

**CONFERINȚA INTERNAȚIONALĂ**  
*The International Conference*

---

**DURABILITATEA BETOANELOR  
ȘI LUCRĂRILOR DIN BETON**

***DURABILITY OF CONCRETE AND  
CONCRETE WORKS***

**București – România, 25 – 30 septembrie 2005**  
*Bucharest - Romania 25 – 30 September 2005*

## ANALIZA STĂRII DE DEGRADARE A UNOR ELEMENTE STRUCTURALE DIN BETON ARMAT, LA UN PRODUCĂTOR DE CELULOZĂ ȘI HÂRTIE

Petru Rapișcă – conf. dr. ing. Univ. „Transilvania” Brașov, Fac. de Construcții

Ioan Tuns – conf. dr. ing. Univ. „Transilvania” Brașov, Fac. de Construcții

La solicitarea proprietarului fabricii de celuloză și hârtie s-au inspectat și verificat o serie de elemente structurale aparținând halelor de producție fierbătorie și albitorie, ce prezentau puternice degradări datorate coroziunii chimice (proceselor tehnologice de fabricație). Criteriile de apreciere a stării de degradare a betonului și armăturii pe baza datelor obținute prin investigare directă și determinări de laborator constituie tema principală a prezentului articol.

There have been inspected and verified some structural elements belonging to the Boilery and Whitening industrial units, which are strongly affected due to chemical corrosion (from specific technological processes), at special request of the factory owner. The aim of the article is to present appreciation criterions of degradation level regarding concrete as well as reinforcement bars, based on data acquired from direct investigation and laboratory tests.

### Introducere

Diagnosticarea și prognozarea stării tehnice a elementelor structurale de beton armat din halele amintite sunt necesare întrucât clădirile respective au un grad mare de expunere la agresivitatea chimică, prezentând din acest punct de vedere un factor de risc foarte ridicat pentru stabilitatea generală a structurilor. Cele două secții au fost executate între anii 1949-1954 și datorită acestui fapt nu s-au putut găsi la arhiva fabricii proiectele originale și alte informații privind cartea construcției. Acest lucru a îngreunat foarte mult aprecierea stării de degradare și pentru aceasta s-au prelevat probe pentru determinarea claselor de beton, a densității aparente, a porozității și compactității betoanelor, s-au făcut încercări fizico-mecanice pe epruvete de oțel-beton extrase din stâlpi și s-a realizat pahometria pentru determinarea poziției armăturilor. Carotele extrase au fost investigate în laborator privind gradul de contaminare chimică, apreciindu-se adâncimea efectelor corosive în beton, adâncimea și deschiderea fisurilor.

Pentru exemplificarea stării de degradare se prezintă următoarele fotografii realizate pe unele elemente structurale.



Foto 1: Aspecte de stâlpi, secția Fierbătorie și Albitorie, la cota  $\pm 0,00$  și  $+ 13,50$

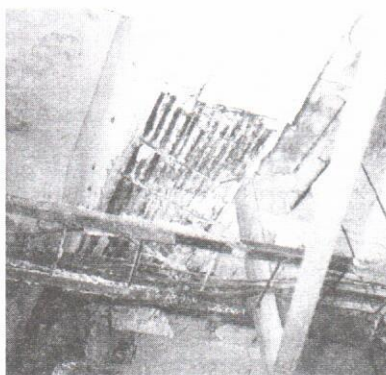
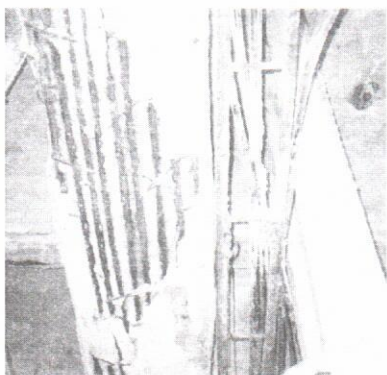


Foto 2: Aspecte caracteristice ale degradării betonului și armăturii produsă de ionii de clor, la o grindă secundară și principală, de la cota +20,50 – secția Albitorie

Analiza completă a stării de degradare a elementelor structurale de beton armat din secțiile amintite, este prezentată sintetizat sub forma unui sistem unitar de diagnosticare și prognozare, condus tabelar.

Se prezintă releveele de la secția Fierbătorie, cota ± 0,00, secția de Albitorie, cota + 13,50, secțiune și armare prin stâlpii de la secția de Albitorie și două grinzi principale ale planșeului de la cota + 18,50, la secția de Albitorie.

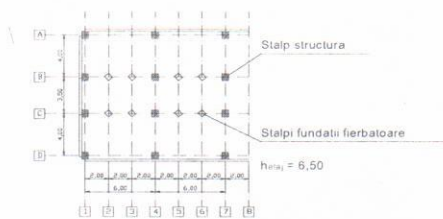


Fig. 1 - Secție Fierbătorie, plan cota ± 0,00

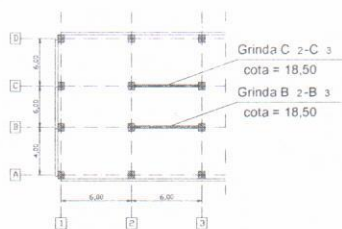


Fig. 2 – Secție Albitorie, plan cota +13.50

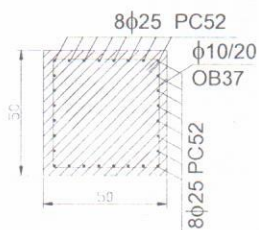


Fig. 3 – Stâlpi C1, C2, C3, B3 – secțiune și armare.

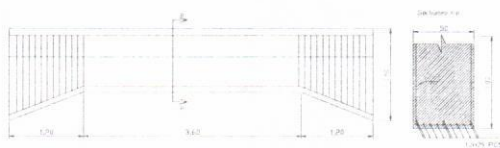


Fig. 4 – Grinzi B2-3, si C2-3 – secțiune și armare

Tabelul 1 Analiza documentației tehnice și a condițiilor de exploatare la obiectivele  
 - - - - -

Obiectivul	Elementul	Tipul	Nivel	Sectiuna	Armare	Informații din exploatare	Starea tehnica a utilajelor și instalatilor
Fierbatore	stălp	A1	±0,00	80X80 cm	OB38, $\phi$ 36 OB38, $\phi$ 8/30	Acțiune coroziva de tip sulfatic in preponderenta combinata si cu prezenta ionilor de clor.	Utilaje cu uzura fizica și morala foarte mare. Instalatiile tehnologice invecinate in functiune de cca 70, fapt ce genereaza pierden și scurgeri intense de produse chimice îndurate care acționeaza in mod direct asupra staturilor de beton armat ale halelor.
	stălp	A4	±0,00	80X80 cm	OB38, $\phi$ 36 OB38, $\phi$ 8/30		
	stălp	A7	±0,00	80X80 cm	OB38, $\phi$ 36 OB38, $\phi$ 8/30		
	stălp	A8	±0,00	50X55 cm	OB38, $\phi$ 20 OB38, $\phi$ 8/20		
Albitorie a.	stălp	C1	+13,50	50X50 cm	PC52, $\phi$ 25 OB37, $\phi$ 10/20	Acțiune coroziva intensa specifica atacului cu ioni negativi de clor. Temperatura ridicata, umiditate ridicata	
	stălp	C2	+13,50	50X50 cm	PC52, $\phi$ 25 OB37, $\phi$ 10/20		
	stălp	C3	+13,50	50X50 cm	PC52, $\phi$ 25 OB37, $\phi$ 10/20		
	stălp	B3	+13,50	50X50 cm	PC52, $\phi$ 25 OB37, $\phi$ 10/20		
	grndă	B2-3	+18,50	50x 100 cm, 50x150 cm	PC52, $\phi$ 25 OB37, $\phi$ 10/20		
	grndă	C2-3	+18,50	50x 100 cm, 50x150 cm	PC52, $\phi$ 25 OB37, $\phi$ 10/20		

Tabelul 2 – Investigarea stării de degradare, direct pe elementul cercetat și examinare

Obiectivul	Structură	Elementul	Nivel	Rezultatele cercetării			
				a) Aprecierea modificării stării betonului	b) Prezența defectelor sau degradărilor locale	c) Modificarea stării geometrice	d) Starea armăturii vizibile
Fierbatore	SA1	stălp	±0,00	Protecție anticoroziva distrusa, bgl00, degradat stratul de acoperire cu beton distrusa parțial sau total.	Fisuri orizontale, dar se constata și fisuri longitudinale in lungul stălpilor, după directia armaturilor verticale.	S-au distrus muchiile, s-au micșorat secțiunile orizontale	Armatura corodată puternic mai ales la stălpii la care s-a distrus betonul de acoperire.
	SA4	stălp	±0,00	2)	3)	4)	Se vor detalia dimensiunile reale ale
	SA7	stălp	±0,00	5)	6)	7)	armaturilor in
	SA8	stălp	±0,00	8)	9)	10)	tabelele viitoare (vezi fișele cu centralizatorul incercărilor efectuate S.C. C-OB-C-S.A.)
Albitorie a.	SC1	stălp	+13,50	Beton degradat prin acțiunea chimica specifica clorului. Acoperire de beton insuficienta sau lipseste datorita defectunilor de geometrie.	Fisuri verticale dese paralele cu armatura longitudinala. Unii stalpi prezinta segregan locale din turnare in anumite zone.	11)	
	SC2	stălp	+13,50	12)	13)	14)	
	SC3	stălp	+13,50	15)	16)	17)	
	SB3	stălp	+13,50	18)	19)	20)	
	GB2-3	grndă	+18,50	21)	22)	23)	
	GC2-3	grndă	+18,50	24)	25)	26)	



Tabelul 3 – Investigarea stării de degradare, direct pe elementul cercetat și determinări simple în sistem

Obiectivul	Structura Ax	Elementul	Nivel	Rezultatele cercetării						
				α)Caracteristici geometrice reale și modificări apărute prin reabilitări efectuate pe parcurs	β)Starea de deformare a elementului natura și gravitatea acestuia	γ)Caracteristici mecanice ale betonului în profunzime, stabilite prin încercări nedistructive	δ)Confecții metalice atașate sau înglobate în beton. Efectuarea de spargeri sau reparații neinspirate (găuri, prezența ipsosului)	ε)Defecte ascunse ale betonului și armăturii (segregări, caverne, fisuri etc.	ζ)Modul de prezentare al stratului superficial (de acoperire) de beton	η)Particularități ale stării de fisurare
Fierbătorie	SA1	stâlp	+0,00	80X80 cm	Abateri de la verticala pe X cu $\Delta X = 108 \text{ mm}$	16,8 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat	Segregari la baza, fisuri verticale si orizontale	Betonul de acoperire a fost realizat neuniform iar prescripțiile de proiectare din anii 50-60 conduc la realizarea acoperirii $g=2,5 \text{ cm}$ .	Fisuri orizontale si verticale care indica o coroziune sulfatica combinate cu coroziune de clor
	SA4	stâlp	+0,00	80X80 cm	Nu are	17,9 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat	Nu se constata		
	SA7	stâlp	+0,00	80X80 cm	Nu are	14,8 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat	Segregari in treimea superioara		
	SA8	stâlp	+0,00	50X55 cm	Abateri de la verticala pe y cu $\Delta Y = 75 \text{ mm}$	17,4 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat	Fisuri verticale si orizontale		
Albitorie α.	SC1	stâlp	+13,50	50X50 cm	Nu are	14,3 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat	Segregari locale pe suprafata		Fisuri longitudinale in lungul armaturii verticale din coroziunea cu ioni negativi de clor
	SC2	stâlp	+13,50	50X50 cm	Abateri de la verticala pe X = 35 si pe Y = 50 mm	15,4 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat			
	SC3	stâlp	+13,50	50X50 cm	Nu are	13,5 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat			
	SE3	stâlp	+13,50	50X50 cm	Dimensiuni mai mari 50 x 65	14,6 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat			
	GB2-3	grindă	+18,50	50x100 (150)	b = 55 cm Sageata ~ 86 mm	14,2 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat	Strat de acoperire expulzat	portiiuni ale structurilor. La elementele analizate stratul de acoperire era expulzat in totalitate datorita atacului intens	Fisuri haotice cu deschideri de 0,5 - 1 mm
	GC2-3	grindă	+18,50	50x100 (150)	Sageata ~ 98 mm	15,6 N/mm <sup>2</sup>	Nu s-au identificat	Prin corodarea armaturii cu ioni negativi de clor		

Tablul 4 - Investigarea stării de degradare, direct pe elementul cercetat și evaluări prin precizia de probe

Obiectivul	Nivel	Rezultatele cercetării			
		α) Grosimea reală a stratului de acoperire cu beton	β) Determinarea a adâncimii betonului care a suferit transformări fizice și chimice	γ) Determinarea concentrației ionilor agresivi	δ) Examinarea și recoltarea de probe în vederea efectuării studiilor de laborator
Fierbatone	±0,00	2,5 cm		Conf STAS 3349/2-83 $SO_4^{2-} \text{ mg/dm}^3 > 5000$	Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
	±0,00	2,1 cm		$Cl^- \text{ mg/dm}^3 > 2800$	Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
	+0,00	2,4 cm			Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
	±0,00	2,5 cm			Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
Albetone α	+13,50	1,5 cm		$Cl^- \text{ mg/dm}^3 > 6000$	Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
	+13,50	1,8 cm			Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
	+13,50	2,2 cm			Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
	+13,50	2,5 cm			Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
	+18,50	2,5 cm		$Cl^- \text{ mg/dm}^3 > 6000$	Carota $\phi 10$ cm L=10 cm
	+18,50	2,6 cm			Carota $\phi 10$ cm L=10 cm

Tablul 5 - Investigarea stării de degradare determinări de laborator

Obiectivul	Structură Ax	Elementul	Nivel	Rezultatele cercetării												
				I) Incercări fizico-mecanice ale betonului			II) Determinarea alcalinității betonului			III) Determinarea concentrației ionilor agresivi		IV) Determinarea unor caracteristici fizico-chimice ale betonului			V) Evaluarea stării de degradare a armăturii	
				α)	β)	Media	120 $K_{ij}$	$K_c$	$K_{Hj}$	ca în beton	γ	Com-	Porozitate	Incercan mecanice		
Fierbatone	SA1	stâlp	±0,00	16,8	18,7	17,75	mg/dm <sup>3</sup>			$SO_4^{2-} = 4570$ mg/dm <sup>3</sup>	2359	94,3%	5,7%	24,8 dalN/mm <sup>2</sup>		
	SA4	stâlp	±0,00	17,9	15,3	16,60	Se considera $K_{ij} = 1, K_c = 1, K_{Hj} = 1,1$				2350	93,4%	6,6%	23,2 dalN/mm <sup>2</sup>		
	SA7	stâlp	±0,00	14,8	15,7	15,25	$Cl^- = 2180$ mg/dm <sup>3</sup>				2343	92,9%	7,1%	22,3 dalN/mm <sup>2</sup>		
	SA8	stâlp	±0,00	17,4	20,1	18,75	$Cl^- = 1$ pentru ambele secțiuni a calculat agresivitatea de dezalcalinizare = 130 beton agresat de soluțiile de dezalcalinizare				2361	94,7%	5,3%	25,9 dalN/mm <sup>2</sup>		
Albetone α	SC1	stâlp	+13,50	14,3	13,6	13,90	$Cl^- = 6130$ mg/dm <sup>3</sup>			2331	93,1%	6,9%	34,8 dalN/mm <sup>2</sup>			
	SC2	stâlp	+13,50	15,4	12,8	14,10				2370	93,3%	6,7%	37,3 dalN/mm <sup>2</sup>			
	SC3	stâlp	+13,50	13,5	14,8	14,95				2366	92,9%	7,1%	38,4 dalN/mm <sup>2</sup>			
	SB3	stâlp	+13,50	14,6	15,3	14,90				2340	94%	6,0%	33,5 dalN/mm <sup>2</sup>			
	GB2-3	grindă	+18,50	14,2	12,3	13,25				2326	91,3%	8,7%	29,6 dalN/mm <sup>2</sup>			
	GC2-3	grindă	+18,50	15,6	16,4	16,00				2358	94,2%	5,8%	32,6 dalN/mm <sup>2</sup>			

Tabelul 4 – Criterii de apreciere a durabilității și a stadiului de dezcalcinizare al betonului

Φ-diametrul armăturii  
a-acoperirea cu beton  
V<sub>c</sub>-viteza de dezvoltare a coruziunii

Obiectivul	Structură Ax	Elementul	Nivel	I) Adâncimea de dezcalcinizare a betonului determinată analitic [mm]							Adâncimea de dezcalcinizare determinată experimental h <sub>dez</sub> %	Factor de corecție δ <sub>dez</sub> %	II) Perioada de dezcalcinizare a stratului de acoperire			Valoarea corectată a duratei de dezcalcinizare t <sub>cor</sub> [ani]	III) Timpul suplimentar de carbonatare al betonului			
				R <sub>b</sub>	c	k	d	t	H <sub>dez</sub>	a			t <sub>0</sub>	t <sub>dez</sub>	Φ		V <sub>c</sub>	T <sub>sup</sub>		
				N/mm <sup>2</sup>				ani	mm	mm			ani	ani	mm		mm/ani	ani		
Fierbatorie	SA1	stâlp	+0,00	17,75	1,00	1,00	1,00	40	56	120	Se aplica un factor de corecție global δ <sub>dez</sub> = 121,3 %	25	50	NU este necesar. Stratul de acoperire este expulzat	Nu mai este necesar de a se calcula - secțiunile de beton sunt dezcalcinizate în proporție de până la 50 %	32,0	15/an	Elementele trebuie consolidate pe baza unui proiect intrucat si-au pierdut capacitatea portanta		
	SA4	stâlp	+0,00	16,60	1,00	1,00	1,00	40	48	120		25	50			32,5				
	SA7	stâlp	+0,00	15,25	1,00	1,00	1,00	40	41	120		25	50			31,9				
	SA8	stâlp	+0,00	18,75	1,00	1,00	1,00	40	59	120		25	50			32,0	↓			
Albitorie α	SC1	stâlp	+13,50	13,90	1,10	1,00	0,95	28	35	96		25	35			20,0	12/an			
	SC2	stâlp	+13,50	14,10	1,10	1,00	0,95	28	38	96		25	35			21,4				
	SC3	stâlp	+13,50	14,95	1,10	1,00	0,95	28	40	96		25	35			22,0				
	SB3	stâlp	+13,50	14,90	1,10	1,00	0,93	28	40	96		25	35			20,7				
	GB2-3	grindă	+18,50	13,25	1,12	1,00	0,88	28	31	96		25	35			18,0				
	GC2-3	grindă	+18,50	16,00	1,14	1,00	0,84	28	47	96		25	35			19,1	↓			

- R<sub>b</sub> – rezistența la compresiune a betonului;  
c – coeficient de influență a tipului de ciment;  
k – coeficient de influență al condițiilor de mediu;  
d – coeficient de influență al concentrației de CO<sub>2</sub>(Cl-);  
t – durata de acțiune a mediului agresiv;  
h<sub>dez</sub> – valoarea adâncimii de dezcalcinizare stabilită experimental;  
δ<sub>dez</sub> – factor de corecție;  
t<sub>dez</sub> – durata de dezcalcinizare completă a stratului de acoperire calculată;  
d – grosimea inițială a stratului de acoperire;  
t<sub>0</sub> – durata de exploatare a elementului;  
t<sub>cor</sub> – valoarea corectată a duratei de dezcalcinizare.

$$h_{dez} = \frac{150ckd}{R_b} \sqrt{t}; \quad t_{sup} = \frac{0,08a}{\Phi V_c}; \quad \delta_{dez}\% = \frac{h_{dez} - h_{dez}}{h_{dez}} \cdot 100; \quad t_{dez} = \left( \frac{a}{h_{dez}} \right) t_0; \quad t_{cor} = \delta_{dez} \cdot t_{dez}$$



Tabelul 5 - Criterii de apreciere a durabilității și gradul de degradare a armăturii

Obiectivul	Structură Ax	Nivel	I) Gradul de reducere a secțiunii barelor (%)			II) a (mm)	III) Micșorarea duratei de exploatare Tex (ani)	IV) Gradul de reducere a rezistenței (%)			V) Gradul de reducere a alungirii din (%) coroziune			
			$d_0$ (mm)	$d_m$ (mm)	$K_A^{CO} = \frac{d_0^2 - d_m^2}{d_0^2} \cdot 100$ (%)			$R_i$ N/mm <sup>2</sup>	$R_{ef}$ N/mm <sup>2</sup>	$\Delta R\% = \frac{R_i - R_{ef}}{R_i} \cdot 100$ (%)	$A_0$ (%)	$Pr = A_0 \cdot K_A^{CO} / 100$ (%)	$K_A^{al} = 2.5 \cdot (K_A^{CO})^2$ (%)	
Fierbatoare	SA1	+0,00	36	32,0	21	25	S-a oprit producția în ambele secții structurale nu mai prezintă nicio garanție privind rezistența și stabilitatea. S-a propus realizarea unui proiect de consolidare a structurii	37	24,8	33,0 %	Având în vedere punctul III nu mai este necesară analiza de la punctul V			
	SA4	+0,00	36	32,5	18	25		37	23,2	37,3 %				
	SA7	+0,00	36	31,9	21	25		37	22,3	39,7 %				
	SA8	+0,00	36	32,0	23	25		37	25,9	30,0 %				
	SC1	+13,50	25	20,0	36	25		51	34,8	31,8 %				
Albitorie α	SC2	+13,50	25	21,4	27	25		51	37,3	26,8 %				
	SC3	+13,50	25	22,0	23	25		51	38,4	24,7 %				
	SB3	+13,50	25	20,7	31	25		51	29,6	42,0 %				
	GB2-3	+18,50	25	18,0	48	25		51	32,6	36,1 %				
	GC2-3	+18,50	25	19,1	42	25		51	33,8	34,3 %				

- $d_0$  - diametrul inițial al armăturii;  
 $d_m$  - diametrul mediu al armăturii corodate;  
 $K_A^{CO}$  - gradul de reducere a secțiunii armăturii datorită coroziunii;  
 $a$  - grosimea stratului de acoperire cu beton;  
 $t_m$  - timpul mediu de exploatare, funcție de „a” și „ $K_A^{CO}$ ”;  
 $R_i$  - rezistența inițială de rupere prin întindere a armăturii;  
 $R_{ef}$  - rezistența efectivă de rupere prin întindere a armăturii;  
 $\Delta R\%$  - reducerea procentuală a rezistenței de rupere prin întindere;  
 $A_0$  - valoarea normală a alungirii la rupere;  
 $K_A^{al}$  - gradul de reducere a alungirii armăturii la rupere datorită coroziunii.

Din interpretarea rezultatelor se pot trage următoarele concluzii:

Datorită coroziunii armăturii, a distrugerii stratului de acoperire dar și a micșorării diametrelor armăturii precum și a caracteristicilor mecanice ale betonului stabilite prin încercări nedistructive și distructive, s-a luat măsura sistării activității productive și s-a propus realizarea unor proiecte de consolidare a elementelor structurale, având în vedere și diminuarea rezistenței armăturilor cu până la 42 %.

#### BIBLIOGRAFIE

- Bob, C., „Verificarea calității, siguranța și durabilitatea construcțiilor”, Editura Facla, Timișoara, 1989  
 Bob, C., „Monitorizarea și strategia de întreținere a construcțiilor - Conferința Națională Comportarea în SITU a Construcțiilor”, Buziaș, 1-3 oct. 1998  
 Răpășcă, P., Florea, N., „Aspecte ale degradării betonului armat”, Editura Tehnică Științifică și Didactică CERMI, Iași, 2003  
 Oneț, T., Terța, I., „Verificarea calității construcțiilor de beton armat și precomprimat”, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1979  
 Oneț, T., „Durabilitatea betonului armat”, Editura Tehnică București, 1994