



# **Mentenanța utilajelor dinamice vol. I**

Pitești  
2011

***Colectiv de redacție:***

*ing. Micu Augustin*  
*ing. Popescu Carmen*  
*ing. Măcău Dragoș*

***Tehnoredactor:***

*ing. Popescu Carmen*

---

*ISBN 978-973-0-10241-3*

---

***Editor: Mobil Industrial AG***

*Str. Eroilor, Nr. 61*  
*110419 Pitești – ROMANIA*  
*Tel: +40 248 216851, +40 248 210795*  
*+40 248 217092, +40 723 671669*  
*Fax: +40 248 210705*  
*E-mail: [mobind@mobilindustrial.ro](mailto:mobind@mobilindustrial.ro)*  
*[www.mobilindustrial.ro](http://www.mobilindustrial.ro)*

*Între bine și excelent eforturile sunt foarte mici, dar rezultatele diferă spectaculos...*



# CUPRINS

<b>1. FIABILITATE ȘI PROFITABILITATE PE TERMEN LUNG.....</b>	<b>19</b>
<b>2. MENTENANȚA UTILAJELOR DINAMICE .....</b>	<b>21</b>
2.1 Menținerea utilajelor dinamice. Introducere .....	21
2.2 Definiții.....	23
2.3 Fiabilitatea globală a instalațiilor.....	24
2.4 Menținerea .....	26
2.4.1 Întreținerea bazată pe fiabilitate.....	27
2.4.2 Avantajele menținerei bazată pe fiabilitate .....	31
2.4.3 Costurile menținerei .....	32
2.5 Metode de menținere .....	32
2.5.1 Menținerea bazată pe funcționare până la cădere.....	34
2.5.2 Menținerea preventivă.....	35
2.5.3 Menținerea predictivă.....	36
2.5.4 Menținerea proactivă.....	41
2.6 Costul direct de menținere.....	44
2.7 Analiza cauzelor defectelor.....	44
2.8 De ce eșuează încercările de creștere a fiabilității?.....	47
<b>3. NOȚIUNI GENERALE DESPRE VIBRAȚII.....</b>	<b>50</b>
3.1 Fizica vibrației.....	50
3.2 Caracteristicile vibrației .....	54
3.3 Alte caracteristici .....	59
3.4 Unități de măsură .....	60
3.5 Traductoare pentru măsurarea vibrațiilor.....	62
3.5.1 Introducere.....	62
3.5.2 Accelerometre.....	63
3.5.3 Traductoare de viteză.....	67
3.5.4 Traductoarele de deplasare fără contact.....	70
3.5.5 Traductoare de deplasare cu contact.....	72
3.5.6 Criterii de selecție pentru traductoare .....	72
3.5.7 Montarea accelerometrelor și traductoarelor de viteză.....	74
3.5.7.1 Principii generale.....	74
3.5.7.2 Montarea cu știft filetat .....	78

3.5.7.3	Montarea prin fixare cu adeziv .....	79
3.5.7.4	Montarea cu bază magnetică.....	79
3.5.7.5	Conectare rapidă .....	79
3.5.7.6	Montarea cu tijă de probă .....	79
3.5.8	Montarea proximitoarelor .....	80
3.6	Aparatură pentru măsurarea vibrațiilor .....	81
3.6.1	Clasificare .....	81
3.6.2	Compararea aparatelor .....	81
3.7	Descrierea performanțelor principalelor tipuri de aparate pentru măsurarea vibrațiilor .....	86
3.7.1	Vibrometre .....	87
3.7.2	Analizoare cu filtru de baleiere .....	88
3.7.3	Colectoare de date .....	89
3.7.4	Analizoare de spectru real .....	90
3.7.5	Analizoare multicanal digitale .....	91
3.8	Alegerea corectă a analizoarelor de vibrații .....	91
3.8.1	Introducere .....	91
3.8.2	Procesarea semnalului.....	92
3.8.3	Categorii de analizoare.....	101
3.8.4	Principale caracteristici tehnice ale analizoarelor .....	105
3.8.5	Concluzie .....	109
<b>4.</b>	<b>ANALIZA VIBRAȚIILOR.....</b>	<b>110</b>
4.1	Obiective .....	110
4.2	Informații utilizate .....	110
4.3	Prelucrarea semnalelor .....	111
4.3.1	Analiza Transformatei Fourier Rapide.....	111
4.3.1.1	Transformata Fourier .....	111
4.3.1.2	Convertoare Analog/ Digitale .....	115
4.3.1.3	Fereastra.....	115
4.3.1.4	Linii de rezoluție, $F_{max}$ , lățime de bandă .....	118
4.3.1.5	Medierea .....	120
4.3.1.6	Suprapunerea .....	121
4.3.1.7	Afișare/ memorare .....	123
4.3.2	Analiza formei de undă în timp.....	124
4.3.2.1	Unități de măsură .....	128
4.3.2.2	Perioada de eșantionare.....	129
4.3.2.3	Rezoluția .....	129
4.3.2.4	Medierea .....	129

4.3.2.5	Ferestre .....	130
4.3.2.6	Interpretarea formei de undă.....	130
4.3.2.7	Concluzie.....	138
4.3.3	Analiza fazei .....	139
4.3.4	Procesarea semnalelor speciale.....	141
4.3.4.1	Medierea sincronă în timp .....	141
4.3.4.2	Orbite.....	145
4.3.4.3	Analiza formelor de deflecție operațională.....	151
4.3.4.4	Anvelopa și demodularea semnalului.....	159
4.3.4.5	Analiza Cepstrum .....	165
4.3.4.6	Analiza octavei a treia .....	166
4.3.4.7	Concluzii.....	167
<b>5.</b>	<b>CREAREA BAZEI DE DATE .....</b>	<b>168</b>
5.1	Colectarea datelor specifice utilajelor și a parametrilor de proces .....	168
5.1.1	Fișa utilajului .....	169
5.1.2	Fișa de proces a utilajului .....	171
5.2	Configurarea bazei de date.....	172
5.2.1	Setarea parametrilor de analiză.....	172
5.2.2	Configurarea filtrelor .....	173
5.2.2.1	Lățimea de bandă.....	173
5.2.2.2	Tipul de analiză .....	174
5.2.2.3	Frecvența limită și rezoluția .....	175
5.2.2.4	Benzi înguste .....	177
5.2.2.5	Filtre antialiasing .....	179
5.2.3	Medierea .....	179
5.2.3.1	Numărul de medieri .....	179
5.2.3.2	Medierea datelor cu suprapunere.....	180
5.2.4	Alegerea ferestrei: Ponderea semnalului .....	181
5.2.5	Limite de alertă/ alarmă .....	182
5.2.5.1	Efectul turației asupra severității vibrației .....	183
5.2.5.2	Efectul sarcinii asupra severității vibrației .....	184
5.2.6	Colectarea datelor în rută.....	188
<b>6.</b>	<b>ACHIZIȚIA DATELOR .....</b>	<b>189</b>
6.1	Tructoare .....	189
6.2	Direcții de măsurare .....	190
6.3	Puncte de măsurare .....	190

<b>7. APRECIEREA SEVERITĂȚII VIBRAȚIILOR.....</b>	<b>210</b>
7.1 Elemente introductive.....	210
7.2 Criterii de apreciere a severității vibrațiilor.....	211
7.2.1 Magnitudinea vibrațiilor.....	211
7.2.1.1 Mărimi măsurate.....	211
7.2.1.2 Zone de evaluare.....	212
7.2.1.3 Limitele zonelor de evaluare.....	214
7.2.2 Schimbarea în magnitudine a vibrațiilor.....	218
7.3 Limite de funcționare.....	219
7.4 Măsurări adiționale.....	220
7.4.1 Măsurători de energie în regim tranzitoriu.....	221
7.4.2 Măsurători de stare de funcționare a rulmentului.....	222
<b>8. DIAGNOSTICAREA DEFECTELOR CU AJUTORUL</b>	
<b>ANALIZEI DE VIBRAȚII .....</b>	<b>223</b>
8.1 Dezechilibru.....	223
8.1.1 Dezechilibrul static.....	223
8.1.2 Dezechilibrul de cuplu.....	224
8.1.3 Dezechilibrul rotoarelor rezemate în consolă.....	225
8.2 Rotor excentric.....	225
8.3 Arbore îndoit.....	227
8.4 Dezaliniere.....	228
8.4.1 Dezalinierea unghiulară.....	228
8.4.2 Dezalinierea paralelă.....	229
8.4.3 Dezaliniere sau arbore îndoit.....	231
8.4.4 Lagăre dezalinate față de arbore.....	231
8.4.5 Dezalinierea și alte sarcini radiale.....	232
8.5 Jocuri mecanice.....	234
8.5.1 Jocuri de asamblare.....	234
8.5.2 Jocuri între talpa utilajului și fundație.....	235
8.5.3 Jocuri structurale.....	235
8.6 Rezonanța.....	236
8.7 Uzarea rotorului.....	247
8.7.1 Reprezentarea orbitală a frecărilor rotorice.....	248
8.8 Lagăre de alunecare.....	248
8.8.1 Jocuri mari în lagărele de alunecare.....	248
8.8.2 Turbioane de ulei.....	249
8.8.3 Ruperea filmului de lubrifiant.....	251
8.8.4 Turbioane „uscate”.....	252



8.9	Lagăre de rostogolire .....	252
8.10	Angrenaje .....	257
8.10.1	Uzarea danturii.....	258
8.10.2	Suprasolicitarea danturii prin încărcare excesivă .....	259
8.10.3	Angrenaj excentric.....	259
8.10.4	Dezalinierea angrenajelor .....	260
8.10.5	Dantură fisurată sau spartă.....	260
8.11	Curele de transmisie.....	261
8.11.1	Curele uzate, slăbite sau dezaliniate .....	261
8.11.2	Curele/ roți de antrenare (fulii) dezaliniate .....	262
8.11.3	Roți de antrenare excentrice .....	263
8.11.4	Rezonanța curelelor de transmisie .....	263
8.12	Probleme electrice.....	264
8.12.1	Defecte de rotor .....	264
8.12.2	Rotor excentric.....	266
8.12.3	Defecte de stator .....	267
8.12.4	Defecte de fază (conexiune electrică slăbită).....	268
8.12.5	Motoare sincrone (înfășurări statorice improprii).....	268
8.12.6	Defectele motoarelor de curent continuu .....	269
8.13	Curgerea turbulentă.....	269
8.13.1	Vibrații datorate paletelor .....	269
8.13.2	Turbulențe de curgere .....	270
8.13.3	Cavitația .....	271
8.14	Fisurarea arborilor și rotoarelor .....	272
8.15	Determinarea cauzelor posibile care generează vibrații peste limitele impuse .....	275
8.16	Determinarea defectelor apărute .....	276
<b>9.</b>	<b>CELE MAI FRECVENTE DEFECTE .....</b>	<b>287</b>
9.1	Introducere .....	287
9.2	Dezechilibrul.....	287
9.2.1	Cauze și efecte ale dezechilibrului.....	288
9.2.2	Dezechilibru - vibrații.....	291
9.2.2.1	Tipuri de dezechilibre.....	291
9.2.2.2	Forța produsă de dezechilibru.....	294
9.2.2.3	Determinarea forțelor din lagăre.....	295
9.2.2.4	Echilibrarea forțelor în cazul dezechilibrului static.....	296
9.2.3	Gradul de calitate al echilibrării.....	298

9.2.3.1	Utilizarea standardului ISO 1940 -1 .....	300
9.2.3.2	Determinarea dezechilibrului rezidual admisibil ....	301
9.2.4	Distribuirea lui $U_{adm}$ pe planele de corecție.....	301
9.2.4.1	Fișa tehnică de echilibrare .....	305
9.2.4.2	Buletinul de echilibrare.....	305
9.2.5	Detectarea dezechilibrului.....	305
9.2.6	Tipuri de rotoare.....	307
9.2.7	Echilibrarea mecanică a rotoarelor flexibile .....	311
9.2.7.1	Noțiuni fundamentale privind dinamica rotoarelor flexibile .....	311
9.2.7.1.1	Mișcarea unui rotor flexibil.....	311
9.2.7.1.2	Distribuția dezechilibrului.....	312
9.2.7.1.3	Modurile de vibrație ale rotoarelor flexibile .....	312
9.2.7.1.4	Comportarea unui rotor flexibil la dezechilibru ...	314
9.2.7.1.5	Obiectivele echilibrării rotoarelor flexibile .....	315
9.2.7.1.6	Prevederi referitoare la planele de corecție .....	315
9.2.7.1.7	Rotoare asamblate .....	316
9.2.7.2	Clasificarea rotoarelor flexibile .....	317
9.2.7.3	Factori care influențează clasificarea Clasei 2 de rotoare .....	318
9.2.7.3.1	Generalități .....	318
9.2.7.3.2	Distribuția de masă a unui rotor .....	318
9.2.7.3.3	Rotoare construite din subansamble.....	319
9.2.7.3.4	Turația de lucru a rotoarelor.....	320
9.2.7.3.5	Dezechilibrul inițial.....	320
9.2.7.4	Proceduri de echilibrare .....	324
9.2.7.4.1	Generalități .....	324
9.2.7.4.2	Proceduri de echilibrare pentru rotoarele din Clasa 2.....	324
9.2.7.4.3	Echilibrarea la joasă turație în trei plane de corecție a rotoarelor din clasa 2d.....	327
9.2.7.4.4	Originea dezechilibrului inițial maxim admis .....	330
9.2.7.4.5	Proceduri de echilibrare pentru rotoarele din clasa 3.....	335
9.2.7.4.6	Proceduri de echilibrare pentru rotoarele din clasa 4.....	341
9.2.7.4.7	Proceduri de echilibrare pentru rotoarele din clasa 5.....	342

9.2.7.4.8	Metodă de calcul a dezechilibrului .....	345
9.2.7.5	Evaluarea stării finale de echilibru .....	345
9.2.7.5.1	Generalități.....	345
9.2.7.5.2	Evaluarea stării de echilibru.....	346
9.2.7.5.3	Rotoare a căror stare de echilibru se evaluează pe mașini de joasă turație .....	346
9.2.7.5.4	Rotoare a căror stare finală de echilibru se evaluează pe baza măsurătorilor de vibrații, pe mașini de echilibrat de înaltă turație sau pe sisteme cu aceleași facilități .....	347
9.2.7.5.5	Rotoare a căror stare de echilibru se evaluează pe standuri de probă.....	350
9.2.7.5.6	Rotoare a căror stare de echilibru se evaluează la turații înalte, astfel încât dezechilibrul creat să poată fi corectat în planele de echilibrare specificate inițial .....	350
9.2.7.5.7	Rotoare a căror stare de echilibrare se evaluează în teren .....	351
9.2.8	Metoda de echilibrare prin trei puncte .....	352
9.2.9	Mașini de echilibrat .....	357
9.2.9.1	Clasificare mașinilor de echilibrat centrifugale .....	359
9.3	Dezalinierea .....	360
9.3.1	Definiție. Principalii factori care pot influența alinierea utilajelor .....	360
9.3.2	Cauze și efecte ale dezalinierii.....	361
9.3.3	Implicațiile dezalinierii asupra duratei de funcționare a utilajelor .....	362
9.3.4	Măsuri pregătitoare pentru o aliniere corectă .....	363
9.3.5	Dezaliniere - vibrații .....	365
9.3.6	Piciorul moale.....	368
9.3.6.1	Efectele piciorului moale.....	368
9.3.6.2	Tipuri de picior moale .....	370
9.3.6.3	Cauze ce conduc la apariția piciorului moale .....	371
9.3.6.4	Detectarea piciorului moale.....	373
9.3.7	Metode de aliniere .....	376
9.3.8	Alinierea prin metoda radial-axială .....	378
9.3.8.1	Măsurarea săgeții la comparatoare .....	379
9.3.8.2	Determinarea dezalinierii în plan vertical.....	381

9.3.8.3	Determinarea dezalinierei în plan orizontal.....	385
9.3.8.4	Verificarea toleranțelor de aliniere .....	390
9.3.8.5	Alinierea la cald (cu abateri termice).....	391
9.3.8.5.1	Introducere .....	391
9.3.8.5.2	Calculul dilatării termice .....	392
9.3.8.5.3	Etapele ce trebuie parcurse pentru realizarea alinierei la cald (cu abateri termice).....	393
9.3.8.5.4	Concluzie.....	396
9.3.9	Condiții tehnice pentru o aliniere corectă .....	398
9.3.10	Evaluarea energiei consumate în cazul unui utilaj dezaliniat .....	400
9.3.11	Reducerea pierderilor de putere printr-o aliniere corectă..	407
9.3.11.1	Introducere .....	407
9.3.11.2	Pierderile de putere, datorate dezalinierei .....	407
9.3.11.3	Forțele datorate dezalinierei .....	410
<b>10. TRIBOLOGIE .....</b>	<b>412</b>	
10.1	Introducere.....	412
10.2	Noțiuni și concepte de bază în tribologie .....	412
10.2.1	Solicitări mecanice .....	412
10.2.2	Clasificarea și caracterizarea cuplelor de frecare .....	413
10.2.3	Tribosisteme .....	418
10.2.3.1	Structura unui sistem tribologic .....	418
10.2.3.1.1	Elementele structurii unui tribosistem .....	418
10.2.3.1.2	Funcția unui tribosistem.....	420
10.2.3.1.3	Solicitările tribosistemului .....	420
10.2.3.1.4	Proprietăți tribologice ale elementelor structurale .....	420
10.2.3.1.5	Interacțiuni între elementele structurale.....	421
10.2.4	Metode pentru încercări tribologice .....	422
10.2.4.1	Obiectivele încercărilor de uzare .....	422
10.2.4.2	Tehnici de încercare .....	423
10.2.4.3	Clasificarea metodelor de încercare .....	423
10.2.4.4	Lanțul de încercări tribologice .....	424
10.3	Uzarea și influența ei asupra duratei de funcționare a mașinilor, utilajelor și instalațiilor .....	425
10.4	Tipuri de uzare.....	427
10.5	Etapele fenomenului de uzare .....	432
10.6	Controlul uzării.....	432

10.7 Metode de ameliorare a fenomenului de uzare .....	433
10.8 Noțiuni fundamentale despre lubrifianți .....	434
10.8.1 Lubrifianții folosiți la ungerea sistemelor tehnice .....	434
10.8.2 Condiții pe care trebuie să le îndeplinească lubrifianții....	435
10.8.3 Alegerea lubrifianților.....	435
10.8.4 Tipuri de lubrifianți.....	436
10.8.5 Avantaje și dezavantaje ale diferitelor categorii de lubrifianți .....	437
10.8.6 Aditivi .....	438
10.8.7 Funcționarea bazată pe mentenanță și pe analiza lubrifiantului .....	443
10.8.8 Stabilirea unui program de analiză a lubrifiantului.....	446
10.8.8.1 Auditul echipamentelor .....	446
10.8.8.2 Auditul referitor la lubrifiant .....	448
10.8.8.3 Monitorizarea .....	450
10.8.9 Analiza lubrifiantului – metode de eșantionare .....	452
10.8.9.1 Alegerea locației pentru colectarea probelor .....	452
10.8.9.2 Cele mai bune dispozitive de eșantionare.....	454
10.8.9.3 Identificarea portului de eșantionare .....	459
10.8.9.4 Minimizarea contaminării mostrelor .....	461
10.8.9.5 Concluzii privind eșantionarea lubrifiantului .....	462
10.8.10 Analiza de ulei – proprietățile lubrifianților .....	463
10.8.10.1 Aspect, culoare, miros .....	464
10.8.10.2 Neutralitatea .....	464
10.8.10.3 Gravitația specifică.....	465
10.8.10.4 Densitatea .....	465
10.8.10.5 Vâscozitatea cinematică .....	466
10.8.10.6 Indicele de vâscozitate DD (Dean Davies).....	467
10.8.10.7 Compresibilitatea.....	468
10.8.10.8 Stabilitatea .....	468
10.8.10.9 Punctul de inflamabilitate.....	468
10.8.10.10 Punctul de picurare .....	469
10.8.10.11 Testul de coroziune cu lamela de cupru .....	469
10.8.10.12 Spumarea .....	469
10.8.10.13 Puritatea.....	469
10.8.10.14 Indicele de saponificare (Indicele KOETTSTORFER) .....	469
10.8.10.15 Caracteristici anticoroziune .....	470

10.8.10.16	Caracteristici de emulsionare și dezemulsionare ....	470
10.8.10.17	Indicele de emulsionabilitate .....	470
10.8.10.18	Teste de oxidare .....	471
10.8.10.19	Viteza sau intensitatea de uzare (conform standardului ASTM D-2282) .....	471
10.8.10.20	Indicele de evacuare a aerului .....	471
10.8.10.21	Compatibilitatea lubrifiantului cu etanșările mecanice .....	471
10.8.10.22	Testul de extremă presiune FZG-Niemon.....	472
10.8.10.23	Valoarea pH-ului.....	472
10.8.10.24	Conținutul de apă.....	472
10.8.10.25	Rezistența la foc a uleiurilor hidraulice .....	473
10.8.10.26	Cenușa sulfată .....	473
10.8.10.27	Proprietăți electroizolante .....	473
10.8.10.28	Rezistivitatea uleiului.....	474
10.8.10.29	Factorul de disipare dielectrică .....	474
10.8.10.30	Tensiuni superficiale.....	474
10.8.10.31	Extremă presiune .....	474
10.8.10.32	Solubilitate (pentan și hexan).....	475
10.8.10.33	Indicele TBN (Total Base Number).....	475
10.8.10.34	Raportul TAN–TBN .....	475
10.8.11	Uleiuri minerale pentru utilajele dinamice.....	476
10.8.12	Unsori consistente .....	478
10.8.13	Coordonarea lucrărilor de ungere a sistemelor tehnice ....	480
10.8.13.1	Aspecte generale .....	480
10.8.13.2	Organizarea rațională a activității de ungere.....	481
10.8.13.3	Sisteme de ungere .....	482
10.8.13.3.1	Sisteme de ungere semiautomate .....	483
10.8.13.3.2	Sisteme de ungere automate.....	486
10.8.13.4	Metode de ungere.....	488
10.8.13.5	Verificarea executării lucrărilor de ungere .....	492
10.8.14	Ungerea organelor de mașini și a mecanismelor.....	493
10.8.14.1	Ungerea lagărelor cu alunecare.....	493
10.8.14.2	Ungerea lagărelor cu rostogolire.....	493
10.8.14.3	Ungerea compresoarelor .....	494
10.8.14.4	Ungerea angrenajelor .....	494
10.8.14.5	Ungerea transmisiilor cu lanț .....	494
10.8.14.6	Ungerea cablurilor .....	495

---

10.8.14.7	Ungerea curelelor .....	495
10.8.14.8	Ungerea ghidajelor .....	496
10.8.14.9	Ungerea mașinilor de ridicat și transformat .....	496
10.8.14.10	Ungerea mașinilor unelte.....	496
10.8.14.11	Ungerea motoarelor .....	497
10.8.15	Diagnosticarea defecțiunilor organelor de mașini și mecanismelor datorate lubrifierii incorecte .....	499
10.8.16	Analiza uleiului.....	500
10.8.16.1	Contaminarea din surse externe.....	502
10.8.16.2	Diferiți contaminanți externi .....	504
10.8.17	Tehnici de analiză a incluziunilor .....	507
10.8.18	Analiza spectrometrică .....	508
10.8.18.1	Analiza în infraroșu .....	509
10.8.18.2	Analiza în infraroșu cu Transformată Fourier .....	510
10.8.18.3	Contorizarea particulelor .....	511
10.8.18.4	Ferografia .....	511
10.8.18.5	Ferografia automată.....	513
10.8.18.6	Spectroscopia XRF.....	514
10.8.19	Limite de alarmă pentru diferite utilaje .....	516
10.8.20	Concluzii.....	518
<b>11.</b>	<b>Bibliografie.....</b>	<b>519</b>