



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

B-dul. București nr. 39, 100680, Ploiești, România, www.upg-ploiesti.ro

Telefon +40 244 573 171

Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – INGINERIE MECANICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

ABSTRACT

CONTRIBUȚII LA STUDIUL FENOMENELOR DE UZARE SPECIFICE MALAXOARELOR DIN STAȚIILE DE PRODUCERE A BETOANELOR

Autor: Ing. Niță Adrian

Conducător științific: Prof. univ. habil. dr. ing. Marius Gabriel Petrescu

Ploiești 2025

INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – INGINERIE MECANICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA STUDIUL FENOMENELOR DE UZARE
SPECIFICE MALAXOARELOR DIN STAȚIILE DE
PRODUCERE A BETOANELOR

CONTRIBUTIONS TO THE STUDY OF WEAR
PHENOMENA SPECIFIC TO MIXERS IN CONCRETE
PRODUCTION PLANTS

Autor: Ing. Niță Adrian

Conducător științific: Prof. univ. habil. dr. ing. Marius Gabriel Petrescu

Nr. Decizie 802 din 15.10.2025

Comisia de doctorat:

Președinte	Prof.univ.habil.dr.ing. Răzvan George RÎPEANU	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Conducător științific	Prof. univ. habil. dr. ing. Marius Gabriel PETRESCU	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof.univ.dr.ing. Ilare BORDEAȘU	de la	Universitatea Politehnica din Timișoara
Referent oficial	Prof.univ.habil.dr.ing.Călin ROȘCA	de la	Universitatea „Transilvania” din Brașov
Referent oficial	Conf.univ.dr.ing. Alin DINIȚĂ	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Ploiești 2025

CUPRINS

INTRODUCERE 13

MULȚUMIRI 15

ABSTRACT 17

1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR DEZVOLTATE ÎN DOMENIUL TEMEI TEZEI DE DOCTORAT. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT 24

1.1 Preocupări științifice în domeniul temei tezei de doctorat 24

1.2 Importanța subiectului cercetării 29

1.3 Obiectivele tezei de doctorat 30

2 FABRICAREA LA SCARĂ INDUSTRIALĂ A BETONULUI DE CIMENT 32

2.1 Betonul de ciment 32

2.1.1. Betoane de ciment pentru construcții 33

2.1.2. Betoane de ciment rutiere 35

2.2 Producerea betoanelor de ciment 37

2.2.1 Procesul tehnologic de preparare a betoanelor de ciment 38

2.2.2 Prezentarea generală a instalațiilor de fabricare a betoanelor de ciment 38

2.3 Caracteristici tehnice specifice echipamentului studiat 42

2.4 Elemente sumare de calcul specifice malaxoarelor din stațiile de betoane 45

2.4.1 Stabilirea capacității de încărcare a malaxoarelor cu ax orizontal 45

2.4.2 Considerații teoretice referitoare la forma și caracterul forțelor active și disipative care acționează asupra paletelor malaxoarelor cu arbori orizontali 46

2.5 Modelarea procesului de amestecare a betoanelor 46

2.6 Concluzii 53

3 NOȚIUNI GENERALE PRIVIND DEGRADAREA ECHIPAMENTELOR TEHNOLOGICE 56

3.1 Degradarea echipamentelor tehnologice datorită uzării 57

3.2 Degradarea componentelor utilajelor tehnologice datorită coroziunii 61

3.3 Concluzii 64

4 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND FENOMENELE DE UZARE SPECIFICE MALAXOARELOR DIN STAȚIILE DE BETOANE 67

4.1 Cercetări tribologice efectuate, în condiții de laborator, pe testerul Baroid 67

4.2 Caracterizarea materialelor supuse cercetărilor 70

4.2.1 Compoziția chimică a probelor studiate 70

4.2.2 Determinarea parametrilor microgeometrici corespunzători probelor 71

4.2.3 Caracteristicile materialului rolor 72

4.2.4 Determinarea parametrilor microgeometrici corespunzători rolor 73

4.3 Cercetări experimentale la scară redusă (stand experimental) pentru determinarea comportării la uzare a materialelor folosite la fabricarea paletelor de malaxor 95

4.4 Concluzii 111

5 MODELAREA FENOMENELOR DE UZARE SPECIFICE PALETELOR AMESTECĂTOARE ALE MALAXOARELOR DE BETON 115

5.1 Studiul analitic al solicitărilor dezvoltate pe paletele amestecătoare ale malaxoarelor de beton 115

5.2 Rezultatele aplicării metodei analitice 117

5.3 Modelarea fenomenelor de uzare manifestate la paletele amestecătoare ale malaxoarelor de beton 118

5.4 Concluzii 126

6 CERCETĂRI EXPERIMENTALE IN-SITU PRIVIND COMPORTAREA LA UZARE A PALETELOR AMESTECĂTOARE ALE MALAXOARELOR DE BETON 129

6.1 Cercetări experimentale in-situ 129

6.2 Concluzii și interpretarea rezultatelor experimentale 133

7 ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA LA COROZIUNE A MATERIALELOR UTILIZATE LA CONSTRUCȚIA PALETELOR AMESTECĂTOARE ALE MALAXOARELOR DIN INSTALAȚIILE DE FABRICARE A BETONULUI 134

7.1 Considerații teoretice 134

7.2 Materialele și metodele utilizate în cercetare 137

7.2.1	Echipamentele utilizate pentru caracterizarea comportării la coroziune	137
7.2.2	Alegerea și pregătirea probelor supuse experimentelor	139
7.3	Rezultatele obținute în urma experimentelor	143
7.4	Concluzii	150
8	Concluzii. Contribuții originale. Direcții de continuare a cercetărilor	152
8.1	Concluzii	153
8.2	Contribuții originale	157
8.3	Direcții de continuare a cercetărilor	160
	Bibliografie	161

Listă de figuri

Figura 1.1	Fenomene de uzură specifice echipamentelor pentru fabricarea betonului	25
Figura 2.1	Centrală pentru prepararea betoanelor [65]	39
Figura 2.2	Centrală fixă pentru betoane [58]	41
Figura 2.3	Malaxor cu acțiune periodică cu doi arbori orizontali pentru pregătirea betoanelor: a) vedere laterală [66]; b) schema de amplasare a brațelor de amestecare [67]	43
Figura 2.4	Brațele amestecătoare ale malaxorului din stația de betoane [68]	43
Figura 2.5	Palete și blindaje specifice malaxoarelor pentru betoane [69]	44
Figura 2.6	Imagine de ansamblu a malaxorului din stația de betoane [70]	44
Figura 2.7	Modelul cuvei malaxorului	47
Figura 2.8	Modelul arborilor amestecători	47
Figura 2.9	Modelul malaxorului	47
Figura 2.10	Modelul simplificat al malaxorului	48
Figura 2.11	Simularea mișcării agregatelor în malaxor (model preliminar, o singură dimensiune)	49
Figura 2.12	Mișcarea agregatelor având diferite dimensiuni	49
Figura 2.13	Modelul de analiză al malaxorului	50
Figura 2.14	Simularea alimentării cu agregate	50
Figura 2.15	Cuva malaxorului încărcată cu agregate	51
Figura 2.16	Simularea mișcării agregatelor în malaxor (model preliminar)	51
Figura 2.17	Nivelul tensiunilor rezultate la impactul particulelor de agregat cu arborele amestecător (număr limitat de particule de agregat, arborele amestecător fiind reprezentat independent)	52

Figura 2.18 Nivelul tensiunilor rezultate la impactul particulelor de agregat cu arborele amestecător (număr limitat de particule de agregat, arborele amestecător fiind reprezentat montat în cuvă)	53
Figura 3.1 Formele degradării sistemelor tehnice și factorii de influență	56
Figura 3.2 Variația rezistenței relative la uzare cu duritatea [73]	59
Figura 3.3 Curba de variație a uzării (dinamica procesului de uzare) [73]	60
Figura 3.4 Evoluția uzării prin coroziune (prelucrare după [75])	62
Figura 3.5 Curba de oboseală în mediu neutru și coroziv (prelucrare după [76])	63
Figura 3.6 Evoluția uzurii de coroziune tribochimică: a – formarea, ruperea și refacerea stratului de “protecție” (de oxid);	63
Figura 4.1 Prelucrarea epruvetelor de încercat (din fontă) și a rolor din granit: a, b – debitarea epruvetelor pe mașina de debitat cu jet de apă; c – epruvetă din fontă; d - rolă din granit	69
Figura 4.2 Tribometrul Baroid Lubricity Tester	70
Figura 4.3 Utilizarea profilometrului de tip SURTRONIC 3+	72
Figura 4.4 Curbele de profil pentru probele: a - 1.2/1; b – 2.1/2; c – 3.1/3	74
Figura 4.5 Curbele de profil, rugozitate și portanță pentru rola 3/1.	75
Figura 4.6 Curbele de profil și rugozitate pentru rola 6/1.	76
Figura 4.7 Rezultatele primului set de încercări de uzură (epruvete din fontă)	78
Figura 4.8 Rezultatele primului set de încercări de uzură (epruvete din oțel)	79
Figura 4.9 Câmpul de temperaturi în zona cuplei probă de fontă-rolă de granit, în timpul încercării de uzură pe testerul Baroid	79
Figura 4.10 Rezultatul primului set de încercări de uzură (exemplificare) - Proba paletă malaxor 2.2/2 (25% Cr) uzată, după 240 minute – 8 cicluri - de funcționare	79
Figura 4.11 Aspectul suprafeței epruvetelor C1 la finalul primului program de încercări	80
Figura 4.12 Rezultatul primului set de încercări de uzură (exemplificare) - Proba C1 uzată, după 300 minute – 10 cicluri - de funcționare	80
Figura 4.13 Pregătirea mediului de încercare – set II de încercare: a - cântărire cantitate apă pentru încercare; b - cântărire cantitate nisip (0... 4 mm) pentru încercare.	81
Figura 4.14 Imagine din timpul derulării setului al doilea de încercări	81
Figura 4.15 Determinare pH amestec la finalul unui ciclu de încercare (teste fontă)	82
Figura 4.16 Rezultatele celui de al doilea set de încercări de uzură (epruvete din fontă)	85
Figura 4.17 Rezultatele celui de al doilea set de încercări de uzură (epruvete din oțel)	85
Figura 4.18 Proba paletă malaxor 1.2/1 (4% Cr) uzată	86
Figura 4.19 Proba paletă malaxor 2.2/2 (25% Cr) uzată	86
Figura 4.20 Proba paletă malaxor 3.2/3 (9% Cr) uzată	86
Figura 4.21 Aspectul suprafeței epruvetelor din oțel - C2 la finalul celui de al doilea program de încercări	87
Figura 4.22 Proba oțel A2 uzată	88
Figura 4.23 Proba paletă malaxor B2 uzată	88

Figura 4.24 Proba paletă malaxor C2 uzată	88
Figura 4.25 Imagine din timpul derulării setului al treilea de încercări	89
Figura 4.26 pH lapte ciment la începutul programului de încercări – 11,63 (temperatura ambiantă 30°C)	89
Figura 4.27 pH lapte ciment la finalul programului de încercări – 10,84 (temperatura ambiantă 27°C)	89
Figura 4.28 Rezultatele celui de al treilea set de încercări de uzură (epruvete din fontă)	92
Figura 4.29 Rezultatele celui de al treilea set de încercări de uzură (epruvete din oțel)	93
Figura 4.30 Elementele componente ale standului experimental	97
Figura 4.31 Aspectul microstructurii - înainte de efectuarea experimentelor - și al amprentelor la măsurătorile de duritate efectuate pe epruvetele din fontă	98
Figura 4.32 Stand experimental	99
Figura 4.33 Vedere braț amestecător prin gura de vizitare: a. brațul amestecătorului fixat în fanta arborelui de acționare corespunzător unghiului de 30°; b. vizualizarea înclinării plăcuței prin gura de vizitare.	100
Figura 4.34 Rezultate experimentale pentru paletele din fontă, înclinate la 30 grade	102
Figura 4.35 Rezultate experimentale pentru paletele din fontă, înclinate la 45 grade	103
Figura 4.36 Rezultate experimentale pentru paletele din fontă, înclinate la 60 grade	104
Figura 4.37 Aspectul probei paleta 1 - fontă, după 60 min de încercare, înclinare 30 grade	104
Figura 4.38 Aspectul probei paleta 1 - fontă, după 120 min de încercare, înclinare 30 grade	105
Figura 4.39 Aspectul probei paleta 2 - fontă, după 300 min de încercare, înclinare 30 grade	105
Figura 4.40 Aspectul probei paleta 3 - fontă, după 240 min de încercare, înclinare 30 grade	105
Figura 4.41 Aspectul probei paleta 1 - fontă, după 300 min de încercare, înclinare 60 grade	105
Figura 4.42 Aspectul probei paleta 3 - fontă, după 60 min de încercare, înclinare 60 grade	106
Figura 4.43 Aspectul probei paleta 3 - fontă, după 300 min de încercare, înclinare 60 grade	106
Figura 4.44 Rezultate experimentale pentru paletele din oțel, înclinate la 30 grade	107
Figura 4.45 Rezultate experimentale pentru paletele din oțel, înclinate la 45 grade	108
Figura 4.46 Rezultate experimentale pentru paletele din oțel, înclinate la 60 grade	109
Figura 4.47 Masa probei A - oțel, înclinare 30 grade, după 120 minute de încercare	109
Figura 4.48 Masa probei C - oțel, înclinare 45 grade, după 240 minute de încercare	109
Figura 4.49 Aspectul probei paleta A - oțel, după 120 min de încercare, înclinare 45 grade	110

Figura 4.50 Aspectul probei paleta A - oțel, după 240 min de încercare, înclinare 45 grade	110
Figura 4.51 Aspectul probei paleta B - oțel, după 240 min de încercare, înclinare 45 grade	110
Figura 5.1 Reprezentarea schematică a unui braț de amestecare și a paletei amestecătoare.	116
Figura 5.2 Variația raportului F_f / G , pentru $\mu = 0,25$.	117
Figura 5.3 Variația raportului F_f / G , pentru $\mu = 0,30$.	117
Figura 5.4 Variația raportului F_f / G , pentru $\mu = 0,35$.	117
Figura 5.5 Schema de realizare a studiului analitic (prelucrare după lucrarea autorului [95])	119
Figura 5.6 Interacțiunea particulei cu suprafața supusă eroziunii [97]	120
Figura 5.7 Calculul intensității de uzare erozivă	121
Figura 5.8 Variația intensității de uzare (mg/g) în funcție de unghiul de incidență, pentru $v_0=2.5$ [m/s] și coeficientul de frecare μ : 0.25, 0.3 și 0.35 (roșu, albastru și verde în figuri)	123
Figura 5.9 Variația intensității de uzare (mg/g) în funcție de viteza de impact, pentru $\mu = 0.25$ și valorile unghiului de impact de α_0 : 30, 45 și 60 grade (roșu, albastru și verde în figuri)	124
Figura 5.10 Variația intensității de uzare (mg/g) în funcție de coeficientul de frecare, pentru $v_0=2.5$ [m/s] și unghiului de impact de α_0 : 30, 45 și 60 grade (roșu, albastru și verde în figuri)	124
Figura 6.1 Imagini preluate în timpul funcționării malaxorului aflat în dotarea firmei SC STRABENBAU LOGISTIC SRL	130
Figura 6.2 Pierderea de masa a paletelor amestecătoare încercate in-situ	131
Figura 6.3 Proba A la începutul încercărilor	131
Figura 6.4 Proba A după 215 ore și 15 minute (8569 m ³) de funcționare în malaxor (in situ)	132
Figura 6.5 Proba A după 407 ore și 15 minute (16212 m ³) de funcționare în malaxor (in situ)	132
Figura 6.6 Proba 2 după 215 ore și 15 minute (8569 m ³) de funcționare în malaxor (in situ)	132
Figura 6.7 Paletele amestecătoare uzate, după 407 ore și 15 minute (16212 m ³) de funcționare în malaxor	133
Figura 7.1 Malaxor din instalația de fabricare a betonului de ciment: a – interiorul cuvei (prelucrare după [102]); b- palete amestecătoare uzate (imagini preluate din șantierul SC Strabenbau Logistic SRL)	135
Figura 7.2 Potențostatul VoltaLab PGZ 100	137
Figura 7.3 Celula de coroziune	138
Figura 7.4 Rezultatele testelor de coroziune efectuate pe epruvetele din fonta P1: a - Curba de polarizare (înregistrări experimentale); b - Curba de polarizare (prelucrare după datele înregistrate); c - Înregistrări experimentale - diagrama Evans cu dreptele lui Tafel.	144

Figura 7.5 Înregistrări experimentale - diagrama Evans cu dreptele lui Tafel - fonta P2	144
Figura 7.6 Înregistrări experimentale - diagrama Evans cu dreptele lui Tafel - fonta P3	144
Figura 7.7 Graficele Tafel pentru probele din fontă	145
Figura 7.8 Diagrama Evans cu dreptele lui Tafel - oțel tip A.	146
Figura 7.9 Rezultatele testelor de coroziune efectuate pe epruvetele din oțel B: a - Curba de polarizare (prelucrare după datele înregistrate); b - Înregistrări experimentale - diagrama Evans cu dreptele lui Tafel.	146
Figura 7.10 Rezultatele testelor de coroziune efectuate pe epruvetele din oțel B1: a - Curba de polarizare (prelucrare după datele înregistrate); b - Înregistrări experimentale - diagrama Evans cu dreptele lui Tafel.	147
Figura 7.11 Diagrama Evans cu dreptele lui Tafel - oțel tip C	147
Figura 7.12 Diagrama Evans cu dreptele lui Tafel - oțel tip D.	147
Figura 7.13 Diagrama Evans cu dreptele lui Tafel - oțel tip F.	148
Figura 7.14 Vitezele de coroziune, determinate experimental, pentru probele încercate în lapte de ciment	149

Listă de tabele

Tabelul 2.1 Mărci de betoane [57]	34
Tabelul 2.2 Caracteristicile componentelor mineralogici din betonul de ciment	35
Tabelul 2.3 Clasele de betoane rutiere, natura lor și valorile rezistențelor caracteristice la încovoiere	37
Tabelul 2.4 Amestec agregate minerale concasate	48
Tabelul 3.1 Forme de degradare sub acțiunea combinată a coroziunii și solicitărilor mecanice	64
Tabelul 4.1 Compoziția chimică a probelor din fontă	70
Tabelul 4.2 Compoziția chimică a probelor din oțel	71
Tabelul 4.3 Valorile rugozității epruvetelor din fontă	72
Tabelul 4.4 Valorile rugozității epruvetelor din oțel	72
Tabelul 4.5 Valorile rugozității rotelor din granit	73
Tabelul 4.6 Rezultatele primului set de încercări de uzură (epruvete din fontă)	77
Tabelul 4.7 Rezultatele primului set de încercări de uzură (epruvete din oțel)	78
Tabelul 4.8 Rezultatele celui de al doilea set de încercări de uzură (epruvete din fontă)	82
Tabelul 4.9 Rezultatele celui de al doilea set de încercări de uzură (epruvete din oțel)	83
Tabelul 4.10 Aspectul epruvetelor la finalul programului al doilea de încercări	87
Tabelul 4.11 Rezultatele celui de al treilea set de încercări de uzură (epruvete din fontă)	90
Tabelul 4.12 Rezultatele celui de al treilea set de încercări de uzură (epruvete din oțel)	91

Tabelul 4.13 Aspectul epruvetelor la finalul programului al treilea de încercări (epruvete din fontă)	93
Tabelul 4.14. Valorile vitezelor de uzare, pentru cele 6 tipuri de materiale încercate	95
Tabelul 4.15 Valorile durității pentru probele supuse încercărilor de uzură, la începutul, respectiv la finalul programelor de încercare [13]	97
Tabelul 4.16 Valori de pierdere de masă determinate în timpul testului experimental pentru lame înclinate la 30 de grade	101
Tabelul 4.17 Rezultatele încercărilor pe standul experimental (epruvete din fontă) - înclinare paletă 45 grade	102
Tabelul 4.18 Rezultatele încercărilor pe standul experimental (epruvete din fontă) - înclinare paletă 60 grade	103
Tabelul 4.19 Rezultatele încercărilor pe standul experimental (epruvete din oțel) - înclinare paletă 30 grade	106
Tabelul 4.20 Rezultatele încercărilor pe standul experimental (epruvete din oțel) - înclinare paletă 45 grade	107
Tabelul 4.21 Rezultatele încercărilor pe standul experimental (epruvete din oțel) - înclinare paletă 60 grade	108
Tabelul 4.22. Valorile vitezelor de uzare, pentru cele 6 tipuri de materiale încercate	111
Tabelul 5.1 Semnificația termenilor din relațiile 5.6- 5.12	122
Tabelul 5.2 Parametrii specifici ai paletelor malaxorului	123
Tabelul 6.1 Caracteristicile de material ale celor două palete amestecătoare	129
Tabelul 6.2 Pierderea de masă a paletelor amestecătoare încercate in-situ	131
Tabelul 7.1 Compoziția chimică a probelor din fontă	140
Tabelul 7.2 Compoziția chimică a probelor din oțel	141
Tabelul 7.3 Aspectul microstructurilor și valorile durității pentru probele de fontă	142
Tabelul 7.4 Parametrii determinați pentru probele testate în pastă de ciment	148
Tabelul 7.5 Punctajele privind evaluarea rezistenței la uzare, pentru cele 6 tipuri principale	150

INTRODUCERE

Dezvoltarea rapidă a aplicațiilor industriale moderne a determinat o creștere semnificativă a cererii pentru materiale de înaltă performanță, capabile să confere echipamentelor tehnologice o durabilitate sporită și să reziste condițiilor severe de exploatare pe termen lung. Pentru satisfacerea acestor exigențe tehnice, devine imperativă optimizarea detaliată și riguroasă atât a procesului de proiectare a echipamentelor, cât și a selecției adecvate a materialelor utilizate în fabricația acestora. Numeroase exemple practice ale solicitărilor extreme la care sunt supuse echipamentele tehnologice pot fi identificate, fără îndoială, în industria prelucrătoare a materialelor de construcții. În această industrie, un caz particular îl reprezintă instalațiile de preparare a betoanelor pe bază de ciment unde, componentele tehnologice, precum malaxoarele și sistemele de transport și dozare a materialelor, sunt expuse simultan unor solicitări agresive multiple, cum ar fi abraziunea (eroziune abrazivă) intensă asociată cu acțiunea corozivă chimică generată de contactul cu materialele procesate. Această combinație complexă de solicitări mecanice și chimice conduce, inevitabil, la o scădere accentuată a duratei de viață a echipamentelor și, implicit, la creșterea costurilor de întreținere și înlocuire a componentelor afectate.

Betonul este un amestec format din agregate (precum nisip și/sau pietriș), ciment și apă. Hidratarea compușilor mineralogici ai cimentului conduce la formarea unor compuși gelici și cristalini, care leagă agregatele, formând o structură compactă rezistentă la solicitări mecanice și fizico – chimice [1]. Cimentul reprezintă ingredientul principal al oricărei rețete de beton și este regăsit sub formă de pudră. Betonul de ciment este un material de construcție foarte des folosit, iar în compoziția sa se mai pot regăsi: calcar, pentru sporirea rezistenței, argilă, cu rol stabilizator, gips pentru a regla timpul de întărire al cimentului și alte substanțe chimice și minerale cu rolul de agenți de întărire, fluidizare sau plastifiere [2].

Calitatea betonului pe bază de ciment este condiționată în mod semnificativ de gradul de omogenitate al amestecului rezultat din interacțiunea cimentului cu agregatele minerale și apa utilizată. Omogenitatea betonului, în stare proaspătă, se definește prin uniformitatea compozițională și structurală a amestecului, caracterizată de o distribuție uniformă și consistentă a tuturor componentelor. Această uniformitate influențează direct densitatea amestecului final, precum și proprietățile de lucrabilitate ale betonului proaspăt, esențiale pentru manipularea eficientă și punerea în lucru corespunzătoare a acestuia. Astfel, asigurarea unei bune omogenități este esențială pentru obținerea unor performanțe superioare în exploatare și o durabilitate optimă a betonului întărit [3]. Amestecarea componentelor betonului de ciment se realizează – în condiții industriale – cu ajutorul malaxoarelor. Malaxoarele industriale sunt echipamente folosite pentru a amesteca mecanic diferite categorii de materiale pentru a obține amestecuri omogene. Omogenizarea eficientă a amestecului este influențată în mod esențial de un ansamblu de factori geometrici și funcționali specifici

echipamentului de malaxare. Dintre aceștia, un rol determinant îl au geometria paletelor amestecătoare, în special unghiul de înclinare - care controlează traiectoria particulelor și intensitatea forțelor de forfecare aplicate - precum și parametrii de funcționare – în special turația paletelor amestecătoare - care reglează energia mecanică transferată sistemului de agregate minerale și gradul de dispersie a componentelor acestuia. Interacțiunea optimă dintre acești factori conduce la obținerea unui amestec uniform din punct de vedere structural și compozițional. Elementele de ordin geometric și cele de ordin funcțional sunt importante și pentru a caracteriza comportarea în timp a malaxoarelor pentru beton, pentru a evalua capacitatea elementelor componente ale acestora de a face față uzării. Trebuie avut în vedere că malaxoarele din industria betonului funcționează în condiții cărora le sunt specifice, cu precădere, uzarea eroziv-abrazivă (exprimarea abraziv-erozivă fiind de asemenea acceptată în literatura de specialitate) [4–7]. Durata de viață a componentelor robuste ale malaxorului – în special paletele brațelor amestecătoare și blindajul pereților cuvei de amestecare – depinde de natura pietrei-agregat, dimensiunea pietrei-agregat, gradul de agresivitate al prafului de ciment (în combinație cu apa), proporția de nisip în agregat etc.

Paletele amestecătoare – componente cu o robustețe mai scăzută - sunt supuse unui fenomen de uzare complex și greu de controlat. Uzarea acestor palete este determinată de impactul și abraziunea unui amestec de particule (agregatele minerale) cu dimensiuni și formă variabile - unele de dimensiuni foarte mici (nisip, ciment și adezivi) și altele de dimensiuni mai mari (agregate minerale) – în combinație cu efectul coroziv al soluției de ciment. Nivelul solicitărilor mecanice și gradul de degradare manifestate la nivelul paletelor amestecătoare, așa cum se menționează în rezultatele diverselor lucrări de cercetare științifică [8–11], depind de duritatea materialului din care sunt confecționate piesele, de viteza de impact a particulelor de agregat și de valoarea unghiului de impact.

În acest context, în cadrul tezei de doctorat, programul de cercetare a fost astfel proiectat și condus încât să ofere concluzii relevante privind comportarea în condiții de uzare extremă a paletelor amestecătoare ale unui malaxor pentru beton, iar rezultatele obținute în urma derulării experimentelor să fie utile atât proiectanților cât și utilizatorilor de astfel de echipamente. Pe parcursul cercetărilor s-a urmărit reproducerea cât mai fidelă a condițiilor reale, din exploatare, în laborator – inclusiv pe standul experimental proiectat și construit de către autorul tezei de doctorat – și în cadrul modelărilor numerice.

Autorul își exprimă convingerea că rezultatele obținute pot constitui repere importante pentru proiectarea și exploatarea echipamentelor amestecătoare din industria betonului.

Cuvinte cheie: beton; ciment; malaxor; pală amestecătoare; agregate minerale; DEM; uzare/uzură; abraziune/ eroziune; coroziune; stand experimental; experimente in-situ.

ABSTRACT

Tema tezei de doctorat - ”**CONTRIBUȚII LA STUDIUL FENOMENELOR DE UZARE SPECIFICE MALAXOARELOR DIN STAȚIILE DE PRODUCERE A BETOANELOR**” - ale cărei rezultate sunt prezentate în continuare, a constituit un reper pentru rezolvarea unor probleme practice cu care se confruntă autorul acesteia în activitatea pe care o desfășoară în cadrul stației de betoane a firmei **STRABENBAU LOGISTIC SRL**. În această teză de doctorat, autorul și-a propus să studieze fenomenele de uzare specifice paletelor amestecătoare ale malaxoarelor utilizate în stațiile de fabricare a betonului de ciment. S-a pornit de la constatarea că uzarea acestor elemente constructive este consecința acțiunii combinate a abraziunii exercitată – în principal – de agregatele minerale care intră în compoziția betonului și a coroziunii determinată de mediul de lucru, reprezentat de amestecul componentelor: apă, nisip, ciment, agregate minerale și, eventual, aditivi diverși. Trebuie spus că, efectul mecanic - manifestat în timpul funcționării malaxorului – al particulelor (de agregat) abrazive necesită analiză nu numai sub aspectul impactării suprafeței active a paletelor amestecătoare ci inclusiv asupra fenomenelor de frecare/alunecare al agregatelor pe suprafața analizată.

Pe baza acestor constatări inițiale, în situ, au fost stabilite principalele obiective de atins pe parcursul programului de cercetare aferent tezei de doctorat. Aceste obiective au fost:

1. Studiarea, pe baza literaturii de specialitate, a aspectelor specifice uzării elementelor componente ale malaxoarelor folosite la fabricarea betonului de ciment și, în special, a paletelor amestecătoare ale acestora. În acest scop s-au analizat condițiile de lucru specifice malaxoarelor pentru beton și s-au asociat acestora fenomenele de uzare care se manifestă cu preponderență – uzarea prin abraziune (uzare eroziv-abrazivă) și uzarea prin coroziune;
2. Cercetarea, prin metode tribologice experimentale, a fenomenelor de uzare specifice paletelor amestecătoare ale malaxoarelor. Cercetările s-au efectuat, în condiții de laborator, pe tribometrul Baroid, folosind diverse medii de lucru: în aer, în nisip umed și în soluție (lapte) de ciment;
3. Studiarea posibilităților de modelare analitică a procesului de amestecare, pentru determinarea solicitărilor exercitate asupra paletelor amestecătoare, precum și modelarea fenomenelor de uzare abrazivă a paletelor amestecătoare sub acțiunea particulelor de agregate minerale;
4. Cercetarea experimentală – cu utilizarea unui stand experimental, realizat de doctorand, care reproduce, la scară redusă, un malaxor real – a fenomenelor de uzare abraziv-erozivă manifestate datorită impactului paletelor amestecătoare cu particulele de agregate minerale;
5. Cercetarea posibilității de utilizare, pentru realizarea paletelor amestecătoare, a oțelurilor. O astfel de soluție este destinată unor intervenții rapide în cazul operațiilor de mentenanță corectiv-accidentală;

6. Cercetarea experimentală, in situ, prin montarea unor palete reale într-un amestecător din cadrul stației de betoane a SC Strabenbau Logistic SRL, a comportării în exploatare a paletelor amestecătoare fabricate din oțel;
7. Studierea fenomenelor de coroziune specifice funcționării paletelor amestecătoare în situația utilizării, pentru confecționarea acestora, de diferite mărci de fonte și oțeluri.

Lucrarea este structurată în opt capitole, pe parcursul cărora este prezentată problematica specifică exploatarea malaxoarelor din instalațiile de fabricare a betonului de ciment, insistându-se asupra fenomenelor de uzare a paletelor amestecătoare din componența echipamentelor studiate.

În capitolul 1, cu titlul ” **STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR DEZVOLTATE ÎN DOMENIUL TEMEI TEZEI DE DOCTORAT. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT**”, se precizează contextul formulării temei și programului experimental. Autorul face un amplu studiu bibliografic pentru a identifica direcțiile cercetărilor în domeniu și pentru a stabili coordonatele propriului program de cercetare. Pe baza acestei analize autorul și-a propus să studieze fenomenele de uzare specifice paletelor amestecătoare ale malaxoarelor utilizate în stațiile de fabricare a betonului de ciment. S-a pornit de la constatarea că uzarea acestor elemente constructive este consecința acțiunii combinate a abraziunii exercitată de – în principal – agregatele minerale care intră în compoziția betonului și a coroziunii determinată de mediul de lucru, reprezentat de amestecul componentelor: apă, nisip, ciment, agregate minerale și, eventual, aditivi diverși. Trebuie spus că, efectul mecanic - manifestat în timpul funcționării malaxorului – al particulelor (de agregat) abrazive trebuie analizat nu numai sub aspectul impactării suprafeței active a paletelor amestecătoare și, trebuie să se acorde atenție, inclusiv, fenomenelor de frecare/alunecare al agregatelor pe suprafața analizată.

În capitolul 2, intitulat ” **FABRICAREA LA SCARĂ INDUSTRIALĂ A BETONULUI DE CIMENT**”, s-a realizat o scurtă introducere în ceea ce înseamnă prepararea betonului de ciment, pentru a evidenția complexitatea proceselor de fabricație, prin natura materiei prime, a utilajelor necesare și implicațiile acestora asupra funcționării echipamentelor de tip malaxor. Betoanele de ciment sunt amestecuri omogene de agregate naturale, ciment și apă care, după solidificare, capătă aspectul specific al conglomeratului. În betoanele de ciment partea activă este cimentul (liant neorganic) iar partea practic inertă este scheletul mineral format din agregatele naturale (nisip, pietriș, piatră spartă sau cribluri). Producerea betonului de ciment presupune o serie de operații tehnologice în urma cărora agregatele naturale, cimentul și apa, în proporții bine stabilite, vor fi corect omogenizate. Dacă este să ne referim la prepararea betonului de ciment folosit la construcții și pentru executarea îmbrăcămînții rutiere, aceasta se face în centrale pentru betoane, poziționate astfel ca transportul materiei prime de la sursă până la centrală, precum și transportul betonului de la centrală la șantier, să fie cel mai economic. Procesul tehnologic de preparare a betonului cuprinde o amestecare la uscat a agregatului natural și cimentului, după care se introduce în același timp apa și soluția de aditiv în toba betonierei, efectuându-se o nouă amestecare. Betonierele (malaxoarele) trebuie să dispună de rezervoare închise pentru soluția de aditivi, amplasate pe platforma stației și cu dozator special pentru soluție. Dozarea agregatelor minerale și a cimentului se realizează gravimetric, iar apa, cu ajutorul dozatorului de apă, pe baza măsurării volumului sau a debitului. Pentru a asigura uniformitatea granulozității agregatelor naturale, trebuie să se asigure cântărirea separată a acestora pe sorturi. Dozarea cantității de apă

utilizată la amestecare reprezintă cea mai importantă operație la prepararea betonului, apa influențând hotărâtor calitatea betonului prin modificarea raportului A/C (apă/ciment) și a lucrabilității.

Malaxoarele sunt destinate amestecării materialelor de natură diferită, atât din punct de vedere fizic cât și chimic.

Malaxorul care face obiectul prezentei lucrări - aflat în dotarea stației de betoane a firmei **STRABENBAU LOGISTIC SRL**, este de tip Twin Shaft, cu o capacitate de 2000 l (2 m³), produs de CM Italia / SICOMA Italia - face parte din categoria malaxoarelor cu amestecare forțată, cu acțiune periodică, cu doi arbori orizontali cu palete (sape). Malaxoarele cu acțiune periodică cu doi arbori orizontali pentru pregătirea betoanelor se execută cu capacități între 750 și 5250 l. La acestea, cei doi arbori cu palete (palete) se rotesc în sensuri diferite (**Error! Reference source not found.**b), iar descărcarea betonului preparat se face pe la partea centrală inferioară a cuvei, prin deschiderea unui sector cilindric.

Rezistențele la amestecare ale paletelor malaxorului cu ax orizontal depind atât de proprietățile amestecului, cât și de parametrii organelor de malaxare. La malaxoarele cu ax orizontal toate paletele au aceeași suprafață și sunt așezate la aceeași distanță de axa de rotație, de unde rezultă că viteza tangențială este aceeași la toate paletele. De asemenea, majoritatea paletelor sunt înclinate după același unghi față de axa longitudinală a cuvei și, deci, realizează aceeași suprafață activă de malaxare.

În cazul malaxoarelor cu doi arbori orizontali și acțiune periodică, forțele active care acționează asupra paletelor pot fi descompuse în două componente: o componentă deterministă cu caracter periodic, cauzată de rezistențele la deplasarea paletei în material și o componentă aleatoare (care se suprapune peste prima componentă), determinată de acțiunea granulelor mari, care se blochează între pală și cuva malaxorului.

În partea finală a capitolului s-a realizat o modelare a echipamentului studiat și o simulare a procesului de amestecare uscată a combinației de agregate utilizate la fabricarea betonului. Simularea procesului de malaxare s-a realizat folosind produse software specializate (ANSYS Rocky), cu aplicarea metodei elementelor discrete (DEM). În urma simulărilor efectuate s-a constatat, că resursele necesare unor astfel de simulări sunt foarte extinse, ceea ce oferă șanse foarte reduse pentru derularea unui astfel de studiu într-un interval de timp rezonabil, așa cum este durată acordată elaborării unei teze de doctorat. Totuși, pentru exemplificare, s-au efectuat simulări parțiale ale procesului de amestecare și s-au prezentat rezultatele obținute sub forma traiectoriilor posibile ale particulelor de agregat, descrise în timpul malaxării și sub forma tensiunilor înregistrate pe elementele amestecătoare ale malaxorului.

În capitolul 3, având titlul **”NOȚIUNI GENERALE PRIVIND DEGRADAREA ECHIPAMENTELOR TEHNOLOGICE”**, sunt prezentate argumente în sprijinul direcțiilor stabilite de doctorand pentru desfășurarea programului de cercetare. Analizând fluxul tehnologic specific fabricării betoanelor, se observă că echipamentul de amestecare – mixerul - este supus celor mai severe solicitări, componentele acestuia funcționând într-un mediu puternic abraziv, care are și o componentă corozivă. Dacă materialele folosite în mod obișnuit la fabricarea sau placarea echipamentelor de amestecare garantează – prin caracteristicile anticorozive – o comportare adecvată la acțiunea mediului de lucru, factorul mecanic specific procesului de malaxare - abraziunea -

determină soluțiile privind alegerea adecvată a acestor materiale. Autorul a concluzionat că cercetările experimentale ce vor fi efectuate pe parcursul elaborării tezei de doctorat se vor desfășura în medii specifice funcționării paletelor amestecătoare, atât în laborator cât și in situ, în încercarea de a reproduce condițiile reale de lucru.

În capitolul 4, și cel mai extins al tezei de doctorat, intitulat ”**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND FENOMENELE DE UZARE SPECIFICE MALAXOARELOR DIN STAȚIILE DE BETOANE**”, se prezintă modul de lucru și rezultatele obținute în cadrul unui program de încercări accelerate desfășurate în laborator – utilizând testerul Baroid și un stand experimental conceput de către doctorand - în urma căruia s-a demonstrat caracterul abraziv/eroziv al uzurii paletelor amestecătoare și s-a corelat intensitatea uzurii cu gradul de aliere (cu crom) al fontelor studiate. În paralel au fost efectuate încercări asupra unor probe din oțeluri, cu intenția de a propune soluții economice pentru înlocuirea fontelor la confecționarea paletelor amestecătoare ale malaxoarelor pentru beton.

Comportarea la uzare a celor trei fonte studiate este influențată, în mod semnificativ, de conținutul de crom din compoziție toate fiind încadrate, după conținutul de carbon, în categoria fontelor hipoeutectice. Rezultatele experimentale obținute confirmă faptul că rezistența la uzare a fontelor albe este influențată în mod semnificativ de conținutul de crom. Se confirmă teoria conform căreia, creșterea conținutului de Cr reduce riscul fisurării și ruperii carburilor din structura fontei, acestea suferind un proces accentuat de abraziune. În acest caz materialul abraziv (granit și nisip/soluție de ciment) taie în principal matricea metalică, iar carbura rămâne pe suprafața uzată pentru perioade îndelungate. Conținutul scăzut de Cr favorizează ruperea carburilor din structura materialului, acestea nemaiputând să ofere protecție matricei metalice (moale). Suprafața solicitată este măcinată cu ușurință de materialul abraziv. Este posibil ca, pe lângă migrarea componentelor structurali pe suprafața expusă, o parte din abraziv să fie reținut (la nivel microscopic) în matricea metalică moale. Urmele de uzură au adâncime redusă și lățime mare.

Rezultatele contradictorii obținute în urma primului program experimental (în condițiile nisipului uscat) este posibil să se datoreze fenomenelor menționate mai sus. Reducerea vitezei de uzare (pierderii masice) pentru proba 3 în timpul programelor experimentale 2 și 3, și comportarea similar cu a probei 1 se poate explica prin efectul de spălare a suprafeței (pentru proba 1) încercate și eliminarea microparticulelor de abraziv, eventual înglobate superficial. Rezultatele similare obținute pentru probele 1 (4% Cr) și 3 (9% Cr) la programele experimentale 2 și 3 se explică prin aceea că, pentru un conținut de crom cuprins între 2% și 10%, carburile din structura fontelor albe sunt de tipul $(Fe,Cr)_3C$, asigurând un același comportament la uzare. Conform [86,87] carbura din structura fontei albe cu ~2% Cr are aceeași duritate ca a nisipului de cuarț abraziv. Prin urmare, această valoare (~2%) reprezintă conținutul critic de Cr necesar pentru transformarea abrazivelor dure în abrazivi moi (prin raportare la duritatea carburilor din structura fontei). Rezistența sporită la uzare, a fontelor albe aliate cu Cr, se asigură pentru procente de crom peste 10%. Rețetele uzuale, în acest caz, presupun un conținut de crom de 10 – 35%. Acest lucru este confirmat și de rezultatele experimentale obținute pentru proba 2.

În cazul studiului de față, rezultatele cercetărilor experimentale au demonstrat faptul că, dacă fontele, având în compoziție 25% Cr, prezintă, așa cum era de așteptat, o rezistență superioară la uzare abrazivă, diferențele de comportament dintre fontele cu 4% Cr, respectiv 9% Cr nu justifică alegerea celor din urmă. Pe baza acestor rezultate, fabricanții de ciment pot lua o decizie importantă privind alegerea mărcii de material pentru echipamentele utilizate, astfel încât să facă investiții eficiente în soluțiile alese. Dacă, conform rezultatelor cercetărilor, putem afirma că nu se justifică utilizarea pentru astfel de aplicații a componentelor din fontă cu 9% Cr în defavoarea fontelor aliate cu 4% Cr, soluțiile recomandate, diferențiate prin costuri, se referă la fonte cu 4% Cr și cele cu 25% Cr.

Pentru oțeluri, cea mai bună comportare la uzare o manifestă tot oțelul A. Se pare că un conținut ridicat de carbon, în combinație cu procente relativ mari de mangan, contribuie la o comportare favorabilă la uzare. Excepție face situația în care lamele sunt înclinate la 30 grade (valoare mică). În această situație, fiind preponderentă uzura de impact, oțelul B, mai moale, are o comportare mai bună decât celelalte două oțeluri. Pe măsură ce fenomenele de eroziune devin predominante (cu creșterea unghiului de înclinare) uzura lamelor din oțelul B se accelerează considerabil.

Evident, fontele se comportă mai bine decât oțelurile, pentru aplicația studiată. Totuși se observă o comportare satisfăcătoare a oțelului de tip A care, în combinație cu un preț al semifabricatului mai scăzut decât al pieselor din fontă, poate oferi o soluție pentru utilizarea, cel puțin ca piese de schimb, în componența malaxoarelor de beton.

La o înclinare uzuală a paletelor amestecătoare de 45 grade, pentru fonta cu 25% Cr viteza de uzare este de 10,6 ori mai mică decât a oțelului A studiat.

Metodele de cercetare propuse de autor – testarea accelerată pe testerul Baroid și încercările efectuate pe standul experimental - pot fi aplicate și în alte studii care încearcă să reproducă fenomene de uzare manifestate la echipamente industriale. Această metodă elimină dificultățile studiului in situ și contribuie la reducerea semnificativă a timpului de derulare a cercetărilor pentru alegerea adecvată a materialelor corespunzător diverselor aplicații.

În capitolul 5 al tezei, intitulat **”MODELAREA FENOMENELOR DE UZARE SPECIFICE PALETELOR AMESTECĂTOARE ALE MALAXOARELOR DE BETON”**, este abordat subiectul referitor la stabilirea unor modele privind studierea interacțiunii dintre agregatele minerale din componența amestecului de beton de ciment și suprafețele paletelor amestecătoare ale malaxoarelor.

Pe baza mențiunilor din literatura de specialitate și a cercetărilor teoretice și experimentale efectuate de autorul tezei de doctorat se poate aprecia că modelul complex (Kraghelsky-Nepomnyashchi) este adecvat studierii deformațiilor elasto-plastice ale materialului paletelor amestecătoare supuse acțiunii eroziv-abrazive ale particulelor de agregat mineral care acționează sub unghiuri de incidență variabile.

Rezultatele obținute în urma aplicării modelului complex sunt în concordanță cu rezultatele modelului analitic prezentate în prima parte a acestui capitol. Acest lucru ne îndreptățește să considerăm că modelul complex poate oferi un instrument comod și eficient pentru studiul fenomenelor eroziv-abrazive. Este evidențiat faptul că factorii dinamici care afectează viteza de eroziune sunt: viteza de impact pe suprafața paletelor amestecătoare, frecvența impactului și unghiul de impact. În ceea ce privește factorul geometric – unghiul de înclinare al paletelor de amestecare –

rezultatele modelării sunt în concordanță cu mențiunile din capitolul 4 și anume, intensitatea minimă de uzură se remarcă la unghiuri de înclinare de 60°. Putem remarca, în acest context, importanța modelelor care ajută la estimarea forțelor – forțe de frecare și cele datorate masei/greutății particulelor – care se manifestă la impactul agregatelor minerale cu suprafața activă a paletelor amestecătoare.

Deoarece, în prezent, nu există mijloace specifice pentru a estima rata de eroziune, ar trebui efectuate studii dedicate fiecărei aplicații - pentru costuri rezonabile, cercetările trebuie efectuate la scară mică - cu reconstrucția, pe cât posibil, a mediului real. De asemenea, pentru o durată rezonabilă a studiilor, parametrii dinamici ar trebui majorați valoric, astfel încât testele să fie efectuate într-un ritm accelerat. Concluziile, de ordin calitativ, ar putea fi ulterior corelate cu scara reală pentru a stabili parametrii de uzură corecți.

Aprofundarea studiilor privind uzura paletelor de amestecare și dezvoltarea unor metode de modelare a fenomenelor de uzură, ținând cont de aspectele dinamice și de caracteristicile materialelor, ar putea facilita supravegherea defecțiunilor instalațiilor din stațiile de beton și ajuta la eficientizarea programării lucrărilor de întreținere. O cercetare suplimentară poate fi efectuată luând în considerare numărul de particule care erodează suprafața. Modelele matematice sunt, în majoritatea cazurilor, pur teoretice iar premisele trebuie corelate cu cercetările experimentale și pot fi îmbunătățite cu coeficienți de corelație care sunt diferențiați, în mod obișnuit, având în vedere starea reală de deformare a materialului impactat. Modelul de eroziune prezentat în acest capitol se recomandă a fi dezvoltat, în cercetările viitoare, în combinație cu modelul de curgere.

În capitolul 6, cu titlul ***"CERCETĂRI EXPERIMENTALE IN-SITU PRIVIND COMPORTAREA LA UZARE A PALETELOR AMESTECĂTOARE ALE MALAXOARELOR DE BETON"*** sunt prezentate rezultatele măsurătorilor efectuate în cadrul încercărilor experimentale in-situ. Acestea arată că viteza de uzare pentru paletelor amestecătoare confecționate din oțel ($v_{u,A} = 3,769$ g/oră) este de 7 ori mai mare decât a paletelor confecționate din fontă aliată cu Cr ($v_{u,P2} = 0,538$ g/oră). Aceste rezultate confirmă și rezultatele obținute prin experimentele de laborator.

Pentru intervenții rapide (mentenanță accidentală) se pot utiliza palete amestecătoare executate din oțel (de preferat oțelurile manganoase sau orice tip de oțel utilizat la fabricarea elementelor active ale utilajelor folosite la lucrări funciare: cuve excavator, lame buldozer etc.). Acestea sunt ieftine și se pot confecționa în atelierele de întreținere.

Se observă o comportare satisfăcătoare a paletelor executate din oțel, în sensul că și-a menținut acceptabil integritatea geometrică și dimensională. Pierderea de material (de cca 13% din masă după prelucrarea a 4285 șarje de beton și de cca 37% din masă după prelucrarea a 8106 șarje de beton), la pala din oțel se remarcă, în special, pe grosimea acesteia. Menținerea profilului paletelor amestecătoare asigură funcționarea corectă a acesteia în interiorul cuvei malaxorului.

În cadrul capitolului 7, intitulat ***"ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA LA COROZIUNE A MATERIALELOR UTILIZATE LA CONSTRUCȚIA PALETELOR AMESTECĂTOARE ALE MALAXOARELOR DIN INSTALAȚIILE DE FABRICARE A BETONULUI"***, se prezintă metoda experimentală utilizată și rezultatele obținute în studiul referitor la determinarea parametrilor electrochimici care influențează comportamentul la coroziune al materialelor utilizate (sau posibil a fi utilizate) pe scară largă la fabricarea echipamentelor

din industria betonului, respectiv paletelile amestecătoare ale malaxoarelor. Cercetările au avut scopul de a completa informațiile obținute și prezentate în capitolele anterioare ale tezei de doctorat referitoare la cercetările efectuate asupra paletelor amestecătoare privind comportarea acestora la acțiunea abraziv-erozivă a agregatelor care intră în compoziția betonului. Experimentele s-au efectuat pe probe din fontă și oțel, extrase din componente similare celor utilizate în cercetările mecanice.

Rezultatele programului experimental care a făcut obiectul acestui capitol demonstrează că, în unele aplicații, testarea materialelor poate oferi soluții economice pentru componentele echipamentelor din industria betonului. Propunerile de înlocuire a fontelor, utilizate la fabricarea paletelor de amestecare a betonului, cu oțeluri sunt justificate în situații specifice: lucrări de întreținere corectivă/accidentală; situații care implică reducerea costurilor cu piesele de schimb; utilizarea echipamentului în condiții de criză (aprovizionare sau mentenanță) pentru o perioadă scurtă de timp.

În capitolul 8, cu titlul ”**CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR**” sunt prezentate principalele concluzii care se desprind din studiile efectuate pe parcursul cercetărilor, sunt precizate contribuțiile originale care se regăsesc în cadrul tezei de doctorat și sunt evidențiate rezultatele cu aplicabilitate practică obținute în urma cercetărilor dezvoltate de către autor.

Contribuții originale

Pe baza rezultatelor obținute, consemnate, în marea lor majoritate, și în lucrările științifice publicate de doctorand, se pot identifica principalele **contribuții originale** ale autorului, în domeniul temei studiate, astfel:

- Analiza bibliografică a stadiului actual privind cercetările care fac referire la malaxoarele utilizate în industria betonului;
- Sistematizarea, în cadrul fiecărui capitol, a aspectelor specifice funcționării și uzării paletelor amestecătoare ale malaxoarelor folosite la fabricarea betonului de ciment;
- Demonstrarea – chiar dacă numai cu caracter de exemplu, datorită resurselor hard-ware mari solicitate de un asemenea proces – a posibilităților de modelare a procesului de malaxare folosind produse software specializate (ANSYS Rocky), cu aplicarea metodei elementelor discrete (DEM). S-au prezentat rezultatele obținute sub forma traiectoriilor posibile ale particulelor de agregat, descrise în timpul malaxării și sub forma tensiunilor înregistrate pe elementele amestecătoare ale malaxorului;
- Dezvoltarea unei metode tribologice experimentale - utilizând tribometrul Baroid - pentru cercetarea fenomenelor de uzare ale paletelor amestecătoare ale malaxoarelor folosite la fabricarea betonului de ciment. Cercetările s-au efectuat, în condiții de laborator, folosind diverse medii de lucru: în aer, în nisip umed (cu apă), în soluție de ciment;
- Proiectarea și punerea în operă – pentru utilizarea în cercetările experimentale – a unui stand experimental care reproduce funcționarea unui malaxor real;
- Utilizarea, atât în cadrul programului experimental derulat în laborator (pe testerul Baroid dar și pe standul experimental conceput de doctorand) cât și în experimentele efectuate pe malaxorul real, alături de fonte – drept materiale folosite la confecționarea paletelor

amestecătoare – a oțelurilor. Intenția de a propune soluții economice pentru înlocuirea fontelor la confecționarea paletelor amestecătoare ale malaxoarelor pentru beton s-a dovedit interesantă, în sensul că pot fi identificate oțeluri care să conducă la rezultate satisfăcătoare, în astfel de aplicații, cu precădere atunci când se pune problema unor intervenții de tipul reparațiilor corective;

- Aprofundarea studiilor privind uzura paletelor de amestecare și dezvoltarea unor metode de modelare a fenomenelor de uzură, ținând cont de aspectele dinamice și de caracteristicile materialelor. Autorul a dezvoltat un model matematic pentru studierea forțelor dezvoltate la contactul – impact și alunecare – particulelor de agregat mineral cu suprafața paletei amestecătoare și, de asemenea, a dezvoltat un model pentru evaluarea uzurii paletelor amestecătoare sub acțiunea abrazivă a agregatelor minerale;
- Verificarea rezultatelor obținute în laborator și pe standul experimental prin introducerea în malaxorul real a unei palete amestecătoare confecționată din oțel;
- Proiectarea și desfășurarea unui vast program de cercetare experimentală privind comportarea la coroziune a materialelor evaluate pe parcursul tezei de doctorat. Propunerile de înlocuire a fontelor, utilizate la fabricarea paletelor de amestecare a betonului, cu oțeluri sunt justificate în situații specifice: lucrări de întreținere corectivă/accidentală; situații care implică reducerea costurilor cu piesele de schimb; utilizarea echipamentului în condiții de criză (aprovizionare sau mentenanță) pentru o perioadă scurtă de timp.

O mare parte dintre rezultatele prezentate în cuprinsul tezei de doctorat au fost puse la dispoziția specialiștilor din domeniu, acestea fiind prezentate în numeroase lucrări științifice publicate sau comunicate în cadrul unor manifestări științifice, ori constituind subiect pentru un brevet de invenție, la care doctorandul a fost prim autor sau coautor, așa cum se prezintă în continuare:

1. "Petrescu, M.G.; **Niță, A.**; Laudacescu, E.; Tănase, M.; Portoacă, A.I. Stand Pentru Studiul Fenomenelor de Uzare a Paletelor Malaxoare Utilizate La Amestecarea Materialelor Pulverulente de Diferite Dimensiuni Și Configurații, Brevet de Invenție RO-BOPI 4/2025 din 30.04.2025/ G01M 7/00";

2. "Burlacu, A.; Petrescu, M.G.; Dumitru, T.; **Niță, A.**; Tănase, M.; Laudacescu, E.; Ramadan, I.; Ilincă, C. Numerical Approach Regarding the Effect of the Flight Shape on the Performance of Rotary Dryers from Asphalt Plants. *Processes* **2022**, *10*, 2339, doi:[10.3390/pr10112339](https://doi.org/10.3390/pr10112339)";

3. "**Niță, A.**; Laudacescu, E.; Ramadan, I.N.; Petrescu, M.G. An Example for Determining the Physical Parameters Used in DEM Modelling for the Interaction Process between Aggregates and Working Equipment. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **2022**, *1262*, 012028, doi:[10.1088/1757-899X/1262/1/012028](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1262/1/012028)";

4. "**Niță, A.**; Petrescu, M.G.; Dumitru, T.; Tănase, M.; Laudacescu, E.; Ramadan, I. Adrian Niță, Marius Gabriel, Teodor Dumitru, Andrei Burlacu, Maria Tănase, Eugen Laudacescu, Ibrahim Ramadan, Correlating the Wear Resistance of Mixer Blade Materials with Chemical Composition under Accelerated Conditions: An Experimental Study on Cement Concrete Mixer Component

Durability, June 16-17, 2023. In Proceedings of the Recent Research, Cutting-edge technologies and innovations in materials science and engineering; June 16 **2023**”;

5. ”**A Niță** , E Laudacescu , I N Ramadan, M G Petrescu, An Example for Determining the Physical Parameters Used in DEM Modelling for the Interaction Process between Aggregates and Working Equipment, The 10th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering – **ACME 2022**, Mechanical Engineering Faculty, in the „Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Romania, 09-10 June 2022. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1262 (2022) 0120028 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1262/1/012028”;

6. ”**Niță, A.**; Laudacescu, E.; Petrescu, M.G.; Dumitru, T.; Burlacu, A.; Bădoiu, D.G.; Tănase, M. Experimental Research Regarding the Effect of Mineral Aggregates on the Wear of Mixing Blades of Concrete Mixers. *Materials* **2023**, *16*, 5047, doi:[10.3390/ma16145047](https://doi.org/10.3390/ma16145047)”;

7. ”**Niță, A.**; Petrescu, M.G.; Dumitru, T.; Burlacu, A.; Tănase, M.; Laudacescu, E.; Ramadan, I. Experimental Research on the Wear Behavior of Materials Used in the Manufacture of Components for Cement Concrete Mixers. *Materials* **2023**, *16*, 2326, doi:[10.3390/ma16062326](https://doi.org/10.3390/ma16062326)”;

8. ”Burlacu, M.G. Petrescu, R.G. Rîpeanu, T. Dumitru, E.V. Laudacescu, I.N. Ramadan, **A. Niță**, Experimental investigations on wear phenomena specific to rotary dryer flights (blades), 18 th International Conference on Tribology, SERBIATRIB ’23, Kragujevac, Serbia, 17-19 May 2023, pag. 475-484, Proceedings, ISBN: 978-86-6335-103-5”;

9. ”Andrei Burlacu , Marius Gabriel Petrescu , Răzvan George Rîpeanu , Teodor Dumitru , Eugen Victor Laudacescu , Ibrahim Naim Ramadana , **Adrian Niță**, Experimental Investigations on Wear Phenomena Specific to Rotary Dryer Flights (Blades), in Tribology in Industry, Vol. 46, No. 1 (2024) 56-65, DOI: 10.24874/ti.1549.08.23.10”;

10. ”Burlacu, A.; Gabriel Petrescu, M.; George Rîpeanu, R.; Dumitru, T.; Victor Laudacescu, E.; Naim Ramadana, I.; **Niță, A.** Experimental Investigations on Wear Phenomena Specific to Rotary Dryer Flights (Blades). *Tribol. Ind.* **2024**, *46*, 56–65, doi:[10.24874/ti.1549.08.23.10](https://doi.org/10.24874/ti.1549.08.23.10)”;

11. ”Petrescu, M.G.; Ripeanu, R.G.; Laudacescu, E.; Tanase, M.; **Niță, A.**; Burlacu, A. Characterization of Materials Used in the Concrete Industry, from the Point of View of Corrosion Behavior. *Coatings* **2024**, *14*, 800, doi:[10.3390/coatings14070800](https://doi.org/10.3390/coatings14070800)”;

12.”Petrescu, M.G.; Popovici, A.-I.; **Niță, A.**; Isbășoiu, D.; Dumitru, T.; Tănase, M. Modelling Wear Phenomena Specific to Mixer Blades in Concrete Production Plants. *Applied Sciences* **2024**, *14*, 3988, doi:[10.3390/app14103988](https://doi.org/10.3390/app14103988)”.

Direcții de continuare a cercetărilor

Subiectul tezei de doctorat s-a dovedit a fi unul deosebit de complex. Programul de cercetare – teoretică și experimentală – dincolo de răspunsul oferit numeroaselor probleme supuse studiului - a condus către identificarea a numeroase **direcții de continuare a cercetărilor**. Dintre aceste, se menționează:

- Rafinarea simulărilor DEM, în special în privința modelării amestecului supus malaxării și identificarea de soluții pentru accelerarea obținerii rezultatelor;

- Aprofundarea studiilor privind înlocuirea fontelor cu alte aliaje – în special oțeluri (manganoase) – pentru realizarea paletelor amestecătoare;
- Dezvoltarea unor modele matematice pentru studierea efectului parametrilor funcționali ai malaxorului asupra omogenității amestecului de beton de ciment;
- Investigarea efectelor geometriei paletelor amestecătoare asupra forțelor dezvoltate în timpul malaxării;
- Dezvoltarea unui model pentru studierea efectului combinat al abraziunii și coroziunii exercitat de mediul de lucru asupra paletelor amestecătoare în vederea stabilirii, cu mai mare acuratețe, a unor condiții optime de operare pentru echipament.

În ansamblu, teza de doctorat, prin cercetările teoretice și experimentale propuse și dezvoltate, prin rezultatele obținute – multe dintre ele cu aplicabilitate practică imediată – și prin aspectele inovatoare precizate mai sus, contribuie la dezvoltarea cunoașterii într-un domeniu de larg interes industrial.

BIBLIOGRAFIE

1. ***Curs Preparare Beton | PDF Available online: <https://ro.scribd.com/document/78674227/Curs-Preparare-Beton> (accessed on 11 April 2025).
2. ***Rețete de beton: ghid pentru prepararea betonului Available online: <https://mathaus.ro/blog/ghid-complet-pentru-prepararea-betonului-retete-de-beton-si-sfaturi-practice-art49> (accessed on 11 April 2025).
3. ***NORMATIV PENTRU EXECUȚIA ȘI CONTROLUL BETOANELOR ÎN CONSTRUCȚII HIDROTEHNICE; **2013**.
4. Labiapari, W.S.; Gonçalves, R.J.; de Alcântara, C.M.; Pagani, V.; Di Cunto, J.C.; de Mello, J.D.B. Understanding Abrasion-Corrosion to Improve Concrete Mixer Drum Performance: A Laboratory and Field Approach. *Wear* **2021**, 477, 203830, doi:10.1016/j.wear.2021.203830.
5. Valigi, M.C.; Logozzo, S.; Landi, L.; Braccesi, C.; Galletti, L. Twin-Shaft Mixers' Mechanical Behavior Numerical Simulations of the Mix and Phases. *Machines* **2019**, 7, 39, doi:10.3390/machines7020039.
6. Ferraris, C.F. Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers: State of the Art. *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* **2001**, 106, 391, doi:10.6028/jres.106.016.
7. Cazaciu, B. In-Mixer Measurements to Describe the Mixture Kinetics during Concrete Mixing. **2008**.
8. Khalid, Y.A.; Sapuan, S.M. Wear Analysis of Centrifugal Slurry Pump Impellers. *Industrial Lubrication and Tribology* **2007**, 59, 18–28, doi:10.1108/00368790710723106.
9. Stack, M.M.; Stott, F.H.; Wood, G.C. The Significance of Velocity Exponents in Identifying Erosion-Corrosion Mechanisms. *J. Phys. IV France* **1993**, 03, C9-694, doi:10.1051/jp4:1993972.
10. Sapate, S.G.; and RamaRao#, A.V. Effect of Erodent Particle Hardness on Velocity Exponent in Erosion of Steels and Cast Irons. *Materials and Manufacturing Processes* **2003**, 18, 783–802, doi:10.1081/AMP-120024975.
11. Fasano, J.; Janz, E.E.; Myers, K. Design Mixers to Minimize Effects of Erosion and Corrosion Erosion. *International Journal of Chemical Engineering* **2012**, 2012, 171838, doi:10.1155/2012/171838.
12. Stel'makh, S.A.; Shcherban', E.M.; Shuiskii, A.I.; Prokopov, A.Y.; Madatyan, S.M.; Parinov, I.A.; Cherpakov, A.V. Effects of the Geometric Parameters of Mixer on the Mixing Process of Foam Concrete Mixture and Its Energy Efficiency. *Applied Sciences* **2020**, 10, 8055, doi:10.3390/app10228055.
13. Niță, A.; Petrescu, M.G.; Dumitru, T.; Burlacu, A.; Tănase, M.; Laudacescu, E.; Ramadan, I. Experimental Research on the Wear Behavior of Materials Used in the Manufacture of Components for Cement Concrete Mixers. *Materials* **2023**, 16, 2326, doi:10.3390/ma16062326.

14. Trejo, D.; Prasittisopin, L. Effects of Mixing Variables on Early-Age Characteristics of Portland Cement Systems. *J. Mater. Civ. Eng.* **2016**, *28*, 04016094, doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001610.
15. Prasittisopin, L.; Trejo, D. Effects of Mixing Variables on Hardened Characteristics of Portland Cement Mortars. *ACI Materials Journal* **2015**, *112*, doi:10.14359/51686973.
16. Sereewatthanawut, I.; Panwisawas, C.; Ngamkhanong, C.; Prasittisopin, L. Effects of Extended Mixing Processes on Fresh, Hardened and Durable Properties of Cement Systems Incorporating Fly Ash. *Sci Rep* **2023**, *13*, 6091, doi:10.1038/s41598-023-33312-x.
17. Anatoly Fedorovich, T.; Drozdov, A. Automatic Control of the Concrete Mixture Homogeneity in Cycling Mixers. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **2018**, *317*, 012043, doi:10.1088/1757-899X/317/1/012043.
18. Zhao, W.; Yang, J.; Zhao, W.; Yang, C. Experimental Study on the Influence of Mixing Time on Concrete Performance under Different Mixing Modes. *Science and Engineering of Composite Materials* **2021**, *28*, 638–651, doi:10.1515/secm-2021-0061.
19. Valigi, M.C.; Gasperini, I. Planetary Vertical Concrete Mixers: Simulation and Predicting Useful Life in Steady States and in Perturbed Conditions. *Simulation Modelling Practice and Theory* **2007**, *15*, 1211–1223, doi:10.1016/j.simpat.2007.07.010.
20. López, D.; Congote, J.P.; Cano, J.R.; Toro, A.; Tschiptschin, A.P. Effect of Particle Velocity and Impact Angle on the Corrosion–Erosion of AISI 304 and AISI 420 Stainless Steels. *Wear* **2005**, *259*, 118–124, doi:10.1016/j.wear.2005.02.032.
21. Braccesi, C.; Landi, L. An Analytical Model for Force Estimation on Arms of Concrete Mixers.; American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, July 29 2010; pp. 195–204.
22. Zhang, H.; Feng, P.; Ying, W. Abrasive Wear and Optimal Installation Angle of Concrete Double-Horizontal Shaft Mixer Stirring Blades. *SN Appl. Sci.* **2020**, *2*, 1067, doi:10.1007/s42452-020-2775-3.
23. Yao, Z.; Yang, R.; Yuan, W.; An, H. MECHANICAL ANALYSIS AND OPTIMAL DESIGN OF MIXING PADDLES FOR CSAM MIXERS. *ACADEMIC JOURNAL OF MANUFACTURING ENGINEERING* **17**.
24. Khidir, T.C. Designing, Remodeling and Analyzing the Blades of Portable Concrete Mixture. *IJMERR* **2018**, *674–678*, doi:10.18178/ijmerr.7.6.674-678.
25. Jungedal, M. Mild Impact Wear in a Concrete Mixer : An Evaluation of Wet Abrasive Wear, 2012.
26. Valigi, M.C.; Logozzo, S.; Rinchi, M. Wear Resistance of Blades in Planetary Concrete Mixers. Design of a New Improved Blade Shape and 2D Validation. *Tribology International* **2016**, *96*, 191–201, doi:10.1016/j.triboint.2015.12.020.
27. Valigi, M.C.; Logozzo, S.; Rinchi, M. Wear Resistance of Blades in Planetary Concrete Mixers. Part II: 3D Validation of a New Mixing Blade Design and Efficiency Evaluation. *Tribology International* **2016**, *103*, 37–44, doi:10.1016/j.triboint.2016.06.040.

28. Valigi, M.C.; Fabi, L.; Gasperini, I. Wear Resistance of New Blade for Planetary Concrete Mixer. In Proceedings of the Proceedings of the 5th World Tribology Congress; Torino, Italy; p. 1208.
29. Valigi, M.C.; Logozzo, S.; Gasperini, I. Study of Wear of Planetary Concrete Mixer Blades Using a 3D Optical Scanner. In Proceedings of the Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress & Exposition.; ASME, 2015.
30. Meng, D.; Lin, S.; Azari, H. Nondestructive Corrosion Evaluation of Reinforced Concrete Bridge Decks with Overlays: An Experimental Study. *Journal of Testing and Evaluation* **2020**, *48*, 516–537, doi:10.1520/JTE20180388.
31. Kuntadi, I.; Sumirat, U.; Komaro, M.; Al-Gifari, H.F. COMPARISONAL ANALYSIS MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIAL MIXER BLADE AISI 1522 CARBON STEEL AND WHITE CAST IRON DUE TO HARDENING PROCESS. *Journal of Engineering Science and Technology* **2021**, *16*.
32. Ashrafizadeh, H.; Ashrafizadeh, F. A Numerical 3D Simulation for Prediction of Wear Caused by Solid Particle Impact. *Wear* **2012**, 276–277, 75–84, doi:10.1016/j.wear.2011.12.003.
33. Arabnejad, H.; Mansouri, A.; Shirazi, S.A.; McLaury, B.S. Development of Mechanistic Erosion Equation for Solid Particles. *Wear* **2015**, 332–333, 1044–1050, doi:10.1016/j.wear.2015.01.031.
34. Mansouri, A.; Arabnejad, H.; Shirazi, S.A.; McLaury, B.S. A Combined CFD/Experimental Methodology for Erosion Prediction. *Wear* **2015**, 332–333, 1090–1097, doi:10.1016/j.wear.2014.11.025.
35. Hadavi, V.; Moreno, C.E.; Papini, M. Numerical and Experimental Analysis of Particle Fracture during Solid Particle Erosion, Part II: Effect of Incident Angle, Velocity and Abrasive Size. *Wear* **2016**, 356–357, 146–157, doi:10.1016/j.wear.2016.03.009.
36. Zhu, H.; Lin, Y.; Zeng, D.; Zhou, Y.; Xie, J.; Wu, Y. Numerical Analysis of Flow Erosion on Drill Pipe in Gas Drilling. *Engineering Failure Analysis* **2012**, *22*, 83–91, doi:10.1016/j.engfailanal.2012.01.007.
37. Zhu, X.; Liu, S.; Tong, H.; Huang, X.; Li, J. Experimental and Numerical Study of Drill Pipe Erosion Wear in Gas Drilling. *Engineering Failure Analysis* **2012**, *26*, 370–380, doi:10.1016/j.engfailanal.2012.06.005.
38. Hassan, S.; Khan, S.A.; Naveed, R.; Saleem, M.Q.; Mufti, N.A.; Farooq, M.U. Investigation on Tool Wear Mechanisms and Machining Tribology of Hardened DC53 Steel through Modified CBN Tooling Geometry in Hard Turning. *Int J Adv Manuf Technol* **2023**, *127*, 547–564, doi:10.1007/s00170-023-11528-5.
39. Farooq, M.U.; Anwar, S.; Bhatti, H.A.; Kumar, M.S.; Ali, M.A.; Ammarullah, M.I. Electric Discharge Machining of Ti6Al4V ELI in Biomedical Industry: Parametric Analysis of Surface Functionalization and Tribological Characterization. *Materials* **2023**, *16*, 4458, doi:10.3390/ma16124458.
40. Zou, Z.; Wu, J.; Wang, Z. Relationship between Half-Cell Potential and Corrosion Level of Rebar in Concrete. *Corrosion Engineering, Science and Technology* **2016**, *51*, 1–8, doi:10.1080/1478422X.2016.1167304.

41. Ghods, P.; Isgor, O. b.; Pour-Ghaz, M. A Practical Method for Calculating the Corrosion Rate of Uniformly Depassivated Reinforcing Bars in Concrete. *Materials and Corrosion* **2007**, 58, 265–272, doi:10.1002/maco.200604010.
42. Valipour, M.; Shekarchi, M.; Ghods, P. Comparative Studies of Experimental and Numerical Techniques in Measurement of Corrosion Rate and Time-to-Corrosion-Initiation of Rebar in Concrete in Marine Environments. *Cement and Concrete Composites* **2014**, 48, 98–107, doi:10.1016/j.cemconcomp.2013.11.001.
43. Gulikers, J. Statistical Interpretation of Results of Potential Mapping on Reinforced Concrete Structures. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* **2010**, 14, 441–466, doi:10.1080/19648189.2010.9693236.
44. González, J.A.; Miranda, J.M.; Feliu, S. Considerations on Reproducibility of Potential and Corrosion Rate Measurements in Reinforced Concrete. *Corrosion Science* **2004**, 46, 2467–2485, doi:10.1016/j.corsci.2004.02.003.
45. Otieno, M.; Ikotun, J.; Ballim, Y. Experimental Investigations on the Influence of Cover Depth and Concrete Quality on Time to Cover Cracking Due to Carbonation-Induced Corrosion of Steel in RC Structures in an Urban, Inland Environment. *Construction and Building Materials* **2019**, 198, 172–181, doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.215.
46. Chang, Z.-T.; Cherry, B.; Marosszeky, M. Polarisation Behaviour of Steel Bar Samples in Concrete in Seawater. Part 2: A Polarisation Model for Corrosion Evaluation of Steel in Concrete. *Corrosion Science* **2008**, 50, 3078–3086, doi:10.1016/j.corsci.2008.08.021.
47. Ming, J.; Shi, J. Distribution of Corrosion Products at the Steel-Concrete Interface: Influence of Mill Scale Properties, Reinforcing Steel Type and Corrosion Inducing Method. *Construction and Building Materials* **2019**, 229, 116854, doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116854.
48. Dubuc, B.; Ebrahimkhanlou, A.; Salamone, S. Corrosion Monitoring of Prestressed Concrete Structures by Using Topological Analysis of Acoustic Emission Data. *Smart Mater. Struct.* **2019**, 28, 055001, doi:10.1088/1361-665X/ab0e96.
49. Andrade, C.; Alonso, C. Test Methods for On-Site Corrosion Rate Measurement of Steel Reinforcement in Concrete by Means of the Polarization Resistance Method. *Mat. Struct.* **2004**, 37, 623–643, doi:10.1007/BF02483292.
50. Fahim, A.; Dean, A.E.; Thomas, M.D.A.; Moffatt, E.G. Corrosion Resistance of Chromium-steel and Stainless Steel Reinforcement in Concrete. *Materials & Corrosion* **2019**, 70, 328–344, doi:10.1002/maco.201709942.
51. Sanusi, M.S.; Shamsudin, S.R.; Rahmat, A.; Wardan, R. Electrochemical Corrosion Behaviours of AISI 304 Austenitic Stainless Steel in NaCl Solutions at Different pH.; Ho Chi Minh, Vietnam, 2018; p. 020116.
52. Elsener, B. Corrosion Rate of Steel in Concrete—Measurements beyond the Tafel Law. *Corrosion Science* **2005**, 47, 3019–3033, doi:10.1016/j.corsci.2005.06.021.
53. Garcia, E.; Torres, J.; Rebolledo, N.; Arrabal, R.; Sanchez, J. Corrosion of Steel Rebars in Anoxic Environments. Part I: Electrochemical Measurements. *Materials* **2021**, 14, 2491, doi:10.3390/ma14102491.

54. Soleymani, H.R.; Ismail, M.E. Comparing Corrosion Measurement Methods to Assess the Corrosion Activity of Laboratory OPC and HPC Concrete Specimens. *Cement and Concrete Research* **2004**, *34*, 2037–2044, doi:10.1016/j.cemconres.2004.03.008.
55. Pally, D.; Le Bescop, P.; Schlegel, M.L.; Miserque, F.; Chomat, L.; Neff, D.; L’Hostis, V. Corrosion Behavior of Iron Plates in Cementitious Solution at 80 °C in Anaerobic Conditions. *Corrosion Science* **2020**, *170*, 108650, doi:10.1016/j.corsci.2020.108650.
56. Cao, H.T.; Baweja, D.; Roper, H. Corrosion Characteristics of Steel in Solutions Derived from Cements and Blended Cements. *Cement and Concrete Research* **1990**, *20*, 325–334, doi:10.1016/0008-8846(90)90021-O.
57. ***Tarr Beton Satu Mare Available online: <https://www.tarrbeton.ro/beton-proaspat> (accessed on 13 April 2025).
58. Yumpu.com ***SUPRASTRUCTURA DRUMURILOR Available online: <https://www.yumpu.com/ro/document/view/9317057/3-suprastructura-drumurilor> (accessed on 13 April 2025).
59. PreturiBeton ***Preturi Beton Available online: https://www.preturibeton.ro/stiri/agregate_balastiera.html (accessed on 13 April 2025).
60. Ghid_proiectare_durabilitate20beton202017.Pdf.
61. ***Cum se face betonul: Ghidul constructorului Available online: <https://masif.ro/blog/post/ghidul-constructorului-reteta-pentru-un-beton-de-calitate> (accessed on 13 April 2025).
62. Beton, G. ***Despre beton Available online: <https://www.globalbeton.ro/despre-beton/> (accessed on 13 April 2025).
63. *** Imbr_rutiere_rigide.Pdf.
64. Niță, A. Stadiul Actual al Cercetărilor Privind Fenomenele de Uzare Și Tehnologiile de Reparaire Specifice Malaxoarelor Din Stațiile de Producere a Betoanelor, Raport de Cercetare Științifică Nr.1; 2022;
65. ***Curs Preparare Beton Available online: <https://pdfcoffee.com/curs-preparare-beton-pdf-free.html> (accessed on 13 April 2025).
66. Mihăilescu, Șt.; Goran, V.; Bratu, P. Mașini de Construcții; Ed. Tehnică: București, 1986;
67. ***Malaxor Cu Dublu Ax Orizontal Model MAO, Manual de Utilizare Și Întreținere 2021.
68. ***MALAXOR DUBLU AX. Statii Beton.
69. ***Sape de Malaxare, Blindaje, Piese de Schimb Pentru Statii de Beton Si Asphalt Available online: <https://construct.extolcom.ro/> (accessed on 13 April 2025).
70. Malaxoare de Beton - Statii de Betoane | Cantare Auto | Reciclatoare de Beton | Pro Soft Industry Available online: https://www.prosoft-industry.ro/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=83&Itemid=511 (accessed on 13 April 2025).
71. Ansys Rocky | Particle Dynamics Simulation Software.

72. Burlacu, A.; Petrescu, M.G.; Dumitru, T.; Niță, A.; Tănase, M.; Laudacescu, E.; Ramadan, I.; Ilincă, C. Numerical Approach Regarding the Effect of the Flight Shape on the Performance of Rotary Dryers from Asphalt Plants. *Processes* **2022**, *10*, 2339, doi:10.3390/pr10112339.
73. Antonescu, N.N.; Ulmanu, V. *Fabricarea, Repararea Și Întreținerea Utilajului Chimic Și Petrochimic*; Ed. Didactică și pedagogică: București, 1981;
74. Zheng, B.; Xing, J.; Li, W.; Tu, X.; Jian, Y. Effect of Chromium-Induced (Fe, Cr)₃C Toughness Improvement on the Two-Body Abrasive Wear Behaviors of White Cast Iron. *Wear* **2020**, 456–457, 203363, doi:10.1016/j.wear.2020.203363.
75. Tudor, I. *Materiale Speciale Și Coroziune*, Institutul de Petrol Și Gaze; Centrul de multiplicare: Ploiești, 1991;
76. Acuna-Gonzalez, N.; A., J.; R., L.; Rivas-Menchi, A. Early Corrosion Fatigue Damage on Stainless Steels Exposed to Tropical Seawater: A Contribution from Sensitive Electrochemical Techniques. In *Applied Fracture Mechanics*; Belov, A., Ed.; InTech, 2012 ISBN 978-953-51-0897-9.
77. Herea-Buzatu, C. *Uzarea Organelor de Săpare Ale Mașinilor de Construcții*; Ed. Proxima: București, 2008; ISBN 978-973-7636-55-3.
78. Rîpă, M.; Deleanu, L. *Deteriorări În Tribosisteme*; Ed. Zigotto: Galați, 2008;
79. Home Available online: <https://libertysteelgroup.com/ro/> (accessed on 15 April 2025).
80. ***Home - Sidenor Available online: <https://www.sidenor.com/en/> (accessed on 15 April 2025).
81. Niță, A. Contribuții La Studiul Fenomenelor de Uzare Specifice Malaxoarelor Din Stațiile de Producere a Betoanelor, Raport de Cercetare Științifică Nr.2 La Teza de Doctorat; Ploiești, 2023;
82. Niță, A.; Laudacescu, E.; Petrescu, M.G.; Dumitru, T.; Burlacu, A.; Bădoiu, D.G.; Tănase, M. Experimental Research Regarding the Effect of Mineral Aggregates on the Wear of Mixing Blades of Concrete Mixers. *Materials* **2023**, *16*, 5047, doi:10.3390/ma16145047.
83. Valdes, M.J.; Ardila Marín, J.G.; Rodriguez-Cabal, M.A.; Betancur, J.D. TRIBOMETRY: How Is Friction Research Quantified? A Review. *International Journal of Engineering Research and Technology* **2020**, *13*, 2596, doi:10.37624/IJERT/13.10.2020.2596-2610.
84. Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface Texture: Profile — Part 2: Terms, Definitions and Surface Texture Parameters; ISO 21920-2:2021; **2021**.
85. SIST EN 1469:2005 - Natural Stone Products - Slabs for Cladding - Requirements Available online: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7a7c24d-e39e-4e35-8cdf-641b84b6a463/sist-en-1469-2005> (accessed on 15 April 2025).
86. DIN EN 12057:2005 - Natural Stone Products - Modular Tiles - Requirements (FOREIGN STANDARD) Available online: <https://webstore.ansi.org/standards/DIN/dinen120572005> (accessed on 15 April 2025).
87. UNI EN 12058 : 2005 NATURAL STONE PRODUCTS - SLABS FOR FLOORS AND STA Available online: <https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/> (accessed on 15 April 2025).
88. Niță, A.; Petrescu, M.G.; Dumitru, T.; Burlacu, A.; Tănase, M.; Laudacescu, E.; Ramadan, I. Correlating the Wear Resistance of Mixer Blade Materials with Chemical Composition under

- Accelerated Conditions: An Experimental Study on Cement Concrete Mixer Component Durability. In Proceedings of the International Virtual Conference on Materials Science and Engineering; June 16 2023.
89. Petrescu, M.G.; Niță, A.; Laudacescu, E.; Tănase, M.; Portoacă, A.I. Stand Pentru Studiul Fenomenelor de Uzare a Paletelor Malaxoare Utilizate La Amestecarea Materialelor Pulverulente de Diferite Dimensiuni Și Configurații, Brevet de Inventie,RO-BOPI 4/2025 Din 30.04.2025.
 90. Lai, H.-H.; Hsieh, C.-C.; Lin, C.-M.; Wu, W. Characteristics of Eutectic $\alpha(\text{Cr,Fe})-(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$ in the Eutectic Fe-Cr-C Hardfacing Alloy. *Metall Mater Trans A* **2017**, 48, 493–500, doi:10.1007/s11661-016-3828-5.
 91. ***Hot Hardness of (Fe, Cr)₃C and (Fe, Cr)₇C₃ Carbides Available online: <https://colab.ws/articles/10.1007%2Fb00550808> (accessed on 17 April 2025).
 92. Muțiu, T.A. Studiul Metalelor; Ed. IP Informația: ICPAIUC București, 1985;
 93. Niță, A.; Laudacescu, E.; Ramadan, I.N.; Petrescu, M.G. An Example for Determining the Physical Parameters Used in DEM Modelling for the Interaction Process between Aggregates and Working Equipment. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **2022**, 1262, 012028, doi:10.1088/1757-899X/1262/1/012028.
 94. Niță, A. Contribuții La Creșterea Rezistenței La Uzură a Malaxoarelor Din Stațiile de Producere a Betonului, Raport de Cercetare Științifică Nr.3 La Teza de Doctorat; Ploiești, 2023;
 95. Petrescu, M.G.; Popovici, A.-I.; Niță, A.; Isbășoiu, D.; Dumitru, T.; Tănase, M. Modelling Wear Phenomena Specific to Mixer Blades in Concrete Production Plants. *Applied Sciences* **2024**, 14, 3988, doi:10.3390/app14103988.
 96. Parsi, M.; Najmi, K.; Najafifard, F.; Hassani, S.; McLaury, B.S.; Shirazi, S.A. A Comprehensive Review of Solid Particle Erosion Modeling for Oil and Gas Wells and Pipelines Applications. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* **2014**, 21, 850–873, doi:10.1016/j.jngse.2014.10.001.
 97. Tudor, A.; Vlase, M. Uzarea Materialelor (Materials Wear); Editura Bren: Bucharest, Romania, 2010;
 98. Meng, H.C.; Ludema, K.C. Wear Models and Predictive Equations: Their Form and Content. *Wear* **1995**, 181–183, 443–457, doi:10.1016/0043-1648(95)90158-2.
 99. Vlase, M.; Tudor, A. Pumping and Transport of Concrete Through Pipes; Editura Bren: Bucharest, Romania, 2009;
 100. Flat Products Made of Steels for Pressure Purposes—Part 2: Non-Alloy and Alloy Steels with Specified Elevated Temperature Properties.; EN10028-2:2003; Brussels, Belgium, **2003**.
 101. Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower Temperature Service.; ASMESA-516; New York, NY, USA, **2017**.
 102. ***Sicoma Concrete Mixer - HAMAC Available online: <https://www.hamacchina.com/news/industry/686.html> (accessed on 19 April 2025).
 103. Cimpoeșu, R.; Roman, A.-M. COROZIUNEA SUPRAFETELOR - Aplicații -. **2023**.

104. Mansfeld, F. Simultaneous Determination of Instantaneous Corrosion Rates and Tafel Slopes from Polarization Resistance Measurements. *J. Electrochem. Soc.* **1973**, 120, 515, doi:10.1149/1.2403489.
105. Dudu, C.; Drumeanu, A.C.; Ripeanu, R.G.; Dinita, A. Some Considerations Regarding the Influence of Working Conditions on the Corrosion Wear of the Injection Water Treatment Plant Equipment. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **2020**, 724, 012033, doi:10.1088/1757-899X/724/1/012033.
106. Ripeanu, R.G.; Ispas, V.; D, I. Austenitic Stainless Steel Type AISI 316L Corrosive Behaviour in Hair Shampoo Medium. *Journal of the Balkan Tribological Association* **2012**, 18, 36–43.
107. Handbook of Cathodic Corrosion Protection; 1997; ISBN 978-0-88415-056-5.
108. Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements.; ASTM G5-94;
109. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens; ASTM G1-90;
110. Burlacu, A.; Gabriel Petrescu, M.; George Rîpeanu, R.; Dumitru, T.; Victor Laudacescu, E.; Naim Ramadana, I.; Niță, A. Experimental Investigations on Wear Phenomena Specific to Rotary Dryer Flights (Blades). *Tribol. Ind.* **2024**, 46, 56–65, doi:10.24874/ti.1549.08.23.10.
111. Petrescu, M.G.; Ripeanu, R.G.; Laudacescu, E.; Tanase, M.; Niță, A.; Burlacu, A. Characterization of Materials Used in the Concrete Industry, from the Point of View of Corrosion Behavior. *Coatings* **2024**, 14, 800, doi:10.3390/coatings14070800.
112. Ahlström, J. Corrosion of Steel in Concrete at Various Moisture and Chloride Levels. Licentiate Thesis, Division of Building Materials, LTH, Lund University, 2014.