



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREȘTI
Facultatea INGINERIA ȘI MANAGEMENTUL SISTEMELOR TEHNOLOGICE

Nr. Decizie Senat 93/19.05.2017

TEZĂ DE DOCTORAT
Rezumat

Modele de Analiză și Prevenție în Mentenanța Proactivă
Models of Analysis and Prevention in Proactive Maintenance

Autor: drd. ing. Elisabeta TURCU

Conducător de doctorat: Prof. univ. Emerit Dr. Ing. Corneliu NEAGU

COMISIA

Președinte	Prof. dr. ing. Cristian Vasile Doicin	de la	Universitatea Politehnica din București
Conducător de doctorat	Prof. univ. Emerit Dr. Ing. Corneliu NEAGU	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent	Prof. dr. ing. Cosmin DOBRIN	de la	Academia de Studii Economice, București
Referent	Prof. dr. ing. Remus ZĂGAN	de la	Universitatea Maritimă din Constanța
Referent	Prof. dr. ing. Constantin MILITARU	de la	Universitatea Politehnica din București

București,
2017

CUPRINS

	Pag. Rezumat	Pag. Teză iii
Prefață	-	-
Introducere	-	4
Capitolul 1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND MENTENABILITATEA ECHIPAMENTELOR INDUSTRIALE.....	7	6
1.1 Conceptul de produs și stadiile de existență ale produselor industriale.....	7	6
1.2. Ciclul de viață al produselor.....	9	8
1.3. Conceptul de calitate și caracteristicile de calitate ale produselor.....	11	8
1.3.1. Evoluția în timp a conceptului de calitate a produselor.....	11	8
1.3.2. Caracteristici de calitate ale produselor.....	16	9
1.4. Locul și rolul activităților de mentenanță.....	17	10
1.4.1. Importanța, locul și rolul activității de mentenanță.....	17	10
1.4.2. Definirea, evoluția și obiectivele mentenanței.....	18	11
1.5. Definirea conceptelor și al parametrilor mentenanței produselor industriale.....	21	12
1.5.1. Mentenanța considerată ca proces de reînnoire a echipamentelor industrial.....	22	12
1.5.2. Disponibilitatea echipamentelor industriale.....	25	-
1.6. Clasificarea și tipurile de mentenanță.....	28	13
1.7. Metode de analiză și evaluare a mentenanței echipamentelor industriale.....	48	18
1.8. Evaluarea tehnico-economico a mentenanței.....	60	19
1.8.1. Indicatori tehnici de evaluare a mentenanței.....	60	19
1.8.2. Indicatori economici de evaluare a mentenanței.....	61	19
1.8.3. Indicatori de timp pentru activitatea de mentenanță.....	63	19
1.9. Determinarea momentului optim de înlocuire a unui echipament.....	66	19
Capitolul 2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT.....	71	20
2.1. Principalele tendințe actuale privind mentenanța industrială.....	71	20
2.2. Delimitarea domeniului de cercetare.....	71	20
2.3. Principalele obiective ale cercetării.....	72	21

Capitolul 3	DEZVOLTĂRI ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND STUDIUL POLITICILOR ȘI STRATEGIILOR DE MENTENANȚĂ.....	73	22
3.1.	Analiza modelelor politicilor de mentenanță.....	73	22
3.2.	Strategii economice în managementul mentenanței.....	75	24
3.3.	Metode de executare a lucrărilor de mentenanță.....	85	27
3.4.	Dezvoltarea proceselor stohastice la studiul mentenanței echipamentelor industriale.....	89	29
3.5.	Contribuții privind elaborarea unor documente specifice activităților de mentenanță.....	95	30
Capitolul 4	DEZVOLTĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRACTICE. STUDIU DE CAZ.....	96	31
4.1.	Dezvoltări și contribuții practice privind stabilirea necesarului de resurse umane și resurse materiale în mentenanța preventivă-proactivă.....	96	31
4.1.1.	Stabilirea necesarului de resurse umane în activitățile de mentenanță.....	96	31
4.1.2.	Dezvoltări practice privind stabilirea resurselor materiale (piese de schimb) în mentenanța echipamentelor industriale.....	101	34
4.2.	Studiul de caz.....	104	36
4.3.	Dezvoltări și contribuții privind aplicarea unor metode și tehnici moderne în mentenanța proactivă a echipamentelor industriale.....	115	47
Capitolul 5	CONTRIBUȚII PERSONALE. DEZVOLTĂRI VIITOARE ȘI MODALITĂȚI DE VALORIFICARE AL REZULTATELOR CERCETĂRILOR.....	137	50
5.1.	Concluzii finale privind cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat.....	137	50
5.2.	Contribuții personale aduse în domeniul cercetat.....	137	50
5.3.	Dezvoltări viitoare în domeniul cercetat.....	138	51
5.4.	Modalități de valorificare a cercetărilor efectuate.....	138	52
	Anexe.....	139	-
	Bibliografie.....	140	53

INTRODUCERE

În contextul actual, al existenței tendinței de globalizare și extindere a pieței concurențiale, un rol important îl reprezintă extinderea preocupărilor de implementare a managementului calității și disponibilității produselor industriale.

În acest caz, calitatea activităților de producție este oportun a fi realizată prin existența unor echipamente de lucru, de înaltă precizie și productivitate. Activitățile de producție trebuie să se desfășoare în mod continuu, situație care necesită existența unor echipamente industriale, care să ofere o funcționare continuă a activității, iar în caz de defectare, timp de staționare cât mai mici.

Fiind o componentă importantă a procesului de producție, activitatea de mentenanță trebuie să se desfășoare la un nivel calitativ ridicat, deoarece, în caz contrar, există posibilitatea scăderii productivității în fabricație și efecte economice și financiare necorespunzătoare.

Având în vedere noile cerințe referitoare la calitatea, respectiv directivele europene privind securitatea mașinilor și echipamentelor, se consideră importantă abordarea problemelor de disponibilitate a acestora (fiabilitate și mentenabilitate) care pot rezolva multiplele aspecte apărute în producție.

În **capitolul I**, intitulat STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND MENTENABILITATEA ECHIPAMENTELOR INDUSTRIALE, pe baza materialului bibliografic studiat se efectuează o succintă trecere în revistă a cercetărilor și tendințelor actuale privind mentenabilitatea echipamentelor industriale. După o prezentare a conceptului de produs, calitate și ciclul de viață al produselor, autorul analizează locul, rolul și importanța activităților de mentenanță industrială, respectiv disponibilitatea echipamentelor. În acest sens, capitolul prezintă succint conceptele și parametrii mentenanței produselor industriale și se efectuează o analiză a tipurilor de mentenanță industrială cel mai des aplicate în industria modernă. Având în vedere consecințele mentenanței scăzute a echipamentelor industriale, un rol important îl reprezintă evaluarea tehnico-economică privită sub aspectul determinării indicatorilor specifici, respectiv, indicatori tehnici, indicatori economici și indicatori de timp. Prin evaluarea stării echipamentelor, în caz de defectare, la nivel organizațional se pot lua decizii finale referitoare la momentul optim de înlocuire a unui echipament.

Capitolul II, denumit OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT, analizează succint principalele tendințe actuale așa cum reies din cercetarea bibliografică efectuată.

După evidențierea principalelor abordări în cercetările actuale, autorul prezintă aspectele care vor fi cercetate în cadrul tezei urmând ca dintre acestea să fie tratate unele aspecte mai puțin abordate, dar care pot deveni importante și reprezentative în domeniul tezei de doctorat.

În **capitolul III**, intitulat DEZVOLTĂRI ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND STUDIUL METODELOR DE ANALIZĂ A MENTENANȚEI SISTEMELOR, se efectuează o analiză teoretică referitoare la aspecte privind modelele politicilor de mentenanță, la aspectele economice în condițiile implementării managementului mentenanței în organizații respectiv la elaborarea programelor de analiză și optimizare a mentenanței. Acest capitol cuprinde o analiză comparativă a trei modele de politici de mentenanță bazate pe metode ale cercetării operaționale, respectiv al teoriei lanțurilor Markov. În cadrul strategiilor economice utilizate în managementul mentenanței sunt analizate criteriile de evaluare a costurilor având la bază timpul, aria de extindere, proveniența, tipul de mentenanță și destinație. De asemenea, este analizat modul economic de determinare a metodei optime de mentenanță, având la bază compararea costurilor medii pe unitatea de timp. Totodată, este prezentată schema de cercetare în vederea optimizării

metodei de mentenanță care are în vedere securitatea persoanelor și a echipamentelor. Deoarece, există o multitudine de metode de realizare a mentenanței în subcapitolul 3.3 sunt analizate succint principiile acestora în vederea aplicării practice în activitățile organizaționale. Totodată, autoarea dezvoltă procesele stohastice la studiul mentenanței echipamentelor industriale în două situații, respectiv procese independente și procese cu lanțul Markov. O contribuție importantă a autoarei constă în elaborarea unor documente specifice activităților de mentenanță care pot constitui modele și pentru alte organizații.

Capitolul IV, intitulat DEZVOLTĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRACTICE. STUDIU DE CAZ, cuprinde analize și dezvoltări referitoare la stabilirea necesarului de resurse umane în activitatea de mentenanță în care se utilizează metode ale cercetării operaționale – teoria lanțurilor Markov, respectiv dezvoltări practice privind stabilirea resurselor materiale în activitatea de mentenanță. Se remarcă în cazul acestui capitol, studiul de caz efectuat cu contribuția autoarei, privind elaborarea unui model econometric al dinamicii numărului orelor de zbor, pentru un avion Cessna 172S din dotarea Școlii Superioare de Aviație Civile. În urma studiului practic efectuat, s-a demonstrat fiabilitatea modelului din care a rezultat că menținerea la un nivel optim al cheltuielilor cu întreținerea avionului conduce la creșterea numărului orelor de zbor.

Un interes deosebit, îl reprezintă analiza, dezvoltările și contribuțiile, referitoare la aplicarea unor metode și tehnici moderne utilizate în mentenanța proactivă a echipamentelor industriale. În acest caz, se remarcă modul de abordare a mentenanței proactive a echipamentelor industriale în funcție de condițiile apariției factorilor perturbatori și a cauzelor care conduc la defectarea acestora.

În **capitolul V**, intitulat CONTRIBUȚII PERSONALE. DEZVOLTĂRI VIITOARE ȘI MODALITĂȚI DE VALORIFICARE AL REZULTATELOR CERCETĂRILOR, sintetizează concluziile rezultate pe baza cercetărilor desfășurate și a dezvoltărilor aduse de autoare pe parcursul lucrării și pune în evidență unele direcții și abordări viitoare în domeniul studiat.

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND MENTENABILITATEA PRODUSELOR INDUSTRIALE

1.1. Conceptul de produs și stadiile de existență ale produselor industriale

În perioada de funcționare normală, produsele industriale sunt exploatate și utilizate conform unor prevederi legale în care produsul își valorifică caracteristicile în etapele de existență a acestora.

Se remarcă faptul că pentru atingerea obiectivului final al fabricației, respectiv **produsul**, se poate considera o corelație de tipul CERERE - PRODUS – CALITATE – EVOLUȚIE. Așa cum este prezentat în standardul SR EN ISO 9000:2015 **produsul** este **rezultatul unui proces**, care se realizează în cadrul unui sistem de fabricație în care există o corelație între activități.

Conform standardului menționat, **procesul** este „ansamblul de activități corelate sau în interacțiune care utilizează elemente de intrare pentru a livra un rezultat intenționat”.

Etapele de existență ale produselor industriale cuprind următoarele aspecte: concepția, proiectarea-fabricația, exploatarea și service-ul, așa cum este ilustrat în fig. 1.1

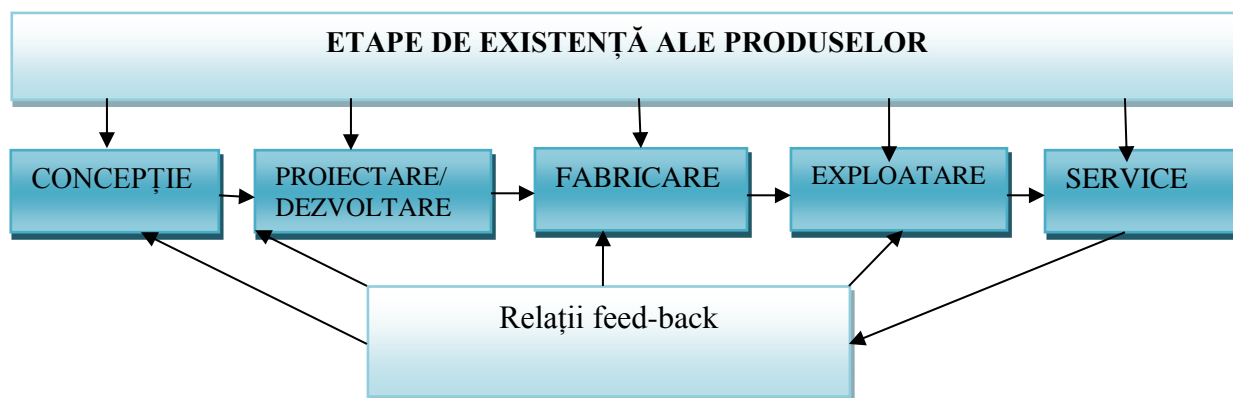


Fig. 1.1 Etapele de existență ale produselor

Se apreciază că realizarea calității se face în procesul de fabricație și se exprimă în procesul de exploatare la client, în care corelația între calitate și ciclul de fabricație este de forma prezentată în fig. 1.2

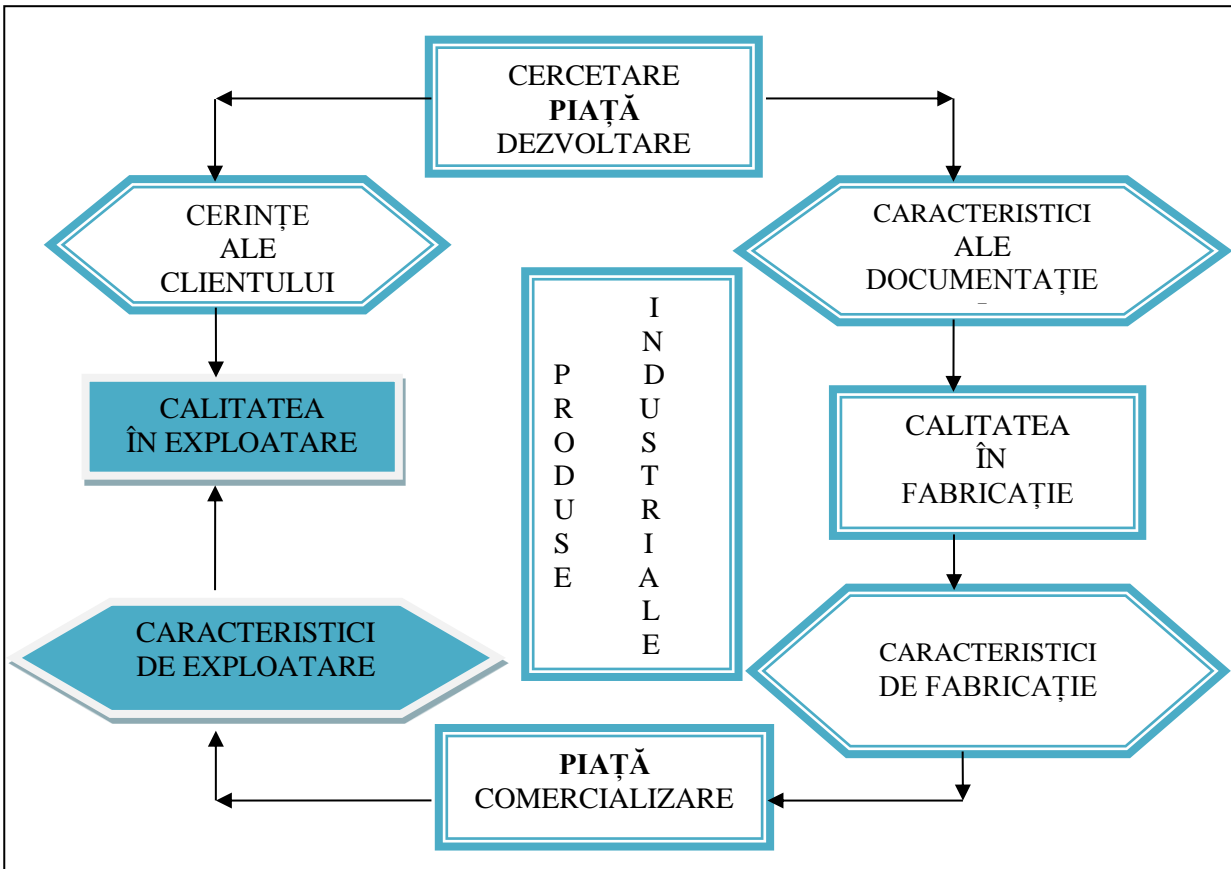


Fig. 1.2. Corelația dintre calitatea produselor industriale și ciclul de fabricație

Aceste activități impun existența unei anumite organizări a firmelor în scopul determinării relațiilor menționate, în conformitate cu spirala calității propusă de J.M. Juran, menționată în lucrările [42, 46] care cuprinde următoarele:

- cercetarea;
- concepția, proiectarea;
- întocmirea specificații;
- proiectarea tehnologică;
- aprovizionarea cu materiale, semifabricate, subproduse;
- asigurarea echipamentelor tehnologice necesare;
- fabricație;
- control proces de producție, inspecții, încercări, probe de funcționalitate, conformitate, etc.;
- vânzare produse;
- **EXPLOATARE;**
- **ACTIVITĂȚI SERVICE (MENTENANȚĂ).**

În cadrul acestor etape se remarcă, locul important al ultimelor două activități prin care produsul își manifestă adevăratele valențe la client, respectiv importanța abordărilor acestor etape în cadrul ciclului de viață al produselor.

1.2. Ciclul de viață al produselor (CVP)

În standardul SR ISO/TS 14048:2005 **ciclul de viață** este definit ca: etape consecutive și intercorelate ale unui sistem – produs, de la achiziția materiilor prime sau exploatarea resurselor naturale până la eliminarea finală.

Din punct de vedere al **producătorului**, ciclul de viață al unui produs se poate aborda sub două aspecte: unul care se referă la producția propriu-zisă, iar celălalt care se referă la activitatea de marketing.

Din punct de vedere al cumpărătorului, ciclul de viață al unui produs începe odată cu achiziția acestuia și se încheie în momentul în care produsul este eliminat (distruș, aruncat etc.) la sfârșitul duratei sale de viață utilă sau datorită „uzurii morale” induse de apariția unor noi tehnologii generatoare de produse similare, dar mai performante și cu o durată de serviciu medie mai mare.

Astfel, pentru client, **ciclul de viață al unui produs** cunoaște trei mari etape:

- achiziția produsului (direct de la furnizor sau din rețelele comerciale);
- **exploatarea/utilizarea** acestuia și executarea unor operații de **întreținere/mentenanță** (dacă este cazul);
- eliminarea și/înlocuirea produsului atunci când aceasta se impune sau când beneficiarul dorește acest lucru din diverse cauze.

De asemenea, **din punct de vedere al fiabilității**, se consideră că ciclul de viață al unui produs cuprinde cinci etape:

- concepția produsului;
- proiectare și dezvoltare;
- fabricație și instalare (dacă este cazul);
- **exploatare și mentenanță;**
- conversie sau îmbunătățire.

1.3. Conceptul de calitate și caracteristicile de calitate ale produselor

1.3.1 Evoluția în timp a conceptului de calitate a produselor

În condițiile intensificării continue a competiției specifică economiei de piață concurențială, **calitatea** a devenit cel mai important factor al competitivității.

Preocuparea pentru calitate a evoluat spectaculos în ultimii 50 de ani, de la verificarea calității la conducerea și stăpânirea ei, așa cum este ilustrat în fig. 1.6.

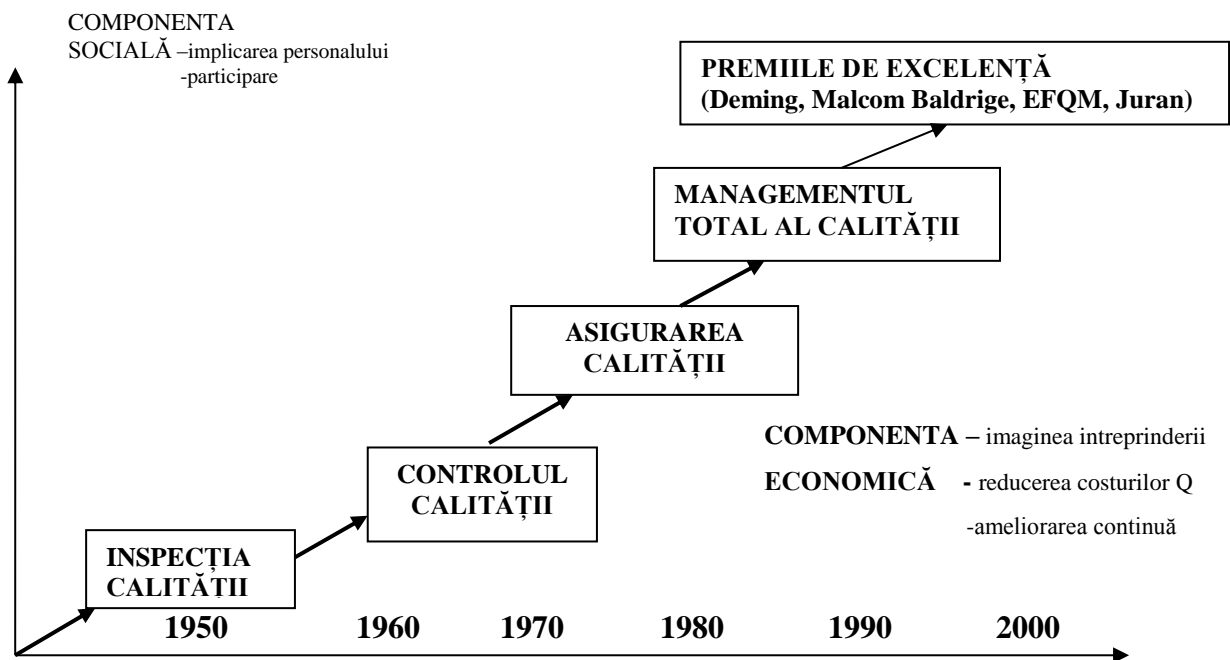


Fig. 1.6 – Evoluția conceptului de calitate

Conform standardului SR EN ISO 9000:2015, *calitatea este definită ca: „Măsura în care un ansamblu de caracteristici intrinseci ale unui obiect îndeplinește cerințele”* (pct.3.6.2 din standard).

1.3.2. Caracteristici de calitate ale produselor

Conform standardului SR EN ISO 9000:2015, **cerința** reprezintă: nevoie sau așteptare care este declarată, în general implicită sau obligatorie (pct. 3.6.4.)

Conceptul de calitate, având un caracter complex, necesită luarea în considerare a unui număr mare de proprietăți sau însușiri. Pentru aprecierea cantitativă a calității se impune, în primul rând, identificarea tuturor caracteristicilor unui produs. Conform SR EN ISO 9000:2015 **caracteristica** reprezintă o trăsătură distinctivă a unui produs (pct. 3.10.1), iar **caracteristica referitoare la calitate**, reprezintă caracteristică inerentă a unui obiect referitoare la o cerință. Astfel, aceste caracteristici conduc la formarea de grupe tipologice în funcție de diferite criterii, așa cum este redat în figura 1.10, [49].

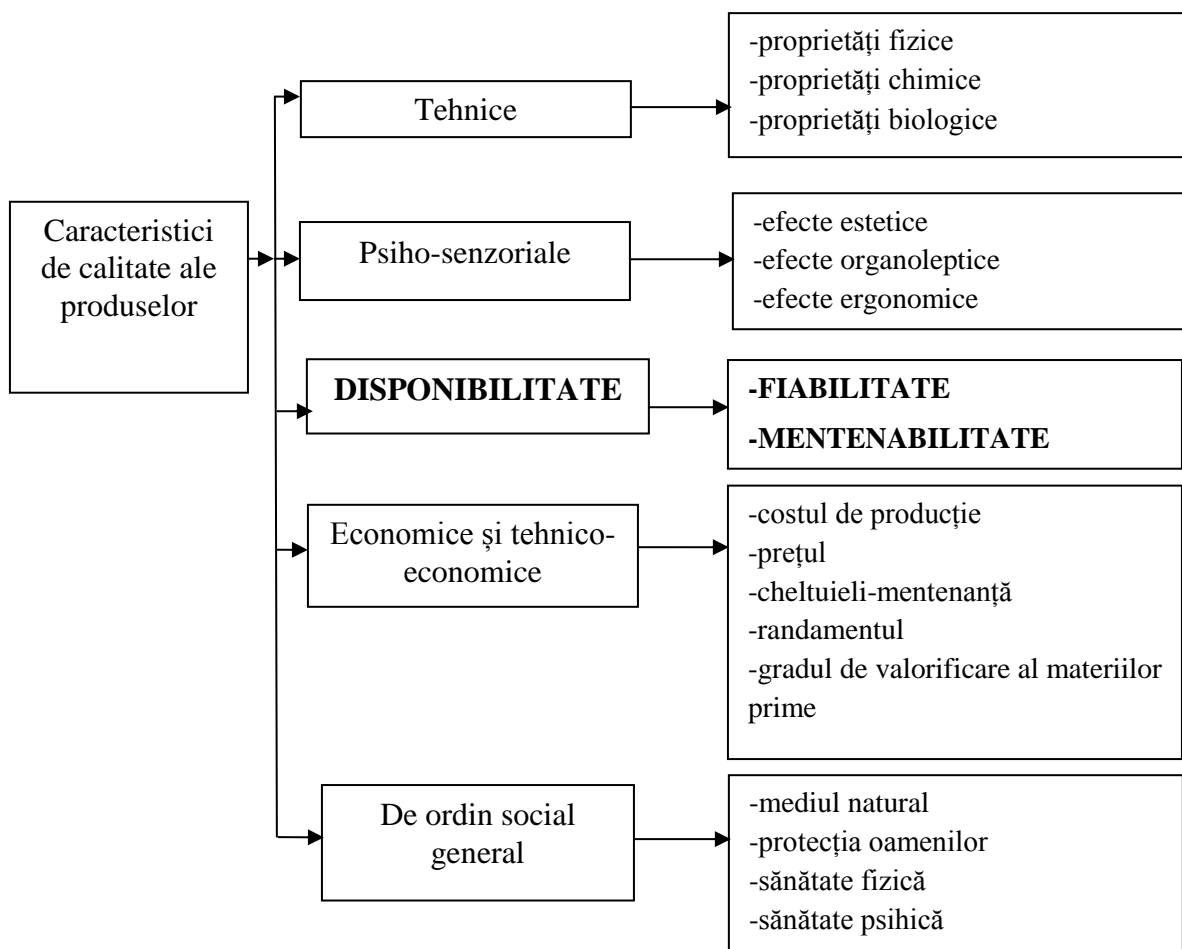


Fig. 1.10 – Caracteristici de calitate

Indiferent de gruparea utilizată se poate spune că aceste caracteristici sau însușiri conferă produsului calitatea.

1.4. Locul și rolul activităților de mentenanță în cadrul ciclului de viață al produselor

1.4.1. Importanța, locul și rolul activității de mentenanță industrială

În condițiile existenței conjuncturii economice actuale majoritatea societăților comerciale se află în condiții de concurență care presupune impunerea unor condiții specifice după cum urmează:

- pe plan **investițional** este necesar a nu se comite erori de ordin cantitativ sau calitativ, iar pentru aceasta este necesară o nouă gândire tehnologică cu referire la îmbunătățirea tehnologiilor prin modernizarea și automatizarea echipamentelor. În aceste condiții se impun criteriile economice prin care investițiile efectuate să fie cât mai eficiente.

- din punct de vedere **organizatoric** se impun măsuri de îmbunătățire a activității resurselor umane, în special la instruirea angajaților, respectiv perfecționarea tuturor specialiștilor în scopul formării microcolective de lucru pe diferite trepte ierarhice.

- din punct de vedere **economic**, respectiv al cheltuielilor de producție se impune o restructurare a planificării costurilor în vederea reducerii și îmbunătățirii permanente a costurilor

referitoare la întreținerea și mentenanța echipamentelor din dotare, în condițiile creșterii performanțelor angajaților cu activități directe în realizarea calității.

În aceste condiții **crește rolul și importanța activităților de mentenanță** a echipamentelor industriale, aceasta determinată de următorii **factori**:

- perfecționarea prin **modernizare constructivă și funcțională**, cu scopul creșterii valorii echipamentelor;
- creșterea complexității prin îmbunătățirea **gradului de automatizare** a acestora;
- existența unor **pierderi de natură economică și financiară** ca urmare a avarierii sau staționării echipamentelor tehnologice în vederea reparațiilor;
- creșterea continuă a **cheltuielilor de mentenanță**, în consecințe economice și financiare ale produselor fabricate;
- se remarcă că odată cu **creșterea activităților de mentenanță** are loc și mărirea gradului de implicare a personalului specializat în activitățile specifice.

1.4.2. Definirea, evoluția și obiectivele mentenanței

De-a lungul timpului, termenul de mentenanță s-a confundat cu termenul de întreținere și reparații, de aceea este necesară explicarea acestor concepte după cum urmează:

- a **întreține** înseamnă asigurarea continuității funcționării în condiții corespunzătoare, iar a **repara** un echipament înseamnă readucerea acestuia în stare de funcționare;

Conform standardului SR EN ISO 9000:2015 (pct. 3.12.9) **repararea** este definită ca „acțiune asupra unui produs sau serviciu neconform pentru a-l face acceptabil pentru utilizare intenționată”.

„O reparare de succes a unui produs sau serviciu neconform, nu face neapărat produsul sau serviciu conform cu cerințele. Se poate ca împreună cu o reparare să fie cerută și o derogare după fabricație (NOTA 1 standard)”.

„Repararea include acțiuni de remediere întreprinse asupra unui produs sau serviciu, anterior conform, pentru a-l repune în uz, de exemplu ca parte a mentenanței (NOTA 2 standard)”.

În urma activităților de reparație există situații în care anumite părți ale produsului pot fi afectate, dar funcționarea produsului să nu fie afectată.

- **„mentenanța”** implică alegerea mijloacelor de prevenire, de corectare sau de renovare având ca scop monitorizarea uzurii echipamentului în vederea reducerii costurilor, situație în care se poate considera că mentenanța înseamnă „supravegherea” utilajului. Justificarea din punct de vedere tehnic și economic ia în seamă următoarele aspecte:

- mașinile și echipamentele de producție încep să prezinte un grad tot mai ridicat de automatizare, fiind caracterizate prin compactizarea subsansamblurilor și creșterea complexității componentelor, fapt ce conduce la o creștere a complexității echipamentelor și a personalului specializat pentru aceste activități;

- echipamentele prezintă durate de amortizare reduse și costuri de achiziție tot mai mari;

- apariția opririlor datorate funcționării echipamentelor conduce la creșterea costurilor de producție și a timpilor aferenți reparațiilor, cu implicații în creșterea prețului produselor.

Din cele menționate se poate considera că **întreținerea** reprezintă o „acțiune de menținerea a unui echipamente în bună stare de funcționare, iar **mentenanța** reprezintă „ansamblul a tot ceea ce permite menținerea sau restabilirea unui sistem sau a unei părți a acestuia în stare de funcționare”.

1.5. Definirea conceptelor și al parametrilor mentenanței produselor industriale

În vederea definirii conceptelor și parametrilor de mentenanță, este oportună definirea conceptului de **mentenabilitate** care reprezintă capacitatea unui echipament de a-și menține starea tehnică sau de a reveni în condiții de utilizare date la starea tehnică care să poată permite îndeplinirea cerințelor specificate în documentația tehnică.

1.5.1. Mentenanța considerată ca proces de reînnoire a echipamentelor industriale

Din punct de vedere calitativ, **mentenabilitatea** reprezintă aptitudinea unui produs ca, în condiții de utilizare să fie menținut sau restabilit, în funcțiune în starea de a-și îndeplini funcția specificată într-un timp cât mai scurt, folosind procedee și tehnici prescrise. Se apreciază că mentenabilitatea este caracterizată prin:

- **timpii de reparații**, revizii și de staționarea pentru efectuarea acțiunilor de mentenanță;
- **mărimea resurselor** și nivelul de competență al personalului lucrător în cadrul acțiunilor;
- **calitatea și volumul pieselor de schimb** aflate în stocul de siguranță;
- **calitatea procedurilor operaționale** necesare activității de mentenanță
- **managementul activității** de mentenanță etc.

În cadrul activității de mentenanță care este considerat ca un proces de restabilire a unui echipament după o stare de defectare, acesta poate fi considerat ca un proces de reînnoire definit printr-o funcție $\varphi(t)$ ca fiind numărul mediu de reînnoiri pe unitatea de timp [26]:

$$\delta(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}, \quad (1.1.)$$

Având în vedere definiția mentenabilității ca legătură între aspectul probabilisticii și cel funcțional, aceasta se exprimă astfel:

$$M(t_r) = Prob(t_r \leq T_r), \quad (1.5)$$

unde:

t_r reprezintă timpul de restabilire (de reparare sau repunere în funcțiune),

T_r – limita maximă impusă duratei de restabilire,

$M(t_r)$ – funcția de mentenabilitate.

Corespunzător timpului mediu de funcționare fără defectiuni MTBF, în cazul mentenabilității se determină *media timpilor de reparație* MTR. În cazul unei previziuni (la proiectare), fie : n – numărul de componente de același tip; λ – rata de defectare a acestora; $n_i \lambda_i$ – numărul mediu orar de defecte pentru grupul de elemente n_i ale echipamentului; t'_i - timpul mediu apreciat pentru înlăturarea defectării unei componente din grupul n_i . Atunci, valoarea previzională a MTR este:

$$MTR = \frac{n_1 \lambda_1 t'_1 + n_2 \lambda_2 t'_2 + \dots + n_k \lambda_k t'_k}{n_1 \lambda_1 + n_2 \lambda_2 + \dots + n_k \lambda_k} = \frac{\sum_{i=1}^k (n \lambda t')_i}{\sum_{i=1}^k (n \lambda)_i}, \quad (1.10)$$

Dacă se consideră distribuția exponențială a timpilor de funcționare și a timpilor de restabilire, pentru evaluare se utilizează indicatorul denumit *coeficient de disponibilitate*:

$$K_D = \frac{MTBF}{MTBF+MTR} = \frac{\mu}{\lambda+\mu}, \quad (1.14)$$

Din punct de vedere al aspectului economic, cu cât un echipament are o fiabilitate mai ridicată, pentru condiții tehnologice date, costul său de investiție C_I este mai ridicat; costurile de mentenanță C_M sunt însă mai mici, având în vedere că defecțiunile sunt rare și de intensitate redusă. Invers, un echipament puțin fiabil și mai ieftin implică costuri de mentenanță mai ridicate, rezultând astfel diagrama din 1.15, unde curba rezultată $C_D = C_I + C_M$ reprezintă costul deținerii echipamentului în stare de disponibilitate. Folosirea acestui grafic se face după obiectivele urmărite și cerințele impuse unui anumit echipament. În mod obișnuit, se adoptă soluția $C_D = \text{minimum}$, la care corespunde fiabilitatea R_m . [2]

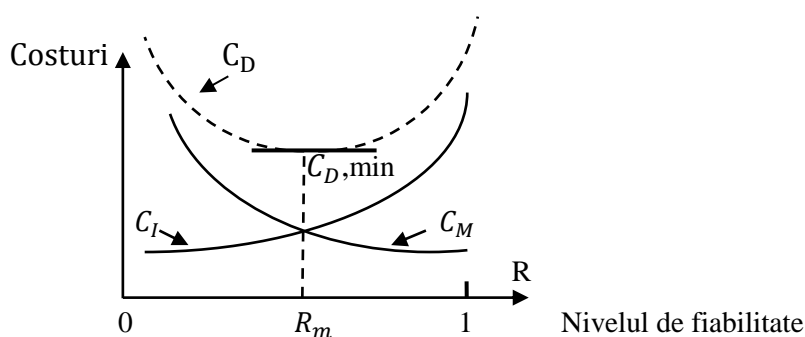


Fig. 1.15 Diagrama costurilor fiabilității și mentenabilității

1.6. Clasificarea și tipurile de mentenanță

Ca urmare, a evoluției și diversității tipurilor de mentenanță, prezentate pe larg în lucrări ca [3,13,24,34,37,54,74,91] este oportună prezentarea succintă a tipurilor de mentenanță scopul definirii obiectivelor fiind impuse de cercetarea complexă din cadrul tezei de doctorat.

A. Tipuri de mentenanță

În funcție de modul de abordare al mentenanței echipamentelor există mai multe tipuri de clasificări ale tipurilor de mentenanță, după cum urmează[15,20,43]:

- **Mentenanța corectivă (CORMENT)**, prin care se analizează căderile apărute în mod accidental în timpul funcționării echipamentelor. Are la bază intervenția asupra echipamentului defectat accidental în timpul funcționării.

- **Mentenanța preventivă (PREMENT)**, care se efectuează după o anumită planificare efectuându-se intervenții preventive asupra echipamentelor, indiferent de starea în care se află, prin care se intervine asupra echipamentelor, efectuându-se acele operații de reparații necesare pentru readucerea acestora de funcționare normală.

Mentenanța total productivă (TPM), reprezintă un concept modern de mentenanță de nivel mondial care are la bază prin asociere alte două concepte: TQM – Managementul Total al Calității (Total Quality Management) și JIT – Sistemul de planificare al producției (Just in Time).

Mentenanța total productivă (TPM), a fost promovată de Seiichi Nakajima din 1971, are ca principale obiective următoarele [6,19,23,25,30,83,91]:

- întreținerea echipamentelor care să asigure un nivel ridicat al calității produselor;

- desfășurarea activităților de mentenanță în condiții de mentenanță și cu respectarea aspectelor ecologice;
- îmbunătățirea competențelor lucrătorilor din activitatea de mentenanță în vederea creșterii duratei de exploatare a echipamentelor;
- implementarea unor cerințe ale sistemului de sănătate în muncă și a managementului calității în scopul creșterii eficienței activităților de mentenanță etc.

- **Mentenanța integratoare**

Acest tip de mentenanță ia în considerare cele două componente unanim acceptate, mentenanța preventivă și corectivă, pentru menținerea echipamentului în stare de funcționare, în scopul creșterii timpului de bună funcționare și a timpului maxim admis în utilizare. Îndeplinirea obiectivelor acestui tip de mentenanță conduce la creșterea disponibilității prin reducerea timpilor de imobilizare prin reparații, reducerea avariilor și accidentelor cauzate de defectarea pieselor; asigurarea securității muncii în timpul mentenanței și protecția mediului acestor operațiuni de mentenanță în condițiile nedepășirii emisiilor poluante admise.

- **Mentenanța proactivă** întreprinsă înainte producerii unei avarii, cu scopul de a preveni orice stare de avarie (revizuire programului de reparații, asigurarea stocului de piese de schimb și în funcție de monitorizarea parametrilor de funcționare).

- **Mentenanța bazată pe fiabilitate (Reability Centred Mentenance, R.C.M.)** reprezintă ansamblu de acțiuni și măsuri realizate cu scopul de a stabili programul și conținutul lucrărilor de mentenanță preventive ce trebuie executate pentru a menține și eventual restabili, atunci când este necesar, starea tehnică a echipamentelor, utilizând analize ale modurilor de defectare, analize de siguranță, analize funcționale, analize de criticitate etc.[53,69,81].

A.1.Mentenanța corectivă

Din punct de vedere al aplicării practice al mentenanței corective se consideră că există **avantaje** ale acesteia din punct de vedere al următoarelor aspecte:

- intervenția asupra utilajelor nu este programată;
- nu impune monitorizarea funcționării echipamentului;
- întreținerea echipamentului este efectuată la costuri reduse;
- utilizarea echipamentului este de nivel ridicat;
- necesarul de piese de schimb este destul de redus.

MENTENANȚA CORECTIVĂ („corrective maintenance”) este „mentenanța efectuată după detectarea unei defecțiuni și este destinată punerii unui produs în starea lui permanent de a îndeplini funcția cerută”. O altă definiție afirmă că mentenanța corectivă reprezintă „ansamblul de activități realizate după defectarea unui mijloc de producție sau după degradarea funcției sale în mod neprevăzut.” (de exemplu, Managementul Mentenanței care este componentă din Sistemul Informatic Integrat SIVCO Applications 2020).

În sectorul industrial, mentenanța corectivă, cuprinde reparații de mică, medie sau mare complexitate efectuate după defectarea unui sistem tehnic sau după degradarea funcției sale în mod accidental (neprevăzut) ca urmare a uzurii normale și are ca scop localizarea și diagnosticarea defectului, repunerea în stare de funcționare a sistemului sau ansamblului deteriorat, cu sau fără modificări și controlul bunei funcționări. Este mai ineficientă operațional și presupune costuri ridicate.

Sistemul de mentenanță corectivă se descompune în două subcategorii specifice:

- **Mentenanța curativă**, cu semnificația „*activități de mentenanță corectivă, care au ca obiectiv repunerea unui mijloc de producție într-o stare specific de funcționare, care îi permite îndeplinirea funcțiilor sale*”. Aceste activități pot fi reparații, modificări sau îmbunătățiri care au ca scop suprimarea defecțiunilor.

- **Mentenanța paliativă**, cu semnificația „*activități de mentenanță corectivă destinate a permite unui mijloc de producție, în mod provizoriu, îndeplinirea integral sau parțială a funcțiilor sale*”.

Mentenanța corectivă poate fi denumită și „*mentenanța amânată*” sau „*mentenanța întârziată*” („*deferred maintenance*”) care începe imediat după detectarea unei defecțiuni apărute. După locul unde se desfășoară această mentenanță poate fi „*locală*” („*in-site maintenance*”) adică în locul unde este utilizat produsul sau „*în afara locului de funcționare*” („*off-site maintenance*”) a produsului, ce de exemplu în centre de mentenanță sau în anumite cazuri la fabricant.

Deși această structură a componentelor este ca unanimitate acceptată, se poate totuși să vorbim și de o altă variantă care să cuprindă pe lângă cele două componente majore și o a treia numită **MENTENANȚA INTEGRATOARE**.

Sistemul de mentenanță integratoare cuprinde „*activități de mentenanță preventive și corectivă care se desfășoară pentru a menține un sistem tehnic în stare de funcționare în scopul creșterii timpului mediu de bună funcționare și a timpului maxim admis în utilizare în comparație cu celelalte două sisteme de mentenanță preventivă și corectivă*”.

Automentenanța

Automentenanța se aplică de multă vreme în industrie și este drept cunoscută mai ales sub sintagmele de autoîntreținere, întrețineri zilnice, inspecții curente, etc., dar sub aspectul mentenanței productive totale, ea reprezintă un concept inovator, un pilon de bază al acesteia.

Conform mentenanței productive totale, automentenanța reprezintă obișnuirea operatorilor, de a păstra în bune condiții echipamentele, mașinile, instalațiile și utilajele din dotare, a măsurării corecte a parametrilor de funcționare, ceea ce presupune transferarea anumitor sarcini de mentenanță către operatori.

În cazul defecțiunilor, utilizatorul trebuie să stabilească diagnosticul și cauza care a generat problema și să intervină cu sculele și instrumentele specifice ale respectivului sistem tehnic în măsura în care este abilitat să remedieze respectiva defecțiune.

Mentenanța după necesitate

Acest tip de mentenanță apare în condițiile utilizării intensive a echipamentelor industriale, respectiv a lipsei unei normative de consum sau de lucru specific, situație care impune adoptarea ad-hoc a unor măsuri de mentenanță specifice aceluși moment, la care are loc defectarea.

A.2. Mentenanța preventivă (profilactică)

Reprezintă ansamblu de activități care se desfășoară la interval de timp prestabilit în scopul prevenirii căderilor funcționale ale unor elemente componente sau micșorarea probabilității de apariția unor defecțiuni în timp.

Un rol important în cadrul activităților de mentenanță preventive îl constituie **calificarea și competențele personalului** care să fie responsabil și să cunoască politica de mentenanță la nivel de organizație. În acest sens, se impune desfășurarea unor activități, orientate spre:

- **conștientizarea** faptului că, inspecțiile și mentenanța preventivă, au o importanță deosebită în cadrul programului general de mentenanță;

- **cunoașterea politicii calității** la nivel de organizație pentru atingerea obiectivelor referitoare la mentenanță;

- **creșterea competenței și a responsabilizării lucrătorilor** cu activități în programul de mentenanță preventivă – creșterea rolului instruirilor efectuate de către departamentul resurse umane, în scopul asigurării de personal calificat pentru efectuarea activităților de mentenanță preventive;

A.3. Mentenanța total productivă

Mentananta total productivă TPM (Total Productive Maintenance), apărută în Japonia în anii 1950 și abordată în anii 1980 de multe companii europene dezvoltate, propune o **viziune nouă, modernă** pentru mentenanța industrială.

A.4. Mentenanța proactivă

Mentananta proactivă este o metodă bazată pe analiza combinată a:

- trasabilitatea datelor referitoare la comportarea în funcționarea echipamentelor care să includă defectele apărute și cauzele apariției acestora;
- măsurări specifice mentenanței predictive (vibrații, zgomote etc.);
- obținerea informațiilor specifice mentenanței preventiv-planificate, care impun utilizarea obligatorie a produselor software performante, pentru gestionarea bazelor mari de date.

Acest tip de mentenanță poate conduce la maximizarea disponibilității echipamentelor de producție (fiabilitate și mentenanță) în condițiile minimizării costurilor globale de mentenanță.

De menționat că aplicarea cu maximă eficiență a acestui tip de mentenanță poate să fie desfășurată dacă defectele și cauzele apariției acestora sunt analizate imediat.

Stadiul actual al mentenanței proactive

Tipul acesta de mentenanță se efectuează înainte producerii unei defectări și are ca scop prevenirea oricărei stări de avarie (defectare).

Prevenția avariilor poate fi asigurată prin elaboarea competentă a programului de mentenanță, monitorizarea parametrilor de funcționare a echipamentelor, asigurarea stocului de piese de schimb, a resurselor umane operative etc.

În domeniu, mentenanța proactivă este considerată modernă și de perspectivă și cuprinde activități referitoare la: verificarea periodică a funcționării echipamentelor, înlocuirea elementelor aflate la finalizarea perioadei de funcționare, inspecții regulate de verificare a stării componentelor echipamentelor, completarea periodică a materialelor consumabile.

Având în vedere diversitatea tipurilor de repere din componența echipamentelor industriale, în prezent se utilizează metode și mijloace de măsurare și monitorizare destinate diagnozei diferitelor sisteme, ca de exemplu:

- **inspectarea termografică** utilizată pentru situații cu potențial de defectare, cum ar fi:
 - o lagărele cu rulmenți;
 - o reductoare aflate în situație de lubrefiere suficientă;
 - o excentricități apărute la arbori cu viteză de rotație mare;
 - o apariția fisurilor în materialele pieselor;
 - o scăderea nivelului lichidelor în rezervoarele închise (de tip cisternă);
 - o înfundarea circuitelor cu răcire forțată, etc.
- **inspecția vizuală** această tehnică este utilizată frecvent în monitorizarea funcționării echipamentelor. Acest tip de inspecție se face relativ ușor, nu necesită echipamente speciale, dar este necesară o bună cunoaștere și capacitate a operatorului uman.

- **inspectarea cu camera video** prezintă avantaje deoarece există posibilitatea detectării elementelor false din perspectiva mentenanței (becuri, reflexii ale unor părți lustruite ale componentelor metalice etc.) În această situație este oportună utilizarea altor tipuri de teste.
- **senzori și indicatori** pentru monitorizarea stării de funcționare. Se utilizează pentru determinarea nivelului global al vitezelor de vibrație prin care se asigură unele informații privind degradarea prin uzare a rulmenților, creșterea temperaturii lagărelor etc.
- **analizoare acustice** utilizate pentru determinarea gradului de uzare al rulmenților prin care se oferă informații privind starea lagărelor cu rulmenți și a elementelor în mișcare de rotație ale utilajelor industriale.
- **echipamente staționare**, instrumentar imobilizat (din componența eventualelor rețele SCADA, ori fiind localizat în/lângă echipament/utilaj/mașină): senzori/traductoare, instrumente de măsură, panouri de control, dispecerate, rețele de telecomunicații (voce, date, VPN – Virtual Private Network – rețea privată virtuală) etc.;
- **echipamente portabile** din categoria: dispozitive de verificare, mijloace de măsurare, dispozitive de telecomunicații, dispozitive de localizare, camera video/foto/termoimagistice, calculatoare portabile etc.

A.5. Mentenanța bazată pe fiabilitate (Reliability-Centered Maintenance)

Acest model de mentenanță (RCM) este asemănător mentenanței proactive cu observația că în acest caz se utilizează bazele matematice ale teoriei fiabilității sistemelor.

Având un bogat fundament matematic acesta este considerat un model modern al mentenanței. Deoarece se bazează pe un suport informațional eficient.

Statisticile existente pe plan mondial arată că prin informatizarea mentenanței se obțin beneficii importante precum:

- reducerea bugetelor globale de mentenanță cu circa 35%;
- reducerea căderilor accidentale cu peste 50%;
- reducerea numărului de avarii cu peste 75%;
- reducerea cheltuielilor de aprovizionare pentru mentenanță cu peste 35%;
- reducerea imobilizărilor în stocuri, reducerea cheltuielilor globale de gestiune a stocurilor cu peste 30%.

Din categoria *sistemelor complexe*, care cunosc o largă răspandire în țările vest-europene și care au o utilizare limitată și în România, se află **Sistemul de Management al Mentenanței**, dezvoltat de compania de software SIVCO România.

Din cercetările bibliografice efectuate [3,11,17,19,45,49,61,63] se evidențiază faptul că principala cauză a defectărilor echipamentelor tehnice mecanice este datorată proceselor de uzare.

Ca urmare, a uzării elementelor componente echipamentelor în timpul funcționării apar defectări, situație în care se prezintă importanță analizării fenomenului de uzare pentru care este oportună clasificarea formelor, criteriile factorilor și metodelor de măsurare.

Principalele tipuri de uzare sunt:

a. Uzare fizică **statică** – se datorează din acțiunea agenților atmosferici externi sau modificările interne, care au loc pe durata de existență a echipamentului și poate determina limita extremă de viață. În această perioadă echipamentul se poate afla în depozitare sau pe viitor loc de funcționare, fără a fi utilizat.

b. Uzare fizică **dinamică** – se manifestă în timpul funcționării echipamentului prin: modificarea stării fizice și geometrice a suprafețelor în contact, a dimensiunilor, a macrogeometriei, a poziției orientării și bătăii, modificarea microstructurii, a proprietăților fizico-mecanice. Pe timpul duratei de exploatare a echipamentului, acest tip de uzare este localizată după perioada inițială, de rodaj, când uzura este liniară în timp.

c. Uzura **morală** prin învechirea tehnologică – se apreciază pe baza scăderii eficacității armamentului prin comparație cu apariția unui nou, ce asigură performanțe mai ridicate la prețuri de utilizare comparabile.

1.7. Metode pentru analiză și evaluare a mentenanței echipamentelor industriale

Pentru analiza și evaluarea fiabilității și mentenanței produselor industriale în practica industrială se folosesc diferite metode dintre care menționăm în principal următoarele:

- A. Metoda arborilor de defectare
- B. Metoda lanțurilor Markov
- C. Metoda Monte Carlo
- D. Metoda „AMDEC”

Alte metode utilizate sunt descrise în lucrările de specialitate [4,15,19,23,26,59]

A. Metoda arborilor de defectare

Această metodă abordată în diferite lucrări de specialitate [15,26,60] are la bază conceptul că un anumit defect este efectul defectării unui sau mai multor elemente din cadrul unui sistem tehnic. În cazul acestei metode procesul de defectare se cuantifică la nivel structural considerându-se că defectarea sistemului este rezultatul unei secvențe cuantificate de stări ale unui proces de defectare.

B. Metoda lanțurilor Markov

Metoda lanțurilor Markov este utilizată în rezolvarea fiabilității și mentenabilității sistemelor mari și are la bază funcționarea sistemelor cu mai multe stări, folosind următoarele ipoteze [8,19,37]:

- a) caracteristicile sistemului pot fi exprimate în funcție de caracteristicile componentelor;
- b) defectarea unui component este independentă de starea celorlalte;
- c) restabilirea este determinată de rata restabilirii.

C. Metoda Monte Carlo

Această metodă simulează funcționarea sistemului folosind metodele statistice cu ajutorul proceselor aleatoare. Este aplicată pentru sisteme care evoluează printr-un număr mare de stări, respectiv care sunt modelate cu diferite tipuri de funcții de repartiție, descrisă în diferite lucrări [8,13,19,37], metoda presupune parcurgerea a două etape.

D. Metoda AMDEC

Această metodă denumită AMDEC (Analiza Modurilor de Defectare, a Efectelor și Criticității lor) permite analiza în mod riguros a “potențialelor defecte” (posibile greșeli tehnologice sau de proiectare) a produselor, din punct de vedere al utilizatorului sau fabricantului [4,46].

Prin analiza modurilor de defectare, a efectelor și criticității lor (AMDEC) se înțelege: evidențierea defectărilor potențiale, studierea lor în lumina probabilității de apariție și clasificarea defectelor funcție de efectul pe care îl au asupra bunei funcționări a sistemului.

Metoda AMDEC constă în analiza:

- ♦ gradul de gravitate al defectelor posibile;
- ♦ probabilitatea apariției acestuia;
- ♦ percepția defectării de către utilizator.

1.8. Evaluarea tehnico-economică a mentenanței

1.8.1. Indicatori tehnici de evaluare a mentenanței

1.8.2. Indicatori economici de evaluare a mentenanței

1.8.3. Indicatori de timp pentru activitatea de mentenanță

1.9. Determinarea momentului optim de înlocuire a unui echipament

În definirea unei politici optime de mentenanță industrială, alte întrebări la care va trebui găsit răspuns sunt: Când trebuie oprită mentenanță? Trebuie păstrat un echipament vechi care necesită cheltuieli de mentenanță crescătoare? Care este momentul optim de înlocuire?

Aceste întrebări cer un răspuns solid. Pentru a răspunde la aceste întrebări în literatura de specialitate sunt prezentate o serie de metode cum ar fi: metoda minimalizării costului mediu anual total al echipamentului, metoda minimalizării costului anual echivalent, metoda minimului advers, metoda ținând cont de progresul tehnic, etc.

Având în vedere tematică lucrării, ne propunem în continuare prezentarea unei metode noi de determinare a momentului optim de înlocuire a unui echipament, metoda ce are în vedere fenomenul de uzare a echipamentului și cheltuielile de mentenanță.

CAPITOLUL 2

OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

2.1. Principalele tendințe actuale privind mentenanța industrială

Utilizarea echipamentelor industriale la parametri înalți de performanță și productivitate conduce la asigurarea productivității acestora și a preciziei generatoare de calitate a produselor fabricate. În acest sens, un rol important la nivel organizațional îl reprezintă activitatea de mentenanță, ca proces suport care asigură buna desfășurare a procesului de fabricație, respectiv fabricarea produselor.

Asigurarea unei bune funcționări a echipamentelor, se poate realiza, prin aplicarea unor strategii de mentenanță și a unor metode adecvate, având la bază monitorizarea permanentă a funcționării acestora. Ca urmare, planificarea activităților de mentenanță trebuie efectuată în urma monitorizării și a diagnosticării permanente a funcționării echipamentelor, și aplicarea în mod rațional a metodelor de mentenanță specifice.

Totodată, se remarcă tendința actuală de implementare și dezvoltare a managementului mentenanței, prin utilizarea unor metode moderne de mentenanță (TPM, AMDEC, mentenanța preventive-proactivă etc.), care să conducă la micșorarea riscului căderilor echipamentelor, în condițiile conformării cu cerințele managementului riscului și ale respectării **standardelor de mediu**, standardelor de calitate și mediu (SR EN ISO 9001:2015 și SR EN ISO 14001:2015).

2.2. Delimitarea domeniului de cercetare

Având în vedere existența unor largi și diverse abordări ale problemei mentenanței industriale apare oportunitatea delimitării domeniului de cercetare teoretico-aplicativ, într-un cadru adecvat și abordabil care să corespundă cerințelor temei tezei de doctorat. Pe baza celor menționate, în urma analizei și concluziilor asupra cercetărilor bibliografice efectuate, autoarea și-a propus direcționarea cercetărilor pe abordarea următoarelor aspecte, după cum urmează:

- analiza abordărilor teoretice și practice referitoare la stadiul actual al cercetării, în domeniul calității și activităților de mentenanță a echipamentelor industriale;
- analiza stadiului actual al analizei și evaluării mentenanței echipamentelor industriale;
- analiza principalelor modele ale politicilor de mentenanță și strategiilor economice în mentenanță;
- analiza și abordarea economică a mentenabilității produselor;
- îmbunătățirea procesului de mentenanță prin elaborarea și implementarea unor documente specifice acestora activități, care să conducă la creșterea performanțelor acestuia;
- analiza și abordarea unor aspecte privind stabilirea necesarului de resurse umane și materiale în activitatea de mentenanță;
- îmbunătățirea activităților de mentenanță prin extinderea aplicării unor metode și tehnici moderne specifice mentenanței proactive.

Ținând seama de larga dezvoltare a problematicii mentenanței produselor industriale, se impune ca din domeniul de cercetare al tematicii tezei de doctorat, să fie abordate unele aspecte care să constituie puncte de vedere, dezvoltări și contribuții ale autoarei, sub rezerva posibilei extinderi cu alte aspecte ale domeniului studiat.

2.3. Principalele obiectivele ale cercetării

În urma cercetărilor bibliografice efectuate referitoare la stadiul actual al tematicii tezei de doctorat din analizele și concluziile rezultate autoarea își propune abordarea în cadrul tezei de doctorat a unor aspecte teoretice și aplicative, după cum urmează:

A. Obiective teoretice:

- analiza teoretică referitoare la stadiul actual privind cercetările referitoare la calitatea produselor și a activității de mentenanță;
- analiza principalelor concepte și parametri ai mentenanței produselor industriale;
- studiul comparativ al metodelor de analiză și evaluare a echipamentelor industriale;
- studiul privind evaluarea tehnico-economică a mentenanței echipamentelor;
- analiza modelelor și strategiilor economice în managementul mentenanței;
- contribuții privind elaborarea unor documente specifice a activităților de mentenanță, care să asigure capabilitatea și calitatea produselor.

B. Obiective practice:

- dezvoltări și contribuții practice privind stabilirea necesarului de resurse umane prin utilizarea tehnicilor cercetării operaționale;
- dezvoltări și contribuții privind necesarul de resurse materiale în mentenanța preventivă și preventiv proactivă;
- studiul de caz practic pentru determinarea cheltuielilor de mentenanță și aplicarea metodelor statistice pentru elaborarea unui model econometric pentru reparații în industria aeronautică;
- dezvoltări, propuneri și contribuții privind aplicarea metodelor și tehnicilor moderne în mentenanța proactivă și a diagnozei stării de funcționare a echipamentelor industriale.

Ca urmare a cercetărilor teoretice și aplicative la finalul lucrării autoarea prezintă concluziile studiului efectuat și evidențiază contribuțiile personale și previzionează unele orientări ale cercetărilor viitoare în domeniul temei studiate în teza de doctorat.

CAPITOLUL 3.

DEZVOLTĂRI ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND STUDIUL POLITICILOR ȘI STRATEGIILOR DE MENTENANȚĂ

3.1. Analiza modelelor politicilor de mentenanță

În acest sens, dacă redundanța se impune în mod inevitabil trebuie evitată o încărcare suplimentară a resurselor utilizate. De aceea, se consideră **cazul unui sistem compus din două subansambluri identice**, având o schemă logică de tip derivație. Pentru această situație, alegerea se face după una din cele trei politici de mentenanță, descrise în continuare [53]:

a. *Politica nr. 1* - constă în a avea două echipe de mentenanță și a repune în funcțiune fiecare subansamblu la care apare un defect.

b. *Politica nr. 2* - constă în a avea o singură echipă de mentenanță care să intervină la repararea fiecărui subansamblu care este defect.

c. *Politica nr. 3* - constă în a avea o singură echipă de mentenanță care să intervină doar la defectarea sistemului, reparându-l integral. Problema care se impune, este aceea de a determina cărei politici îi corespunde o disponibilitate cât mai mare și la un cost de mentenanță cât mai mic.

a. **În cazul politicii nr. 1**, stările posibile ale sistemului sunt:

- starea 1 - cele două subansambluri funcționează;
- starea 2 - un subansamblu funcționează, celalalt este în curs de restabilire;
- starea 3 - ambele subansambluri sunt în curs de restabilire.

Diagrama MARKOV este prezentată în figura 3.1, iar matricea de tranziție dintre stări este:

$$[q] = \begin{bmatrix} 1-2\lambda & \mu & 0 \\ 2\lambda & 1-(\lambda+\mu) & 2\mu \\ 0 & \lambda & 1-2\mu \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

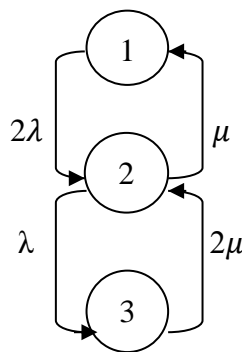


Fig. 3.1. Diagrama MARKOV pentru Politica 1 de mentenanță

b. În cazul *politicii nr. 2*, stările posibile ale sistemului, sunt:

- 1 - cele două subansambluri funcționează;
- 2 - un subansamblu funcționează, iar celalalt este în restabilire;

3 - ambele subansambluri sunt defecte, echipa de mentenanță lucrând pentru repunerea în funcțiune a unuia din ele.

Diagrama MARKOV corespunzătoare stărilor sistemului, este dată în figura 3.2, iar matricea de tranziție are forma:

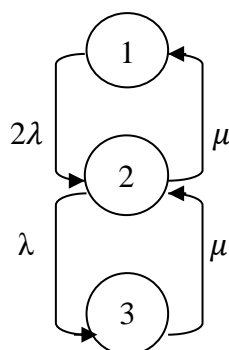


Fig. 3.2. Diagrama MARKOV pentru Politica 2 de mentenanță

Disponibilitatea instantanee este în acest caz:

$$A(t) = P_1(t) + P_2(t) \quad (3.4)$$

iar valoarea medie:

$$A(\infty) = \frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{\mu^2 + 2\lambda\mu + 2\lambda^2} \quad (3.5)$$

c. În cazul *politicii nr. 3* de mentenanță, stările posibile ale sistemului sunt: 1 - cele două subansambluri sunt în funcțiune; 2 - unul din cele două subansambluri funcționează, iar celalalt este defect; 3 - ambele subansambluri sunt defecte; 4 - un subansamblu a fost repus în funcțiune de echipa de mentenanță, care în continuare va lucra la repunerea în funcțiune a celui de-al doilea subansamblu.

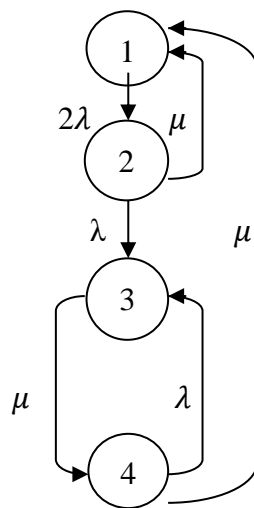


Fig. 3.3. Diagrama MARKOV pentru Politica 3 de mentenanță

Diagrama MARKOV este dată în figura 3.3, iar matricea de tranziție are forma:

$$[q] = \begin{bmatrix} 1-2\lambda & 0 & 0 & \mu \\ 2\lambda & 1-\lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 1-\mu & \lambda \\ 0 & 0 & \mu & 1-(\lambda+\mu) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Disponibilitatea instantanee va fi:

$$A(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_4(t) = 1 - P_3(t) \quad (3.7)$$

Iar valoarea medie:

$$A(\infty) = \frac{3\mu^2 + 2\lambda\mu}{3\mu^2 + 4\lambda\mu + 2\lambda^2} \quad (3.8)$$

Așadar, fiind date valorile λ și μ , se poate deduce timpul mediu anual de indisponibilitate, pentru fiecare din cele trei politici adaptate, iar apoi se pot evalua următoarele costuri:

- costul unei ore de indisponibilitate pentru sistem;
- costul fix de manoperă pe subansamblu și pe an;
- costul de înlocuire pe sistem, în cadrul fiecărei politici;
- costul anual de indisponibilitate;
- costul anual al manoperei;
- costul anual de repunere în funcțiune;
- costul anual total.

De asemenea, raportul λ / μ joacă un rol fundamental în gestiunea stocului de materiale, deoarece permite să se adapteze efortul de mentenanță la nivelul fiabilității elementelor componente ale sistemului.

3.2. Strategii economice în managementul mentenanței

În cadrul activităților de mentenanță a echipamentelor industriale, **conceptul economic de cost**, prezintă o mare complexitate, deoarece acesta are o bogată semnificație referitoare la domeniul, proveniență, mod de manifestare etc. Ca urmare, a diversității acestor costuri, a fost oportun să se clasifice costurile pe baza unor criterii, care sunt redată în fig. 3.4:

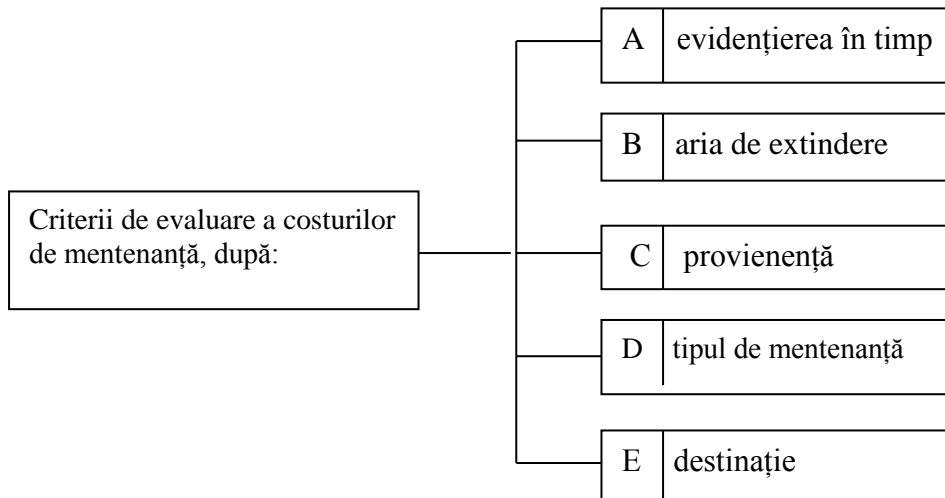


Fig. 3.4 Criterii de clasificare a costurilor de mentenanță (adaptare autoare după [89])

A. Costurile de mentenanță, după evidențierea în timp.

Aceste costuri iau în considerare aspectele în legătură cu ciclul de viață al echipamentului, situație în care se folosește conceptul de **cost global** care este alcătuit din componentele prezentate în figura 3.5 care urmează [91]

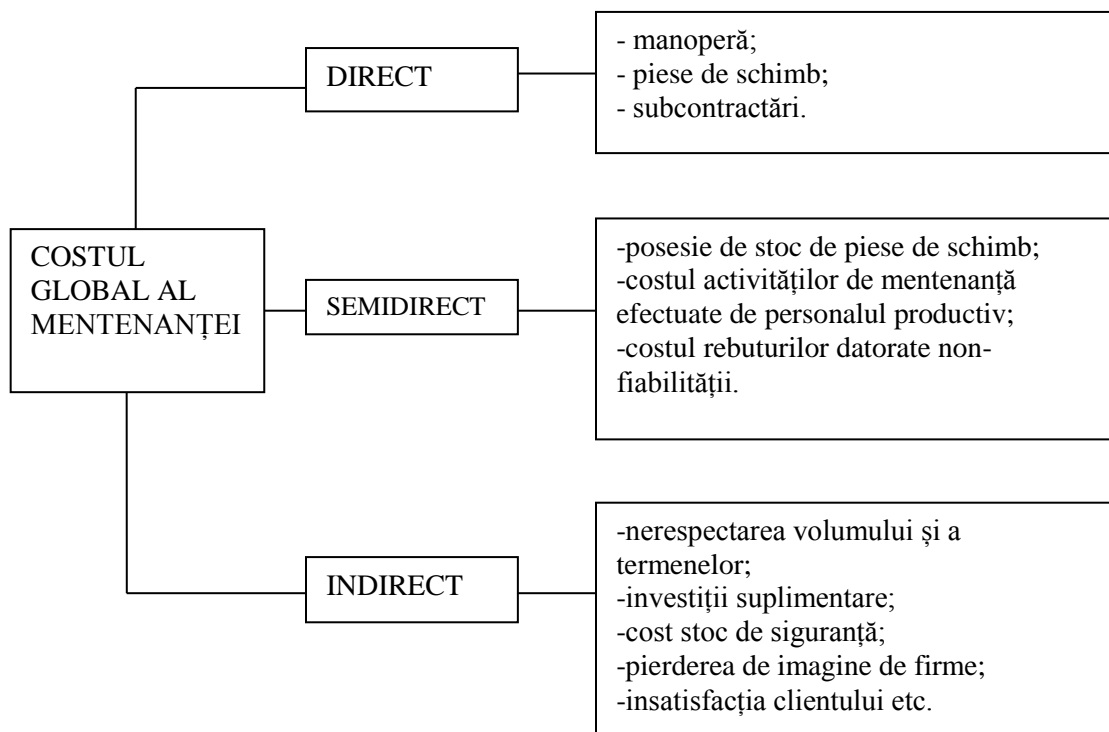


Fig. 3.5 – Principalele componente ale costului global de mentenanță

B. Costuri de mentenanță, după aria de extindere

În condițiile existenței unui sistem informațional , bine-structurat în care se poate evidenția trasabilitatea activităților de mentenanță, există posibilitatea diferențierii pe elemente componente ale sistemului de producție, a costurilor de mentenanță respectiv: echipamentul analizat, linia tehnologică din care face parte, secția de producție, organizația.

C. Costuri de mentenanță, după modul de proveniență

În urma analizei referitoare la diagnosticul indisponibilității echipamentelor, cauzată de existența diferitelor tipuri de defecțiuni se poate prezenta sub o formă schematică costurile aferente acestora.

D. Costuri de mentenanță, după tipul de sistem

Având în vedere existența celor două tipuri de mentenanță corectivă și preventivă, aceste tipuri de costuri la nivel organizațional evidențiază gradul de competitivitate, respectiv cel tehnologic, având la bază politica implementată în activitatea de mentenanță.

E. Costuri de mentenanță, după destinație

În principal, alocarea resurselor financiare destinate compartimentului de mentenanță, este orientată spre costuri referitoare la:

- achiziționarea pieselor de schimb;
- stocarea pieselor de schimb și a diferitelor utilități;
- transportul pieselor de schimb;
- salarizarea personalului cu activități în domeniul mentenanței etc.

Modelul economic de determinare a metodei optime de mentenanță

Ținând cont că mentenanța nu este un scop în sine, ea este o necesitate de care producția „suferă” și pe care financiarul o găsește prea costisitoare, considerăm că nu se poate vorbi de o metodă optimă de mentenanță fără a ține cont și de aspectul economic, respectiv costurile pe care le implică această activitate.

Modelul economic pleacă de la estimarea și compararea costurilor medii de punere în aplicare a celor trei metode de mentenanță cu precizarea că, în cazul unei căderi accidentale, securitatea oamenilor nu este afectată.

1. **În cazul metodei mentenanței sistematice** este vorba de intervenții efectuate de o manieră sistematică, respectiv de înlocuiri sau renovări ale unor elemente critice după un anumit interval de timp (sau unități de uzură).

Rezultă că, perioada optimă de intervenție sistematică depinde de legea de fiabilitate a elementelor critice considerate.

Așa cum s-a arătat legea de fiabilitate poate fi definită prin următorii indicatori:

- $\lambda(t)$ - rata defectării;
- $R(t)$ - probabilitatea de supraviețuire (fiabilitate);
- $F(t)$ - probabilitatea de defectare (cădere);
- $f(t)$ - densitatea de probabilitate a defectărilor.

În cazul unei perioade „T” de intervenție, în cadrul mentenanței sistematice, există prin definiție o probabilitate $F(t)$ de defectare.

În consecință, costul total probabil de mentenanță și de indisponibilitate (C_{ts}) va fi dat de relația [23,62]:

$$C_{ts} = C_d + C_i \times F(t) , \quad (3.9)$$

în care:

C_d reprezintă costurile directe sau de mentenanță;

C_i - costurile indirecte (suplimentare) de indisponibilitatea în cazul unei defecțiuni;

F(t) - probabilitatea de defectare.

2. În cazul **mentenanței preventive condiționate**, legată de evoluția unui simptom caracteristic, durata medie între două intervenții succesive, m (t) este foarte aproape de TMBF. Ea poate fi calculată după relația:

$$M(t) = K \times TMBF, \quad (3.12)$$

în care:

K - coeficient care ține seama de timpul de reacție necesar între pragul de alarmă și pragul admisibil, în cazul mentenanței preventive condiționate, având o valoare foarte apropiată de cifră 1.

Specifice mentenanței preventive condiționate îi sunt o serie de costuri de implementare a acestei metode de mentenanță (de exemplu, costuri privind achiziționarea diferitelor aparate de măsură și control și de utilizare a acestora).

Aceste costuri de implementare a mentenanței preventive condiționate, între două intervenții succesive se calculează după relația:

$$C_c = \left(\frac{A}{D} \times TMBF \right) + C_a, \quad (3.13)$$

C_c - costuri de implementare a mentenanței preventive condiționate;

A - cheltuielile de achiziționare a echipamentelor de măsurare și control, eventual necesare;

D - durata probabilă de utilizare a acestor echipamente;

C_a - cheltuielile de efectuare a acestor controale și măsurători pentru elementele critice considerate, pe o perioadă de timp egală cu TMBF.

3. În cazul **mentenanței corective**, intervenindu-se după cădere, costul mediu pe unitate de timp, (\bar{C}_{tc}) va fi:

$$\left(\bar{C}_{tc} = \frac{C_d + C_c}{TMBF} \right) \quad (3.15)$$

3.3. METODE DE EXECUTARE A LUCRĂRILOR DE MENTENANȚA

Pentru efectuarea lucrărilor de mentenanță a echipamentelor din cadrul unei organizații, aceasta poate opta pentru aplicarea uneia sau a mai multor metode recomandate de literatură de specialitate, și anume[3,8,13,49]:

- metoda individuală de mentenanță;
- metoda de mentenanță pe subsansambluri;
- metoda de mentenanță prin folosirea echipamentelor de rezervă;
- metoda de mentenanță în flux;

De exemplu se recomandă folosirea metodei grafelor pentru organizarea și programarea executării lucrărilor de mentenanță.

De asemenea, din punct de vedere al managementului mentenanței preventive este oportună elaborarea documentației aferente activităților specifice acesteia, situație în care se propune elaborarea unor documente, respectiv proceduri și formulare care să constituie baza informațională a activităților.

A. Metoda individuală de mentenanță

Această metodă se aplică, de regulă, pentru acele echipamente care se găsesc în număr redus (sau chiar unicate) în dotarea unității industriale.

Caracteristica principală a acestei metode constă în aceea că, după operațiile de demontare, curățire, control și recondiționare, piesele se remontează pe același echipament, tot complexul de lucrări legate de mentenanța echipamentului, inclusiv confecționarea pieselor de schimb noi, care nu au putut fi procurate ca piese de rezervă, făcându-se în timpul reparației.

B. Metoda de mentenanță pe subsansambluri

Această metodă se aplică în cazul unităților industriale care au în dotare mai multe echipamente de același tip. Ea se caracterizează prin aceea că, pentru o grupă de echipamente de același tip, se creează un stoc de rezervă de subsansambluri pentru înlocuirea celor demontate de pe echipamentul care se repară, reparația celor demontate făcându-se în paralel în compartimente specializate de mentenanță, urmând ca după reparare ele să se includă în stocul de rezervă.

C. Metoda de mentenanță prin folosirea echipamentelor de rezervă

Această metodă se recomandă în cazul unor lucrări de mentenanță de o mare complexitate, care presupun un timp de staționare pentru executarea lor foarte mare.

Metoda constă în demontarea echipamentului și transportarea lui într-un loc special unde se vor efectua lucrările de mentenanță, în schimbul acestuia se va monta un echipament de rezervă [10].

Avantajul principal al acestei metode este durata redusă de imobilizare a echipamentelor în mentenanță, care cuprinde numai timpul necesar pentru demontarea acestora și cel pentru montarea echipamentelor de rezervă. În acest fel, timpul efectiv pentru efectuarea lucrărilor de mentenanță nu are nici o influență asupra scoaterii acestora din procesul de producție.

D. Metoda de mentenanță în flux

Această metodă se bazează pe un înalt grad de specializare a locurilor de muncă pentru executarea operațiilor necesitate de lucrările de mentenanță.

Organizarea unor linii de mentenanță în flux se poate face pentru repararea pieselor de schimb și a subsansamblurilor componente ale echipamentelor.

Pentru aplicarea metodei trebuie realizate următoarele:

- diferențierea produsului tehnologic pe diferite stadii și operații;
- fixarea pentru fiecare loc de muncă, în mod precis, a anumitor operații legate de repararea, montarea sau asamblarea pieselor sau subsansamblelor;
- amplasarea locurilor de muncă în ordinea impusă de succesiunea procesului tehnologic;
- asigurarea ritmicității producției, bazată pe sincronizarea timpului de execuție a operațiilor și stabilirea numărului optim de locuri de muncă;
- prevederea mijloacelor speciale de transport continuu al obiectelor muncii, în concordanță cu procesul tehnologic.

3.4. Dezvoltarea proceselor stohastice la studiul mentenanței echipamentelor industriale

Având în vedere, cele prezentate la paragraful 3.1., în continuare se prezintă pe baza unor date virtuale aplicarea teoriei lanțurilor proceselor Markov pentru două tipuri de procese, astfel:

Dezvoltarea și aplicarea unor metode decizionale pentru studiul mentenabilității echipamentelor

Procese de decizie Markoviene în activitatea de mentenanță aeronautică

1. Procese independente

Acestea, la rândul lor, se prezintă sub două forme:

- a) În cadrul fiecărei faze, toate arcele care au același nod de origine, sunt egale. Graficul unui proces de acest tip se prezintă în figură 3.13.

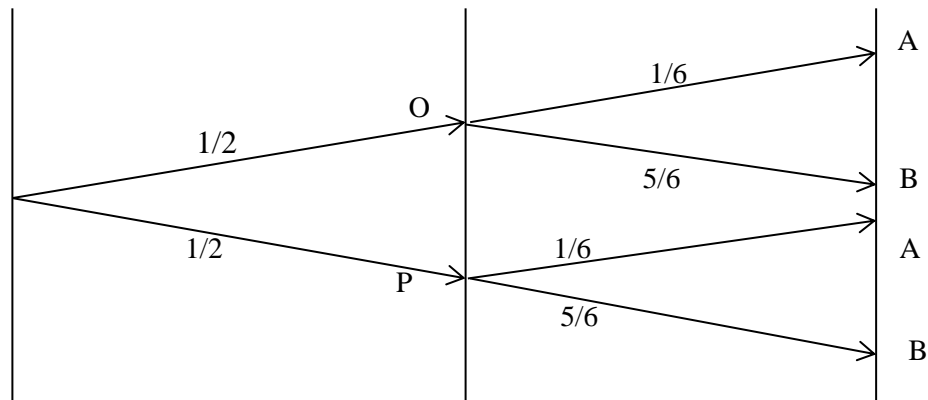


Fig. 3.13. Proces independent

- b) Toate arcele sunt egale atât în cadrul fiecărei faze, cât și între faze. Graficul unui proces independent de acest tip se prezintă în figura 3.14.

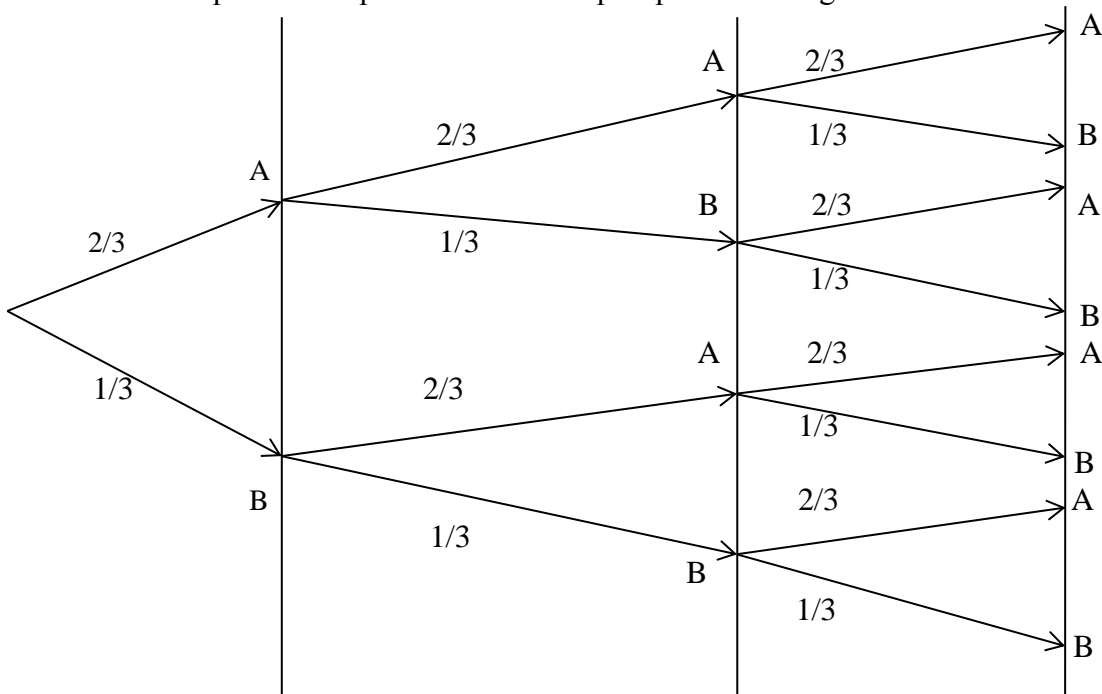


Fig. 3.14. Proces independent

2. Procese cu lanțuri Markov

Arcul unui experiment depinde numai de cel imediat anterior, dependentă rămânând aceeași la toate fazele.

Graful unui proces cu lanțuri Markov se prezintă în figură 3.15.

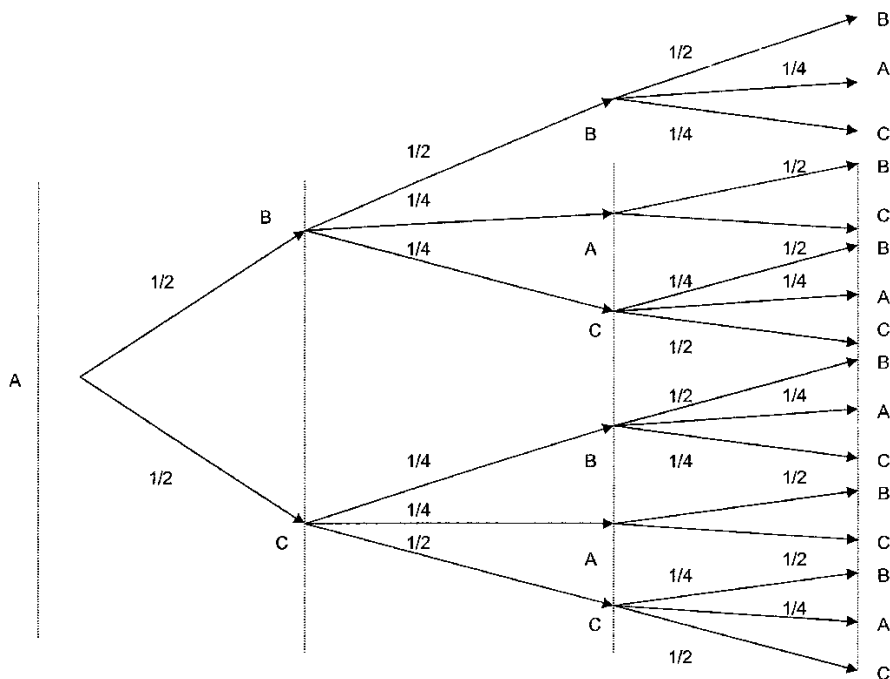


Fig. 3.15. Procese cu lanțuri Markov

3.5. Contribuții privind elaborarea unor documente specifice activităților de mentenanță (contribuție autoare)

În vederea executării diferitelor activități din cadrul mentenanței echipamentelor **autoarea a propus și elaborat** o procedură de lucru operațională prezentată în Anexa 1.

De asemenea, au fost elaborate modele ale principalelor documente operaționale care însoțesc procedura de lucru, respectiv:

- documente specifice în atelierul reparații echipamente – Anexa 2;
- actul de predare al mașinii/utilajului în reparație și recepția reparației - Anexa 3;
- raport de inspecție – Anexa 4;
- lista cu verificările și încercările efectuate – Anexa 5;
- tabel cu înregistrarea activităților de mentenanță și a lucrărilor executate – Anexa 6;
- nominalizarea lucrărilor pe tipuri de reparații – Anexa 7;
- fișa tehnologică pentru reparație – Anexa 8;
- fișa de măsurări – Anexa 9;
- cererea de materiale – Anexa 10;
- etapele pentru executarea pieselor de schimb – Anexa 11 ;
- fișa recapitulativă a utilajului tehnologic – Anexa 12.

Aceste documente **proapse de autoare** pot fi considerate ca modele de aplicat pentru orice atelier în care se execută activități de verificare și reparație a echipamentelor industriale.

Capitolul 4.

DEZVOLTARI SI CONTRIBUTII PRACTICE. STUDIU DE CAZ.

4.1. Dezvoltari și contribuții practice privind stabilirea necesarului de resurse umane și resurse materiale în mentenanța preventivă-proactivă

Stabilirea necesarului de resurse umane din cadrul departamentului de mentenanță, se face pe diferite categorii specifice activităților desfășurate, respectiv: lucrători, ingineri, economiști, personal administrativ etc. Care urmare a diversificării activităților de mentenanță, având în vedere diferitele tipuri ale acestora se poate considera că personalul menționat se poate grupa astfel:

a. Personal cu atribuții în executarea activităților propriu-zise de mentenanță care efectuează lucrări în echipele de mentenanță (de exemplu, mecanici, electricieni, sudori etc.)

b. Personalul care desfășoară activități în diferite compartimente ce contribuie la buna desfășurare a procesului de mentenanță, ca de exemplu, „Metode-mentenanță” și „Planificare și programare mentenanță”.

În privința necesarului de personal aferent diferitelor categorii, se poate afirma că există dificultăți în precizarea acestuia, deoarece activitățile, respectiv **volumul de muncă aferent** poate fi stabilit cu dificultate. De pe altă parte, ca urmare a activităților desfășurate, a caracteristicilor și **stărilor echipamentelor** din dotare, respectiv a **capabilității sistemului informațional** aferent activităților de mentenanță, există unele dificultăți în stabilirea unei organizări adecvate a compartimentului.

Din datele existente în literatura de specialitate [23,62], se apreciază că ponderea categoriei de personal din această categorie este de 5 până la 8% față de numărul personalului direct implicat.

4.1.1. Stabilirea necesarului de resurse umane în activitățile de mentenanță

De asemenea, în cadrul activităților de mentenanță, pentru operațiile componente procesului tehnologic de mentenanță, este necesară determinarea numărului de personal direct implicat în lucrările de mentenanță, așa cum este precizat în planurile de mentenanță preventivă și condiționată a echipamentelor din organizația respectivă. Stabilirea numărului de personal se face diferențiat pentru lucrătorii care prestează **lucrări de bază cu norme de timp**, respectiv pentru cei care lucrează pe bază de norme de servire. Pentru prima categorie se poate efectua calculul aferent acestuia cu relația [23]:

$$N_{mi} = \frac{V_{mti}}{F_{pm} \times K_n}, i = \overline{1, t} \quad (4.1)$$

unde:

N_{mi} reprezintă necesarul de muncitori cu meseria i ;

V_{mti} - volumul global de muncă, exprimat în ore/om, necesar efectuării lucrărilor de mentenanță corespunzătoare meseriei i , așa cum rezultă din planul de mentenanță;

F_{pm} - volumul de timp aferent unui lucrător;

K_n - coeficientul planificat de îndeplinire a normelor;

$i = \overline{1, t}$ tipurilor de meserii necesare diferitelor activități.

Astfel, pentru **lucrătorii care efectuează operații de prelucrări mecanice** necesarul

acestora, se poate calcula cu relația:

$$N_{mp} = \frac{T_{ntp}}{F_{pm} \times K_n} \quad (4.2)$$

în care:

N_{mp} reprezintă necesarul de lucrători aferent efectuării operațiilor de prelucrări mecanice;

T_{ntp} – volumul total de timp necesar efectuării operațiilor de prelucrări mecanice, în ore/om.

De asemenea, **lucrătorii care desfășoară activității pe baza de norme de servire** în cazul mentenanței preventive sistematice sau în cazul operațiilor de supraveghere, se propune determinarea necesarului [23]:

$$N_{ms} = \frac{N_e \times K_s}{N_s} \quad (4.3)$$

unde:

N_{ms} reprezintă numărul de muncitori;

N_e - numărul de echipamente care trebuie servite de acești muncitori;

K_s - coeficientul numărului de schimburi;

N_s - norma de servire a echipamentelor, definită prin numărul de echipamente servite de un muncitor.

De menționat că în condițiile aplicării metodei TPM în care automențința reprezintă elementul fundamental al metodei, activitățile acestei categorii de lucrători, sunt preluate de lucrătorii direct implicați în mentenanță echipamentelor.

Pentru exemplificarea practică a modelului prezentat mai sus, în continuare se consideră următorul exemplu, folosind date virtuale, similare cu cele din practică.

Presupunând că în cadrul unei **secții de reparație și întreținere motoare de avion** sunt șase echipamente identice, cu o rată de avarie probabilă de 0,01 pe oră, iar echipa de mentenanță specializată în repararea acestora este formată din trei muncitori, rata de reparație probabilă fiind de 0,10 pe oră. Salariul mediu orar este de 15 unități pe oră, iar costul indisponibilității echipamentului este de 120 unități monetare pe oră.

Ecuțiile de stare vor fi:

Pentru $i = 0$, starea inițială, înlocuind în ecuația [2.61] rezultă:

$$6 \times 0,001p_c + 0,1p_1 + 0 \Rightarrow$$

$$0,01p_0 + 0,1p_1 = 0$$

Pentru $i = 1$ ($i < M$), înlocuind în ecuația [2.62] rezultă:

$$(6 + 1 - 1)0,01p_0 - [(6 - 1) \times 0,01 + 1 \times 0,1]p_1 + (1 + 1)0,1p_2 = 0 \Rightarrow$$

$$0,06p_0 - 0,15p_1 + 0,2p_2 = 0$$

Pentru $i = 2$ ($i < M$), înlocuind în ecuația [2.62] rezultă:

$$(6+1 - 2)0,01 p_1 - [(6-2) \times 0,01 + 2 \times 0,1]p_2 + (2+ 1)0,1p_3 = 0 \Rightarrow$$

$$0,05p_1 - 0,24p_2 + 0,3p_3 = 0$$

Pentru $i = 3$ ($i = M$), înlocuind în ecuația [2.63] rezultă:

$$(6 + 1 - 3)0,01p_2 - [(6-3) \times 0,01 + 3 \times 0,1]p_3 + 3 \times 0,1p_4 = 0 \Rightarrow$$

$$0,04p_2 - 0,33p_3 + 0,3p_4 = 0$$

Pentru $i = 4$ ($i > M$), înlocuind în ecuația [2.63] rezultă:

$$(6 + 1 - 4)0,01p_3 - [(6-4) \times 0,01 + 4 \times 0,1]p_4 + 4 \times 0,1p_5 = 0 \Rightarrow$$

$$0,03p_3 - 0,42p_4 + 0,4p_5 = 0$$

Pentru $i = 5$ ($i > M$), înlocuind în ecuația [2.63] rezultă:

$$(6 + 1 - 5)0,01p_4 - [(6-5) \times 0,01 + 5 \times 0,1]p_5 + 5 \times 0,1p_6 = 0 \Rightarrow$$

$$0,02p_4 - 0,51p_5 + 0,5p_6 = 0$$

Pentru $i = 6$ ($i = M$), înlocuind în ecuația [2.64] rezultă:

$$0,01p_5 - 0,3p_6 = 0 \Rightarrow$$

$$0,01p_5 + 0,3p_6 = 0$$

Deci, ecuațiile de stare determinate sunt:

$$\left\{ \begin{array}{l} -0,06p_0 + 0,10p_1 = 0 \\ 0,06p_0 - 0,15p_1 + 0,20p_2 = 0 \\ 0,05p_1 - 0,24p_2 + 0,30p_3 = 0 \\ 0,04p_2 - 0,33p_3 + 0,030p_4 = 0 \\ 0,03p_3 - 0,42p_4 + 0,40p_5 = 0 \\ 0,02p_4 - 0,51p_5 + 0,50p_6 = 0 \\ 0,01p_5 - 0,30p_6 = 0 \end{array} \right.$$

Rezolvând sistemul se obține următoarea soluție:

$P_0 = 0,564083$ probabilitatea de funcționare a tuturor echipamentelor;

$P_1 = 0,338450$ probabilitatea ca un echipament să fie defect;

$P_2 = 0,084612$ probabilitatea ca 2 echipamente să fie defecte;

$P_3 = 0,011283$ probabilitatea ca 3 echipamente să fie defecte;

$P_4 = 0,0001128$ probabilitatea ca 4 echipamente să fie defecte;

$P_5 = 0,0000338$ probabilitatea ca 5 echipamente să fie defecte;

$P_6 = 0,00106$ probabilitatea ca 6 echipamente să fie defecte.

Avem:

$$\sum_{i=1}^N ip_i \Rightarrow 0,564083 + 0,338450 + 0,084612 + 0,001128 + 0,000106 = 1$$

$$g(3) = 1 \cdot 0,338450 + 2 \cdot 0,084612 + 3 \cdot 0,011283 + 4 \cdot 0,001128 + 5 \cdot 0,000338 + 6 \cdot 0,000106 = 0,548361$$

Considerând, deci trei lucrători în echipa de mentenanță, probabilitatea de nefolosire a echipamentelor în sistem este de 0,548361, iar costul mediu,

$$C(3) = 120 \cdot 0,548361 + 15 \cdot 3$$

$$C(3) = 110,80 \text{ unități/oră.}$$

Prin simularea numărului de lucrători din echipa de mentenanță (M) și calculând probabilitățile de nefolosire a echipamentelor în sistem $g(M)$, se poate calcula numărul de lucrători din echipa de mentenanță și, în final, mărimea adecvată a echipei de mentenanță.

4.1.2. Dezvoltări practice privind stabilirea resurselor materiale (piese de schimb) în mentenanța echipamentelor industriale

Ținând cont de faptul că, metodele de mentenanță preventivă propuse urmăresc creșterea nivelului de fiabilitate a echipamentelor, precum și îmbunătățirea mentenabilității acestora, activitatea de **asigurare a pieselor de schimb are ca obiectiv principal aprovizionarea cu piese de schimb care să elimineze opririle echipamentelor datorită defecțiunilor accidentale.**

Nivelul optim al stocului de piese de rezervă este cel care minimizează costul total determinat de mărimea stocului de piese de rezervă.

În cazul în care **stocul este mai mare decât cel necesar**, speranța matematică a excedentului (Ee) este dată de relația [62]:

$$Ee = \sum_{x=0}^{S_s} (S_s - x) \frac{e^{-m} m^x}{x!} \quad (4.13)$$

în care:

S_s – reprezintă stocul de siguranță;

x - variabilă aleatoare reprezentând numărul de căderi ale piesei;

m - numărul mediu de căderi.

În cazul în care stocul este mai mic decât cel necesar (numărul de piese care ar cădea este mai mare decât numărul pieselor din stocul de siguranță) speranța matematică a deficitului (Ed) este dată de relația:

$$Ed = \sum_{x=S_s+1}^{\infty} (x - S_s) \frac{e^{-m} m^x}{x!} \quad (4.14)$$

Mărimea optimă a stocului se obține minimizând costul total (C_t), dat de expresia:

$$C_t = C_s \sum_{x=0}^{x=S_s} (S_s - x) \frac{e^{-m} m^x}{x!} + C_c \sum_{x=S_s+1}^{\infty} (x - S_s) \frac{e^{-m} m^x}{x!} \quad (4.15)$$

Pentru **aplicarea practică a problemei nivelului optim al stocului** pieselor de rezervă se consideră următorul exemplu:

Pentru o piesă „A” se cunosc următoarele informații:

- termenul de livrare: o lună;
- media anuală a căderilor accidentale: 10/an;
- costul unitar al piesei: 1000 unități;
- costul de stocaj al piesei: 30% din prețul piesei;
- pierderile datorită scoaterii echipamentului din funcțiune: 3200 unități/lună.

Pe baza acestor elemente rezultă:

- costul de stocaj preventiv, pentru o lună:

$$C_s = \frac{1000 \times 0,3}{12} = 25 \text{ unități}$$

- media căderilor piesei:

$$m = \frac{10}{12} = 0,84 \text{ căderi pe lună}$$

- probabilitatea de a avea „x” scoateri din funcțiune, având în vedere repartiția Poisson, vor fi:

Simulând numărul de piese existente în stoc și calculând costul total conform relației (1) va rezulta:

x = număr de căderi	P(x) = probabilitatea de a avea x căderi
0	0,43
1	0,36
2	0,15
3	0,04
4	0,008
5	0,0015
9	0,0002

- Pentru un stoc de siguranță egal cu 0 ($S_s = 0$):

$$C_t = 0 + 3200(1 \cdot 0,36 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,008 + 5 \cdot 0,0015 + 6 \cdot 0,0002) = 2645,4 \text{ unități}$$

- Pentru un stoc de siguranță egal cu o piesa ($S_s = 1$):

$$C_t = 25(1 \cdot 0,430 + 3200(1 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,04 + 3 \cdot 0,008 + 4 \cdot 0,0015 + 5 \cdot 0,0002)) = 858 \text{ unități}$$

- Pentru un stoc de siguranță egal cu 2 piese ($S_s = 2$):

$$C_t = 25(2 \cdot 0,43 + 1 \cdot 0,36) + 3200(1 \cdot 0,04 + 2 \cdot 0,008 + 3 \cdot 0,0015 + 4 \cdot 0,0002) = 230 \text{ unități}$$

- Pentru un stoc de siguranță egal cu 3 piese ($S_s = 3$):

$$C_t = 92 \text{ unități}$$

- Pentru un stoc de siguranță egal cu 4 piese ($S_s = 4$):

$$C_t = 84 \text{ unități}$$

- Pentru un stoc de siguranță egal cu 5 piese ($S_s = 5$):

$$C_t = 104 \text{ unități}$$

Rezultă, deci, ca pentru un nivel de stoc de siguranță mai mare de 4 piese costul total crește, nivelul optim al stocului de siguranță fiind de 4 piese, nivel pentru care costul total este minim.

4.2. Studiul de caz (efectuat cu contribuția autoarei)

În cadrul acestui studiu se prezintă modul de determinare a cheltuielilor cu mentenanța și elaborarea unui model econometric pentru stabilirea acestor cheltuieli în cadrul unui atelier de reparații de industria aeronautică. Pentru aceasta se consideră următorul caz (situație): modelul econometric al numărului orelor de zbor efectuate în funcție de cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată pentru avionul Cessna 172 S.

Definirea modelului econometric al dinamicii numărului orelor de zbor efectuate în funcție de cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată, pentru avionul Cessna 172 S

Numărul orelor de zbor efectuate de un avion exprimă, în formă absolută, nivelul de operare și funcționare a acestuia. Prin particularitățile acestui indicator, în dependență directă cu cheltuielile de întreținere se susține efectuarea unei analize statistico-matematice a interdependenței lor. Un model econometric viabil va prezenta o importanță și o utilitate curentă pentru fundamentarea deciziilor care vizează creșterea performanțelor de zbor, ca durată și siguranță.

Metodologia de analiză a numărului orelor de zbor efectuate este particularizată prin elaborarea unui model econometric care aduce în discuție rolul și importanța unui factor determinant reprezentat de cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată a avionului.

Analiza corelației dintre aceste două variabile, dinamica numărului orelor de zbor efectuate și cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată, este realizată prin aplicarea unei metodologii de natură econometrică, folosind ca suport de informare, datele expuse în tabelul 4.1 care se referă la perioada ianuarie-decembrie 2014, pentru un avion Cessna 172S.

Tabelul 4.1. Dinamica lunară a orelor de zbor efectuate, cheltuielile de întreținere, valoarea rămasă neamortizată și cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată, pentru avionul Cessna 172S

Luna	Ore de zbor efectuate	Cheltuieli cu materialele de întreținere (Euro/1 oră)	Cheltuieli cu manopera pentru întreținere (Euro/1 oră)	Cheltuieli totale cu întreținerea (Euro/1 oră)	Coefficientul cheltuielilor de întreținere care revin la 1 euro cost de achiziționare	Valoarea rămasă neamortizată (Euro)	Coefficientul cheltuielilor de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată
Ian.	34,90	17,45	1032,342	1049,792	0,023329	44250	0,023724
Feb.	29,60	14,80	875,5680	890,3680	0,019786	43500	0,020468
Martie	122,80	61,40	3632,424	3693,824	0,082085	42750	0,086405
Apr.	366,30	183,15	10835,15	11018,30	0,244851	42000	0,262340
Mai	420,80	210,40	12447,26	12657,66	0,281281	41250	0,306852
Iunie	219,70	109,85	6498,726	6608,576	0,146857	40500	0,163175
Iulie	264,70	132,35	7829,826	7962,176	0,176937	39750	0,200306
Aug.	186,40	93,20	5513,712	5606,912	0,124598	39000	0,143767
Sept.	132,80	66,40	3928,224	3994,624	0,088769	38250	0,104435
Oct.	149,10	74,55	4410,378	4484,928	0,099665	37500	0,119598
Nov.	63,00	31,50	1863,540	1895,040	0,042112	36750	0,051566
Dec.	12,90	6,45	381,5820	388,0320	0,008623	36000	0,010779

Sursa datelor: Școala Superioară de Aviație Civilă

Reprezentarea grafică a corelației dintre variabilele sistemului supus studiului (Fig. nr.4.1) oferă o informație sugestivă, prin modul de dispunere a norului de puncte, privind forma interdependenței între numărul orelor de zbor efectuate și cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată a avionului Cessna 172S. În această etapă de investigare econometrică considerăm util să se opteze pentru două variante de modele, care vor asigura și un suport metodologic de comparare și de apreciere a viabilității fiecăruia dintre cele două modele:

- o funcție de regresie simplă parabolică care are forma generală: $\hat{y} = a + bx + cx^2$ și
- o funcție de regresie simplă liniară care are forma generală: $\hat{y} = a + bx$

În varianta opțională a modelului parabolic se derulează următoarele operațiuni de calcul și de verificare a ipotezelor statistice.

Estimarea parametrilor din ecuația de regresie simplă parabolică considerată ca formă analitică a sistemului interdependent studiat se realizează cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate și rezultă următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} \Sigma y = na + b\Sigma x + c\Sigma x^2 \\ \Sigma xy = a\Sigma x + b\Sigma x^2 + c\Sigma x^3 \\ \Sigma x^2y = a\Sigma x^2 + b\Sigma x^3 + c\Sigma x^4 \end{cases} \quad ,(4.16)$$

În urma rezolvării sistemului de ecuații se definește modelul econometric al celor două variabile formalizat prin ecuația de regresie: $\hat{y} = 2.488737 + 1226,911 \cdot x + 491,0467 \cdot x^2$

Valorile parametrilor din ecuația de regresie aleasă, care au fost estimate cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate, sunt prezentate în tabelul sinoptic al rezultatelor (Tabelul 4.2).

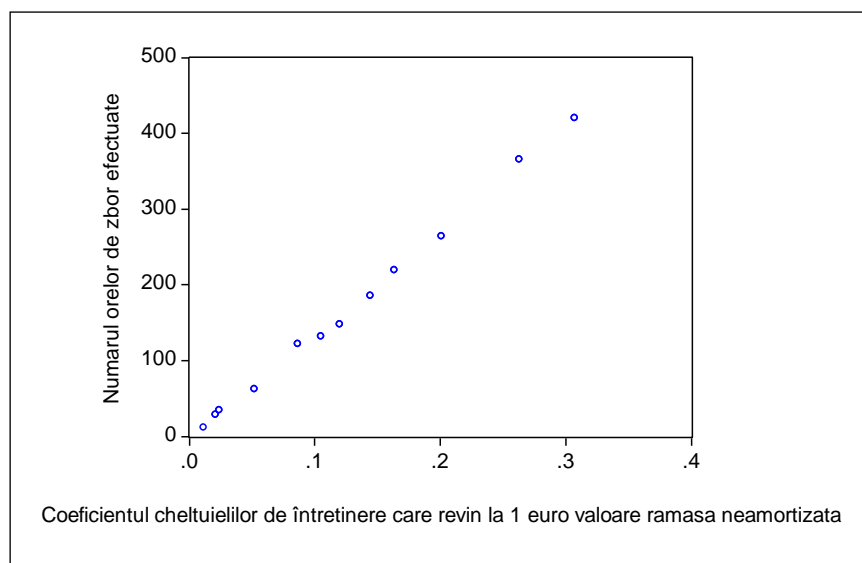


Fig. 4.2 Reprezentarea grafică a corelației dintre dinamica lunară a orelor de zbor efectuate și cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată

Calculul și expunerea grafică a principalilor indicatori de reprezentare econometrică

În varianta modelului parabolic de formalizare matematică a dinamicii numărului orelor de zbor efectuate în funcție de cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată, precum și celelalte rezultate de informare econometrică sunt expuse în „*Tabloul sinoptic al indicatorilor de reprezentare econometrică*”, care permit să se aprecieze nivelul de atestare a viabilității modelului econometric, (Tabelul 4.2).

Tabelul 4.2 Tabloul sinoptic al indicatorilor de reprezentare econometrică care atestă viabilitatea modelului econometric al corelației dintre dinamica numărului orelor de zbor efectuate și cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată (model unifactorial parabolic)

Variabila dependentă (endogenă): Ore de zbor efectuate				
Metoda celor mai mici pătrate				
Perioada supusă analizei : ian. – dec. 2014				
Numărul observațiilor : 12				
Ecuția de regresie: $\hat{y} = a + b \cdot x + c \cdot x^2 \rightarrow \hat{y} = 2.488737 + 1226,911 \cdot x + 491,0467 \cdot x^2$				
Variabile	Coeficientul 1	Estimația erorii standard a coeficientul ui (Std. Error)	t-Statistic	Probabilitate a sau pragul de semnificație
„b”	1226,911	66,51167	18,44656	0,0000
„c”	491,0467	212,6403	2,309284	0,0463
„a”	2,488737	4,097869	0,607325	0,5586
Coeficientul simplu de determinare (R-squared) $R^2_{y,x}$	0,998273	Valoarea medie a variabilei dependente (Mean dependent var) \bar{y}		166,9167
Coeficientul simplu de determinare ajustat (Adjusted R-squared)	0,997889	Estimația abaterii standard a variabilei dependente		131,8296
Estimația erorii standard a ecuației de regresie (S.E. of regression) $\pm \hat{\sigma}_{y,\hat{y}}$	6,056563	Criteriul de informare statistică Akaike		6,652480
Suma pătratului reziduurilor (Sum squared resid) $\Sigma(y - \hat{y})^2$	330,1376	Criteriul statistic Schwarz		6,773707
Log likelihood	-36,91488	F-statistic		2601,269
Coeficientul statistic Durbin- Watson : DW	1,187460	Probabilitatea de a accepta ipoteza nulă sau pragul de semnificație (F-statistic)		0,000000
Raportul de corelație: $R = R_{y;x} = \sqrt{R^2_{y,x}}$	0,9989439			

Notă:

- Indicatorii prezentați în tabloul sinoptic al rezultatelor au fost obținuți cu ajutorul programului informatic Eviews.

- În tabloul sinoptic al rezultatelor sunt expuși și doi indicatori de informare econometrică (Criteriul de informare statistică Akaike și Criteriul statistic Schwarz) care prezintă utilitate atunci când urmează să se ia o decizie cu privire la modelul matematic al corelației, tipologia și numărul variabilelor exogene, în condițiile elaborării mai multor variante de modele, Cei doi indicatori au mărimi apropiate și confirmă o decizie corectă, sau cu atât mai bună, cu cât înregistrează valori mai mici.

Cunoscând că modelul statistico-matematic (econometric) care formalizează interdependența dintre dinamica numărului orelor de zbor efectuate și cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată este reprezentat prin ecuația parabolii: $\hat{y} = 2.488737 + 1226,911 \cdot x + 491,0467 \cdot x^2$, se procedează la o testare a viabilității modelului pe baza raportului de corelație. Se obține o susținere importantă a modelului prin confirmarea ipotezei statistice referitoare la semnificația raportului de corelație dintre cele două variabile care formează sistemul studiat. Pentru aceasta se folosește „**Criteriului F**” iar verificarea propusă se realizează astfel:

Se calculează F -statistic,

$$F - \text{statistic} = \frac{\Sigma(\hat{y} - \bar{y})^2}{k - 1} : \frac{\Sigma(y - \hat{y})^2}{n - k} = \frac{190839,3402}{3 - 1} : \frac{330,1376}{12 - 3} = \\ = \frac{95419,6701}{36,68195556} = 2601,269$$

care se compară cu F – tabelar.

Din tabela cu valorile funcției de repartiție Fisher, se extrage F – tabelar, care corespunde unei probabilități de 95%, ($q = 5\%$) și respectiv numărului gradelor de libertate, $f_1 = k - 1 = 3 - 1 = 2$ și $f_2 = n - k = 12 - 3 = 9$,

$$F - \text{tabelar} = F_{p; f_1=k-1; f_2=n-k} = F_{0,95; f_1=3-1=2; f_2=12-3=9} = 4,26$$

$$F - \text{statistic} = 2601,269 > F - \text{tabelar} = 4,26$$

În cazul corelației de tip parabolic, între dinamica numărului orelor de zbor efectuate și cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată, F – statistic = 2601,269. Se constată astfel că, această mărime, depășește într-o măsură importantă valoarea tabelară care este de 4,26 (F – tabelar = 4,26).

Se confirmă prin această testare, cu deplină încredere, că raportul de corelație este semnificativ diferit de zero sau, cu alte cuvinte, raportul de corelație validează existența unei corelații reale între variabilele sistemului studiat.

Tabelul 4.3 Seria valorilor reale, a nivelurilor estimate privind variabila dependentă (numărul orelor de zbor efectuate) în funcție de cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată, pe baza unui model parabolic și respectiv seria nivelurilor reziduale și plaja rezidurilor

Luna	Ore de zbor efectuate (y)	Valorile estimate ale orelor de zbor efectuate, pe baza modelului parabolic (\hat{y})	Seria valorilor reziduale ($u = y - \hat{y}$)	Plaja reziduurilor $\pm \hat{\sigma}_{y,\hat{y}} = \pm 6,056563$ $-\hat{\sigma}_{y,\hat{y}} \quad 0 \quad +\hat{\sigma}_{y,\hat{y}}$
1	34,90	31,8724	3,02756	. * .
2	29,60	27,8069	1,79309	. * .
3	122,80	112,166	10,6338	. . *
4	366,30	358,151	8,14854	. . *
5	420,80	425,205	-4,40490	. * .
6	219,70	215,765	3,93540	. * .
7	264,70	267,948	-3,24821	. * .
8	186,40	189,028	-2,62754	. * .
9	132,80	135,977	-3,17706	. * .
10	149,10	156,249	-7,14881	* . .
11	63,00	67,0613	-4,06134	. * .
12	12,90	15,7706	-2,87057	. * .
Total	2003,00	2003,00	0,00000	

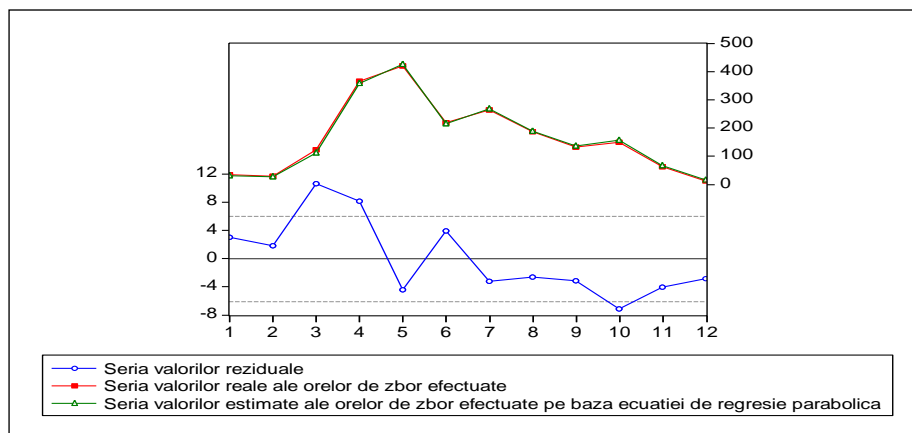


Fig. 4.2 Prezentarea grafică a reziduurilor, a nivelurilor reale și a nivelurilor estimate pentru dinamica numărului orelor de zbor efectuate în funcție de cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată

Histograma și indicatorii de reprezentare statistică ai seriei termenului de eroare (rezidual) sunt prezentate în Fig. 4.3. Indicatorii: media, mediana, valoarea maximă, valoarea minimă, abaterea standard (abaterea medie pătratică), coeficientul de asimetrie (Skewness), coeficientul de boltire-aplatizare (Kurtosis), coeficientul statistic Jarque-Bera ($J-B = 1,207463$) care urmează forma legii de repartiție χ^2 , cu 2 grade de libertate, precum și probabilitatea aferentă coeficientului $J-B$ (54,6767%) asigură în mod explicit caracteristicile statistice ale variabilei reziduale. Acest grupaj de indicatori au ca finalizare informațională, prin mărimea coeficientului statistic Jarque-Bera și a probabilității asociate, testarea modului de dispunere a

variabilei reziduale în raport cu distribuția teoretică normal-normată. Există un suport statistic suficient de a accepta o concluzie de indecizie privind ipoteza de dispunere normală a rezidurilor (de a accepta ipoteza nulă) deoarece coeficientul statistic Jarque-Bera are o mărime de 1,207463 și i se asociază o probabilitate cuprinsă între 50% și 60%, (54,6767%) . Prin această concluzie se susține soluția de indecizie.

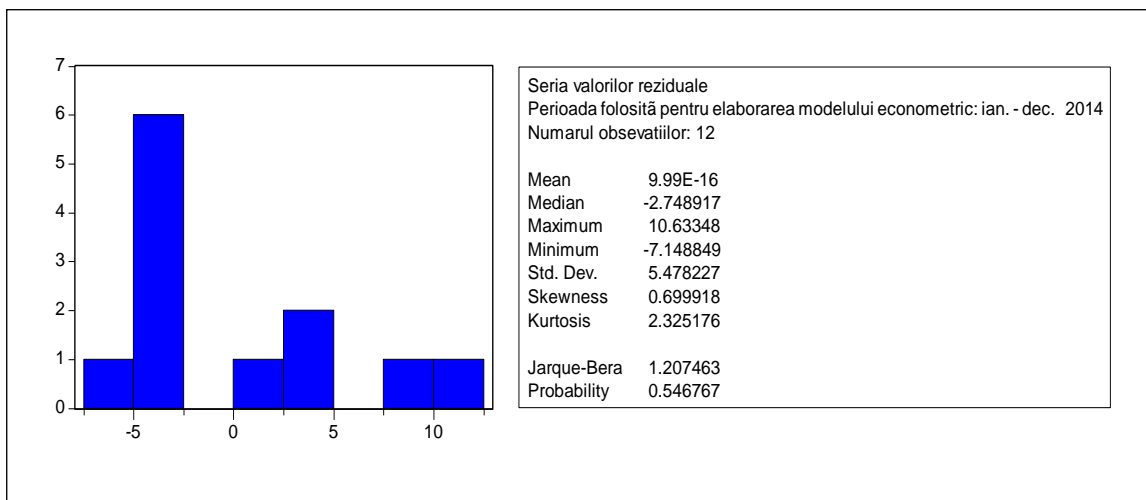


Fig. 4.3 Descrierea statistică a variabilei reziduale și testul de normalitate a repartiției variabilei reziduale (model unifactorial *parabolic*)

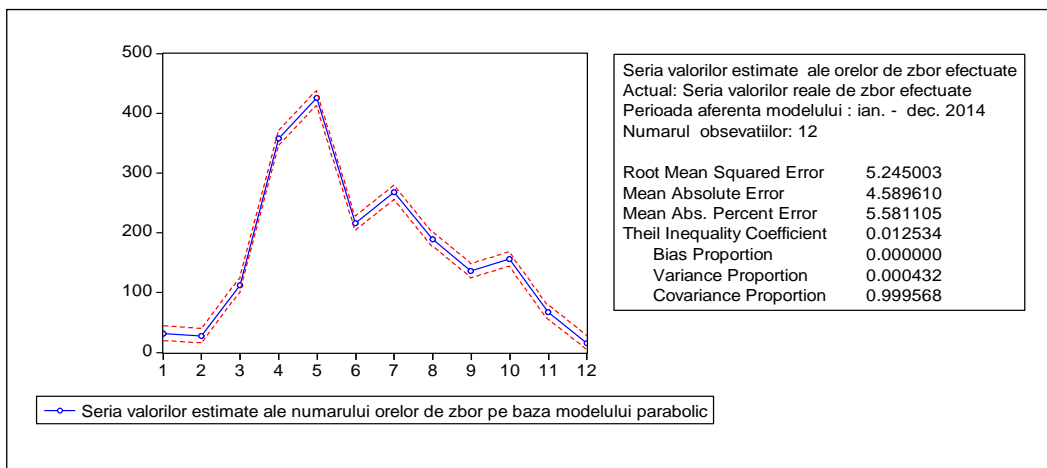


Fig. 4.4 Reprezentarea grafică a seriei cu valorile estimate ale dinamicii numărului orelor de zbor efectuate în funcție de dinamica cheltuielilor de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată și a limitelor care le încadrează în condițiile a $\pm 2,262$ estimății ale erorii medii a ecuației de regresie simple parabolice (pe baza legii de repartiție Student cu dispunere bilaterală a pragului de semnificație)

$$(\pm t_{q=0,05; f=n-k=12-3} \cdot \hat{\sigma}_{y; \hat{y}} = \pm 2,262 \cdot 6,056563)$$

Pentru a testa dacă modelul parabolic prezintă încrederea necesară calculului unor estimări de prognoză se utilizează:

- a - estimarea erorii medii a ecuației de regresie parabolice în formă relativă și
- b- coeficientul de neregularitate (inegalitate) al lui Theil [84,85].

Indicatorii menționați au următoarele expresii și valori:

Estimarea erorii medii a ecuației de regresie parabolice,

$$\text{Expresia absolută: } \hat{\sigma}_{y,\hat{y}} = \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y})^2}{n - k}} = \sqrt{\frac{330,1376}{12 - 3}} = 6,056563$$

$$\text{Expresia relativă: } \hat{V}_{y,\hat{y}} = \frac{\hat{\sigma}_{y,\hat{y}}}{\bar{y}} \cdot 100 = \frac{6,056563}{166,9167} \cdot 100 = 3,6285 \%$$

Coeficientul de neregularitate (inegalitate) al lui Theil

$$Th = \frac{\sigma_{y \cdot \hat{y}}}{\sqrt{\frac{\sum y^2}{n} + \frac{\sum \hat{y}^2}{n}}} \cdot 100 = 1,2534\%$$

Atât estimarea erorii medii a ecuației de regresie parabolice în expresie relativă cât și, coeficientul de neregularitate (inegalitate) al lui Theil, după cum rezultă din figura 4.4, au o mărime care se poziționează sub limita de respingere de 5% și se atestă, astfel, viabilitatea modelului de a reprezenta forma matematică necesară pentru a efectua un calcul de extrapolare.

Starea de heteroscedasticitate/homoscedasticitate a reziduurilor este testată cu ajutorul testului White. Rezultatele înscrise în Tabloul sinoptic al „White Heteroskedasticity Test”, (Tabelul nr.4) au fost obținute prin aplicarea programului informatic Eviews și atestă că variabila reziduală nu este heteroscedastică (se respinge ipoteza de heteroscedasticitate) și deci variabila reziduală este homoscedastică. Concluzia formulată este validată atât în baza „Criteriului F” cât și a „Criteriului χ^2 ”, pragurile de semnificație de 48,8924% și respectiv de 37,6571%, motivează respingerea ipotezei de heteroscedasticitate deoarece depășesc limita maximă admisă de 5%.

Tabelul 4.4 Tabloul sinoptic al „White Heteroskedasticity Test” pentru model unifactorial parabolic

White Heteroskedasticity Test:			
F-statistic „Criteriul F”	0,950530	Probabilitatea (pragul de semnificație)	0,488924
Obs*R-squared = $n \cdot R^2 = 12 \cdot 0,351979$ „Criteriul χ^2 ”	4,223750	Probabilitatea (pragul de semnificație)	0,376571
Testul ecuației de regresie auxiliare; Variabila dependentă: $u^2 = (y - \hat{y})^2$			
Ecuația de regresie auxiliară: $u^2 = z = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4$			

Tabelul 4.4 (continuare)

Metoda celor mai mici pătrate				
Perioada supusă analizei: ian.- dec. 2014				
Numărul observațiilor incluse în cercetare: 12				
Variabile	Coeficientul	Estimația erorii standard a coeficientului	t-statistic	q = pragul de semnificație
„a”	-53,31916	42,71733	-1,248186	0,2521
„b”	4171,048	2255,074	1,849628	0,1068
„c”	-52199,02	30241,81	-1,726054	0,1280
„d”	236928,6	145977,8	1,623046	0,1486
„e”	-353364,6	230494,2	-1,533074	0,1691
R-squared (R^2 - Coeficientul de determinare)	0,351979	Mean dependent var (Valoarea medie a variabilei dependente)		27,51147
Adjusted R-squared (R^2 - ajustat - Coeficientul de determinare corectat)	-0,018318	S.D. dependent var (Estimația abaterii standard a variabilei dependente)		33,07877
S.E. of regression (Estimația erorii standard a ecuației de regresie auxiliare)	33,38037	Akaike info criterion (Criteriul de informare statistică Akaike)		10,14815
Sum squared resid (Suma pătratului reziduurilor)	7799,744	Schwarz criterion (Criteriul statistic Schwarz)		10,35019
Log likelihood	-55,88890	F-statistic		0,950530
Durbin-Watson stat	2,221439	Probabilitatea (pragul de semnificație pentru F-statistic)		0,488924

Pe baza rezultatelor prezentate în *Tabloul sinoptic al „White Heteroskedasticity Test”*, (Tabelul 4.4) se conchide că variabila reziduală nu este heteroscedastică (se respinge ipoteza de heteroscedasticitate) și deci variabila reziduală este homoscedastică, dispersia variabilei reziduale este constantă, deoarece:

Conform „**Criteriului F**” rezultă,

$$F - statistic < F - tabelar = F_{q=0,05; f_1=k-1=5-1=4; f_2=n-k=12-5=7} = 4,12$$

$$F - statistic = 0,950530 < F - tabelar = 4,12$$

$$F - statistic = \frac{\sum_i (\hat{z}_i - \bar{z})^2}{k-1} \div \frac{\sum_i (z_i - \hat{z}_i)^2}{n-k} = 0,950530$$

Se menționează că între sumele abaterilor ridicate la pătrat, care fac obiectul aplicării „Criteriului F”, se poate scrie următoarea relație de recurență:

$$\Sigma(\hat{z}_i - \bar{z})^2 + \Sigma(z_i - \hat{z}_i)^2 = \Sigma(z_i - \bar{z})^2$$

Conform „Criteriului χ^2 ” rezultă,

$$n \cdot R^2 < \chi^2 - \text{tabelar} = \chi^2_{q=0,05, f=k-1=5-1=4} \rightarrow 12 \cdot 0,351979 = 4,223750 < 9,49$$

Pentru a oferi un suport metodologic mai larg s-a procedat și la elaborarea unui model unifactorial liniar al celor două variabile. Forma matematică a modelului (ecuația de regresie liniară) și principalii indicatori de informare și reprezentare econometrică, în această variantă de modelare, sunt prezenteți în tabelul 4.5, fig. 4.5 și fig. 4.6.

Tabelul 4.5 Tabloul sinoptic al indicatorilor de reprezentare econometrică care atestă viabilitatea modelului econometric al corelației dintre dinamica numărului orelor de zbor efectuate și cheltuielile de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată (model unifactorial liniar)

Variabila dependentă (endogenă): Ore de zbor efectuate				
Metoda celor mai mici pătrate				
Perioada supusă analizei : ian. – dec. 2014				
Ecuația de regresie: $\hat{y} = a + b \cdot x \rightarrow \hat{y} = -4,087311 + 1374,064 \cdot x$				
Numărul observațiilor : 12				
Variabile	Coeficientul	Estimația erorii standard a coeficientului (Std. Error)	t-Statistic	Probabilitatea sau pragul de semnificație
„b”	1374,064	22,81851	60,21706	0,0000
„a”	-4,087311	3,527848	-1,158585	0,2735
Coeficientul simplu de determinare (R-squared) $R^2_{y.x}$	0,997250	Valoarea medie a variabilei dependente (Mean dependent var) \bar{y}		166,9167
Coeficientul simplu de determinare ajustat (Adjusted R-squared)	0,996975	Estimația abaterii standard a variabilei dependente		131,8296
Estimația erorii standard a ecuației de regresie (S.E. of regression) $\pm \hat{\sigma}_{y,\hat{y}}$	7,250896	Criteriul de informare statistică Akaike		6,951139
Suma pătratului reziduurilor (Sum squared resid) $\Sigma(y - \hat{y})^2$	525,7549	Criteriul statistic Schwarz		7,031957
Log likelihood	-39,70683	F-statistic		3626,095

Tabelul 4.5 (continuare)

Coeficientul statistic Durbin-Watson : <i>DW</i>	0,410099	Probabilitatea de a accepta ipoteza nulă sau pragul de semnificație (<i>F</i> -statistic)	0,000000
Raportul de corelație: $R = R_{y;x} = \sqrt{R^2_{y,x}}$	0,998624		

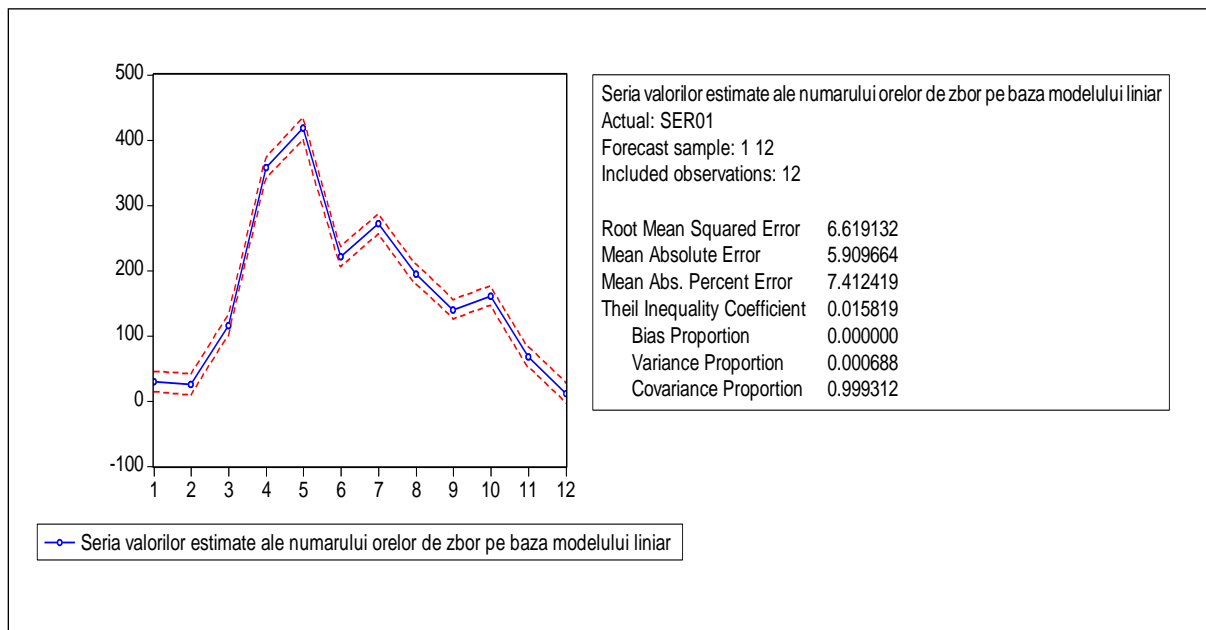


Fig. 4.5 Reprezentarea grafică a seriei cu valorile estimate ale dinamicii numărului orelor de zbor efectuate în funcție de dinamica cheltuielilor de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată și a limitelor care le încadrează în condițiile a $\pm 2,228$ estimării ale erorii medii a ecuației de regresie simple liniare (pe baza legii de repartiție Student cu dispunere bilaterală a pragului de semnificație)

$$(\pm t_{q=0,05; f=n-k=12-2} \cdot \hat{\sigma}_{y;\hat{y}} = \pm 2,228 \cdot 7,250896)$$

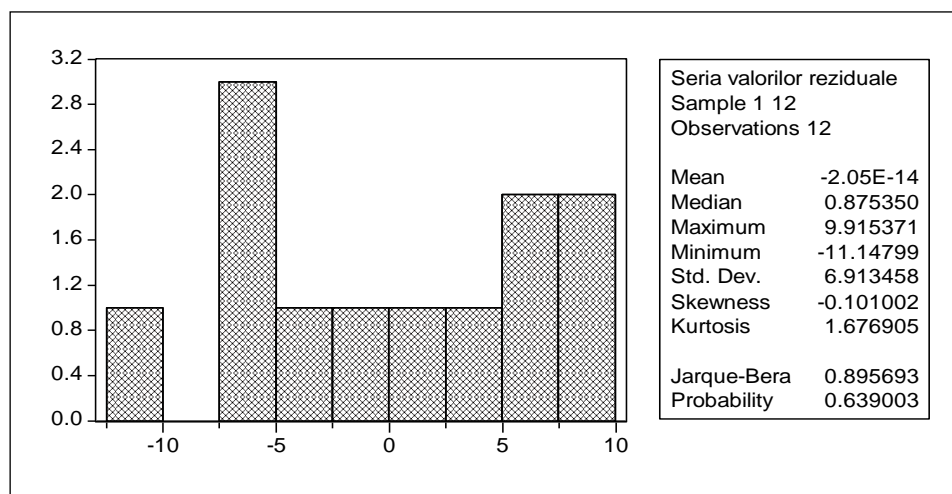


Fig. 4.6 Descrierea statistică a variabilei reziduale și testul de normalitate a repartiției variabilei reziduale (model unifactorial liniar)

În tabelul care sintetizează în mod comparativ rezultatele aferente celor două modele, parabolic și liniar (tabelul nr. 6), se identifică valori foarte apropiate, cu un nesemnificativ „plus” în favoarea modelului unifactorial parabolic. Se conchide, astfel, că cele două modele sunt echivalente, oricare din ele asigură o reprezentare matematică acceptabilă.

Tabelul 4.6 Tabel cu rezultate comprative ale modelului unifactorial parabolic cu modelul unifactorial liniar

Denumirea indicatorului de reprezentare econometrică	Model unifactorial parabolic	Model unifactorial liniar
Coeficientul simplu de determinare	0,998273	0,997250
Raportul de corelație	0,9989439	0,998624
Coeficientul de neregularitate/inegalitate al lui Theil	1,2534%	1,5819%
Jarque-Bera	1,207463	0,895693
Probabilitatea asociată	54,6767%	63,9003%
Estimația erorii standard a ecuației de regresie	6,056563	7,250896
Criteriul de informare statistică Akaike	6,652480	6,951139
Criteriul statistic Schwarz	6,773707	7,031957

În concluzie, se poate considera că modelul unifactorial parabolic al dinamicii numărului orelor de zbor efectuate în funcție de dinamica cheltuielilor de întreținere care revin la 1 euro valoare rămasă neamortizată are o viabilitate superioară celui liniar dar limitată în special atunci când se intenționează a fi efectuate calcule de extraploare sau de interpolare. Modelul poate fi reținut și constituie o soluție matematică de formalizare a unei legități statistice relativ sigură, între variabilele incluse în model, ca sursă de justificare a unor decizii de intervenție operațională și funcțională pentru siguranța zborului avionului **Cessna 172 S**.

În acest context al rezultatelor, care susțin viabilitatea modelului, se conchide că menținerea la un nivel optim al cheltuielilor cu întreținerea avionului propagă o dinamică pozitivă a numărului orelor de zbor. Cheltuielile de întreținere se referă atât la cele de natura materialelor utilizate cât și a manoperei pentru includerea acestora în operă.

4.3. Dezvoltări și contribuții privind aplicarea unor metode și tehnici moderne în mentenanța proactivă a echipamentelor industriale

Având în vedere stadiul actual al mentenanței proactive prezentat în subcapitolul 1.8 (pg.12) și punctul A.4 (pg.41), pe baza cercetărilor bibliografice efectuate de autoare pentru a răspunde obiectivelor tezei de doctorat, în continuare se vor analiza unele abordări ale mentenanței proactive sub aspectul practicii industriale.

După efectuarea analizei comparative a cauzelor care conduc la defectarea echipamentelor s-a remarcat faptul că efectul major în defectarea echipamentelor îl constituie fenomenul de uzare care conduce la apariția vibrațiilor, respectiv a funcționării necorespunzătoare datorată dezaxărilor între componentele ansamblărilor. De aceea, în continuare, autoarea prezintă problema mentenanței proactive și a rezolvării practice în condițiile apariției anumitor factori perturbatori, după cum urmează:

a. VIBRAȚII

Implementarea noului concept computerizat

Proiectarea și implementarea noului concept (sistem computerizat) trebuie să se realizeze ca o necesitate și de așa natură, încât să răspundă la următoarele cerințe:

- noul sistem să fie practic;
- să se realizeze etapizat;
- să corespundă scopului pentru care a fost creat;
- să cuprindă toate activitățile specifice mentenanței;
- să cuprindă toate activitățile tehnice și economice (planificarea, programarea, lansarea și urmărirea lor);

Diagnosticarea prin zgomot

Numeroase cercetări experimentale și teoretice demonstrează că între nivelul de vibrații și cel de zgomot, între caracteristicile de vibrație și cele de zgomot (zone dominante și vârfuri în frecvență, etc.) pentru toate elementele mașinilor în funcționare, există corelații.

Diagnosticarea prin zgomot a stării de funcționare apare ca o soluție imediată, mai ales în aprecierile subiective, pe de o parte prin simplitate și productivitate și pe de altă parte prin sensibilitatea deosebită în comparație cu cea a organului auditiv. În alte cazuri, zgomotul este un parametru preferat de beneficiar în considerarea calității, în legătură cu anumite condiții de utilizare (rulmenți pentru motoare electrice, aparatură electrocasnică etc.). În sfârșit, diagnosticarea prin zgomot poate urmări scopuri de cercetare, de fundamentare și de cuantificare a corelației zgomot-vibrații.

Diagnosticarea vibroacustică a organelor de mașini

Diagnosticarea transmisiilor prin roți dințate

Surse de vibrații și zgomot la angrenaje

De obicei, angrenajele reprezintă cele mai importante surse de zgomote și vibrații din structura mașinilor și utilajelor mecanice, având o pondere însemnată în determinarea nivelului global de zgomot și vibrații. Creșterea puternică a puterii și a vitezelor la mașinile moderne, concomitent cu reducerea gabariturii, poate determina o înrăutățire a comportării vibroacustice a transmisiilor prin roți dințate, mai ales atunci când în faza de proiectare, execuție și montaj, nu au fost urmărite criteriile de optimizare din acest punct de vedere.

Pentru studiul comportării vibroacustice a transmisiei prin roți dințate trebuie stabilite mecanismele de excitație ale sistemului. Sursele de excitație în funcționarea transmisiilor prin roți dințate pot fi interne sau externe sistemului.

Diagnosticarea în controlul tehnologic

Diagnosticarea prin vibrații sau zgomot în fluxul tehnologic se recomandă în vederea obținerii unei indicații globale asupra preciziei de execuție și a eficienței operațiilor de spălare, îndeosebi pentru rulmenții de dimensiuni mici și mijlocii, destinați unor aplicații cu pretenții de silențiozitate, vibrații reduse sau uniformate în rotire.

Datorită dificultăților de amenajare a spațiilor în care se face măsurarea (camere anecoide), diagnosticarea prin zgomot se utilizează rar și numai la cererea beneficiarului, pe baza unor instrucțiuni unificate. Diagnosticarea prin controlul uniformității de rotire este de asemenea limitată la aplicații speciale.

Controlul, monitorizarea și diagnosticarea rulmenților în funcțiune

În vederea prevenirii unei deteriorări brutale a rulmentului, cu consecințe în defectarea altor elemente ale utilajului în funcțiune, cu costuri mari de reparație (rulmenți pentru lagăre mari, roți de autovehicule, etc.), se recomandă controlul și monitorizarea în funcționare. Se preferă și în acest caz controlul prin vibrații, cu aparatură mobilă sau fixă, cu prelevări de date la intervale determinate de timp, sau în mod continuu, cu informație pentru un singur punct de control, sau pentru mai multe, concomitent sau prin multiplexare.

Metoda cea mai simplă constă în utilizarea sondei acustice, așezată cât mai aproape de rulmentul controlat; sonda transmite prin contact direct aparatului auditiv vibrațiile captate prin contact direct, oferind astfel informații cu caracter subiectiv asupra stării rulmenților.

Diagnosticarea lagărelor cu alunecare

Deși lagărele cu alunecare ca surse de zgomot și vibrații sunt neglijabile în construcția mașinilor și utilajelor mecanice, acestea pot determina o perturbație suplimentară în funcționarea lanțurilor cinematice, de regulă cu efect secundar, și reprezintă o cale importantă de transmitere a energiei de vibrație la carcasă.

În cazul lagărelor cu alunecare, zgomotul și vibrațiile generate în timpul funcționării sunt determinate în principal de frecare.

Alimentarea insuficientă cu lubrifianț a lagărului, supraîncărcarea acestuia sau inversarea sensului de rotație a fusului, conduce la micșorarea peliculei de lubrifianț și apariția fenomenului „de arcuș”, care produce un zgomot al cărui spectru prezintă vârfuri la o frecvență egală cu frecvența de rotație a arborelui, și, respectiv, la armonicele acesteia.

b. Excitații determinate de abateri dimensionale și de formă geometrică

Abateri dimensionale la organele de mașini ce realizează contact cu rostogolire.

O analiză globală cu considerarea simultană a tuturor erorilor dimensionale și de formă fiind practic imposibil.

O analiză a influenței separate a diverselor erori asupra spectrului energiei vibrațiilor este însă posibilă.

Dezechilibrări. Atunci când centrul de masă al unui organ în mișcare de rotație nu coincide cu centrul de rotație se creează o dezechilibrare statică.

Măsurarea rectilinității. În programul de măsurare a rectilinității este utilizată ca referință raza laser, cu ajutorul unității ED, măsurându-se deviații (ca distanța între raza laser și obiectul măsurat) în 2 sau mai multe poziții.

Măsurarea ovalității. Cuptorului cu aparatul SHELLTEST. Măsurările cu aparatul SHELLTEST, redau grafic, pe o diagramă, variația deformațiilor unui punct de pe mantaua cuptorului pe parcursul unei rotații complete, deducându-se prin aceasta ovalitatea cuptorului.

c. Dezaxarea. Vibrațiile datorate dezaxărilor sunt caracterizate prin existența în spectru, atât a unei componente cu frecvență egală cu cea a frecvenței de rotație.

Nealinierile vă pot costa bani și timp. Peste 50% din căderile mașinilor dinamice rotative se datorează nealinierilor dintre elementele în cuplare. Aceste căderi vor cauza opriri de producție care înseamnă în mod direct costuri mai mari. În plus, o nealinierie înseamnă o suprasarcină pe elementele componente ale mașinii – arbori, rulmenți, etanșări, cuplaje, rezultând într-o uzură a acestora.

Nealinieria este prezentă atunci când centrele de rotație ale arborilor celor două mașini în cuplare nu coincid. Există două tipuri de nealinierie: paralelă și unghiulară. În cele mai multe situații, nealinieria mașinilor este cauzată de combinația acestor două tipuri.

d. Jocurile mecanice. Existența de jocuri între elementele unei ansamblări, solicitată de o sarcină cu evoluție armonică în timp, modifică forma răspunsului care, deși periodic, nu mai este armonic.

e. Rezonanțe mecanice. Pentru utilajele mecanice regimul de rezonanță se realizează atunci când frecvența de rotație sau armonică ale acesteia vor coincide cu una dintre frecvențele proprii ale arborilor, carcasei sau ale unor structuri atașate. Vibrațiile datorate rezonanței mecanice sunt ușor de diagnosticat, întrucât modificarea frecvenței de rotație, diferențierea de alte cauze posibile se realizează cu ajutorul fazei, care nu se menține constantă în raport cu turația.

f. Detectorul de neetanșeități LDE – 10, localizează scurgerile interne și externe la sistemele sub presiune. În combinație cu un generator de ultrasunete, se utilizează la verificarea etanșeității rezervoarelor, containerelor și automobilelor.

Stetoscopul ELS – 12, este un instrument sensibil auditiv folosit pentru localizarea oricăror surse de zgomot ale mașinilor.

În urma celor prezentate în acest capitol se menționează existența unui demers larg al tehnicilor și instrumentelor utilizate în practica mentenanței preventiv-proactive. Modul de aplicare al acestora depinde de complexitatea activităților desfășurate, tipul de organizație industrială și infrastructura aferentă acestora (tipuri de utilaje, resurse umane, mijloace de diagnostic, etc.)

CAPITOLUL 5.

CONTRIBUȚII PERSONALE. DEZVOLTĂRI VIITOARE ȘI MODALITĂȚI DE VALORIFICARE AL REZULTATELOR CERCETĂRILOR

5.1. Concluzii finale privind cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat

În urma cercetărilor bibliografice efectuate și a studiilor teoretice și aplicative prezentate în teza de doctorat se pot evidenția următoarele rezultate și concluzii, după cum urmează:

- calitatea produselor industriale este determinată de un număr apreciabil de caracteristici dintre care cele de fiabilitate și mentenanță, ca o exprimare a acestora la utilizator;
- se apreciază ca activitatea de mentenanță poate fi considerată ca o investiție în viitor, deoarece creșterea productivității și preciziei echipamentelor impun desfășurarea proceselor de fabricație în mod continuu fără apariții de defectări;
- se impune creșterea preocupărilor pentru monitorizarea funcționării utilajelor prin aplicarea metodelor și tehnicilor de diagnoză specifice mentenanței proactive.
- ca urmare, a complexității organizării și planificării activităților de mentenanță este oportună colectarea de informații privind starea de funcționare a echipamentelor;
- în cazul apariției defectărilor echipamentelor este necesară stabilirea volumului resurselor umane și materiale pentru micșorarea timpilor de reparații și a reducerii costurilor acestora;
- odată cu **apariția standardelor din seria ISO 31000(managementul riscului)** și tehnici și instrumente în managementul riscului (ISO 31010), respectiv sisteme de management al calității - **SR EN ISO 9001:2015** și sisteme de management al mediului - **SR EN ISO 14001:2015**, **apara ca oportună abordarea globală a managementului activităților de mentenanță cu impact asupra calității și mediului;**
- apare ca oportună elaborarea documentației specifice de mentenanță, care prin caracterul său de informații documentate să fie în concordanță, cu cerințele standardelor mai sus menționate.

5.2. Contribuțiile personale ale autorului în domeniul cercetat

În cadrul cercetărilor teoretice și practice desfășurate în domeniul tezei de doctorat autorul evidențiază următoarele dezvoltări, contribuții și rezultate, după cum urmează:

A. În domeniul cercetărilor teoretice

- s-a efectuat o analiză privind oportunitatea temei și a modului de abordare din punct de vedere teoretic și practic a cercetărilor;
- s-a efectuat o **analiză a stadiului actual** al cercetărilor referitoare la calitatea produselor și a ciclului de viață a acestora;
- s-a efectuat o analiză a cadrului teoretic privind **locul, rolul și evoluția** activităților de mentenanță în cadrul sistemului organizațional;
- s-a prezentat o **sinteză a principalelor concepte și parametrii** ai mentenanței produselor industriale;
- s-a efectuat o analiză comparativă a **metodelor de analiză și evaluare** a mentenanței echipamentelor industriale;

- s-a prezentat într-o formă sintetică **principalii indicatori de evaluare** tehnico-economică a mentenanței, cu referire la disponibilitatea echipamentelor, al costurilor de reparații, productivității și timpului;
- s-a prezentat un **studiu analitic** privind **determinarea momentului optim de înlocuire** a unui echipament având în vedere că în faza finală a ciclului de viață al acestuia singura soluție o reprezintă înlocuirea cu un echipament nou care să corespundă din punct de vedere al performanțelor și al costurilor de achiziție;
- s-a efectuat o **analiză a modelelor și strategiilor economice** în managementul mentenanței folosind metode ale cercetărilor operaționale, respectiv analiză economică pe baza de costuri;
- **s-a elaborat de către autor un set de documente specifice activității de mentenanță** a produselor industriale care se caracterizează prin nivel de ridicat de generalitate fiind utile pentru organizații care nu au externalizat aceste activități, ele fiind desfășurate intern.

B. În domeniul cercetării aplicative

- având în vedere importanța resurselor umane, respectiv stabilirea necesarului corespunzător al acestora pentru activitățile de mentenanță **s-a efectuat un studiu de caz**, cu date virtuale în care autorul a utilizat tehnici ale cercetării operaționale, respectiv teoria lanțurilor Markov;
- deoarece buna desfășurare a activităților de mentenanță necesită existența pieselor de schimb, autorul efectuează **un studiu de caz** (cu date virtuale) pentru **stabilirea nivelului optim** al stocului pieselor de rezervă;
- elaborarea în urma participării directe a autoarei, a unui studiu de caz privind determinarea cheltuielilor cu mentenanța și **elaborarea unui model econometric** în cadrul unui atelier din industria aeronautică, respectiv pentru repararea avionului Cessna 172S. Acest model econometric prezintă o importanță și utilitate corectă la fundamentarea deciziilor care vizează creșterea performanțelor de zbor ca durată și nivel de siguranță.
- de remarcat, modul de **utilizare a metodelor specifice statisticii matematice**, respectiv a interpretării indicatorilor econometrici pentru evaluarea viabilității modelului;
- evidențierea și dezvoltarea cu focalizarea pe practică a metodelor și tehnicilor moderne utilizate în mentenanța proactivă a echipamentelor industriale. Oportunitatea acestor abordări constă în aceea că în prezent există tendința de dezvoltare a preocupărilor direcționate spre **monitorizarea și diagnoza funcționării** echipamentelor ca o garanție a micșorării numărului de defectări, a întreruperilor în funcționare și a creșterii productivității acestora.

5.3. Dezvoltări viitoare aduse în domeniul cercetat

Având în vedere studiile teoretice și aplicative elaborate și prezentate în cadrul tezei de doctorat se pot prevedea noi dezvoltări orientate spre următoarele aspecte:

- dezvoltarea metodelor și tehnicilor specifice ale managementului riscurilor în activitatea de mentenanță;
- dezvoltarea și aplicarea rațională a tehnicilor și metodelor de diagnoză a funcționării echipamentelor industriale;
- dezvoltarea unui sistem centralizat de baze de date privind factorii și analiza defectărilor echipamentelor;
- elaborarea și aplicarea pe scară extinsă a unor soft-uri privind baze de date informaționale (de tip SIVECO Maintenance);

- creșterea nivelului de cunoștințe și capabilității lucrătorilor specializați în activitatea de mentenanță;
- extinderea aplicării metodei T.P.M. în activitățile de mentenanță;
- aplicarea în practica românească a metodei LEAN Maintenance;
- abordarea cu o mai mare responsabilitate a activităților de mentenanță la nivel organizațional, una din soluții fiind cea a implementării sistemelor integrate de management, respectiv sistemul calitate-risc, etc.

5.4. Modalități de valorificare a cercetărilor efectuate

În cadrul pregătirii doctorale, respectiv în desfășurarea acesteia s-au valorificat prin:

- publicare – a unui număr de 5 lucrări științifice, în reviste sau buletine științifice, și anume:
 - Bendic V., Mohora Cristina, Tilina Dana și **Turcu Elisabeta** „Econometric Model of Multiple Equation of Different Shape” 28th IBIMA Conference, *Seville, Spain, 9 - 10 November 2016*, <http://www.ibima.org/SPAIN2016/papers/vcde.html> ;
 - Bendic V., Mohora Cristina, Tilina Dana și **Turcu Elisabeta** „Multifunctional Econometrics Models of Turnover Dynamics of using Primary Factors of the Economic Process” 28th IBIMA Conference, Seville, Spain, 9-10 November 2016, <http://www.ibima.org/SPAIN2016/papers/vctt.html>;
 - *Iacob, Oana Camelia, Volintiru Ana-Maria, Cristea Anca, Turcu Elisabeta* – Sustainable position of european countries based on life expectancy at birth and the risk of poverty, Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development, Vol. 15, Issue 4, 2015 http://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.15_4/Art18.pdf;
 - *Ustinia Răchită, N. Mihăilescu, Turcu Elisabeta, V.A. Turcu* – Estimarea fondului de rulment financiar al operatorilor economici – Revista Corpului Experților Contabili și Contabililor Autorizați din România;
 - *Ustinia Răchită, N. Mihăilescu, Turcu Elisabeta, V.A. Turcu* – Analiza dinamicii ratei rentabilității economice și ratei rentabilității capitalului permanent la o societate comercială- – Revista Corpului Experților Contabili și Contabililor Autorizați din România.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Achermann, D.* - Maintenance Strategies under Consideration of Logistic Processes, ISBN – 9783838110165 - Editura Sudwestdeutscher Verlag ffor Hochschulschriften AG, Saarbrücken, Germany, 2009.
- [2] *Andrescu, C.* – Fiabilitatea și mentenanța autovehiculelor, Curs Universitatea Politehnică din București, 2007.
- [3] *Băjescu, T.* – Fiabilitatea sistemelor tehnice, Editura MatrixRom, București, 2003.
- [4] *Belu, N.* - Contribuții privind aplicarea unor metode moderne de managementul calității în producția de componente auto, Universitatea Politehnică din București, București, 2014, teză de doctorat.
- [5] *Ben-Daya, M., Duffuaa, S.O., Abdul, Raouf, A.* – Handbook of Maintenance Management and Engineering, Editura Kluwer Academic Publishers Norwell, massachusetts, USA, 2000.
- [6] Bendic V., Mohora Cristina, Tilina Dana și **Turcu Elisabeta** „Econometric Model of Multiple Equation of Different Shape” 28th IBIMA Conference, *Seville, Spain, 9 - 10 November 2016*, <http://www.ibima.org/SPAIN2016/papers/vcde.html>
- [7] Bendic V., Mohora Cristina, Tilina Dana și **Turcu Elisabeta** „Multifunctional Econometrics Models of Turnover Dynamics of using Primary Factors of the Economic Process” 28th IBIMA Conference, Seville, Spain, 9 - 10 November 2016, <http://www.ibima.org/SPAIN2016/papers/vctt.html>
- [8] *Boriss, S.* – Total Productive Maintenance, Editura McGraw- Hill Education, 2006.
- [9] *Bush L.* – Maintenance policy and procedures, Edition 2, Editura MPI Publishing, 2008.
- [10] *Cârlan, M.* – Probleme de optimizare în ingineria sistemelor tehnice, Editura Academiei Române, București, 1994.
- [11] *Ceașu, I.* – Dicționar enciclopedic managerial, Editura Academică de Management, București, 2000.
- [12] *Ceașu, I.* – Compendiu managerial - excelență în management, Editura Academică de Management, București, 2004.
- [13] *Ciobanu, L.* – Fiabilitate, diagnoză și elemente de calimetrie, Matrix Rom, București, 2008.
- [14] *Costăchescu, T.* – Defecte și accidente în aviație. Măsuri de prevenire, Editura Tehnică, București, 1993.
- [15] *Costinaș, Sorina* – Managementul mentenanței stațiilor electrice, Editura Electra, București, 2005.
- [16] *Dahlgaard, J.J., Kristensen K. Kanji G.P.* – Fundamentals of Total Quality Management, Editura Routledge Taylor & Francis Group, 2005.
- [17] *Deac, V.* – Managementul mentenanței industriale, Editura Eficient, București, 2000.
- [18] *Deneș, C.I.* – Fiabilitatea și mentenabilitatea sistemelor tehnice, suport de curs, Universitatea Lucian Blaga din Sibiu, 2006.
- [19] *Duca, Mioara* – Contribuții privind asigurarea calității și controlul preciziei în procesul de mentenanță preventivă a motoarelor de aviație, Universitatea Politehnică din București, teză de doctorat
- [20] *Fodor, A.N.* – Cercetări privind optimizarea mentenanței la tractoarele agricole, Universitatea Transilvania, Brașov, 2011, rezumat teză de doctorat
- [21] *Ghosh, P., K.* – Industrial marketing, Oxford University Press, India, 2008.
- [22] *Goetsch, D., Davis, S.* – Introduction to total quality, Prentice Hall, Columbus Ohio, 1997.
- [23] *Greco, Iuliana* – Contribuții privind extinderea sistemului de management al calității la disponibilitatea produselor industriale, Universitatea Politehnică din București, 2014 (teză de doctorat).
- [24] *Gulati, R., Smith, R.* – Maintenance and Reliability Best Practices, Editura Industrial Press Inc., New York, USA, 2008.
- [25] *Hiatt, B.,* - Cele mai bune practici în mentenanță. Mobil Industrial AG-@2011>net. www.mobilindustrial.ro.
- [26] *Hohan, I.* – Tehnologia și fiabilitatea sistemelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.

- [27] <http://www.ttonline.ro/>
- [28] http://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.15_4/Art18.pdf .
Iacob, Oana Camelia, Volintiru Ana-Maria, Cristea Anca, Turcu Elisabeta – Sustainable position of european countries based on life expectancy at birth and the risk of poverty, *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development, Vol. 15, Issue 4, 2015*
- [29] *Ionescu (Căș. Mândru), Lidia* - Cercetări privind evaluarea riscului într-un sistem de management integrat calitate – risc pentru societățile industriale, Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 2010 (teză de doctorat).
- [30] *Ireson, W.G., Coombs, C.F., Smiley, R.W.* - Handbook of Reliability Engineering and Management, McGraw Hill Book, New York, 1988.
- [31] *Isaic-Maniu, A., Andrei T.* – Costul fiabilității și mentenanței sistemelor complexe cu degradare continuă, - *Revista Informatica Economică*, nr. 2 (22)/2002
- [32] *Jardine, A.K.S., Tsang, A.H.C.* - Maintenance, Replacement and Reliability, ISBN - 9780849339660,2005.
- [33] *Jean Faucher* - Practique de l'Amdec. Assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits, équipements at procédés, ediția 2, ISBN 9782100530168, Editura Dunod, 2009.
- [34] *Kelly, A.* – Maintenance Organization and Systems, Editura Elsevier Science, Amsterdam, Holland, 1997.
- [35] *Kelly, A.* – Maintenance Systems and Documentation, Editura Elsevier Science, Amsterdam, Holland, 2006.
- [36] *Kennedy, S.* – New tools for predictive maintenance, Plant Services, 2006.
- [37] *Klim, Zdzislaw* – Fiabilité et Maintenabilité des systèmes mécaniques, École Poly technique de Montréal, Janvier, 1995.
- [38] *Krit, M., Rebai, A.* - Evaluation of the Maintenance Efficiency Based on Reliability, ISBN – 9783838397290, Editura Lambert Academic Publishing AG & Co. KG, 2010.
- [39] *Lawrence D.* - Maintenance of Instruments & Systems, ISBN – 9781556178795, Editura Instrumentation, Systems and Automation Society, 2004.
- [40] *Leașu (căs. Dinu), Mirela* - Cercetări privind fiabilitatea robinetelor din circuitele de transport a produselor petroliere, Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 201, teză de doctorat.
- [41] *Levitt, J.* – Lean Maintenance, Industrial Press, New York, 2008.
- [42] *Maghiari, Elena* - Contribuții la elaborarea unui software integrabil unui model de management al relațiilor cu clienții privind calitatea autoturismelor în perioada de garanție, Universitatea Politehnică din București, București, 2007, teză de doctorat.
- [43] *Manea, C., Costache, D.*, - Calitatea și Fiabilitatea Autovehiculelor. Elemente de Tehnologie, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1998.
- [44] *Manzini, R., Regattieri, A., Pham, H., Ferrari, E.* - Maintenance for Industrial Systems ISBN - 9781848825741, Editura Springer Verlag London Limited, United Kingdom, 2009.
- [45] *Militaru, C.* – Fiabilitatea și precizia în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1987.
- [46] *Militaru, C., Greabu, Alex.* – Calitate și standardizare în ingineria mecanică, STANDARDIZAREA, București, 2009.
- [47] *Mobley, K., Higgins, L.R., Wikoff, D.J.* - Maintenance Engineering Handbook, Ediția 7, ISBN - 9780071546461, Editura McGraw Hill Standard Handbooks, 2008.
- [48] *Mobley, R.K.* – An introduction to Predictive Maintenance, Maintenance Organization and Systems, Editura Elsevier Service, Amsterdam, Holland, 2002.
- [49] *Moro, N.* - Cercetări privind îmbunătățirea calității sistemelor tehnice militare aflate în exploatare, Universitatea Lucian Blaga din Sibiu, Sibiu, 2011, teză de doctorat.
- [50] *Moro, N.* - Reliability of Technical Systems – Concept, Classification and Quantification - The XI-th International Conference "Scientific Research and Education in Air Force", "Henri Coanda" Air Forces Academy, 20-22 may 2009, pag. 948-952, 4 pag, Air Forces Academy Publishing House, ISBN 978-973-8415-67-6,2009.

- [51] *Moro, Nicolae, Simion, Carmen* – A failure modes and effects analysis of the Corrective Maintenance Process, The 16th International Conference "The Knowledge-Based Organization", "Nicolae Bălcescu" Land Forces Academy, Land Forces Academy Publishing House, ISSN 1843-6722,2010.
- [52] *Moro, Nicolae, Simion, Carmen* - The Theory of the Wear in the Reliability Engineering, The 15th International Conference "The Knowledge-Based Organization", "Nicolae Bălcescu" Land Forces Academy, Land Forces Academy Publishing House, ISSN 1843-6722, 2009, ISI:000277288700016.
- [53] *Munteanu, T. Și colectiv* – Fiabilitate și Calitate în Ingineria Electrică – Note de curs, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, 2009.
- [54] *Nakagawa, T. -*, Maintenance Theory of Reliability, ISBN – 9781852339395, Editura Springer Verlag London Limited, United Kingdom, 2005.
- [55] *Neagu, C. și colectiv* – Ingineria și managementul producției, Editura Didactică și Pedagogică, 2006.
- [56] *Oakland, J.* – Total Quality Management, Routledge, London, 2003.
- [57] *Oprean, C., Kifor, C.V.* – Managementul integrat al calității, Editura Universității Lucian Blaga din Sibiu, 2005.
- [58] *Palmer, R.D.* - Maintenance Planning and Scheduling Handbook, ISBN - 9780071457668 Editura McGraw-Hill Education, 2006.
- [59] *Panaite, V., Gh. Munteanu, I. R.* – Control statistic și fiabilitate, Editura MatrixRom, București, 2003.
- [60] *Panaite, V., Gh. Munteanu, I.R.* – Control statistic și fiabilitate, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [61] *Perșu, A.* - Cercetări privind fiabilitatea și mentenanța sistemelor mecanice din centralele termoelectrice, Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial, Brașov, 2013, teză de doctorat.
- [62] *Petrescu, A.* – Contribuții privind studiul efectelor economice la implementarea sistemului de management al calității în domeniul aviației civile de transport, Universitatea Politehnică din București, 2007, teză de doctorat
- [63] *Petrescu, Ligia* - Cercetări privind disponibilitatea motoarelor cu Ardere Internă de Fabricație Românească, Universitatea Politehnică București, 1999, teză de doctorat.
- [64] *Popa, I.C.* - Contribuții privind îmbunătățirea siguranței în funcționarea echipamentelor tehnologice, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Iași, 2011, rezumat teză de doctorat.
- [65] *Purcărea, A.A.* – Management și inginerie industrială, Editura Niculescu, București, 2003.
- [66] *Pyzdek, Th., Keller, P.* – The handbook for quality management, McGraw-ttill Company, New York, 2013.
- [67] *Rață, V., Militaru, C.* – Calitatea produselor industriale, Editura BREN, București, 2002.
- [68] *Rey, F.J., Martin-Gil, J., Velasco, E.* – Life Cycle, Assesment and external environmental cost analysis of heat pumps, Environmental Engineering Science, September 2004.
- [69] *Richet, D., Gabriel, M.* – Maintenance sur la Fiabilite, Editura Masson, Paris, 1996.
- [70] *Rogers, D.A., Vemuri, V.* – Artificial Neural Networks, IEEE Computer Society, 1993.
- [71] *Roșca, C.* – Strategia reparațiilor în sistemele industriale, scrisul românesc, Craiova, 1981.
- [72] *Rudman, J.* - Maintenance Mechanic, ISBN – 9780837313573, Editura National Learning Corporation, New York, USA, 2006.
- [73] *Sahin, I., Polatoglu, H.* - Quality, Warranty and Preventive Maintenance, ISBN 9780792382928, Editura Kluwer Academic Publishers Norwell, MA, USA, 1998.
- [74] *Scriciu, L.* - Sisteme de Mentenanță, Editura Universității Naționale de Apărare, București, 2007.
- [75] *Șerbu, T.* – Fiabilitatea și riscul instalațiilor, Editura MatrixRom, București, 2000.
- [76] *Siteanu, E.* - Teoria Mentenabilității, Editura Universității Naționale de Apărare, București, 2005.
- [77] *Siteanu, E., Andronic, B.* - Managementul Mentenanței, Editura Universității Naționale de Apărare, București, 2007.

- [78] *Smith, R. Mobley, R.K.* - Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers, ISBN - 9780750678629 Editura Elsevier Science, Amsterdam, Holland, 2007.
- [79] *Souris, J.P.* – La maintenance, source des profits, Les Editions d'Organisation, Paris, 1990
- [80] *Stephens, M.P.* - Productivity and Reliability-Based Maintenance Management, ISBN – 9781557535924, Editura Purdue University Press, West Lafayette, Indiana, USA, 2010.
- [81] *Știrbu, C., Știrbu, L.* – Menținerea predictivă bazată pe utilizarea rețelelor neuronale artificiale, Revista Calitatea – Acces la succes, nr.2/2011.
- [82] *Stoica (căs. Toma), N. Victoria* - Cercetări în vederea optimizării activităților de mentenanță pentru eficientizarea sistemelor de producție mici și mijlocii, Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 2010, teză de doctorat.
- [83] *Țițu, A.M.* – Fiabilitate și mentenanță, Editura AGIR, București, 2008.
- [84] **Turcu, Elisabeta** – Referat 3 - Optimizarea Menținabilității, Universitatea Politehnică București, 2014.
- [85] **Turcu, Elisabeta.** – Referat 5 - Unele Contribuții privind Modelele de Analiză și Prevenție în Menținerea Proactivă, Universitatea Politehnică București, 2015.
- [86] *Uniunea Națională a Cooperăției Meșteșugărești* – UECOM –Securitatea în lucrările de mentenanță – Ghid orientativ de bune practici – 2013.
- [87] *Ustina Răchită, N. Mihăilescu, Turcu Elisabeta, V.A. Turcu* – Estimarea fondului de rulment financiar al operatorilor economici – Revista Corpului Experților Contabili și Contabililor Autorizați din România.
- [88] *Ustina Răchită, N. Mihăilescu, Turcu Elisabeta, V.A. Turcu* – Analiza dinamicii ratei rentabilității economice și ratei rentabilității capitalului permanent la o societate comercială- – Revista Corpului Experților Contabili și Contabililor Autorizați din România.
- [89] *Verzea, I.* – Contribution a l'optimisation des methodes de management de la maintenance, These de l'Universite „Henri Poincare”, France, Nancy I. 1999.
- [90] *Verzea, I.* – Pragul de disponibilitate al utilajelor, Editura Ankarom, Iași, 1997.
- [91] *Verzea, I., Gabriel, M., Richet, D.* – Managementul activității de mentenanță, Editura Polirom, București, 1999.
- [92] *Vodă, Gh., Isaic-Maniu, Al.* – Fiabilitatea sanșă și risc, Editura Tehnică, București, 1986.
- [93] *Vrignat, P.* - Génération d'indicateurs de Maintenance, ISBN - 9786131576539, Editura Editions Universitaires Européennes, Saarbrücken, Germany, 2011.
- [94] *Westkämper, E.* - Life Cycle Management and Assessment. Approaches and Visions Towards Sustainable Manufacturing, Annals of the CIRP, Vol. 49/2/2000.
- [95] *Williams, J.H., Davies, A., Drake, P.R.* - Condition-Based Maintenance and Machine Diagnostics, ISBN-9780412465000,1994.
- [96] www.dell.com/downloads/emea/services/ro/ro/ProSupport_Proactive_%20Maintenance_FINAL.pdf
- [97] www.mechanics.ro/specific.html
- [98] www.rasfoiesc.com/inginerie/tehnica-mecanica/MENTENANTA-ECHIPAMENTELOR48.php
- [99] * * SR EN 62308:2007 - Fiabilitatea echipamentelor. Metode de evaluare a fiabilității.
- [100] * * SR EN ISO 9000:2015 - Sisteme de management al calității. Principii fundamentale și vocabular.
- [101] *** SR CEI 706 – 4:1997 – Ghid pentru Menținabilitatea Echipamentelor, Partea 4: Secțiunea 8: Planificarea mentenanței și logisticii de mentenanță.
- [102] *** SR EN ISO 9001:2015 - Sisteme de management al calității. Cerințe.
- [103] *** SR EN 13269:2006 – Menținerea. Linii directoare pentru pregătirea mentenanței.
- [104] *** SR EN 13306:2010 – Menținerea. Terminologia mentenanței.
- [105] *** SR EN 13460:2010 – Menținerea. Documentație pentru mentenanță.
- [106] *** SR EN 15341:2007 – Menținerea. Indicatori cheie de performanță în materie de mentenanță.
- [107] *** SR EN 60300:2009 – Managementul siguranței în funcționare. Ghid de aplicare. Menținerea bazată pe fiabilitate.

- [108] *** *SR EN 60300-1:2006* – Managementul siguranței în funcționare. Partea 1; Sisteme de management al siguranței în funcționare.
- [109] *** *SR EN 60300-3-1:2005* – Managementul siguranței în funcționare. Partea 3-1: Ghid de aplicare. Tehnici de analiză a siguranței în funcționare. Ghid metodologic.
- [110] *** *SR EN 60300-3-11:2010* - Managementul siguranței în funcționare. Partea 3-11. Ghid de aplicare. Ingineria siguranței în funcționarea sistemelor.
- [111] *** *SR EN 60300-3-2:2005* – Managementul siguranței în funcționare. Partea 3-2. Ghid de aplicare. Culegerea datelor privind siguranța în funcționare în condiții de exploatare.
- [112] *** *SR EN 60300-3-3:2005* – Managementul siguranței în funcționare. Partea 3-3: Ghid de aplicare. Evaluarea costului ciclului de viață.
- [113] *** *SR EN 60300-3-4:2008* – Managementul siguranței în funcționare. Partea 3-4:Ghid de aplicare. Ghid pentru specificarea cerințelor siguranței în funcționare.
- [114] *** *SR EN 60300-3-9:2001* – Managementul siguranței în funcționare. Partea 3. Ghid de aplicare. Secțiunea 9. Analiza de risc a sistemelor tehnologice.
- [115] *** *SR EN 60812:2006* – Tehnici de analiză a fiabilității sistemelor. Procedura de analiză a modurilor de defectare și a efectelor lor (AMDF).
- [116] *** *SR EN 61124:2007* – Încercări de fiabilitate. Planuri de încercări de conformitate pentru o rată de defectare constantă și pentru o intensitate de defectare constantă.
- [117] *** *SR EN 61703:2003* - Expresii matematice pentru termeni de fiabilitate, mentenabilitate și logistică de mentenanță.
- [118] *** *SR EN 61703:2003* – Expresii matematice pentru termeni de fiabilitate, mentenabilitate și logistică de mentenanță.
- [119] *** *SR EN 62308:2007* – Fiabilitatea echipamentelor, Metode de evaluare a fiabilității.
- [120] *** *SR EN ISO 14040:2002* – Managementul de mediu. Evaluarea ciclului de viață. Principii și cadru de lucru.

