



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial

Ing. Ion-Cristian BRAGĂ

SISTEM DE MANAGEMENT AL RISCURILOR ÎN PROCESELE
DE PRODUCŢIE A DISPOZITIVELOR MECATRONICE DIN
INDUSTRIA AUTOMOBILELOR

RISK MANAGEMENT SYSTEM IN THE MANUFACTURING
PROCESSES OF MECHATRONIC DEVICES IN THE
AUTOMOTIVE INDUSTRY

REZUMAT/ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Anișor NEDELCU

BRAȘOV, 2022



CUPRINS

	Pg.	Pg.
	teză	rezumat
LISTA DE NOTAȚII.....	6	-
LISTA ABREVIERI.....	7	-
LISTA FIGURI.....	9	-
LISTA TABELE.....	12	-
MULȚUMIRI.....	13	9
AKNOWLEDGEMENTS.....	14	-
INTRODUCERE.....	15	10
PARTEA A I-A STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND PRIVIND SISTEMELE DE MANAGEMENT AL RISCURILOR ÎN PROCESELE DE PRODUCȚIE A DISPOZITIVELOR MECATRONICE DIN INDUSTRIA AUTOMOBILELOR.....	17	12
Capitolul 1 Riscurile, analiza și managementul riscurilor.....	17	12
1.1 Riscul – generalități.....	17	12
1.2 Riscul - Concepte, definiții, clasificare.....	17	12
1.3 Managementul riscului.....	18	12
1.4 Instrumente de analiză și management al riscurilor.....	19	13
Capitolul 2 Stadiul actual și analiza instrumentelor de management al riscurilor în procese de producție automobile.....	22	14
2.1 Instrumente de analiză și management al riscurilor din sectorul automobile.....	22	14
2.2 Analiza modurilor defectării și efectele (AMDE).....	23	14
2.2.1 Istoric AMDE.....	24	15
2.2.2 Metodologia AMDE.....	24	15
2.2.3 Tipuri de AMDE.....	33	-
2.2.4 Aplicații și utilizare AMDE.....	34	-
2.3 Exemple de softuri utilizate pentru implementare și monitorizare AMDE.....	35	17
2.3.1 Prezentare generală softuri AMDE.....	36	-
2.3.2 Analiza comparativă a softurilor actuale utilizate în managementul riscurilor din sectorul automobile.....	40	-
Capitol 3 Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor privind privind sistemele de management al riscurilor în procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor și obiectivele cercetării.....	43	18

3.1 Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor.....	43	18
3.2 Obiectivele cercetării.....	44	18
PARTEA A II-A STUDII ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND SISTEMELE DE MANAGEMENT AL RISCURILOR ÎN PROCESELE DE PRODUCȚIE A DISPOZITIVELOR MECATRONICE DIN INDUSTRIA AUTOMOBILELOR.....	46	20
Capitolul 4 Riscurile și relaționarea lor cu eficacitatea sistemului de management.....	46	20
4.1 Abordarea riscurilor din prisma robusteții și maturității sistemului de management al calității.....	46	20
Capitolul 5 Model de răspuns rapid la problemele organizației	50	21
5.1 Răspunsul rapid pe niveluri la problemele de calitate (FRLQI)	50	21
5.2 Metode și instrumente de lucru pentru FRLQI pe niveluri	54	24
Capitolul 6 Concluzii referitoare la studiile și contribuțiile teoretice privind sistemele de management al riscurilor în procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor	56	26
PARTEA A III-A STUDII DE CAZ ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SISTEMELE DE MANAGEMENT AL RISCURILOR ÎN PROCESELE DE PRODUCȚIE A DISPOZITIVELOR MECATRONICE DIN INDUSTRIA AUTOMOBILELOR.....	58	28
Capitolul 7 Riscurile în diferite etape de proces în industria automobilelor.....	58	28
7.1 Riscurile de la recepția materiei prime	59	28
7.2 Riscurile din procesele de injectare mase plastice	65	32
7.3 Riscurile din procesele de vopsitorie și gravare laser	78	38
7.4 Riscurile din procesele de asamblare și testare finală.....	91	46
7.5 Riscurile din garanții	99	49
Capitolul 8 Metodologie privind analiza și reducerea riscurilor transversalizate între procesele inovative de injectare mase plastice multicomponente, gravare laser și vopsitorie cu întărire prin polimerizare cu raze ultra-violete (UV)	105	53
8.1 Considerațiuni despre procesele de injectare mase plastice multicomponent și sistemele de vopsire cu întărire prin polimerizare cu UV.....	105	53
8.2 Metodologia detectare moduri defectare (FMd-M).....	106	53
8.3 Rezultatele testelor după metodologia FMd-M.....	109	56
8.3.1 Injectare mase plastice 2K.....	109	56
8.3.1.1 Teste evaluare suprafață.....	109	56
a) Test de tensiune superficială cu stilouri Dyne.....	109	-
b) Test vizual: urme de scufundare, zgârieturi	110	-
c) Test optic microscopic: găuri, „ochi-de-pește”.....	111	56
8.3.1.2 Test optic 3D GOM.....	111	56

8.3.2 Strat de grund colorat.....	112	-
8.3.2.1 Test aderență.....	112	-
8.3.2.2 Test grosime vopsea.....	113	-
8.3.2.3 Test vizual: coajă de portocală, zgârieturi, incluziuni, găuri.....	113	57
8.3.2.4 Test optic microscopic: găuri, „ochi-de-pește”.....	114	58
8.3.2.5 Microscopie electronica EDX : componente materiale.....	115	59
8.3.3 Gravare laser.....	118	-
8.3.3.1 Test vizual: îndepărtarea incompletă a stratului de acoperire.....	118	-
8.3.3.2 Test optic microscopic: defecțiuni ale marginilor gravate.....	118	-
8.3.4 Acoperire cu lac transparent polimerizat UV.....	118	60
8.3.4.1 Test grosime vopsea.....	118	60
8.3.4.2 Test optic microscopic: găuri, „ochi-de-pește”.....	118	60
8.4 Moduri defectare și mecanismele lor.....	119	60
Capitolul 9 Studii de caz cu privire la proiectarea și realizarea modulara a unui software pentru suportul AMDE inversat utilizând mediul de programare LabView.....	121	63
9.1 Prevenirea riscurilor în diferite sisteme de răspuns rapid comparativ cu FRLQI.....	121	63
9.2 Evaluarea nevoilor de acțiuni de prevenire riscuri cu indicele de maturitate al FRLQI.....	126	-
9.3 Software pentru suportul AMDE inversat utilizând mediul de programare LabView.....	127	65
9.4 Preluarea riscurilor din garanții și utilizarea în evaluarea exhaustivă a riscurilor analizate cu ajutorul software AMDE LabView.....	132	-
Capitolul 10 Concluzii referitoare la studiile de caz și cercetările experimentale privind sistemele de management al riscurilor în procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor.....	134	71
PARTEA A IV-A CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....	136	73
BIBLIOGRAFIE.....	143	79
ANEXE		
Anexa 1 – Date pentru calcul capabilitate Inspectia de recepție.....	152	-
Anexa 2 – Date experimente Taguchi matricea ortogonală L27.....	153	-
Anexa 3 – Date analiză sistem măsurare – Gage R&R.....	154	-
Anexa 4 – Date calcul capabilitate de process F1-3L versus F1-1L și F1-2L.....	155	-
Rezumat.....	156	84
Abstract.....	157	85

CONTENT

	Pg.	Pg.
	thesis	abstract
LIST OF NOTATIONS.....	6	-
LIST OF ABBREVIATIONS.....	7	-
LIST OF FIGURES.....	9	-
LIST OF TABLES.....	12	-
MULȚUMIRI.....	13	9
AKNOWLEDGEMENTS.....	14	-
INTRODUCTION.....	15	10
PART I CURRENT STATE OF RESEARCH ON RISK MANAGEMENT SYSTEMS IN PRODUCTION PROCESSES OF MECHATRONIC DEVICES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY...	17	12
Chapter 1 Risks, risk analysis and risk management.....	17	12
1.1 Risk - general.....	17	12
1.2 Risk - Concepts, definitions, classification.....	17	12
1.3 Risk management.....	18	12
1.4 Risk analysis and management tools.....	19	13
Chapter 2 Current status and analysis of risk management tools in automotive production processes.....	22	14
2.1 Risk analysis and management tools in the automotive sector.....	22	14
2.2 Failure modes and effects analysis (FMEA).....	23	14
2.2.1 FMEA history.....	24	15
2.2.2 FMEA Methodology.....	24	15
2.2.3 Types of FMEA.....	33	-
2.2.4 Applications and use of FMEA.....	34	-
2.3 Examples of software used for FMEA implementation and monitoring.....	35	17
2.3.1 FMEA software overview.....	36	-
2.3.2 Comparative analysis of current software used in risk management in the automotive sector.....	40	-
Chapter 3 Conclusions on the current state of research on risk management systems in production processes of mechatronic devices in the automotive industry and research objectives.....	43	18
3.1 Conclusions on the current state of research.....	43	18

3.2 Research objectives.....	44	18
PART II STUDIES AND THEORETICAL CONTRIBUTIONS ON RISK MANAGEMENT SYSTEMS IN PRODUCTION PROCESSES OF MECHATRONIC DEVICES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY.....	46	20
Chapter 4 Risks and their relationship to the effectiveness of the management system.....	46	20
4.1 Addressing risks through the robustness and maturity of the quality management system.....	46	20
Chapter 5 Model for rapid response to organisational problems.....	50	21
5.1 Fast Response on Level at Quality Issues (FRLQI)	50	21
5.2 Working methods and tools for the tiered FRLQI.....	54	24
Chapter 6 Conclusions on studies and theoretical contributions on risk management systems in production processes of mechatronic devices in the automotive industry ...	56	26
PART III CASE STUDIES AND EXPERIMENTAL RESEARCH ON RISK MANAGEMENT SYSTEMS IN PRODUCTION PROCESSES OF MECHATRONIC DEVICES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY.....	58	28
Chapter 7 Risks at different process stages in the automotive industry.....	58	28
7.1 Risks at reception of raw material.....	59	28
7.2 Risks in plastics injection moulding processes.....	65	32
7.3 Risks in painting and laser engraving processes.....	78	38
7.4 Risks in final assembly and testing processes.....	91	46
7.5 Risks from warranty	99	49
Chapter 8 Methodology for cross-cutting risk analysis and mitigation between innovative multi-component plastic injection moulding, laser etching and UV curing processes	105	53
8.1 Considerations for multi-component plastic injection moulding processes and UV curing paint systems.....	105	53
8.2 Methodology for detection of failure modes (FMd-M).....	106	53
8.3 Test results according to the methodology FMd-M.....	109	56
8.3.1 Plastic injection moulding 2K.....	109	56
8.3.1.1 Surface evaluation tests.....	109	56
a) Surface tension test with Dyne pens.....	109	-
b) Visual test: sink marks, scratches	110	-
c) Optical microscopic test: holes, "fish-eyes".....	111	56
8.3.1.2 Test optic 3D GOM.....	111	56
8.3.2 Coloured primer coat.....	112	-

8.3.2.1 Adhesion test.....	112	-
8.3.2.2 Paint thickness test.....	113	-
8.3.2.3 Visual test: orange peel, scratches, inclusions, holes.....	113	57
8.3.2.4 Optical microscopic test: holes, "fish-eyes".....	114	58
8.3.2.5 Electron microscopy EDX : material components.....	115	59
8.3.3 Laser engraving.....	118	-
8.3.3.1 Visual test: incomplete coating removal.....	118	-
8.3.3.2 Optical microscopic test: edge defects.....	118	-
8.3.4 UV cured clear lacquer coating.....	118	60
8.3.4.1 Paint thickness test.....	118	60
8.3.4.2 Optical microscopic test: holes, "fish-eyes".....	118	60
8.4 Failure modes and their mechanisms.....	119	60
Chapter 9 Case studies on the design and modular implementation of software for reverse FMEA support using the LabView programming environment.....	121	63
9.1 Risk prevention in different rapid response systems versus FRLQI.....	121	63
9.2 Risk prevention action needs assessment with FRLQI maturity index	126	-
9.3 Software for reverse FMEA support using LabView programming environment.....	127	65
9.4 Risk capture from warranty and use in comprehensive risk assessment analysed with FMEA LabView software.....	132	-
Chapter 10 Conclusions on case studies and experimental research on risk management systems in production processes of mechatronic devices in the automotive industry	134	71
PART IV FINAL CONCLUSIONS. ORIGINAL CONTRIBUTIONS. DISSEMINATION OF RESULTS. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS.....	136	73
BIBLIOGRAPHY	143	79
ANNEXES		
Annex 1 - Data for capability calculation at Receiving inspection.....	152	-
Annex 2 - Taguchi experiment data orthogonal matrix L27.....	153	-
Annex 3 - Measurement system analysis data - Gage R&R.....	154	-
Annex 4 - F1-3L versus F1-1L and F1-2L process capability calculation data.....	155	-
Rezumat.....	156	84
Abstract.....	157	85

MULȚUMIRI

Doresc să adresez mulțumiri, încă de la început, domnului Prof.univ.dr.ing. Anișor NEDELCU pentru întreaga atenție și continua dăruire acordate în toți acești ani de cercetare, pentru modul profesionist în care m-a îndrumat în toate etapele acestui proces academic complex finalizat cu elaborarea acestei teze.

În același timp, doresc să mulțumesc și comisiei de susținere, domnului Prof.univ.dr.ing. Gheorghe OANCEA, domnului Prof.univ.dr.ing. Cristin MORARIU, domnului Prof.univ.dr.ing. Mihai DRAGOMIR și domnului Prof.univ.dr.ing. Lucian-Ionel CIOCA pentru că au acceptat propunerea de a fi președinte, respectiv membri ai acestei comisii și pentru efortul depus în analiza tezei.

Deopotrivă, țin să adresez mulțumiri doamnei Prof.univ.dr.ing. Adela DUMITRAȘCU și domnului Prof.univ.dr.ing. Nouras LUPULESCU pentru toate îndrumările și răspunsurile la întrebările mele de la început, până la publicarea tezei, precum și colectivului Departamentului de Ingineria Fabricației pentru observațiile dâșilor, iar în mod special îi mulțumesc domnului Conf. univ. dr. ing. Răzvan UDROIU, prietenul care m-a ghidat și m-a susținut în cele mai multe dintre activitățile științifice pe parcursul acestor ani.

Multe mulțumiri adresez și managementului firmei Preh Romania SRL din Brașov, în special domnului director general Matthias Katzenberger care m-a încurajat și mi-a permis să efectuez multe dintre experimentele științifice în cadrul secțiilor de producție și a departamentelor conexe, precum și managementului firmei 2Connect Romania SRL din Cluj, în special domnului director general Sorin ZILERIU care mi-a acordat încrederea din prima zi de colaborare și mi-a permis implementarea sistemelor de răspuns rapid în cele două secții de fabricație.

În cele din urmă, dar nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc și familiei mele care m-a înțeles și m-a susținut necondiționat în această perioadă: soției mele, copiilor mei, părinților și fraților mei, precum și tuturor prietenilor și colegilor care m-au încurajat și m-au ajutat în acest demers.

Ion-Cristian BRAGĂ

Brașov, 2022

INTRODUCERE

Lipsa unei abordări centralizate a riscurilor reieșite din proiectarea produselor și a proceselor – baza analizei de risc din sistemele actuale – și a celor care sunt generate de cerințele noilor sisteme inovative în automobile (ex. ISO 26262 – Siguranța funcțională) sau care vin din exploatarea automobilelor în perioada de garanție ar fi numai câteva motive ce au condus la elaborarea tezei.

Tema abordată în această teză reprezintă un interes pentru organizațiile producătoare de componente auto, cu precădere cele care produc dispozitive mecatronice, având în vedere spectrul tot mai larg de componente ce conțin piese electronice, piese mecanice și software, utilizate în automobilele și autovehiculele comerciale.

Inovația și nevoia de creștere a siguranței au condus dus la dezvoltarea dispozitivelor mecatronice inteligente care asigură o interfața facilă cu conducătorul și/ sau cu mediul înconjurător [*BER 15].

Când vorbim despre sistemele de management actuale și de cum răspund ele la nevoile organizației, dar și ale clienților, putem să luăm în considerare anumite metode și instrumente deja dezvoltate - cum ar fi QRQC [AOU 11] – Quick Response Quality Control – Răspunsul rapid la problemele de calitate. Fără un răspuns rapid la problemele de calitate, furnizorii de componente auto nu pot face față așteptărilor tot mai mari ale clienților în ceea ce privește reducerea costurilor [*BER 14] [*OIC 15].

De aceea, teza își propune să dezvolte, în partea teoretică, un sistem și mai eficient de răspuns rapid la problemele de calitate, bazat pe structura cerințelor General Motors [*IAT 15], însă dezvoltat pe niveluri, FRLQI – Fast Response on Layers at Quality Issues – Răspunsul rapid pe niveluri la problemele de calitate, astfel încât să fie ușor pliabil pe structurile individuale ale fiecărei organizații. Instrumentele de rezolvarea problemelor deja utilizate ca A3, 8D sau PDCA-FTA [SHO 09] ajută la identificarea riscurilor [ART 15], în cea mai mare parte venind din reclamații sau problemele mari. Așa că, alte instrumente care să ajute la colectarea și identificarea cat mai multor riscuri, de la nivelul proceselor de producție, vor fi propuse spre utilizare, cum ar fi RRL - Răspuns Rapid în Linie. Acesta este un instrument ce ajută coordonatorii echipelor de producție să prevină repetarea erorilor și, astfel, să mărească eficiența și nivelul calității în procese [SHR 15].

Sistemele de management integrat calitate-risc au început să fie deja un răspuns și la aceste cerințe cumulate ale liniilor de asamblare automobile și autovehicule comerciale [AIZ 12] [OPR 05] [OPR 06] [PAT 08], iar dezvoltarea competențelor personalului cunoscând deja metodele furnizate de Toyota Production System, cum ar fi Kata Coaching [ROT 09], va ajuta și mai mult. Teza își propune să dezvolte un sistem [FEC 14] [VAD 11] care să includă și analiza, evaluarea și prevenirea acestor riscuri, dar și combinația de metode inovative în creșterea îmbunătățirii continue a organizațiilor, cum ar fi TRIZ și Kata Improving [REG 11] [TEE 15].

În ceea ce privește partea practică, bazându-se pe metode de analiza modurilor de defectare [SAL 15] [STA 03] și pe dezvoltarea acestora incluzând și riscurile

generate de părțile hardware/ software ale dispozitivelor electronice [GUO 13] și descrise în standardul ISO 26262 [DUM 14] [CHI 14] [KAF 12], teza va prezenta conceperea unui soft modular pentru o utilizare judicioasă a unui AMDE inversat care să ajute organizațiile în tratarea acestor riscuri și prevenirea lor, cu interfață în răspunsul rapid la problemele de calitate în toate procesele de producție, dar și cele tranzacționale (logistice, asigurare calitate furnizori, sistem de management al calității) [PRI 90], precum și feedback-ul din problemele generate în timpul de exploatare al automobilelor sau al autovehiculelor comerciale (garanțiile) [MUR 06].

PARTEA A I-A. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PRIVIND SISTEMELE DE MANAGEMENT AL RISCURILOR ÎN PROCESELE DE PRODUCȚIE A DISPOZITIVELOR MECATRONICE DIN INDUSTRIA AUTOMOBILELOR

Capitolul 1. Riscurile, analiza și managementul riscurilor

1.1. Riscul – generalități

Cuvântul “risc” nu are o origine delimitată, însă o mențiune apropiată de forma actuală apare în 1193 în „Carta Picena”, sub denumirea de “risicu” cu referire la personajele cărții. Mai concret, în 1711, într-o lucrare a lui Abraham DeMoivre, o definiție ce face referire la probabilitate: "riscul de a pierde o sumă oarecare este opusul așteptării și adevărata măsură a riscului este produsul dintre suma riscată și probabilitatea de a o pierde" [COR 01].

Astfel, transpus în diverse domenii ca economie, asigurări, finanțe, în organizații de diferite mărimi, riscul este privit ca o probabilitate de producere a unui eveniment.

Nevoia de a standardiza și acest domeniul al riscurilor a condus la apariția în anul 2009 a standardului 31000 elaborat de către ISO, unde termenul “risc” este denumit ca „efectul incertitudinii asupra obiectivelor”. Termenul este însoțit de note care explicitează includerea întâmplărilor potențiale și consecințele acestora, precum și combinația lor [wISO 09].

1.2. Riscul - Concepte, definiții, clasificare

Conceptul de risc este important în foarte multe domenii științifice, iar definițiile acestuia variază de la expunerea unui pericol, posibilitatea de a pierde, primejdie, prejudicii și până la explimări ce conduc la o cuantificare a riscului, cum ar fi incertitudinea apariției unui eveniment. Parte din comunitatea științifică îl consideră ca fiind o abordare subiectivă, bazată pe cunoștințele deținute la un moment dat, o altă parte considerând riscul o apariție aleatoare caracteristică probabilităților, fiind însă și autori care spun că riscul este independent de persoana care îl evaluează.

1.3. Managementul riscului

Conceptul de management al riscului este fundamental în orice domeniu, cu atât mai mult în domeniul industriei de componente pentru automobile unde dinamicitatea și evoluția piețelor scurtează cu fiecare perioadă durata unui proiect [ENN 13] [GAR 09] [GHE 06].

O diagramă a activităților procesului de management al riscurilor, așa cum îl propune ISO 31000 este prezentată în Figura 1.1.

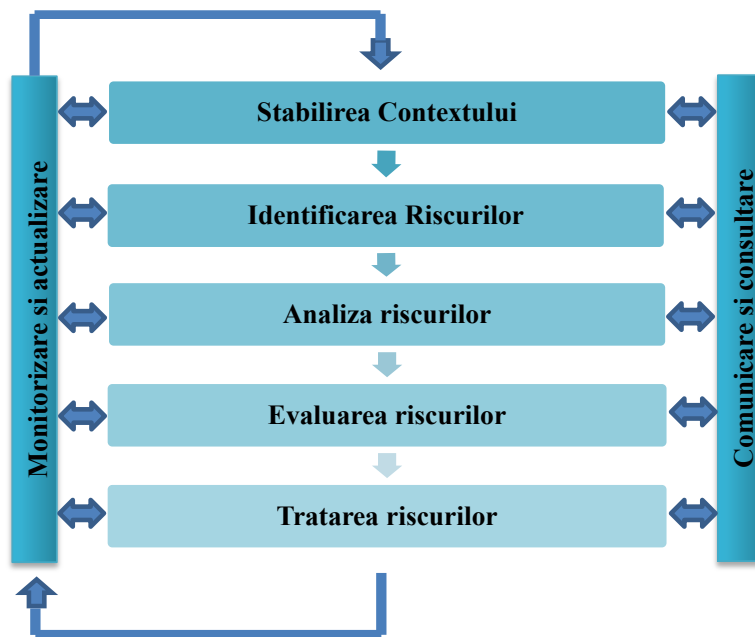


Fig. 1.1 Diagrama activităților procesului de management al riscurilor [*** 09]

1.4. Instrumente de analiză și management al riscurilor

Sunt câteva instrumente foarte cunoscute utilizate în analiza și tratarea riscurilor. Foarte des întâlnită, analiza bazată pe puncte tari versus puncte slabe și care analizează amenințările și oportunitățile – SWOT. În Figura 1.2 este prezentat un model simplu pe care se poate dezvolta o analiza SWOT, în fiecare dintre dreptunghiuri trecându-se, pe rând, potențialul intern și influența externă, pe baza lor fiind stabilite strategii sau fiind luate decizii.

În managementul proiectelor, de la această metodă a derivat și SVOR, unde s-au schimbat slăbiciunile cu vulnerabilități, iar amenințările au fost redenumite în riscuri.

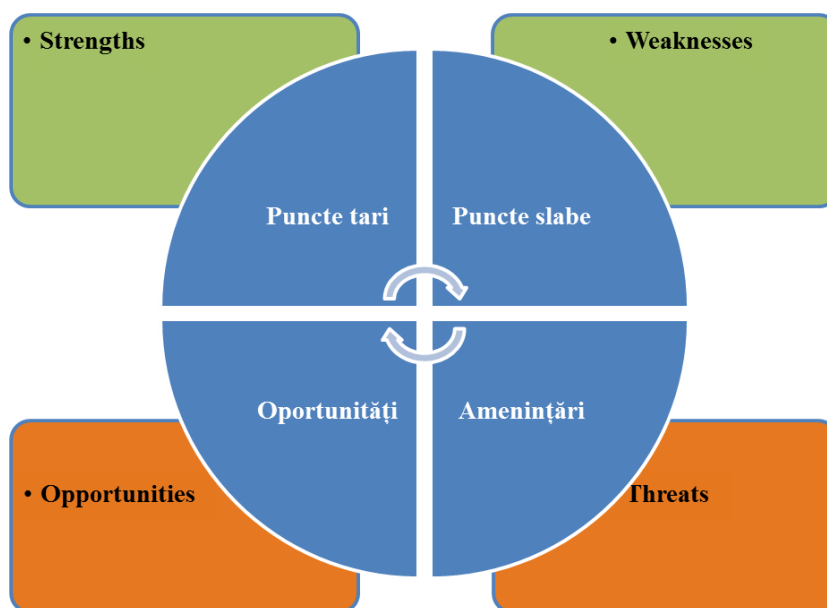


Fig. 1.2 Model SWOT [*** 11]

Capitolul 2. Stadiul actual și analiza instrumentelor de management al riscurilor în procesele de producție din industria automobilelor

2.1. Instrumente de analiză și management al riscurilor din industria automobilelor

Având în vedere și cerințele pentru producția de componente electrice sau electronice cu soft încorporat din industria automobilelor, dar și pericolele ce pot apărea în exploatarea acestora în perioada de garanție și postgaranție, ca metode de analiză pot fi menționate metoda SAHARA (Safety-Aware Hazard Analysis and Risk Assessment), o conștientizare a pericolelor în legătură cu siguranța și o analiză a acestora, însă standardul ISO 26262 vine cu clarificări și detaliază prin cerințe specifice cum trebuie implementat managementul riscurilor, mai precis cu privire la analiza situației și identificarea pericolelor, clasificarea acestora și evaluarea riscurilor.

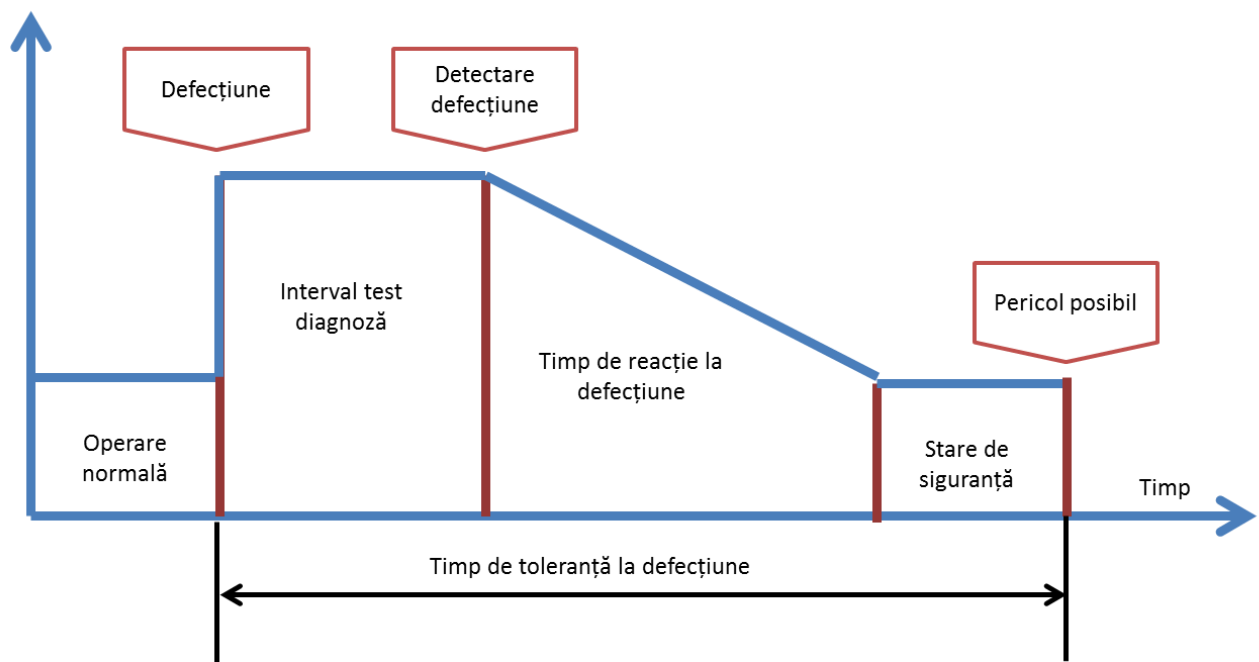


Fig. 2.1 Timpul de toleranță la defecțiune [*** 11]

Plecând de la apariția unei defecțiuni a produsului cu soft încorporat și analizând intervalul de timp de la detectarea unei defecțiuni până la atingerea stării de siguranță (vezi Figura 2.1), definind ASIL (Automotive Safety Integrity Level) - nivelul de integritate pentru siguranța automobilelor – ca unul dintre cele patru niveluri pentru a specifica cerințele necesare ale elementului electric sau electronic (sistem sau parte a sistemului ce include elemente de hardware și software).

2.2. Analiza modurilor defectării și efectele (AMDE)

Metoda utilizată în organizațiile producătoare de componente pentru industria automobile, cu precădere de către furnizorii de prim rang (Tier 1), dar și de către

furnizorii de rang secund sau terț (Tier 2, Tier 3), în funcție de complexitatea produselor livrate, este FMEA sau AMDE, acronimele provenind de la cuvintele din limba engleză sau cele din limba română.

2.2.1 Istoric AMDE

Istoria AMDE începe cu aproape 70 de ani în urmă, mai precis în data de 9 noiembrie 1949 când a fost publicată specificația militară MIL-P-1629, specificație care a fost folosită pentru evaluarea fiabilității echipamentelor.

- În anul 1955, cuplul de oameni de știință Charles H. Kepner and Benjamin B. Tregoe a dezvoltat „Analysis of Potential Problems (APP)”.
- Apoi, în 1963 NASA aplică AMDE pentru proiectul Apollo. După eșecul cu misiunea Apollo 1, FTA – Fault Tree Analysis sau Analiza arborelui de defectare ce reprezintă un instrument suport din AMDE a fost efectuat pentru întreg sistemul, pentru a identifica elementele hardware care sunt esențiale pentru performanța și siguranța vehiculului și a misiunii.
- În 1971 se aplică AMDE și în industria alimentară.
- Doar la 4 ani distanță, în 1975 AMDE a fost aplicată în tehnologia nucleară.
- În industria auto, prima dată se folosește AMDE în 1977, de către compania FORD.
- Începând cu anul 1990, AMDE se utilizează și în tehnologia medicală, ingineria comunicațiilor și ingineria mecanică [SCH 15].
- În 1993 a fost dezvoltat manualul de la AIAG [*WEB 02].
- În 1995 AMDE are aplicații în dezvoltarea de software.
- În anul 1996 a fost dezvoltat manualul de la VDA [*WEB 01].

2.2.2 Metodologia AMDE

Pentru implementarea unei metode AMDE o serie de activități trebuie efectuate de către o echipă multidisciplinară formată din specialiști din diverse departamente sau funcțiuni: responsabil client, managementul proiectului, responsabil securitate, responsabili producție, responsabil logistică, responsabil împachetare, responsabil calitate, responsabil mentenanță, responsabil inginerie și alții.

În cele ce urmează, sunt prezentate două moduri de abordare în ceea ce privește aplicarea acestor metode de analiză riscuri: metoda veche AIAG pentru un AMDE proces, prezentată în Figura 2.9 și metoda nouă după colaborarea celor două grupuri de analiză (AIAG și VDA), prezentată în Figura 2.10 (noutățile fiind cu privire la armonizarea grilelor de evaluare a riscurilor de severitate, apariție și detecție - a se vedea capitolul următor). [*WEB 01] [*WEB 02].

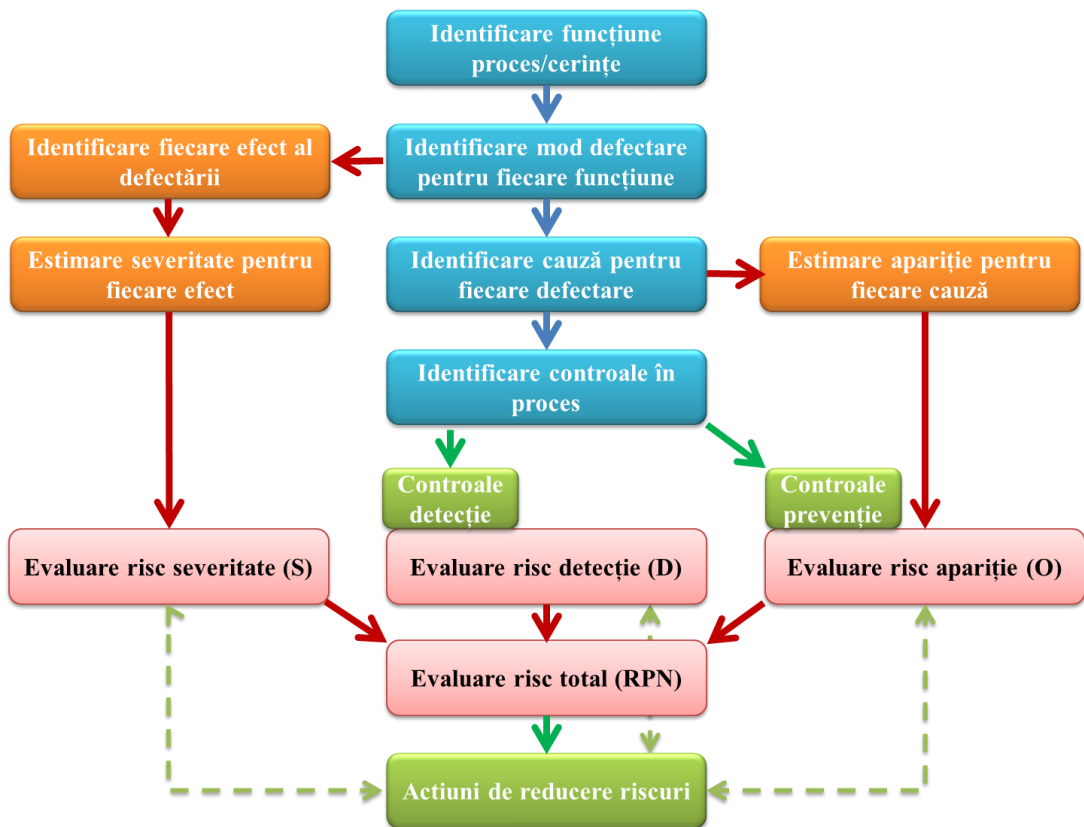


Fig. 2.9 Diagrama flux AMDE proces metoda veche AIAG [HAU 14]

Noua metodă AMDE elaborată prin colaborarea celor două organizații – VDA și AIAG – propun o derulare a analizei în trei etape: o analiză de sistem, apoi analiza defectelor, reducere riscuri și comunicarea riscurilor în organizație.



Fig. 2.10 Șapte pași propuși de noua metodă AMDE AIAG-VDA [*WEB 07]

2.3. Exemple de softuri utilizate pentru implementare și monitorizare AMDE

Având în vedere complexitatea metodei de analiză a riscurilor AMDE, dar și dinamicitatea acesteia de-a lungul duratei de viața a unui proiect sau produs, diferite metode s-au dezvoltat în timp pentru identificarea, monitorizarea și tratarea riscurilor. Una din cele mai răspândite metode este folosirea unui fisier excel dezvoltat pe baza metodologiei de la AIAG sau VDA. Însă aceasta metodă este mai des folosită în cazul produselor și a proceselor mai puțin complexe, de asemenea în organizațiile mai mici, mono-site. Luând în considerare necesitatea capitalizării experienței și a nevoii de a utiliza același instrument cu variante și versiuni în fiecare site, pentru organizațiile mari și multinaționale apare cerința de a utiliza softuri pentru aceste analize de risc (o analiză comparativă a softurilor AMDE va fi prezentată pe larg în capitolul 2.3.1).

Ținând pasul cu tehnologia și inovația, producătorii de soft precum APIS, PLATO, SIEMENS, ReliaSoft, SAP, Babtec, CAQ, CAT etc. au dezvoltat propriile platforme care includ și softuri AMDE, softuri care au ca bază cerințele de la AIAG și/sau VDA la care au adăugat diferite caracteristici pentru a veni în sprijinul utilizatorilor și al clienților acestor softuri.

În Figura 2.20 este prezentat topul producătorilor de soft AMDE organizat pe baza celor 58 de criterii de mai sus și evaluate așa cum a fost prezentat (foarte bine, satisfăcător, nesatisfăcător și neimplementat). Pentru cazul evaluării ”neimplementat” s-a considerat că este o slăbiciune a softului, drept urmare aceste criterii sunt prezentate pe axa negativă, astfel încât să fie ușor de observat analiza comparativă pe baza criteriilor implementate (3 grade de evaluare) sau neimplementate.

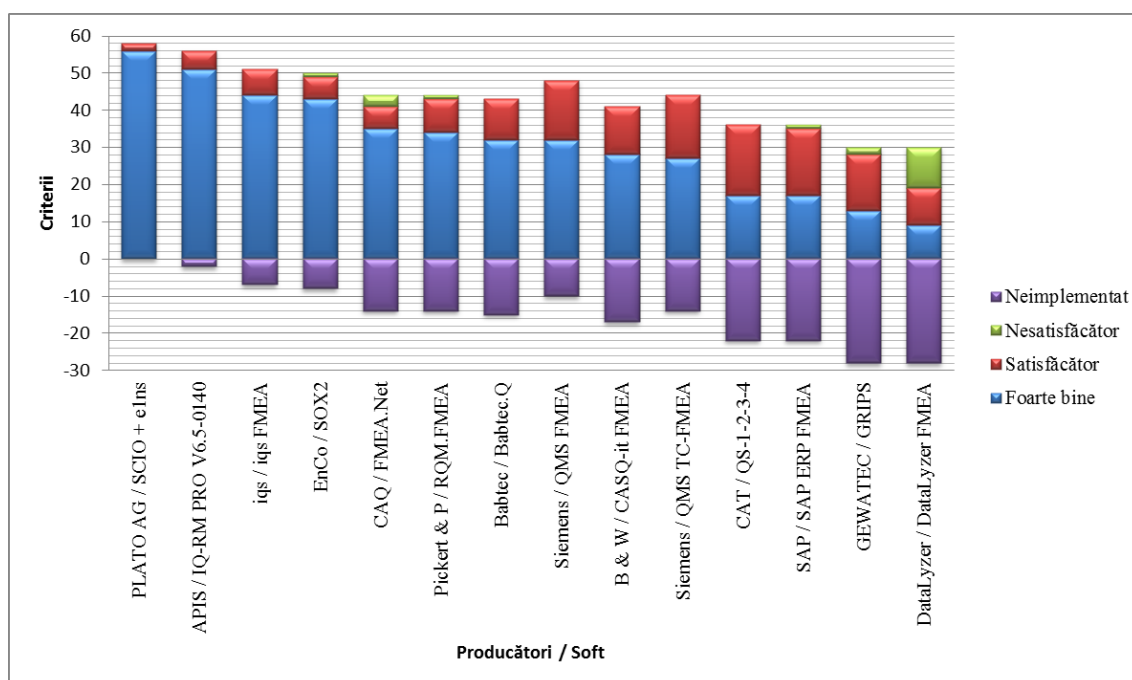


Fig. 2.20 – Topul producătorilor de soft AMDE pe baza criteriilor FMEA Konkret

Capitolul 3 Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor privind sistemele de management al riscurilor în procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor și obiectivele cercetării

3.1. Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor privind sistemele de management al riscurilor în procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor

În urma analizei metodelor actuale utilizate în identificarea, analiza, evaluarea și tratarea riscurilor din procesele de fabricație a dispozitivelor mecatronice din industria automobile, metode care se bazează în aproape toate cazurile pe AMDE (FMEA) de la AIAG sau VDA, autorul a identificat necesitatea de a considera contextul în care se aplică aceste metode în organizațiile producătoare din domeniul automobile, în fapt, de a lua în considerare și nivelul de maturitate și funcționare al sistemului de management al calității implementat și de a aborda prioritizarea riscurilor cu ajutorul unei metode mai flexibile, în funcție de expertiza echipei și a nivelului de detaliu al analizei de risc.

Pe de o parte, sistemele de management al calității implementate în organizațiile producătoare de asemenea dispozitive mecatronice trebuie să își îmbunătățească răspunsul rapid la problemele de calitate ce pot apărea în procesele de producție [FIJ 10], dar și cele tranzacționale și de comunicare, iar riscurile asociate să fie identificate, analizate și tratate pentru eliminare.

Pe de altă parte, managementul riscurilor și dinamicitatea acestora, domeniile vaste și neprevăzutul adus de inovații, conduc la necesitatea utilizării unor instrumente și softuri care să sprijine echipele multidisciplinare în activitățile lor de identificare, analiză și tratare riscuri.

3.2. Obiectivele cercetării

Având în vedere concluziile din analiza privind stadiul actual al cercetărilor în acest domeniu, bazat pe obiectivul principal de a îmbunătăți instrumentele și metodologiile utilizate în sistemul de management al riscurilor din procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor vor fi prezentate capitolele care urmează obiectivele secundare ale cercetării:

1. Dezvoltarea unui sistem de management integrat care să includa analiza, evaluarea și prevenirea sau reducerea riscurilor din etapele moderne actuale din producția de dispozitive mecatronice inteligente, implementarea unui sistem de răspuns rapid la problemele de calitate adaptat structurii ierarhice din fiecare etapă de proces, dar luând în considerare și nivelul de robustețe și maturitatea acestuia din urmă;

2. Conceperea modulară a unui soft bazat pe AMDE, prin preluarea riscurilor statistice din procesele de la recepția calitativă, din procesele de producție din diferitele etape de proces și răspunsul din garanții,

care va ține cont și de nivelul de risc bazat pe eficacitatea sistemului de management al calității. Mai mult, softul va fi interactiv și va interacționa direct cu softurile din stațiile de lucru și de control conduse de PLC-uri sau computerele de comandă ale stațiilor de lucru sau control, permițând echipelor o verificare rapidă în cazul *AMDE inversat*, dar și o actualizare rapidă a AMDE în funcție de perioada analizată pentru o imagine mai clară a riscurilor reale, având în vedere faptul că AMDE este o metodă calitativă de evaluare a riscurilor, ci nu una cantitativă, cum ar fi FTA – analiza arborelui de defectare.

PARTEA A II-A. STUDII ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND SISTEMELE DE MANAGEMENT AL RISCURILOR ÎN PROCESUL DE PRODUCȚIE A DISPOZITIVELOR MECATRONICE DIN INDUSTRIA AUTOMOBILELOR

Capitolul 4. Riscurile și relaționarea lor cu eficacitatea sistemului de management

Contribuții teoretice au fost aduse și pentru planificarea, proiectarea și adaptarea la dimensiunea organizației și la complexitatea proceselor sale, iar – în final – implementarea unui sistem de răspuns rapid pe niveluri la problemele de calitate, FRLQI [BRA 16a], dar și pentru îmbunătățirea metodelor de lucru pe nivelurile respective și a instrumentelor utilizate în vederea dezvoltării competențelor necesare.

4.1. Abordarea riscurilor din prisma robusteții și maturității sistemului de management al calității

În organizațiile care au procese de dezvoltare, procese de producție sau servicii pentru producția de componente pentru automobile trebuie implementat și menținut un sistem de management al calității. În funcție de piața căreia i se adresează, în ceea ce privește producătorul de automobile, fie VDA, AIAG sau altele neafiliate celor două [*WEB 01] [*WEB 02], pot fi diferite standarde care stabilesc cerințe pentru aceste sisteme de management al calității. În Figura 4.1 este prezentată evoluția standardelor care stabilesc cerințe pentru managementul calității din domeniul industriei automobile, de la AIAG și VDA [*** 16b]

Specific industriei automobiliste

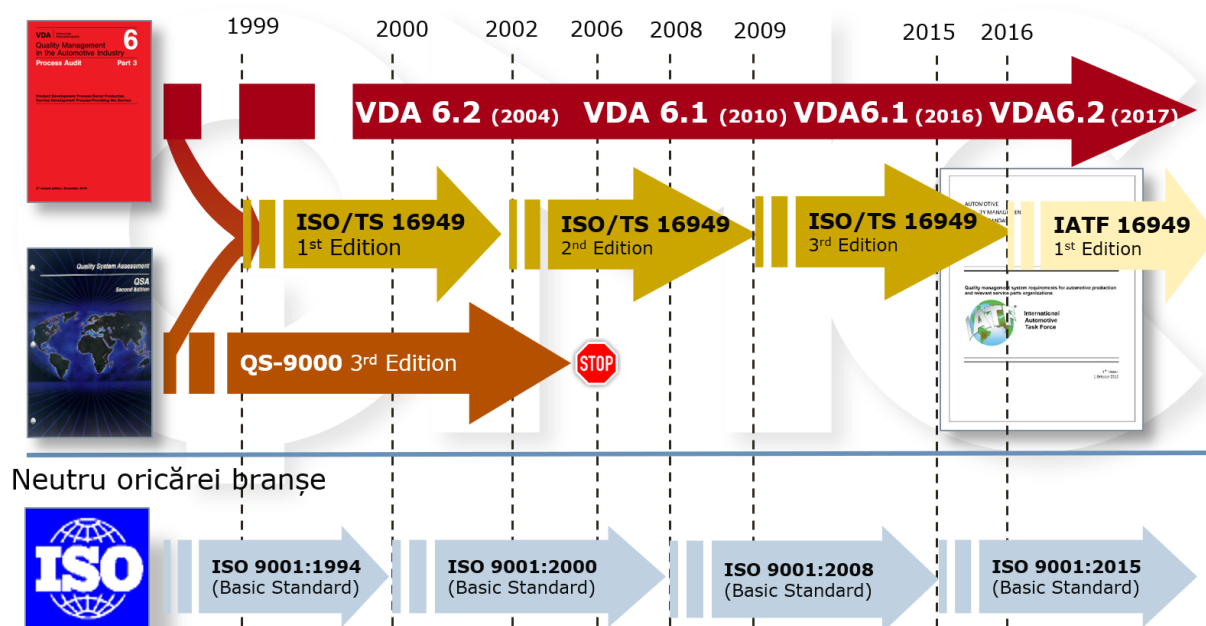


Fig. 4.1 Dezvoltarea standardelor de managementul calității (sursa:VDA-QMC)

Capitolul 5. Model de răspuns rapid la problemele organizației

5.1. Răspunsul rapid pe niveluri la problemele de calitate

Un studiu efectuat pe baza experienței autorului în diferite organizații producătoare de componente pentru automobile, prezintă durata implementării sistemelor de răspuns rapid pentru patru sisteme de management al calității din cinci companii (două dintre ele fac parte din aceeași organizație multinațională, dar în locații diferite), dintre care patru au procesele de fabricație bazate în România, iar una are procesele de producție în Paraguay, așa cum se poate vedea în Tabelul 5.1 [BRA 16a].

Tabel 5.1 Locațiile organizațiilor, tipul și complexitatea proceselor

Organizația	Amplasarea proceselor de fabricație	Tipul de organizație (națională/multinațională)	Complexitatea proceselor
Cabluri electrice Producător 1	Romania	Natională	scăzută
Cabluri electrice Producător 2	Romania	Multinațională	ridicată
Cabluri electrice Producător 3	Paraguay	Multinațională	ridicată
Cabluri electrice Producător 4	Romania	Multinațională	ridicată
Producător dispozitive mecatronice	Romania	Multinațională	foarte ridicată

Durata implementării sistemului de management și perioada până la dovedirea eficacității acestuia a fost, de la caz la caz, între 6 și 24 de luni de zile. Pe baza studiului au reieșit diferite concluzii ca:

1. rezistența la schimbare a personalului pentru a transforma sistemul de răspuns rapid dintr-o metodă, într-o cultură organizațională;
2. durata relativ mică de implementare în organizațiile mici și mai puțin complexe (cu atingerea nivelului de "zero defecte" și a satisfacției clienților);
3. utilizarea unei metodologii ca QRQC [AOU 11] într-una dintre organizații, după un an de la dovedirea eficacității a condus la schimbarea indicatorului de calitate de la PPM (piese defecte per milion) la PPB (piese defecte pe miliard/billion);
4. nevoia de adaptare a instrumentelor utilizate în sistemul de răspuns rapid la cultura țării respective (comparația dintre două locații diferite ale aceleiași organizații, dar în țări diferite, România și Paraguay).

Pentru a prezenta sistemul de răspuns rapid pe niveluri la problemele de calitate, se consideră exemplul unor procese principale dintr-o organizație de producție ca în Figura 5.1.

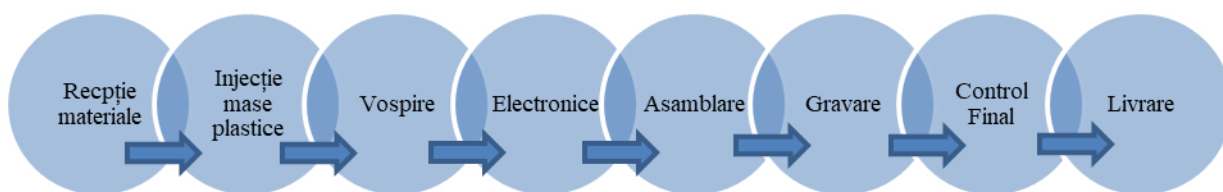


Fig. 5.1 Fluxul proceselor principale

În funcție de nivelul de complexitate al dezvoltării structurii de leadership și al proceselor sau al liniilor de fabricație, folosirea unei singure metodologii, fie ea QRQC (destul de cunoscută după dezvoltarea ei în Valeo – unul dintre furnizorii importanți din domeniul automobile), nu ar da rezultatele așteptate și va depinde foarte mult de nivelul de expertiză al consultantului care ajută la implementarea acestei metodologii.

Drept urmare, FRLQI este o metodologie care reduce nivelul necesar de expertiză și poate să fie ajustată foarte ușor pe structurile fiecărei organizații [MAI 15]. În Figura 5.2 se prezintă o structură a nivelurilor sedințelor de răspuns rapid adaptată pentru o organizație de producție de dispozitive mecatronice, cu structură diferită a leadershipului de nivel mediu în secțiile diferite de producție.

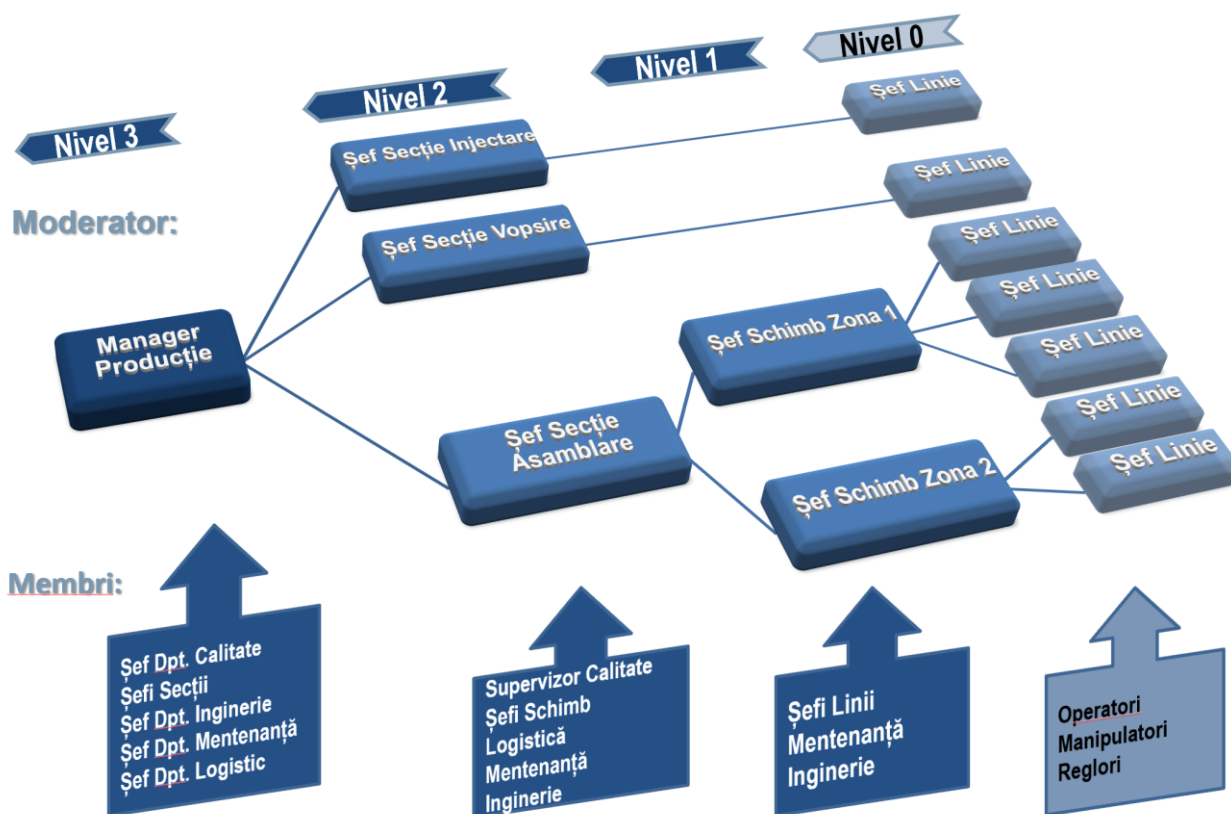


Fig. 5.2 Nivelurile 0-4 cu liderii ședințelor și membri ai echipelor

Ultimul nivel, coordonat de directorul general, este adaptat în funcție de numărul departamentelor sau al managerilor ce coordonează acea activitate (Figura 5.3).

Sedințele se efectuează în zonele de producție, într-o zonă dedicată, permițând echipei să se deplaseze, la nevoie, direct în procesul implicat pentru evaluarea și

analizarea riscurilor, dar aducând și un beneficiu în ceea ce privește ”urmarea exemplului”, astfel că metodologia se poate fixa mai ușor la nivelul subconștientului colectiv și poate deveni cultură organizațională. Aceste ședințe trebuie să fie scurte (cel mult o durată de 20 de minute).

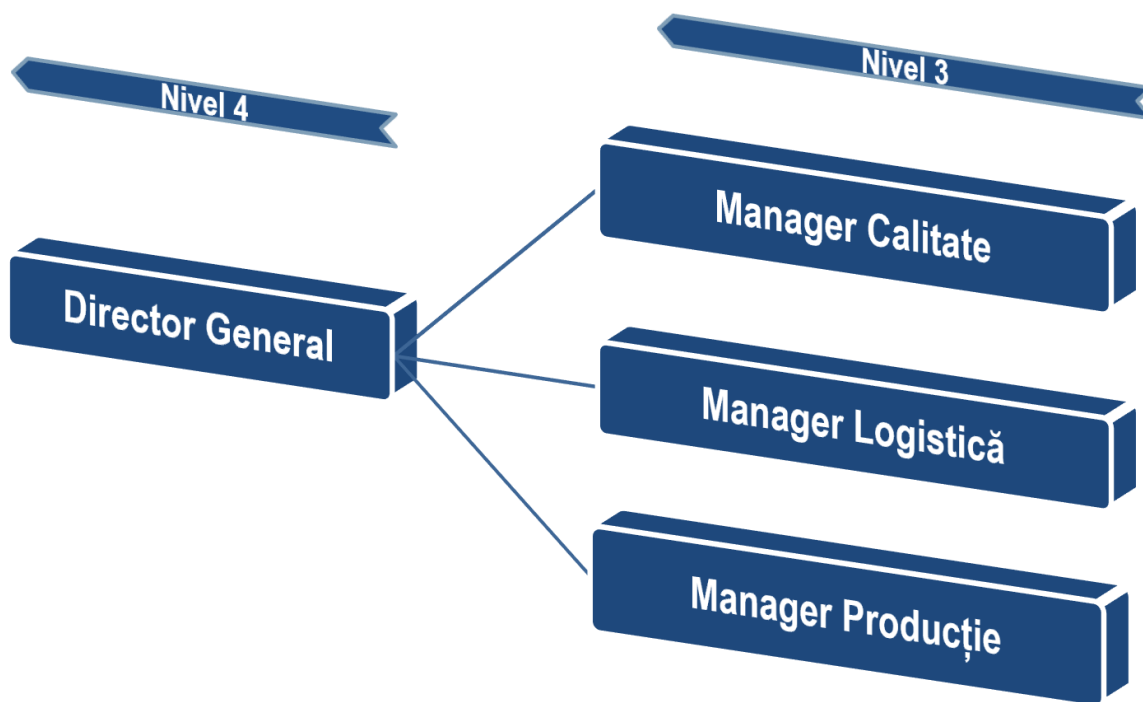


Fig. 5.3 Ultimul nivel coordonat de directorul general și membri ai echipei

Pentru a verifica și compara eficacitatea acestui sistem de răspuns rapid pe niveluri la problemele de calitate față de celelalte existente, s-a efectuat o analiză multi-criterială a sistemelor de răspuns rapid implementate în aceeași organizație de producție de dispozitive mecatronice (în diferitele etape de dezvoltare), precum și QRQC-ul utilizat într-o altă organizație.

Pentru aceasta, criteriile alese – PREDICT (acronimul este explicat în Figura 5.4) – au fost evaluate conform unei rețele latine cu 3 valori și acestea au fost comparate, două câte două, în ceea ce privește importanța, astfel:

- "0" atunci când importanța este inferioară comparării;
- "0,5" atunci când este egală;
- "1" este mai mare decât comparația.

Comparația se face pe linie atunci când criteriul este comparat cu cel din coloană. Atunci când criteriul este comparat cu el însuși rezultatul este de 0,5.

P	rezolvarea Problemelor folosită la toate nivelurile
R	Re-ajustarea facilă la schimbările organizaționale
E	Elaborare și înglobare sistemul de management al calității

D	Dezvoltarea opersonalului la toate nivelurile utilizând metodologia
I	Interferența cu alte instrumente de analiză riscuri
C	Cost în ceea ce privește implementarea
T	Timp utilizat la punerea în aplicare la toate nivelurile.

Fig. 5.4 Criterii pentru analiza multi-criterială

Ponderea criteriilor (Y_i) se calculează pe baza unei formule empirice (5.1) numită "FRISCO" [BOB 09], iar rezultatei analizei este prezentat în Tabelul 5.2.

$$\gamma_i = \frac{p + \Delta p + m + 0,5}{\frac{N_{crt} - \Delta p'}{2}} \quad (5.1)$$

unde:

p - Suma punctelor calculate pe linia criteriului;

Δp - Diferența dintre rangul criteriului și rangul ultimului criteriu de clasificare; în cazul în care criteriul este ultimul loc în clasament, acesta va fi zero;

m - Numărul de criterii depășite în funcție de puncte;

N_{crt} - Numărul de criterii considerate;

$\Delta p'$ - Diferența dintre punctele criteriului și punctele primului criteriu de clasificare; dacă criteriul este primul clasat, aceasta va fi zero;

Tabel 5.2 Rezultatul analizei multi-criteriale

	P	R	E	D	I	C	T	Puncte	Rang	γ_i	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3		Varianta 4	
											N_i	$N_i \times \gamma_i$	N_i	$N_i \times \gamma_i$	N_i	$N_i \times \gamma_i$	N_i	$N_i \times \gamma_i$
P	0,5	1	1	0,5	1	1	1	6,0	1,5	4,71	4	18,86	8	37,71	10	47,14	9	42,43
R	0	0,5	0	0	0,5	0	0	1,0	6,5	0,18	4	0,71	6	1,06	9	1,59	7	1,24
E	0	1	0,5	0	1	0	1	3,5	3,5	1,42	7	9,92	7	9,92	8	11,33	8	11,33
D	0,5	1	1	0,5	1	1	1	6,0	1,5	4,71	4	18,86	6	28,29	10	47,14	10	47,14
I	0	0,5	0	0	0,5	0	0	1,0	6,5	0,18	4	0,71	6	1,06	9	1,59	8	1,41
C	0	1	1	0	1	0,5	0	3,5	3,5	1,42	9	12,75	7	9,92	7	9,92	7	9,92
T	0	1	0	0	1	1	0,5	3,5	3,5	1,42	8	11,36	7	9,94	7	9,94	7	9,94
Rang final												73,15		97,89		128,65		123,41

5.2. Metode și instrumente de lucru pentru FRLQI pe niveluri

Cum fiecare nivel are propriile nevoi de expertiză și timp de reacție și analiză, pentru a funcționa eficient și pentru a capitaliza experiența cât mai repede, instrumentele de rezolvare a problemelor au fost și ele adaptate nivelurilor și nevoilor, astfel că, pentru nivelul 0 – unde timpul de reacție este imediat și timpul de analiză foarte mic – s-a elaborat un nou instrument, RRL – răspunsul rapid în linie [BRA 16b], cu scopul de a dezvolta abilitățile șefilor de linie sau de echipă în ceea ce privește identificarea și descrierea clară a problemei, urmărirea cauzelor

(nu neapărat cele rădăcină) problemei și stabilirea acțiunilor imediate pentru oprirea multiplicării problemei.

Acest formular RRL este completat de către șeful de linie sau de schimb pentru fiecare problemă nouă, necunoscută (vezi Figura 5.5).

Răspuns Rapid în Line / RRL								
Date deschidere RRL:	Linie:	Schimb:	Nr. RRL					
Descriere Problemă		DESEN / FOTO / SCHIȚĂ (folosiți piesa neconformă să o comparați cu o piesă bună)	Piese sortate:	Re-apariție:				
Ce (problemă)?			Piese neconforme:	Validarea turei nu s-a repetat în 3 schimburi consecutive = OK; dacă nu = NOK - escaladați la nivel de secție)	Schimb	1	2	3
De ce este o problemă?			Data producției (cea mai veche):		Validare			
Unde (a fost detectată)?			Data producției (cea mai nouă):		Semnătură Șef Echipă			
Când (a fost detectată)?		CAUZE APARIȚIE:	Acțiuni imediate:	Responsabil:	Semnătură			
Cine (a detectat-o)?					Calitate			
Cum (a fost detectată)?		CAUZE NON-DETECTIE:			Data escaladare:			
Câte (piese afectate)?					Verificarea proceselor asemănătoare:			
					Data închidere RRL			
					Semnătura:			

Fig. 5.5 Șablon A4 Landscape pentru RRL

Pentru nivelul 1, instrumentul utilizat pentru rezolvarea problemelor este cel cunoscut sub denumirea 8D (dezvoltat de către FORD, numit G8D – Global 8D report), în care se tratează problema în 8 pași (sau discipline). Este important a se ține cont de faptul că fiecare raport 8D are un lider desemnat, cel care conduce echipa multidisciplinară, că acest lider este, de regulă, responsabilul de arie care are cauzalitatea problemei respective, că se stabilește data până la care raportul trebuie să fie gata (5-10 zile) și că este obligatoriu a fi prezentat în sesiunile zilnice de răspuns rapid pe niveluri. Astfel, echipa dobândește abilități și învață din greșeli, prevenindu-le, precum și fiecare membru este motivat de recunoașterea contribuțiilor și își dezvoltă modul de utilizare al competențelor [CAR 15]. Mai mult, ca parte a sistemului de management al riscurilor, datele de ieșire din răspunsul rapid pe niveluri la problemelor de calitate vor reprezenta intrările în estimarea evaluării probabilității de apariție sau de detectare a posibilelor moduri de defectare din AMDE.

Pentru celelalte niveluri, instrumentul utilizat pentru rezolvarea problemelor este PDCA-FTA, iar stabilirea liderului și necesitatea prezentării analizei în sesiune sunt la fel ca la nivelul 1.

În funcție de rata de probleme, precum și rata de reparație a unor probleme pe aria respectivă, software-ul AMDE în varianta propusă de autor va lua în considerare și această dimensiune, astfel că încadrarea riscurilor și prioritizarea acțiunilor sunt ajustate în funcție de maturitatea sistemului de management și de robustețea proceselor.

Capitolul 6. Concluzii referitoare la studiile și contribuțiile teoretice privind sistemele de management al riscurilor în procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor

Analiza riscurilor în procesele de producție din industria automobilelor este o analiză care are la bază un instrument utilizat prima dată în aeronautică, AMDE. Acest instrument a avut de-a lungul timpului mai multe revizii bazate pe dezvoltarea proceselor din industrie. Însă, în ultima vreme, dezvoltarea accentuată a industriei, în general, și a celei de automobile, în particular, aduce o serie nouă de riscuri și dimensiuni care nu mai pot fi acoperite doar cu un instrument ca AMDE. Și mai mult se complică lucrurile atunci când organizația produce dispozitive mecatronice pentru automobile și care trebuie să respecte și multe cerințe cu privire la siguranța funcțională.

Mai mult, necesitatea de a fi actualizate aceste analize de riscuri pentru a adăuga valoare în procesele de producție de dispozitive mecatronice, face ca instrumente ca AMDE inversat să fie necesar a fi utilizate într-un mod sistematizat pentru a putea fi eficace și eficiente.

Drept urmare, pe baza studiilor și contribuțiilor teoretice pot fi trase următoarele concluzii:

1. Implementarea unui sistem de răspuns rapid pe niveluri la problemele de calitate va schimba reacția în procesele de producție de la nivelul conștient la nivelul subconștient, pe baza repetării unor rutine, astfel organizația va putea dezvolta un sistem de management al riscurilor prin urmărirea problemelor "just-in-time" de la nivelul 0, precum și transpunerea acestora sub formă de rată de defectare și rată de reparație, fiind relevante și cuantificabile în estimarea probabilității reale de apariție și a celei de detectare, acest sistem de răspuns rapid putând fi implementat în toate ariile de producție, de logistică, de analiză din garanții sau la asigurarea calității furnizorilor.

2. Utilizarea instrumentelor statistice asupra bazei de date de la inspecția de recepție, fie și la controlul asigurat pe baza metodei "skip lot" poate converti riscurile de la furnizori în sistemul de management al riscurilor, dând posibilitatea unei estimări asupra posibilității de primire a unor loturi care pot fi la limita sau în afara specificațiilor.

3. Implementarea unor măsurători 3D cu ajutorul mașinilor de măsurat în coordonate, fie optic sau cu palpare, prin implementarea unor dispozitive care să poată facilita aceste măsurători prin reducerea timpului de măsurare și al nivelului de expertiză al inspectorului, introducerea acestor informații în baza de date și analiza lor statistică cu instrumente ca ANOVA (analiza varianței), aduce sistemului de management al riscurilor posibilitatea de a aprecia cu mai multă acuratețe riscurile și dimensiunile lor în injectarea de mase plastice sau vopsirea prin pulverizare, urmărind parametri principali și aleși pentru monitorizare, utilizând un soft adecvat.

4. Utilizarea DoE – Design of Experiments – dezvoltarea experimentelor și în procesele de producție, ci nu doar în proiectarea produsului și a proceselor, ar aduce ca date de intrare în sistemul de management al riscurilor o altă apreciere din punct de vedere al posibilelor riscuri și al prevenției acestora.

5. Analiza variației parametrilor mașinilor de gravare cu laser în combinație cu grosimea stratului de vopsea, a substratului din material plastic și a mediului înconjurător va furniza, de asemenea, date de intrare în sistemul de management al riscurilor.

6. Estimarea cu o mai mare acuratețe a defectelor din garanții și aplicarea rezultatului asupra estimării gravității, dar și a corecției coeficientului în ceea ce privește estimarea probabilității de detectare în sistemul de management al riscurilor, va îmbunătăți satisfacția clienților prin reducerea acestor probleme în garanții.

7. O metodologie de lucru care să ia în considerare analiza și prevenirea sau reducerea acelor riscuri transversalizate între procesele inovative dintre diferitele etape de proces, astfel va putea să evidențieze anumite moduri de defectare care pot apărea doar prin combinația factorilor din acele procese.

PARTEA A III-A. STUDII DE CAZ ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SISTEMELE DE MANAGEMENT AL RISCURILOR ÎN PROCESELE DE PRODUCȚIE A DISPOZITIVELOR MECATRONICE DIN INDUSTRIA AUTOMOBILELOR

Capitolul 7. Riscurile în diferite etape de proces în industria automobilelor

7.1. Riscurile de la recepția materiei prime

Deși încă se mai utilizează, însă foarte rar, AQL – limita de calitate acceptabilă – pentru aprobarea loturilor la inspecția de recepție a materiei prime [CHA 09] conform standardului ISO 2859-1, majoritatea covârșitoare a organizațiilor din domeniul producției de componente pentru automobile utilizează metoda așa-numitului ”skip lot” explicat în standardul ISO 2859-3 [WEB 05].

În vederea utilizării relevante a datelor de la inspecția de recepție a materiei prime pentru o evaluare concludentă a posibilelor riscuri identificate în AMDE, fie că este unul tradițional sau chiar modificat pentru furnizori [CHE 13], un studiu de caz s-a efectuat într-o organizație producătoare de dispozitive mecatronice plecându-se de la tipurile de materiale recepționate.

Această organizație utilizează metoda ”skip-lot” și înregistrează datele în ERP-ul propriu (SAP) [RUH 16] pe fiecare produs, fiecare nivel de generație. În figurile 7.2 și 7.3 sunt prezentate graficele cu materia primă recepționată (tipuri de produse) și cu numărul de articole din mase plastice [BRA 16d].

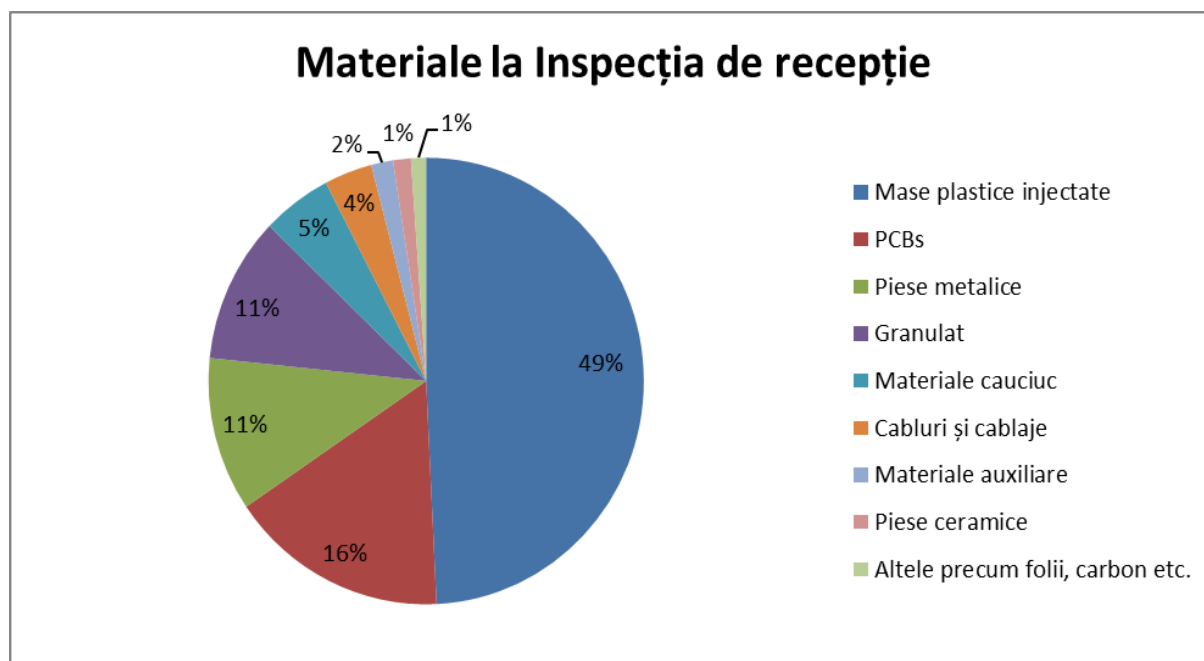


Fig. 7.2 Materia primă la Inspecția de recepție

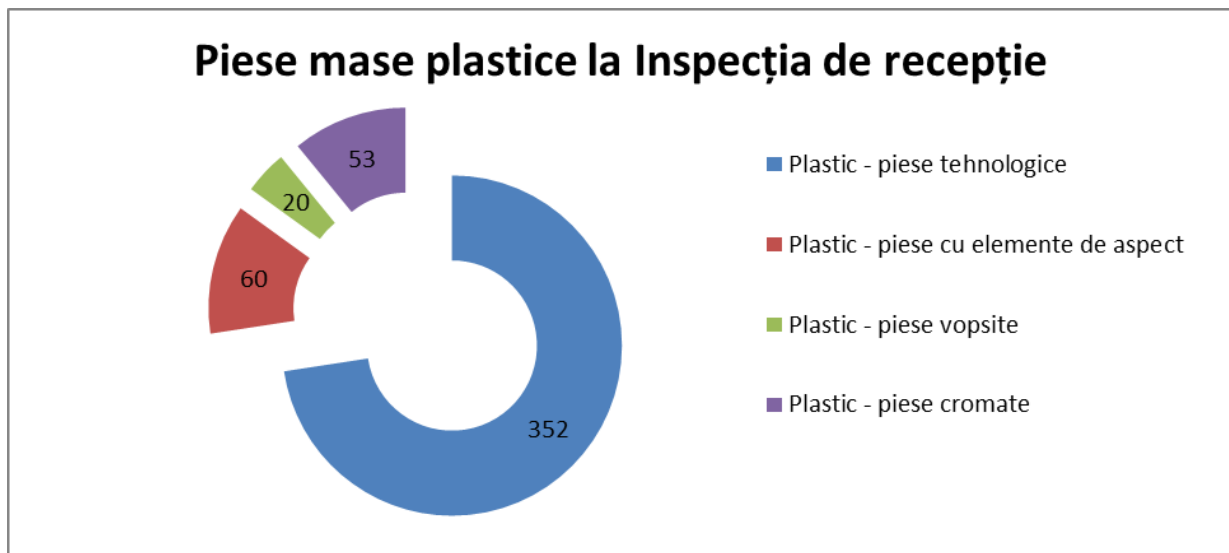


Fig. 7.3 Număr articole mase plastice la Inspecția de recepție

Cum se poate vedea, aproape jumătate dintre materiale sunt produse din mase plastice, iar dintre acestea, cele mai multe sunt articolele care intră în ansamblurile dispozitivelor mecatronice. Acestea, numite componente tehnice, servesc drept mecanisme de acționare, ghidajele glisante sau elementele de fixare. Pentru aceste articole, caracteristicile inspectate sunt, de cele mai multe ori, dimensiuni interioare sau exterioare, prin urmare, date variabile.

Furnizorii transmit conform cerințelor, la cerere sau periodic, nivelul capabilității proceselor lor exprimat prin indicele capabilitate proces, C_{pk} , calculat cu formula (7.1) [*** 05], unde unde USL și LSL reprezintă limita superioară a specificației și limita inferioară a specificației:

$$C_{pk} = \min \left(\frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\sigma_c}; \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\sigma_c} \right) \quad (7.1)$$

unde:

$$\sigma_c = \bar{R}/d_2$$

$\bar{\bar{X}}$ – reprezintă media mediilor sub – grupurilor, $\bar{\bar{X}}$

\bar{R} – reprezintă media intervalelor subgrupurilor

d_2 – reprezintă o constantă bazată pe dimensiunea subgrupului

Acest indice capabilitate proces trebuie să fie mai mare de 1,67 pentru caracteristicile speciale (cei mai multi clienți o cer, dar există și clienți care cer ca indicele $C_{pk} > 2$) și mai mare de 1,33 pentru celelalte caracteristici.

Asemănător, se calculează și indicele performanță process, P_{pk} , diferența constând în calculul deviației standard a eșantionului, aici luându-se în considerare variația totală a procesului – formula (7.2):

$$P_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_p}; \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_p}\right) \quad (7.2)$$

unde:

$$\sigma_p = s = \sqrt{\sum_i \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

X_i – reprezintă citirea individuală

n – reprezintă numărul total de citiri individuale

În studiul efectuat la Inspecția de recepție pentru un anumit produs, caracteristica analizată fiind o dimensiune importantă K1, pe baza măsurătorilor efectuate pe eșantionul de 5 piese (per cavitate), din SAP s-au exportat analizele statistice (vezi date în Anexa 1), iar indicatorii de capabilitate proces C_{pk} și de performanță proces P_{pk} , precum și indicele de capabilitate Taguchi C_{pm} care ia în considerare și biasul față de țintă sunt prezentați în Figura 7.6.

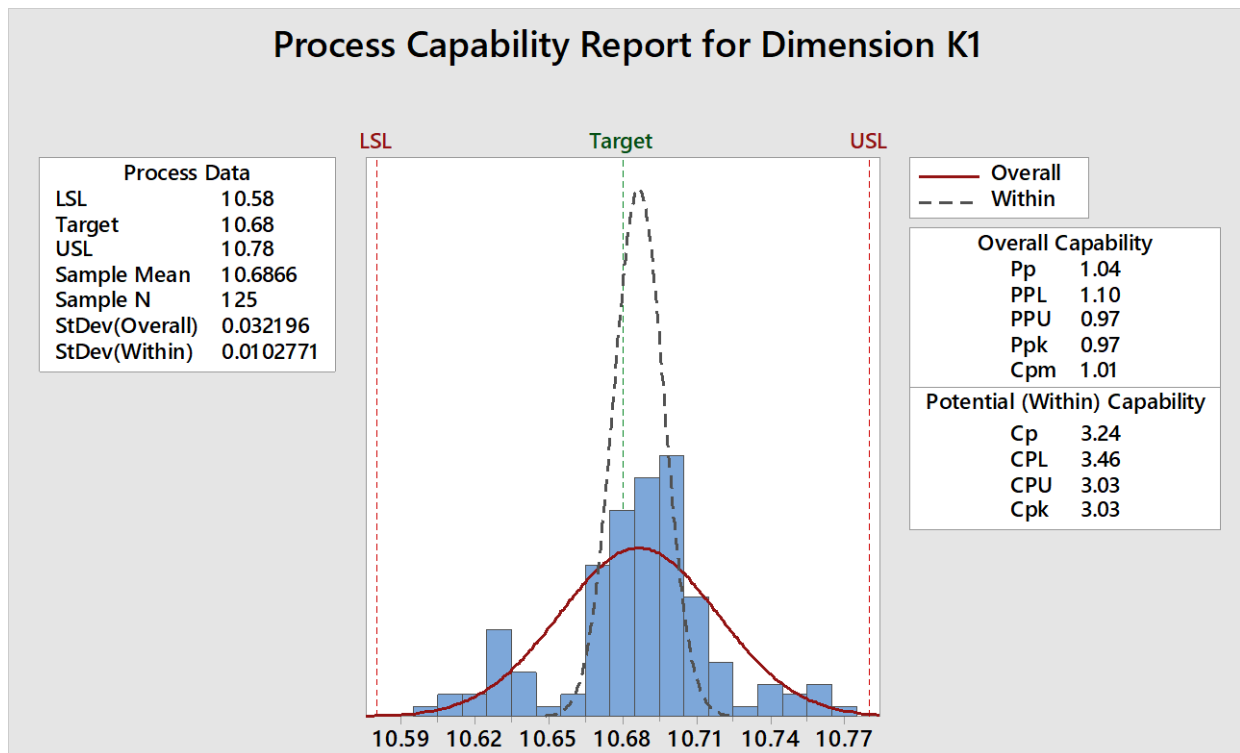


Fig. 7.6 Capabilitatea procesului pentru dimensiunea K1

La o analiză superficială, evaluatorul ar putea înțelege că procesul furnizorului este în regulă, luând în considerare și că în eșantioanele verificate nu au fost detectate piese în afara specificațiilor. Dar, deși C_{pk} -ul este mai mare de 3, P_{pk} -ul este subunitar, drept urmare procesul nu este în control statistic [WHE 93]. Printând graficele \bar{X} și R (Figura 7.7) se poate vedea că sunt destule puncte în afara

limitelor de control pentru graficul mediilor subgrupurilor. Practic, la o analiză atentă, se observă că procesul nu are doar o distribuție, ci trei distribuții diferite, arătând că procesul s-a schimbat în variație de două ori [WHE 10] – Figura 7.8. Urmărind trendul din grafic, se poate estima că procesul va produce chiar piese în afara limitelor specificației dacă nu se analizează și nu se corectează cauzele speciale. Așadar, o evaluare a riscurilor trebuie să considere și acest aspect și AMDE inversat să conducă la actualizarea corespunzătoare a nivelului de risc.

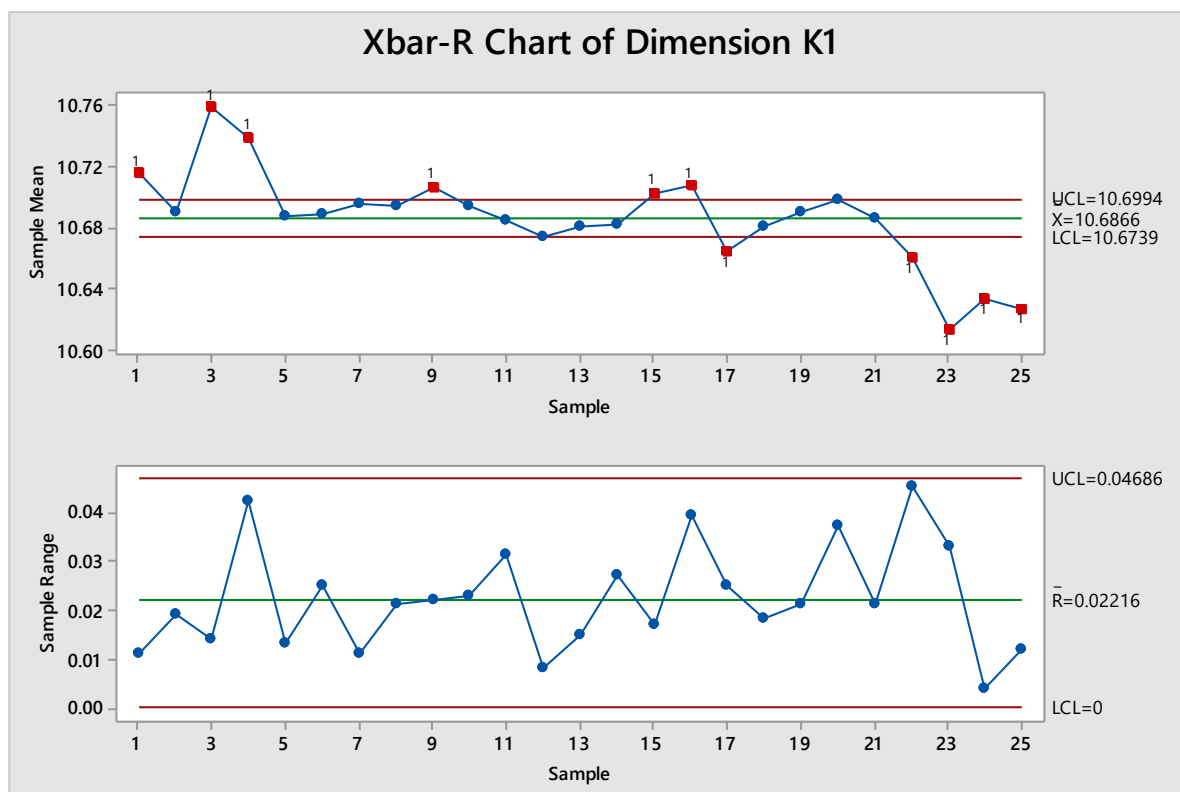


Fig. 7.7 Graficele Xbar și R pentru dimensiunea K1

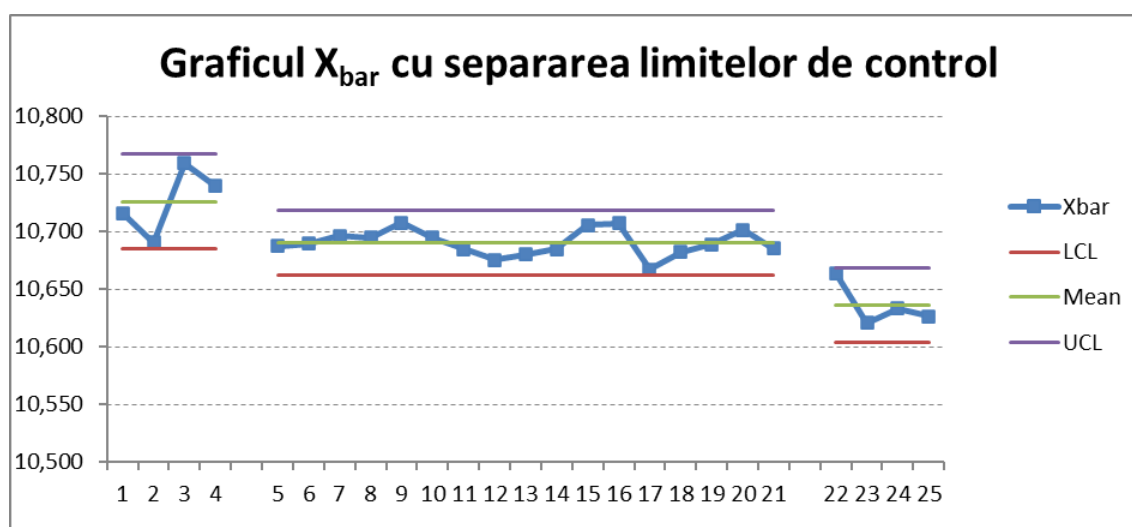


Fig. 7.8 Graficul Xbar cu separarea limitelor de control

Un alt beneficiu al datelor înregistrate în bazele de date interne și al analizei acestora, în evaluarea și încadrarea riscurilor în AMDE inversat la recepția

materiei prime îl reprezintă posibilitatea urmării periodice a histogramelor și detectarea situațiilor în care lipsesc intervalele din partea centrală a distribuției, ceea ce ar însemna o sortare la furnizor sau – din nou – două distribuții diferite, deci risc de livrare a loturilor cu piese în afara limitelor specificației – Figura 7.9.

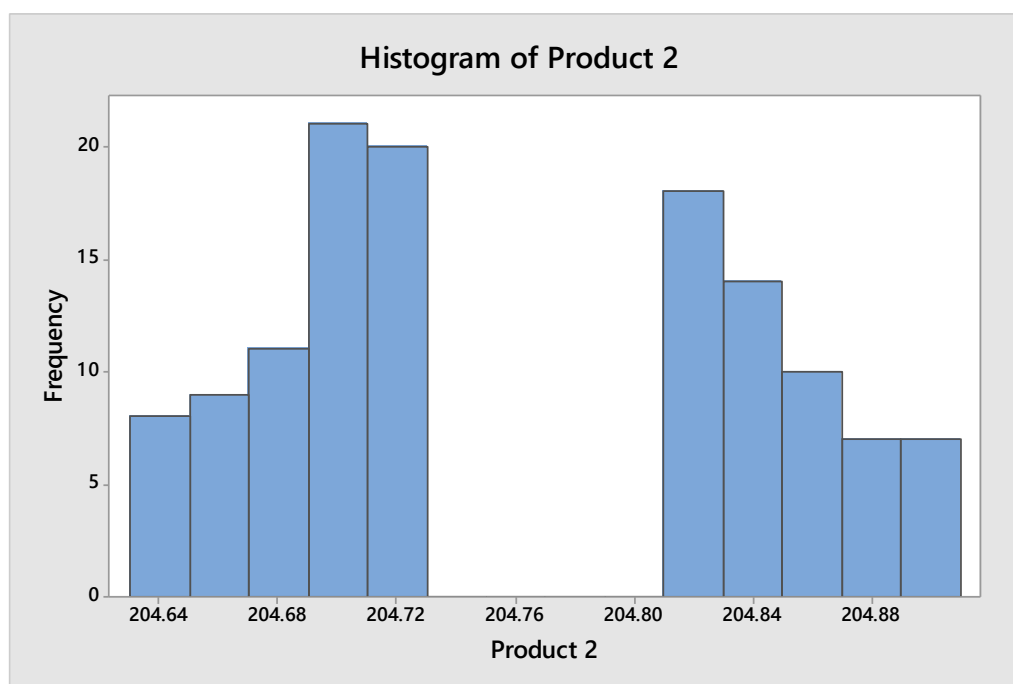


Fig. 7.9 Histograma pentru produsul Product 2

7.2. Riscurile din procesele de injectare mase plastice

În procesele de producție de dispozitive mecatronice, procesele de injectare mase plastice sunt foarte folosite (nu se utilizează doar piese de la furnizori), mai ales pentru piesele multicomponent sau piesele care sunt ulterior vopsite și gravate. Riscurile care trebuie să fie luate în considerare în analiza globală AMDE în procesele de producție dispozitive mecatronice în industria de componente pentru automobile se referă și la deformarea cunoscută sub denumirea de "warping", precum și contracția cunoscută sub numele de "shrinkage" a anumitor părți ale piesei, care ulterior pot conduce la blocări ale glisajelor sau culisării, chiar la zgomote datorită jocului excesiv.

Cercetările teoretice efectuate într-o organizație ce produce astfel de dispozitive mecatronice au fost efectuate utilizând o astfel de mașină de măsurat în coordonate 3D.

În studiul efectuat, piesa măsurată în procesul de injectare era monitorizată doar printr-o dimensiune importantă (notată în instrucțiunile de lucru cu K1) și era măsurată cu ajutorul unui ceas comparator (Figura 7.13). Așa cum se poate vedea în Figura 7.14, procesul care este în control statistic are capacitatea mașinii, C_{mk} , de peste 6, iar capacitatea procesului, C_{pk} , mai mare de 2. Oricare analiză a datelor ar fi condus la concluzia că procesul este stabil – asta după evaluarea graficelor de control ale mediilor și deviațiilor standard – și capabil, ceea ce este în totală concordanță cu prevederile manualului de control statistic. Asemănător, o

altă cotă dintr-un plan perpendicular pe planul cotei K1 era măsurată după aceleași principii, iar rezultatul fiind în aceeași direcție a capabilității procesului.

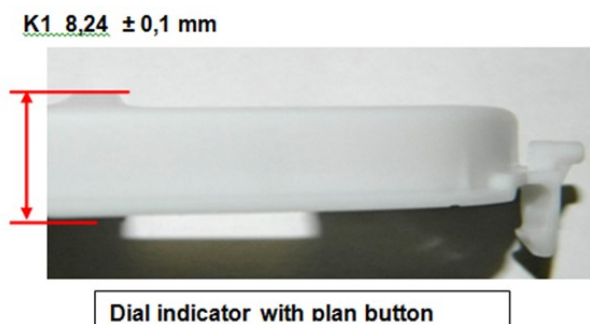


Fig. 7.13 Măsurarea piesei în procesul de injectare

Drept urmare, riscul în AMDE este evaluat ca foarte mic la probabilitatea de apariție, cu atât mai mult cu cât din Figura 7.15 putem observa o împrăștiere îngustă, deci un proces destul de precis.

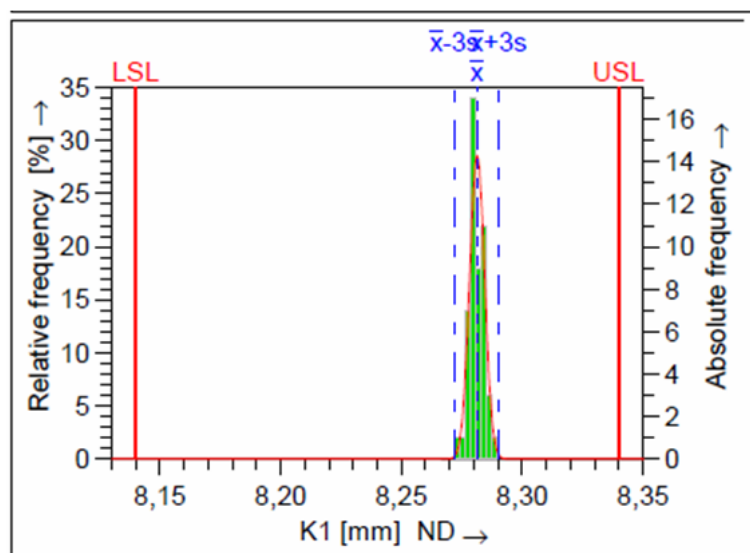


Fig. 7.15 Diagrama distribuției Gauss

Însă, un risc - cu o evaluare destul de ridicată în ceea ce privește posibilitatea de detectare, adică aproape nedetectabilă având în vedere cerințele sistemului de management al calității, prin procedurile de începere a producției și cerințele din planul de control – nu a fost luat în considerare, fiind vorba de posibilitatea de ”warpage” la schimbarea lotului de material sau a ajustării unor parametri. Astfel, prin măsurarea unui articol pentru fiecare astfel de caz, se poate detecta ”warpage-ul” care va conduce la blocarea piesei în asamblare (ci nu o rotire fără frecare, așa cum este cerut în specificație). În Figura 7.16 se pot vedea zonele albastre care arată o ”lipsă de material”, în realitate fiind o deformare a piesei pe axa Z.



Fig. 7.16 Piesă scanată comparată cu modelul 3D

Dacă o deformare ("warpage") sau o contracție ("shrinkage") pot fi detectate prin măsurarea unui articol la început de producție, cazurile în care se dorește prevenirea și nu doar detectarea acestora, necesită analize mai detaliate. Drept urmare, utilizarea dezvoltării experimentelor este o soluție aplicabilă. Însă, în procesele de injectare mase plastice, sunt destul de mulți parametri care intervin pentru a utiliza o dezvoltare factorială completă a experimentelor. De aceea, o dezvoltare a experimentelor tip Taguchi este recomandată.

Parametri aleși pentru a fi analizați cu metoda Taguchi sunt prezentați în Tabelul 7.1. Fiecare parametru este analizat cu privire la influența lui pe 3 niveluri.

Tabel 7.1 Selectarea parametrilor și nivelurile lor

Cod	Parametru	unitate	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
a	Temperatura de topire	°C	220	230	240
b	Presiunea de menținere	bar	85	95	105
c	Presiunea de injectare	bar	120	130	140
d	Timpul de menținere	sec	5	6	7

Contractția relativă a fost calculată ca diferența dintre dimensiunea cavității matriței și mărimea produsului măsurat, împărțită la mărimea cavității matriței, înmulțită cu o sută (în procente), așa cum se poate vedea în formula (7.7).

$$S = (M_d - P_d) / M_d \times 100 (\%) \quad (7.7)$$

unde:

S – reprezintă contracția

M_d – reprezintă dimensiunea matriței a caracteristicii măsurate

P_d – reprezintă dimensiunea caracteristicii măsurate pe piesă

Studiul efectuat a utilizat trei încercări pentru fiecare experiment și raportul semnal-zgomot (S/N) a fost calculat pe baza acestor măsurători. Taguchi a considerat că pot fi multe rapoarte semnal-zgomot posibile, dar de bază sunt luate în considerare următoarele:

- Caracteristică de calitate "mai-mare-este-cel-mai-bun";
- Caracteristică de calitate "nominal-este-cel-mai-bun";
- Caracteristică de calitate "mai-mic-este-cel-mai-bun";

Prin analiza rezultatelor în Minitab, se obțin rapoartele semnal-zgomot pentru fiecare nivel (Tabel 7.4), precum și graficul efectelor principale (Main Effect Plot) pentru aceste rapoarte (Figura 7.19).

Tabel 7.4 Răspunsul pentru rapoartele semnal-zgomot

Nivel	Temp. topire	Pres. menținere	Pres. injectare	Timp menținere
1	-3,237	-4,539	-2,91	-3,503
2	-2,636	-1,868	-3,797	-3,521
3	-3,944	-3,411	-3,11	-2,793
Delta	1,309	2,671	0,887	0,728
Rang	2	1	3	4

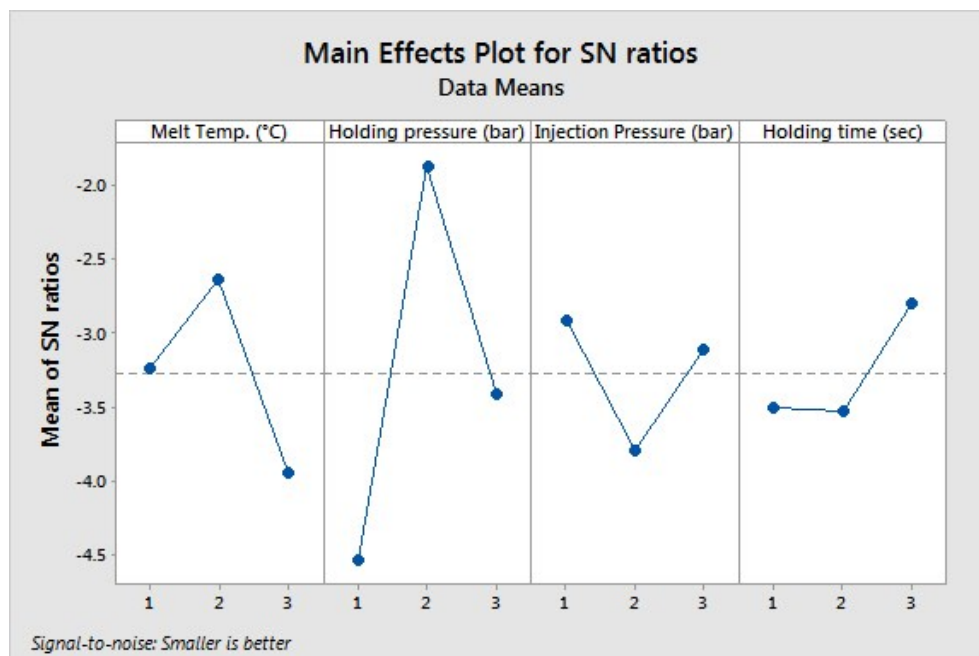


Fig. 7.19 Grafic efecte principale pentru rapoartele semnal-zgomot

Folosind metoda Taguchi a fost găsită o combinație optimă pentru a atinge valoarea minimă a contracției și aceasta a fost a2, b2, c1 și d3, adică temperatura topirii la 230 grade Celsius, presiunea de menținere la 95 bari, presiunea de injecție la 120 bari și timpul de menținere de 7 secunde. Influența presiunii de menținere

este vizibilă în comparație cu ceilalți factori, pe baza clasamentului având în vedere raportul semnal-zgomot.

Alte riscuri din procesele de injecție mase plastice care trebuie avute în vedere atunci când se dezvoltă analiza riscurilor din producția de dispozitive mecatronice – fie din faza de proiect nou, dar mai ales după urmărirea posibilelor moduri noi de defectare în producția de serie – sunt cele cu privire la comportamentul materialului injectat în fazele ulterioare de asamblare, cu precădere atunci când formele și degajările conduc la formarea de secțiuni mici și foarte mici [BRA 17c]. Studiul de caz prezentat în continuare se referă la o piesă cilindrică din mase plastice injectate care este asamblată într-un dispozitiv mecatronic peste o altă piesă cilindrică obținută tot prin procese de injecție mase plastice. Asamblarea se face prin împingerea piesei studiate pe cealaltă piesă până când ferestrele de fixare sunt blocate în cele trei cârlige poziționate la 120 de grade. Peretele subțire este mai mic de un milimetru, încărcarea sarcinii la fixare provenind din interiorul cilindrului (Figura 7.20).

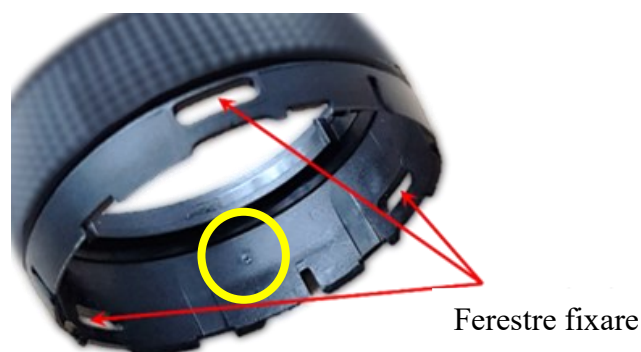


Fig. 7.20 Ferestrele de fixare ale piesei injectate

De fapt, eșantioanele pieselor cu mici fisuri ale peretelui subțire au fost studiate la microscop și, pe baza analizei imaginilor, a fost detectată fragilitatea materialului (a se vedea Figura 7.21). Măsurătorile sunt efectuate imediat după injecție, piesele sunt ținute câteva zeci de minute pentru aclimatizare în condiții de laborator pentru acuratețea măsurătorilor, astfel încât să nu existe o influență a umidității sau a temperaturii.

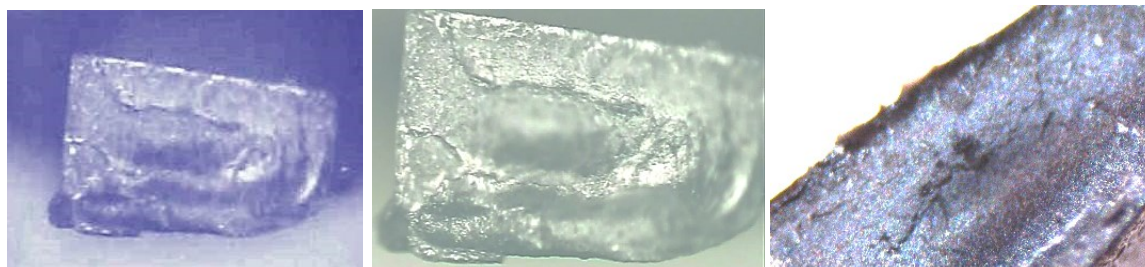


Fig. 7.21 Imagini microscopice ale fisurilor cu obiective de 2x, 5x și 10x

Pe baza factorilor depistați, întrucât materialul utilizat nu a fost modificat, dimensiunile măsurate și monitorizate cu ajutorul tehnicilor statistice nu prezintă o

variație semnificativă, nici pe piesa studiată, nici pe piesa de îmbinare, evident, combinația parametrilor în injectare nu este cea potrivită.

Pentru a implementa acest studiu în validarea lotului, au fost elaborate câteva experimente pentru a găsi relația dintre apariția fisurilor mici și valoarea forței de tracțiune în mijlocul zonei peretelui subțire, prezentat în Figura 7.22.

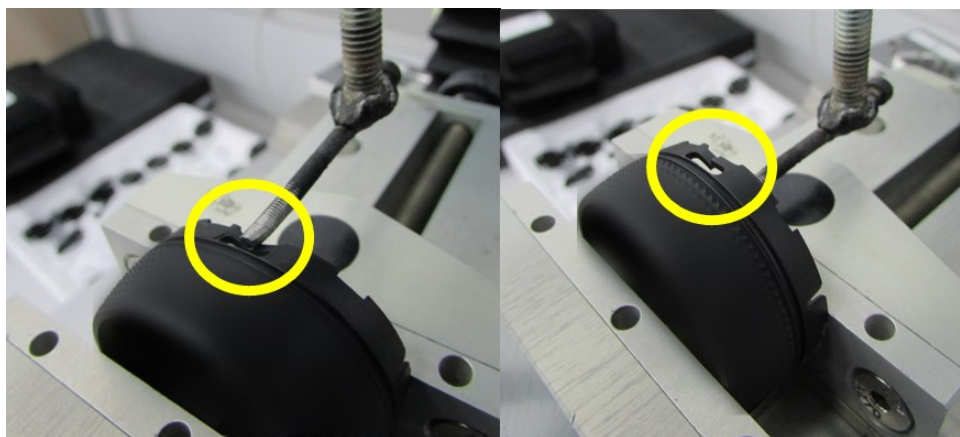


Fig. 7.22 Experimente de măsurare a forței de tracțiune

Măsurătorile forței de tracțiune au fost efectuate pe fiecare dintre cele trei zone la 120 de grade de perete subțire din fiecare cavitate din matriță (patru cavități pentru piesa studiată) până când peretele subțire a fost rupt sau până la o anumită valoare maximă a forței (pentru cazurile în care piesa începe să se deformeze, dar nu se rupe la forța maximă). Numărul de măsurători a fost de 5 pentru piesele din fiecare cavitate, iar media măsurătorilor poate fi observată în Tabelul 7.5. Valoarea minimă măsurată a fost de 8,59 N, iar cea maximă a fost de 21,16 N, dar modul a fost aproape de media acestor 60 de măsurători. În plus, în procesele de asamblare au fost verificate 50 de bucăți de subansamble pentru a detecta fisurarea peretelui subțire din cauza ruperii, iar rezultatul a fost de aproximativ 35% din piesele rupte (fiecare subansamblu are 3 piese injectate utilizate, astfel încât au fost testate 150 de piese).

Tabel 7.5 Media măsurătorilor forței de tracțiune din fiecare cavitate

Perete subțire	Forța (N)			
	Cavitatea 1	Cavitatea 2	Cavitatea 3	Cavitatea 4
Zona 1	17,21	16,89	17,02	17,15
Zona 2	16,34	16,32	16,96	17,54
Zona 3	12,48	17,43	17,43	16,43

Utilizând cunoștințele obținute în urma acestor experimente, următorul pas a fost găsirea combinației optime a parametrilor în procesele injectare pentru a preveni fragilitatea pieselor. La început, au fost identificați factorii cu cel mai mare impact asupra fragilității pieselor: umiditatea materiei prime a fost aleasă ca factor de

impact [CHE 22], din cauza picăturilor de apă care se vor transforma în aburi atunci când sunt încălzite în unitatea de injecție, temperatura duzei a fost un alt factor, deoarece o temperatură prea ridicată va supraîncălzi materialul, apoi presiunea de injecție, deoarece presiunea scăzută va duce la zone așa-numite "weld lines" și la condiții de umplere nu foarte bune, după care timpul ciclului (un ciclu scurt nu va permite topirea corespunzătoare a materialului), contrapresiunea, viteza melcului de injecție și rata de umplere a injecției vor duce la o degradare termică a materialului plastic prin creșterea căldurii de forfecare.

Astfel, o echipă cu multi-disciplinară, cu membri din cadrul secției de injecție – reglari și operatori, specialiști în calitate, specialiști în injecție, după o analiză profundă a posibilelor variații și a ultimelor modificări ale proceselor, a stabilit șase parametri și nivelurile acestora pentru a face parte din experimente. Deoarece modelul de experimentare factorial complet nu a fost o opțiune, din cauza numeroșilor factori (înseamnă prea multe combinații și consumă prea mult timp și piese rebutate) se preferă utilizarea metodei Taguchi pentru optimizarea parametrilor.

După fiecare experiment, forța de tracțiune a fost măsurată pe o zonă aleasă din trei pereți subțiri pentru cavitățile de la 1 la 4 (pe baza măsurătorilor și a analizei echipei). Media celor trei măsurători din fiecare cavitate a fost transpusă în tabelul de experimente, apoi, cu ajutorul unui software (în acest studiu a fost utilizat software-ul Minitab), a fost găsită combinația optimă. După rularea producției, piesele de probă au fost măsurate pe baza setării parametrilor optimi, iar forța de tracțiune obținută, în medie, a fost mărită la 35 N, în unele cazuri peretele subțire a fost deformat la 38 N, dar nu a prezentat fisuri, în cele din urmă nu s-au constatat defecte după modificarea parametrilor.

Zona de fisurare a fost din nou studiată la microscop și nu s-au mai observat fisuri sau fracturi (Figura 7.24).

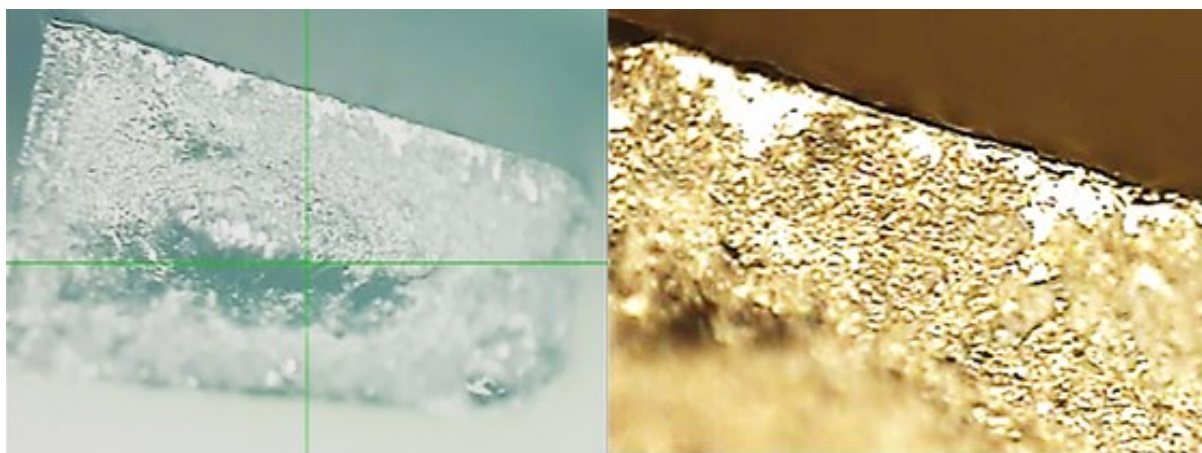


Fig. 7.24 Imagini microscopice ale fisurilor după optimizare (obiectiv 2x și 10x)

7.3. Riscurile din procesele de vopsitorie și gravare laser

În realizarea dispozitivelor mecatronice din producția de componente pentru automobile, cum aceste piese sunt produse de diferiți furnizori, iar asamblarea lor

În interiorul mașinii, fie bordul acesteia sau alte elemente ca scaune, volan, consolă centrală, necesită o conformare a culorii și o încadrare între anumite anumite limite, vopsirea lor este un proces des întâlnit în producția acestora. Mai mult, cum construirea lor are la bază și piese electronice și vizualizarea diferitelor funcții trebuie să fie vizibilă și pe timpul condusului de noapte, carcasa dispozitivelor mecatronice sunt injectate din materiale plastice translucente, albe, fiind vopsite în instalații de vopsire prin pulverizare, iar apoi fiind gravate semnele și simbolurile. Studiul de caz propus pentru analiza riscurilor și managementul acestora se referă la componente din plastic utilizate în dispozitivul mecatronic care sunt injectate dintr-un policarbonat (PC), Makrolon 2405, un termoplastic translucid acoperit de un sistem de vopsea de la Alexit, întăritor amestecat cu vopsea de acoperire adecvată proceselor de gravare, un strat pulverizat într-o linie de vopsire Venjakob. Piese vopsite sunt apoi uscate într-un cuptor [BRA 17b].

Experimentele au fost elaborate pe ținând cont de cazurile din producția normală cu situații în care piesele sunt trimise la gravare imediat după uscare în cuptor și verificare vizuală, dar și situații când acestea se depozitează în magazie pentru mai mult de 24 de ore.

Au fost selectate 18 seturi de butoane, fiind utilizate 3 seturi de butoane pentru fiecare experiment, primele două seturi pentru testarea ajustării, iar numai ultima a fost evaluată și măsurată, un total de 6 experimente.

Timpul pentru gravarea cu laser a fost stabilit pe baza problemelor provenite de la fabricație în ultima jumătate de an, iar analiza datelor arată că majoritatea riscurilor în ceea ce privește modificarea parametrilor din mașinile de gravare au fost făcute atunci când componentele ajung la gravare între 45 minute până la 3 ore după terminarea vopsirii (piesele trebuie verificate vizual după transportor, iar durata acestei operații este de aproximativ 30-40 de minute).

Prin urmare, probele de testare au fost trimise la gravarea cu laser așa cum este prezentat în Tabelul 7.6. Trebuie menționat faptul că mediul de stocare este controlat de senzori și asigurat de o instalație care asigură un anumit nivel de umiditate și temperatură (în conformitate cu cerințele de la producția electronică în domeniul automobilelor).

Tabel 7.6 Experimente pentru testare uscare vopsea

Eșantionare		Mediul stocare	
Experiment No.	Durată (minute)	Umiditate (%)	Temperatură (Celsius)
T1	10	43,2%	23,8
T2	60	43,8%	23,9
T3	120	43,5%	24,0
T4	240	43,5%	24,0
T5	640	43,6%	24,1
T6	1440	43,5%	23,9

După cum se poate observa în tabel, umiditatea și temperatura nu au aproape nici o variație sau, altfel spus, variația este destul de mică pentru a fi luată în considerare. În ceea ce privește gravarea, în producția de componente pentru automobile sunt cel mai des utilizate dispozitive de gravare cu laser în mediu gazos (CO₂) sau Nd:YAG.

Pentru a realiza simbolurile, în timpul gravării cu laser, vopseaua este înlăturată prin transformarea ei în plasmă - Figura 7.27, a) și b).



Fig. 7.27 a) Procesul de gravare; b) Simbol după gravare

Riscurile luate în considerare se referă la o gravare incompletă sau o gravare cu parametri care conduc la o lățime a dimensiunii simbolului în afara toleranței - Figurile 7.28 a) și b).



Fig. 7.28 a) Gravare incompletă; b) Lățime mare simbol

Unul dintre parametri – intensitatea curentului electric - a fost ajustat în trepte, ca în Tabelul 7.7.

Tabel 7.7 Experimente pentru testare – cu ajustare curent în trepte

Experimente		Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Test	Durață (minute)	Curent (A)	Curent (A)	Curent (A)
T1	10	21,0	20,5	20,1
T2	60	20,0	20,6	20,7
T3	120	20,6	20,8	21,0
T4	240	20,8	21,0	21,1
T5	640	21,5	21,5	21,5
T6	1440	21,5	21,5	21,5

Piesele au fost măsurate în laborator cu ajutorul microscopului 2D O-Inspect Zeiss. Programul microscopului a fost creat pentru a măsura distanțele dintre liniile 1 și 2, în fapt lățimea simbolului, așa cum se vede în Figura 7.29 a) și b).

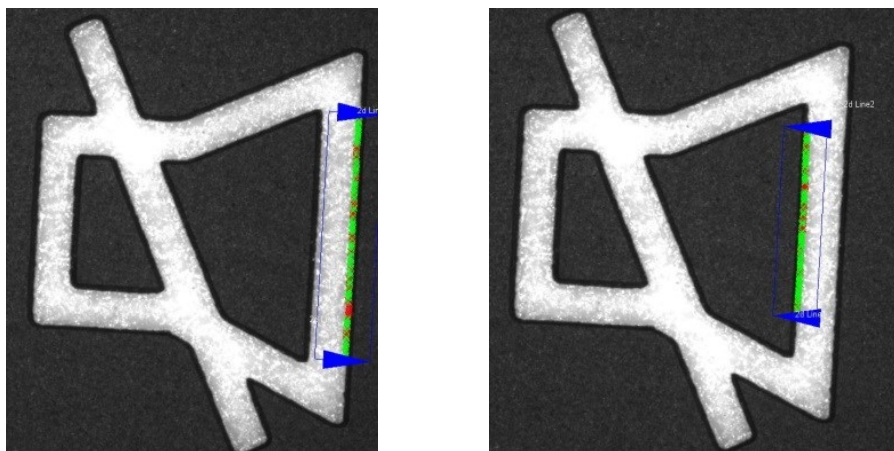


Fig. 7.29 a) linia 1 simbol; b) linia 2 simbol

Pentru exemplificare, în timpul experimentelor, în Figura 7.30, a) și b), se poate vedea că la testul T2 rezultatul a fost necorespunzător la 20.0 A, gravarea laser nu a fost suficientă, apoi în pasul al treilea dimensiunea obținută a fost conform specificației – între 0,3 mm și 0,5 mm) și gravarea completă.

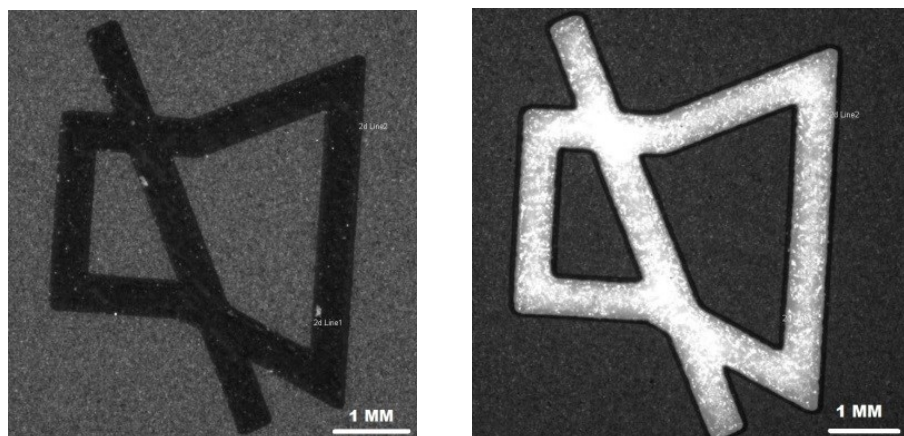


Fig. 7.30 a) Lățime simbol T2 pas 1; b) Lățime simbol T2 pas 3

Pentru a dovedi ipoteza că parametrul intensitatea curentului electric este la valoarea corespunzătoare și ipoteza ”cu cât componentele vopsite sunt mai ude, cu atât mai mic trebuie să fie curentul”, adâncimea gravării cu laser a fost măsurată în tehnicile de măsurare 3D cu ATOS ScanBox – aceeași mașină de măsurare în coordonate 3D, Seria 4, ATOS CORE MV 135. Pe baza evaluării tuturor testelor, s-a observat o variație a unei medii a adâncimii de aproximativ 5 micrometri, dacă s-au comparat testul T1 și testul T5 - a se vedea figura 7.31, a) și b), ambele ipoteze fiind confirmate.

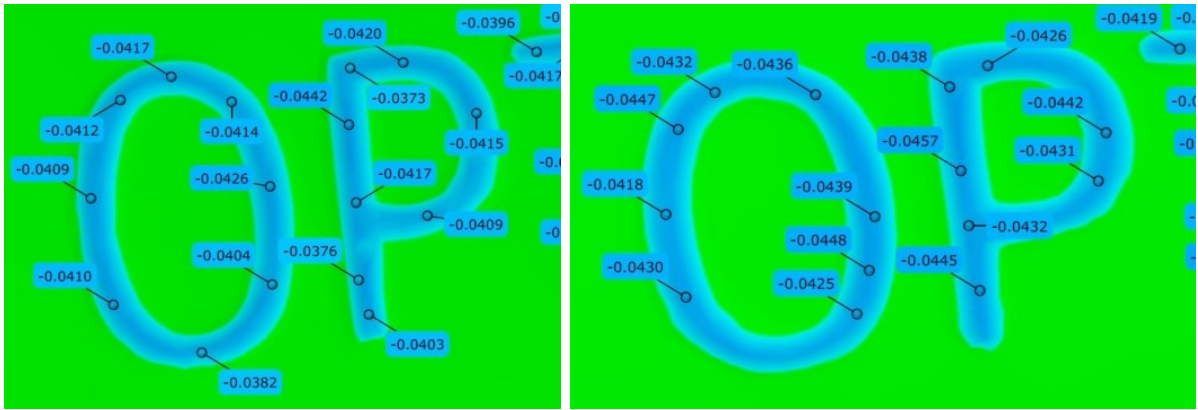


Fig. 7.31 a) Adâncime simbol T1 pas 3; b) Adâncime simbol T5 pas 3

Un alt tip de proces de vopsire care este combinat în producția de dispozitive mecatronice cu gravarea cu fascicul laser este procedeul de imprimare prin tampografie. Acesta este un procedeu care a fost inventat în urmă cu peste 200 de ani și a fost folosit pentru a imprima plăcile chinezești.

Studiul de caz a fost realizat la un producător de dispozitive mecatronice pentru automobile, iar produsul studiat a fost un inel realizat prin injecție mase plastice cu două componente, una dintre ele fiind transparentă, o combinație de policarbonat dintr-o parte Alcom și trei părți Lexan, iar cealaltă o combinație de policarbonat (PC) și acrilonitril butadien-stiren (ABS).

Materialul transparent va conduce lumina de la LED-ul de pe placa de circuit imprimat asamblată, iar culorile albastru și roșu, folosind procesul de imprimare prin tampografie (Figura 7.33 și Figura 7.34), vor acoperi aceste zone în procesul de imprimare prin tampografiere.

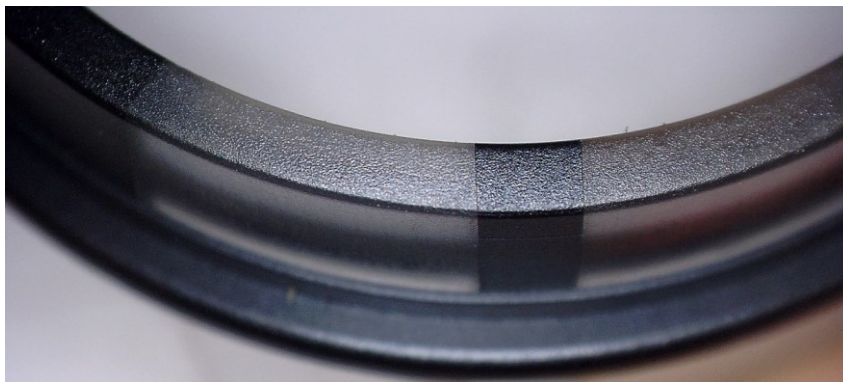


Fig. 7.33 Inel injectat cu două componente - zone care urmează să fie acoperite de cerneală prin tampografiere

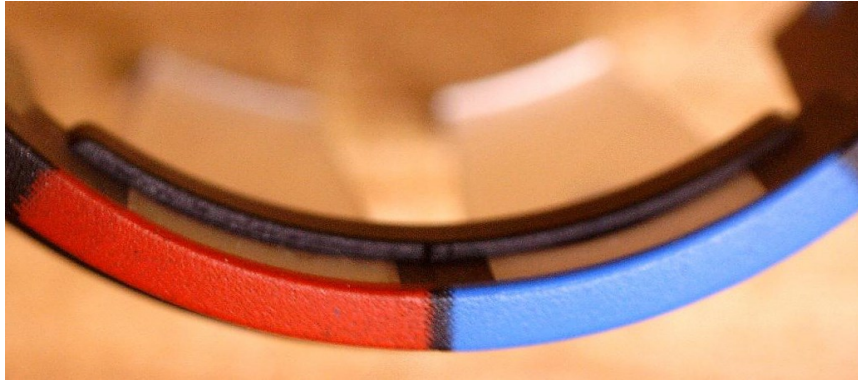


Fig. 7.34 Inel injectat cu două componente - zone acoperite cu cerneală albastră/roșie prin tampografiere

În etapa următoare, inelele sunt vopsite cu vopsea neagră prin pulverizare, apoi un proces de gravură cu laser va îndepărta vopseaua neagră de pe zonele roșii și albastre imprimate prin tampografiere, în final, inelele vor arăta ca în Figura 7.35.

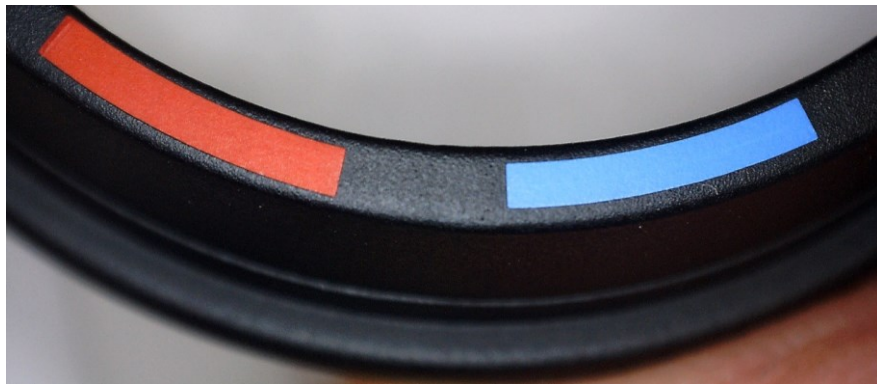


Fig. 7.35 Inel injectat cu două componente - produs final după vopsirea prin pulverizare și procesul de gravură cu laser

Pentru a evalua piesele tampografiate și cele vopsite prin pulverizare, pentru fiecare experiment au fost utilizate plăci metalice pentru a permite măsurarea grosimii acoperirii. După procesul de vopsire prin pulverizare, plăcile au fost măsurate din nou pe zonele în care s-a făcut tampografia - a se vedea Figura 7.39 a), b).

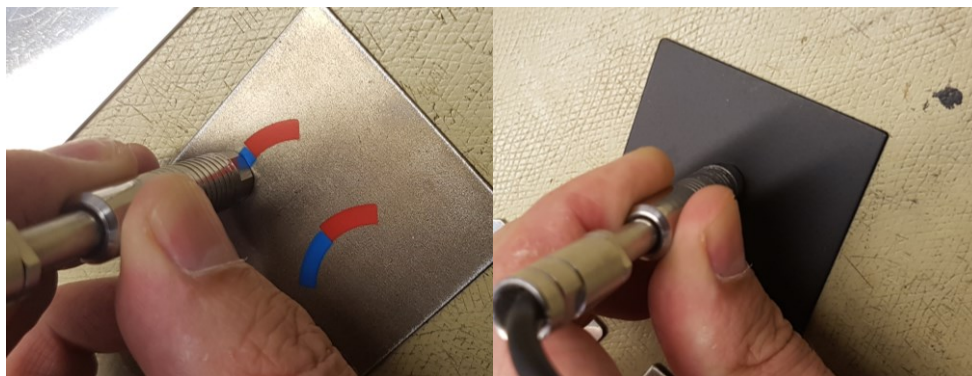


Fig. 7.39 a) Măsurarea plăcii metalice după tampografiere; b) Măsurarea plăcii metalice după vopsirea prin pulverizare.

Deoarece procesul de tampografiere plus vopsire prin pulverizare se realizează peste piesele din plastic injectate, iar măsurătorile au fost efectuate cu ajutorul unor plăci metalice, au fost efectuate unele teste în laborator pentru a verifica grosimea cernelii și grosimea vopselei direct pe piesă. Inelele au fost introduse în cupe de plastic dedicate, iar o rășină a fost folosită pentru a păstra piesele și pentru a permite secționarea acestor piese și măsurarea la microscop - Figura 7.40 (a se vedea detaliul de măsurare din colțul dreapta-sus).

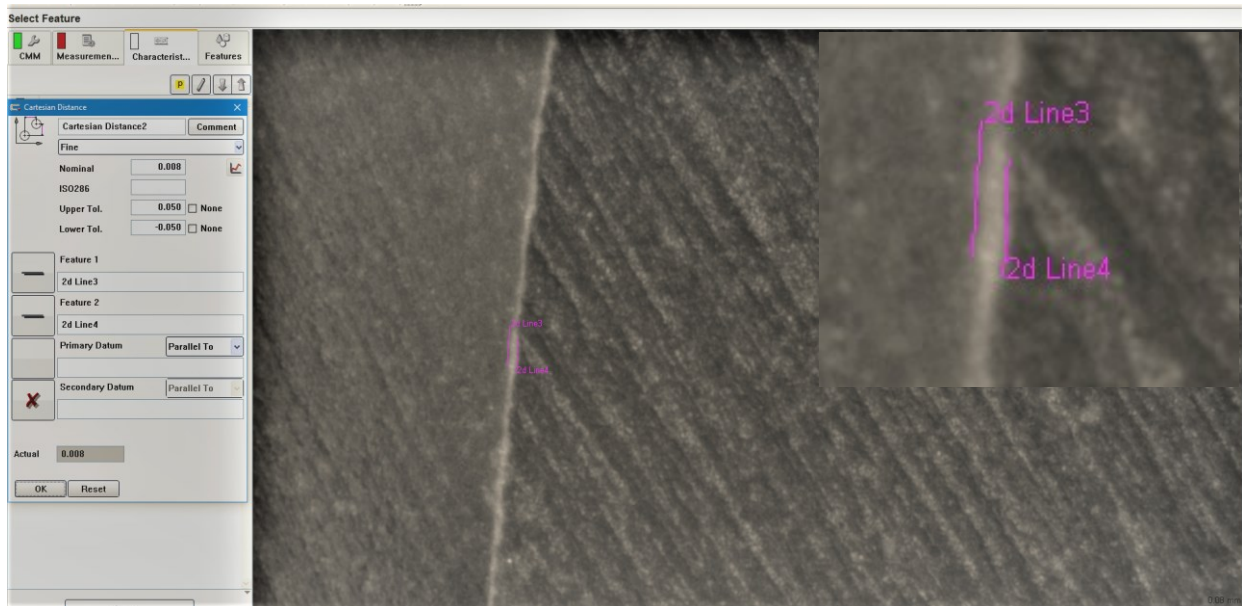


Fig. 7.40 Secțiune transversală piesă plastic injectat plus detaliu masurare

Următoarele experimente au fost efectuate pentru a înțelege variația de tampografie pentru fiecare culoare, roșu și albastru, precum și pentru vopseaua neagră pulverizată: un număr total de 150 de piese au fost utilizate pentru 5 niveluri de vâscozitate ale cernelii de tampografiere, pentru fiecare nivel de vâscozitate fiind utilizate 30 de piese.

Proces		Tampografiere		Vopsire pulverizare				
Tip cerneală/ vopsea		Grosime Roșie	Grosime Albastră	Grosime Roșie	Grosime Albastră	Grosime Neagră		
Experimente		Măsurători pe plăci metalice, evaluare pe piesele inelare din plastic						
Eșantioane								
1 2 3 4 5	Inele de plastic (10 buc. x fiecare experiment)	În afara limitei superioare - 1	1 to 30	6,2 - 8,4	6,4 - 8,5	39,4 - 42,3	37,9 - 43,1	31,5 - 34,7
		Limita superioară - 2	31 to 60	5,8 - 7,8	5,9 - 7,7	39,0 - 43,1	38,6 - 41,6	32,3 - 34,9
		Nominal - 3	61 to 90	5,8 - 7,6	5,8 - 7,8	38,2 - 41,2	38,3 - 41,4	31,5 - 33,6
		Limita inferioară - 4	91 to 120	5,6 - 7,2	5,6 - 7,4	38,3 - 40,8	38,7 - 41,2	31,7 - 34,6
		În afara limitei inferioare - 5	121 to 150	4,1 - 4,9	4,3 - 5,2	37,3 - 39,5	37,6 - 39,8	32,3 - 34,8

Fig. 7.41 Parametrii procesului și rezultatul măsurătorilor (min-max)

Experimente	Gravare laser																																		
	Imediat după vopsirea prin pulverizare (mai puțin de 30 de minute)										După 6 ore de la vopsirea prin pulverizare (nu mai mult de 6,5 ore)										După 24 de ore de la vopsirea prin pulverizare														
	Parametri standard (intensitate curent/viteză) ok/nok					Parametri schimbați (intensitate curent/viteză) ok/nok					Parametri standard (intensitate curent/viteză) ok/nok					Parametri schimbați (intensitate curent/viteză) ok/nok					Parametri standard (intensitate curent/viteză) ok/nok				Parametri schimbați (intensitate curent/viteză) ok/nok										
1	nok	ok	ok	nok	nok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	nok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	nok	ok	ok	ok
2	nok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
3	ok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
4	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
5	ok	nok	nok	nok	nok	ok	nok	nok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	nok	nok	ok	ok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	nok	nok

Fig. 7.42 Rezultate evaluare OK/NOK pe cele 3 x 10 piese

În consecință, procesul de imprimare prin tampografie și de gravură cu laser pe baza grosimii stabilite a cernelei și a parametrilor de gravură cu laser modificați a fost monitorizat pentru o perioadă de 8 săptămâni, iar capacitatea a fost examinată și evaluată cu ajutorul Minitab 17. După cum se poate observa în Figura 7.43 au fost examinate graficele intervalelor de mișcare (MR) pentru a vedea dacă variația procesului este sub control.

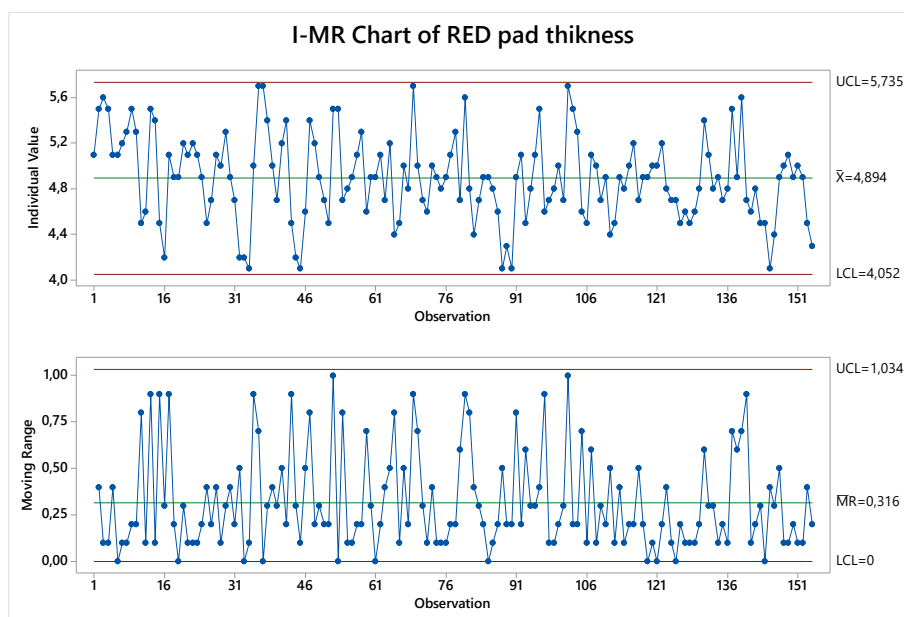


Fig. 7.43 Diagrama I-MR grosime cerneală roșie

Studiul arată influența scăzută a grosimii de imprimare prin tamponare, dar influența ridicată a nivelului de uscare a procesului de vopsire prin pulverizare, precum și a parametrilor de gravare cu laser. Luând în considerare timpul de uscare a pieselor tampografiate și vopsite prin pulverizare, în mașina de gravare cu laser ar putea fi create două programe care să fie utilizate pentru gravarea acestor piese: unul pentru cazul în care piesele sunt umede (mai puțin de 6 ore după vopsirea prin

pulverizare) și celălalt când piesele sunt uscate, prin urmare, calitatea pieselor gravate va fi crescută, iar piesele defecte va scădea. Acest risc trebuie luat în calcul și prevenit prin acțiunile definite mai sus.

7.4. Riscurile din procesele de asamblare și testare finală

Una dintre soluțiile utilizate frecvent pentru fabricarea și testarea acestor produse este brațul robotizat, care este prezent astăzi în multe domenii ale industriei auto. Avantajele folosirii brațelor robotizate vin în principal din posibilitatea de a realiza sarcinile repetitive, mai rapid și foarte precis. Odată ce echipamentul a fost atașat și configurat la brațul robotizat, iar mișcarea a fost proiectată și programată, dispozitivul va reproduce traseele de mișcare cu o anumită variație. Scopul acestei analize de riscuri a fost de a efectua studii pentru a găsi modelul acestei mici variații și pentru a îmbunătăți randamentul primei piese în producție și pentru a reduce rata de rebuturi printr-o analiză mai bună a cauzelor rădăcină [BRA 18].

Studiul de caz se referă la un dispozitiv de măsurare care utilizează brațul robotic pentru a măsura cerințele efectului haptic pentru unele comutatoare asamblate pe un dispozitiv mecatronic.

Cerințele clientului privind senzația efectului haptic sunt transpuse în caietul de sarcini prin măsurarea forțelor față-spate (N - Newton), precum și a cursei (MM - milimetri), curba cursei în funcție de forțe fiind cea din Figura 7.48, principalele forțe (F) și curse (S) cerute de client fiind F1, F1/F2 (reprezintă senzația efectului haptic), S1 și S2.

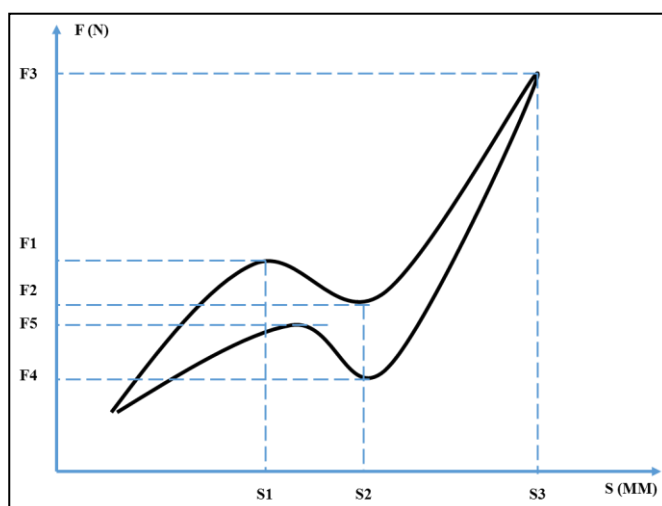


Fig. 7.48 Curba efectului haptic

Brațul robotizat este echipat cu un dinamometru EDM20 050EL și cu senzori magnetici pentru a ajunge la capătul de pornire al cursei, pentru a măsura în intervalul așteptat. Mișcările brațului robotizat sunt programate pentru a ajunge la același punct de împingere-tragere a comutatoarelor; dispozitivul cu comutatoare este fixat pe o masă rotativă care este deplasată la 90 de grade pentru fiecare nouă

măsurătoare, astfel încât punctul de împingere-tragere va avea o variație foarte mică.

La început, lotul materiei prime a fost măsurat pentru a înțelege variația posibilă dată de componente (exemplul arcului în Figura 7.49). Asemănător și piesele din material plastic au fost evaluate, rezultatul arătând variații normale care nu puteau explica variația finală mare.

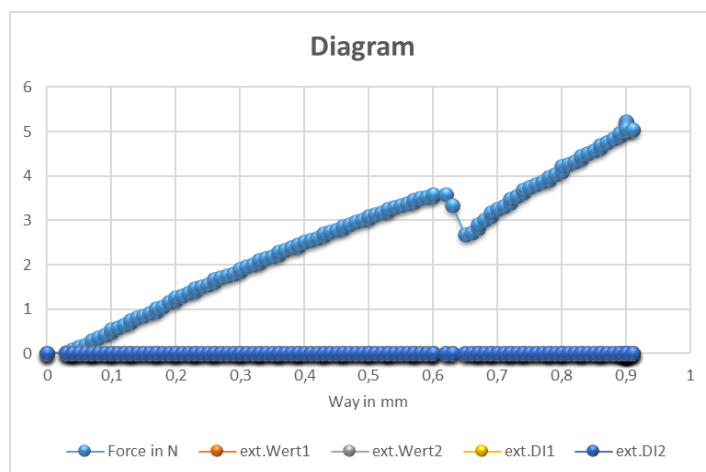


Fig. 7.49 Diagrama măsurătorii forței resortului

Mișcările brațului robotizat încep să fie ajustate treptat, iar experimentele se desfășoară după cum urmează: un număr de 2 x 8 grupuri, fiecare cu 125 de piese, au fost măsurate pentru fiecare comutator din stânga și din dreapta. Deoarece dispozitivul mecatronic constă în două perechi de întrerupătoare plasate ca în Figura 7.51, fiecare mișcare constă într-o măsurătoare a mișcării din față și o măsurătoare a mișcării din spate, iar apoi placa rotativă se va deplasa la 90 de grade cu următoarea piesă, după care brațul robotic începe un nou ciclu. Fiecare schimbare din stânga și din dreapta este măsurată cu un braț robotic dedicat.

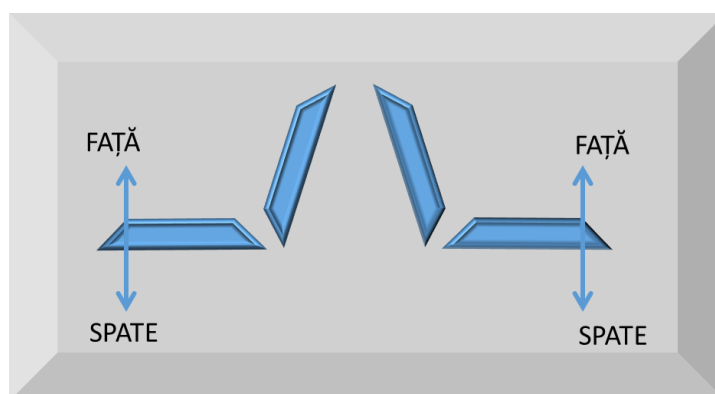


Fig. 7.51 Schema bloc întrerupătoare

Datele colectate de calculatorul mașinii constau în parametri, cum ar fi forțele (F1, F2, F3 etc.) și căile (S1, S2 etc.), iar aceste valori măsurate sunt disponibile pentru fiecare buton la fiecare capăt. Deoarece există prea multe observații pentru a fi

procesate, caracteristicile alese pentru a fi utilizate pentru etapele ulterioare, analiza varianței (ANOVA), a fost F1 FRONT pentru butoanele din stânga și din dreapta. Ca urmare, prin utilizarea software-ului Minitab, factorii experimentelor sunt prezentați în Tabelul 7.9.

Tabel 7.9 Factori experimente DoE

Factori	Niveluri	Valori
Forță	16	F1-1L; F1-2L; F1-3L; F1-4L; F1-5L; F1-6L; F1-7L; F1-8L; F1-1R; F1-2R; F1-3R; F1-4R; F1-5R; F1-6R; F1-7R; F1-8R

Metoda ANOVA one-way a fost aleasă pentru analiza varianței și au fost comparate mediilor grupurilor.

Din graficul intervalului se poate observa că măsurătorile celui de-al doilea braț robotic utilizat pentru măsurarea întrerupătoarelor din dreapta se deplasează către valori mai mici, prin urmare, se va efectua o ajustare a mișcării acestuia (după cum s-a menționat anterior, s-a efectuat analiza principalului contributor la forță, astfel încât variația reprezintă dispozitivul de măsurare). Metoda ANOVA calculează raportul dintre variația între mediile grupurilor și variația medie din cadrul grupurilor - Figura 7.52.

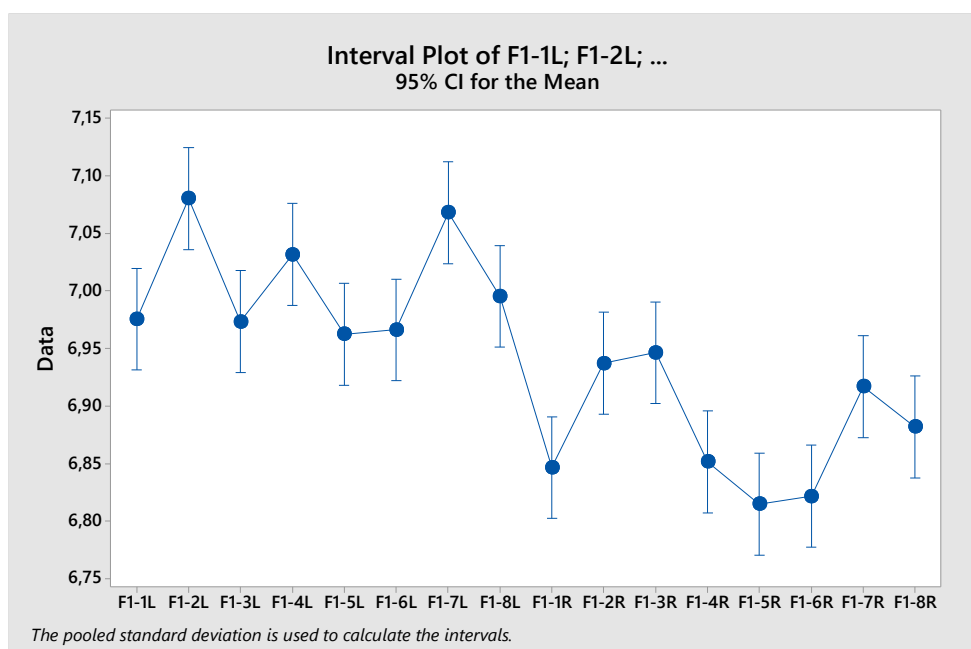


Fig. 7.52 Grafic intervale

În cele din urmă, pe baza testelor Fisher și Tukey, experimentul F1-3L este unul dintre cele care a împărțit mai multe litere cu celălalt grup. Acest experiment se dovedește a fi un bun candidat pentru un test de capacitate, pentru a vedea dacă capacitatea procesului atinge așteptările clienților. Studiul de capacitate realizat în comparație cu celelalte două experimente, F1-1L și F1-2L, este prezentat în figura 7.53, iar datele sunt prezentate în Anexa 4. În plus, se dovedește că ajustarea

din experimentul nr. 3, cel puțin pentru brațul robotizat stâng (înainte s-a observat că brațul robotizat drept are nevoie de o ajustare pentru a glisa în sus la măsurători), trebuie implementată pentru a urmări din nou randamentul primei piese și evoluția ratei de rebut.

Acest studiu a fost generat de necesitatea de a detecta riscurile în procesele de testare finala automatizate și de a îmbunătăți procesele de fabricație a dispozitivului mecatronic.

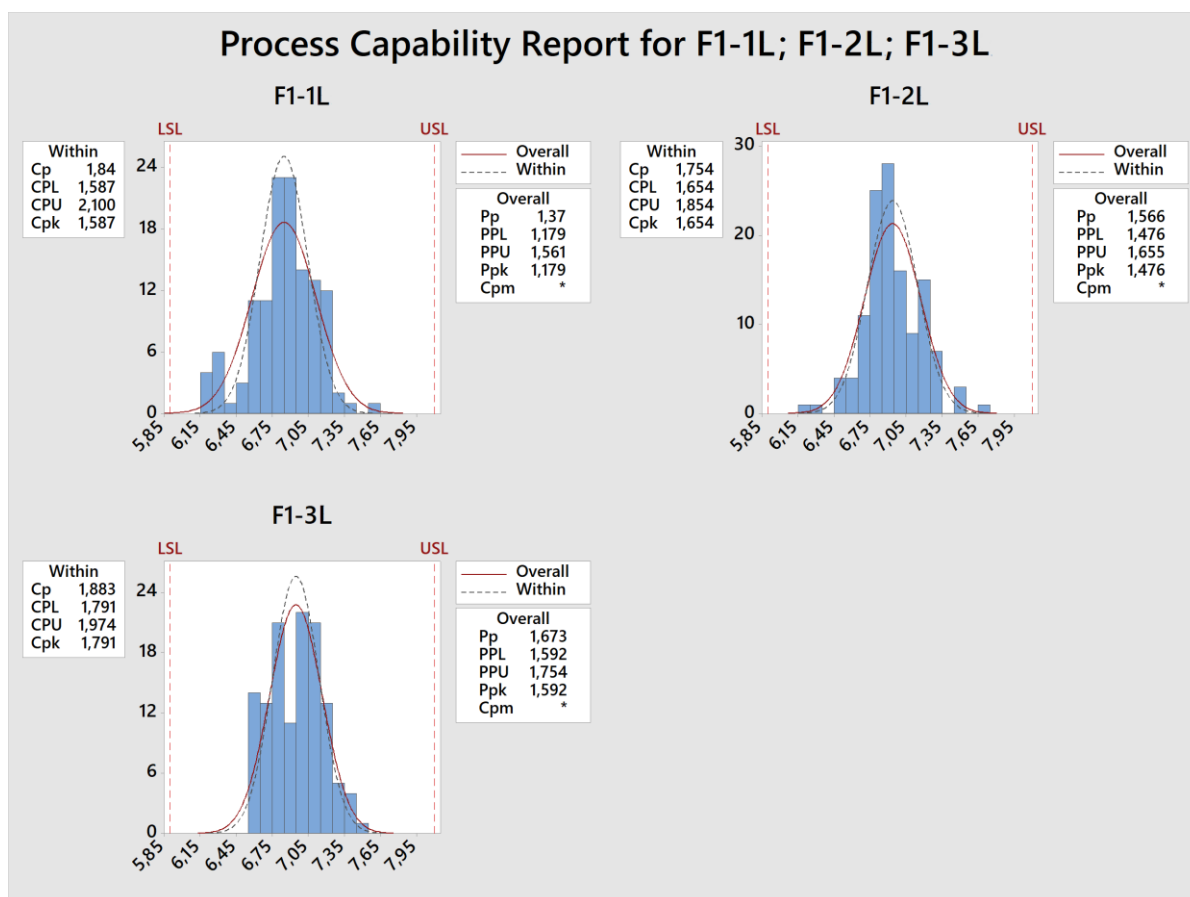


Fig. 7.53 Capabilitatea de process a lui F1-3L față de F1-1L și F1-2L

Pe baza analizei de varianță, a fost implementată măsura de optimizare prin ajustarea mișcării brațului robotizat care sprijină procesul pentru a îmbunătăți randamentul primei piese și pentru a reduce rata de rebuturi. Însă punctul forte al acestui studiu este faptul că rezultatele au condus la o reducere semnificativă a rebutului (fiind produse finite rejectate de o măsurătoare eronată, deși corespundea pe deplin cerințelor clientului și cerințelor interne din dezvoltarea produsului și dezvoltarea procesului), risc preluat în analiza AMDE din asamblare.

7.5. Riscurile din garanții

Contribuțiile teoretice pe marginea acestor estimări a probabilităților de a primi piese din garanții sunt prezentate în cele ce urmează [BRA 20] [LEV 13].

De cele mai multe ori, perioada de garanție este exprimată în două dimensiuni – o limită a anilor de garanție sau o limită a numărului de kilometri – și oricare limită este atinsă prima face ca automobilul să iasă din perioada de garanție (Figura 7.55).

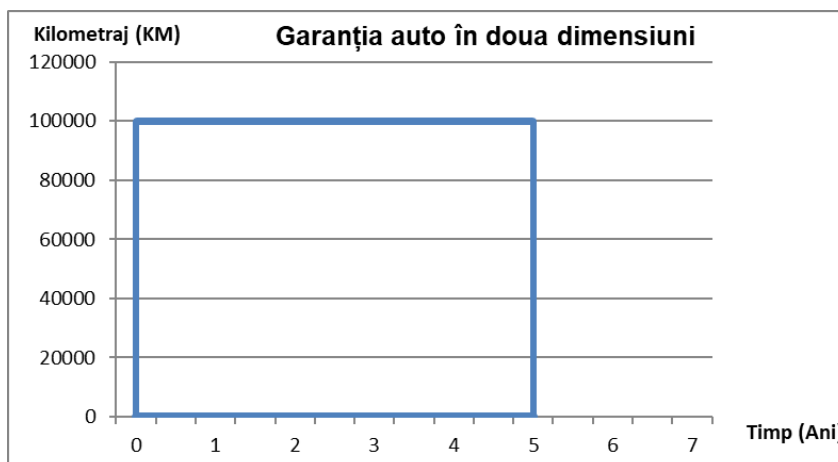


Fig. 7.55 Garanția auto în două dimensiuni

Pentru a înțelege probabilitatea de apariție [CEN 99] a defectelor în garanții și a o transpune în sistemul de management al riscurilor, s-a utilizat metoda grafică Weibull și s-a utilizat software-ul Minitab pentru analiza datelor [BRA 16c]. Studiul s-a bazat pe datele cu privire la dispozitivele mecatronice livrate unui producător de automobile, acest produs fiind livrat deja de mai mult de 3 ani. În Minitab s-au introdus datele și s-au obținut funcțiile de repartiție pentru cele două dimensiuni ale garanției: kilometri parcuși și zile în service (Figura 7.56 și Figura 7.57).

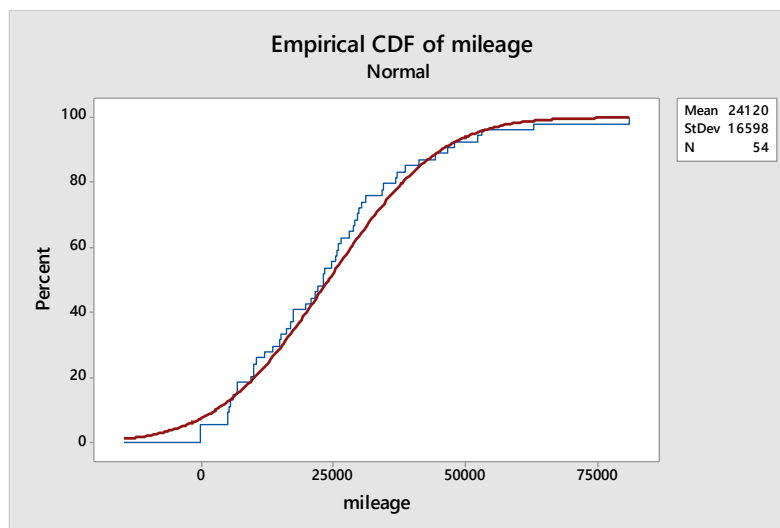


Fig. 7.56 Funcția de repartiție kilometri parcuși

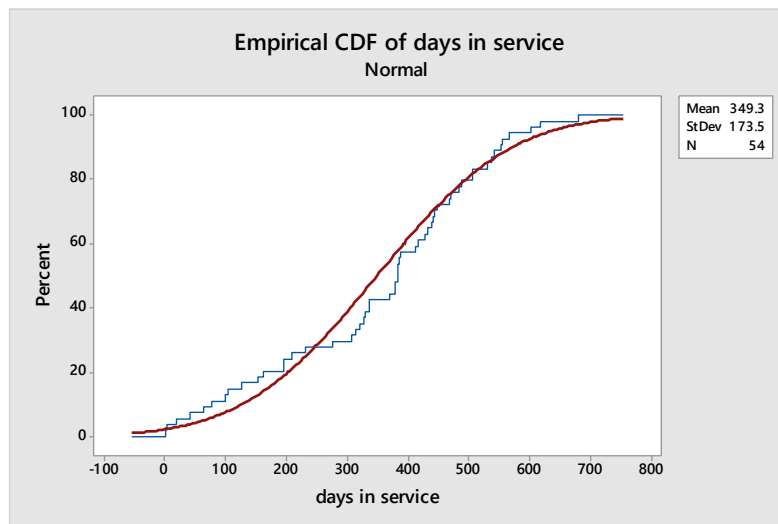


Fig. 7.57 Funcția de repartiție zile în service

O altă analiză a fost efectuată pentru analiza în garanție a unui produs nou, livrat de un an de zile, scopul fiind previzionarea numărului de reclamații care vor urma în perioada următoare, precum și costul aferent. În Figura 7.58 sunt marcate cu galben reclamațiile primite de la client, conform cu lunile în care au intrat în reparație.

		Cantitate	Data reparației											
			aug.15	sept.15	oct.15	nov.15	dec.15	ian.16	feb.16	mar.16	apr.16	mai.16	iun.16	iul.16
Data livrării	aug.15	580	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	sept.15	856		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	oct.15	3254			0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	nov.15	9586				0	0	0	0	0	2	0	0	0
	dec.15	11023					0	0	0	2	0	1	0	0
	ian.16	8969						0	0	1	1	0	0	0
	feb.16	15056							0	0	0	0	0	0
	mar.16	18065								0	0	0	0	0
	apr.16	25002									0	0	0	0
	mai.16	25125										0	0	0
	iun.16	26235											0	0
	iul.16	25522												0

Fig. 7.58 Data reparației și cantitățile livrate în luna respectivă

Utilizând Minitab prin convertirea datelor s-au obținut numărul estimat de defecte pe 5 perioade analizate (având în vedere că perioada analizată este de 12 luni, deci un an, cele 5 perioade înseamnă 5 ani), graficul reprezentând o curba a mediilor și altele pentru minime și maxime (Figura 7.59).

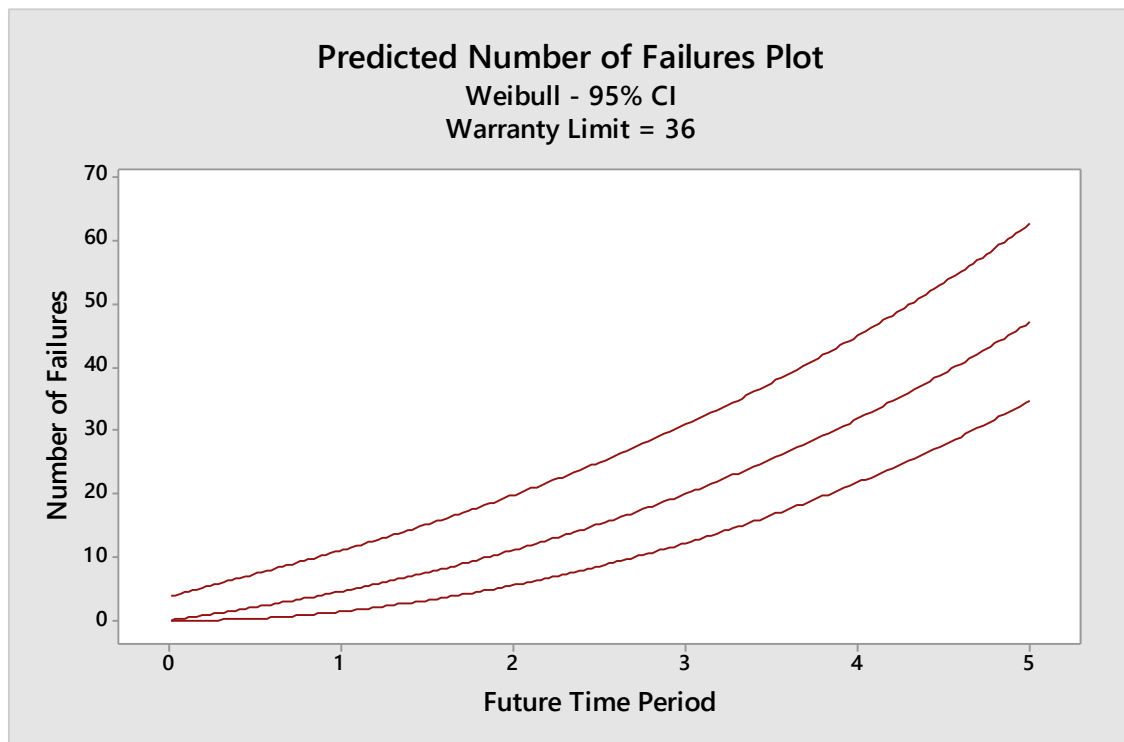


Fig. 7.59 Previziunea numărului de defecte

În Figura 7.60 pot fi văzute detaliile cu privire la costul cu garanțiile calculat pe baza introducerii în Minitab a costului mediu pe reparație. Și aceste costuri apar pe valorile medii, minim și maxim [PRP 02].

```

Summary of Current Warranty Claims

Total number of units                150880
Observed number of failures          8
Expected number of failures          7.99871
95% Poisson CI                       (3.45300, 15.7615)

Number of units at risk for future time periods 150872
Warranty limit                        36

Table of Predicted Number of Failures and Cost

Future Time Period  Potential Number of Failures  Predicted Number of Failures  95% Poisson CI Lower  95% Poisson CI Upper  Predicted Cost of Failures  95% Poisson CI Lower  95% Poisson CI Upper
1                   150872                        4.5741                       1.3899                    11.0656                2287.0                    695.0                    5532.8
2                   150872                        11.0689                       5.5396                    19.7706                5534.5                    2769.8                    9885.3
3                   150872                        19.9689                       12.1923                   30.8506                9984.5                    6096.1                    15425.3
4                   150872                        31.7876                       21.7125                   44.9257                15893.8                   10856.3                   22462.8
5                   150872                        47.0637                       34.5884                   62.5728                23531.9                   17294.2                   31286.4

Average cost per failure = 500

```

Fig. 7.60 Detalii privind previziunea numărului de defecte și a costurilor

Capitolul 8 Metodologie privind analiza și reducerea riscurilor transversalizate între procesele inovative de injectare mase plastice multicomponente, gravare laser și vopsitorie cu întărire prin polimerizare cu raze ultra-violete (UV)

8.1. Considerațiuni despre procesele de injectare mase plastice multicomponent și sistemele de vopsire cu întărire prin polimerizare cu UV

În continuare sunt prezentate riscurile, analiza și reducerea sau prevenirea acestora prin analiza defectelor în procesele de injectare a materialelor plastice și, ulterior – după grunduirea de bază și gravarea semnelor pe suprafețe - în vopsirea acestora cu lac transparent întărit prin tratament UV [BRA 22].

Dispozitivul mecatronic este format din piese din plastic tip 2K (două componente) cu material de bază PC + ABS tip Bayblend T65 XF, negru, cu caracteristici mecanice bune, peste care se injectează un alt material PC tip Makrolon 2407, opac, transparent, cu proprietăți de stabilitate la UV. Tipul mașinii de injecție este de tip Sumitomo Systec 350-320h / 200v, hibrid-toggle, cu două unități de injecție: o unitate orizontală și una verticală. Piesa din plastic se injectează în două faze: în prima fază se injectează materialul suport negru, apoi se rotește matrița și se injectează materialul transparent opac.

Plasticul Makrolon 2407 este apoi acoperit cu un grund, după care se gravează cu un sistem laser simbolurile care indică funcționarea butoanelor, apoi se acoperă cu vopsea incoloră cu întărire UV. Procesul de vopsire se face prin pulverizare într-o instalație automatizată de tip Venjakob, în două straturi. Primul strat este cu un grund colorat tip Alexit, după care, uscarea are loc într-un cuptor încălzit la 80 de grade Celsius timp de 40 de minute.

Ulterior, piesele trec la procesul de gravură cu laser pentru crearea simbolurilor, un sistem laser de la Rofin-Sinar, Power Line E-20, putere maximă $P_{max} = 1,77$ kVA și curent maxim $I_{max} = 7,7$ A, laser Nd: YAG pompat cu diode, pulsat (Q-switch), cu lungimea de undă: 1064 nm.

În cele din urmă, piesele sunt acoperite din nou în instalația Venjakob, cu un strat de lac transparent cu uscare IR (infraroșu), apoi o întărire cu polimerizare UV [CZA 21] și uscare în cuptor la 80 de grade Celsius, 40 de minute.

8.2. Metodologia detectare moduri defectare (FMd-M)

Diferite defecte pot apărea în fiecare etapă a procesului, ceea ce duce la respingerea pieselor. Cerințele clienților sunt explicite și clare, acestea sunt clasificate în două categorii: defecte funcționale (de exemplu, blocarea butoanelor, asamblare greoaie etc.) și defecte de suprafață sau elemente de aspect (de exemplu, piesă zgâriată, defecte de vopsea etc.). Această lucrare își propune să abordeze

analiza defectelor de suprafață sau așa-numitele suprafețe subiective. Ca exemple pot fi enumerate: urme de scufundare, linii de sudură, găuri de ac, ”ochi de pește”, textură de coajă de portocală, zgârieturi, nivel de luciu greșit, nuanță de culoare greșită.

Metodologia de detectare moduri defectare (FMd-M)	
Pas 1: Injectare mase plastice 2K	
1.1 Teste evaluare suprafață	
1.1.1 Test de tensiune superficială cu stilouri Dyne	
1.1.2 Test vizual: urme de scufundare, zgârieturi	
1.1.3 Test optic microscopic: găuri, “ochi-de-pește”	
1.2 Test optic 3D GOM	
Pas 2: Strat de grund colorat	
2.1 Test adeziune vopsea	
2.2 Test grosime vopsea	
2.3 Test vizual: coajă de portocală, zgârieturi, incluziuni, găuri	
2.4 Test optic microscopic: găuri, “ochi-de-pește”	
2.5 Microscopie electronica EDX : componente materiale	
Pas 3: Gravare laser	
3.1 Test vizual: îndepărtarea incompletă a stratului de acoperire	
3.2 Test optic microscopic: defecțiuni ale marginilor gravate	
Pas 4: Acoperire cu lac transparent polimerizat UV	
4.1 Test grosime vopsea	
4.2 Test optic microscopic: găuri, “ochi-de-pește”	

Fig. 8.1 Metodologie detectare moduri defectare

Pe baza metodologiei prezentate, a fost detectat un mod de defectare nefamiliar ca fiind foarte important și cu un nivel ridicat de rebuturi, așa-numitul defect „ochi-de-pește” (Figura 8.2). Prin urmare, a fost realizată o evaluare a eficienței în scopul detectării influenței principalilor factori care conduc la acest defect și al separării acestora. Deoarece au fost identificați mai mulți factori, a fost selectată o metodă DoE Taguchi pentru a fi realizată cu ajutorul software-ului Minitab.

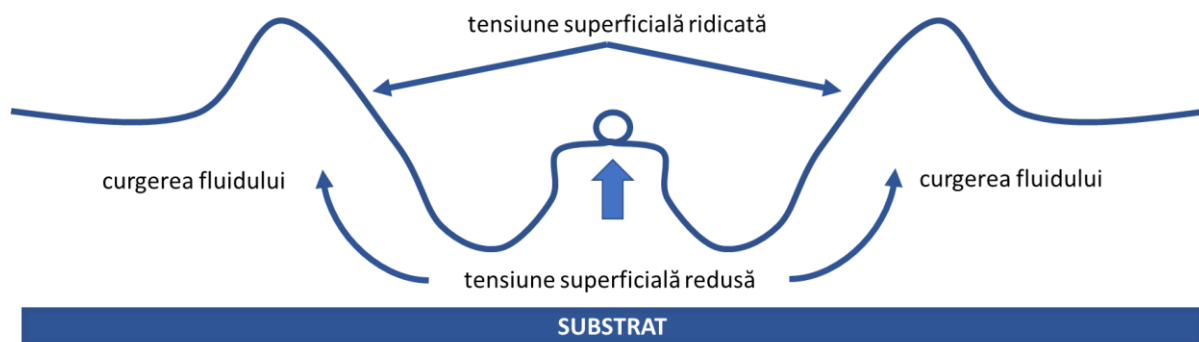


Fig. 8.2 Schiță cauze apariție defect „ochi-de-pește”

Proiectarea experimentelor a fost creată luând în considerare următorii factori: parametri de injecție, forma 3D, energia de suprafață a pieselor pentru a asigura acoperirea corectă, grosimea grundului (strat opac), puterea de gravare cu laser, grosimea stratului transparent polimerizat prin UV și puterea lămpilor UV utilizate pentru polimerizare - a se vedea Tabelul 8.1.

Tabel 8.1 Parametri DoE

	Temp Matriță	Pres Matriță	Forma 3D	Tensiune Suprafață	Grosime Grund	Curent Laser	Grosime Lac	Putere UV
	°C	bar	milimeter	Dyne	micron	A	micron	%
Nivel1	65	825	0,1	30	16	60	28	30
Nivel2	70	830	0,2	32	18	70	30,5	37
Nivel3	80	835	0,3	35	20	80	32	45

După cum se poate observa în în Figura 8.3, doi factori au o influență mai mare în apariția defectelor de tip „ochi-de-pește”, *temperatura matriței* și *curentul de gravare* cu laser, dar factori precum energia suprafeței (cu cât tensiunea superficială este mai mare, cu atât rezultatele acoperirii sunt mai bune) sau grosimea grundului și puterea UV duc analiza la concluzia că o posibilă contaminare generează această variație.

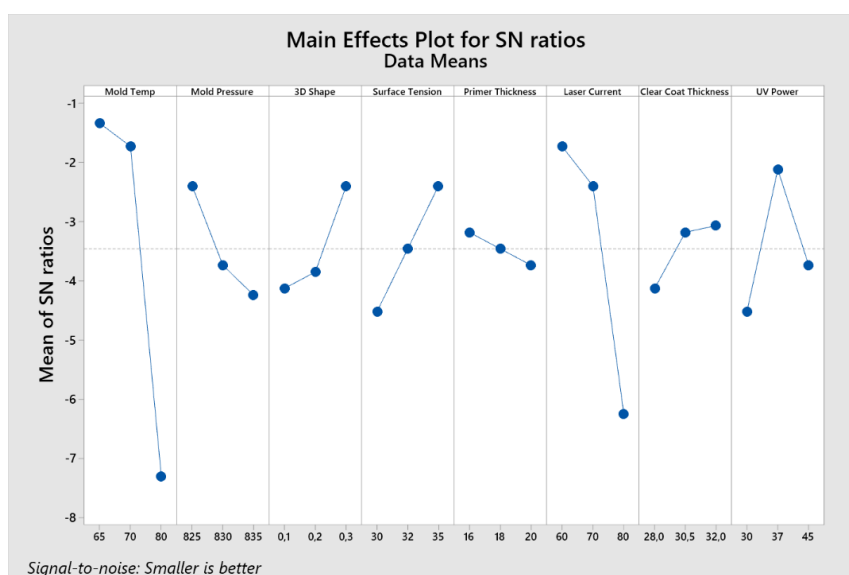


Fig. 8.3 Grafic efecte principale pentru raportul SN

8.3. Rezultatele testelor după metodologia FMd-M

8.3.1. Injectare mase plastice 2K

8.3.1.1. Teste evaluare suprafață

c) Test optic microscopic: găuri, „ochi-de-pește”

Piesele injectate au fost analizate prin testare optică microscopică - Microscop optic tip ZEISS O-INSPECT 5/4/3 - pentru a înțelege dacă pot fi observați factori care pot duce la apariția defectelor de tip „ochi-de-pește” în etapa următoare, în stratul de grund – Figura 8.6. Nu au fost selectați factori relevanți care să conducă la concluzia ca ar putea conduce la defectul analizat.

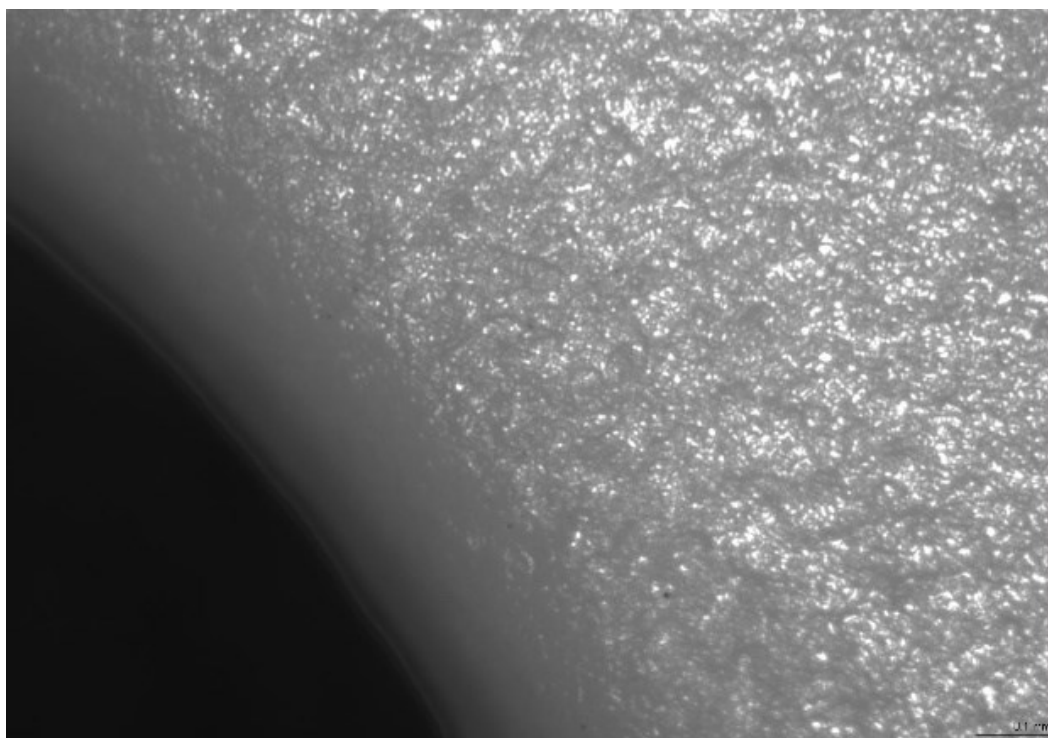


Fig. 8.6 Imagine piesa injectată la microscop

8.3.1.2. Test optic 3D GOM

Un eșantion de câte 3 piese a fost măsurat cu ajutorul microscopului optic 3D GOM și ceea ce s-a putut învăța din aceste măsurători a fost că piesele din cavitățile 3, 4, 5 și 6 au fost observate cu deformări mai mari în comparație cu cele din cavitățile 1, 2, 7 și 8, dar nu există o legătură clară cu posibilul mod de defectare al apariției defectelor de tip ”ochi de pește”.

În plus, piesele luate în analiza defectelor au fost organizate în funcție de numărul de cavități, iar în analiza ESTE/NU ESTE a fost selectat un factor care ar putea demonstra de ce a apărut defectul la cele cu ESTE (defect prezent), precum și de ce

nu a apărut defectul la cele cu NU ESTE (defect prezent): cavitățile nr. 2 și nr. 3 – a se vedea Figura 8.7.

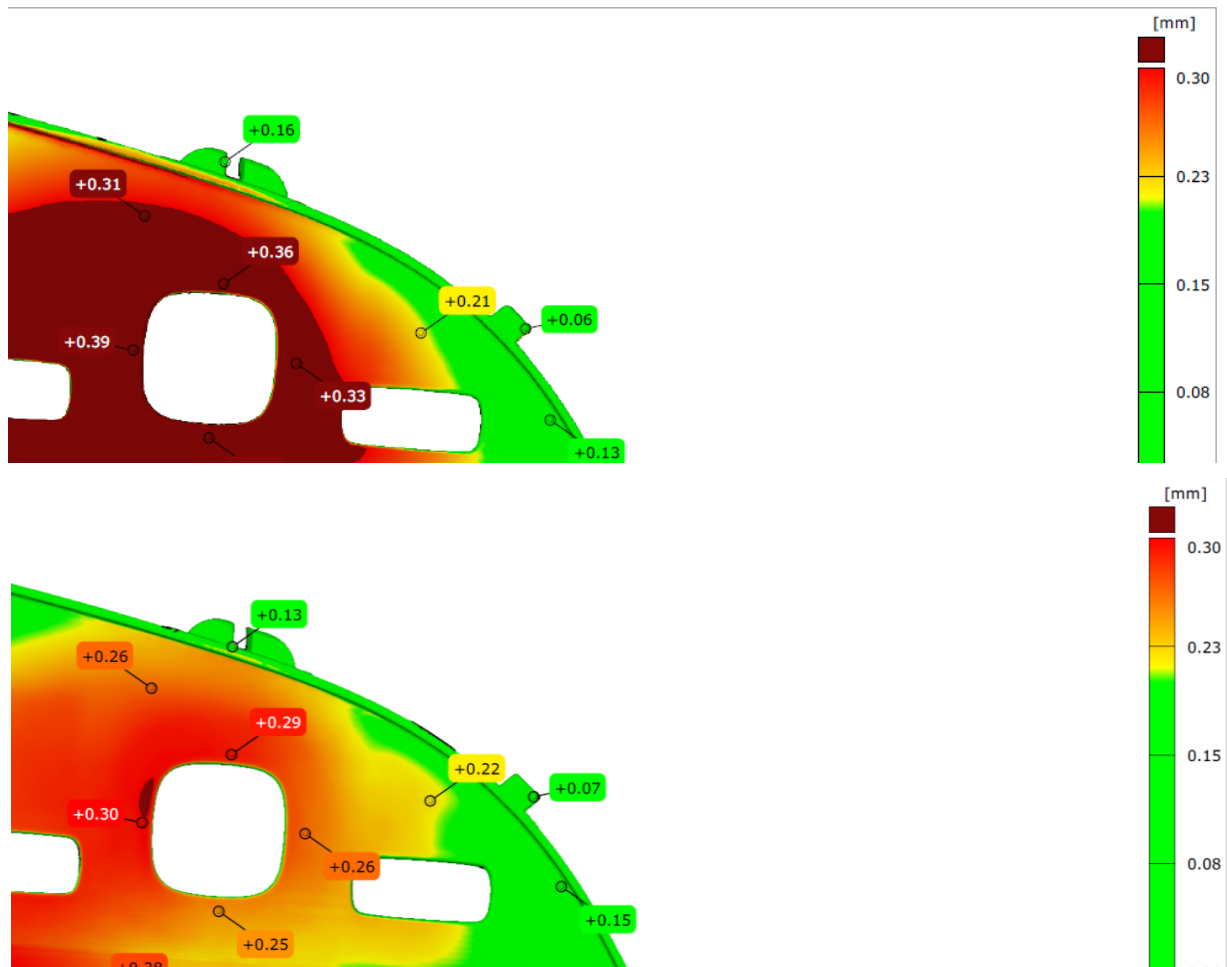


Fig. 8.7 Masurători 3D GOM

8.3.2.3. Test vizual: coajă de portocală, zgârieturi, incluziuni, găuri

Piesele din plastic vopsite cu grundul negru sunt inspectate sub lupă și în condiții de lumină conform cerințelor standardului VDA16 pentru a detecta defecte cum ar fi intruziuni (datorate contaminării în timpul etapelor de pulverizare sau uscare), găuri de ac, vopsea incompletă, prea multă vopsea pe colțuri, coajă de portocală, zgârieturi Figura 8.9. Piesele care prezintă defectele menționate mai sus au fost segregate (conform procesului normal de producție, un procent între 0,3% și 1,5% este normal să fie detectate – impuritățile angrenate în timpul pulverizării nu pot fi prevenite total).



Fig. 8.9 Piesă plastic injectată 2K vopsită cu grund negru

8.3.2.4. Test optic microscopic: găuri „ochi-de-pește”

Ulterior, aceste piese au fost analizate prin testare optică microscopică - Microscop optic tip ZEISS O-INSPECT 5/4/3. Investigarea în profunzime arată apariția defectelor pe piesele din plastic după primul strat de acoperire, microscopia fiind folosită pentru a înțelege mecanismul de defectare: cele mai multe defecte de tip „ochi-de-pește” au apărut în zona cea mai apropiată de ferestrele dreptunghiulare de pe piese Figura 8.10 a), b), c), d).



Fig. 8.10 a) Defecte de tip „ochi-de-pește”

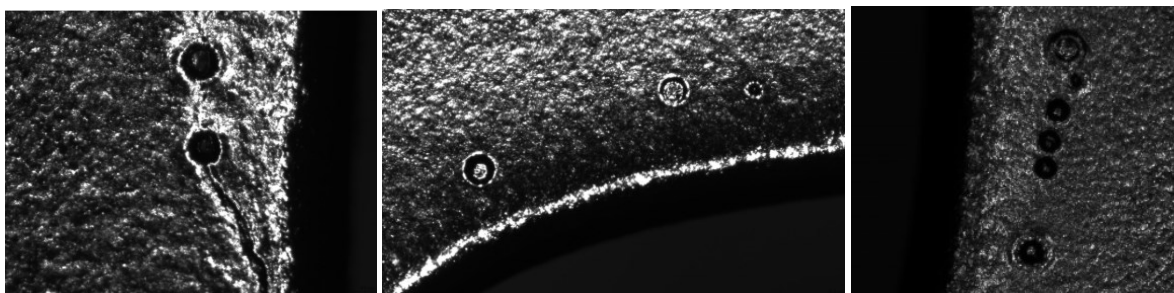


Fig. 8.10 b), c), d) Defecte de tip „ochi-de-pește”

8.3.2.5. Microscopie electronica EDX : componente materiale

Mostre selectate din procesele normale de injecție mase plastice 2k, apoi acoperite cu grundul negru, au fost analizate cu microscopul electronic cu EDX - HITACHI S2600N. După cum se poate observa mai jos, analiza a relevat posibilitatea unei contaminări cu un material din aria hidrocarburilor (precum uleiul sau spray-ul de demulare). În paralel, pentru a înțelege posibila contaminare a piesei din plastic, a fost comandat EDX-ul utilizat împreună cu SEM, iar probele au fost livrate la laboratorul institutului de cercetare ICDT - Figurile 8.11 a), b), c), d), e) pentru EDX și Figurile 8.12 a), b), c) pentru SEM:

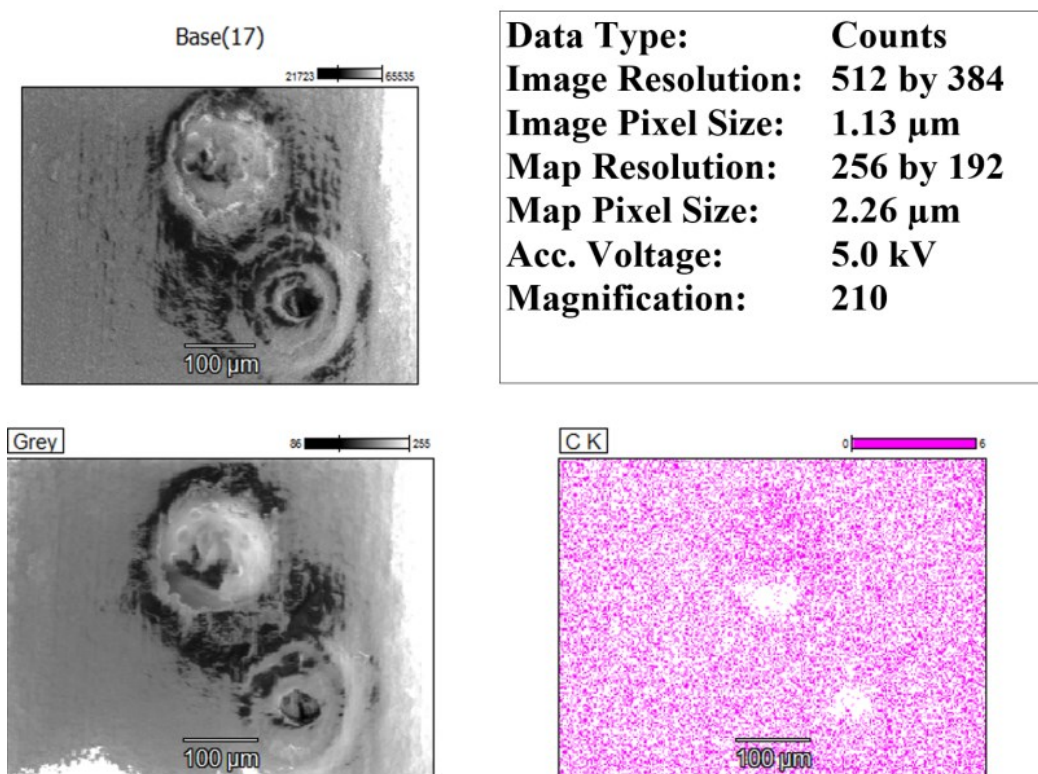


Fig. 8.11 a) Rezultat EDX

În final, analiza EDX/ SEM nu a evidențiat nici un element clar care nu ar trebui să fie prezent, deoarece în substrat (mase plastice) sunt prezente în principal hidrocarburi [CZA 21], iar stratul de bază este de asemenea o hidrocarbură, astfel că s-a păstrat prezumția de contaminare cu ulei sau agent de demulare.

8.3.4. Acoperire cu lac transparent polimerizat UV

8.3.4.1. Test grosime vopsea

Grosimea sistemului de vopsire cu lac transparent întărit cu polimerizare UV a fost măsurată - similar cu etapa de acoperire cu grund - pe plăcile metalice utilizate în același sistem de pulverizare a vopselei cu aceiași parametri ca și cel pentru piesele din plastic acoperite, cu ajutorul dispozitivului de măsurare cu ultrasunete TMT-TM-1240. Rezultatul arată că nu au legătură cu defectele de tip „ochi-de-pește” apărute pe piesele din plastic, ca și în cazul grundului grosimea se încadrează în toleranța specificată [RUN 15], către valoarea nominală.

8.3.4.2. Test optic microscopic: găuri, „ochi-de-pește”

Piesele vopsite cu lac transparent întărit cu polimerizare UV au fost inspectate la microscopul optic și defectele „ochi-de-pește” au fost detectate atât în zona ferestrelor pătrate, dar și la distanță de marginea lor – Figura 8.13 a), b). O concluzie preliminară care poate fi menționată este că procesul de acoperire cu lac transparent poate reiniția procesul de mișcare a bulelor de aer către suprafața materialului.

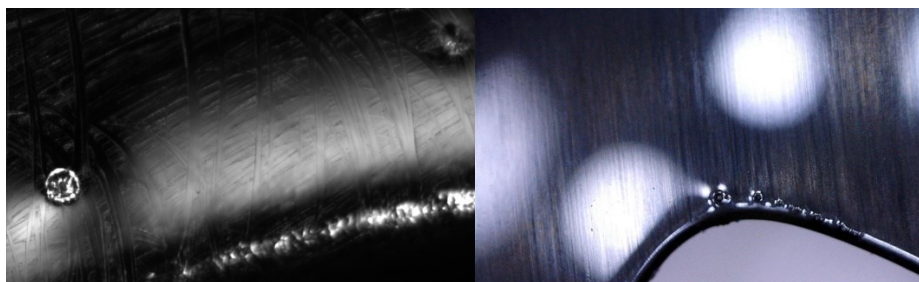


Fig. 8.13 a), b) Defectul „ochi-de-pește” după acoperirea cu lac UV

8.4. Moduri defectare și mecanismele lor

Pe baza studiilor de la DoE, doi factori au fost menținuți în analiza cauzelor principale deoarece influența lor a fost mai mare decât a celorlalți factori: *temperatura matriței* și *curentul de gravare cu laser*. Ca rezultate ale FMD-M, contaminarea cu hidrocarburi relevată de SEM/EDX a fost unul dintre factorii posibili, în principal în fereastra dreptunghiulară din piesă (așa cum s-a prezentat în capitolele 8.3.2.4 și 8.3.4.2). Investigarea inițială a cauzei rădăcină a luat în

considerare analiza matriței de injectare prin dezasamblarea acesteia și inspecții profunde ale fiecărei piese metalice din zona dreptunghiulară indicată, pentru a detecta unele urme sau indicatori legați de posibila contaminare, știind că sistemul de răcire se baza pe uleiuri, dar nu s-a detectat nimic. Drept urmare, s-a comandat o nouă analiză prin verificarea unor piese specifice din sistemul de răcire din zona în care defectul „ochi-de-pește” era mai des detectat.

După o nouă analiză a ambelor părți ale matriței, verificând sistemul de răcire, au fost detectate unele urme în legătură cu un inel ”O” de etanșare: urmele indicau faptul că uleiul scăpat a fost drenat în locația ferestrei dreptunghiulare și, din cauza temperaturii ridicate, a fost ars în timpul ciclului de injectare și nu putut fi detectat ca o contaminare clară pe întreaga suprafață a piesei din plastic (nici măcar prin verificarea tensiunii superficiale) – Figura 8.14 a), b).

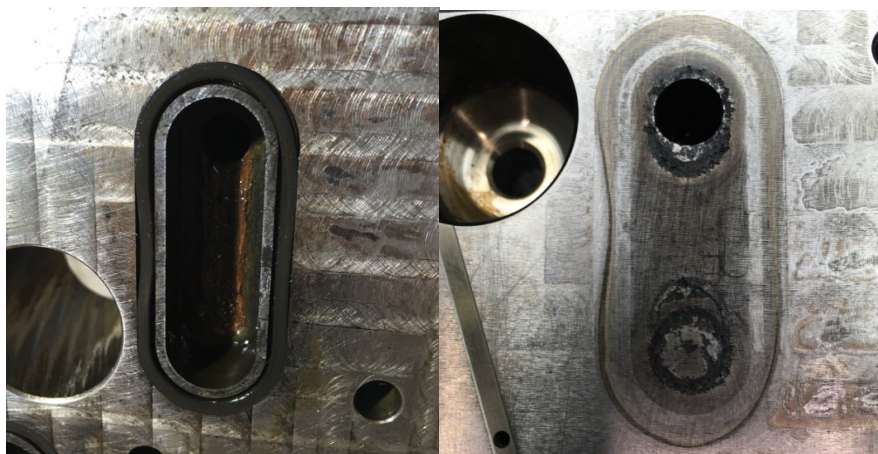


Fig. 8.14 a), b) Zonă etanșare inel-O matriță injectare

În cele din urmă, cauzele rădăcină care au condus la acest defect de „ochi-de-pește” au reprezentat o combinație între contaminarea cu ulei în timpul ciclului de injectare în zona apropiată ferestrei dreptunghiulare și hidrocarburile au intrat în structura materialului amorf, apoi s-au evaporat în timpul vopsirii cu lacul transparent întărit cu UV, bulele mici fiind blocate de procesul de uscare a materialului în timpul polimerizării. Prin urmare, *creșterea temperaturii matriței* ca factor din DoE arată influența în piesele evaluate. Al doilea factor - *curentul de gravare cu laser* - a fost, de asemenea, legat de creșterea temperaturii locale în timpul gravării în apropierea zonei ferestrei și a eliberat hidrocarburile din structura materialului plastic doar la suprafață, apoi bulele încep să se deplaseze în timpul procesului de acoperire transparentă cu polimerizare UV. Pentru a dovedi posibilele efecte ale contaminării cu uleiul ars sub presiune, inelul ”O” defect a fost reasamblat, iar loturile au fost produse cu o creștere a temperaturii matriței și au fost investigate în zona ferestrei: după cum arată inspecția optică microscopică, au fost detectate cercuri mici pe suprafața albă a plasticului, iar acest lucru nu poate proveni de la o structură amorfă normală a materialului - Figura 8.15 a), b).

AMDE a fost actualizat și cu aceste riscuri și capitalizarea experienței va face ca pe viitor să se prevină astfel de erori din proiectare și/ sau procesele de producție. Pentru a reduce riscurile, acțiunile imediate au fost propuse și implementarea unei temperări în cuptor la 80-85 grade Celsius timp de 2 ore a pieselor injectate, înainte de vopsirea grundului, a condus la o rată de defecte redusă de la 80% la 50%. Ca acțiuni de optimizare pe termen lung au fost propuse: schimbarea sistemului de răcire din ulei în apă – defectele au fost reduse de la rata 50% la o rată de 0,9%. Apoi, fiind încă o rată mare de defectare, a reieșit necesitatea de a investiga în continuare procesul de injectare a pieselor din plastic și reglarea parametrilor pe baza DoE au redus rata de rebuturi de la 0,9% la 0,05%.

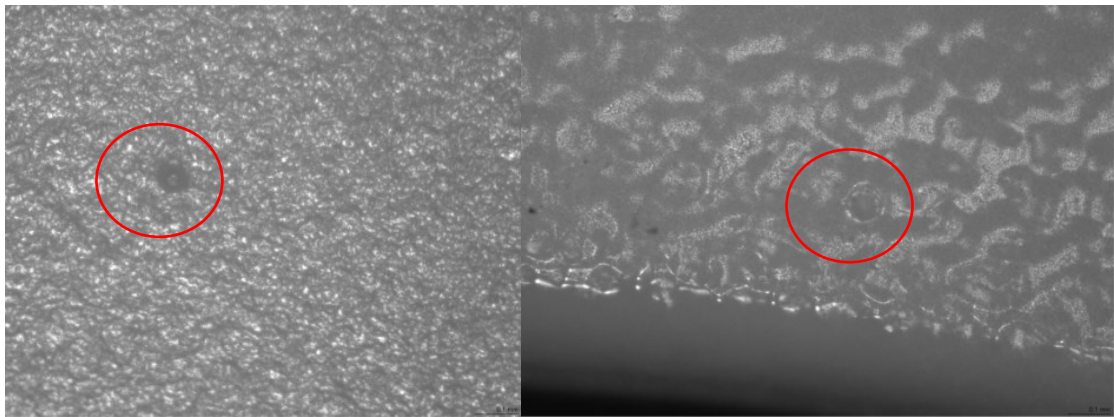


Fig. 8.15 a), b) Semne perfect circulare – defect ”ochi-de-pestă” in materialul injectat 2K

Capitolul 9. Studii de caz cu privire la proiectarea și realizarea modulară a unui software pentru suportul AMDE inversat utilizând mediul de programare LabView

9.1. Prevenirea riscurilor în diferite sisteme de răspuns rapid comparativ cu FRLQI

În partea de studii și contribuții teoretice a fost explicat noul sistem de răspuns rapid pe niveluri la problemele de calitate, FRLQI, precum și eficacitatea acestuia într-o analiză comparativă cu alte două variante utilizate de un producător de dispozitive mecatronice pentru automobile, cel de-al patrulea sistem utilizat în analiză fiind QRQC implementat într-o altă organizație, tot din domeniul componentelor pentru automobile. Cele trei variante utilizate de producătorul de dispozitive mecatronice sunt prezentate succint în cele ce urmează.

Prima variantă - de bază

Prima variantă a folosit la nivel de bază foile albe pe așa-numitul flip-chart și s-au stabilit două tipuri de întâlniri într-o arie dedicată: una dintre întâlniri a avut loc la nivel de secție de asamblare, fiind coordonată de către șeful de secție, iar cealaltă întâlnire a fost coordonată de către managerul general fiind discuții cu managerii de departamente. Desigur, la nivel de proces de fabricație ori la nivel de linie de producție sau la nivel de mașină în procesele de injecție mase plastice sau vopsitorie, chiar dacă nu s-au constituit întâlniri într-o zonă dedicată, managementul de nivel inferior a avut responsabilitatea de a asigura răspunsul rapid la probleme. Erau fost colectate cele mai importante 3 probleme de calitate în acea secție și erau stabilite acțiunile imediate, termenele și responsabilii, de asemenea, era stabilit liderul 8D pentru a dezvolta investigațiile privind cauzele rădăcină și acțiunile de prevenire a reapariției.

A doua variantă - răspuns rapid

Cea de-a doua metodă a îmbunătățit răspunsul rapid în cadrul organizației și sa bazat în principal pe cerințele specifice ale clienților generali - ISO TS 16949 (schimbat în IATF din 2015). Structura reuniunii a fost îmbunătățită și mai multe detalii au fost furnizate în vederea facilitării lucrului echipei în ceea ce privește analiza problemelor din acele reuniuni zilnice de răspuns rapid. Marele avantaj comparativ cu prima metodă a fost foaia de urmărire pentru monitorizarea problemelor care dau posibilitatea de a colecta toate riscurile zilnice în sistemul de management al calității, de asemenea, pentru a capitaliza experiența. Tehnicile de rezolvarea problemelor au fost și ele îmbunătățite și a fost adăugat un nou instrument, A3, bazat pe abordarea managerilor Toyota [SHO 09] pentru a fi utilizat de către echipă.

A treia variantă - FRLQI

FRLQI a fost elaborat pentru a îmbunătăți comunicarea dintre diferitele niveluri ale structurii organizației conform cu cerințele de răspuns rapid, de asemenea, pentru a dezvolta personalul prin instruirea zilnică efectuat de către managementul de la cel mai înalt nivel, de sus în jos, prin verificarea instrumentelor de rezolvare a problemelor utilizate și feedback rapid pentru a crește cunoștințele și aptitudinile. Marele avantaj al FRLQI este posibilitatea de a dezvolta competențele managementului de nivel inferior, al liderilor de linie și acelor lideri ai echipelor care lucrează direct în procese și au posibilitatea de a vedea și corecta procesele la timp.

Studiul de caz a analizat evoluția numărului de reclamații externe pe o perioadă de 3 ani, între 2015 și 2017, pentru a măsura efectele de prevenire a riscurilor ținând cont de eficacitatea sistemului de management al calității și a sistemului de răspuns rapid implementat. În anul 2015, s-a utilizat prima variantă, cea de bază cu două întâlniri în secția de asamblare, apoi în anul 2016 deja a fost implementat sistemul FRLQI, însă la un nivel de maturitate scăzut, iar în 2017 acest sistem din urmă a fost maturizat și i-a crescut eficacitatea.

În figura 9.1 este prezentată această evoluție și – după cum se poate observa – media reclamațiilor pe 6 luni din ”0-km” (acestea fiind reclamațiile din liniile de fabricație ale clienților de rang 1 sau producătorilor de automobile) scade doar cu 7 procente, iar media reclamațiilor pe 6 luni din ”field” (cele din garanții) scade și ea cu aproape 20 de procente.

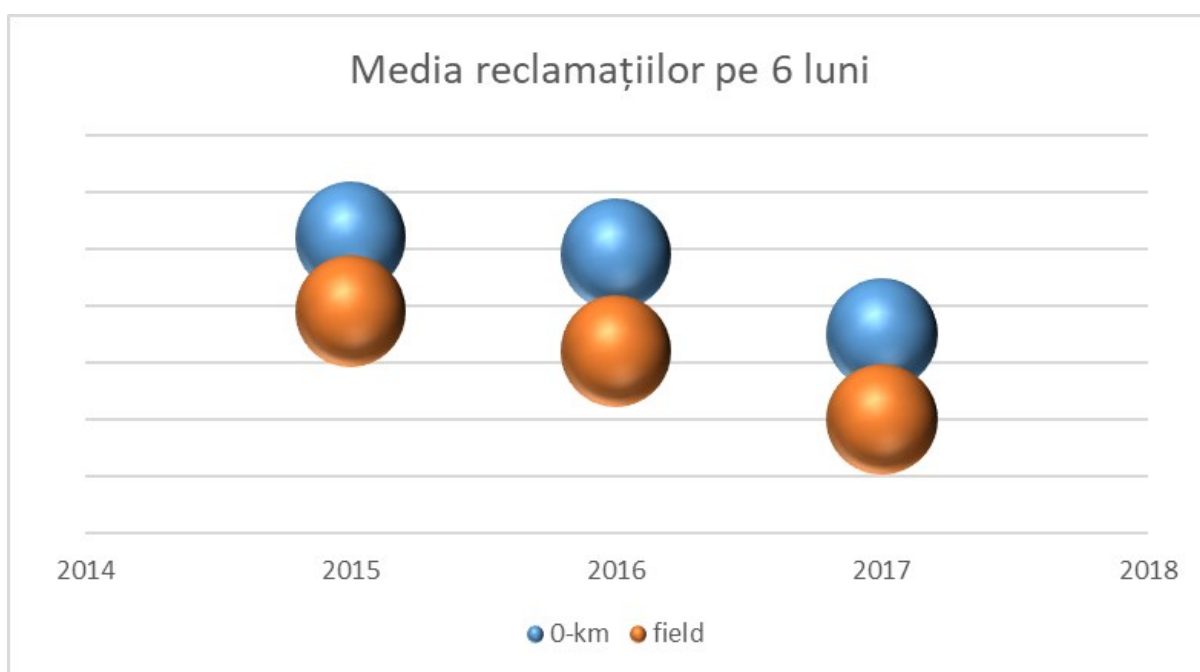


Fig. 9.1 Media reclamațiilor pe 6 luni

Utilizarea la un nivel de maturitate scăzut a FRLQI aduce o îmbunătățire, cu precădere în prevenirea reclamațiilor din garanții, prin acțiunile de îmbunătățire procese și de îmbunătățire robustețe produse.

După realizarea studiului sistemului FRLQI efectuat în cele cinci companii, o implementare a acestei metodologii a fost aplicată cu succes într-o alta companie de dimensiune medie, cu două facilități de producție, la distanță de 50 kilometri una de cealaltă. Specificitatea acestei companii a fost că aproape toate funcțiile la nivel de manager departament erau localizate într-una dintre facilități, iar nivelul inferior răspundea administrativ directorului de producție (manager de site) și metodologic de șefii departamentali centrali, drept urmare implementarea FRLQI a fost adaptată pe următoarele trei niveluri:

- a. *Nivelul 1* – șeful de linie sau atelier de fabricație rezolva problemele și le selecta doar pe cele care trebuiau escaladate;
- b. *Nivelul 2* – directorii de producție moderau ședințele unde participau funcțiile de nivel inferior; ședințele se efectuau la masa FRLQI unde raportările și evoluțiile indicatorilor de performanță erau urmărite cu ajutorul instrumentelor digitalizate (televizor, sesiuni de comunicare pe platforma Teams [***19], rapoarte PowerBI [***20]);
- c. *Nivelul 3* – *directorul operațional sau directorul general moderau ședințele cu toți managerii departamentali; pe sesiune Teams erau conectate ambele facilități de producție și – în funcție de programul de lucru (ținând cont ca ora de efectuare FRLQI Nivel 3 era 10:30) managerii participau din facilitatea în care se aflau la momentul ședinței*

Durata de implementare după adaptarea metodologiei prezentată în studiu a fost de 6 luni fiind implementată în pași, începând cu al doilea trimestru al anului 2020, rularea efectivă a nivelului 3, apoi nivelul 2 și – la final – nivelul 1, iar rezultatul a condus la o scădere cu 40% a reclamațiilor în anul următor, încă de la implementare (Figura 9.6):

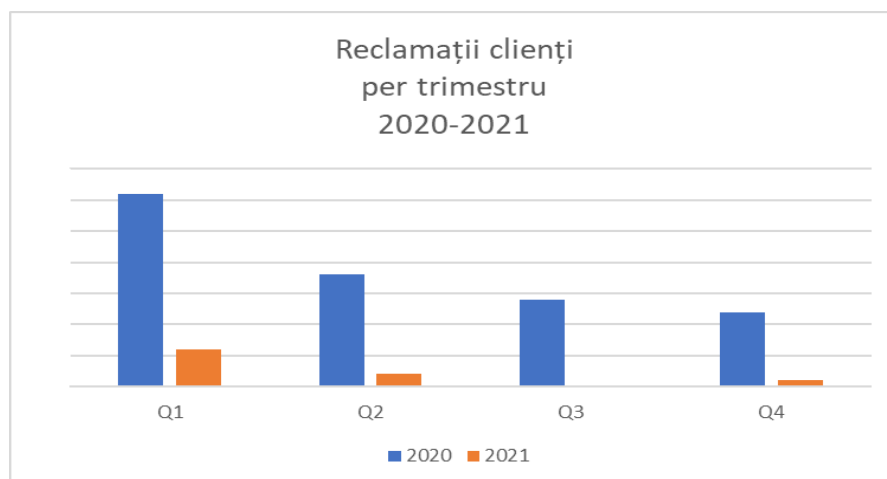


Fig. 9.6 Evoluție reclamații – comparație 2020-2021

9.3. Software pentru suportul AMDE inversat utilizând mediul de programare LabView

Având în vedere nivelul detaliat al datelor analizate în procesele de asamblare produse mecatronice pentru automobile datorat cerințelor producătorilor de

automobile, analiza modurilor de defectare și efectele acestora devine din ce în ce o activitate ce necesită mult timp și personal foarte calificat.

Astăzi, o linie de asamblare pentru un astfel de dispozitiv poate necesita de la 2 până la 30 de posturi de lucru sau stații de lucru, care sunt dispuse fie în linie simplă, fie în forma de U sau stea, precum și combinațiile acestora – figura 9.9.

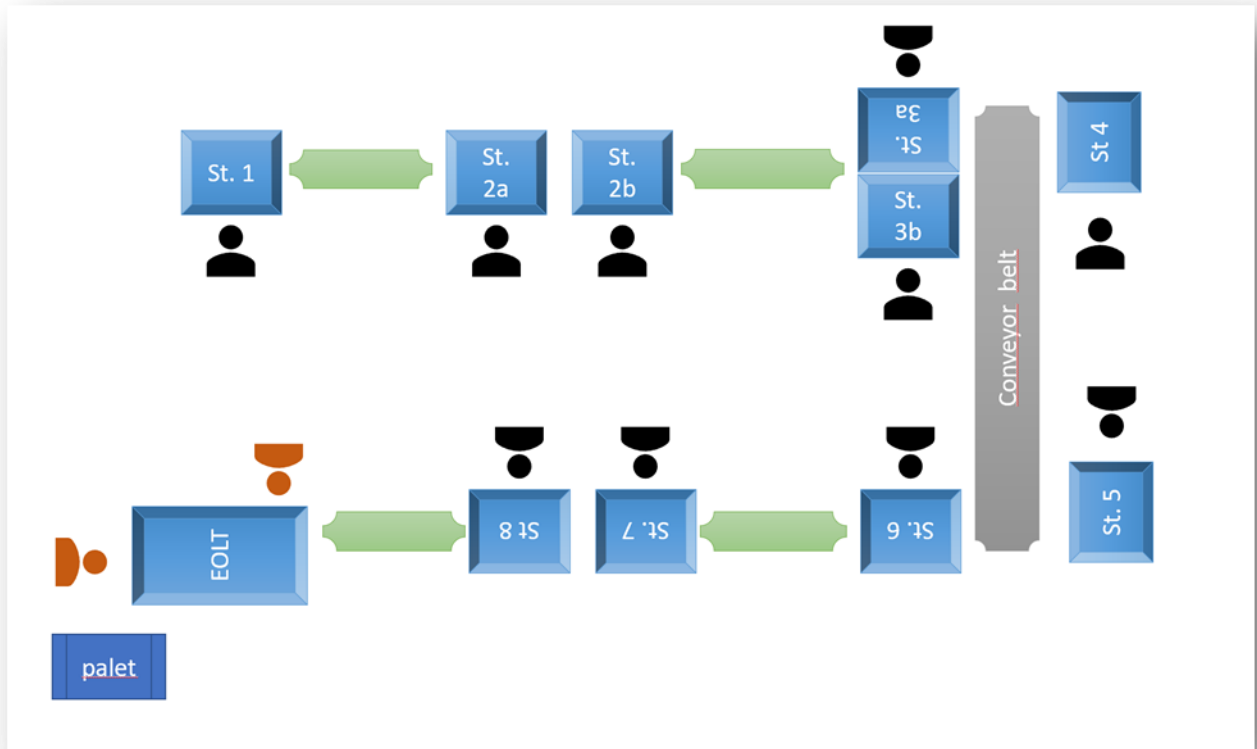







Fig. 9.9 Layout linie fabricație

În funcție de nivelul de dezvoltare al liniei de fabricație, fiecare stație de lucru poate fi utilată cu diferite elemente anti eroare, Poka-Yoke, precum și cu elemente de automatizare ca: senzori optici sau camere detecție, computer PC sau controler logic programabil, posibilitate stocare date, posibilitate transfer date în server SQL sau comparare date din server SQL. Mai jos, sunt prezentate elemente grafice pentru cele enumerate mai sus, iar în Figura 9.10 este layout-ul actualizat cu aceste elemente.

-  - senzor optic/ cameră detecție
-  - PC sau PLC
-  - analiză date și transfer SQL
-  - salvare date PC local
-  - printer trasabilitate

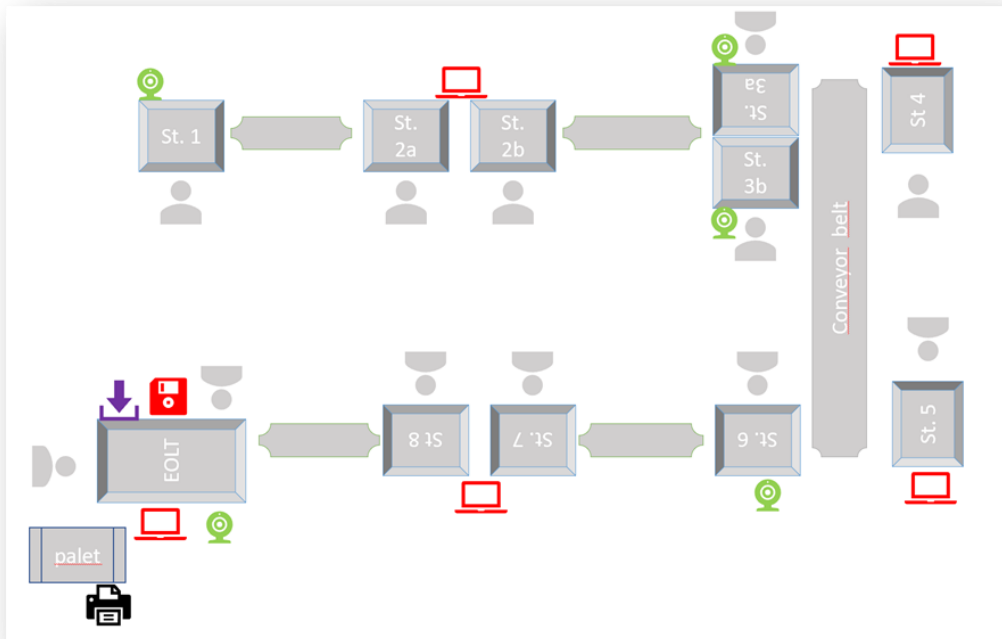


Fig. 9.10 Layout linie fabricație cu elemente de automatizare

Studiul de caz se referă la acea linie de asamblare dispozitive de comanda scaune (vezi capitol 7.4) , iar exemplul dat este de la stația de testare finală unde sunt verificați anumiți parametri, conform cu specificația clientului.

In LabView a fost creat panoul frontal în care au fost dispuse formele necesare pentru a analiza datele ca în figura 9.11.

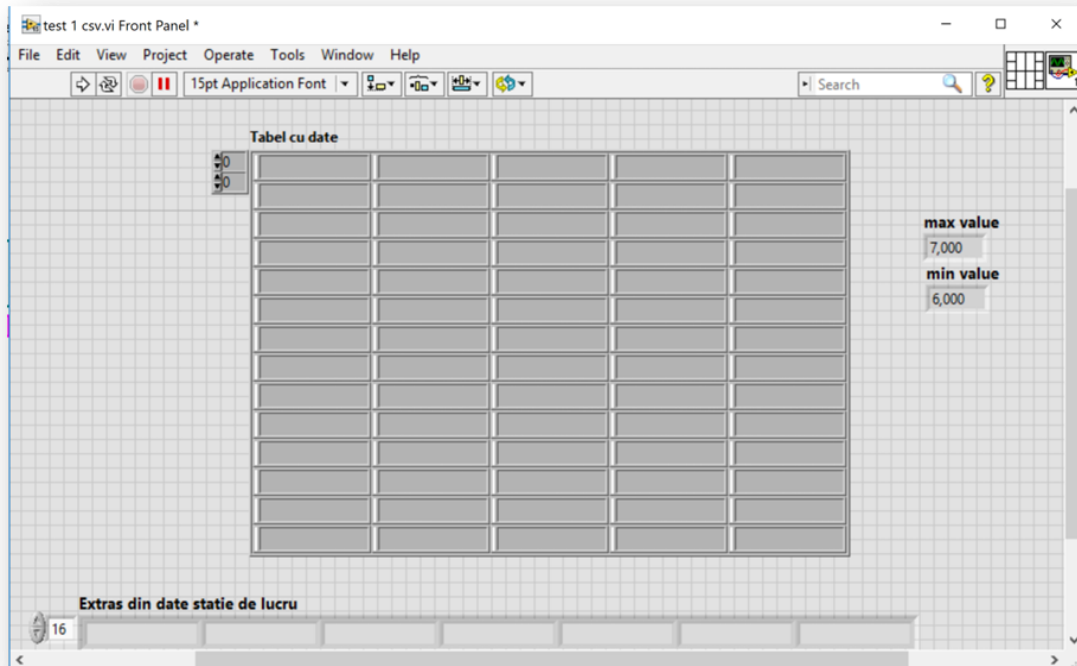


Fig. 9.11 Panoul frontal pentru prezentare rezultate analiză stația de testare

Ulterior a fost creată și diagrama bloc pentru preluare și procesare date din stația de lucru (în cazul de față stația de testare finală, pasul testare forțe și deplasare butoane) ca în figurile 9.12 și 9.13.

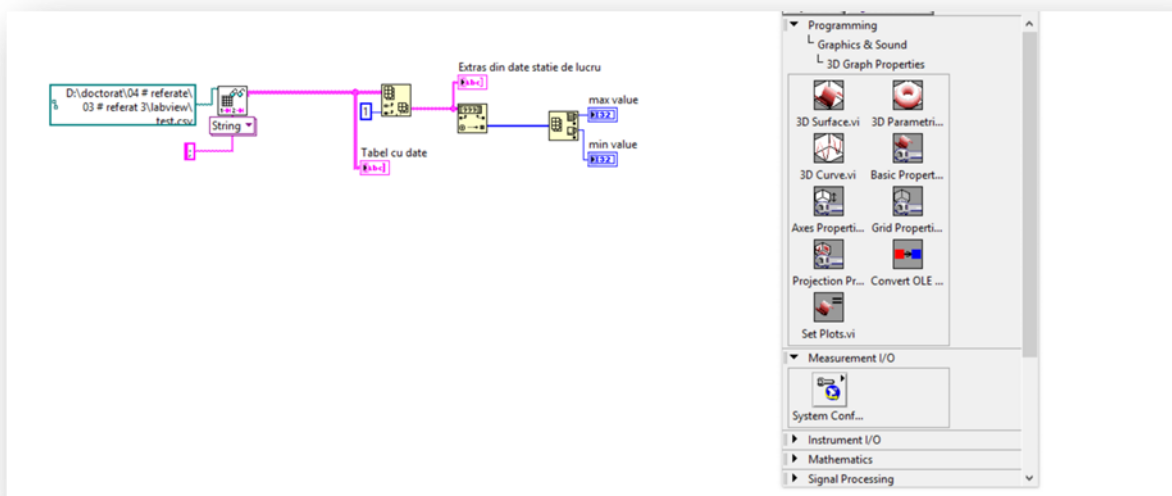


Fig. 9.12 Diagrama Bloc pentru procesare date stația de testare

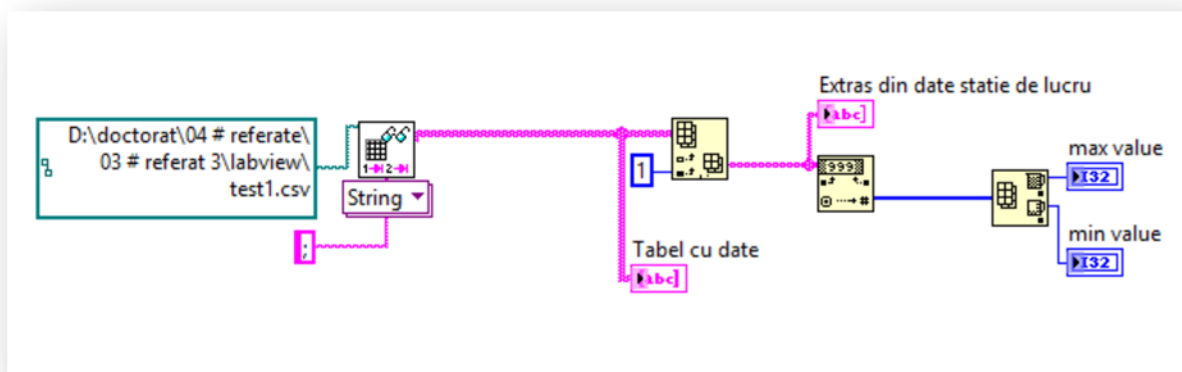


Fig. 9.13 Diagrama Bloc pentru procesare date stația de testare – detaliu

În funcție de tipul de activitate de la stația de lucru și de tipul distribuției datelor analizate, în diagrama bloc se va crea structura necesară pentru a putea analiza tipul de date.

Rulând programul se obțin datele preluate din computerul de la stația de testare, pasul de măsurare forțe și deplasări butoane, rezultatul fiind prezentat în Figura 9.14.

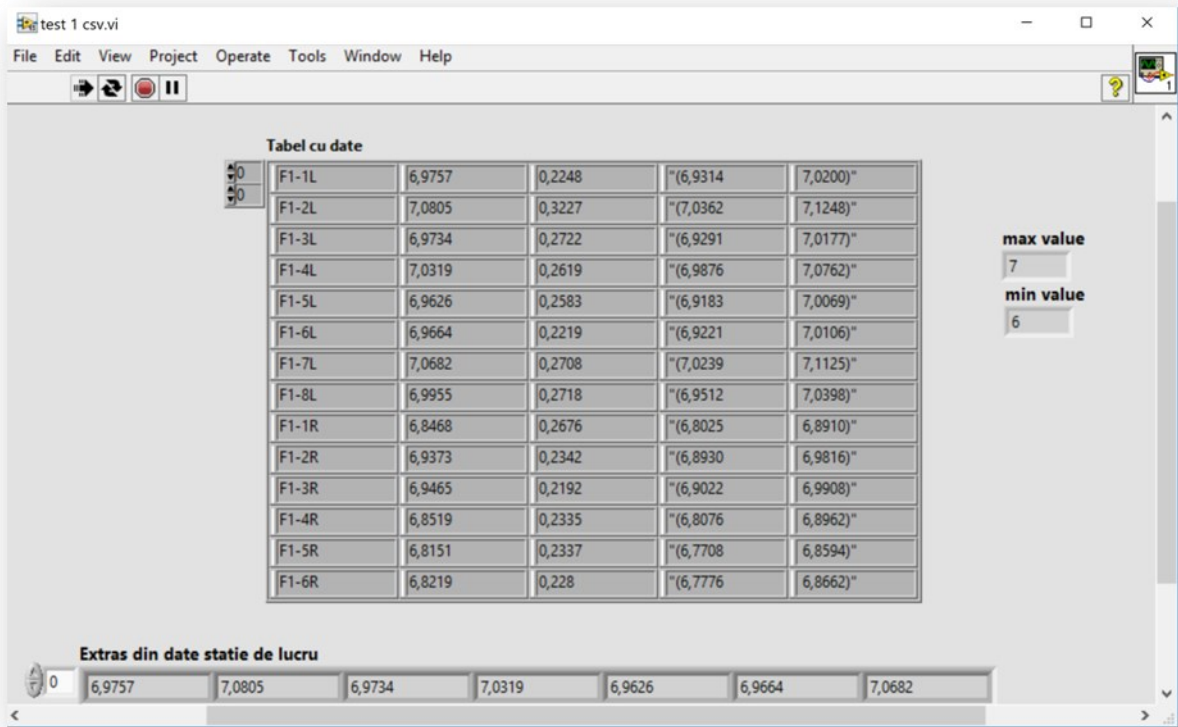


Fig. 9.14 Panou frontal cu datele afișate

Chiar dacă până la finalizarea programării s-a utilizat Minitab pentru transpunere date analizate, în LabView vor fi procesate asemănător capabilitățile pentru fiecare dintre parametri, astfel încât să se poată calcula probabilitatea de apariție a defectelor și, ulterior, să se transpună automat în evaluarea riscului

În funcție de stadiul senzorilor sau al dispozitivelor de detectare, bazat pe rutinele de auto-testare și verificarea periodică cu piese etalon sau piese de provocare defecte, tot în preluare automată vor fi transpuse și aceste date pentru a da evaluarea riscului de non-detectie din calculul indicelui prioritate risc.

Grilele pentru gravitate, vor fi importate pentru fiecare produs din standardul specific cerut de client, ele vor fi disponibile pentru a fi selectate când se rulează programul de AMDE sau AMDE inversat.

În final, rulând programul LabView vor fi obținute rezultatele finale în panoul frontal dezvoltat special pentru tipul stației de lucru sau testare, ca în Figura 9.15.

rFMEA stadiu actual	Severitate	Aparitie	Detectie	IPR
Risc1	8	6	1	48
Risc2	7	4	2	56
Risc3	8	1	1	8
Risc4	8	1	2	16
Risc5	4	3	6	72
Risc6	4	5	6	120
Risc7	4	5	4	80
Risc8	6	7	6	252
Risc9	6	2	6	72

Max Severitate: 8
Min Severitate: 4

Fig. 9.15 Panou frontal cu rezultatele IPR pentru stația testare

Riscurile Risc1, Risc2, ... vor fi trecute de către echipa multidisciplinară atunci când se elaborează un AMDE nou, pe baza dezvoltării proceselor de producție, iar utilizatorul va putea să le selecteze din lista încărcată sau pot fi importate din fișier .xml direct din AMDE-ul dezvoltat într-o altă aplicație ca APIS IQ-RM.

Capitolul 10. Concluzii referitoare la studiile de caz și cercetările experimentale privind sistemele de management al riscurilor în procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor

Sistemele de management al riscurilor în procesele de producție aduc valoare organizațiilor dacă sunt și robuste, dar și suple, astfel că ele pot preveni ca afacerea să scadă atunci când sunt schimbări în oricare dintre cele șapte categorii de factori: materia primă, mașinile unelte, metodele de lucru, mâna de lucru, mediul înconjurător, sistemul de măsurare sau chiar modul de conducere al afacerii.

Bazat pe studiile de caz și cercetările experimentale prezentate, se poate concluziona că în producția dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor, odată cu creșterea inovației - fie cu privire la produs, fie cu privire la procese – a crescut și nevoia de analiză în ansamblu al modurilor de defectare și nu doar pe fiecare etapă de proces de fabricație.

Mai mult, instrumentele utilizate cu precădere în anumite etape de proces, pot fi extinse și utilizate și în alte domenii, cum ar fi utilizarea indicatorilor de capabilitate pe eșantioanele măsurate de-a lungul timpului la recepția materiei prime.

Totodată, dacă până la introducerea noilor procedee de injecție mase plastice multi-componente sau a acoperirilor cu lacuri întărite prin polimerizare cu UV sau a gravării cu laser era suficient să se analizeze pe baza funcțiilor către nivelul superior, studiile de caz și cercetările au demonstrat că este nevoie de analiza și pe funcțiuni intercorelate și că mediul de lucru poate afecta în mare măsură rezultatele și, până la urmă, calitatea acestor produse.

La analiza riscurilor din liniile de asamblare sau atelierile individuale de lucru, prin creșterea din ce în ce mai mare a numărului de produse comandate de clienți și, în consecință, numărul mare de piese produse, trebuie considerate și combinațiile multiple de variante datorate numărului tot mai mare de cavități ale matrițelor de injecție, ștanțare, turnare sau alte procedee de procesare, ce pot conduce la comportamente diferite și moduri de defectare greu de anticipat fără o dezvoltare corespunzătoare a experimentelor (diferită de cele efectuate în fazele de dezvoltare a produselor și a proceselor).

Chiar și testele finale au fost modernizate astăzi, locul inspectorului fiind luat de sistemele automatizate și robotizate, avantajul vitezei de lucru venind și cu dezavantajul că o analiză necorespunzătoare ar putea conduce rapid la pierderea randamentului și la decizii greșite în ceea ce privește conformitatea sau neconformitatea dispozitivelor mecatronice testate.

Și, așa cum s-a prezentat că unealta de analiză riscuri AMDE este una de evaluare calitativă, ce ține de nivelul competențelor echipelor care analizează aceste riscuri, rezultatul final al evaluării poate varia destul de mult dacă nu se ține cont și de eficacitatea sistemelor de răspuns rapid la problemele de calitate și, deci, în calificativele date să fie considerat și factorul de ponderare pe baza acestora din urmă.

În cele din urmă, dar foarte important, digitalizarea, automatizarea și modernizarea proceselor de fabricație fac ca utilizarea clasică a softurilor de analiză riscuri să nu

mai fie atât de potrivită, în concluzie, cercetările experimentale au arătat că softul modular care preia datele – pe perioade presetate determinate – direct din controlerul de linie și le transformă în probabilitățile de apariție ale defectelor, precum și evaluează riscurile nedectării acestor defecte, ajută echipele să fie mult mai eficace în utilizarea AMDE inversat pentru a preveni producerea și livrarea de produse neconforme. Suplimentar, aceste softuri luând în considerare și durata de la producția dispozitivelor mecatronice până la defectele apărute în garanții, ponderând aprecierea calitativă a încadrării riscurilor în grile, decizia de acțiuni de optimizare pentru reducerea acestor riscuri și estimarea mai precisă a provizioanelor a fost demonstrată prin studiile de caz și cercetările experimentale prezentate.

PARTEA A IV-A. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

În urma cercetărilor experimentale și a studiilor de caz, generat și de trendul adus de Industry 4.0, autorul a detectat nevoia de a integra toate axele ce țin de managementul calității în sistemele de management al riscurilor din procesele de producție a dispozitivelor mecatronice din industria automobilelor, cum ar fi nivelul de cunoștințe și competențele personalului, rezultatele auditurilor de sistem, proces, produs, cultura organizațională și sistemul de răspuns rapid pe niveluri la problemele de calitate, conformitatea cu standardele asociate acestor tipuri de produse cum ar fi ISO 26262, siguranța funcțională, nivelul de maturitate al leadershipului și gradul de îndeplinire al obiectivelor, conectarea cu lanțul de furnizori, dar și cu platformele B2B ale clienților, bazate pe o analiză pertinentă și complexă a tuturor datelor conexe.

Concluzionând, pentru ca rezultatul evaluării și al prioritizării riscurilor să fie valid pe termen mediu și lung, este la fel de important ca sistemul de management al calității implementat în organizație să fie suficient de matur și robust. Nu în ultimul rând, acest sistem trebuie să conțină obligatoriu un proces detaliat de răspuns rapid la problemele de calitate (cum ar fi des întâlnit QRQC sau varianta ce include și cerința de la General Motors, FRLQI) pentru a trata, pe niveluri, problemele care apar, încă dintr-un stadiu incipient, pe de o parte, dar și pentru a valida evaluarea probabilității de apariție a modurilor de defectare bazate pe acțiunile de prevenire și detectarea lor, pe de altă parte.

Grup țintă:

Această teză se adresează managerilor generali și managerilor de la celelalte niveluri, specialiștilor și responsabililor de dezvoltare produse și procese, precum și specialiștilor și responsabililor de implementare sisteme de management calitate, specialiștilor responsabili de analiza pieselor din garanții.

Contribuții originale:

- Elaborarea unui sistem de răspuns rapid pe niveluri – FRLQI.
- Elaborarea documentelor și metodelor de utilizare pentru urmărirea problemelor pe nivelul 1 din FRLQI (descriere problemă și măsuri imediate).
- Implementarea unui sistem de răspuns rapid în sistemul de management al calității și considerarea nivelului de maturitate în evaluarea calitativă a riscurilor din AMDE.
- Metodologie pentru analiza riscurilor la recepția materiei prime – compararea indicilor de capacitate pe eșantioanele măsurate, C_{pk} , P_{pk} și C_{pm} , pentru detectarea posibilelor probleme în procesele furnizorilor.
- Metodologie de analiză riscuri și optimizare procese pentru îmbunătățire produse folosind DoE cu ajutorul metodei Taguchi.
- Metodologie de analiză a riscurilor și acțiuni de prevenire și optimizare procese în vopsitorie, tampografiere și gravare laser.
- Utilizarea măsurătorilor 3D în validarea primelor piese în injectarea de mase plastice pentru a detecta viitoarele probleme generate de combinațiile de cavități din matricele de injectare și componentele de la furnizori și din cauza micilor deformări ale componentelor.
- Analiza statistică a ieșirilor din procesele de măsurare robotizate pentru a preveni rebuturile.
- Analiza cauzelor rădăcină și metodă de detecție cauza dovedită prin analiză statistică, deoarece reproducerea pieselor defecte nu este posibilă la un nivel de producție în masă prea mare, astfel fiind stabilite provizioane pentru estimări viitoare de căderi în garanții.
- Elaborarea modulară a unui software de preluare riscuri actuale din liniile de fabricație automatizate și suport în realizarea AMDE inversat.
- Metodologie de detectare moduri defectare în riscurile transversalizate din procesele inovative de injectare mase plastice multi-component, gravare laser, vopsire cu lac transparent întărit prin polimerizare cu raze ultraviolete (UV) – Fmd-M.

Diseminarea rezultatelor:

Diseminarea rezultatelor a fost realizată prin participarea la conferințe și prin publicarea în reviste științifice a unui total de 16 articole științifice (12 articole în calitate de prim autor în legătura cu teza și 4 articole în calitate de coautor):

a) Lucrări științifice publicate în reviste cu factor de impact:

1. UDROIU R., **BRAGĂ I.C.**, Evaluating the Quality Surface Performance of Additive Manufacturing Systems: Methodology and a Material Jetting Case Study, *Materials* 2019, 12(6), 995; <https://doi.org/10.3390/ma12060995>, 2019.

2. UDROIU R., **BRAGĂ I.C.**, System performance and process capability in additive manufacturing: Quality control for polymer jetting, *Polymers* 2020, 12(6), 1292; <https://doi.org/10.3390/polym12061292>, 2020.
 3. **BRAGĂ I.C.**, UDROIU R., NEDELUCU A., Analysis of defects in UV-cured clear coating systems for plastic parts in automotive interior mechatronic devices, *Polymers*, MDPI, în curs de revizie, 2022.
 4. POP E., CAMPEAN E., **BRAGA I.C.**, ISPAS D., DOBOCAN C., New product development of a robotic soldering cell using Lean manufacturing methodology, MDPI, *Sustainability*, în curs de revizie, 2022.
- b) Lucrări științifice publicate în volumele conferințelor internaționale indexate ISI:
5. **BRAGĂ I.C.**, NEDELUCU A., Optimization of the plastic injection molding parameters by using Taguchi method to prevent jammed components in the assembly process of the mechatronic devices (CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering. CONAT 2016. Springer, Cham), 2016.
 6. **BRAGĂ I.C.**, NEDELUCU A., UDROIU R., Risk reduction in dimension inspection of the plastic injection-molded parts from mechatronic devices by using optical 3D measuring techniques (MATEC Web Conf., 94 (2017) 04001, DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/20179404001>), 2016.
 7. **BRAGĂ I.C.**, NEDELUCU A., Management of the receiving inspections by using statistical process control in order to minimize the risks of nonconforming product delivered in the manufacturing of mechatronic devices (5th Review of Management and Economic Engineering International Management Conference, SEP 22-24, 2016, Tech Univ Cluj Napoca, Cluj Napoca, ROMANIA, ISSN: 2247-8639, 58 – 65, Todesco Publishing House), 2016.
 8. **BRAGĂ I.C.**, UDROIU R., NEDELUCU A., Use of microscopy techniques in failure analysis of the plastic injection molded parts to prevent the risks of serial defects in the assembly processes (MATEC Web Conf., 112 (2017) 04009, DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711204009>), 2017.
 9. **BRAGĂ I.C.**, NEDELUCU A., UDROIU R., Studies of the laser etching on painted plastic parts to prevent the risks of engraving failures at mechatronic devices (MATEC Web Conf., 137 (2017) 03002, DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201713703002>), 2017.
 10. **BRAGĂ I.C.**, NEDELUCU A., UDROIU R., Studies on robotic testing equipment used in mechatronic devices manufacturing processes to

improve the root cause analysis (MATEC Web Conf., 178 (2018) 05010, DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/2017805010>), 2018.

11. **BRAGĂ I.C.**, UDROIU R., NEDELUCU A., Improving the laser engraving quality of padpainted and spray-painted mechatronic devices (MATEC Web of Conferences 299 (2019), 06004, DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201929906004>), 2019.
12. UDROIU R., **BRAGĂ I.C.**, Polyjet technology applications for rapid tooling, MATEC Web Conf. Volume 112, <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711203011>, 2017.

c) Lucrări științifice publicate în reviste BDI:

13. **BRAGĂ I.C.**, NEDELUCU A., UDROIU R., Improving the Organizational Performance in Automotive Manufacturing by Using Fast Response on Layers at Quality Issues (April 2016, Applied Mechanics and Materials 834:211-216, DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMM.834.211](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.834.211)), 2016.
14. **BRAGĂ I.C.**, RUSU D., NEDELUCU A., UDROIU R., Fast Response On Layers At Quality Issues As Part Of Quality Management System In Automotive Manufacturing (Managing Innovation and Diversity in Knowledge Society Through Turbulent Time: Proceedings of the MakeLearn and TIIM Joint International Conference 2016, ToKnowPress), 2016.
15. **BRAGA, I.C.**, A Weibull analysis of the field data from a mechatronics devices manufacturer in order to forecast the warranty claims and the costs (Creativity and Innovation Journal, Volume 8, Number 8, 2016, pp. 1-8(8), Directory of Open Access Journals), 2016.
16. **BRAGĂ I.C.**, UDROIU R., NEDELUCU A., Estimating the warranty returns and proving root causes using statistical analysis of archived parameters measurements for an automotive mechatronic device, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1009, The 5th International Conference on Computing and Solutions in Manufacturing Engineering (CoSME'20), Brasov, Romania, 2020.

Direcții de cercetare:

Alte direcții de cercetare experimentală au fost detectate în timpul analizelor și studiilor de caz, precum și datorită creșterii gradului de inovare în procese, astfel, în zona de producție electronice va fi găsită o posibilitate de conversie a datelor din programele dedicate ale producătorului de AOI – inspecția automată optică cu camere [REL 04] – pentru a lucra cu testarea ipotezelor statistice și a erorilor de tip I și de tip II, pentru că nu ajută nici detecția foarte precisă, ca reglaj al camerelor (astfel ar fi rejectate multe produse care pot fi conforme), dar nu este suficient nici că multe pseudo-erori pot fi aprobate de către operatorul AOI la reverificare (deci risc de scăpare piese neconforme) și nici nu există un indicator care poate semnaliza o montare necorespunzătoare a componentei pe suprafață (Figura 10.1).

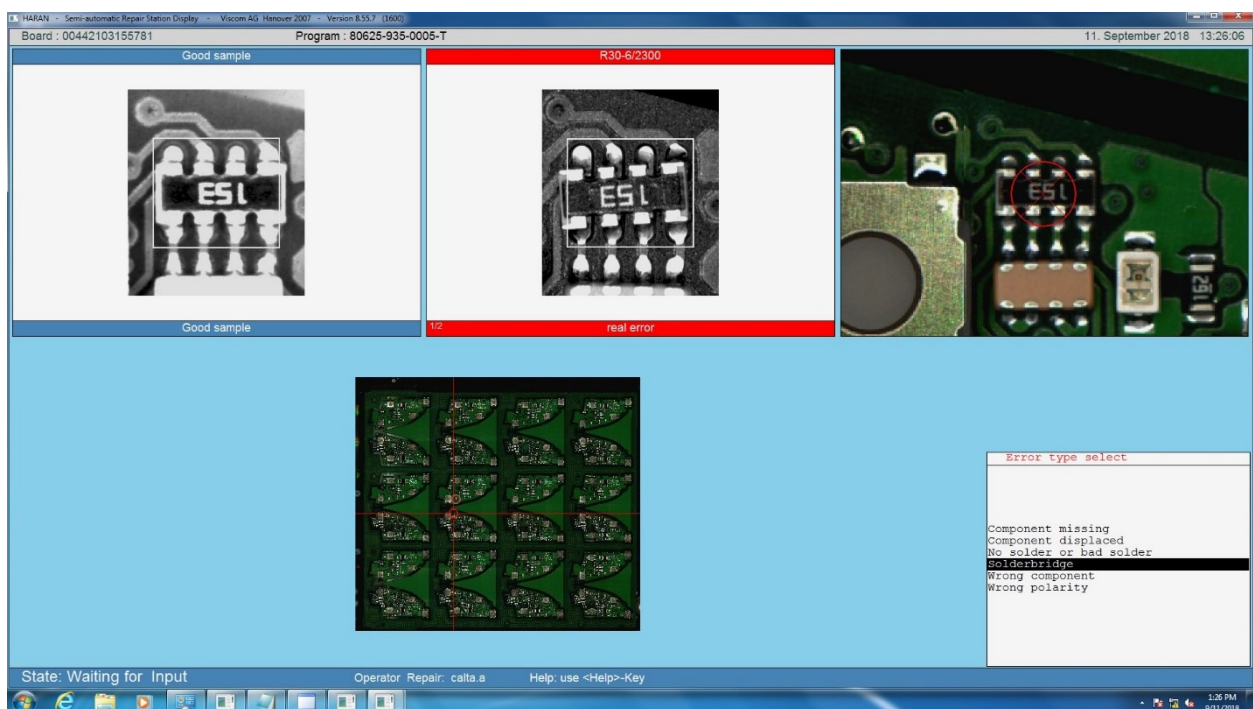


Fig. 10.1 AOI – Foto zonă clasificare

Provocarea autorului este de a găsi un model statistic aplicabil diferitelor tipuri de erori detectate de camere și, modelând pe o statistică pe eșantioane din ce în ce mai mari, să poată semnaliza operatorului AOI unde trebuie să acorde mai multă atenție pseudo-erorilor.

Mai mult, fiind foarte actuală provocarea coboșilor pentru prevenire riscuri și eficientizare procese, pentru dispozitivele mecatronice în fabricile model HMLV – High Mix Low Volume, unde schimbările sunt foarte dese, în procesele de lipire cu cositor – având cerințe exigente cu privire la calitatea lipirii, implementarea unui cobot (fiind în stadiul de realizare de 90%) și optimizarea proceselor de pregătire și ambalare ulterioară, plus introducerea verificării cu camere video sunt alte direcții de cercetare ale autorului (Figurile 10.2, 10.3, 10.4).

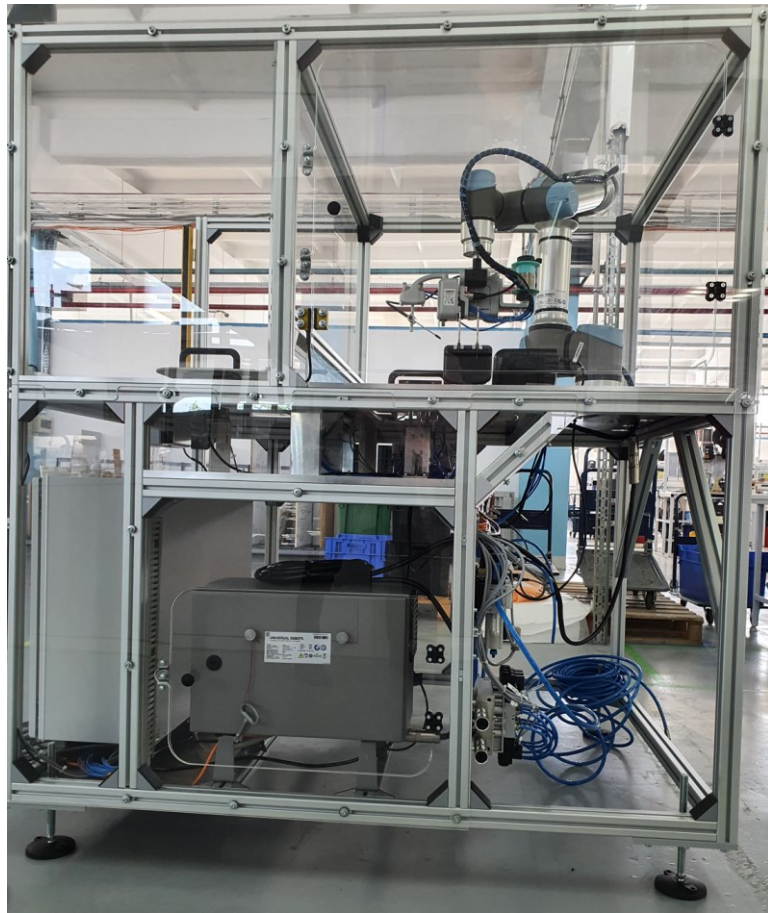


Fig. 10.4 Cobot lipire cu cositor – stația de lucru

Luând în considerare riscurile de securitatea muncii, cobotul este instalat într-o stație de lucru care este protejată cu sisteme moderne ce previn accidentele, astfel, această stație de lucru poate fi intercalată în linia de producție și procesele vor fi optimizate.

Noile cercetări vor fi axate pe modelarea mișcărilor brațului cobotului pentru a crește, deopotrivă, calitatea lipirii și productivitatea, în plus, camerele video vor putea procesa imaginile preluate, atât înaintea lipirii pentru detectarea culorilor diferite ale firelor sau poziției acestora față de pini conectorului, dar și după lipire pentru detectarea posibilelor moduri de detectare ca "lipituri reci", "cositor în exces", "punte între pini" sau "lipituri incomplete".

BIBLIOGRAFIE

- [*** 05] AIAG, *Reference Manual for Statistical Process Control*, 2nd Edition, 2005
- [*** 11] ISO 26262-1-10 *Road vehicles - Functional safety*, 2011
- [*** 16b] VDA-QMC, <http://vda-qmc.de/en/publications/>, accesat 2018
- [*** 18] National Instruments, A Global Leader in Test, Measurement, and Control Solutions, <http://www.ni.com/ro-ro.html>
- [***19] Microsoft Teams, <https://www.microsoft.com/ro-ro/microsoft-teams/login>;
- [***20] Microsoft PowerBI, <https://powerbi.microsoft.com/en-us/>.
- [*** 18] *Highlights of Service Pack V6.5 – 0160*, <https://www.apis-iq.com/2017/highlights-of-service-pack-v6-5-0160/>, 2018
- [*WEB 01] <https://www.vda.de/en.html> accesat in 2017
- [*WEB 02] <https://www.aiag.org/about> accesat in 2017
- [*WEB 07] <https://vdaqmc.de/en/downloads/fmea2019/>
- [*BER 14] Global Automotive Supplier Study, *Record profits versus increasing volatility*, 2014. Retrieved from http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Global_Automotive_Supplier_Study_20141209.pdf
- [*BER 15] *On the road toward the autonomous truck - Opportunities for OEMs and suppliers*, Roland Berger 2015
- [*IAT 15] *General Motors customer specific requirements - ISO TS 16949*, 2015. Retrieved from http://www.iatfglobaloversight.org/docs/GM_Customer_Specifics_October%202010_rev101101.pdf
- [*OIC 15] *Statistics 2014, Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles*, 2015. Retrieved from <http://www.oica.net/category/production-statistics/2014-statistics/>
- [AIZ 12] AIZED T., *Total Quality Management and Six Sigma*, InTech, Croatia, 2012.
- [AOU 11] AOUDIA H, TESTA Q., *Perfect QRQC, The basics*, Paris, Maxima (p. 157-188), 2011
- [ART 15] Artikis C., Artikis P., *Probability Distributions in Risk Management Operations*, Springer International Publishing Switzerland, 2015
- [BOB 09] Bobancu Ș. *Creativitate și invenție. Curs (Creativity and invention. Course)*. Brașov: Editura Universității Transilvania; 2009
- [BRA 16a] BRAGĂ I.C., NEDELCU A., UDROIU R., *Improving the Organizational Performance in Automotive Manufacturing by Using Fast Response on Layers at Quality Issues*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 834, pp. 211-216, 2016

- [BRA 16b] BRAGĂ I.C., RUSU D., NEDELUCU A., UDROIU R., *Fast Response on Layers at Quality Issues as Part of Quality Management System in Automotive Manufacturing*, p. 225-232, ToKnowPress, 2016
- [BRA 16c] BRAGĂ I.C., *Analiza weibull a datelor din garanții de la un producător de dispozitive mecatronice pentru a face previziuni în privința reclamațiilor și a costurilor/A weibull analysis of the field data from a mechatronics devices manufacturer in order to forecast the warranty claims and the costs*, DOAJ, Creativity and Innovation Journal, Volume 8, Number 8, pp. 1-8(8), 2016
- [BRA 16d] BRAGĂ I.C., NEDELUCU A., *Management of the receiving inspections by using statistical process control in order to minimize the risks of nonconforming product delivered in the manufacturing of mechatronic devices*, Proceedings of the 5th Review of Management and Economic Engineering, International Management Conference, RMEE2016 - From Management of Crisis to Management in a Time of Crisis, 22-24 September 2016, Technical University of Cluj Napoca, Todesco Publishing House, pp. 58-65, ISSN 2247-8639, 2016
- [BRA 17a] BRAGĂ I.C., NEDELUCU A., *Optimization of the Plastic Injection Molding Parameters by Using the Taguchi Method to Prevent Jammed Components in the Assembly Process of Mechatronic Devices*, In: Chiru A., Ispas N. (eds) CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering. CONAT 2016. Springer, Cham, 2017
- [BRA 17b] BRAGĂ I.C., NEDELUCU A., UDROIU R., *Studies of the laser etching on painted plastic parts to prevent the risks of engraving failures at mechatronic devices*, MATEC Web Conf. 137 03002 (2017), DOI: 10.1051/ matecconf/201713703002, 2017
- [BRA 17c] BRAGĂ I.C., UDROIU R., NEDELUCU A., *Use of microscopy techniques in failure analysis of the plastic injection molded parts to prevent the risks of serial defects in the assembly processes*, MATEC Web Conf. 112 04009 (2017), DOI: 10.1051/matecconf/201711204009, 2017
- [BRA 17d] BRAGĂ I.C., NEDELUCU A., UDROIU R., *Risk reduction in dimension inspection of the plastic injection-molded parts from mechatronic devices by using optical 3D measuring techniques*, MATEC Web Conf. 94 04001 (2017), DOI: 10.1051/matecconf/20179404001, 2017
- [BRA 18] BRAGĂ I.C., NEDELUCU A., UDROIU R., *Studies on robotic testing equipment used in mechatronic devices manufacturing processes to improve the root cause analysis*, MATEC Web Conference, DOI: 10.1051/ MATECCONF/2017805010, 2018
- [BRA 19] BRAGĂ I.C., NEDELUCU A., UDROIU R., *Improving the laser engraving quality of padpainted and spray-painted mechatronic devices*, MATEC Web Conference, 299 (2019), 06004, DOI: <https://doi.org/10.1051 /matecconf/201929906004>), 2019
- [BRA 20] BRAGĂ I.C., UDROIU R., NEDELUCU A., *Estimating the warranty returns and proving root causes using statistical analysis of archived parameters measurements for an automotive mechatronic device*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1009, The 5th International

- Conference on Computing and Solutions in Manufacturing Engineering (CoSME'20), Brasov, Romania, 2020
- [BRA 21] BRAGĂ I.C., UDROIU R., NEDELICU A., *Risk reduction in dimension inspection of the plastic injection-molded parts from mechatronic devices by using optical 3D measuring techniques*, IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1009(1):012009, DOI: 10.1088/1757-899X/1009/1/012009, 2021
- [BRA 22] BRAGĂ I.C., UDROIU R., NEDELICU A., *Analysis of defects in UV-cured clear coating systems for plastic parts in automotive interior mechatronic devices*, Polymers, MDPI, in curs de revizie, 2022
- [CAR 15] CARMO M., *Education Applications & Developments, Advances in Education and Educational Trends Series*, InScience, Lisboa, 2015
- [CHE 13] CHEN S. & WU M. T., *A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: A case study*. Computers & Industrial Engineering, 66, (4), 634-642, 2013
- [CHE 22] CHEN S-C., SU H., MATHEW J.J., GUNAWAN H., HUANG C-W., FENG C-T, *An Investigation to Reduce the Effect of Moisture on Injection-Molded Parts through Optimization of Plasticization Parameters*, MDPI, Applied Science, 2022
- [CHI 14] CHIABERT P. , D'ANTONIO G., INOYATKHODJAEV J., LOMBARDI F., RUFF S., *Improvement of powertrain mechatronic systems for lean automotive manufacturing*, Procedia CIRP, Volume 33, Pages 53-58, 2014.
- [COR 01] Cortellini E, Ioan Tofan I., *Repere în istoria teoriei riscurilor, Teoria riscurilor și aplicații*, Nr. 1, Editura Alexandru Myller, 2011
- [CZA 21] CZACHOR-JADACKA D., PILCH-PITERA B., *Progress in development of UV curable powder coatings*, Progress in Organic Coatings 158 (2021) 106355, 2021
- [DUM 14] DUMITRESCU H., GAUSEMEIER J., IWANEK P., SCHIERBAUM T., *Methodology for the identification of potentials for the integration of self-optimization in mechatronic systems*, Procedia Technology, Volume 15, Pages 17-26, 2014.
- [ENN 13] ENNOURI W., *Risks Management: New Literature Review*, Polish Journal Of Management Studies, Vol 8, 2013
- [FEC 14] FECHETE F., NEDELICU A., *Optimizing decisional process by applying the multi-criteria analysis*, Journal of Applied Mechanics and Materials, 657 926-930, 2014.
- [FIJ 10] FIJALKOWSKI, B. T. *Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues*, Vol. 1, Springer Science & Business Media, 2010
- [GAR 09] GARVEY P.R., *Analytical Methods for Risk Management: A Systems Engineering Perspective*. Taylor & Francis Group, USA, 2009, ISBN 97584886372
- [GHE 06] GHEORGHIU A., ORFESCU D., *Analiza riscurilor în activitatea întreprinderii si strategii de prevenire*. Bucuresti, Editura ASE, 2006
- [GUO 13] GUOFU Z., YUEGE Z, XUERONG X, BO H., *A method of multi-objective reliability tolerance design for electronic circuits*, Chinese Journal of Aeronautics, Volume 26, Issue 1, Pages 161-170, 2013.

- [HAU 14] HAUGHEY W., *PFMEA Mastery Program*, <http://www.reliatrain.com/training-services/pfmea/>, accesat în 2014
- [KAF 12] KAFKA P., *The Automotive Standard ISO 26262, the innovative driver for enhanced safety assessment & technology for motor cars*, *Procedia Engineering*, Volume 45, Pages 2-10, 2012.
- [LEV 13] LEVIN D. M. A., KALAL T.D., *Improving Product Reliability: Strategies and Implementation*, John Wiley & Sons, 2013
- [MAI 15] MAIER D., VADASTREANU A. M. , KEPPLER T., EIDENMULLER T., MAIER A., *Innovation as a part of an existing integrated management system*, *Procedia Economics and Finance*, Volume 26, Pages 1060-1067, 2015.
- [MUR 06] MURTHY D.N.P, BLISCHKE W. R., *Warranty Management and Product Manufacture*, Springer Science & Business Media, 2006
- [OPR 05] OPREAN, C., KIFOR, C., *Managementul integrat al calității*, Editura Universității „Lucian Blaga”, Sibiu, 2005.
- [OPR 06] OPREAN, C., VANU, A., *Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie. Managementul integrat al calității*. București, Editura AGIR, ISBN 973-720-044-6, 2006.
- [PAT 08] PATRICHE, C.F., *Cercetări privind managementul integrat calitate-risc în restructurarea tehnico-economică a societăților comerciale*, Brașov, Universitatea “Transilvania” din Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică, 2008.
- [PRI 90] PRICE, F., *The quality concepts and objectives*, In: D. Lock & D.J. Smith Eds., *Handbook of Quality Management*, Aldershot, Gower, 1990
- [PRP 02] PREDA , A-M., PREDA, A., *Aspecte privind costurile calității*, *Optimum Q*, Vol. XII, Nr.1-2, 2002.
- [REG 11] REGAZZONI D., RUSSO D., *TRIZ tools to enhance risk management*, *Procedia Engineering*, Volume 9, Pages 40-51, 2011
- [REL 04] Relf, C. G. , *Image Acquisition and Processing with LabVIEW*, CRC Press, 2004
- [ROT 09] ROTHER M, *Toyota Kata, Managing people for improvement, adaptiveness and superior results*, 1st Edition, McGraw-Hill, 2009.
- [RUH 16] Ruhi U., *An experiential learning pedagogical framework for enterprise systems education in business schools*. *The International Journal of Management Education*. 14 (2): 198–211. doi:10.1016/j.ijme.2016.04.006, 2016
- [RUN 15] Rungwasantisuka A., Raibhub S., *Spray coating process variable and property analysis of UV-curable polyurethane acrylate coating on polycarbonate substrate*, *Progress in Organic Coatings* 89 (2015) 132–142, 2015
- [SAL 15] SALAH B., JANEH O., BRUCKMANN T., NOCHE B., *Improving the Performance of a New Storage and Retrieval Machine Based on a Parallel Manipulator Using FMEA Analysis*, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 48, Issue 3, Pages 1658-1663, 2015.
- [SHO 09] SHOOK J., *Toyota’s Secret: The A3 Report*, 2009. Retrieved from <http://sloanreview.mit.edu/article/toyotas-secret-the-a3-report/>

- [SHR 15] SHROUTI C., FRANCIOSA P., CEGLAREK D., *Root Cause Analysis of Product Service Failure Using Computer Experimentation Technique*, Procedia CIRP, Volume 33, Pages 53-58, 2015.
- [STA 03] STAMATIS D.H., *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, ASQ Quality Press, 2003
- [TEE 15] TOIVONEN T., *Continuous innovation – combining Toyota Kata and TRIZ for sustained innovation*, Procedia Engineering, Volume 131, Pages 963-974, 2015.
- [VAD 11] VĂDUVA D., *Cercetări privind managementul integrat calitate-risc în procesul de achiziție a echipamentelor mecanice de transport din sistemul electroenergetic*, Teza doctorat, 2011
- [WHE 93] Wheeler, D.J., *Understanding Variation: The Key to Managing Chaos*, SPC Press, Indiana University, 1993
- [WHE 10] Wheeler, D.J., Chambers D.S., *Understanding Statistical Process Control*, SPC Press, Indiana University, 2010

REZUMAT

Analiza riscurilor ce pot apărea înainte de a lansa un produs în fabricație, ba chiar din fazele de prototipuri, a început destul de devreme în industria de automobile. Insa, inovația a avut un progres mult mai rapid decât actualizarea și dezvoltarea metodelor de analiză aplicabile acestei industrii. Mai mult, utilizarea microprocesoarelor în cele mai multe dintre componentele automobilului a adus provocări și mai mari: chiar dacă în 2011 standardul de analiză a riscurilor de siguranță funcțională a sistemelor electrice și/sau electronice care sunt instalate pe vehiculele rutiere de serie – ISO26262 – a fost implementat, iar organizațiile care elaborează standarde pentru principalii producători de automobile – AIAG și VDA – au publicat o actualizare a metodologiei de analiza modurilor de defectare și efectul acestora, care include și un modul pentru monitorizarea sistemului de răspuns, totuși, multe provocări și riscuri transversale prin combinația factorilor din diferite etape de proces (injecție mase plastice multi-component, gravare laser, vopsire cu polimerizare UV, producția de electronice etc.) rămân neacoperite și vor conduce la consumarea multor resurse.

Lucrarea își propune să analizeze aceste riscuri din etape individuale de proces, dar și cele transversale, să propună un model de răspuns rapid ușor pliabil pe tipologia organizației, dar și care- prin nivelul de maturitate – să poată estima cu acuratețe mai mare probabilitățile de apariție a modurilor de defectare, dar și probabilitățile de detectare pentru prevenirea livrării de componente neconforme la clienți. Multe metode aplicabile fiecărei etape de proces sunt detaliate pentru a veni în sprijinul furnizorilor de dispozitive mecatronice din industria automobilelor.

Nu în ultimul rând, cum mulți clienți - producători de echipamente originale, linii de montaj automobile - cer astăzi analize nu doar analize de moduri defectare, dar și verificarea proceselor că acele controale de prevenire moduri defectare sau detecția acestora sunt încă active și funcționează (AMDE inversat), iar procesele de fabricație sunt din ce în ce mai digitalizate și automatizate, un software modular este propus pentru suportul în aceasta analiză și pentru utilizarea datelor actualizate din aceste procese.

ABSTRACT

The analysis of risks that can arise before a product is launched into production, even from the prototype phase, started quite early in the automotive industry. However, innovation has progressed much faster than the updating and development of analysis methods applicable to this industry. Moreover, the use of microprocessors in most automotive components has brought even greater challenges: even though in 2011 the standard for functional safety risk analysis of electrical and/or electronic systems that are installed in production road vehicles - ISO26262 - was implemented, and the standards development organisations for the major car manufacturers - AIAG and VDA - published an update to the methodology for analysing failure modes and their effect, which also includes a module for monitoring the response system, however, many challenges and risks by combining factors from different process steps (multi-component plastic injection moulding, laser etching, UV curing painting, electronics production etc.) remain uncovered and will lead to many resources consumption.

The paper aims to analyse these risks in individual process steps, but also in cross-sectional ones, to propose a rapid response model that is easily adaptable to the typology of each organisation, but also - through its level of maturity - to estimate with higher accuracy the probabilities of occurrence of failure modes, but also the probabilities of detection to prevent the delivery of non-conforming components to customers. Many methods applicable to each process step are detailed to support automotive mechatronics suppliers.

Last but not least, as many customers - original equipment manufacturers, automotive assembly lines - are now demanding reverse FMEA analysis and manufacturing processes are becoming increasingly digitised and automated, modular software is proposed to support this analysis and to use up-to-date data from these processes.