

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
FACULTATEA DE MINE
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL DE DOCTORAT: INGINERIE INDUSTRIALĂ**

Ing. MAREȘ RADU EMIL

TEZĂ DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND CREȘTEREA NIVELULUI DE
SECURITATE A MUNCII LA OPERAȚIILE DE MENTENANȚĂ
DIN SISTEMELE INDUSTRIALE**

**RESEARCH REGARDING THE INCREASE OF OCCUPATIONAL
SAFETY LEVEL IN MAINTENANCE OPERATIONS WITHIN
INDUSTRIAL SYSTEMS**

Conducător științific: *Prof.univ.dr.ing.* MORARU ROLAND IOSIF

**PETROȘANI
- 2019 -**

CUPRINS

| | |
|--|-----------|
| Cuvânt înainte | ii |
| Cuprins | iii |
| Abrevieri, acronime | vi |
| Lista figurilor | vii |
| Lista tabelelor..... | ix |
| Introducere. Importanța și necesitatea temei. Obiectivele și structura tezei..... | xi |
| | |
| PARTEA I. STADIUL ACTUAL AL ABORDĂRILOR ȘTIINȚIFICE PRIVIND CERCETAREA SECURITĂȚII LA OPERAȚIILE DE MENTENANȚĂ INDUSTRIALĂ..... | 1 |
| | |
| CAPITOLUL 1. FUNDAMENTE TEORETICE ALE MENTENABILITĂȚII ȘI MENTENANȚEI | 1 |
| | |
| 1.1. Considerații generale..... | 1 |
| 1.2. Mentenabilitate..... | 1 |
| 1.2.1. Definierea conceptului de mentenabilitate | 1 |
| 1.2.2. Indicatori fundamentali ai mentenabilității | 2 |
| 1.2.3. Legi de distribuție în studiul mentenabilității | 5 |
| 1.3. Mentenanță | 7 |
| 1.3.1. Definierea conceptului de mentenanță | 7 |
| 1.3.2. Strategii de mentenanță..... | 8 |
| 1.3.3. Factorii care influențează mentenanța | 10 |
| 1.4. Sisteme de mentenanță aplicate în practica industrială | 11 |
| 1.4.1. Sisteme de mentenanță clasice | 11 |
| 1.4.2. Sisteme de intervenții | 11 |
| 1.4.3. Sistemul de întreținere corectivă..... | 11 |
| 1.4.4. Sistemul de întreținere funcțională curentă..... | 14 |
| 1.4.5. Sistemul de întreținere funcțională de tip preventiv-planificat | 14 |
| 1.4.6. Sistemul de revizii tehnice și reparații preventiv-paliative | 18 |
| 1.4.7. Sistemul de întreținere și reparații de tip paliativ | 20 |
| 1.5. Sisteme moderne de mentenanță | 20 |
| 1.5.1. Mentenanța predictivă (MPd) | 20 |
| 1.5.2. Mentenanța proactivă (MPA) | 20 |
| 1.5.3. Mentenanță bazată pe fiabilitate (RCM)..... | 21 |
| 1.5.4. Considerații privind mentenanța bazată pe fiabilitate | 21 |
| | |
| CAPITOLUL 2. ABORDAREA INTEGRATĂ A MANAGEMENTULUI MENTENANȚEI ȘI SECURITĂȚII ÎN MUNCĂ..... | 25 |
| | |
| 2.1. Provocări de securitate în mentenanța industrială | 25 |
| 2.2. Dualitatea cauză-efect în operațiile de mentenanță | 26 |
| 2.3. Scopul și obiectivele lucrărilor de mentenanță..... | 28 |
| 2.3.1. Sursele accidentelor: Definiție | 28 |
| 2.3.2. Obiective și direcții de cercetare..... | 30 |
| 2.3.3. Contribuții vizate | 31 |
| 2.4. Structura lucrării | 31 |
| 2.5. Stadiul actual privind cercetarea securității în mentenanța industrială | 31 |
| 2.6. Abordări integrate de management a mentenanței și securității..... | 32 |
| 2.7. Analiza și managementul riscului | 34 |
| 2.7.1. Conceptul de risc | 34 |
| 2.7.2. Analiza și managementul riscului..... | 35 |
| 2.8. Erorile umane-tehnologice și geneza accidentelor | 37 |
| 2.8.1. Erorile umane și tehnologice: surse accidentogene | 37 |
| 2.8.1.1. Teorii și modele ale genezei accidentelor de muncă | 38 |
| 2.9. Analiza, cercetarea și modelarea accidentelor | 41 |
| 2.9.1. Particularități în cercetarea și modelarea accidentelor..... | 41 |

| | |
|--|------------|
| 2.9.2. Concluzii cu privire la abordările predominante în prevenirea accidentelor în operațiunile de mentenanță industrială | 44 |
| CAPITOLUL 3. CADRUL CONCEPTUAL ȘI METODOLOGIC AL ANALIZEI RISCURILOR ÎN MENTENANȚA INDUSTRIALĂ | 46 |
| 3.1. Introducere în cercetarea accidentelor | 46 |
| 3.2. Condiții preliminare pentru cercetarea accidentelor | 48 |
| 3.3. Un cadru de lucru în cercetarea accidentelor survenite în operațiunile de mentenanță industrială | 49 |
| 3.4. Scopurile cercetării accidentelor | 49 |
| 3.5. Responsabilitatea cercetării accidentelor | 50 |
| 3.6. Criterii de cercetare a accidentelor | 50 |
| 3.7. Derularea procesului de cercetare | 51 |
| 3.7.1. Colectarea dovezilor și faptelor | 52 |
| 3.7.2. Analiza dovezilor și faptelor | 53 |
| PARTEA 2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CREȘTEREA NIVELULUI DE SECURITATE A MUNCII ÎN MENTENANȚA INDUSTRIALĂ | 56 |
| CAPITOLUL 4. ANALIZA CRITICĂ A TEHNICILOR NECONVENȚIONALE DE CERCETARE A EVENIMENTELOR NEDORITE, APLICABILE ÎN MENTENANȚA INDUSTRIALĂ. CARACTERISTICI ȘI FEZABILITATE | 56 |
| 4.1. Tehnicile analitice de bază ale DOE | 56 |
| 4.1.1. Cartarea evenimentelor și a factorilor cauzali (ECFC) | 56 |
| 4.1.2. Analiza barierelor de securitate | 58 |
| 4.1.3. Analiza schimbărilor | 60 |
| 4.1.4. Analiza evenimentelor și factorilor cauzali | 61 |
| 4.1.5. Analiza cauzelor elementare | 63 |
| 4.2. Alte metode de cercetare a accidentelor | 63 |
| 4.2.1. Analiza prin arborele defectărilor | 63 |
| 4.2.2. Analiza prin arborele de evenimente | 65 |
| 4.2.3. Analiza MORT | 66 |
| 4.2.4. Tehnica de analiză a cauzelor sistematice (SCAT) | 67 |
| 4.2.5. Trasarea secvențială în timp a evenimentelor (STEP) | 69 |
| 4.2.6. Analiza OTO (Om-Tehnologie-Organizație) | 73 |
| 4.2.7. Metoda analizei evoluției accidentului și a barierelor de securitate (AEB) | 74 |
| 4.2.8. TRIPOD și TRIPOD Beta | 76 |
| 4.2.8.1. TRIPOD | 76 |
| 4.2.8.2. TRIPOD Beta | 78 |
| 4.2.9. Harta accidentului | 80 |
| 4.3. Concluzii privind cercetarea accidentelor de muncă survenite în mentenanța industrială | 83 |
| CAPITOLUL 5. ANALIZA STATISTICII, TIPOLOGIEI ȘI CAUZALITĂȚII ACCIDENTELOR DE MUNCĂ ÎN OPERAȚIILE DE MENTENANȚĂ | 87 |
| 5.1. Accidentele de muncă și bolile profesionale. Definiție și clasificare | 87 |
| 5.1.1. Abordări europene ale conceptelor de „accidente de muncă și boli profesionale” | 87 |
| 5.1.2. Cerințele legale privind accidentele de muncă și bolile profesionale | 87 |
| 5.1.3. Clasificarea accidentelor de muncă | 88 |
| 5.2. Indicatori statistici ai accidentelor de muncă | 89 |
| 5.2.1. Indicatori primari ai accidentelor de muncă | 89 |
| 5.2.2. Indicatori derivați ai accidentelor de muncă | 90 |
| 5.3. Evoluția indicatorilor statistici ai accidentelor de muncă | 90 |
| 5.3.1. Evoluția indicatorilor statistici ai accidentelor de muncă în perioada 2006 – 2016 | 90 |
| 5.3.2. Evoluția accidentelor de muncă în județul Arad în activitatea de mentenanță | 92 |
| 5.4. Concluzii | 98 |
| CAPITOLUL 6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND EVALUAREA RISCURILOR SPECIFICE MENTENANȚEI INDUSTRIALE | 100 |
| 6.1. Selectarea metodelor și procesului de cercetare | 100 |
| 6.2. Studii de caz al accidentelor de muncă cu ajutorul metodei arborelui de evenimente | 100 |

| | |
|---|------------|
| 6.2.1. Studiu de caz 1 | 100 |
| 6.2.2. Studiu de caz 2..... | 101 |
| 6.2.3. Studiu de caz 3..... | 101 |
| 6.2.4. Studiu de caz 4..... | 102 |
| 6.3. Elaborarea și aplicarea unei metode de evaluare a riscurilor de accidentare la operațiile de mentenanță..... | 104 |
| 6.4. Studiul timpilor de mentenanță pentru echipamentele de lucru dintr-o unitate industrială din județul Arad folosind mijloace informatice de prelucrare a datelor..... | 124 |
| CAPITOLUL 7. SOLUȚII DE CREȘTERE A SECURITĂȚII MUNCII LA OPERAȚIILE DE MENTENANȚĂ..... | 132 |
| 7.1. Modelarea intervențiilor de securitate la operațiile de mentenanță..... | 132 |
| 7.2. Optimizarea evaluării riscurilor: punctul nodal al creșterii securității lucrătorilor de mentenanță | 136 |
| 7.3. Prevenirea accidentelor de muncă în cadrul mentenanței industriale | 139 |
| CAPITOLUL 8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE, PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE A CERCETĂRII | 143 |
| 8.1. Concluzii generale | 144 |
| 8.2. Contribuții personale | 147 |
| 8.3. Perspective de dezvoltare ulterioară a cercetării..... | 149 |
| BIBLIOGRAFIE..... | 151 |

1. CUVINTE-CHEIE

Mentenanță, securitate și sănătate în muncă, accidente de muncă, arbore de evenimente, metode neconvenționale, evaluare riscuri, ANOVA, modelarea operației de mentenanță din perspectivă securitară.

2. ACTUALITATEA, IMPORTANȚA ȘI OBIECTIVELE TEMEI DE CERCETARE

Actualitatea temei de cercetare derivă direct din faptul că elementul central în construirea unui sistem eficace de management al riscului de accidentare și îmbolnăvire profesională îl constituie identificarea riscurilor și stabilirea strategiei adecvate din punct de vedere al securității organizației. Întrucât efectuează o gamă amplă de activități variate, lucrătorii din mentenanța industrială pot fi expuși la acțiunea a numeroase forme concrete de manifestare ale riscurilor ocupaționale, care includ riscuri fizice (mecanice, zgomot, temperaturi excesive, radiații, volum ridicat de solicitări fizice), riscuri asociate agenților chimici periculoși (lucrul cu azbestul, sudură, lucrul în spații restricționate sau închise), agenți biologici, riscuri psihosociale etc.

Tema de cercetare abordată în cadrul tezei se înscrie în eforturile de îmbunătățire a siguranței și sănătății ocupaționale, care constituie o componentă a politicii naționale în domeniul prevenirii accidentelor și bolilor profesionale, răspunzând unei necesități reale și de mare actualitate, deoarece accidentele de muncă produse la operațiile de mentenanță, au un aport ridicat la numărul total al accidentelor de muncă și se încadrează fie în categoria celor cu consecințe foarte grave sau cu efecte ireversibile asupra sănătății lucrătorilor, fie în categoria accidentelor mortale.

Importanța științifică și gradul de noutate derivă din faptul că tema propusă este de interes major atât la nivel macroeconomic, cât și la nivelul organizațiilor industriale prin implicațiile multiple ale accidentelor survenite în mentenanță. Luând în analiză multitudinea de riscuri asociate operațiilor de mentenanță, se impune tot mai stringent includerea ei în sistemul global de management al organizației, din perspectivă securitară. Aprecierea detaliată a riscurilor care să includă toate etapele activității nu mai poate rămâne exclusiv o obligație legală, având în vedere faptul că importanța științifică a analizei și evaluării riscului a crescut aproape exponențial în ultimele decenii, după producerea unor accidente industriale umane și materiale cu consecințe deosebit de grave. Tema de cercetare este complexă, interdisciplinară și presupune o cunoaștere aprofundată a fundamentelor teoretice care permit identificarea și analiza riscurilor, precum și reducerea consecințelor probabile ale acestora, într-un context legislativ, economic și cultural dat. Este o temă de cercetare cu un potențial științific ridicat, dar care presupune o experiență semnificativă pentru a putea opera cu conceptele specifice acestui domeniu. Totodată trebuie să se facă o distincție clară între abordarea științifică a riscului și percepția psihosocială a acestuia.

Obiectivele tezei sunt definite din perspectiva cercetărilor privind creșterea nivelului de securitate a muncii la operațiile de mentenanță din sistemele industriale de producție, pornind de la incidența ridicată a evenimentelor nedorite care survin în practică la efectuarea acestui tip de activitate.

Obiectivul general îl reprezintă identificarea și dezvoltarea de soluții metodologice, procedurale, organizatorice și/sau tehnice de minimizare a riscurilor la care sunt expuși lucrătorii de mentenanță.

În vederea atingerii obiectivului general stabilit anterior au fost formulate următoarele *obiective specifice*:

- analiza provocărilor de securitate actuale în mentenanța industrială, pe plan mondial și național;
- identificarea abordărilor integrate de management a mentenanței și securității în context managerial;

- delimitarea cadrului conceptual și metodologic al analizei riscurilor în mentenanța industrială;
- analiza critică a tehnicilor neconvenționale de cercetare a evenimentelor nedorite aplicabile în mentenanța industrială, a caracteristicilor și fezabilității acestora, în vederea selectării eficiente a celei mai adecvate metode aplicabile;
- analiza statisticii, a tipologiei și cauzalității accidentelor de muncă în sistemele operaționale de mentenanță;
- dezvoltarea unei cercetări experimentale privind evaluarea riscurilor specifice mentenanței industriale, cu realizarea de studii de caz privind cauzele - rădăcină ale producerii accidentelor de muncă;
- elaborarea și validarea unei metode de evaluare a riscurilor de accidentare la operațiile de mentenanță;
- decelarea seturilor de date primare care pot constitui un suport de calcul în vederea adoptării deciziilor manageriale care să permită organizarea și desfășurarea operațiilor de mentenanță în condiții de securitate sporită, prin dimensionarea corespunzătoare a structurii și mărimii echipelor de lucrători implicați;
- studiul timpilor de mentenanță pentru echipamente tehnice prestabilite dintr-o unitate industrială din județul Arad folosind mijloace informatice de prelucrare statistică a datelor (ANOVA), în vederea dimensionării raționale a echipelor de mentenanță;
- furnizarea unor soluții fezabile de creștere a securității muncii la operațiile de mentenanță, în baza modelării intervențiilor de securitate la operațiile de mentenanță și a optimizării evaluării riscurilor ca punct nodal al minimizării riscurilor asociate

3. SINTEZA TEZEI:

Partea 1-a este consacrată stadiului actual al abordărilor științifice privind cercetarea securității operaționale în mentenanța industrială

Având în vedere tendințele actuale ale studiilor și cercetărilor din domeniul optimizării activităților de mentenanță, în **capitolul 1**, intitulat „*Fundamente teoretice ale mentenabilității și mentenanței*” s-a realizat o sinteză a elementelor conceptuale și de fundamentare teoretico-metodologică cu referire la definiția, analiza și sistematizarea conceptelor, mărimilor și factorilor de natură tehnică determinanți pentru operațiile de mentenanță specifice sistemelor industriale. Totodată, s-a statuat faptul că asemenea seturi de date primare pot constitui un suport de calcul în vederea adoptării deciziilor manageriale care să permită organizarea și desfășurarea operațiilor de mentenanță în condiții de securitate sporită, prin dimensionarea corespunzătoare a structurii și mărimii echipelor de lucrători implicați.

Capitolul 2, având titlul „*Abordarea integrată a managementului mentenanței și securității în muncă*” sintetizează rezultatele unui amplu studiu documentar efectuat din literatura de specialitate, cu referire la provocările de securitate în mentenanța industrială, dualitatea cauză efect în operațiile de mentenanță, scopul și obiectivele lucrărilor de mentenanță, abordările integrate de managementul mentenanței și securității, analiza riscului, erorile umane-tehnologice și geneza accidentelor, cercetarea și modelarea accidentelor de muncă.

Capitolul 3, „*Cadrul conceptual și metodologic al analizei riscurilor în mentenanța industrială*” este consacrat analizei principiilor pe care se fundamentează cercetarea accidentelor de muncă, a criteriilor, obiectivelor și a modului de derulare a procesului de cercetare, pentru a crea premisele focalizării către accidente care să ofere cele mai semnificative oportunități de învățare.

Partea a 2-a a tezei cuprinde rezultatele cercetărilor experimentale privind creșterea nivelului de securitate a muncii în mentenanța industrială, urmând o succesiune logică de dezvoltare a studiilor întreprinse.

Astfel, **capitolul 4**, „*Analiza critică a tehnicilor neconvenționale de cercetare a evenimentelor nedorite, aplicabile în mentenanța industrială. Caracteristici și fezabilitate*”,

vizează 15 tehnici neconvenționale de cercetare a accidentelor de muncă, a modului de aplicare în vederea aflării cauzelor producerii accidentelor. Tehnicile investigate nu au fost până în prezent aplicate pe plan național.

Pentru caracterizarea și aprecierea evoluției în timp a modului de protejare a lucrătorilor în cadrul activităților de mentenanță, în **capitolul 5** „*Analiza statisticii, tipologiei și cauzalității accidentelor de muncă în operațiile de mentenanță*” s-a utilizat indicatorul statistic absolut „*numărul de accidente produse în perioada 01.01.2011 – 30.09.2016*”, în organizații economice din jud. Arad. Analiza și evaluarea postaccident a permis punerea în evidență a acțiunilor și condițiilor periculoase care au condus la vătămare, sub raportul probabilității de apariție și gravității vătămării, a tuturor datelor care pot conduce la stabilirea de măsuri de prevenire a riscurilor de accidentare în timpul desfășurării activităților de mentenanță.

Capitolul 6. „*Cercetări experimentale privind evaluarea riscurilor specifice mentenanței industriale*” este consacrat determinării succesiunii cauzelor și efectelor care conduc la generarea unui accident, ca element determinant în ecuația prevenirii. Se aplică, pentru prima dată pe plan național, metoda arborelui de evenimente pentru analiza a patru accidente de muncă, evidențiindu-se scenariile de derulare a secvențelor accidentogene. Pe această bază s-a elaborat și aplicat o metodă de evaluare a riscurilor specifică activității de mentenanță industrială, care permite identificarea, cuantificarea și ierarhizarea ricurilor asociate. Cercetarea a fost completată prin studiul timpilor de mentenanță pentru echipamentele de lucru dintr-o unitate industrială din județul Arad folosind mijloace informatice de prelucrare a datelor. Pentru echipamentele tehnice „Robot sudură”, „Compresor industrial de aer”, „Mașină de debitat cu plasmă” și „Mașină de sablat orizontală” s-a centralizat cu ajutorul unui tabel pivot numărul de ore de mentenanță pentru fiecare lună și an (2013 - 2016), s-a realizat un tabel pivot pentru centralizarea de reparații pe ani și luni pentru o analiză sezonieră, s-au analizat orele de mentenanță ale utilajelor și suma orelor lucrătorilor (mecanici și electricieni) și corelația între seturile de date, calculând variația setului de date cu funcția varP (pentru set considerat întreg) și varS (dacă setul este considerat eșantion reprezentativ). Testul ANOVA, s-a confirmat a fi un instrument statistic și informatic puternic care folosit judicios sprijină identificarea nevoilor de securitate ale lucrătorilor din domeniul mentenanței.

Capitolul 7. „*Soluții de creștere a securității muncii la operațiile de mentenanță*” prezintă modelarea intervențiilor de securitate la operațiile de mentenanță, schema bloc a procesului de analiză operațională al genezei accidentelor de muncă survenite la operațiile de mentenanță pe care îl propunem ca bază de dezvoltare al modelul generic SECMEN al operației de mentenanță din perspectivă securitară. Din perspectiva optimizării evaluării riscurilor, ca punct nodal al creșterii securității lucrătorilor de mentenanță, s-a studiat interdependența dintre factorii organizaționali și cei locali în crearea pre-condițiilor accidentogene, identificându-se 7 grupe de condiții latente, ca precursori ai evenimentelor nedorite, specifice mentenanței.

Capitolul 8. „*Concluzii și contribuții personale. Perspective de dezvoltare a cercetării*” sintetizează principalele aspecte desprinse din studiul și analiza conceptelor, fenomenelor, metodelor, aplicațiilor și rezultatelor obținute. Prezentarea contribuțiilor personale în domeniul temei luate în studiu în cadrul tezei de doctorat este structurată pe cele 2 componente, contribuții teoretice, respectiv contribuții practice, o atenție deosebită fiind acordată modului în care acestea pot fi implementate și valorificate. Au fost identificate anumite limite ale studiului, precum și direcțiile principale de cercetare viitoare.

4. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE A CERCETĂRII

Cercetările din cadrul acestei teze de doctorat au utilizat o varietate de metode. Un scop comun a fost de a determina tipurile de accidente și sursele accidentelor potențiale și a celor materializate. Sursele accidentelor potențiale au fost explorate în companii prin interviuarea

lucrătorilor, autorităților de supraveghere și a managementului. Riscurile au fost identificate prin intermediul unor observații și evaluări/aprecieri ale riscului. Evaluarea riscului, interviurile și observațiile s-au completat reciproc ca metode de cercetare. Mai mult decât atât, analiza tipurilor de accidente și a surselor s-a bazat pe detaliile reale conținute în dosarele oficiale de cercetare ale accidentelor de muncă.

Cercetarea efectuată a confirmat aprecierile inițiale referitoare la faptul că specificitatea activităților de mentenanță industrială impune o abordare aparte a managementului securității și sănătății în muncă în acest sector de activitate

Mentenanța industrială prezintă mai multe provocări pentru prevenirea accidentelor. În plus față de riscurile obișnuite asociate cu orice mediu de lucru industrial, operațiunile de mentenanță implică mai multe riscuri specifice acesteia. Dintre acestea ar fi lucrul în apropierea unui proces în derulare, folosind uneori utilaje complexe și având impuse constrângeri de timp. Prin importanța pe care o au pentru fluxul productiv, prin consecințele pe care le pot genera asupra sănătății și securității lucrătorilor ca și prin valoarea financiară substanțială, echipamentele industriale reprezintă unul din elementele de bază ale oricărui sistem de muncă.

Contribuțiile personale în domeniul menționat includ atât aspecte teoretice, cât și practice.

Contribuțiile teoretice semnificative cuprinse în teza de doctorat sunt următoarele:

1. Având în vedere tendințele actuale ale studiilor și cercetărilor din domeniul optimizării activităților de mentenanță, am realizat o sinteză a elementelor conceptuale și de fundamentare teoretico-metodologică cu referire la identificarea, analiza și sistematizarea conceptelor, mărimilor și factorilor de natură tehnică determinanți pentru operațiile de mentenanță specifice sistemelor industriale.
2. Am dezvoltat o analiză critică a 14 tehnici neconvenționale de cercetare a evenimentelor nedorite și analiză a riscurilor aplicabile în mentenanța industrială, a caracteristicilor și fezabilității acestora, în vederea selectării eficiente a celei mai adecvate metode aplicabile.
3. Am decelat și sistematizat argumentele necesității de aplicare a metodei arborelui de evenimente (AAE) pentru a stabili, pornind de la un eveniment inițiator, a înlănțuirii evenimentelor ce pot avea drept consecință un accident potențial. Metoda își găsește o aplicabilitate deosebită pentru studiul arhitecturii mijloacelor de securitate (prevenire, protecție, intervenție) existente sau aplicabile într-un sistem industrial.
4. Am evidențiat punctele forte ale unei analize de tip analiza arborelui de evenimente, ale cărei rezultate pot fi utilizate în procesul de învățare din accidente și de prevenire a reapariției acestora. Avantajul principal al analizei arborelui evenimentelor este materializat prin modelarea evenimentelor într-un mod care arată cauzele de bază, factorii contributivi la cauze și consecințe, precum și relația lor în cadrul lanțurilor de evenimente care conduc la accidente
5. În plus față de considerarea lucrătorilor de la mentenanță și a dimensiunii tehnice cauzatoare de accidente, originile și managementul surselor de accidentare sunt de asemenea examinate în context organizațional, în special în ceea ce privește monitorizarea și managementul securității. Acest subiect este abordat prin utilizarea informațiilor cu privire la accidentele reale și explorarea potențialelor riscuri de accidentare în companii.
6. Pornind de la ipoteza validă privind faptul că condițiile de pre-mentenanță pot afecta în mod semnificativ securitatea, împreună cu evenimentele neprevăzute și condițiile periculoase din timpul oricărei faze a operațiunii efective de mentenanță am stabilit utilitatea și necesitatea determinării originii diferitelor surse ale accidentelor, cauzelor și consecințele acestora, **împreună cu** factorii care contribuie la cauze și consecințe. Evaluarea relației dintre diferitele surse de accidentare și factorii favorizanți/contributivi este de importanță determinantă în analiza riscurilor asociate operațiilor de mentenanță;

Contribuțiile practice și aplicative constau din următoarele:

1. Analiza statisticii, tipologiei și cauzalității accidentelor de muncă în operațiile de mentenanță din județul Arad pe o perioadă de 5 ani, în vederea stabilirii cu exactitate a ponderii și influenței principalilor factori de influență (ramura de activitate, tipul de mentenanță, statutul profesional, apartenența de gen, ocupația și nivelul de calificare, vârsta, localizarea leziunii, luna/ziua/ora producerii accidentului).
2. Cele patru studii de caz al unor accidente de muncă, reanalizate sub forma unui arbore al evenimentelor, pentru a modela lanțul cauzelor și al consecințelor (capitolul 6, paragr. 6.2) certifică utilitatea AAE ca tehnică de a construi strategiile și măsurile de prevenire adecvate.
3. Cercetările experimentale privind evaluarea riscurilor specifice mentenanței industriale a permis determinarea succesiunii cauzelor și efectelor care conduc la generarea unui accident, ca element determinant în ecuația prevenirii. S-a aplicat, pentru prima dată pe plan național, metoda arborelui de evenimente pentru analiza a patru accidente de muncă, evidențiindu-se scenariile de derulare a secvențelor accidentogene.
4. Pe această bază s-a elaborat și aplicat o metodă de evaluare a riscurilor specifică activității de mentenanță industrială, care permite identificarea, cuantificarea și ierarhizarea riscurilor asociate.
5. Cercetarea a fost completată prin studiul timpilor de mentenanță pentru echipamentele de lucru dintr-o unitate industrială din județul Arad folosind mijloace statistice și informatice de prelucrare a datelor. Testul ANOVA, s-a confirmat a constitui un instrument statistic și informatic puternic care folosit judicios sprijină identificarea nevoilor de securitate ale lucrătorilor din domeniul mentenanței. Prin predictibilitatea pe care o generează ANOVA, se poate anticipa când se vor defecta echipamentele de muncă vizate, putându-se astfel asigura din timp amenajarea locurilor de muncă în vederea eliminării/înlocuirii elementelor care pot genera riscuri de accidentare, elaborarea de proceduri pentru fiecare etapă a mentenanței; instruirea suplimentară a lucrătorilor, verificarea competențelor lucrătorilor în domeniul mentenanței.
6. Rezultatele au fost grupate în funcție de factorii organizaționali, condițiile locale de la locul de muncă și actele nesigure. Această grupare oferă o viziune de ansamblu asupra diferiților factori care afectează securitatea în mentenanța interfeței om-mașină și susține, de asemenea, punctul de vedere al teoriilor accidentelor, potrivit cărora accidentele sunt suma totală a mai multor erori din cadrul unui sistem socio-tehnic, care include oameni din diferite niveluri de organizare și tehnologia.
7. S-au identificat și sistematizat factorii contributivi și variabilele determinante în securitatea mentenanței industriale, elaborându-se schema bloc a procesului de analiză operațională al genezei accidentelor de muncă survenite la operațiile de mentenanță pe care îl propunem ca bază de dezvoltare a modelului generic SECMEN al operației de mentenanță din perspectivă securitară.
8. S-a propus o abordare preventivă bazată pe modelul SECMEN al operației de mentenanță industrială. Pentru a integra cu succes funcțiile de fiabilitate și de management al securității, un rol important va fi deținut de utilizarea datelor interne și externe cu privire la accidente în dezvoltarea funcțiilor de mentenanță, care pot fi utilizate împreună, pentru a crește securitatea muncii, eficiența managementului și fiabilitatea sistemului.

8.3. Perspective de dezvoltare ulterioară a cercetării

Principalele limite ale cercetării prezentate în cadrul tezei de doctorat pot fi sintetizate după cum urmează:

a) Trebuie să ținem cont de faptul că dosarele de cercetare descriu episodul accidentului cu detalii limitate privind informațiile și factorii contributivi. În plus față de textul descriptiv, lanțul

de evenimente cu informațiile de bază este modelat secvențial. Utilizarea unor astfel de rapoarte ca surse pentru materialele de cercetare are atât avantaje, cât și dezavantaje.

b) Cu toate că experimentele cu privire la aceste cazurile de aplicare ale instrumentelor statistice de prelucrare a datelor sunt încurajatoare din perspectiva abordării integrate SSM-mentenanță, acest scenariu necesită o examinare și validare suplimentară în cadrul companiilor.

c) Securitatea intrinsecă în mentenanță este deosebit de importantă în cazurile în care operațiunea de mentenanță trebuie să fie executată în timp ce sistemul este activ și/sau sistemele de securitate trebuie să fie înlocuite. Cu toate că securitatea intrinsecă a sistemului nu poate crește siguranța în operațiunile de mentenanță, aceasta poate reduce riscurile de securitate și sănătate în muncă în mod indirect, prin reducerea nevoii de mentenanță neplanificate (fiabilitatea sistemului) și prin creșterea mentenabilității sistemului.

Ca urmare a aprofundării cunoștințelor în domeniul de cercetare abordat în cadrul tezei de doctorat și a contribuțiilor personale aduse, pot fi propuse următoarele **direcții principale de cercetare viitoare spre care să fie canalizate eforturile**:

a) Reanalizarea accidentelor survenite în activitățile de mentenanță industrială este rezultatul unor serii de interpretări, care pot să apară în diferite faze după producerea accidentului real.

Astfel, interpretarea a ceea ce s-a întâmplat poate să difere de ceea ce s-a întâmplat. Cu toate acestea, investigarea și dosarele de cercetare au fost realizate de către experți, care oferă o viziune obiectivă a lanțului de evenimente. Mai mult decât atât, această teză se bazează pe studii care au aplicat o varietate de metode și materiale. Astfel, se poate admite că rezultatele obținute furnizează o expunere realistă a surselor accidentelor materializate și potențiale.

Direcția de dezvoltare a cercetării din această perspectivă, implică o extindere a recurgerii la metode *a posteriori* de analiză a riscurilor.

b) Aprofundarea și diversificarea instrumentelor statistico-matematice utilizate în cercetarea corelațiilor dintre factorii direcți și factorii favorizanți generatori ai evenimentelor nedorite (accidente/incidente) survenite la operațiile de mentenanță.

c) În etapa de concepție/proiectare a sistemului industrial și/sau în timpul planificării mentenanței, diferite condiții de defectare ar putea fi evaluate cu ajutorul metodelor SCAT, STEP, OTO sau MORT (analizate în capitolul 4 al prezentei teze), care acordă o atenție deosebită riscurilor asociate erorilor umane, pentru a identifica posibilele riscuri, originile lor și corelațiile dintre ele, precum și scenariile accidentogene potențiale.