

TEHNICI DE ANALIZĂ PRIVIND INFLUENȚA UTILIZĂRII ARMĂTURII ZINCATE TERMIC ASUPRA DURABILITĂȚII BETONULUI ARMAT

Andreea HEGYI, Carm en DICO
INCD URBAN – INCERC Sucursala Cluj-Napoca, e-mail andreea.hegyi@gmail.com, carmen.dico@incerc-cluj.ro

Abstract. The paper briefly presents the results of experimental research on the influence of using zinc hot dip galvanized rebar on the durability of reinforced concrete. For this purpose, the loss of adherence between the rebar and the concrete matrix was determined, as well as the reduction of resistance to splitting due to accelerated corrosion of samples of hot dip galvanized rebar vs. steel not protected against corrosion. Using electrochemical analysis techniques (chrono-amperometry, linear polarization, electrochemical impedance spectroscopy) the kinetics and mechanism of the corrosion of the rebar in the reinforced concrete due to the action of chlorine ions was studied. The results prove a lower speed and better resistance to corrosion of zinc hot dip galvanized rebar, leading to an increased lifetime of reinforced concrete structures.

Key words: corrosion, reinforced concrete, hot dip galvanized rebar

1. Introducere

Betonul în general și betonul armat în special este unul din cele mai utilizate materiale de construcții moderne. În anii '60 era acceptată ideea conform căreia o structură din beton armat rezistă influențelor mediului, în prezent proiectare privită strict din punct de vedere structural este un concept depășit.

Coroziunea betonului și a armăturilor acestuia este un factor important care afectează viața fiecăruia dintre noi prin pierderile de material și cheltuielile legate de defazectarea și demolarea construcțiilor nesigure, supradimensionarea elementelor sau a părților acestora, întrețineri și reparații curente, întreținerea și protejarea echilibrului mediului natural, sau prin cheltuieli indirecte datorate fluctuației productivității, consumurilor suplimentare, în târzierilor în trafic, etc. Pentru reducerea efectelor coroziunii asupra armăturilor, se propune înlocuirea armăturilor din oțel neprotejat cu cele din oțel protejat prin zincare termică, mult mai rezistent la coroziune (Andrade și Cruz, 2004; Clifton și Mathey, 1983; Fratesi, 2002; Kayali și Yeomans, 2000; Marder, 2000; Mietz *et al.*, 2008; Poursaei și Hansson, 2007; Sistonen *et al.*, 2008; Visan, 2009; Yadav *et al.*, 2004; Yeomans, 2004). Cercetătorii din diferite țări au demonstrat avantajele utilizării oțelului-beton zincat termic, comparativ cu cel neprotejat sau protejat prin vopsire. Studii recente realizate de Ingineria Cicului de Viață - Torino (Yeomans, 2004) demonstrează că produsele protejate prin galvanizare au nevoie de doar jumătate din demersurile necesare întreținerii produselor protejate prin vopsire. Actualmente în SUA, Australia, Singapore, importante cantități de oțel-beton au fost zincate termic și utilizate în special la construcția unor structuri de interes național cum ar fi: poduri, tunele, structuri aflate în zone marine, aeroporturi, structuri industriale și militare.

Protecție pe care zincarea îl conferă substratului de oțel trebuie privită prin prisma a două mecanisme diferite (Andrade și Cruz, 2004; Clifton și Mathey, 1983; Fratesi, 2002; Kayali și Yeomans, 2000; Marder, 2000; Mietz *et al.*, 2008; Poursaei și Hansson, 2007; Sistonen *et al.*, 2008; Visan, 2009; Yadav *et al.*, 2004; Yeomans, 2004):

- **Protecția peliculară** – stratul de zinc și aliaje de zinc acționează ca o barieră peliculară în fața pătrunderii diferiților agenți corozivi din mediul înconjurător. Această protecție este similară cu cea pe care o conferă acoperirea cu rășini epoxidice (Clifton și Mathey, 1983), dar trebuie menționat faptul că aderența la substrat și duritatea peliculei este mult superioară datorită caracterului metalurgic al legăturilor între suport și acoperire.
- **Protecția catodică** – cea mai importantă de altfel, care este o urmare a caracterului de anod de sacrificiu pe care zincul îl are în raport cu fierul. Aceasta se explică prin mecanisme de natură electrochimică, datorită diferenței potențialului de coroziune al zincului în raport cu fierul. Caracterul special pe care îl conferă acest mecanism de protecție catodică oțelului zincat termic se remarcă prin durabilitatea mult mai mare față de protecția peliculară clasică (vopsele, rășini epoxidice). Spre deosebire de protecția peliculară epoxidică la care apariția unei fisuri a peliculei este echivalentă cu pierderea protecției în acea zonă și în cele imediat limitrofe, coroziunea întinzându-se în acest caz pe sub pelicula epoxidică, în cazul zincării termice, chiar dacă pelicula suferă o deteriorare locală, zonele de zinc imediat înconjurătoare acționează protector și în zona neprotejată.

În **Fig. 1** este reprezentată comportarea la coroziune a oțelului-beton neprotejat comparativ cu a oțelului

zincat; urmărindu-se perioada de inițiere și propagare a procesului de coroziune. La oțelului de armare neprotejat perioada de inițiere este scurtă, neexistând perioada de protecție și începe direct perioada de formare a "ruginii roșii" (propagare). Oțelul zincat are o perioadă de inițiere mult mai lungă decât a celui neprotejat, urmata de o perioadă de protecție, după care apare propagarea. Stratul de zinc depus pe oțel protejează catodic oțelul (Yeomans, 2004).

În perioada de inițiere și de protecție, zincul pasiv, reacționează cu mediul înconjurător (betonul proaspăt) care conține $\text{Ca}(\text{OH})_2$, cu degajarea hidrogenului atomic. În primele 24 de ore după introducerea armăturii zincate termic în betonul proaspăt, în timpul procesului de întărire al acestuia, suprafața de zinc este activată și pe suprafața ei se formează un strat protector de cristale de hidroxizincat de calciu, $\text{CaZn}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Andrade și Cruz, 2004; Fratesi, 2002; Kayali și Yeomans, 2000; Sistonen *et al.*, 2008; Yadav *et al.*, 2004; Yeomans, 2004) (CaHZn), de forma aciculară, care cresc între pătrunzându-se în porii de la suprafața armătură-matrice de beton. În perioada de inițiere se formează "rugina albă" alcătuită din compuși ai zincului puțin voluminoși, care nu induc tensiuni în beton, comparativ cu tensiunile introduse de oxizii de fier. În perioada de propagare se formează și "rugina roșie" oțelul începe să se corodeze.

Din punct de vedere electrochimic zincarea termică a fost repede acceptată ca metodă de protecție

anticorozivă a armăturii de oțel dar apărut și controverse. Un subiect foarte controversat a fost influența negativă pe care ar avea-o zincarea termică asupra aderenței armăturii la matricea de beton. În urma reacțiilor zincului cu betonul proaspăt are loc degajarea hidrogenului. Bulele de hidrogen determină formarea unor pori la interfața armătură - beton reducând suprafața de contact și determinând astfel reducerea aderenței. Soluția propusă pentru reducerea hidrogenului degajat ar putea fi cromatarea armăturii zincate termic înainte de introducerea în beton.

După aprecierea altor cercetători, însă, cromatarea nu numai că este nerecomandată datorită pericolului pe care îl prezintă Cr VI, dar și întârzie formarea stratului pasivant de cristale de hidroxizincat de calciu (Yadav *et al.*, 2004; Yeomans, 2004) atât de important în protecția anticorozivă. Conform studiilor prezentate de R. Fratesi (2002), Kayali și Yeomans (2000), A. R. Marder (2000) și de Stephen R. Yeomans (2004), producția de coroziune ai zincului din stratul de acoperire difuzează parțial pasta de ciment aflată în jurul armăturii, determinând "**o creștere semnificativă a aderenței maxime între oțelul zincat termic și beton care poate fi explicată prin o densificare a zonei de tranziție între acoperirea de zinc și pasta de ciment, ca rezultat a penetrării cristalelor de CHZ în porii din apropierea interfeței**" (Yeomans, 2004). Cu toate acestea, se subliniază faptul că geometria barelor de armare are o influență definitorie asupra aderenței între armătură și beton.

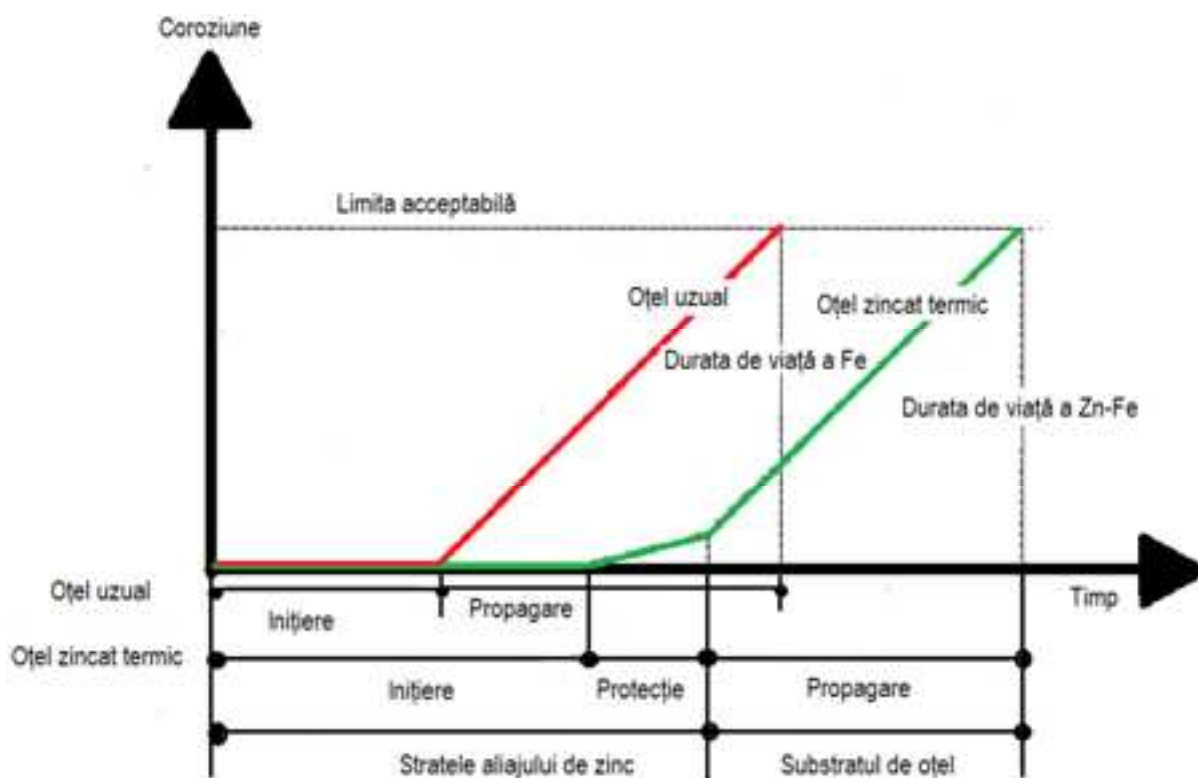


Fig. 1. Reprezentarea schematică a inițierii și propagării coroziunii în oțelul-beton (Yeomans, 2004)

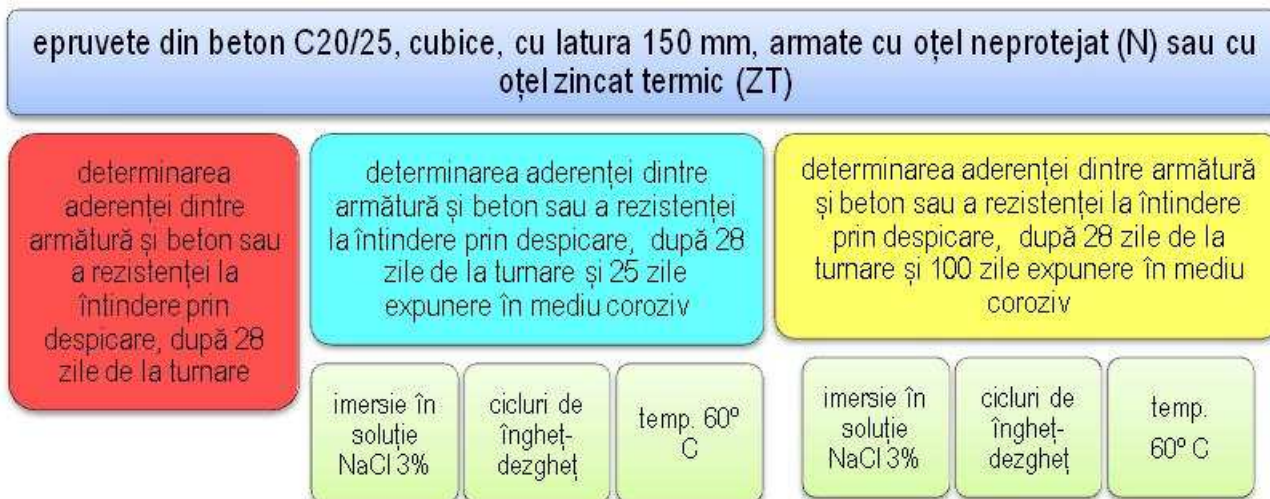


Fig. 2. Distribuția epruvetelor pentru studiul influenței condițiilor de mediu asupra aderenței armăturii la matricea de beton sau a rezistenței la întindere prin despicare a betonului

Înainte de a fi introduse în beton, barele din oțel o parte au fost zincate termic la 450°C în baie de zinc topit, iar altele au fost utilizate ca atare, fără un tratament specific prealabil.

Grosimea stratului de zinc s-a determinat conform SR ISO 1460:1992, precum și prin metoda magnetică, conform SR EN ISO 2178:1998. Grosimea stratului de zinc a fost de 140 μm.

Pentru realizarea betonului utilizat pentru confecționarea epruvetelor supuse solicitărilor mecanice s-au utilizat agregate naturale de râu (nisip 0-4 mm, pietriș 4-8 mm și pietriș 8-16 mm), ciment CEM II/A-S 42,5 N, apă, care au fost dozate și amestecate mecanic conform unei rețete stabilite în conformitate cu „Codul de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat” NE 012-2007, astfel încât să corespundă unei clase de beton C20/25.

Probele de beton s-au turnat în tipare cubice. Oțelul de armare s-a introdus perfect vertical și centrat, după care acestea au fost vibrat mecanic pentru eliminarea bulelor de aer.

Epruvetele au fost păstrate în condiții de laborator până la împlinirea vârstei de 28 de zile de la turnare, după care au fost împărțite în serii și testate așa cum se prezintă în diagrama din **Fig. 2**.

Determinarea aderenței armăturii la matricea de beton și a rezistenței la despicare a betonului s-au determinat folosind o presă universală cu acționare hidraulică. Pentru fiecare serie s-a calculat caracteristica mecanică medie, ca fiind media aritmetică între valorile individuale ale eforturilor maxime de smulgere, respectiv rezistenței la întindere prin despicare.

Atât pentru determinarea aderenței armăturii la matricea de beton cât și a rezistenței la întindere prin despicare a betonului, seriile de epruvete cu fiecare tip de oțel, păstrate 28 de zile în condiții de laborator, au fost considerate martor. Condițiile de mediu agresiv în care au fost păstrate celelalte epruvete timp de 25 sau 100 de zile, au fost:

- Imersia în soluția de NaCl 3% a epruvetelor s-a realizat prin scufundare completă.
- Un ciclu de îngheț-dezghet constă în alternarea la îngheț la -20°C, 4 ore în camera frigorifică, dezghet în soluția de 3% NaCl, la temperatura camerei, 4 ore și apoi scoatere din soluție și menținere în condiții de laborator 16 ore.
- Păstrarea la temperatură ridicată s-a realizat în etuvă termoreglabilă, continuu pe toată durata expunerii.

Calculul pierderii de aderență, respectiv a rezistenței la întindere prin despicare, pentru probele maturate timp de 28 de zile în laborator și apoi ținute 25, respectiv 100 zile în mediu coroziv s-a calculat cu relația 1, respectiv 2.

Pierdere de aderență medie / rezistență medie la întindere prin despicare, după 25 zile păstrare în mediu agresiv a probelor:

$$Pierdere\ de\ aderență\ medie\ / rezistență\ medie\ la\ întindere\ prin\ despicare\ după\ 25\ zile\ păstrare\ în\ mediu\ agresiv\ a\ probelor = \frac{R_{medie} - R_{medie\ la\ întindere\ prin\ despicare}}{R_{medie}} * 100 [\%] \quad (1)$$

Pierdere de aderență medie / rezistență medie la întindere prin despicare după 100 zile păstrare în mediu agresiv a probelor:

$$Pierdere\ de\ aderență\ medie\ / rezistență\ medie\ la\ întindere\ prin\ despicare\ după\ 100\ zile\ păstrare\ în\ mediu\ agresiv\ a\ probelor = \frac{R_{medie} - R_{medie\ la\ întindere\ prin\ despicare}}{R_{medie}} * 100$$

[%] (2)
unde:

CN_{max}^{med20} reprezintă media aritmetică a caracteristicii mecanice determinate (eforturilor maxime de smulgere / rezistența la întindere prin despicare medie) a probelor păstrate 28 zile în condiții de laborator [N/mm^2] (seria considerată marctor);

$CN_{max}^{med20}^{agresiv25}$ și $CN_{max}^{med20}^{agresiv100}$ reprezintă media aritmetică a caracteristicii mecanice determinate (eforturilor maxime de smulgere / rezistența la întindere prin despicare medie) a probelor păstrate 28 zile în condiții de laborator + 25 zile în condiții de mediu agresiv, respectiv 28 zile în condiții de laborator + 100 zile în condiții de mediu agresiv [N/mm^2].

Cinetica și mecanismul coroziunii armăturii în beton s-a studiat prin tehnici de analiză electrochimice în Laboratorul de Coroziune și Protecție Anticorozivă al Facultății de Știința și Ingineria Materialelor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

Epruvetele prismatice utilizate au fost confecționate din beton C20/25 preparat cu agregate naturale de râu (nisip 0-4 mm, pietriș 4-8 mm), ciment CEM I 42,5 N și apă, care au fost dozate și amestecate mecanic. Armătura utilizată a fost pregătită în același mod cu cea utilizată pentru epruvetele supuse la solicitări mecanice.

Celula electrochimică utilizată a fost compusă dintr-un vas care conține soluție de NaCl 3% în care s-a imersat epruveta, electrod de referință Ag/AgCl₂ și contraelectrod de platină. Electrocul de lucru a fost bara de oțel încastrată în beton. Înregistrarea datelor experimentale s-a realizat cu ajutorul unui potențiosat VOLTALAB PGZ 100 conectat la un computer.

Prin aplicarea unei diferențe de potențial constante, de 500±5 mV, pe durata a 24 de ore, s-a analizat evoluția densității de curent, indicator calitativ al vitezei de coroziune.

Metoda de polarizare liniară s-a utilizat pentru determinarea potențialului de coroziune, al curentului și al vitezei de coroziune. În curent continuu, prin baleierea potențialului aplicat electrodului de lucru în domeniul ±300 mV față de valoarea potențialului în circuit deschis s-au trasat curbele de polarizare liniară în interpretare Tafel, pe baza cărora s-au determinat parametrii cinetici ai fenomenului, respectiv potențialul de coroziune și curentul de coroziune și viteza de coroziune.

Pentru a stabili eficiența protecției prin zincare termică a oțelului-beton s-a calculat gradul de protecție datorat tratamentului anticoroziv, cu ajutorul formulei 3.

Rezultatele obținute sunt prezentate în **Tabelul 1**.

$$P = \frac{v_{cor}^{nec} - v_{cor}^{zinc}}{v_{cor}^{nec}} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

unde:

v_{cor}^{nec} = viteza de coroziune a oțelului neprotejat, exprimată în $\mu m/an$;

v_{cor}^{zinc} = viteza de coroziune a oțelului zincat termic, exprimată în $\mu m/an$.

Mecanismul fenomenului de coroziune a armăturii a fost studiat prin spectroscopie de impedanță electrochimică. Experimentele de spectroscopie de impedanță electrochimică (EIS) au fost realizate într-un domeniu de frecvențe ale curentului alternativ $f = 100kHz - 100 mHz$ și amplitudinea 10 mV. Au fost înregistrate spectre de impedanță la potențialul în circuit deschis, la temperatura de 23°C.

La valoarea potențialului în circuit deschis, prin aplicarea unui semnal de excitație printr-un curent alternativ de intensitate mică cu frecvență mare s-a obținut răspunsul electrodului de lucru sub forma de diagrame de tip Nyquist și de tip Bode. Modelarea mecanismului fenomenului a presupus fitarea diagramelor Nyquist și Bode cu ajutorul unui circuit electric echivalent pe baza căruia s-a evaluat calitativ și cantitativ cinetica și mecanismul de coroziune în beton a armăturii.

Înregistrarea și prelucrarea datelor testelor electrochimice s-a făcut utilizând soft-uri specializate, VoltaMaster 4 și ZView.

3. Rezultate și discuții

Pe baza rezultatelor experimentale obținute în urma solicitărilor mecanice, s-a observat că oțelul zincat termic are o aderență aproximativ egală cu cel neprotejat (**Fig. 3**). Deși prin coroziunea superficială a stratului de zinc pentru formarea hidroxizincatului de calciu are loc degajarea unui volum de hidrogen care ar putea reduce aria de contact a armăturii cu matricea de beton, acești pori formați s-a apreciat că sunt umpluți cu cristalele de hidroxizincat formate. Mai mult, aceste cristale cresc întrepătrunzându-se în betonul adiacent armăturii, determinând astfel o densificare a zonei, fapt ce determină valori bune ale aderenței. Această observație este în concordanță cu referințele din literatura de specialitate.

În urma determinării pierderilor de rezistențe mecanice (aderența dintre armătură și beton și rezistența la întindere prin despicare) se poate spune că oțelul zincat termic a avut o comportare mai bună decât cel neprotejat, pierderile de rezistențe mecanice în cazul său fiind mai mici (**Fig. 4 și 5**). O explicație ai poate fi diferența dintre volumele produșilor de coroziune. Produșii de coroziune ai fierului au volum

mult mai mare decât volumul fierului, ei formează un strat poros, puțin aderent pe suprafață, determinând tensiuni interne importante în matricea de beton adiacentă. Spre deosebire, produșii de coroziune ai zincului au volum de maxim 1,6 ori mai mare decât zincul, pot migra în matricea de beton și, în consecință determină mai puține tensiuni interne în matricea de beton.

Influența mediului agresiv este diferită, iar durata de expunere a determinat de asemenea reduceri diferite

rezistențelor mecanice. Astfel, cel mai puternic efect de reducere a rezistențelor mecanice îl are îngheț-dezgețul, mai ales că dezgețul a avut loc în soluție salină, combinându-se astfel efectul ciclurilor de îngheț-dezgeț cu acțiunea corozivă a ionilor de clor. În ordine descrescătoare a impactului, imersia în soluția 3% NaCl și acțiunea temperaturii ridicate, au un efect mai redus decât ciclurile de îngheț-dezgeț. Odată cu creșterea duratei de expunere, crește și pierderea de rezistență (aderența dintre armătură și beton și rezistența la întindere prin despicare).

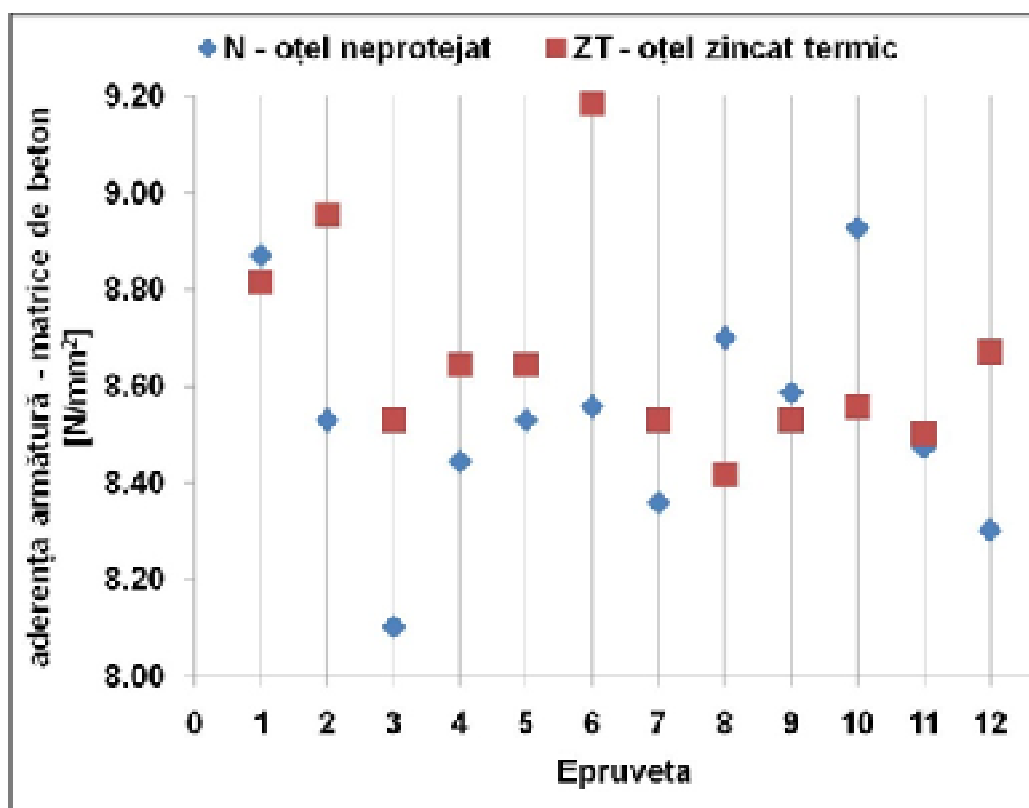


Fig. 3. Aderența armătură – matrice de beton, 28 zile de la turnare, păstrare în condiții de laborator

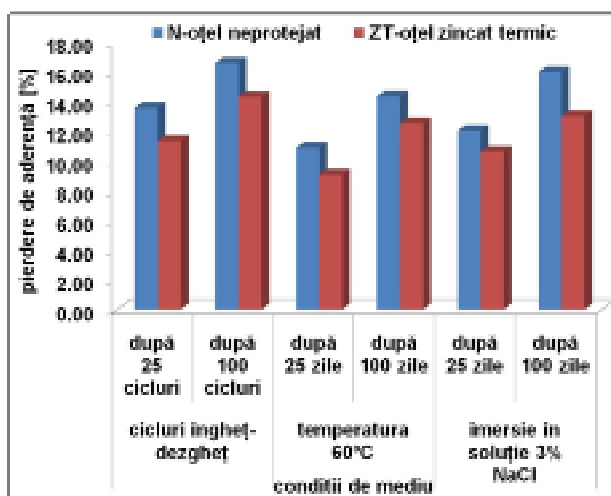


Fig. 4. Pierdere de aderență dintre armătură și beton prin acțiunea mediului agresiv

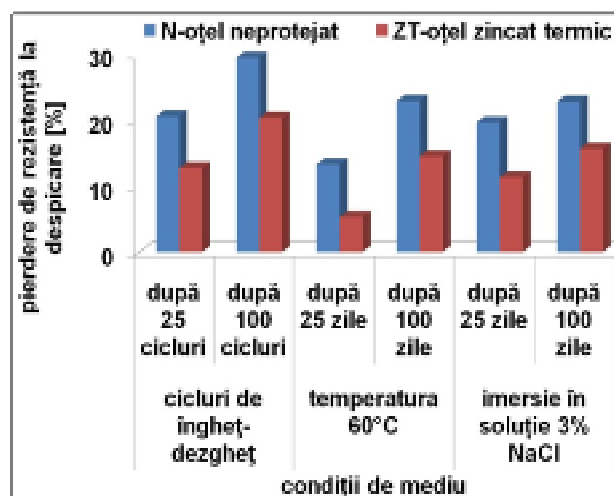


Fig. 5. Pierdere de rezistență la întindere prin despicare prin acțiunea mediului agresiv

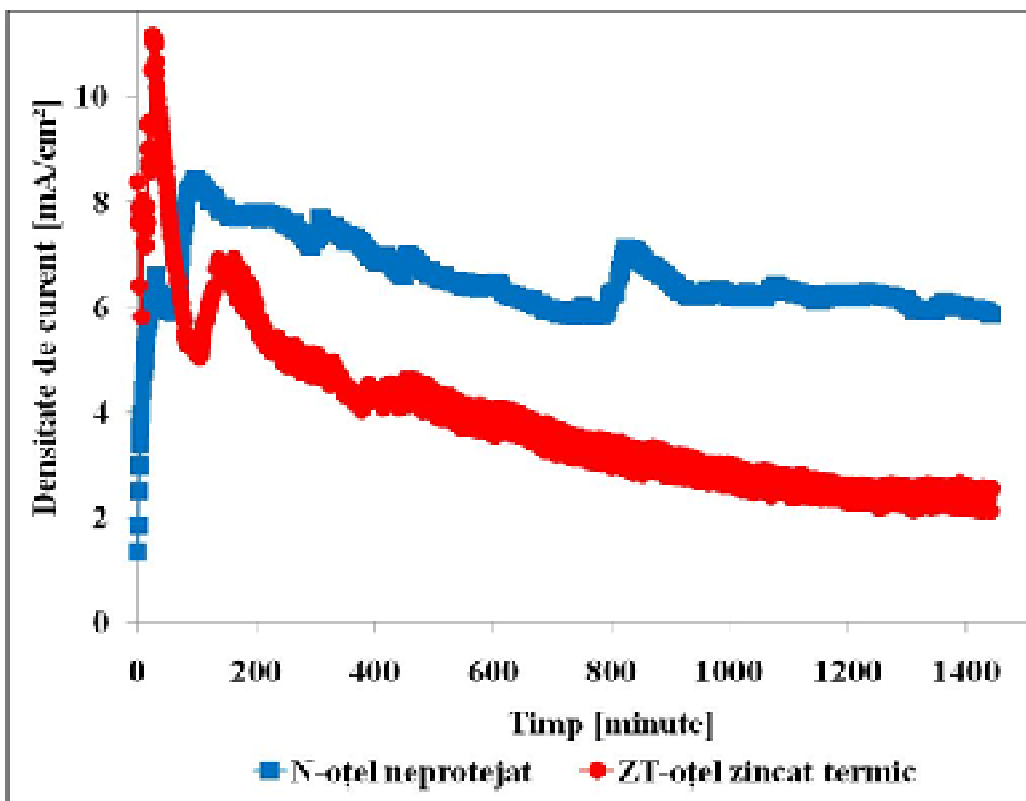


Fig. 6. Diagrama densității de curent, în funcție de timp, la potențial constant

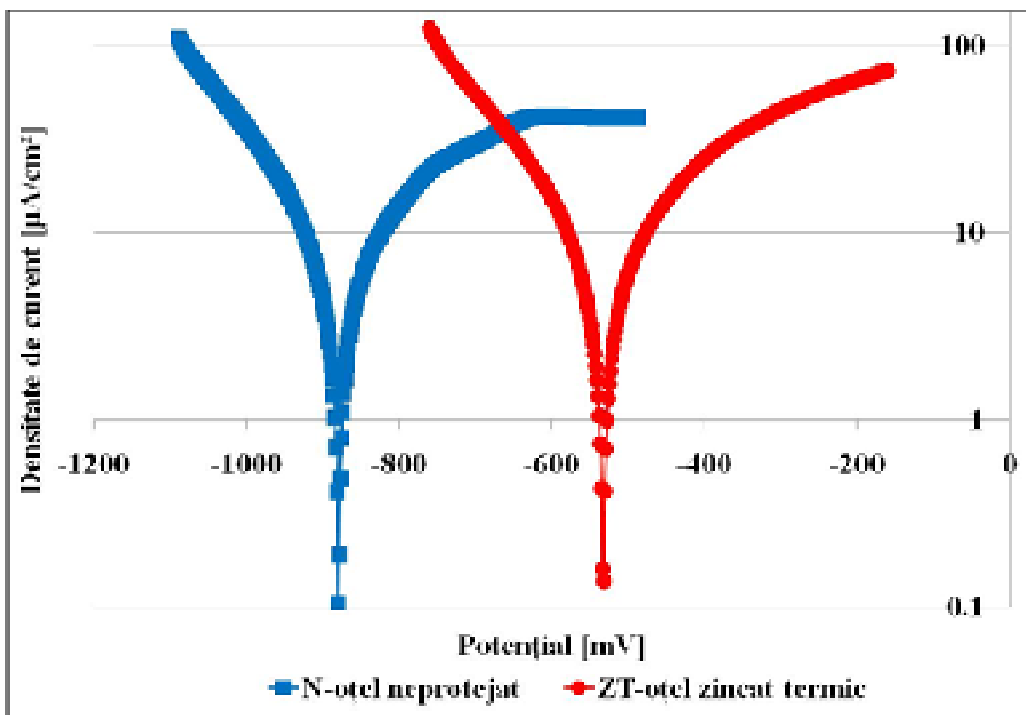


Fig. 7. Diagrama de polarizare liniară în reprezentare semi-logaritmică

Tabelul 1. Parametrii cinetici de ai procesului corozivne determinați din curbele de polarizare și eficiența protecției anticorozive prin zincare termică

Tip oțel	N	ZT	Eficiența protecției anticorozive prin zincare termică [%]
E_{cor} [mV]	-883,3	-537,1	8,59
i_{cor} [$\mu A/cm^2$]	11,0876	7,9437	

Diagramele de polarizare liniară (Fig. 7), în coordonate semi-logaritmice Tafel, caracterizează cantitativ cinetica celor două procese de coroziune. Parametrii cinetici ai procesului de coroziune sunt prezentați în Tabelul 1. Se observă că oțelul zincat termic are un curent de coroziune mai redus și, în consecință, o viteză de coroziune mai mică decât oțelul nezincat. Potențialul de coroziune înregistrat în cazul oțelului zincat termic este de plasat spre valori pozitive, ceea ce demonstrează din punct de vedere termodinamic, stabilitatea mai mare, respectiv, probabilitatea mai redusă de inițiere a coroziunii în acest caz decât pentru oțelul nezincat.

Din aspectul diagramelor de polarizare liniară se poate spune că la suprapotențiale mici, coroziunea armăturii

este controlată de cinetica reacțiilor chimice. La suprapotențiale mari, pe lângă reacțiile de coroziune se observă și un control difuziv datorat probabil de efectul stratului de oxizi format la interfața armătură / beton.

Mecanismul procesului de coroziune, studiat prin spectroscopie de impedanță electrochimică au pus în evidență rezistența mai mare la polarizare (R3), în consecință, rezistența mai bună la coroziune a oțelului zincat termic (Fig. 8 și Tabelul 2).

Fitarea diagramelor de tip Nyquist s-a făcut cu ajutorul unui circuit electric echivalent de tip R-2RC (Fig. 9), ceea ce este în concordanță cu literatura de specialitate.

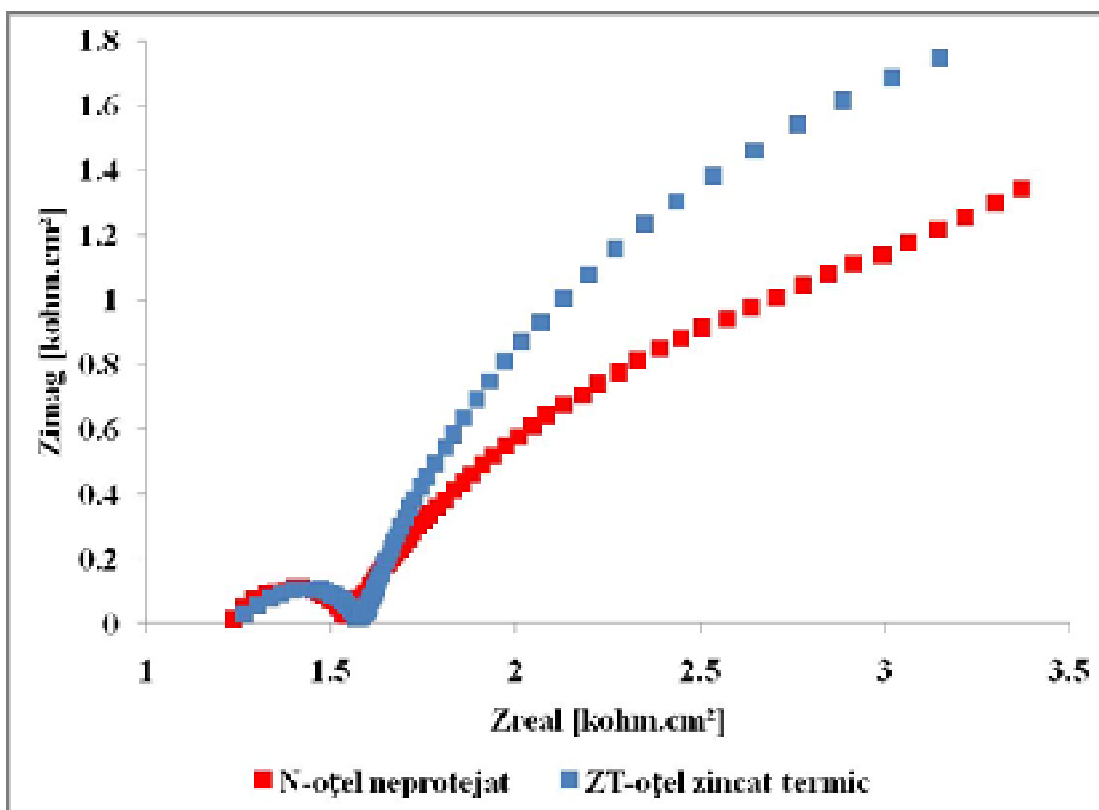


Fig. 8. Diagrame Nyquist

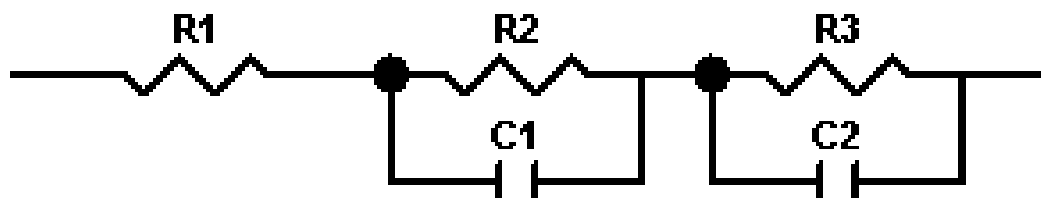


Fig. 9. Circuitul electric echivalent utilizat pentru fitarea diagramelor Nyquist și Bode

Tabelul 2. Valorile elementelor circuitului echivalent obținute pentru cea mai bună fitare

Tip de oțel	R1 [$\Omega \cdot \text{cm}^2$]	R2 [$\Omega \cdot \text{cm}^2$]	R3 [$\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$]	C1 x 10 ⁻⁸ [F/cm ²]	C2 x 10 ⁻⁸ [F/cm ²]
N	1328	241,4	1906	3,8077	40494
ZT	1898	366,8	2993	2,2555	61581

4. Concluzii

În urma testelor experimentale efectuate s-a constatat că în ceea ce privește controversa, încă existentă, privind influența negativă pe care o are zincarea termică a armăturii asupra aderenței acesteia la matricea de ciment, valorile obținute nu susțin această afirmație. Aderența armăturii zincate termic la matricea de beton este comparativă cu aderența armăturii neprotejate.

Zincarea termică a armăturii a determinat o comportare mai bună a structurilor din beton armat expuse în medii agresive: cicluri de îngheț-dezgeț, acțiunea sărurilor de dezgeț, acțiunii mediului marin, etc. Aceasta se demonstrează prin pierderile mai reduse de aderență, respectiv prin pierderile mai reduse ale rezistenței la întindere prin despicare ale betonului armat. De asemenea, chiar și în lipsa înghețului, armătura zincată termic a avut o comportare superioară atât în prezența ionilor de clor cât și la expunere la temperatură ridicată.

Pe baza rezultatelor obținute prin analiza electrochimică se poate spune că zincarea termică a armăturii determină reducerea cineticii coroziunii, curent și viteză de coroziune mai mici decât în cazul oțelului neprotejat. Potențialul de coroziune deplasat spre valori pozitive indică, din punct de vedere termodinamic, o rezistență mai bună la coroziune a oțelului zincat termic.

Mecanismul procesului decurge calitativ în mod similar pentru ambele tipuri de armătură studiate, dar cantitativ s-a observat că armătura zincată termic prezintă o rezistență mai mare la polarizare, ceea ce semnifică o rezistență mai bună la coroziune.

Rezultatele obținute sunt în concordanță cu cele ale altor studii prezentate în literatura de specialitate

BIBLIOGRAFIE

Andrade C., Cruz A. (2004), *Electrochemical aspects of galvanized reinforcement corrosion*, în: Yeomans S. R. (Editor), *Galvanized steel reinforcement in concrete*, Elsevier, pag. 111-144.

- Clifton J. R., Mathey R. G. (1983), Bond and creep characteristics of coated reinforcing bars in concrete, *American Concrete Institute Journal Proceedings* **80(4)**:288-293.
- Fratesi R. (2002), *Galvanized reinforcing steel bars in concrete*, Proceedings of COST 521 Workshop, Luxemburg, pag. 33-44.
- Kayali O., Yeomans S. R. (2000), *Bond of ribbed galvanized reinforcing steel in concrete*, *Cement and Concrete Composites* **22(6)**:459-467.
- Marder A. R. (2000), *The metallurgy of zinc – coated steel*, *Progress in Materials Science* **45**:193-271
- Mietz J., Burket A., Lehmann J., Eich G. (2008), *Galvanized constructional elements in contact with prestressing steel tendons*, *Material and Corrosion* **59(2)**:131-138.
- NE 012-2007 (2007), *Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton armat și beton precomprimat*.
- Poursaeed A., Hansson C. M. (2007), *Reinforcing steel passivation in mortar and pore solution*, *Cement and Concrete Research* **37**:1127-1133.
- Sistonen E., Cwirzen A., Puttonen J. (2008), *Corrosion mechanism of hot-dip galvanized reinforcement bar in cracked concrete*, *Corrosion Science* **50**:3413-3429.
- SR EN 12390-6 (2002), *Testing hardened concrete – Part 6: Tensile splitting of test specimens*.
- SR EN ISO 2178 (1998), *Acoperiri metalice nemagnetice pe metal de baza magnetic. Măsurarea grosimii acoperirii. Metoda magnetică*.
- SR ISO 1460 (1992), *Acoperiri metalice. Acoperiri termice de zinc pe metale feroase. Determinarea gravimetrică a masei pe unitatea de suprafață*.
- STAS 438/1-89/A91:2007/C91 (2009), *Produse de oțel pentru armarea betonului. Oțel beton laminat la cald. Mărci și condiții tehnice de calitate*.
- STAS 5511-89 (1989), *Determinarea aderenței dintre beton și armatura. Metoda prin smulgere*.
- Visan T. – Editor (2009), *Electrochimie și coroziune pentru doctoranzii ELCOR*, vol. 4, Ed. Politehnica Press, București, pag. 317-357.
- Yadav A. P., Nishikata A., Tsuru T. (2004), *Electrochemical impedance study on galvanized steel corrosion under cyclic wet-dry conditions – influence of time of wetness*, *Corrosion Science* **46**:169-181.
- Yeomans S. R. – Editor (2004), *Galvanized Steel Reinforcement in Concrete*, Elsevier.