

INFLUENȚA CALITĂȚII MEDIULUI ASUPRA DURABILITĂȚII ȘI COMPORTĂRII ÎN EXPLOATARE A UNOR ELEMENTE DE BETON ARMAT REABILITATE STRUCTURAL

Dr. ing. George M. CROITORU

Telekom R.M.C. S.A. București, România

REZUMAT. Cerința de durabilitate este una dintre cerințele fundamentale, care alături de cerințele de rezistență, stabilitate și siguranță în exploatare, trebuie satisfăcută în mod obligatoriu de un element de beton armat aflat în exploatare. Prezentul studiu analizează durabilitatea și comportarea în exploatare în condiții diferențiate de mediu a unor elemente de beton armat reabilitate structural. Analiza efectuată evidențiază importanța majoră a asigurării unui mediu de exploatare de calitate corespunzătoare (favorabil), acesta contribuind la creșterea duratei de serviciu a structurii și la menținerea unor costuri de mentenanță avantajoase.

Cuvinte cheie: durabilitate, comportare, beton armat, umiditate, coroziune, deteriorare, reabilitare.

ABSTRACT. Requirement of durability It is one of the fundamental requirements, along with the strength, stability and safety in operation requirements, must be satisfied by any elements of reinforced concrete that are in service. This study analysed the durability and the behavior in different conditions in service of reinforced concrete elements structurally rehabilitated. The analysis highlights major importance of ensuring a adequate quality in service. A good condition in service increase the service life of the structure and maintaining favorable maintenance costs.

Keywords: durability, behavior, reinforced concrete, humidity, corrosion, deterioration, consolidation.

1. CONFORMARE ȘI SPECIFIC STRUCTURAL

Conform SREN 1992-1-1:2004 Eurocod 2, o structură durabilă trebuie să satisfacă cerințele de aptitudine de exploatare, de rezistență și de stabilitate pe întreaga durată de utilizare din proiect, fără vreo pierdere semnificativă de funcționalitate și fără efectuarea unor lucrări de întreținere neprevăzute excesive [6].

În acest sens, cerința de durabilitate devine una dintre cerințele fundamentale, care alături de cerințele de rezistență, stabilitate și siguranță în exploatare, trebuie satisfăcută în mod obligatoriu de un element (sau o structură) de beton armat aflat în exploatare.

Obiectul prezentului studiu îl constituie analiza durabilității și comportării în exploatare a unor elemente de beton armat reabilitate relativ recent, cu conformare, poziționare și rol structural diferit, amplasate în cadrul unei construcții componente a unui obiectiv economic cu funcțiunea de producere a energiei electrice și termice.

Edificarea construcției analizate a început cu anul 1967 iar în prezent este încă în exploatare, după aproape 50 de ani de serviciu.

Dimensiunile acesteia sunt semnificative (în plan ocupă 39,00×135,00 m, existând tronsonare pe direcție longitudinală, iar înălțimea este de aprox. 35,00 m) [2], [5].

Elementele analizate se remarcă prin amplasarea în spații ale halei (fig.1) având caracteristici diferite din punct de vedere al calității mediului de exploatare [2], [5]:

– Elemente prefabricate de acoperiș (tip cheson nervurat cu dimensiunile 1,50×6,00 m, amplasat la cota +35,00m);

– Elemente executate monolit (stâlpi, grinzi, plăci de planșeu), componente ale unei structuri complet separate, însă amplasată la interiorul halei între cotele -4,00 ... +/-0,00 m. Acestea au fost proiectate pentru a putea susține echipamente tehnologice de greutate foarte mare, cu alcătuirii complexe, unele dintre acestea putând genera în exploatare și un anumit nivel de solicitări dinamice (vibrații). Înălțimea este redusă (4.00m), fiind impusă de specificul proiectului tehnologic inițial.

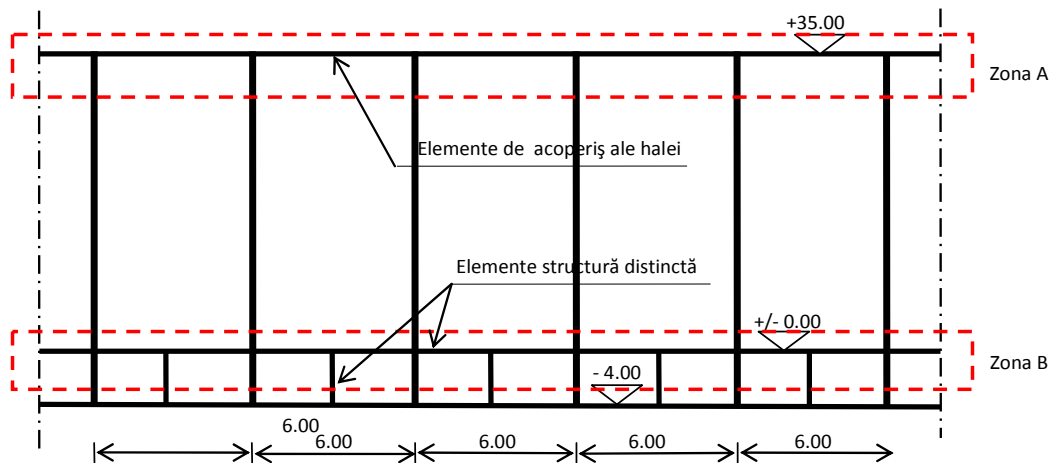


Fig. 1. Elevație tronson hală. Dispunere elemente structurale analizate și specificul mediului de exploatare [2], [5].

2. SPECIFICUL MEDIULUI DE EXPLOATARE

O perioadă importantă din istoricul de exploatare al obiectivului, din punct de vedere calitativ, mediul interior a fost diferențiat semnificativ pe diverse spații ale volumului halei, remarcându-se două zone distincte (fig. 1) [1], [2], [5]:

Zona A (intradusul acoperișului de la cota +35,00 m), caracterizată de un mediu în general favorabil:

- valori moderate ale umidității, întreținute de ventilare;

Zona B (între cotele -4,00 ... +/-0,00m), caracterizată de un mediu local agresiv:

- emisii semnificative de abur cald;
- scurgeri de apă fierbinte pe suprafețe extinse (traversate de trasee de conducte neconforme din punct de vedere al asigurării cerinței de etanșeitate);

- înregistrarea unor valori foarte ridicate ale umidității, menținute pe perioade îndelungate de timp, datorate în principal ineficienței sistemului de ventilare;

- menținerea unor suprafețe mari ale unor elemente de beton armat umede/acoperite temporar de pelicule de apă.

Chiar dacă în timp au fost efectuate lucrări de întreținere, mediul de exploatare a favorizat declanșarea și apoi evoluția în diverse faze de manifestare a fenomenului de coroziune a armăturilor și a betonului.

3. TIPURI DE DETERIORĂRI

Principalele tipuri de deteriorări ale structurii, constatate în urma cercetărilor vizuale efectuate (fig.1) sunt din cauze de durabilitate sau datorate intervențiilor locale efectuate în timp asupra structurii [2], [5], [7].

3.1. Deteriorări din cauze de durabilitate

Deteriorările din cauze de durabilitate au fost majore și sau manifestat prin [1], [3], [5]:

(1) *Coroziunea armăturii, dezvoltată până în stadiul de desprindere în produși de coroziune și respectiv, în final, dezintegrare completă.* Principalele cauze declanșatoare ale fenomenului de coroziune a barelor de armătură au fost: grosimea necorespunzătoare (valori minimale) a stratului de acoperire cu beton asociată cu carbonatarea betonului (diminuarea semnificativă a pH-ului soluției apoase din porii betonului și prezenței oxigenului).

Cauze secundare complementare, cu rol în amplificarea dezvoltării fenomenului de coroziune a oțelului, au fost concentrările locale de eforturi din sarcini statice și/sau dinamice pe parcursul istoricului de exploatare, posibil însoțite de manifestări ale curenților de dispersie (coroziune electrochimică).

(2) *Coroziunea betonului.* Principala cauză declanșatoare a fenomenului de coroziune a betonului a fost formarea unor produși de coroziune ai barelor de armătură (volumul produșilor de coroziune fiind de aproximativ 8 ori mai mare decât cel al metalului din care provin). Inițial, aceștia au produs apariția unor fisuri, iar cu timpul au favorizat dezvoltarea de crăpături și în final dislocarea stratului de beton de acoperire.

Cauze secundare complementare, cu rol în amplificarea dezvoltării fenomenului de coroziune a betonului, au fost dizolvarea unor produși de hidratare ai cimentului și posibil formarea unor produși de reacție ușor solubili.

La elementele de acoperiș ale halei situate în zona A (tip cheson nervurat) [2], deteriorările din cauze de durabilitate s-au manifestat, în general, printr-un nivel moderat al coroziunii armăturilor (fig. 2), datorită grosimii insuficiente a stratului de acoperire cu beton.



Fig. 2. Nivel mediu de deteriorare din cauze de durabilitate la cheson din beton armat, zona A (2011) [2].

În cazul grinzilor și planșelor din beton armat situate în zona B [1], [5] nivelul maxim de deteriorare cuprinde dezintegrarea aproape completă a unor armături datorită coroziunii și dislocarea stratului de beton de acoperire pe suprafețe extinse (fig. 3).



Fig. 3. Nivel maxim de deteriorare din cauze de durabilitate la planșeu din beton armat, zona B (2004) [5].

În cazul stâlpilor din beton armat din zona B, nivelul maxim de deteriorare cuprinde coroziunea intensă a barelor de armătură, însă fără a fi dezintegrate și dislocarea locală a stratului de beton de acoperire.

3.2. Deteriorări având alte cauze

Se remarcă în principal intervenții asupra unor plăci de planșeu prin practicarea unor străpungeri în vederea traversării unor tubulaturi tehnologice (pe zona B) [5].

4. ANALIZA PRIN CALCUL

Principalele concluzii ale verificărilor prin calcul efectuate [2], [5] evidențiază următoarele:

- în condițiile dimensionărilor inițiale ale elementelor și a nivelului de încărcări inițial/existent, capacitatea elementelor este corespunzătoare;
- în cazul chesoanelor de acoperiș din zona A, numai în situația reducerii ariei de armătură inițiale din nervurile longitudinale (datorită coroziunii) cu

aprox. 25-30%, capacitatea acestora devine insuficientă, fiind necesară consolidarea lor;

- în cazul grinzilor și planșelor din zona B, numai în situația reducerii ariei de armătură inițiale (datorită coroziunii) cu aprox. 45-50%, capacitatea acestora devine insuficientă, fiind necesară consolidarea lor.

5. REABILITARE STRUCTURALĂ

5.1. Încadrare în nivele de deteriorare

În vederea aplicării soluțiilor tehnice de intervenție, s-au stabilit următoarele nivele de deteriorare [2], [5]:

- (1A) Nivel maxim (numai pe zona B, fig. 3):
 - reducere cu peste 50% a ariei de armătură inițială datorită fenomenului de coroziune a oțelului;
- (1B) Nivel major (numai pe zona B):
 - reducere cu aprox. 25-50% a ariei de armătură inițială datorită fenomenului de coroziune a oțelului;
 - dislocări pe suprafețe extinse a stratului de acoperire datorită dezvoltării coroziunii betonului;
- (2) Nivel mediu (zona B, local zona A, fig. 2):
 - reducere sub 25% a ariei de armătură inițială datorită fenomenului de coroziune a oțelului;
 - declanșare a dislocării stratului de acoperire datorită fenomenului de coroziune a betonului;
- (3) Nivel minor (zona B și zona A):
 - declanșare a fenomenului de coroziune a oțelului;
 - apariție de fisuri și crăpături în stratul de acoperire datorită fenomenului de coroziune a betonului.

5.2. Soluții tehnice de intervenție

Pentru reabilitarea structurală a elementelor deteriorate, s-au adoptat soluții tehnice de intervenție în conformitate cu normele europene și românești actuale [2], [5], [6].

Au fost utilizate materiale moderne, cu performanțe superioare (betoane de clasă minimă C16/20 și mortare de reparații având $R_{compresie} = 55-65 \text{ N/mm}^2$ și $R_{incovoiere} = 8-10 \text{ N/mm}^2$).

S-a majorat grosimea stratului de acoperire cu beton, până la valorile de 20mm (plăci și chesoane) și respectiv 35mm (stâlpi și grinzi).

Principalele soluții tehnice de reabilitare structurală au fost adoptate în funcție de încadrarea în nivelele de deteriorare (pct. 5.1):

- (1) Nivel maxim/major (numai pe zona B) :
 - consolidare totală/ parțială cu beton armat
- (2) Nivel mediu (zona B și local zona A) :
 - consolidare parțială cu beton armat sau
 - reparații generale cu mortare speciale (tip epoxi).
- (3) Nivel minor (zona B și zona A) :
 - reparații locale cu mortare speciale (tip epoxi).

6. ANALIZA DURABILITĂȚII ȘI A COMPORTĂRII ÎN EXPLOATARE A ELEMENTELOR REABILITATE

6.1. Zone cu calitate îmbunătățită a mediului de exploatare (mediu favorabil)

Pe suprafețe extinse ale halei (integral pe zona A și în mare parte a zonei B), calitatea mediului de exploatare a fost îmbunătățită prin eliminarea emisiilor accidentale de abur cald și apă fierbinte și menținerea valorilor umidității în limite admisibile.

Principalele concluzii ale analizei de durabilitate a elementelor reabilite structural și aflate în exploatare în zone cu un mediu favorabil, sunt [1], [2], [5]:

- nu au fost observate deteriorări din cauze de durabilitate;
- comportarea în exploatare a elementelor este corespunzătoare (fig. 4 – zona A, fig. 5 – zona B).

6.2. Zone cu calitate parțial îmbunătățită a mediului de exploatare (mediu agresiv)

Pe suprafețe locale ale halei (zona B), calitatea mediului de exploatare a fost îmbunătățită doar parțial, menținându-se încă emisii de abur cald.

Acestea întrețin o umiditate peste limitele unor valori admisibile, generând un mediu de exploatare agresiv față de armături și beton.

Principalele concluzii ale analizei de durabilitate a elementelor reabilite structural și aflate în exploatare în zone cu un mediu (încă) agresiv, sunt [1], [2], [5]:

- timpul de apariție (redeclanșare) a fenomenului de coroziune a armăturilor, ca efect distructiv major, se apreciază ca fiind de minimum doi ani [3];
- au fost observate noi deteriorări din cauze de durabilitate, în principal coroziune a betonului declanșată prin dezvoltarea unor produși de coroziune ai barelor de armătură;
- comportarea în exploatare a unor elemente este necorespunzătoare, fiind necesare intervenții viitoare (fig. 6 – zona B).

7. CONCLUZII

Principalele concluzii ale influenței calității mediului asupra durabilității și comportării în exploatare a unor elemente de beton armat reabilite structural, sunt:

- istoricul de exploatare al obiectivului, evidențiază două zone distincte ca agresivitate a mediului (zona A situată la intradosul acoperișului de la cota +35,00 m și zona B situată între cotele -4.00 ... +/-0,00 m);



Fig. 4. Cheson de beton armat consolidat cu mortar special de reparații [2]. Comportare bună în exploatare (zona A).



Fig. 5. Planșeu de beton armat consolidat cu mortar special de reparații [5]. Comportare bună în exploatare (zona B).



Fig. 6. Grindă de beton armat consolidată cu beton armat. Comportare necorespunzătoare în exploatare (zona B) [1].

- deteriorările majore s-au întâlnit, în principal, la elemente din zona B, având cauze de durabilitate;
- manifestarea deteriorărilor s-a realizat sub forma coroziunii barelor de armătură ce au evoluat maximal până la dezintegrare completă și coroziuni ale betonului pe suprafețe extinse;
- principalele cauze ale coroziunii armăturilor au fost grosimea insuficientă a stratului de acoperire cu beton asociată cu fenomenul de carbonatare a betonului;
- coroziunea betonului a fost cauzată, în principal, de dezvoltarea unor produși de coroziune ai armăturilor;
- reabilitarea structurală s-a executat prin consolidări cu beton armat și reparații cu mortare speciale;
- până în prezent, calitatea mediului de exploatare a fost îmbunătățită semnificativ, însă nu în totalitate, menținându-se încă zone cu un mediu agresiv (pe zona B), fiind observate noi deteriorări din cauze de durabilitate (coroziune a betonului și armăturii, fig. 6);
- pe zonele halei în care calitatea mediului de exploatare a fost îmbunătățită (mediul devenind favorabil), nu au fost constatate deteriorări din cauze de durabilitate, iar comportarea în exploatare a elementelor reabilite a fost corespunzătoare (fig. 4, fig. 5);
- analiza durabilității și a comportării în exploatare a unor elemente de beton armat reabilite structural, evidențiază importanța majoră a asigurării unui mediu de exploatare de calitate corespunzătoare (favorabil);

- un mediu de exploatare favorabil va contribui la creșterea duratei de serviciu a structurii și la menținerea unor costuri de mentenanță avantajoase.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Croitoru, G., Popaescu, A., *Some conclusions of durability and behavior of structural rehabilitation solutions applied to deteriorated reinforced concrete elements after ten years of intervention*, International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, 2015, Leipzig, Germany.
- [2] Croitoru G., Simionescu M., *Documentație tehnică pentru reparare acoperiș existent din elemente de tip cheson din beton armat*, 2011, București, România.
- [3] Budan C., Stoica D., Cotescu A., *Aspecte privind coroziunea armăturii în beton*, Revista Română de Materiale, **40** (2), 2010, București, România.
- [4] Popaescu A., Deaconu O., *Rehabilitation of a grain concrete silo constructed by slip form method*, International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, 2005, Cape Town, South Africa.
- [5] Popaescu, A., *Technical expertise for reinforced concrete floor, columns and beams of the turbine hall of electric and thermal power station*, 2003, Bucharest, Romania.
- [6] SR EN 1992-1-1 (2004). Eurocode 2, *Proiectarea structurilor de beton – Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri*.
- [7] GM 018-03, *Ghid privind investigarea și diagnosticarea stării structurilor din beton armat, beton precomprimat și oțel situate în medii agresive*, Buletinul Construcțiilor, **6**, 2004, INCERC București, România.
- [8] CEB Bulletin Nr. 183 (1989) – *Durable Concrete Structures. Design Guide*.

Despre autor

Dr. ing. **George M. CROITORU**
Telekom R.M.C. S.A. București, România

Este absolvent al Universității Tehnice de Construcții din București, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole (1994); master în construcții (1995). A obținut titlul de doctor în domeniul Inginerie Civilă cu o temă referitoare la comportarea la solicitările de încovoiere și torsiune a unor stâlpi din beton armat prefabricat (2011). Activitate de cercetare științifică în cadrul Institutului de Cercetări în Construcții INCERC București (1994-2000; din anul 1998 cercetător științific). Experiență de proiectant pentru structuri din beton armat, metal și zidării (din anul 2002) și în domeniul certificării de conformitate a elementelor prefabricate din beton armat și precomprimat (din anul 2006). Diriginte de șantier atestat pentru toate categoriile de importanță ale construcțiilor (din anul 2008).