

Procedee de investigare și reabilitare structurală a unor clădiri expuse mediului corosiv de exploatare

Methods of investigation and rehabilitation of buildings exposed to corrosive operating environment

Ioan Tuns¹, Florin-L. Tămaș²

¹Universitatea Transilvania din Brașov, Romania
Facultatea de Construcții,
Str. Turnului, nr. 5,
e-mail: ioan.tuns@unitbv.ro,

²Universitatea Transilvania din Brașov, Romania
Facultatea de Construcții,
Str. Turnului, nr. 5,
e-mail: florin.tamas@gmail.com

Rezumat: *coroziunea chimică este principala cauză de degradare a structurilor din beton armat cu sistem de operare extins într-un mediu chimic agresiv. Ca rezultat al acțiunii chimice, un număr semnificativ de clădiri industriale dezvoltate și exploatate în industria chimică de dinainte de 1989 au suferit stări de degradare pronunțate. Lucrarea tratează aspecte teoretice și practice legate de procedurile de investigare, diagnostic și reabilitare a unei structuri de beton de la platforma de coloranți "COLOROM" Codlea. Soluția de reabilitare propusă a condus la restaurarea capacității portante de avariere a structurii la o asigurare de 130%.*

Cuvinte cheie: reabilitare, coroziune chimică, structură, stare de degradare, consolă scurtă de beton, cămașă rigidă din beton.

Abstract: *Chemical corrosion is the main cause of degradation of reinforced concrete structures with extended operating system in an aggressive chemical environment. As a result of chemical action a significant number of industrial buildings developed and operated in the chemical industry before 1989 suffered pronounced degradation state. The paper treats theoretical and practical aspects related to procedures for investigation, diagnosis and rehabilitation of a concrete structure from dyes platform „COLOROM” Codlea. Rehabilitation solution proposed leads to the restoration of damaged structure capacity to a level 130 % higher than that of the undamaged state.*

Key words: chemical corrosion, structural rehabilitation, state of degradation, short concrete console, rigid concrete shirt.

1. ELEMENTE DE PREZENTARE GENERALĂ

1.1 Situația existentă

Mediul agresiv de exploatare a clădirilor de pe platforma “COLOROM” Codlea și CELOHART SA Zărnești și-a pus puternic amprenta, în timp, asupra stării structurale a elementelor componente.

Procesele tehnologice desfășurate în secțiile de producție au determinat asupra acestora degradări structurale importante ca urmare a creșterii concentrației în aer a ionilor de Cl^- , SO_4^{2-} , a scurgerilor de ape încărcate cu substanțe chimice și a acțiunii îndelungate a CO_2 .

Natura agenților chimici corozivi depinde de substanțele sau componenții chimici care participă sau rezultă din procesul de fabricație.

Au constituit obiectul studiului și observațiilor mai multe clădiri de pe platforma chimică a coloranților și hârtiei din Codlea și Zărnești pentru care degradările elementelor structurale sub diverse forme de manifestare sunt pronunțate; astfel:

- **S.C. COLOROM S.A. CODLEA (industria coloranților)**
- Secția ACID "T";
- Secția INTERMEDIARI B₁;
- **S.C. CELOHART S.A. Zărnești (industria celulozei și hârtiei)**
- DEPOZITUL DE SULF;
- SECȚIA ALBITORIE.

În urma studiilor și investigațiilor efectuate [7] s-au formulat propuneri de soluții de reabilitare a elementelor structurale avariate ca urmare a acțiunii chimice.

Un exemplu concret de aplicare a soluției de reabilitare prin îmbrăcarea elementelor degradate într-o cămașă rigidă din beton armat îl reprezintă "Hala de producție "INTERMEDIARI B₁" de pe platforma COLOROM – Codlea pentru care sunt prezentate elemente de detaliu în prezenta lucrare.

1.2 Considerații privind comportarea la coroziune chimică a elementelor componente ale structurilor industriale investigate.

Secția „Acid P”

Construcția este situată pe platforma chimică a S.C. COLOROM S.A. CODLEA, lângă un grup de clădiri ce adăpostesc fluxuri tehnologice cu degajări importante de substanțe chimice.

Clădirea are structura de rezistență realizată din cadre prefabricate de beton armat dispuse transversal, legate între ele în sens longitudinal prin grinzi prefabricate. Rezemarea grinzilor pe stâlpi se face prin intermediul consolelor scurte. Pereții de închidere și compartimentări sunt realizați din zidărie de cărămidă. Planșeul peste parter reazemă pe grinzile cadrelor prefabricate și este realizat monolit, iar partea de acoperiș este realizată din elemente prefabricate tip cheson (1,5 x 9,0 m) ce reazemă pe grinzile longitudinale marginale și centrale.

Pardoseala de la nivelul parterului și a etajului este placată cu cărămidă antiacidă, având la parter canale pentru colectarea și scurgerea apelor acide rezultate din procesul de fabricație.

Pe unele porțiuni, placajul antiacid este degradat favorizând contactul direct cu betonul a apelor acide. Studiile și observațiile efectuate asupra elementelor investigate au pus în evidență următoarele aspecte:

- dezalcalinizarea stratului de suprafață a betonului pe o grosime cuprinsă între 2 și 3 cm;

- dezvelirea armăturii transversale și corodarea acesteia la suprafață (fig. 1);
- grosimea redusă a stratului de acoperire cu beton a armăturii;
- distanță neuniformă între etrieri;
- lipsa unor măsuri primare de protecție a elementelor din beton împotriva coroziunii chimice;
- întreținerea necorespunzătoare a clădirii.



Fig. 1. Secția acid “I” – Aspect consolă și riglă de cadru șir B ax 5 cota +5,50 m

Secția “INTERMEDIARI B₁”

Hala de producție “INTERMEDIARI B₁” este o clădire cu structura de rezistență din cadre din beton armat, ce se dezvoltă pe două niveluri, fig. 2.



Fig. 2. Hala “INTERMEDIARI B₁” – vedere exterioară

Stâlpii cadrelor sunt prefabricați, cu secțiunea 50 x 50 cm la parter și 40 x 40 cm la etaj, având prevăzute console pentru rezemarea grinzilor prefabricate de planșeu.

Intermediar, la cota +4,80 m există un planșeu din beton armat monolit, iar acoperișul este realizat din chesoane prefabricate. Fundațiile clădirii sunt de tip pahar, iar închiderile și compartimentările din zidărie de cărămidă cu goluri verticale.

Releveul degradărilor prezentate în fig. 3 au scos în evidență următoarele aspecte:

- pentru stâlpi și console

- stratul de acoperire al armăturilor corodat, cu fisuri deschise, la distanță de cca. $(2,5 \div 3)$ cm față de muchii;
- stratul de beton fisurat, se desprinde ușor la lovirea cu ciocanul;
- desprinderi locale ale stratului de acoperire, cu punerea în evidență a armăturilor corodate;
- dezvelirea granulelor de agregat de partea liantă și evidențierea unei suprafețe “rugoase” a betonului;
- dezalcalinizarea betonului de protecție pe o grosime cuprinsă între $(2 \div 6)$ cm;
- armătura longitudinală și etrierii corodați, cu reducerea secțiunii acestora cu cca. 30 % pentru stâlpi și cu cca. $(10 \div 15)$ % pentru console.

- pentru planșeul de la cota +4,80 m

- porțiuni cu betonul de protecție de la introdusul plăcii exfoliat (fig. 3);
- nervurile planșeului corodate, cu fisuri longitudinale în stratul de acoperire la o distanță de cca. $(2 \div 3)$ cm față de muchii (fig. 3);
- desprinderea pe unele porțiuni de grinzi a betonului de protecție și dezvelirea armăturilor (fig. 3);
- corodarea armăturilor din zonele cu betonul de protecție degradat sau căzut și evidențierea reducerii secțiunii barelor în procent de cca. $(20 \div 30)$ %;
- dezalcalinizarea betonului de protecție pe o grosime de $(2 \div 4)$ cm;
- zonele cele mai afectate sunt cele din jurul golurilor de trecere a vaselor de producție.



Fig. 3. Hala Intermediari “B1” – Degradarea planșeului de la cota +4,80 m, șir B – C, axele 4-5

- pentru planșeul de acoperiș

- betonul de la introdusul plăcii chesonului corodat, cu plasa de armătură vizibilă;
- chesoane cu nervuri puternic degradate, prin secționarea armăturilor longitudinale și reducerea în anumite zone a secțiunii nervurii în proporție de aproximativ 50 s%;
- coroziunea betonului și a armăturii grinzilor de atic;
- dezalcalinizarea betonului elementelor de acoperiș, pe o grosime cuprinsă între $(2 \div 7)$ cm;

Depozitul de sulf

Clădirea este de tip parter, având structura de rezistență realizată din cadre de beton armat prefabricat. Stâlpii cadrelor sunt prevăzuți cu două console scurte, una asigură rezemarea grinzilor de rulare la un nivel intermediar, iar cealaltă (de capăt) asigură realizarea legăturii stâlp – riglă cadru, la nivelul acoperișului (fig. 4).

Rigla de cadru de la nivelul acoperișului este alcătuită dintr-o fermă de beton armat.



Fig. 4. Vedere de ansamblu hala "Depozit de sulf"

Închiderile exterioare sunt realizate din zidărie de cărămidă în alternanță cu spații vitrate.

La nivelul structurii de rezistență se constată o degradare pronunțată a stâlpilor de cadru și a consolelor de susținere a fermelor de acoperiș.

Investigațiile efectuate asupra acestor elemente au scos în evidență următoarele aspecte (fig. 5 și 6):

- dezalcalinizarea betonului pe o grosime ce variază între (1 – 5) cm;
- spălarea produșilor de carbonatare din stratul de suprafață a betonului și evidențierea (dezvelirea) granulelor de agregat; (fig. 3, 4);



Fig. 5. Depozit de sulf – aspect consolă de capăt șir A ax 3

- prezența fisurilor de suprafață și în profunzime pe fețele stâlpilor și a consolelor, specifice coroziunii sulfatice (fig. 5 și 6);
- orientarea fisurilor după direcția de dispunere a armăturilor;
- desprinderi locale ale stratului de protecție a armăturilor;

- corodarea armăturilor dezvelite;
- grosimea insuficientă a stratului de acoperire cu beton a armăturilor;
- folosirea distanțierilor metalici pentru menținerea la poziție a armăturii în locul celor din plastic sau din mortar de ciment;
- umiditatea excesivă a betonului din stâlpi datorată infiltrațiilor de apă de pe acoperiș;
- lipsa protecției anticorozive a betonului.



Fig. 6 – Depozit de sulf – stâlp și consolă șir A ax 2

Secția Albitorie

Este o clădire relativ nouă, situată în zona centrală a platformei industriale CELOHART – S.A. ZĂRNEȘTI, făcând parte dintr-un bloc de construcții cu degajări importante de substanțe chimice.

Structura de rezistență este alcătuită din cadre prefabricate de beton armat, având stâlpii prevăzuți cu console ce asigură rezemarea grinzilor prefabricate distribuite după direcția transversală și longitudinală a clădirii. La nivelele intermediare, placa de beton armat este realizată monolit, iar la nivelul acoperișului elementele tip cheson reazemă pe grinzile prefabricate cu secțiunea dublu T, alcătuind partea de închidere a halei.

Pentru clădirea investigată, elementele cele mai afectate sunt grinzile de acoperiș și în special evazările sub formă de console a tălpilor acestora.

Aspectele sesizate în urma investigațiilor se referă la:

- reducerea rolului pasiv al betonului de acoperire a armăturilor din consolă;
- corodarea armăturii și desprinderea stratului de acoperire, datorită expansiunii ruginii formate;
- grosimea necorespunzătoare a stratului de acoperire cu beton a armăturii;
- ieșirea spre suprafața betonului a petelor de rugină, formate în faza de început a coroziunii armăturii;
- lipsa măsurilor de protecție a betonului împotriva coroziunii chimice;
- lipsa asigurării unei ventilații corespunzătoare a părții superioare a clădirii.

1.3 Analiza stării de degradare a elementelor structurale investigate

Procesul de investigare a elementelor degradate a constat din:

- inspectarea vizuală a zonelor degradate;
- determinarea grosimii stratului de beton dezalcalinizat prin tratare cu soluție de fenolftaleină;
- observații privind starea armăturii și betonului în zonele degradate;
- constatări asupra dimensiunilor geometrice a secțiunii consolelor din beton armat;
- fotografierea zonelor studiate;
- analize chimice de laborator.

Rezultatele determinărilor efectuate pe probe prelevate la fața locului, sunt prezentate în tabelele nr. 1, 2, 3, 4.

Determinări de laborator – Secția “ACID I”*Tabel nr. 1*

Nr. crt.	Denumirea determinării	Exprimare	Determinant	Încadrare conf. STAS 3349/1-83 [4]
1.	Indice pH la 20°C	-	7,8	4,5
2.	Sulfați strat superficial	mg SO ₄ ²⁻ /Kg	4260	5000
3.	Sulfați totali	mg SO ₄ ²⁻ /Kg	5100	5000
4.	CO ₂ liber	mg CO ₂ /dm ³	70	90

Determinări de laborator – Secția “INTERMEDIARI B₁”*Tabel nr. 2*

Nr. crt.	Denumirea determinării	Exprimare	Determinant	Încadrare conf. STAS 3349/1-83 [4]
1.	Indice pH la 20°C	-	6,8	4,5
2.	Cloruri solubile	mg Cl ⁻ /Kg	560	3000
3.	Sulfați strat superficial	mg SO ₄ ²⁻ /Kg	2578	5000
4.	Sulfați totali	mg SO ₄ ²⁻ /Kg	9255	5000

Determinări de laborator – Depozitul de Sulf*Tabel nr. 3*

Nr. crt.	Denumirea determinării	Exprimare	Determinant	Încadrare conf. STAS 3349/1-83
1.	Indice pH la 20°C	-	6,4	4,5
2.	Sulfați strat superficial	mg SO ₄ ²⁻ /Kg	12443	5000
3.	Sulfați totali	mg SO ₄ ²⁻ /Kg	23150	5000
4.	CO ₂ liber	mg CO ₂ /dm ³	82	90

Determinări de laborator – Secția ALBITORIE*Tabel nr. 4*

Nr. crt.	Denumirea determinării	Exprimare	Determinant	Încadrare conf. STAS 3349/1-83 [4]
1.	Indice pH la 20°C	-	8	4,5
2.	Cloruri solubile	mg Cl ⁻ /Kg	1850	3000
3.	CO ₂ liber	mg CO ₂ /dm ³	68	90

Metodele de investigare utilizate au pus în evidență coroziunea chimică asupra betonului din console, datorită:

- a) acțiunii ionilor de SO_4^{2-} ;
- b) acțiunii ionilor de Cl^- ;
- c) acțiunii CO_2 , precum și coroziunea electrochimică a armăturii ca urmare a:
- d) acțiunii oxigenului și/sau a clorului;

1.4 Încercări nedistructive prin metoda ultrasonică efectuate asupra elementelor structurale investigate

Pentru cercetarea stării de degradare a elementelor prezentate, s-au efectuat încercări nedistructive, folosind metoda ultrasonică pe un număr de 12 elemente.

Alegerea secțiunilor, numărul determinărilor, modul de lucru și interpretarea rezultatelor s-a făcut în conformitate cu C25 - 85 [1] și a altor publicații tehnice de specialitate [2], [3], [4], [5], [6].

Au fost investigate prin această metodă un număr de trei console pentru fiecare obiect luat în studiu. Pentru consolele încercate prin metoda ultrasonică, rezultatele obținute (prezentate în tabelul nr. 5), indică următoarele clase de betoane:

- C8/10 (Bc10) pentru “Depozitul de sulf”;
- C12/15 (Bc15) pentru “Intermediari B_I”;
- C16/20 (Bc20) pentru secția “Acid I”;
- C16/20 (Bc20) pentru secția “Albitorie”.

Determinarea caracteristicilor de calcul ale betonului din console, încercate prin metoda ultrasonică

Tabel nr. 5

Nr.	Element (consolă)	Omogenitatea betonului					Interpretarea statistică a rezistenței la compr. (metoda ultrasonică)			Interpretarea statistică a rezistenței la compr. (metoda ultrasonică)				Rezistențe caracteristice și de calcul ale betoanelor conform 10107/0-1990				
		$\bar{v}$ m/s	S_v m/s	C_v %	C_R %	Mark	R_1 N/mm ²	R_k N/mm ²	R_{ck} N/mm ²	R_c N/mm ²	R_{ik} N/mm ²	R_t N/mm ²	Clasa beton precon.	Clasa de beton.	R_{ck} N/mm ²	R_c^* N/mm ²	R_{ik} N/mm ²	R_t^* N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	2A	3704	55,14	1,49	5,96	f. bună	15,08	13,43	11,32	8,39	1,10	0,63	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
2	3A	3782	36,85	0,97	3,88	f. bună	16,0	14,86	12,49	9,23	1,18	0,67	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
3	4A	3752	36,98	0,99	3,96	f. bună	15,66	14,52	12,21	9,04	1,17	0,66	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	ax 17	3839	68,18	1,77	7,08	f. bună	17,24	15,00	12,60	9,33	1,19	0,79	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
	ax 18	3946	67,2	1,70	6,8	f. bună	19,46	17,02	14,22	10,53	1,29	0,86	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
	ax 19	3810	44,29	1,167	4,64	f. bună	16,68	15,26	12,81	9,49	1,20	0,80	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
	3B	4035	31,90	0,79	3,16	f. bună	21,56	20,31	16,84	12,50	1,45	0,97	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
	4B	4014	23,44	0,58	2,34	f. bună	21,04	20,14	16,71	12,40	1,44	0,96	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
	5B	4008	18,36	0,46	1,83	f. bună	20,92	20,22	16,77	12,40	1,44	0,96	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
	3A	4108	34,37	0,84	3,36	f. bună	23,33	21,90	18,09	13,40	1,51	1,01	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
	4A	4114	36,82	0,89	3,58	f. bună	23,49	21,94	18,13	13,42	1,52	1,01	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95
5A		4123	40,19	0,97	3,90	f. bună	23,70	22,00	18,17	13,46	1,52	1,01	Bc 20	Bc 20	16,6	12,5	1,43	0,95

Clasele de beton determinate, în comparație cu clasa de beton preconizată, indică un proces avansat de degradare pentru consolele aparținând „Depozitului de sulf” și „Rețelelor tehnologice”.

Procesul de degradare este mai redus pentru consolele care aparțin secției “Acid I” și Albitorie.

2. DESCRIEREA STUDIULUI EXPERIMENTAL

2.1 Considerații generale

Studiul capacității de rezistență a elementelor din beton armat, care au dobândit o anumită stare de degradare în urma unor acțiuni distructive, constituie o preocupare pentru mulți specialiști în domeniu. Aceasta datorită faptului că, majoritatea structurilor industriale din beton armat (în special din țara noastră) sunt îmbătrânite, iar cheltuielile de demolare și înlocuire cu același sau alt tip de structură sunt mari, de multe ori nejustificate sau depășesc posibilitățile financiare ale unităților de care aparțin. Studiul experimental cuprinde o soluție practică de reabilitare a consolelor scurte degradate, prin îmbrăcarea acestora într-o cămașă rigidă din beton armat.

S-a optat pentru această soluție deoarece, este utilizată frecvent în practica reabilitării structurilor industriale degradate și există puține studii privind gradul de

refacere a capacității portante a elementelor consolidate prin această metodă.

De asemenea, s-a considerat că aceste soluții [7] sunt competitive prin faptul că:

- asigură restabilirea capacității portante în condiții de siguranță în exploatare;
- se realizează relativ ușor, cu mijloace și tehnologii relativ simple;
- nu necesită materiale deosebite, greu de procurat;
- nu presupune asigurarea unui personal muncitor cu o calificare specială;
- cu măsuri de protecție adecvate, asigură elementului consolidat o durată de viață lungă;
- asigură o viteză de lucru satisfăcătoare;
- nu necesită decât dezafectări locale ale spațiului de producție;
- se pot realiza în regim de exploatare al clădirii;
- sunt relativ ieftine în comparație cu alte soluții.

2.2 Descrierea elementelor experimentale

Consolele scurte realizate pentru studiul experimental, sunt confecționate din beton armat cu armătura longitudinală sub formă de bare, iar cea transversală sub formă de etrieri.

Pentru stabilirea dimensiunilor geometrice și a ariei de armătură longitudinală și transversală s-a considerat o sarcină de exploatare pe consolă de 20 tf.

Rezistențele caracteristice și de calcul pentru beton și armătură, utilizate în calculul de dimensionare sunt după cum urmează:

- pentru beton clasa Bc 20 (C16/20):

- $R_c = 12,5 \text{ N/mm}^2$
- $\overline{R_c} = 1,75 R_c = 21,88 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ck} = 16 \text{ N/mm}^2$
- $f_{cd} = f_{ck}/1,5 = 10,67 \text{ N/mm}^2$

- pentru armătură:

OB 37 (armătură transversală etrieri)

- $R_a = 210 \text{ N/mm}^2$
- $\overline{R_a} = 1,35 R_a = 283,5 \text{ N/mm}^2$

PC 52 (armare longitudinală)

- $R_a = 300 \text{ N/mm}^2$
- $\overline{R_a} = 1,35 R_a = 405 \text{ N/mm}^2$
- $f_{yd} = 300 \text{ N/mm}^2$

Dimensiunile geometrice ale consolelor experimentale s-au stabilit pe baza regulilor generale de alcătuire, dimensionarea armăturii transversale s-a făcut pe baza relației de calcul (1):

$$A_{eo} \geq \frac{1}{3} \cdot \frac{Q \cdot l_c}{z \cdot R_a} = \frac{1}{3} \cdot \frac{Q \cdot l_c}{0,8 \cdot h_0 \cdot R_a} \equiv \frac{Q \cdot l_c}{2,5 \cdot h_0 \cdot R_a} \quad (1)$$

iar armătura longitudinală corespunzătoare momentului maxim din secțiunea de încastrare a consolei în stâlp, cu relația (2):

$$A_a = \frac{M}{\zeta_1} \cdot \frac{1}{h_0} \cdot \frac{1}{R_a} = \xi \cdot \frac{R_c}{R_a} \cdot b \cdot h_a = \frac{\rho}{100} \cdot b \cdot h_0 \quad (2)$$

2.3. Modul practic de desfășurare a programului experimental

Programul experimental s-a desfășurat în trei etape de lucru, conținutul fiecărei etape fiind descris în continuare.

Etapa de lucru nr. 1.

Încercarea tuturor modelelor experimentale, din care 3 elemente până la rupere și 3 elemente până la o sarcină de 30 tf;

Etapa de lucru nr. 2.

Consolidarea celor 3 elemente încercate până la 30 tf în prima etapă, prin îmbrăcarea într-o cămașă din beton armat.

Etapa de lucru nr. 3.

Încercarea până la rupere a modelelor experimentale consolidate în etapa nr. 2.

O vedere de ansamblu a standului de încercare este prezentată în fig. 7.



Fig. 7. Vedere de ansamblu stand de încercare

2.3.1 Console încercate până la rupere

Pentru consolele CS 1-1, CS 1-2, CS 1-3 (încercate până la rupere), cedarea acestora s-a produs la o forță de 48 tf în cazul consolelor CS 1-2, CS 1-3 și de 50 tf în cazul consolei CS 1-1.

Tabloul formării și dezvoltării fisurilor (fig. 8) arată că acestea apar în număr de două până la trei, care ulterior se ramifică în fisuri noi de lungime și deschidere mai mică.

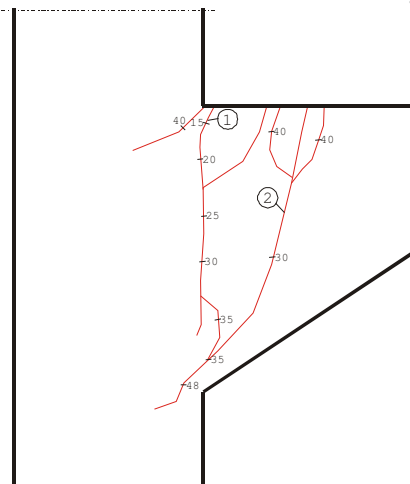


Fig. 8 Releveu fisuri consola CS1-1

2.3.2 Console încercate până la 30 tf

Pentru consolele realizate în seria a doua de turnare (CS 2-1); CS 2-2; CS2-3); CS 3-3), sarcina maximă s-a limitat la 30 tf, constatându-se și în această variantă de încercare, apariția pe fețele laterale ale consolelor, a unui număr de una, două sau trei fisuri.

Prima fisură apare în toate cazurile în zona de legătură cu stâlpul, sub o sarcină de 15 tf.

Fisura a doua a apărut la o valoare a forței de încercare de 25 tf, excepție făcând consola CS 2-1 și CS 2-2, la care fisura a apărut la 30 tf, respectiv la 20 tf. Fisura a treia este observată pentru toate consolele la sarcina de 30 tf.

Fisura a doua este situată de regulă între prima și cea de-a treia, este dezvoltată mai puțin decât acestea, nedepășind jumătatea superioară a înălțimii consolei..

Fisura a treia pornește de sub placa metalică de reazem sau din imediata vecinătate a acesteia, ajungând sub un unghi de aproximativ 450 la o distanță de cca. (1÷34) cm față de colțul inferior de racordare consolă-stâlp.

Releveul formării și dezvoltării fisurilor pentru consola CS 2-1 este prezentat în fig. 9.

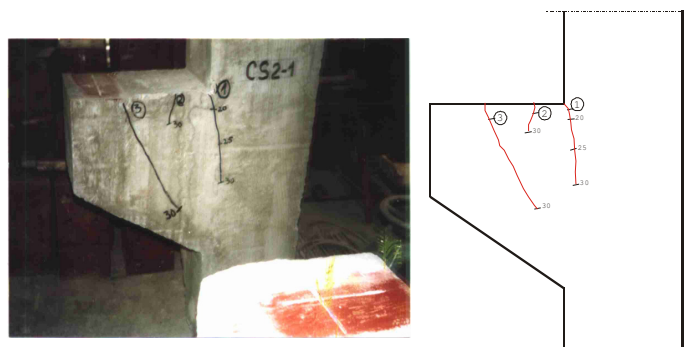


Fig. 9. Releveu fisuri consolă CS 2-1

2.3.3 Comportarea la sarcini verticale a consolelor reabilite prin cămășuire

După depășirea perioadei de 28 zile de la consolidare prin cămășuire, elementele experimentale au fost încercate până la rupere.

Modul de desfășurare a programului experimental s-a făcut similar etapei nr. 1 de încercare. Înregistrarea deformațiilor a fost asigurată și în acest caz cu ajutorul comparatoarelor, iar citirea deschiderii fisurilor, cu lupa Brinell.

- prezența pe fețele laterale ale consolei a unui număr de 4 până la 5 fisuri principale;

- prima fisură apare în zona de legătură consolă-stâlp pentru toate consolele, la o sarcină verticală de 30 tf pentru CS 2-1; 20 tf pentru CS 2-2 și 25 tf pentru CS 2-3;

- celelalte fisuri sunt înclinate, (aproximativ 450), pornesc de sub/sau din vecinătatea plăcii de reazem și se dezvoltă pe înălțimea consolei;

Cedarea consolelor s-a produs la o sarcină verticală de 69 tf pentru CS 2-2 și de 70 tf pentru CS 2-1, CS 2-3, prin deschiderea și ramificarea fisurilor principale și

strivirea betonului de la baza stâlpului de susținere a consolei (fig. 10).

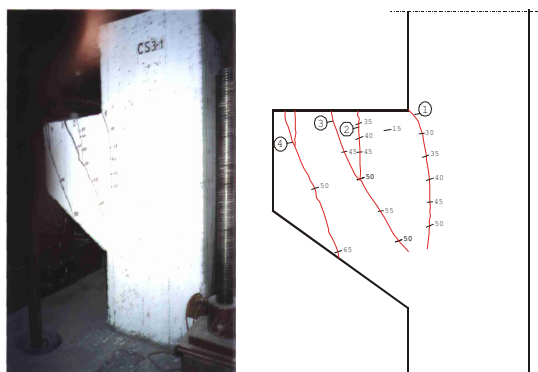


Fig10. Releveu fisuri consola CS 2-1 (consolidată)

3. CONCLUZII

Aspectele prezentate cu privire la mecanismul de cedare al consolelor, evidențiază rolul pe care îl joacă cămașa de beton în dezvoltarea deformațiilor transversale ale diagonalei comprimate.

Acest lucru se datorează efectului de confinare pe care îl produce asupra elementului degradat, cămașa de beton nou creată, împiedicând deschiderea pronunțată a fisurilor și asigurând totodată o creștere a ductilității consolei reabilite.

Urmărind distribuția sarcinii capabile (fig. 11) pe consolele experimentale neconsolidate și consolidate, încercate până la rupere, se desprind următoarele:

- **sarcina capabilă**, determinată pe serii de elemente are valori apropiate, cuprinse între (48 – 50) tf pentru consolele inițiale și între (69 – 70) tf pentru cele consolidate în varianta „cămașă de beton armat”.

- **gradul de rugozitate a suprafeței betonului** (înainte de consolidare), nu exercită o influență semnificativă asupra capacității de rezistență a elementului consolidat.

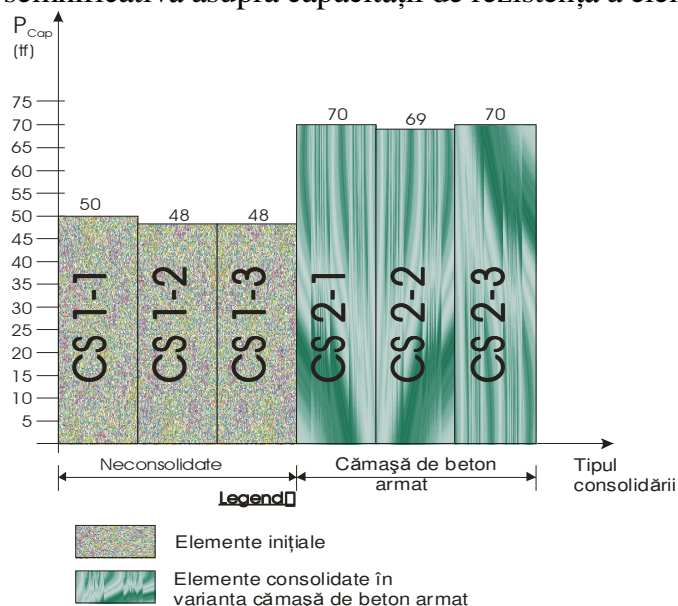


Fig. 11 Sarcina capabilă pe console

În ceea ce privește nivelul de refacere a capacității portante (notat cu „ n_{RCP} ”) a consolelor degradate și consolidate, au rezultat următoarele valori:

- varianta de consolidare „cămașă rigidă de beton armat”

$$n_{RCP} = \frac{\text{Sarcina (medie) capabila elem. consolidate}}{\text{Sarcina (medie) capabila elem. neconsolidate}} = \frac{69,7 \text{ tf}}{49,3 \text{ tf}} \approx 1,41$$

Nivelul ridicat de refacere a capacității portante, caracterul ductil de cedare a elementelor, recomandă metoda de consolidare abordată în cadrul lucrării ca fiind competitivă, atât sub aspect tehnico-economic, cât și tehnologic.

Această soluție de consolidare s-a aplicat pentru reabilitarea structurii în cadre din beton armat a halei industriale de producție „Intermediari B1”.

Soluția de reabilitare, pentru console, stâlpi și grinzi, a constat în realizarea unei cămași din beton de 8 cm grosime, turnată în cofraj, prin procedee clasice. Grosimea betonului din cămașă s-a stabilit din considerente de rezistență și de refacere a grosimii stratului de protecție a armăturii.

BIBLIOGRAFIE

1. ***Normativ pentru încercarea betonului prin metode nedistructive – Indicativ C25 – 85, ICCPDC.
2. ȘTEFĂNESCU G. A. - Determinarea rezistenței betonului prin metode nedistructive. Exemple de calcul. Editura Tehnică, București.
3. ***Instrucțiuni tehnice pentru încercarea rezistenței betonului prin metoda nedistructivă combinată, INCERC BUCUREȘTI.
4. ***Instrucțiuni tehnice pentru încercarea betonului cu ultrasunete, INCERC BUCUREȘTI.
5. ȘTEFĂNESCU G. A. - Contribuții la ameliorarea preciziei metodelor de determinare nedistructivă a rezistenței betonului, Construcții nr. 2/1972.
6. JONES R., FĂCĂOARU I. - Încercarea nedistructivă a betonului. Editura Tehnică, București 1971.
7. TUNS I. – Studiul consolelor scurte din beton armat, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” Iași, 2003.