

ASPECTE PRIVIND COROZIUNEA ARMĂTURII ÎN BETONUL STÂLPILOR LINIILOR ELECTRICE AERIENE CU SECȚIUNE INELARĂ

Gheorghe CROITORU

Cercetător științific, doctor inginer ICȘC „INCERCOM” Î.S., centru de cercetare științifică, Rep. Moldova, e-mail: gcroitoru@mail.ru

Abstract. Specific requests are analyzed prestresses concrete pillars, which are predominantly bending applications and/or torsion. These requests often causes cracks that contribute to ease the discharge of aggressive mass concrete, which leads to corrosion of reinforcement pillars. Cracks in concrete pillar reinforcement that reaches the surface, facilitates the penetration of aggressive substances, facilitates local damage of steel passivity. Reinforcement corrosion control was achieved by determining the position and diameter of steel reinforcement, determining the degree of corrosion of reinforcement. Using laws of diffusion and diffusion coefficients measured were traced curves Cl-content and OH-ions at depth x on the time t .

Key words: corrosion, steel reinforced concrete, diffusion

1. Introducere

Din punct de vedere funcțional și tehnologic, liniile electrice aeriene reprezintă soluția tehnică atât pentru distribuția energiei electrice la distanțe relativ mari între localități cât și pentru alimentarea rețelelor de cabluri din zonele urbane. În cadrul liniilor electrice aeriene, atât de joasă cât și de medie tensiune, se constată în momentul actual o utilizare pe scară foarte largă atât a stâlpilor din beton armat cât și a stâlpilor din beton precomprimat.

În funcție de *modul de armare și tehnologia de turnare și formare*, în cadrul liniilor electrice aeriene se utilizează, în principal, următoarele tipuri de stâlpi din beton:

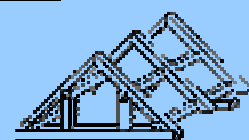
- stâlpi centrifugați din beton armat;
- stâlpi centrifugați din beton precomprimat;
- stâlpi vibrați din beton precomprimat.

Din punct de vedere al *funcției* pe care o pot îndeplini stâlpii din beton în cadrul liniilor electrice aeriene, se menționează următoarele tipuri:

- stâlpi de susținere în aliniament;
- stâlpi de susținere în colț;
- stâlpi de întindere în aliniament;
- stâlpi de întindere în colț;
- stâlpi terminali.

Din punct de vedere al schemei statice și a solicitărilor specifice a stâlpilor din beton în cadrul liniilor electrice aeriene, autorii evidențiază următoarele caracteristici ale acestora:

- schema statică a unui stâlp din beton prefabricat component al unei linii electrice aeriene este de *consola verticală* (a se vedea Fig. 1), fundația fiind considerată încastrare rigidă;
- secțiunea este *inelară*, cu diametrul variabil pe înălțimea stâlpului și



- armătură longitudinală uniform repartizată pe contur;
- în funcție de rolul și poziția pe care o pot avea pe amplasament în cadrul liniilor electrice aeriene, ca urmare a poziționării încărcărilor, se apreciază că stâlpii din beton prefabricat pot avea ca solicitări majore (predominante) *încovoierea* și/sau *torsiunea*, ce se pot manifesta atât simplu cât și combinat;
 - stâlpii solicitați predominant la încovoiere au secțiunea critică poziționată în zona de deasupra încastrării în fundație, iar stâlpii solicitați predominant la torsiune au secțiunea critică poziționată pe zona superioară a înălțimii, către vârf (Fig. 1);
 - din punct de vedere al comportării stâlpilor cu secțiune inelară la solicitări orizontale de tip seism sau vânt, se apreciază ca efectul acestora poate fi considerat neglijabil.

Secțiunea stâlpilor nefiind plină, greutatea acestora este relativ redusă (ca exemplu, elementele tipizate de stâlpi prefabricați din beton armat folosite în mod uzual în exploatare au înălțimi de 10 -14 m și greutate cuprinse între 650-3020 kg).

2. Studiul comportării la fisurare a stâlpilor

Fisurile din betonul stâlpilor, reprezentând căile disponibile pentru mecanismele de transport, respectiv punctele de inițiere a deteriorării progresive, influențează considerabil durabilitatea betonului (Nuțiu, 1998). Este cunoscut faptul că stâlpii din beton precomprimat supuse solicitărilor exterioare (încovoiere, forfecare, întindere, compresiune, torsiune etc.) lucrează cu fisuri (stadiul II de lucru), drept consecință a rezistenței la întindere și a alungirii limită reduse a betonului. Fisurile în stâlpii din beton precomprimat

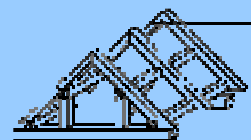
pot apărea și din alte cauze (nefiind obligatorie existența acțiunilor) reacțiile chimice dintre alcalii și agregate, efectul ciclurilor de îngheț-dezghet, expansiunea armăturii corodate etc.

Din punct de vedere al specificului de exploatare al stâlpilor din beton precomprimat centrifugat cu secțiune inelară folosiți în cadrul liniilor electrice aeriene (Agent *et al.*, 1979) se menționează că solicitarea majoră este încovoierea, aceasta având o influență determinantă la conformarea și dimensionarea secțiunii acestora (Fig. 2).

În exploatare, sub acțiunea încărcărilor exterioare, stâlpii din beton precomprimat prezintă o serie de fisuri în zonele întinse unde alungirea limită a betonului este depășită. Existența fisurilor contribuie la ușurarea pătrunderii substanțelor agresive în masa betonului, ceea ce conduce la coroziunea armăturii.

Deschiderea, forma și orientarea fisurilor influențează considerabil durabilitatea betonului precomprimat (CEB/FIP Model Code, 2010). Cercetările au arătat că influența deschiderii fisurilor asupra ratei de coroziune a armăturii este relativ redusă atunci când deschiderea fisurilor nu depășește 0,4 mm. O importanță majoră are însă grosimea și compactitatea stratului de acoperire cu beton a armăturii.

Fisurile orientate în lungul armăturii (fisuri de aderență) sau fisuri din cauza coroziunii armăturii) sunt mult mai periculoase decât fisurile transversale, deoarece în cazul fisurilor transversale coroziunea este limitată la o suprafață redusă și pericolul de decojire a stratului de acoperire cu beton practic nu există (Rusu *et al.*, 1998).



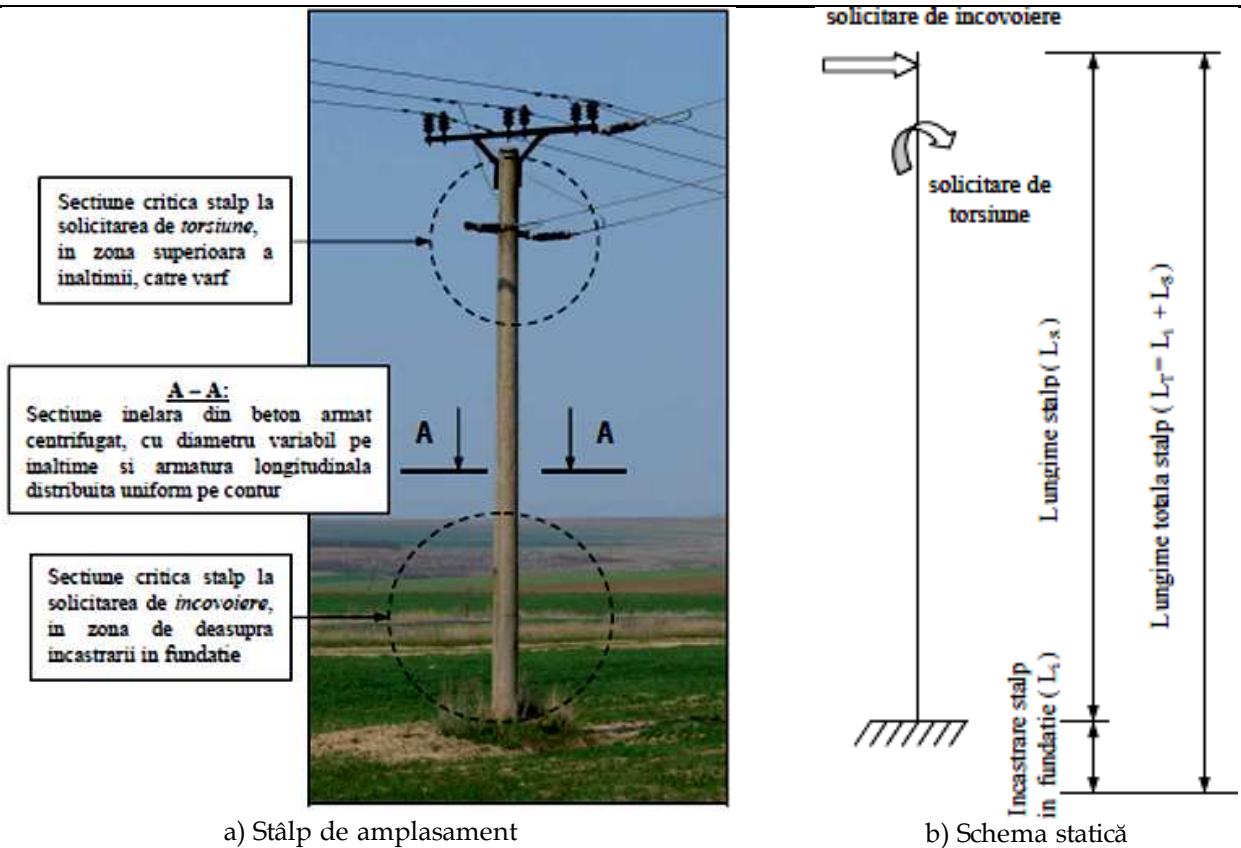


Fig. 1. Stâlp centrifugat din beton precomprimat prefabricat cu secțiune inelară utilizat în cadrul liniilor electrice aeriene. Schema statică și zone caracteristice de solicitare.

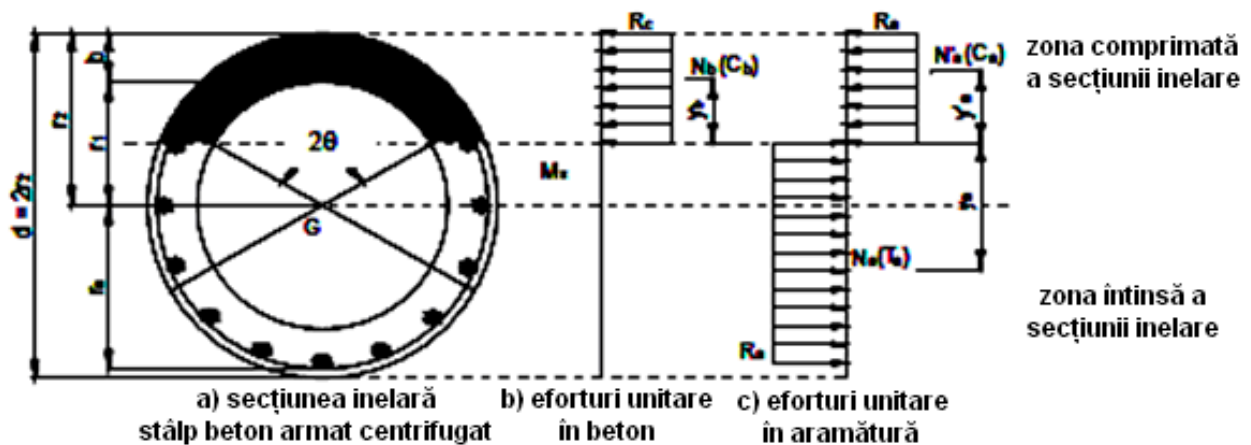


Fig. 2. Stâlp din beton precomprimat centrifugat cu secțiune inelară solicitat la încovoiere fără efort axial

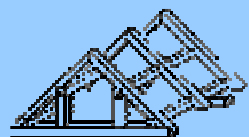
3. Metode de control și determinarea coroziunii armăturilor în fisurile betonului

Principalele etape care au fost parcurse pentru realizarea controlului coroziunii armăturii de oțel au fost următoarele: determinarea poziției și diametrului armăturii, determinarea gradului de coroziune a armăturii (prin determinarea curbei acțiunii clorhidrice, a adâncimii de carbonatare și a rezistivității betonului) și a

vitezei de coroziune a armăturilor (Budane et al., 2010).

Determinarea poziției și diametrului armăturii s-a realizat cu ajutorul aparatului pahometru tip PROCEQ PROFOMETER 5+.

Principiul de funcționare este bazat pe impulsuri de inducție Figura. 3a. Aparatul



este compus din doi transformatori din care unul cu circuit magnetic deschis (sonda de palpare – Fig. 3b).

Pentru determinarea gradului de coroziune a armăturilor au fost puse la punct o serie de metode cu scopul de a stabili zonele potențiale de coroziune și viteza de dezvoltare a acestora, precum: determinarea curbei acțiunii clorhidrice, determinarea adâncimii de carbonatare a betonului și determinarea rezistivității.

Fenomenul declanșării coroziunii armăturilor din oțel în stâlpi include două etape: penetrarea stratului de acoperire cu beton de către agenții agresivi și respectiv declanșarea fenomenului de coroziune a armăturilor, atunci când aceștia ajung la o concentrație critică la nivelul armăturilor.

Curba sau profilul de difuzie a ionilor clorură. Ionii de clorură situați în porii stratului de acoperire cu beton pot coroda armăturile atunci când concentrația lor ajunge la o valoare critică, care depinde de pH-ul stratului de acoperire. Conținutul de ioni de clorură, variază în funcție de adâncimea din stratul de acoperire cu beton, alura acestei curbe de variație, fiind prezentată în Fig. 4.

Adâncimea carbonatării – dintre agenții cei mai nocivi se menționează dioxidul de carbon care poate micșora pH-ul stratului de acoperire cu beton a armăturii, conducând la declanșarea procesului de carbonatare a betonului și respectiv a procesului de coroziune a armăturii. Este important să se determine până la ce adâncime s-a produs penetrarea dioxidului de carbon.

Adâncimea de carbonatare se poate determina folosind un indicator colorat (fenolftaleină) care își schimbă culoarea în

funcție de gradul de carbonatare (Georgescu *et al.*, 2010).

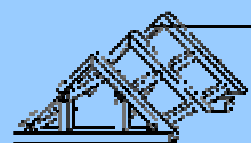
Mărimea adâncimii de carbonatare X_c se stabilește prin extragerea unei carote. Dacă stratul de acoperire cu beton este în totalitate carbonatat și dacă umiditatea relativă a mediului nu este prea scăzută, înseamnă că procesul de coroziune a armăturilor s-a declanșat.

Folosind legile difuziei și coeficienții măsurați ai difuziei, se pot trasa curbele conținutului ionilor Cl^- și OH^- la adâncimea x în funcție de timpul t . Fenomenul de coroziune se declanșează la intervalul de timp corespunzător punctului de intersecție al celor două curbe (Fig. 5).

Determinarea rezistivității – se bazează pe metoda determinării potențialului de electrod E existent între armătură și un electrod de referință (sulfat de cupru) amplasat pe suprafața betonului.

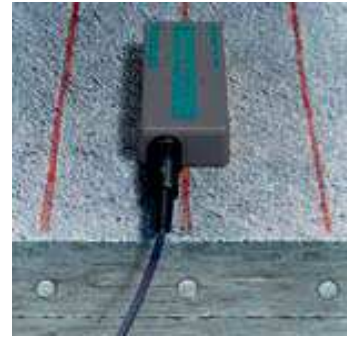
Măsurătorile se efectuează cu ajutorul unor aparate care stabilesc existența coroziunii prin scanarea suprafeței supuse încercării, determinând apariția potențialului electric produs datorită penetrării clorurilor din beton (acestea conduc la formarea unor zone anodice sau catodice cu diferențe mari de potențial electric între ele) (Fig. 6).

Exactitatea măsurărilor potențialelor pe un sector ajută la detectarea pe armături a sectoarelor corodate. Coroziunea elementelor de oțel în stratul de beton reprezintă un proces electrochimic. Sectorul cu pericol potențial, de pe suprafața de beton, este cercetat cu ajutorul unui electrod, denumit pereche microgalvanică și voltmetru cu rezistență înaltă.





a)



b)

Fig. 3. Pahometru tip PROCEQ PROFOMETER 5+ (a) cu sonda de palpate pentru determinarea diametrului și poziției armăturilor (b)

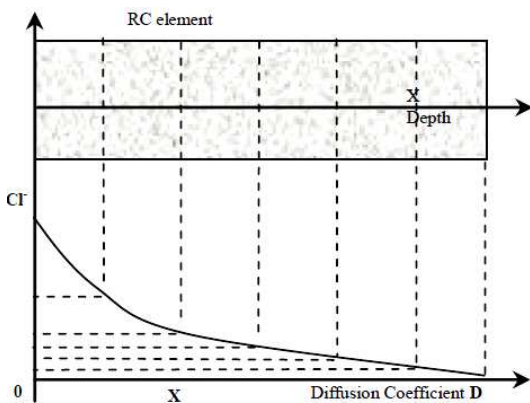


Fig. 4. Distribuția pe adâncimea elementului de beton a ionului de clorură

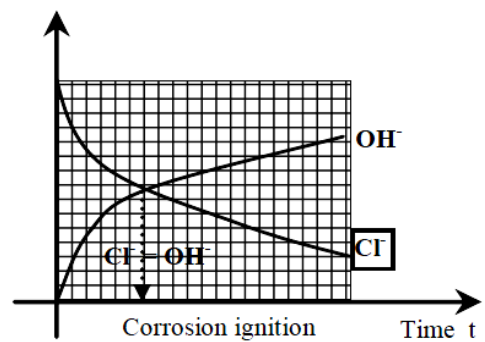
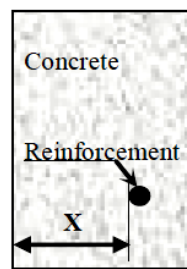


Fig. 5. Determinarea nivelului ionilor Cl⁻ sau OH⁻ pentru aflarea zonei de corodare a armăturii

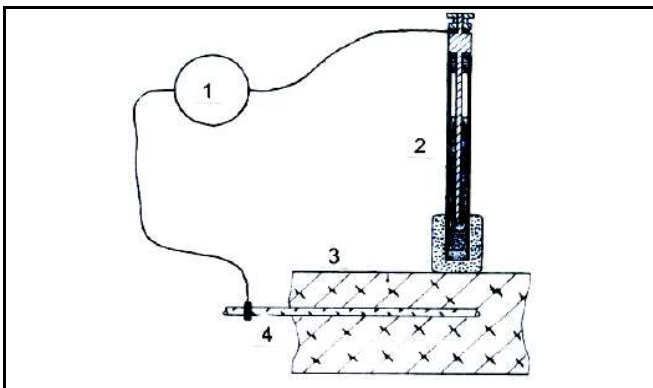
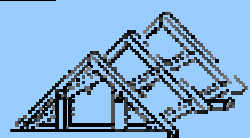


Fig. 6. Schema de determinare a coroziunii prin măsurarea rezistivității, în care: 1- microprocesor ; 2- dispozitiv pentru măsurarea potențialului de electrod a armăturilor de oțel; 3- element de beton; 4- armatură de oțel.

Detectarea coroziunii la faze incipiente este o procedură necesară pentru prevenirea unei distrugerii nedorite a structurii stâlpului. Metoda rezistivă se bazează pe variația rezistenței sau a conductivității electrice a betonului în curent alternativ sub influența modificării umidității sale.

4. Structura betonului și influența lui asupra rezistenței la coroziune a armăturii în fisuri

Fisurile tehnologice se formează la tratamentul hidrotermic nefavorabil al elementelor din beton precomprimit ori la răcirea bruscă a lor (Teoreanu I., *et al.*, 1982). Fisurile pot apărea în timpul



transportării și montării construcțiilor, la depozitarea și transportarea lor în poziția neprevăzută de calcul. În elementele solicitate la întinderea axială și în zona de întindere a elementelor încovoiate fisurile apar sub acțiunea sarcinilor variabile și permanente de exploatare ale construcțiilor (Deaconu, 2009).

Menținerea îndelungată a armăturii, la acțiunea mediului asupra stâlpului din beton precomprimat, este determinată de procesele neutralizării a betonului sau acumulării în el a ionilor - stimulatori de coroziune a oțelului. Este cunoscut faptul, că în construcțiile cu grosimi mici ai stâlpilor cu secțiune inelară, la densitatea insuficientă a betonului, spălarea calciului de apa infiltrată duce la coroziunea considerabilă a betonului (I tip de coroziune), iar starea armăturii nu determină durabilitatea construcției în întregime. La infiltrarea prin beton a apelor acide (II tip de coroziune) dizolvarea calciului crește puțin.

Apele mineralizate provoacă coroziunea betonului de tipul III, însă, dacă apa conține mulți ioni de clor, atunci pătrunderea lor la suprafața oțelului poate provoca coroziunea lui mai repede decât va fi distrus betonul din stratul de protecție.

Cum arată experimentele, coroziunea avansată a oțelului se observă des în rezultatul penetrării în beton a

sărilor, ce nimeresc pe suprafața lui sub formă de aerosoluri, împreună cu umiditatea atmosferică absorbită. Mecanismul transferării sărilor poate fi prezentat sub forma de două stadii (Fig. 7). Cum arată experiențele, procesul de carbonatare atinge și pereții fisurilor și zona contactului deteriorat al betonului cu armătura. Distanța, la care se răspândește carbonatarea în părți de la fisură, ca regulă, este proporțională mărimii deschiderii ei.

Fisura din beton, ce atinge suprafața armăturii stâlpului, ușurează pătrunderea substanțelor agresive, înlesnește deteriorarea locală a pasivității oțelului.

În Fig. 8 sunt arătate curbele de variație ale potențialului oțelului în beton, care arată, că la mărimea fisurilor de 0,2 mm și mai mult o micșorare bruscă a potențialului s-a observat după o lună, la 0,1 mm - după doua luni, iar la 0,05 - după trei luni.

Firește, că activitatea locală a suprafeței oțelului în zona intersectării lui cu fisura provoacă coroziunea localizată a oțelului. De aceea, la prezența fisurilor în beton, rezistența lui va depinde de particularitățile mecanismului și cineticii procesului de coroziune în diferite condiții de interacțiune a stâlpului cu mediul.

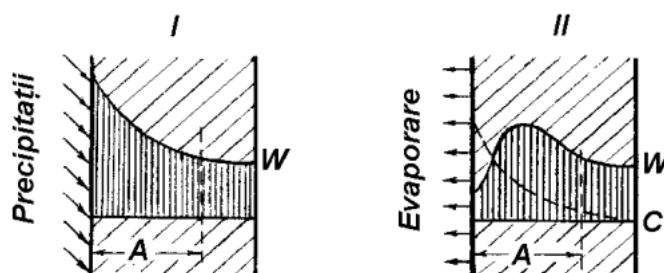
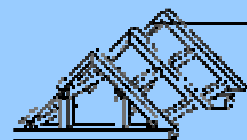


Fig. 7. Schema procesului de transfer al sărilor, la umectarea periodică a betonului stratului de protecție: I - umectare; II - uscare; W - umiditatea; C - concentrația sărilor; A - adâncimea umectării.

I - absorbția lichidului cu săruri la umectarea construcției în rezultatul potențialului capilar format; II - difuzia ionilor în adâncimea betonului sub acțiunea gradientului de concentrație format în procesul uscării.



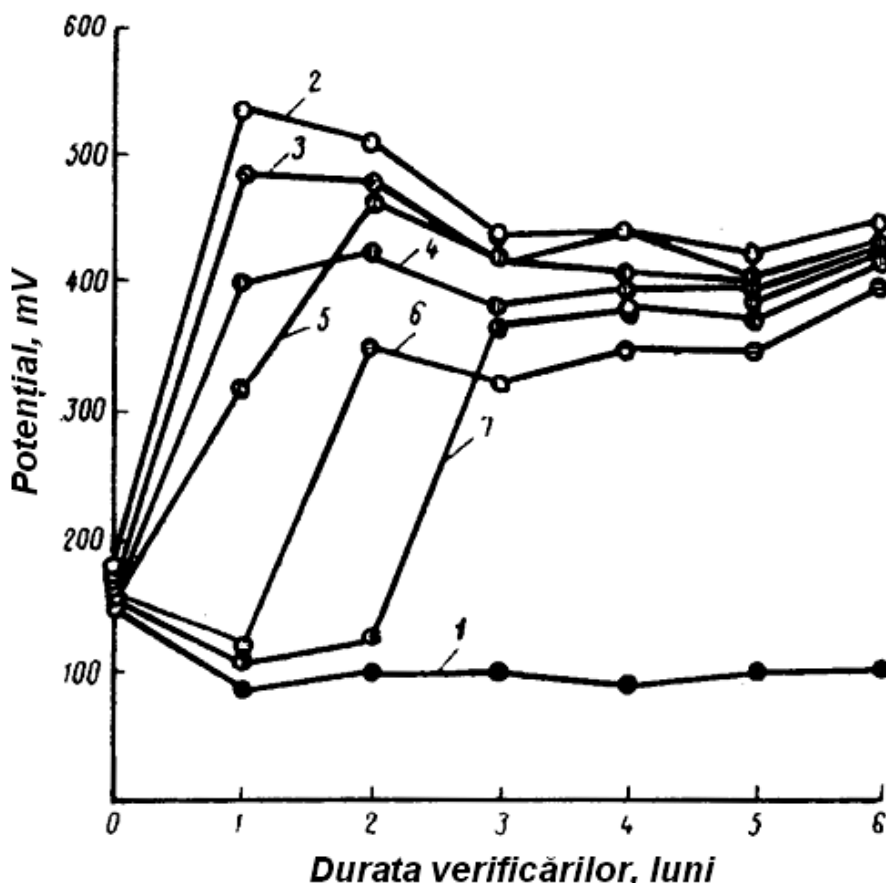


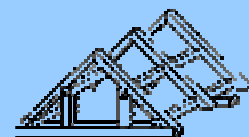
Fig. 8. Variația potențialelor ale oțelului în beton la umectarea periodică:
1 - fără fisuri; 2 - 7 - mărimea fisurilor corespunzător: 0,7; 0,5; 0,4; 0,2; 0,1; 0,05 mm.

5. Concluzii

- Stâlpii din beton precomprimat, cu secțiune inelară, folosiți pentru liniile electrice aeriene sunt supuși solicitărilor exterioare (încovoiere, forfecare, întindere, compresiune, torsiune etc.), ceea ce provoacă fisurarea stratului de protecție din beton a armăturilor.
- Fisurile în stâlpii din beton precomprimat pot apărea și din alte cauze: reacții chimice dintre alcalii și agregate, efectul ciclurilor de îngheț-dezghet, expansiunea armăturii corodate etc.
- Pentru determinarea gradului de coroziune a armăturilor au fost puse la punct o serie de metode cu scopul de a stabili zonele potențiale de coroziune și viteza de dezvoltare a acesteia, precum: determinarea curbei

acțiunii clorhidrice, determinarea adâncimii de carbonatare a betonului și determinarea rezistivității.

- Experimentele efectuate au arătat faptul, că coroziunea avansată a oțelului se observă des în rezultatul penetrării în beton a sărurilor, ce nimeresc pe suprafața lui sub formă de aerosoluri, împreună cu umiditatea atmosferică absorbită.
- Protecția la coroziune este decisiv influențată de adecvarea caracteristicilor betonului la cele ale mediului de expunere. Coroziunea armăturilor este datorată, în principiu, diminuării pH-ului soluției apoase din porii betonului și prezenței oxigenului în condițiile concentrării sarcinilor exterioare statice sau dinamice asupra stâlpilor din beton precomprimat.



BIBLIOGRAFIE

- Nuțiu C. (1998) - *Fisurabilitatea elementelor din beton parțial precomprinat*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca.
- Agent R., Banut V. (1979) *Calculul structurilor din beton armat cu stâlpi zvelți*, Editura Tehnica, București
- Textbook on Behaviour, Design and Performance Updated Knowledge of the CEB/FIP Model Code (2010), *Structural Concrete*
- Rusu I., Banu G., Croitoru G. (1998), *Calculation of the admissible aperture of cracks in brittle materials subject to cheery environment attacks and the protection*. Proceedings of the 37th International Seminar on Modelling and Optimization of Composites, "Modelling in materials science", Odessa, 5-6 mai 1998, MOK'37, 34 p.
- Budan C., Nicolae D., Adrănel M. (2010) *Aspecte privind coroziunea armăturii în beton*. Revista Română de Materiale. 2010, 40 (2), pag. 132 – 140.
- Georgescu D. (2001), *Îndrumător de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu anexa națională de aplicare a SR EN 206-1. Clase de durabilitate*, Tipografia Everest, București.
- Teoreanu I., Moldovan V. et al. (1982), *Durabilitatea betonului*, Editura Tehnică, București,
- Deaconu O. (2009), *Studiu privind comportarea la durabilitate a structurilor din beton armat supuse unor condiții normale de exploatare*, Facultatea de Construcții și Instalații a Universității „Transilvania”, Brașov,

Primit: 19 aprilie 2012 • **Acceptat în forma finală:** 12 iunie 2012

