagabonzi, filtrarea apei prin beton, acțiunea diferitor microorganisme etc.), armatura din beton poate fi supusă procesului de coroziune și în cazurile când pH-ul betonului depășește valoarea 9.

## Metodologia cercetării

Deprecierea elementelor și structurilor din beton și beton armat este rezultatul cumulativ al erorilor de proiectare, execuție, exploatare precum și modificarea unor factori din mediul ambiant (acțiuni seismice importante, mediul coroziv, acțiunea cumulată ploaie-vânt, efectul de rafală al acțiunii vântului, inundații catastrofale, explozii, efectul microundelor, etc.).

Procesul de distrugere al pasivității se desfășoară cu viteză diferită, care este determinată de mărimea deschiderii fisurilor și de agresivitatea mediului.

Durata acestei perioade poate fi de la câteva minute până la câteva luni. Pelicula pasivă se distruge mai întâi pe anumite sectoare ale suprafeței oțelului, intersectate de fisuri, prin care are loc pătrunderea substanțelor corosiv-active din mediul înconjurător. Pe parcursul timpului acest proces se extinde pe sectoarele de suprafață ale armăturii în zona influenței fisurilor.

Prin creșterea în volum a oxidului de fier, pe suprafața armăturii din oțel se creează o presiune radială asupra betonului imediat înconjurător. Această presiune conduce la apariția locală a eforturilor de întindere și apariția microfisurilor în beton. Propagarea acestor microfisuri se materializează în cele din urmă în macrofisurarea elementului de beton armat, precum și la dislocări locale ale stratului de acoperire cu beton, așa cum se pune în evidență în figura 1.

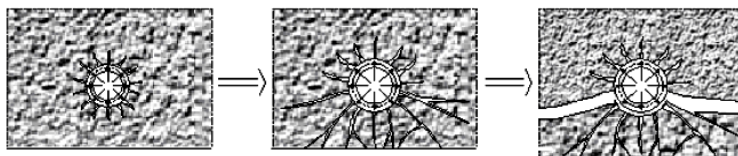


Fig. 1 Fisurarea și dislocarea betonului în zona barei corodate

Studiul următor descrie comportarea elementelor de beton armat cu strat de acoperire cu beton a armăturii de 25 mm, supuse la coroziune accelerată, cu fisuri, în starea limită de serviciu SLS. Momentele de fisurare, momentele de rupere și deschiderea fisurilor au fost monitorizate permanent.

Pentru experiențe s-au folosit probe din beton armat sub formă de grinzi ( $125 \times 125 \times 1100$  mm) armate în partea de jos cu două bare din oțel beton BST500  $\varnothing 12$  mm (fig. 2). Toate grinzile au fost proiectate să aibe aceeași capacitate portantă la moment încovoietor.

Studiul rezistenței la coroziune a fost condus în 2 direcții:

- Grinzi expuse la coroziune accelerată fără fisuri în stadiul limită de serviciu (SLS);

- Grinzi preîncărcate la stadiul limită de serviciu (SLS), fisurate și apoi expuse la coroziune accelerată pe o perioadă diferită de timp.

Ca acceleratori ai procesului corosiv s-au folosit: soluție de sulfat de sodiu- $\text{Na}_2\text{SO}_4$  și clorură de sodiu- $\text{NaCl}$ , variația temperaturii soluțiilor 20-35 °C.

Alegerea regimurilor verificărilor corosive rapide s-a făcut cu evidența mecanismului proceselor, care au loc pe suprafața armăturii în condiții naturale. Durata verificărilor, în funcție de gradul agresivității mediului, a constituit de la câteva zile până la câteva luni. În timpul verificărilor s-au controlat temperatura, umiditatea relativă a aerului, umiditatea betonului și a mediului ambiant.

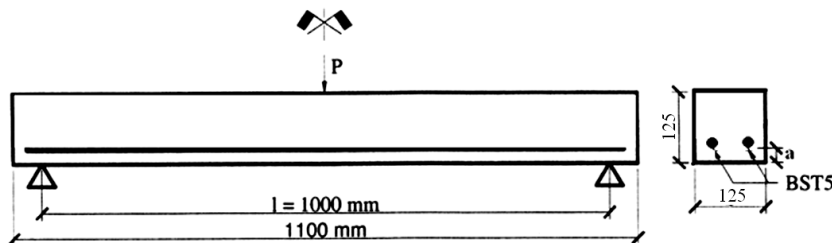


Fig. 2 Grinzi supuse încercărilor la coroziune

Probele confecționate au fost menținute timp de 28 zile, la 20°C, în condiții umede, după aceea probele s-au menținut în condiții de aer uscat timp de o lună.

Starea electrochimică a suprafeței armăturii, la prezența fisurilor în beton, este determinată de neomogenitatea parametrilor mediului și mărimea variației elasticității oțelului. Acest fapt duce la formarea diferenței de potențiale între diferitele sectoare ale armăturii, adică la apariția perechii galvanice corosive.

Influența mărimii deschiderii fisurilor, asupra vitezei de coroziune a armăturii, poate fi explicată prin polarizarea neegală, în ele, a oțelului; aceasta depinde de suprafața anodului activ, de viteza de eliminare a produșilor reacției anodice de la suprafața lui și de concentrația hidroxidului de calciu din electrolitul din fisură. Polaritatea oțelului în zona fisurii, depinde și de prezența la suprafața lui a unor ioni, care penetrează prin fisură.

Rezistența la întindere prin încovoiere s-a determinat prin aplicarea unei forțe concentrate la jumătatea deschiderii grinzii încercate, conform fig. 2.

### Rezultate obținute și interpretarea acestora

Cum arată curbele de polarizare anodică a acestor probe, măsurate după 6 luni de stabilizare a potențialelor (fig. 3) și curbele de dependență, construite pe baza lor, de polarizare a oțelului cu mărimea deschiderii fisurilor 0,2-1,0 mm (fig. 4), polarizarea crește concomitent cu micșorarea fisurii și are o valoare mai mare în electrolitul care conține ioni de sulf, în comparație cu electrolitul care conține ioni de clor.

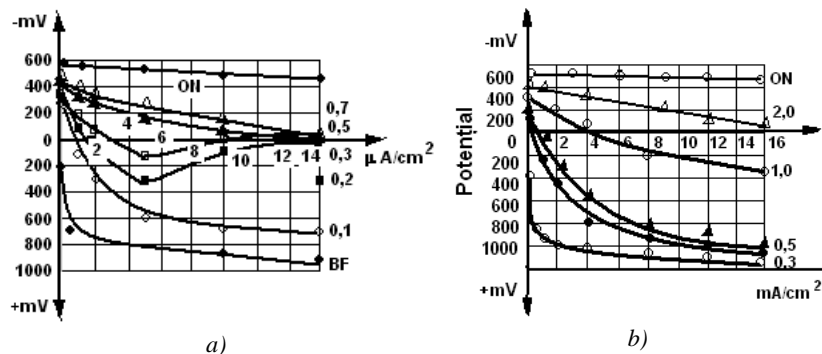


Fig. 3 Polarizarea anodică a oțelului în betonul cu fisuri: *a* - electrolit, soluție  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,1N; *b* - electrolit, soluție NaCl; ON - oțel neacoperit. Cifrele de lângă curbe indică mărimea fisurilor, mm.

Dacă în electrolit sunt prezenți ionii de clor, procesul de coroziune decurge cu control anodic la mărimea deschiderii fisurilor până la 0,2 mm, iar dacă în electrolit sunt prezenți ionii de sulf, controlul anodic are loc în fisurile cu mărimea de 0,5 mm.

Curentul de coroziune (a perechii galvanice), la diferite regimuri de umezire în soluție de NaCl 0,1n, are o valoare maximă în perioada umezirii, fapt care poate fi explicată în felul următor: la completarea volumului fisurii cu electrolit se ușurează considerabil procesul anodic și se micșorează rezistența chimică a sistemului. Odată cu aceasta, difuzia oxigenului prin beton spre suprafața catodului scade. Însă, la început, în corpul poros al betonului este prezent suficient de mult oxigen și procesul catodic nu se oprește.

Procesul corosiv în perioada dată se limitează cu rezistența chimică, de aceea, după eliminarea electrolitului intensitatea curentului de coroziune în toate cazurile scade brusc.

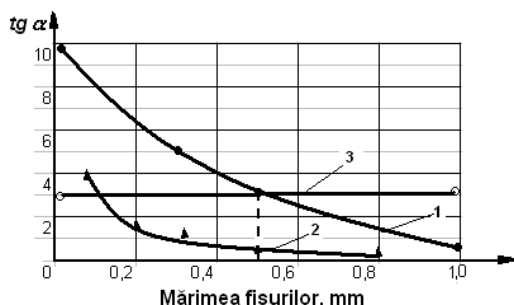


Fig. 4 Polarizarea oțelului în betonul cu fisuri:

1 - curba anodică în soluție  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,1n; 2 - în soluție NaCl 0,1n; 3 - curba catodică în betonul compact

Următoarea scădere lentă a curentului corosiv poate fi explicată prin uscarea treptată a betonului, care influențează preponderent asupra rezistenței chimice a lui și asupra polarizării anodice a oțelului. Fluxul oxigenului la suprafața catodică a oțelului crește și nu poate limita viteza de desfășurare a procesului de coroziune.

Intensitatea medie pe oră, a curentului corosiv, corespunde mărimii pierderii materiale a metalului pe anod:

$$M = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot It, \quad (1)$$

unde  $M$  - masa metalului eliminat în g;  $F$  - numărul lui Faraday, egal cu 96500 C/ech· g;  $A$  - masa atomică a metalului;  $n$  - valența metalului;  $I$  - intensitatea curentului în A;  $t$  - timpul în s.

Dacă trasăm pe un grafic intensitatea curentului și adâncimea medie a atacului corosiv pe armătura, în fisurile cu deschiderea de 0,5 mm, în regiunile corespunzătoare se poate observa, că ele practic coincid. Folosindu-ne de formula ( 1 ) se poate arăta, că în regimurile studiate masa metalului dizolvat pe anod este proporțională cu cantitatea de electricitate măsurată.

Dacă adâncimea medie a ciupiturilor pe suprafața armăturii o notăm prin  $\delta$ , iar lungimea sectorului atacat prin  $b$  (la mărimea fisurilor 0,5 mm  $b = 8$  mm), atunci cantitatea de metal dizolvat poate fi exprimată prin formula:

$$M = \pi D \delta b \gamma, \quad (2)$$

și prin urmare:

$$M = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot It = \pi D \delta \gamma.$$

unde  $D$  - coeficient de difuzie,  $\gamma$ - densitatea lichidului.

De aici adâncimea medie a atacului:

$$\delta = \frac{AIt}{Fn\pi Db\gamma}. \quad (3)$$

Să calculăm adâncimea medie a atacului armăturii în diferite condiții de verificare:

1. La 2000 de cicluri:

$$\delta_1 = \frac{55,85 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 31 \cdot 10^6}{96500 \cdot 3 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 7,88} = 0,096 \text{ cm},$$

sau 960μ;

2. La 300 de cicluri:  $\delta_2 = 0,051$ , sau 510 μ;

3. La 100 de cicluri:  $\delta_3 = 0,032$  sau  $320\mu$ , ce corespunde aproximativ adâncimii reale a atacului pe oțel, obținut la verificarea probelor din beton armat cu fisuri de 0,5 mm timp de un an.

Cele mai nefavorabile pentru armătura sunt condițiile de exploatare a elementelor din beton armat cu fisuri, când are loc o umezire periodică destul de frecventă a lor (de ordinul 1000 – 2000 cicluri pe an). La mărirea frecvenței ciclurilor de umezire, mai mult decât cele indicate, se poate aștepta la o micșorare a vitezei de coroziune a oțelului în urma limitării catodice considerabile; fluxul de oxigen, la suprafața oțelului prin stratul de protecție din beton și fisură, este încetinit din cauza saturării lor cu soluție lichidă.

Testul de încovoiere a grinzilor s-a realizat la o instalație de laborator (fig. 5), fiind încărcate până la cedare, în stadiul limită ultim (SLU).

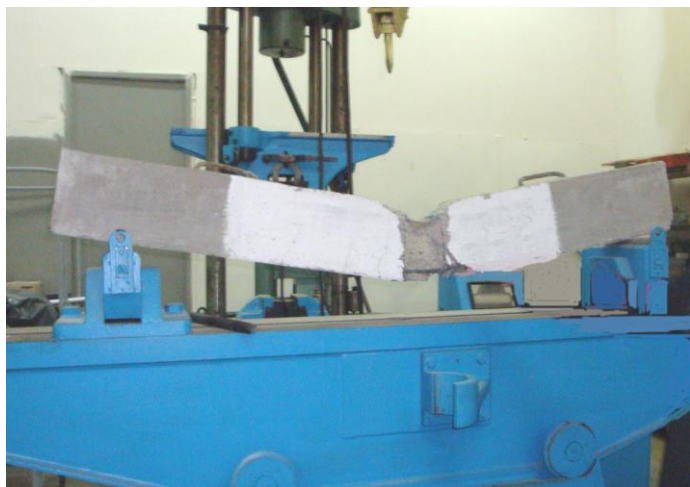


Fig. 5 Instalație de testare la încovoiere a grinzilor

Trei șarje a câte trei grinzi, cu stratul de acoperire cu beton  $c = 25$  mm, au fost încărcate până la stadiul de exploatare. Starea limită de serviciu a fost înregistrată și încărcarea a fost oprită la o deschidere medie de fisură de 0,5 mm. După descărcare (relaxare), fisurile s-au închis la o deschidere remanentă de 0,1-0,2 mm.



Datorită expunerii la coroziune accelerată a grinzilor prefisurate, în soluții de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  și  $\text{NaCl}$ , valoarea forței de cedare este cu 7 % mai mică, decât cea corespunzătoare grinzilor etalon, expuse la coroziune accelerată fără fisuri în stadiul limită de serviciu (SLS), după cum se vede în fig. 6.

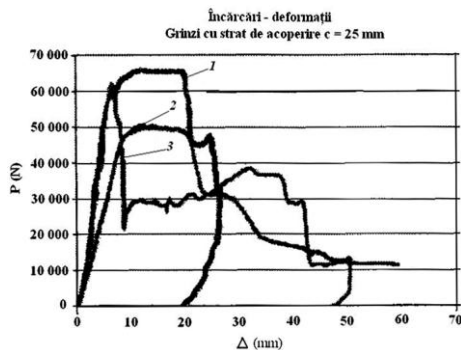


Fig. 6 Deformația grinzilor supuse testelor de coroziune: 1 – grinzi etalon, expuse la coroziune accelerată fără fisuri; 2 – grinzi prefisurate, expuse la coroziune accelerată în soluție de  $\text{NaCl}$ ; 3 – grinzi prefisurate, expuse la coroziune accelerată în soluție  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Se poate observa o deformabilitate mai pronunțată post - rupere în cazul grinzilor expuse 2 și 3 comparativ cu grinzile neexpuse 1, după cum se remarcă în fig. 6. La grinzile cu strat de acoperire cu beton  $c = 25$  mm, deformabilitatea tipului 3 de grinzi este cu 42 % mai mare decât a tipului 1.

## Concluzii

Deprecierea elementelor și structurilor din beton și beton armat este rezultatul cumulat al erorilor de proiectare, execuție, exploatare precum și modificarea unor factori din mediul ambiant (acțiuni seismice importante, mediul coroziv, acțiunea cumulată ploaie-vânt, efectul de rafală al acțiunii vântului, inundații catastrofale, explozii, efectul microundelor, etc.).

Creșterea în volum a oxidului de fier, pe suprafața armăturii din oțel, creează o presiune radială asupra betonului imediat înconjurător, care conduce la apariția locală a eforturilor de întindere și apariția microfisurilor în beton. Propagarea acestor microfisuri se materializează în cele din urmă în macrofisurarea elementului de beton armat, precum și la dislocări locale ale stratului de acoperire cu beton.

S-a studiat comportarea elementelor de beton armat, cu strat de acoperire cu beton a armăturii de 25 mm, supuse la coroziune accelerată în soluții de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  și  $\text{NaCl}$ , cu fisuri, în starea limită de serviciu SLS. Coroziunea accelerată aplicată grinzilor prefisurate a urmărit simularea comportării elementelor structurale în exploatare în medii agresive.

Datorită expunerii la coroziune accelerată a grinzilor prefisurate, în soluții de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  și  $\text{NaCl}$ , valoarea forței de cedare este cu 7 % mai mică, decât cea corespunzătoare grinzilor etalon, expuse la coroziune accelerată fără fisuri în stadiul limită de serviciu (SLS). Deformabilitatea grinzilor este mai pronunțată pentru grinzile de tip 3, decât pentru cele de tip 1, după cum se remarcă în fig. 6. Acest tip de comportament poate fi legat de proprietățile mecanice ale betonului.

În general, grinzile testate au demonstrat o comportare bună la acțiunea solicitărilor exterioare, încurajând studii viitoare asupra subiectului, cu precădere la studiul influenței timpului de expunere la coroziune accelerată, intensității curentului aplicat și al altor diametre de armături.

## Referințe

1. Azad A. K., Ahmad S., and Azherv S. A., „Residual Strength of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Beams”, ACI Materials Journal V. 104, No. 1, Jan-Feb 2007;
2. Hyong-Seok So and Miliard S. G., „Measurement of Reinforcement Corrosion Rate Using Transient Galvanostatic Pulse Method”, ACI Materials Journal, V.105, No.4, Jul-Aug 2008;
3. Măgureanu C, Negruțiu C, Hegheș B., „Influence of aggressive environmental effects on high-strength concrete”, CONSEC-2007 Vol. 1, ISSN 1626-4704, ed. Francois Toutlemonde, June 4-6, 2007;
4. Măgureanu C, Rosca B., and Hegheș B., „Influence of Aggressive Environmental Effects on the High Strength Concrete”, ACI/FHWA/fib The Seventh International Symposium on High Strength/High Performance Concrete, June 20-24 2005, Washington DC, USA;
5. Negruțiu C, Măgureanu C, „Influence of aggressive environmental effects on high-strength concrete”, Acta Technica Napocensis, Section Civil Engineering-Architecture, Vol. II, Proceedings of

the International Conference Constructions 2008, 9-10 Mai 2008, ISSN 1221-5848, Ed. Napoca Star, Cluj-Napoca;

6. Yoon S., Wang K., Weiss W. J., and Shah S. P., „Interaction between Loading, Corrosion, and Serviceability of Reinforced Concrete”, ACI Materials Journal V. 97, No. 6, November-December 2000.