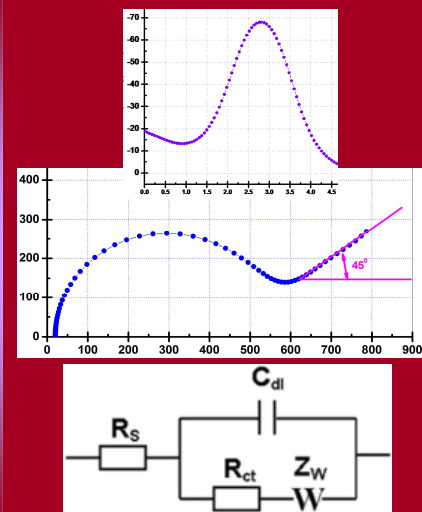
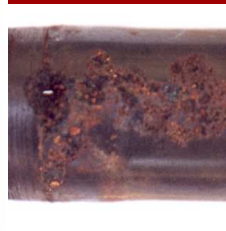
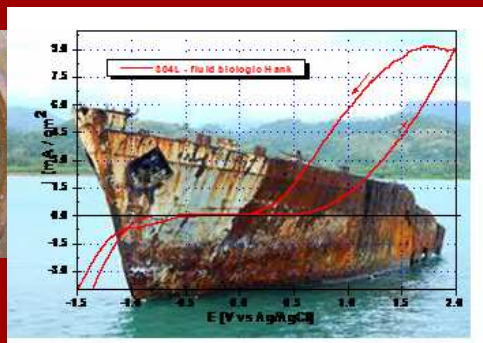


# Lidia BENEÀ

## COROZIUNE ŞI PROTECŢII ANTICOROZIVE DE LA TEORIE LA PRACTICĂ



**COROZIUNE ŞI PROTECŢII ANTICOROZIVE  
DE LA TEORIE LA PRACTICĂ**



2017

**Lidia BENEĂ**

**COROZIUNE ȘI PROTECȚII ANTICOROZIVE**

*- de la teorie la practică -*



**EDITURA ACADEMICA**

**2017**

Lidia BENEĂ  
Coroziune și Protecții Anticorozive - de la teorie la practică

**EDITURA ACADEMICA**  
**Galați, Str. Domneasca nr. 111, Cod 800201**

Editură acreditată de *Ministerul Educației și Cercetării* prin  
*Consiliul Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior.*

**Autor: Prof. Univ. Dr. Lidia BENEĂ**  
Universitatea Dunărea de Jos din Galați.  
Facultatea de Inginerie  
Centrul de Competențe Interfețe – Tribocoroziune și Sisteme Electrochimice (CC-ITES).  
<http://www.cc-ites.ugal.ro/>

**Editor și tehnoredactare: Prof. Univ. Dr. Lidia BENEĂ**

**Coperta: Prof. Univ. Dr. Lidia BENEĂ**

**CIP nr. 05897 / 20.03.2017**

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**  
**BENEĂ, LIDIA**

**Coroziune și protecții anticorozive : de la teorie la practică /**  
Lidia Benea. - Galați : Academica, 2017  
Conține bibliografie  
ISBN 978-973-8937-99-4

62

**Birou CIP,**  
**Florina Cojocaru**



**Referent științific:**

**Prof. univ. dr. Teodor VIȘAN**

Departamentul de Chimie anorganică, Chimie fizică și Electrochimie

Facultatea de Chimie Aplicată și Știința Materialelor

Universitatea "Politehnica" din București

**Copyright: © 2016 Lidia BENEĂ.** Toate drepturile asupra acestei lucrări aparțin autorului. Lucrarea în întregime sau fragmente din lucrare nu pot fi reproduse, multiplicare sau comercializate în nici o formă fără consimțământul scris al autorului.

**ISBN 978-973-8937-99-4**



EDITURA ACADEMICA

**2017**

*Părinților mei: Ana și Teodor  
și  
Nepoților: Alexandra și Rareș*

## PREZENTAREA AUTOAREI

**Prof. univ. dr. chim. Lidia BENEĂ**

**Lidia BENEĂ** este profesor universitar la Universitatea Dunărea de Jos Galați, Centrul de competențe Interfețe - Tribocoroziune și Sisteme Electrochimice (CC-ITES; [Lidia.Benea@ugal.ro](mailto:Lidia.Benea@ugal.ro))

**Conducător de doctorat** în Domeniul fundamental: *Științe Inginerești*, Domeniul de studii universitare de doctorat: *Ingineria Materialelor*.

**Director general al Centrul de Competențe Interfețe – Tribocoroziune și Sisteme Electrochimice (CC-ITES)**. Web: <http://www.ugal.ro>, <http://www.cc-ites.ugal.ro>, <https://erris.gov.ro/COMPETENCES-CENTER-INTERFACE>

**Researcher ID: B-9653-2011**, <http://www.researcherid.com/rid/B-9653-2011>

**SCOPUS ID: 55954358700** ; **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1551-3960**

**Diploma de Doctor: 1996 Doctor în Chimie (Ph.D.), Teza de doctorat: Obținerea și analiza structurală a straturilor compozite.**

**Membru în comisia MENCs-CNATDCU pentru perioada 2016-2020.**

Ordin de ministru: OMENCs nr. 4.106/10.06.2016

**Domenii de cercetare și expertiză:** Electrochimie aplicată în știința materialelor, inginerie și mediu

**Expert evaluator la Comisia Europeană – RDG Science Research and Development, Engineering Science and Chemistry Panel (Identificare: FP5 ( EE19981A24009); INTAS Expert: ID-4458; FP6, FP7: EX2002B002205), ESF-COST, MCT-ANCS, Romanian National Experts.**

**Competențe de lucru individual și în echipă.** Adaptabilitate bună de lucru în medii multiculturale, spirit de echipă, capacitate bună de comunicare, formarea și coordonarea personalului didactic și al studenților.

**Experiența managerială** rezultată din coordonarea multiplelor proiecte la nivel național și European.

**Limbi străine: Franceza (perfect), Engleza (foarte bine).** Competențe foarte bune tehnice în lucrul cu calculatorul.

**Profesor și cercetător invitat:** la Trento University, Department of Materials Engineering, Italia, și la Ecole Centrale Paris, Laboratoire Génie des Procédés Matériaux, Franța. Au fost desfășurate activități de susținere de cursuri, seminare, laboratoare practice și cercetare.

**Comitetul de Management și Coordonator echipe Proiecte Europene ESF – COST:**

COST 521 - *Corrosion of Steel in Reinforced Concrete Structures*.

[http://www.cost.esf.org/domains\\_actions/mpns/Actions/521?parties#](http://www.cost.esf.org/domains_actions/mpns/Actions/521?parties#)

COST 520 - *Biofouling and Materials*. <http://sirius.mtm.kuleuven.be/Research/COST/contacts.html>

COST D19 – *Chemistry - Chemical Functionality Specific to the Nanometer Scale*.

Vice-Chair of COST D33 – *Nanoscale Electrochemical and Bio-Processes at Solid-Aqueous Interfaces of*

*Industrial Materials*. [http://w3.cost.eu/index.php?id=188&action\\_number=D33](http://w3.cost.eu/index.php?id=188&action_number=D33) ;

[http://www.cost.esf.org/library/publications/\(pbno\)/8](http://www.cost.esf.org/library/publications/(pbno)/8)

Director of Research Project M1 (CH10): COST 532 - WG3 – *Tribochemistry*.

[http://ltds.ec-lyon.fr/cost532/final\\_report/COST532\\_scient\\_final\\_report.pdf](http://ltds.ec-lyon.fr/cost532/final_report/COST532_scient_final_report.pdf)

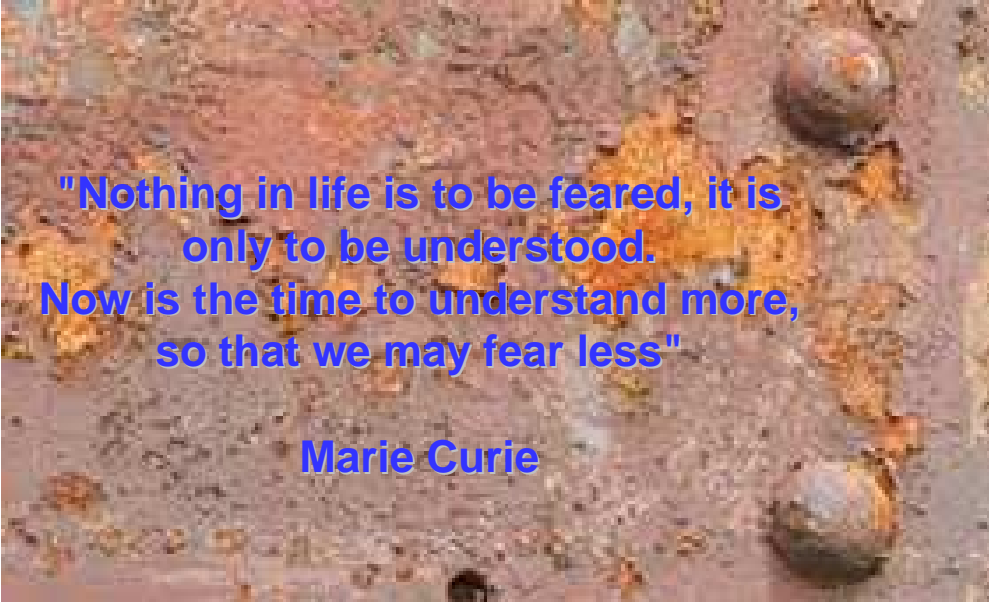
COST 533 – *Materials – Materials for Improved Wear Resistance of Total Artificial Joints*.

[http://w3.cost.eu/index.php?id=247&action\\_number=533](http://w3.cost.eu/index.php?id=247&action_number=533) ; [www.bioTribology.net](http://www.bioTribology.net)

**EXCELLENCE DIPLOMA for Scientific and Technological Research Activity** done in the frame of Bilateral cooperation Romania - France, Framework Programme "Brâncuși-Humbert Curien". Awarded in 2016 by: France Embassy in Romania and Romanian National Authority for Research and Innovation (ANCSI).

**DIPLOMA DE EXCELENȚĂ** pentru activitatea de cercetare în domeniul Coroziune și Protecții Anticoroziive. Conferită de Universitatea Tehnică Cluj –Napoca și BETAK S.A.

**2016 HIGHLY CITED RESEARCHER. DESIGNED by Thomson Reuters** as a 2016 Highly Cited Researcher because my work has been identified as being among the most valuable and significant in the field. Very few researchers earn this distinction – writing the greatest number of reports, officially designated by Essential Science Indicators as Highly Cited Papers. In addition, these reports rank among the top 1% most cited works for their subject field and year of publication, earning them the mark of exceptional impact.



**"Nothing in life is to be feared, it is  
only to be understood.  
Now is the time to understand more,  
so that we may fear less"**

**Marie Curie**



## CUPRINS

	Pagina
<b>CUPRINS</b> .....	<b>i</b>
<b>PREFAȚĂ</b> .....	<b>vii</b>
<b>CUVÂNT ÎNAINTE</b> .....	<b>ix</b>
<b>SUMAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. IMPORTANȚA CUNOAȘTERII FENOMENELOR DE COROZIUNE</b> .....	<b>1</b>
1.1. Ce este coroziunea?.....	1
1.2. De ce se produce coroziunea?.....	3
1.3. Care este costul coroziunii?.....	7
1.4. Înțelegerea impactului coroziunii și al educației în ingineria coroziunii .....	10
1.5. Forme de coroziune și clasificarea proceselor de coroziune .....	12
1.6. Aspecte ale coroziunii materialelor .....	13
1.7. Bibliografie capitolul 1 .....	19
<b>2 METALE ȘI SUPRAFETE METALICE</b> .....	<b>21</b>
2.1. Structura metalelor în volum .....	21
2.1.1. Legătura metalică și caracterul ei specific .....	21
2.1.2. Electroni mobili în metale .....	22
2.1.3. Legătura metalică .....	25
2.1.4. Lucru de extracție al electronului .....	28
2.1.5. Interpretarea proprietăților metalelor .....	28
2.2. Rețele metalice și defecte .....	31
2.3. Structura electronică a metalelor .....	33
2.4. Structura atomică a suprafețelor .....	38
2.5. Structura electronică a suprafețelor .....	42
2.6. Procese la suprafața metalelor .....	42
2.7. Capacitatea de udare a suprafețelor .....	43
2.8. Biocompatibilitatea fenomen de suprafață pentru biomateriale .....	46
2.9. Impactul unghiului de contact asupra biocompatibilității .....	47
2.10. Bibliografie capitolul 2 .....	49



<b>3.</b>	<b>NOȚIUNI GENERALE DE ELECTROCHIMIE .....</b>	<b>51</b>
3.1.	Mecanismul conducerii curentului electric în soluții de electrolit .....	51
3.1.1.	Conductori electrici .....	51
3.1.2.	Disociația electrolitică .....	53
3.1.3.	pH-ul soluțiilor .....	58
3.2.	Oxidare și reducere .....	62
3.3.	Activitatea termodinamică a unei specii chimice .....	65
3.4.	Conductibilitatea electrolitică .....	66
3.5.	Reacții la electrozi .....	67
3.6.	Celula de electroliză .....	68
3.7.	Legile electrolizei .....	69
3.8.	Parametri electrici utili în electrochimie .....	73
3.9.	Potențiale de electrod .....	74
3.9.1.	Diferența de potențial metal-soluție .....	74
3.9.2.	Exprimarea potențialului de electrod .....	75
3.9.3.	Măsurarea potențialului de electrod .....	79
3.9.4.	Forța electromotoare (emf sau tem) .....	81
3.10.	Electroliză și polarizare .....	87
3.10.1.	Tensiunea de descompunere electrolitică .....	87
3.10.2.	Apariția unui suprapotențial (supratensiune) datorită polarizării electrodului. ....	88
3.10.3.	Supratensiunea hidrogenului .....	89
3.10.4.	Ordinea descărcării ionilor la catod .....	91
3.10.5.	Legea lui Nernst pentru cupluri electrochimice la echilibru .....	92
3.11.	Procese de suprafață și electrochimia implanturilor .....	95
3.11.1.	Apa din corpul uman .....	95
3.11.2.	Fluide fiziologice medii corozive pentru implanturi .....	96
3.12.	Formarea interfeței metal- soluție (Interacțiunea material - mediu) .....	101
3.12.1.	Formarea interfeței metal-soluție .....	102
3.12.2.	Modelul Helmholtz compact al stratului dublu .....	104
3.12.3.	Modelul difuz al stratului dublu Gouy – Chapman .....	105
3.12.4.	Modelul Stern .....	109
3.12.5.	Modelul triplu strat Grahame .....	111
3.13.	Bibliografie capitolul 3 .....	116
<b>4.</b>	<b>COROZIUNEA CHIMICĂ .....</b>	<b>119</b>
4.1.	Coroziunea chimica sau coroziunea uscată .....	119
4.2.	Coroziunea chimică a metalelor și aliajelor .....	119
4.2.1.	Coroziunea în gaze .....	119
4.2.2.	Pelicule de coroziune și influența lor asupra procesului .....	120
4.2.3.	Cinetica coroziunii chimice .....	121

4.2.4.	Coroziunea metalelor sub acțiunea gazelor fierbinți .....	125
4.2.5.	Exemple de coroziune în gaze fierbinți .....	126
4.2.6.	Protecția metalelor împotriva coroziunii în gaze .....	127
4.2.7.	Coroziunea și protecția metalelor în medii lichide de neelectroliți .	127
<b>4.3.</b>	<b>Degradarea polimerilor .....</b>	<b>128</b>
4.3.1.	Piroliza și degradarea polimerilor la temperatură ridicată .....	128
4.3.2.	Fotodegradarea polimerilor .....	130
4.3.3.	Rezistența polimerilor la coroziune și la agenții chimici .....	130
<b>4.4.</b>	<b>Rezistența materialelor ceramice la coroziunea chimică .....</b>	<b>131</b>
<b>4.5.</b>	<b>Bibliografie capitolul 4 .....</b>	<b>132</b>
<b>5.</b>	<b>COROZIUNEA ELECTROCHIMICĂ .....</b>	<b>133</b>
<b>5.1.</b>	<b>Mecanismul coroziunii electrochimice .....</b>	<b>133</b>
<b>5.2.</b>	<b>Procese anodice .....</b>	<b>136</b>
<b>5.3.</b>	<b>Procese catodice .....</b>	<b>136</b>
<b>5.4.</b>	<b>Celule de coroziune și reacții .....</b>	<b>140</b>
<b>5.5.</b>	<b>Coroziunea electrochimică a fierului .....</b>	<b>141</b>
<b>5.6.</b>	<b>Coroziunea – fenomen de oxido-reducere .....</b>	<b>142</b>
<b>5.7.</b>	<b>Efectul mărimii suprafeței .....</b>	<b>143</b>
<b>5.8.</b>	<b>Termodinamica coroziunii .....</b>	<b>146</b>
5.8.1.	Energia liberă a unei reacții de coroziune .....	146
5.8.2.	Diagrama E-pH a fierului .....	147
5.8.3.	Reacții de echilibru în diagrama Pourbaix a fierului (oțelului) în condiții umede .....	147
5.8.4.	Producții de coroziune ai Fe	149
5.8.5.	Chimia coroziunii fierului (chimia ruginii) .....	152
<b>5.9.</b>	<b>Cinetica coroziunii .....</b>	<b>154</b>
5.9.1.	Ce este suprapotențialul (supratensiunea) ? .....	154
5.9.2.	Polarizarea de activare .....	155
5.9.3.	Polarizarea de concentrație .....	164
5.9.4.	Polarizarea ohmică .....	168
5.9.5.	Date cinetice de coroziune .....	168
5.9.6.	Curbe de polarizare: Rolul transportului de masă .....	172
5.9.7.	Influența pH-ului mediului agresiv asupra procesului de coroziune	176
5.9.8.	Influența oxigenului din mediul coroziv asupra procesului de coroziune .....	178
5.9.9.	Influența stării suprafeței materialului asupra procesului de coroziune .....	180
<b>5.10.</b>	<b>Conceptul general asupra coroziunii implanturilor .....</b>	<b>182</b>
5.10.1.	Definirea degradării implaturilor .....	182
5.10.2.	Interacțiunea cu apa din mediul biologic .....	183
5.10.3.	Coroziunea biomaterialelor de implant .....	185
<b>5.11.</b>	<b>Metode de determinare și de exprimare a vitezei de coroziune .....</b>	<b>188</b>

5.12. Bibliografie capitolul 5 .....	194
<b>6. PASIVARE ȘI FILME PASIVE .....</b>	<b>199</b>
6.1. Conceptul de pasivitate (pasivare) .....	199
6.2. Coroziune, imunitate și pasivitate .....	200
6.3. Interpretarea electrochimică a pasivării .....	203
6.4. Criterii de pasivizare și de "stabilitate" a stării pasive .....	208
6.5. Filmul pasiv .....	219
6.5.1. Tehnici de caracterizare a filmului pasiv .....	219
6.5.2. Domenii pasive a materialelor de implant în fluide biologice .....	229
6.6. Bibliografie capitolul 6 .....	233
<b>7 FORME DE COROZIUNE .....</b>	<b>235</b>
7.1. Coroziunea uniformă .....	236
7.2. Coroziunea galvanică .....	237
7.3. Coroziunea localizată .....	239
7.3.1. Coroziunea în puncte (pitting) .....	240
7.3.2. Coroziunea în crevasă, cavernoasă (crapături) .....	244
7.3.3. Coroziunea intergranulară .....	246
7.3.4. Alte forme de coroziune localizată .....	248
7.3.4.1. Coroziune sub tensiune .....	248
7.3.4.2. Dizolvarea selectivă .....	250
7.4. Bibliografie capitol 7 .....	252
<b>8 METODE DE PROTECȚII ANTICOROZIVE .....</b>	<b>255</b>
<b>8.1. Protecții anticorozive prin tratarea mediului coroziv - Inhibitori de coroziune .....</b>	<b>255</b>
8.1.1. Avantajele utilizării inhibitorilor de coroziune în protecția anticorozivă .....	256
8.1.2. Eficiența protecției anticorozive prin inhibitori .....	262
8.1.3. Clase și tipuri de inhibitori .....	264
8.1.4. Clasificarea inhibitorilor după compoziția și structura chimică .....	265
<b>8.2. Protecții anticorozive prin tratarea suprafeței materialelor: straturi, filme, acoperiri .....</b>	<b>267</b>
8.2.1. Necesitatea protecțiilor anticorozive .....	267
8.2.2. Acoperirile sau straturile de protecție și aspectele specifice de coroziune .....	267
8.2.3. Procesare - Structură - Proprietăți funcționale .....	271
8.2.4. Funcționalizarea suprafețelor prin metode electrochimice pentru creșterea rezistenței la coroziune .....	273
8.2.4.1. Proprietăți îmbunătățite prin funcționalizare .....	273
8.2.5. Depunerea electrochimică – știință și tehnologie pentru viitor .....	275
8.2.6. Electrodepunerea de la simpla de depunere a unui metal la .....	

straturile nanocompozite .....	278
8.2.7. Creșterea controlată a straturilor (filmelor) de oxizi .....	291
8.2.7.1. Definiția oxidării anodice .....	291
8.2.7.2. Modificarea titanului și aliajelor de titan prin oxidare anodică .....	292
8.2.7.3. Modificarea aluminiului și aliajelor de aluminiu prin oxidare anodică .....	303
<b>8.3. Bibliografie capitolul 8 .....</b>	<b>313</b>

## **METODE ELECTROCHIMICE DE EVALUARE A**

<b>9. REZISTENȚEI LA COROZIUNE ȘI A CINETICII DE ELECTROD .....</b>	<b>323</b>
<b>9.1. Importanța și clasificarea metodelor electrochimice .....</b>	<b>323</b>
<b>9.2. Protocol experimental, aparatură metode și celula electrochimică ....</b>	<b>325</b>
9.2.1. Pregătirea catodului sau electrodului de lucru (WE) .....	325
9.2.2. Pregătirea anodului sau contraelectrodului (sau electrodului auxiliar) (CE) .....	325
9.2.3. Electrode de referință (RE) .....	325
9.2.4. Celula de electroliză .....	326
9.2.5. Electroliți .....	328
9.2.6. Măsurători electrochimice in-situ .....	328
9.2.6.1. Variația în timp a potențialului de electrod în circuit deschis. Open circuit potential (OCP) .....	328
9.2.6.2. Trasarea curbelor de polarizare .....	331
9.2.6.3. Trasarea curbelor de voltametrie liniară și voltametrie ciclică .....	333
9.2.6.4. Trasarea curbelor de spectroscopie de impedanță electrochimică ...	337
9.2.6.4. 1. Definiția impedanței: Conceptul de impedanță complexă .....	337
<b>9.3. Spectroscopia de impedanță electrochimică - considerații speciale pentru studiul sistemelor corozive .....</b>	<b>344</b>
9.3.1. Relații între rezistență, viteză corozivă și componentele impedanței electrochimice .....	344
9.3.2. Impedanța Warburg .....	351
<b>9.4. Evaluarea diagramei de impedanță în măsurarea corozivității .....</b>	<b>354</b>
9.4.1. Admitanța electrodului și circuitul echivalent .....	355
9.4.2. Determinarea elementelor circuitului echivalent .....	359
<b>9.5. Studiul comparativ al rezistenței la corozivitate a unor straturi micro- și nano - compozite prin metoda spectroscopiei de impedanță electrochimică .....</b>	<b>361</b>
9.5.1. Analiza comportării la corozivitate a straturilor Cu / micro-ZrO <sub>2</sub> în acid sulfuric .....	361
9.5.2. Analiza comportării la corozivitate a straturilor Cu / micro-ZrO <sub>2</sub> în acid clorhidric .....	365
9.5.3. Analiza comportării la corozivitate a straturilor nanocompozite Co / nano-CeO <sub>2</sub> în fluide biologice .....	370

9.6. Studiul comparativ al rezistenței la coroziune a filmelor nanoporoase de oxid de titan prin metoda spectroscopiei de impedanță electrochimică .	375
9.7. Determinarea rezistenței de polarizare din curbele de polarizare	376
9.8. Bibliografie capitolul 9 .....	381
<b>10 POEM - Coroziune .....</b>	<b>387</b>

## PREFAȚĂ

Monografia științifică **COROZIUNE ȘI PROTECȚII ANTICOROZIVE - de la teorie la practică** elaborată de **prof. univ. dr. Lidia Benea** de la Centrul de Competențe Interfețe-Tribocoroziune și Sisteme Electrochimice, Facultatea de Inginerie a Universității *Dunărea de Jos* din Galați reprezintă o acumulare de informații științifice obținute în decursul multor ani de activitate didactică și de cercetare în domeniul electrochimiei, coroziunii și protecțiilor anticorozive. Apariția cărții este benefică, fiind în corelare directă cu orele de curs și laborator desfășurate atât în cadrul Facultății de Inginerie, cât și ca profesor și cercetător invitat la instituții de învățământ superior de prestigiu din Europa, cum sunt: Laboratoire Génie des Procédés et Matériaux din l'École Centrale Paris, Department of Materials Engineering din Katholieke Universiteit Leuven, sau Department of Materials Engineering din Trento University.

Monografia este o lucrare cu caracter interdisciplinar, ce abordează un domeniu ce și-a păstrat actualitatea, deoarece coroziunea este o problemă majoră pentru creșterea duratei de viață a materialelor metalice în mediile și în domeniul lor de utilizare. Subiectul are o importanță deosebită științifică, economică și socială. O înțelegere detaliată a mecanismelor proceselor de coroziune și protecțiilor anticorozive va ajuta atât studenții, doctoranzii cât și specialiștii din diferite domenii de a rezolva problemele de coroziune existente și a le preveni eficient pe cele viitoare.

Scopul cărții este să prezinte cititorului, de la simplu la complex, conceptele și aplicațiile în domeniul coroziunii și protecțiilor anticorozive, dar și o trecere în revistă a progreselor recente în înțelegerea mecanismelor proceselor de coroziune și protecții anticorozive. Informații de valoare se dau în capitolele de început: *Metale și Suprafețe Metalice* și *Noțiuni Generale de Electrochimie*. Se continuă cu capitolele propriu-zise de coroziune, detaliindu-se coroziunea chimică, coroziunea electrochimică, pasivarea și filmele pasive, precum și formele specifice de coroziune. Un capitol separat este dedicat metodelor de protecție anticorozivă, iar în final, se prezintă metodele electrochimice de evaluare a rezistenței la coroziune și a cineticii de electrod.

Cartea conține atât noțiuni fundamentale cât și aspecte practice, cele mai multe din experiența de cercetare proprie a autoarei, rezultate obținute cu grupul de lucru și colaboratorii externi.

Din punct de vedere al conținutului, monografia este bine structurată și echilibrată, evidențiind progresele recente înregistrate în domeniu. Prezentarea noțiunilor de bază

conferă mai multă consistență cărții și susține interpretarea bogatului material experimental, rezultate proprii, din partea finală. De fapt, lucrarea are un înalt grad de noutate în literatura științifică de specialitate, prin multitudinea exemplurilor de aplicații practice care ajută la înțelegerea noțiunilor teoretice.

Textul este scris clar, îngrijit, accesibil, menținând în același timp rigoarea și acuratețea științifică. Interpretările și concluziile sunt corecte, pertinente și edificatoare, iar bibliografia include monografii și articole de referință și de noutate publicate în domeniu.

Consider că monografia este utilă și se adresează unei mase largi de potențiali cititori de la studenții în inginerie la nivele de licență, masterat sau doctorat, până la ingineri, cercetători și specialiști implicați în activități industriale, de cercetare, economice sau comerciale conectate la procese electrochimice și de coroziune, în condițiile în care o dezvoltare durabilă presupune în primul rând cunoașterea proceselor și mecanismelor de degradare a materialelor pentru utilizarea lor eficientă.

**Prof. emerit dr. ing. Teodor VIȘAN**

Departamentul de Chimie anorganică, Chimie fizică și Electrochimie

Facultatea Chimie Aplicată și Știința Materialelor

Universitatea “Politehnica” din București

-- // --

## CUVÂNT ÎNAINTE

Există unele subiecte pe care cei mai mulți oameni sunt întotdeauna în măsură să le discute între ei, cum ar fi politica, sportul, medicina, vremea, economie, educație, artă, și, desigur, coroziune. Toată lumea observă rugina pe mașini, pe conducte, pe acoperișuri, pe băncile din parcuri sau pe ambarcațiunile de pe râuri și lacuri. Toată lumea este oarecum familiară cu patina verzuie de pe sculpturile din bronz, statuile și monedele antice. Uneori vedem desigur, cât de neplăcut era să rămâi fără apă din cauza găurilor provocate de coroziune în conductele de apă și atunci când sunt necesare reparații. Astfel, nu există nici unul dintre noi, care nu a venit în contact cu acest fenomen urât legat de degradarea și deteriorarea materialelor (metalelor) și a mediului înconjurător.

Coroziunea apare din momentul în care metalul vine în contact cu mediul (sau invers). Oamenii preistorici au observat, fără îndoială, acest fenomen pe cele șapte metale (aur, argint, cupru, staniu, fier, plumb și mercur), cunoscute pentru ei. Probabil metalurgiștii antici au fost primii care au observat coroziunea în timpul prelucrării și fabricării metalelor și a aliajelor. Dar ei nu au putut explica interacțiunea metalelor și a mediului, deoarece nu au avut cunoștințe de chimie. Legile chimiei au fost descoperite mai târziu, la sfârșitul secolului al 18-lea. Astfel, putem spune că oamenii au început să studieze coroziunea în urmă cu aproximativ 200 de ani, când principalele principii ale reacțiilor chimice au fost definite și stabilite de către chimistul francez Antoine Lavoisier, și de către chimiștii de după el.

Descoperirea multor substanțe chimice (în special acizi anorganici) prin alchimistii din secolele 12 și 13, descoperirea unor metale noi în secolele 18 și 19 și principiile de bază ale electrochimiei în secolul al 19-lea, au stimulat studiul fenomenelor de coroziune. Coroziunea a fost predată ca o știință doar în Anglia abia în anul 1924. Astăzi se poate studia disciplina de coroziune în mai toate universitățile din întreaga lume. Înțelegerea coroziunii ca fenomen și ca o reacție fizico-chimică cu mediul a început în 1930.

Dezvoltarea industriei care implică procese care funcționează în condiții dificile, a dat, de asemenea, un stimulent puternic pentru investigarea coroziunii. Au fost scrise multe cărți despre coroziune în mai multe limbi, în ultimii 70 de ani. Sunt câteva jurnale (reviste) specializate pe tematica coroziunii care sunt publicate în fiecare lună, în multe



țări și sunt organizate o mulțime de conferințe pe această tematică în fiecare an, cum ar fi: European Corrosion Congress (Eurocorr), International Society of Electrochemistry (ISE), International Corrosion Congress (ICC), etc.

Societăți științifice dedicate coroziunii sunt organizate în mai multe țări. Există o informație "explozivă", cu privire la coroziune și metode de protecții anticorozive. În ciuda acestor evenimente, fenomenele de coroziune apar în fiecare zi, în toate întreprinderile, în clădiri, în case, în diferite echipamente și toate structurile din jurul nostru. Mulți specialiști și non-specialiști vor să știe de ce oțelul inoxidabil se corodează. De ce găuri datorate coroziunii sunt formate în conductele de apă? De ce bijuteriile din argint devin negre? Și multe alte lucruri.

Orice persoană, fără educație și cunoștințe speciale în chimie și electrochimie, s-ar putea bucura de lectura acestei cărți și să înțeleagă multe lucruri și fenomene pe aceste subiecte științifice.

Astăzi, mulți oameni de diferite profesii sunt interesați de coroziune: Arheologii care se ocupă cu monedele antice și obiecte realizate din cupru, bronz și fier, sculptori, care creează operele lor de artă din diferite metale și aliaje, arhitecți care au clădiri și apartamente de proiectat, medicii care fac implanturi metalice, dispozitive protetice și aliaje dentare, avocați care se ocupă de plângerile clienților lor în ceea ce privește problemele de coroziune la fabricile în care lucrează sau a clădirilor în care locuiesc.

Prin urmare, am încercat să scriu în această carte despre coroziune, metode de protecții anticorozive și metode de evaluare a rezistenței la coroziune a materialelor, în așa fel încât să fie important și interesant atât pentru specialiștii cât și pentru non-specialiștii în domeniul coroziunii. Aș dori, de asemenea, să arăt că subiectul coroziunii este interesant și poate fi savurat și înțeles prin studierea lui. Am scris această carte cu această senzație în minte, și sper că vă veți bucura citind-o.

Vă invit acum să călătoriți în lumea coroziunii și protecțiilor anticorozive.

**Prof. univ. dr. chim. Lidia BENEĂ**

Centrul de Competențe Interfețe – Tribocoroziune și Sisteme Electrochimice  
(CC-ITES).

Facultatea de Inginerie

Universitatea Dunărea de Jos din Galați.

## SUMAR

Monografia științifică **COROZIUNE ȘI PROTECȚII ANTICOROZIVE - DE LA TEORIE LA PRACTICĂ** este structurată pe 9 capitole.

Primul capitol face o introspecție asupra importanței cunoașterii proceselor de degradare a materialelor prin coroziune în mediile de utilizare și costurile coroziunii directe și indirecte. Efectele coroziunii în viața de zi cu zi sunt atât directe, astfel încât coroziunea afectează durata de folosință a bunurilor noastre, și indirecte, prin faptul că producătorii și furnizorii de bunuri și servicii suportă costuri de coroziune, pe care le trec la consumatori. Coroziunea și prevenirea ei prin aplicarea diferitelor metode de protecție anticorozivă sunt aspecte foarte importante pentru o dezvoltare sustenabilă a unei societăți. Din păcate, aceste aspecte, adesea, nu sunt suficient recunoscute de către factorii de decizie. Impactul coroziunii asupra a numeroase domenii prioritare unei dezvoltări durabile și sustenabile, cum ar fi protejarea mediului, furnizarea unei surse de energie adecvate, menținerea unei stări bune de sănătate, furnizarea unui acces eficient la informații este foarte important să fie integrat în educația în domeniul prevenirii coroziunii și care presupune creșterea numărului de persoane instruite și calificate în acest domeniu, care în schimb vor îmbunătăți competențele și vor conduce la ascensiunea comunităților.

În capitolul al doilea *Metale și Suprafețe Metalice* se redau câteva informații de valoare, necesare pentru înțelegerea proceselor de coroziune, cum sunt structura suprafețelor metalelor, hidrofobicitate și hirofilicitate și unghiul de contact.

Noțiunile generale de electrochimie sunt prezentate în capitolul al 3-lea. Astfel cititorul este familiarizat cu oxidare și reducerea, reacțiile de bază ale proceselor de coroziune, celula de electroliză, legile lui Faraday sau potențialul de electrod.

Coroziunea chimică sau cum mai este definită coroziunea uscată este tratată în capitolul al 4-lea, cu legile de creștere a peliculelor de oxizi, coroziunea în gaze, coroziunea în soluții de neelectroliti sau degradarea polimerilor.

Coroziunea electrochimică cu toate aspectele de la reacții anodice, reacții catodice, termodinamica coroziunii la cinetica coroziunii este prezentată în capitolul al 5-lea, cu exemplificări din practica experimentală de laborator. Tot în acest capitol sunt redate aspecte privind coroziunea implanturilor în medii biologice specifice cu câteva exemple de evaluare a rezistenței la coroziune a materialelor de implant sau de tratamente electrochimice pentru îmbunătățirea suprafeței acestora.

În capitolul al 6-lea se prezintă fenomenele de pasivare și filmele pasive, care sunt specifice unor metale și aliaje și care se interpun în procesele de coroziune, contribuind la

reducerea vitezei acestora. Tehnici de caracterizare a filmelor pasive ca și domeniile de pasivitate a biomaterialelor sunt tratate tot în acest capitol.

Capitolul al 7-lea prezintă câteva forme specifice de coroziune, cum sunt coroziunea în puncte (pitting), coroziunea în crevasă sau dizolvarea selectivă, alături de coroziunea generală care se instalează pe toată suprafața materialului.

Cele mai importante metode de protecții anticorozive sunt prezentate în capitolul al 8-lea așa cum sunt ele utilizate în funcție de particularitățile funcționale ale fiecărui sistem **material / mediu**, ca metode de protecții anticorozive prin tratarea mediului coroziv, sau metode de protecții anticorozive prin tratarea și modificarea suprafețelor materialelor. Exemplificări practice cu inhibitori de coroziune ecologici obținuți din extracte vegetale sunt redată la acest capitol. În ceea ce privește protecțiile anticorozive prin modificarea suprafețelor materialelor sunt prezentate cele mai noi și moderne metode de obținerea a filmelor și straturilor de protecție prin metode electrochimice. Creșterea controlată a filmelor de oxizi pe aliajele de titan sau pe aliajele de aluminiu pot îmbunătăți suprafața biomaterialelor de implant la contactul și funcționarea în fluidele biologice corozive, sau a materialelor de construcții în industria aviatică. Straturi și filme hibride și nanocompozite sunt posibil de obținut prin electrodepunere și acestea îmbunătățesc atât rezistența la coroziune cât și rezistența la uzură a materialelor. Câteva exemple de realizări deosebite, în acest domeniu, sunt redată cu aplicabilitate în materiale pentru energie sau de straturi biocompatibile.

Metodele electrochimice de evaluare a rezistenței la coroziune și a cineticii de electrod sunt prezentate în capitolul al 9-lea, de la evoluția potențialului de electrod la spectroscopia de impedanță electrochimică. Capitolul este bogat exemplificat de practica experimentală proprie a autoarei, confirmată de publicațiile în reviste științifice de prestigiu internaționale.

## SUMMARY

The scientific monograph “*CORROSION AND CORROSION PROTECTION - FROM THEORY TO PRACTICE*” is divided into 9 chapters.

The **first** chapter is an insight on the importance of knowing the degradation processes caused by corrosion to materials in their operation environments and the direct and indirect costs incurred by corrosion.

Corrosion effects in everyday life are both direct, in that corrosion affects the durability of our goods, and indirect, in that manufacturers and suppliers of goods and services must consider the costs of corrosion that go to consumers. Corrosion and its prevention by applying different methods of corrosion protection are very important issues for a sustainable development of a society. Unfortunately, these issues are often not adequately recognized by decision makers. The impact of corrosion on many priority areas of sustainable development, such as environmental protection, providing an adequate energy source, maintaining good health, providing efficient access to information, is very important and should be integrated into education in prevention corrosion and involves increasing the number of trained and skilled people in this area, which in turn will enhance skills and help in upgrading communities.

The **second Chapter** *Metals and Metal Surfaces* provides valuable information necessary in understanding corrosion processes, such as the structure of the metal surfaces, hydrophobicity and hydrophilicity and contact angle.

General notions of electrochemistry are presented in Chapter **3**. The reader is made familiar with the oxidation and reduction- basic reactions of the corrosion processes , electrolysis cell, Faraday's laws or the electrode potential.

Chemical corrosion , also defined as dry corrosion, is approached in **Chapter 4** along with the laws of oxide film growth , gas corrosion, corrosion in non-electrolyte solutions or polymer degradation.

Electrochemical corrosion with all its aspects: from anodic reaction, cathodic reactions, corrosion thermodynamics to corrosion kinetics, is presented in **Chapter 5**, along with examples from the experimental laboratory practice. Also in this section are approached aspects related to corrosion of implants in biological media and examples of the evaluation of the corrosion resistance of the implant materials or electrochemical treatments to improve the quality of their surface.

**Chapter 6** presents the phenomena of passivation and passive films that are specific to certain metals and alloys and that interferes with the process of corrosion thus contributing to

the decrease of their corrosion rate. Also in this chapter are discussed the characterization techniques of passive films and the passivity domains of biomaterials.

**Chapter 7** describes some specific forms of corrosion, such as pitting, corrosion cracking or selective dissolution, together with the general corrosion which covers the entire surface of the material.

The most important methods of corrosion protection are presented in **Chapter 8**, as they are used according to the functionality of each **material / environment** system, like methods of corrosion protection by treating the corrosive environment or methods of corrosion protection by the treatment and the modification of material surfaces.

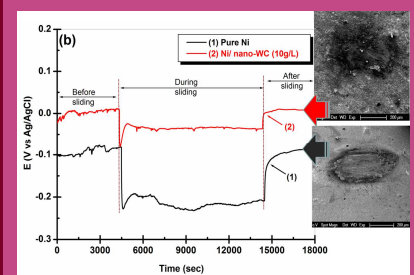
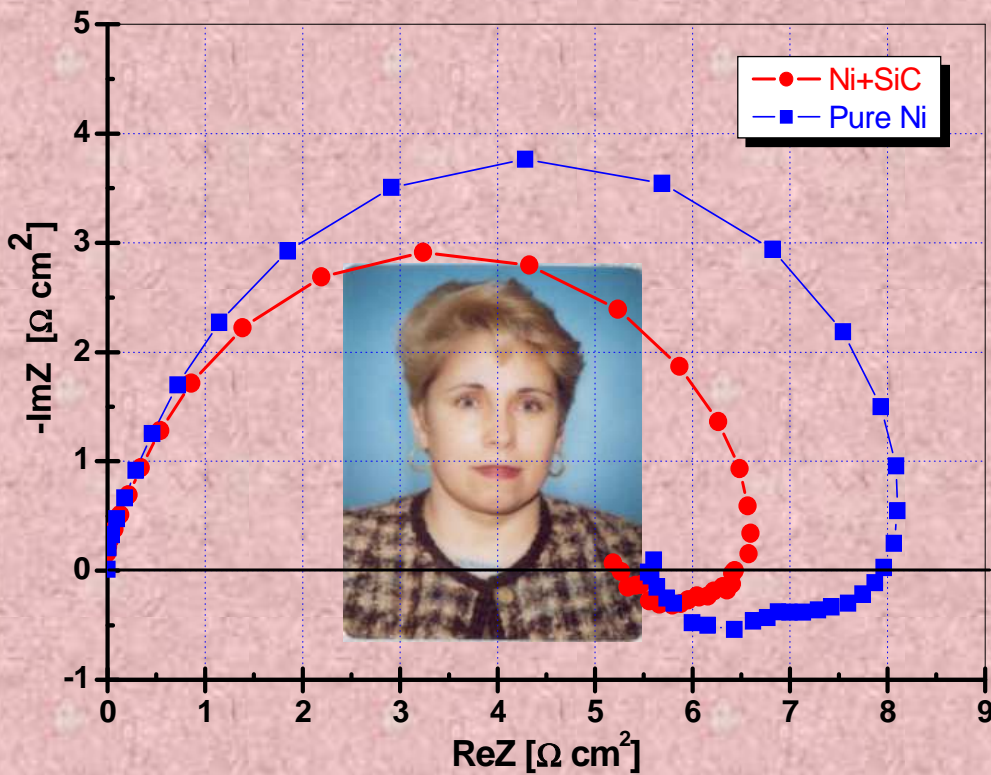
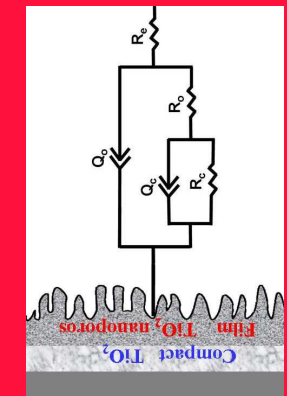
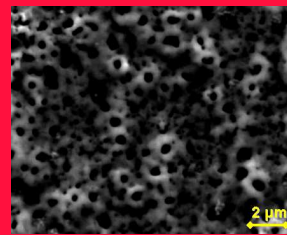
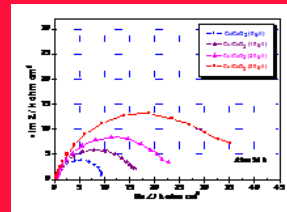
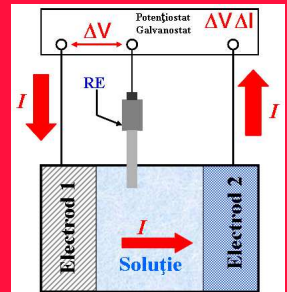
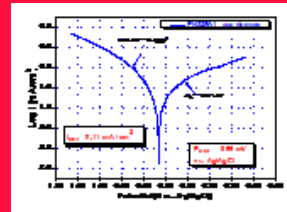
Practical examples of organic corrosion inhibitors obtained from plant extracts are given in this section as well. Regarding corrosion protection by modifying material surfaces, the newest and most advanced methods of obtaining films and coatings by electrochemical methods are presented. The controlled growth of the oxide films on titanium alloys or aluminum alloys may improve the surface of the implant biomaterials to contact and operation in corrosive biological fluids or the construction materials in aviation industry. Hybrid nanocomposite coatings and films may be obtained by electrodeposition to improve both corrosion resistance and wear resistance of materials. Some examples of outstanding achievements in this field are given, applicable to power materials or biocompatible layers.

Electrochemical methods for the evaluation of the corrosion resistance and electrode kinetics are presented in **Chapter 9**, from the evolution of the electrode potential to the electrochemical impedance spectroscopy. The chapter is richly illustrated by the author's own experimental practice, as confirmed by publications in internationally recognized scientific journals.

-- // --



Lucrarea de față reprezintă o acumulare de informații științifice obținute în decursul multor ani de activitate didactică și de cercetare în domeniul electrochimiei, coroziunii și protecțiilor anticorozive. Apariția cărții este benefică, fiind în corelare directă cu orele de curs și laborator desfășurate atât în cadrul Facultății de Inginerie, cât și ca profesor și cercetător invitat la instituții de învățământ superior de prestigiu din Europa, Ecole Centrale Paris, Katholieke Universiteit Leuven, sau Trento University.



ISBN 978-973-8937-99-4