



# Studiul coroziunii oțelului zincat de la prizele de pământare aferente sistemului electroenergetic trifazat

IOSIF LINGVAY<sup>1\*</sup>, CĂLIN HOMAN<sup>2</sup>, CARMEN LINGVAY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INC.DIE ICPE-Cercetări Avansate, București, Spl. Unirii, Nr.313, 030138, București, România

<sup>2</sup>S.C. ELECTRICA – SDFEE „TRANSILVANIA NORD” S.A., Cluj-Napoca, Str. Memorandumului, Nr. 27, 400114, Cluj-Napoca, România,

*The degradation by corrosion of buried metallic plates used for three-phase power system in a crowded town (Cluj-Napoca) was investigated. The results have shown accelerated corrosion of zinc covered carbon steel, caused by the simultaneous action of the Zn/Fe galvanic couple, as well as by steel polarization due to disequilibrium currents of the three-phase alternative current and the d.c. stray currents.*

**Keywords:** corrosion, ground plate, d.c. stray currents, a.c. disequilibrium currents

În perspectiva dezvoltării durabile, este cunoscut că asigurarea unei funcționări de durată și în deplină siguranță a sistemului energetic trifazat este determinată, în mare măsură, de integritatea prizelor de pământare aferente stațiilor și substațiilor de transformare.

Prizele de pământare sunt constituite dintr-o montură metalică îngropată, realizată, în mod tradițional, din profile laminate de oțel carbon (pevi și platbande), zincate termic și interconectate prin sudură. De asemenea, în situații speciale, acestea se mai realizează și din bare de cupru, soluție tehnică care, deși asigură o durabilitate sporită, implică costuri substanțial mai ridicate.

În scopul asigurării electroprotecției echipamentelor electroenergetice, precum și pentru echilibrarea sistemului energetic trifazat, la prizele de pământare sunt legate ohmic toate părțile metalice ale echipamentelor și instalațiilor electrice, inclusiv ecranele cablurilor subterane (atât cele de energie, cât și cele de semnal și telecomenzi aferente substațiilor de transformare), precum și prizele mediane ale transformatoarelor. În aceste condiții, monturile metalice subterane aferente prizelor de pământare sunt expuse degradărilor prin coroziune, datorate atât agresivității chimice a solului cât și, mai ales, polarizării lor în c.a. față de sol. În cazul centrelor urbane aglomerate, la acestea se adaugă și acțiunea corozivă a curenților de dispersie în c.c. proveniți de la căile de rulare ale transportului electric urban.

În acest context, studiul coroziunii prizelor de pământare aferente sistemului energetic trifazat este o problemă teoretică complexă, cu implicații practice deosebite asupra siguranței în funcționare a sistemului, asupra calității energiei electrice furnizate și asupra poluării electromagnetice a mediului.

Scopul prezentei lucrări constă în studiul distrugerilor prin coroziune ale sistemului de pământare aferent unei substații electrice dintr-un oraș aglomerat, cu transport electric urban (tramvaie).

## Partea experimentală

A fost evaluată starea de coroziune a sistemului de pământare, extins pe o suprafață de cca 1 hectar, dintr-o stație electrică din Cluj-Napoca. Sistemul de pământare investigat a fost executat din profile de oțel carbon zincate termic, pozate în anul 1965, sistem la care au fost executate reparații în anul 2001, iar în 2005 ÷ 2006, în cadrul lucrărilor de reparație capitală, au fost executate implementări de

noi monturi metalice. Prin măsurători electrice și electrochimice specifice, au fost determinate: intensitatea curenților în c.a. care circulă prin platbandele de legătură ale echipamentelor protejate (cu un adaptor clamp UNITEST - 93410) și potențialele de coroziune,  $E_{cor}$ , pentru sistemul centură de pământare / sol, utilizând un electrod de referință Cu/CuSO<sub>4</sub> și un multimetru PHILIPS – 2718 / 02.

## Rezultate și discuții

Imagini de ansamblu ale stației de transformare înaltă / medie tensiune, în timpul investigării sistemului de pământare, sunt prezentate în figura 1. Figura 2 redă câteva fotografii privind resturile corodate din peavă și platbandă zincată ale sistemului de pământare (executat și pus în funcțiune în anul 1965). De asemenea, starea de coroziune a ecranelor cablurilor de semnalizare și de telecomandă aferente stației de transformare (al căror ecran metalic a fost legat la centura de pământare analizată) este ilustrată în figura 3.

Din analiza fotografiilor prezentate în figurile 1 ÷ 3, se constată că, atât montura metalică aferentă centurii de pământare, cât și ecranele metalice ale cablurilor



Fig. 1. Imagine de ansamblu a stației de transformare înaltă / medie tensiune, în timpul refacerii sistemului de pământare (Cluj-Napoca, 2005)

\* email: lingvay@icpe.ro.

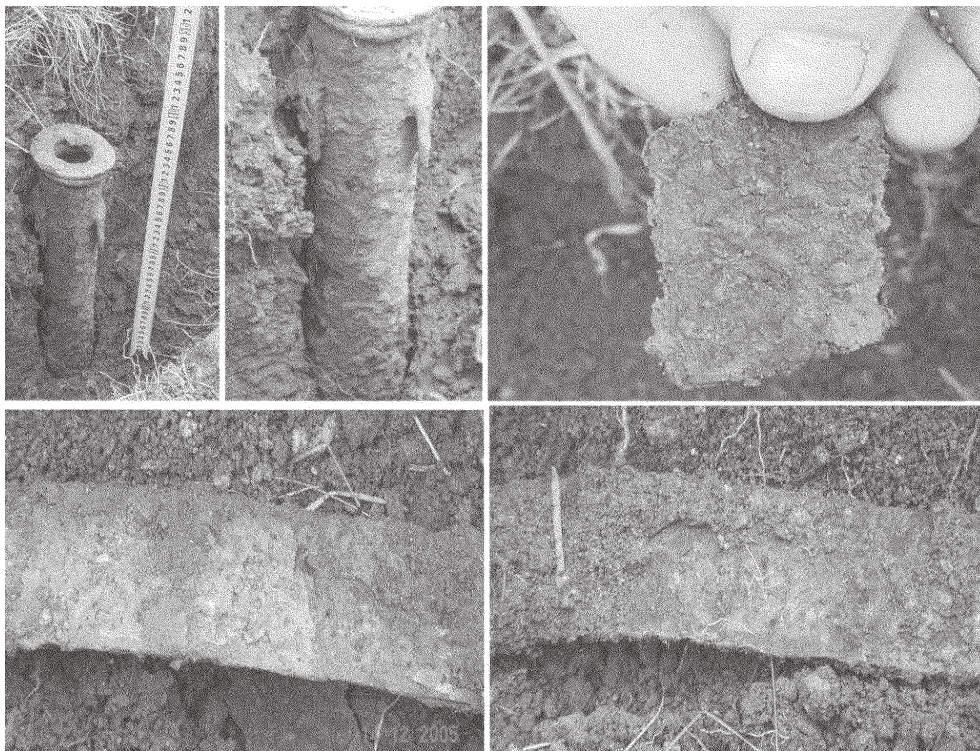


Fig. 2. Resturile corodate ale sistemului de pământare, executat și pus în funcțiune în anul 1965



Fig. 3. Starea de coroziune a cablurilor de semnalizare și de telecomandă

subterane racordate ohmic la priza de pământare, toate pozate în 1965, sunt extrem de corodate.

În cazul structurilor metalice din oțel zincat termic, pozate subteran, reacțiile care determină coroziunea ansamblului Zn - Fe și potențialele de electrod standard corespunzătoare [1] — sunt următoarele:

a)coroziunea oțelului (1):



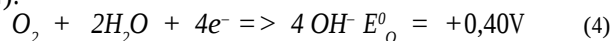
b)coroziunea zincului (2):



c)reducerea oxigenului, în cazul solurilor acide (3):



d)reducerea oxigenului, în cazul solurilor neutre și alcaline (4):



Din analiza proceselor de electrod descrise de ecuațiile (1) ÷ (4) și a valorilor potențialelor standard aferente, se constată că degradarea prin coroziune a oțelului (atât din montura metalică a prizei de pământare, cât și din ecranul metalic al cablurilor racordate la aceasta) este teoretic posibilă doar după dizolvarea completă a zincului aplicat termic pe profilele de oțel carbon [2, 3]. Cu toate acestea, din fotografiile prezentate în figura 2, se observă că, pe suprafața platbandei acoperite cu rugină, există încă porțiuni de zinc rămase nedizolvate, fapt ce se poate explica prin inversarea selectivă a polarității sistemului de pilă galvanică Fe / Zn [4] în medii cu oxigen și, implicit, producerea coroziunii accentuate a oțelului [5].

În cazul posturilor și stațiilor de transformare, la prizele / centurile de pământare, sunt conectate ohmic atât părțile metalice ale echipamentelor electrice și ale stâlpilor de susținere, cât și ecranele cablurilor subterane (cabluri de energie, de semnalizare și de telecomenzi servicii interne) precum și prizele mediane (de nul) ale transformatoarelor electrice. În această situație, o parte din curenții de

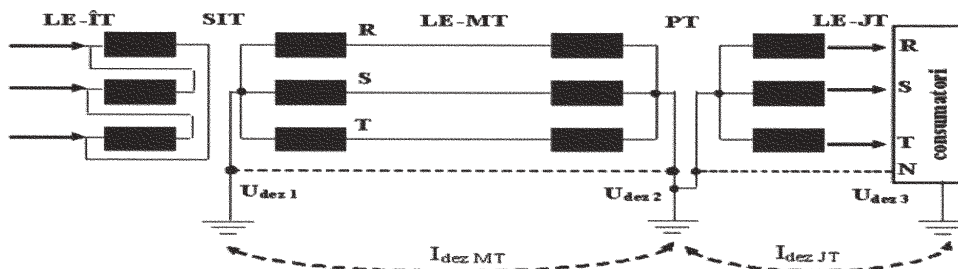


Fig. 4. Schema sistemului energetic trifazat și circulația curenților de dezechilibru între prizele de pământare: LE-ÎT - linie electrică de înaltă tensiune, SIT - stație de transformare înaltă / medie tensiune, LE-MT - linie electrică de medie tensiune (în cazul liniilor subterane, ecranele metalice ale cablurilor sunt legate ohmic de prizele de pământare), PT - post transformare medie / joasă tensiune,  $U_{dez}$  - tensiuni de dezechilibru,  $I_{dez MT}$  - curenții de dezechilibru datorai dezechilibrelor de sarcină de pe liniile de medie tensiune,  $I_{dez JT}$  - curenții de dezechilibru datorai dezechilibrelor de sarcină de pe liniile de joasă tensiune

dezechilibru al sistemului trifazat se echilibrează prin sol, așa cum este ilustrat în schema electrică din figura 4.

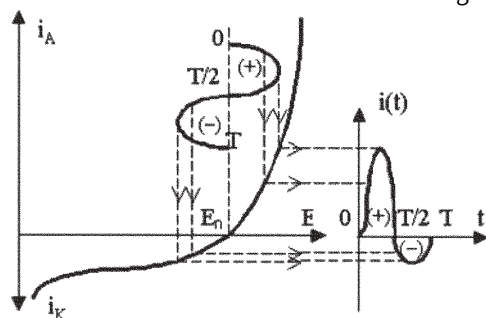


Fig. 5. Curba de polarizare tipică  $i - E$  pentru oțel / sol, ilustrând influența semnalelor în c.a. suprapuse interferenței metal/sol și răspunsul sistemului electrochimic în timp:  $E_0 - i_k$  - ramura catodică,  $T$  - perioada c.a.

În cazul sistemului investigat, curentul total obținut prin însumarea intensităților de curent pe fiecare racord la centura de pământare ( $I_{dez MT}$ , fig. 4), în funcție de perioada diurnă a determinărilor, a fost cuprins între 82,4 A (determinări între orele 9<sup>00</sup> și 12<sup>00</sup>) și 69,4 A (determinări între orele 23<sup>00</sup> și 24<sup>00</sup>). Cu o aproximare acceptabilă, se poate considera că aceste valori reprezintă, de fapt, valoarea curentului de dezechilibru care se închide prin sol și care polarizează în curent alternativ montura metalică a prizei de pământare față de sol. Raportând aceste valori la suprafața totală a monturii metalice îngropate - de circa 40 m<sup>2</sup> - rezultă că densitatea c.a. de polarizare a sistemului este cuprinsă între 1,7 și 2 A/m<sup>2</sup>. Comparând aceste valori cu rezultatele determinărilor de laborator efectuate pentru probe din oțel carbon OL37 în apă freatică [6], precum și

cu alte rezultate anterioare [7], rezultă că, în urma polarizării în c.a. a structurii metalice, densitatea curentului de coroziune a oțelului carbon în sol (care este o măsură a vitezei de coroziune) a fost de cca 0,3 A/m<sup>2</sup>. Aceasta este echivalentă cu o pierdere de masă prin coroziune de cca 3 kg oțel/an/m<sup>2</sup>, valoare apreciabilă, prin care se poate explica starea de degradare deosebit de avansată a structurilor analizate.

Intensificarea coroziunii oțelului carbon în sol datorată polarizării în c.a. a sistemului electrochimic format din structura metalică aferentă prizei de pământare și sol, se poate demonstra grafic, prin analiza curbelor de polarizare specifice sistemului, peste care se suprapune, la potențialul mixt de coroziune  $E_0$ , semnalul perturbator în c.a., respectiv curentul de polarizare în c.a., conform figurii 5. Din analiza acestora rezultă că, la polarizarea în curent alternativ a sistemului metal / sol aflat într-o stare staționară, sistemul răspunde printr-un curent alternativ deformat, preponderent anodic [8], ceea ce accelerează substanțial procesul de coroziune. Acest mecanism este în bună concordanță și cu rezultatele experimentale raportate anterior [6, 7].

Căderile ohmice de tensiune în c.c. care apar pe calea de rulare a tramvaielor, generează curenți în c.c. care circulă prin sol (curenți de dispersie - „vagabonzi”). Determinările de potențial de coroziune,  $E_{corr}$ , la structura metalică a centurii de pământare au indicat valori variabile în timp, cuprinse între +0,05 și -39 V<sub>Cu/CuSO4</sub>. Valorile mai pozitive au fost înregistrate sistematic în extremitatea sud-estică a stației de transformare, mai apropiată de linia de tramvai (la o distanță de cca 300 m). Această diferențiere

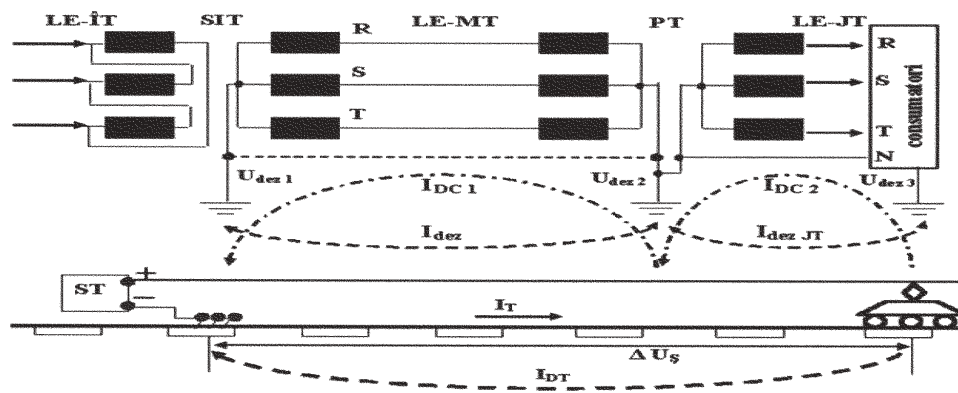


Fig. 6. Schema curenților de dispersie în c.c. și a celor de dezechilibru în c.a. care polarizează structura metalică a prizei de pământare: LE-ÎT - linie electrică de înaltă tensiune, SIT - stație de transformare înaltă / medie tensiune, LE-MT - linie electrică de medie tensiune (în cazul liniilor subterane, ecranele metalice ale cablurilor sunt legate ohmic de prizele de pământare), PT - post transformare medie / joasă tensiune,  $U_{dez}$  - tensiuni de dezechilibru,  $I_{dez MT}$  - curenții de dezechilibru datorai dezechilibrelor de sarcină de pe liniile de medie tensiune,  $I_{dez JT}$  - curenții de dezechilibru datorai dezechilibrelor de sarcină de pe liniile de joasă tensiune, ST - stația de redresare tramvaie,  $I_t$  - curentul de tracțiune al tramvaiului,  $\Delta U_s$  - căderea de tensiune pe calea de rulare (șinele) tramvaielor între poziția vagonului și locul de racordare al cablului de întoarcere,  $I_{DC1}$  și  $I_{DC2}$  - curenții de dispersie în c.c., care circulă prin prizele de pământare ale sistemului energetic

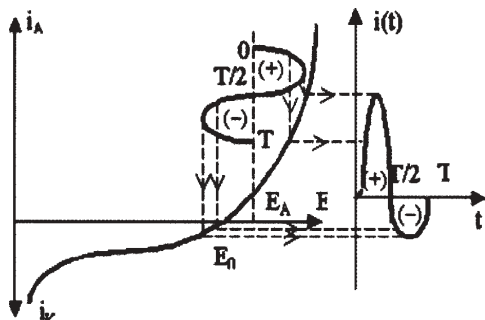


Fig. 7. Curba de polarizare tipică oțel / sol, influența semnalelor în c.a. suprapuse interfeței metal/sol în zona polarizată anodic  $-E_A$ -prin curenții de dispersie în c.c., și răspunsul sistemului electrochimic

a potențialelor de coroziune în funcție de poziția liniei de tramvaie din zonă, precum și variația în timp, sugerează faptul că, pe lângă polarizarea în c.a. a prizelor analizate, în procesul de coroziune au contribuit, în mare măsură, și curenții de dispersie în c.c. produși de tramvaie [6].

Solul fiind un mediu electroconductor de speța a II-a (mediu electrolitic), cu rezistivitate electrică relativ ridicată (de peste  $5\Omega m$ ), acești curenți vor circula preferențial prin structurile metalice îngropate, care au rezistivitatea mai mică cu câteva ordine de mărime. Astfel, sistemul electrochimic metal (priza de pământare) / sol este perturbat, atât prin polarizare în c.a., datorită curenților care circulă prin sol între prizele de pământare, cât și prin polarizare în c.c., datorită curenților de dispersie proveniți de la tramvaie - conform schiței din figura 6. În aceste condiții, în zonele anodice ale structurii metalice, apărute în urma polarizării în c.c., răspunsul sistemului metal/sol la polarizarea în c.a. [8, 9] este diferit de cel din figura 5, fiind prezentat în figura 7.

Din analiza figurii 7 rezultă că, în cazul sistemelor electrochimice metal / electrolit polarizate anodic în curent continuu și care, suplimentar, sunt polarizate și în curent alternativ, răspunsul sistemului este printr-un curent alternativ sinusoidal foarte deformat pulsator, situat preponderent în domeniul anodic, fapt prin care se poate explica starea deosebit de corodată a prizelor de pământare. Este de remarcat faptul că degradarea monturii metalice a prizei de pământare s-a desfășurat cu o viteză de coroziune mult mai mică până în anul 1986, când au fost introduse tramvaiele, decât în condițiile actuale.

În scopul evaluării vitezei de coroziune, a fost analizată starea de corodare a platbandelor de oțel zincat pozate în anul 2001. Determinările de potențial de coroziune pentru aceste platbande au indicat valori cu fluctuații, cuprinse între  $-0,12$  și  $-0,44V_{Cu/CuSO_4}$ , determinate de circulația tramvaielor din zonă. Aceste valori, sistematic mai pozitive decât potențialul de coroziune natural al oțelului carbon în sol, explică starea de degradare a platbandelor pozate în zona afectată de tramvaie (fig. 8). Din analiza fotografiilor din figura 8, se constată că acoperirea de zinc de pe suprafața oțelului a fost deja intens corodată, fapt ce se poate explica printr-o viteză actuală de coroziune deosebit de ridicată a monturii metalice de la priza de pământare, datorată polarizării acesteia prin suprapunerea curenților de dispersie în c.c. produși de tramvaie și a curenților de dezechilibru în c.a., conform mecanismului ilustrat în figura 7.

Se consideră că, în condițiile actuale de dezvoltare tehnologică și de poluare electromagnetică a solului prin curenți de dispersie, atât în c.c., cât și în c.a., durabilitatea prizelor de pământare este limitată dacă se utilizează monturile metalice din oțel zincat. În perspectiva dezvoltării durabile, în scopul asigurării siguranței în funcționare, este



Fig. 8. Imagini privind starea de coroziune a unor platbande pozate în anul 2001

oportună reconsiderarea proiectării prizelor de pământare, respectiv înlocuirea laminatelor din oțel zincat cu materiale metalice electrochimic inerte, cu viteză de coroziune și de dizolvare anodică cât mai reduse.

## Concluzii

Investigarea stării de coroziune a monturilor metalice din oțel zincat aferente prizei / centurii de pământare dintr-o stație de transformare de înaltă / medie tensiune (din Cluj-Napoca) a condus la următoarele concluzii:

Materialul din oțel zincat al platbandelor de legătură, pozate în anul 1965, este aproape complet degradat prin coroziune (mai există doar mici porțiuni de suprafață acoperită cu zinc), fapt ce se explică prin inversarea polarității cuplului galvanic Fe/Zn - sol, care apare datorită oxigenului din sol [2, 5] și care conduce, implicit, la coroziunea accentuată a oțelului. Starea de coroziune deosebit de avansată a prizei de pământare se poate explica și prin faptul că interfața priză / sol, pe toată durata de exploatare de cca 40 ani, a fost polarizată de curenții de dezechilibru aferenți sistemului energetic trifazat (la data determinărilor de curenți de cca 80A, respectiv densități de curent de cca  $2A/m^2$  în c.a.). De asemenea, prin măsurători de potențial de coroziune, a rezultat că o contribuție substanțială la degradarea monturilor metalice ale prizelor au avut și curenții de dispersie în c.c. proveniți de la tramvaie (puse în funcțiune în 1986). Circulația tramvaielor în zonă determină deplasarea potențialului de coroziune al structurii metalice aferente centurii de pământare (în partea sud-estică a stației de transformare) spre valori mai electropozitive, înregistrându-se fluctuații cuprinse între  $-0,12$  și  $-0,44V_{Cu/CuSO_4}$ .

Din analiza vizuală a platbandelor de legătură (din oțel zincat) pozate în anul 2001, s-a constatat că și aceste elemente ale stației de transformare prezintă urme avansate de degradare corozivă, zincul deja dizolvându-se pe suprafețe relativ mari. De aici, concluzia că viteza actuală de coroziune a monturii metalice aferente prizei de pământare este deosebit de ridicată, fapt ce se explică prin polarizarea intensă simultană a sistemului oțel / sol,

atât în c.a. (curenții de dezechilibru), cât și în c.c. (curenții de dispersie proveniți de la tramvaie).

Având în vedere cele de mai sus, în perspectiva dezvoltării durabile, în scopul asigurării siguranței în funcționare sporite, se consideră oportună reconsiderarea proiectării prizelor de pământare, respectiv înlocuirea laminatelor din oțel zincat cu materiale metalice electrochimic inerte, cu viteză redusă de coroziune și de dizolvare anodică.

*Mulțumiri: Autorii mulțumesc M. Ed. C. pentru finanțarea susținută a cercetării, în special a programului CEEX, proiectul „ICEMECOS”, prin care această lucrare a fost realizată.*

## Bibliografie

1. ANTELMAN, M.S., The Encyclopedia of Chemical Electrode Potentials, Plenum Press. New York, 1982

2. SZABÓ, S., BAKOS, I., *Korróziós Figyelő*, XLV., nr. 4., 2005, p. 115
3. PORTER, F.C., Corosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys, Marcel Dekker, New York, Basel, 1994, p. 355
4. SZABÓ, S., BAKOS, I., *Corr. Reviews*, 22, 2004, p. 183
5. SZABÓ, S., BAKOS, I., *Corr. Reviews*, 23, 2005, p. 171
6. LINGVAY, I., STOIAN, F., RAȚĂ, C., Study of Corrosion for Some Iron Steels Given by the Alternative Stray Currents - EUROCORR '97, Trondheim, Norway, Sept. 22-25, 1997, I, p. 635
7. LINGVAY, I., STOIAN, F., RAȚĂ, C., *Lucrările ICPE*, 5, nr. 3-4, 1997, p. 49
8. LINGVAY, I., Influența semnalelor în curent alternativ suprapuse proceselor de coroziune, în vol. "ELECTROCHIMIE ȘI COROZIUNE PENTRU DOCTORANZII ELCOR", Vol.1, Coord. Vișan, T., Ed. Printech, București, 2002, p. 123
9. LINGVAY, I., Coroziunea datorată curenților de dispersie "vagabonzi", Editura Electra, București, 2005. p. 111

---

Intrat în redacție: 22.03.2007

















