



**MINISTERUL EDUCAȚIEI**  
**Universitatea POLITEHNICA din București**  
**Școala Doctorală de**  
**Inginerie Industrială și Robotică**

**Dina E. DIGA (BANTEA)**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Contribuții privind optimizarea procesului  
de rezolvare a problemelor în industria auto  
cu aplicare la panourile de ușă supuse  
testelor accelerate de durată de viață  
utilizând abordarea Six Sigma și 8D**

## **REZUMAT**

***Conducător științific,***  
**Prof.dr.ing. Irina SEVERIN (UPB)**

## Cuprins

Listă de abrevieri.....	5	4
Prefață.....	6	5
<i>Capitolul I. Încadrarea tezei de doctorat în domeniul tematic abordat</i> .....	7	13
1.1. Contextul cercetării .....	7	14
1.2. Obiectivele cercetării .....	7	14
1.3. Scopul Tezei de Doctorat .....	7	16
1.4. Structura Tezei de Doctorat .....	7	16
1.5. Conținutul sumar al capitolelor Tezei de Doctorat .....	8	17
<i>Capitolul II. Studiul literaturii de specialitate Six Sigma</i> .....	9	19
2.1. Revizuirea literaturii Six Sigma .....	9	20
2.1.1. Limitările Six Sigma .....	9	21
2.1.2. Beneficiile Six Sigma .....	9	23
2.2. Fundamente Six Sigma (studiu de caz).....	9	25
2.3. Concluzii și contribuții .....	10	27
<i>Capitolul III. Metodologia de cercetare Six Sigma în domeniul auto</i> .....	10	29
Metodologia Ingineriei Sistemelor .....	11	30
Metodologia Six Sigma .....	11	32
3.1. Certificările Six Sigma .....	11	32
3.2. Vocea clientului .....	11	33
3.3. Instrumente Six Sigma .....	11	33
3.4. Optimizarea calității versus loialitatea clienților .....	12	34
3.5. Derularea procesului Six Sigma .....	12	35
3.6. Niveluri Six Sigma .....	12	36
3.7. Studiu de caz .....	12	37
3.8. Concluzii și contribuții .....	13	38
<i>Capitolul IV. Cercetări privind rezolvarea problemelor utilizând metodologia Six sigma - 8D – DMAIC</i> .....	13	39
Metodologia de cercetare privind rezolvarea problemelor .....	14	41
4.1. Cadru general.....	14	41
4.2. Procesul de rezolvare a problemelor .....	14	43
4.3. Implementarea DMAIC .....	14	44
4.4. Asemănări între Six Sigma DMAIC - 8D - PDCA .....	15	46
4.5. Fluxul procesului de rezolvare a problemelor .....	15	47

4.6. Studiu de caz folosind SIPOC .....	15	50
4.7. Concluzii și contribuții .....	15	53
<i>Capitolul V. Testare accelerată a vieții - Metodologie de cercetare și implementare cu aplicare la panourile de ușă.....</i>	16	54
Cercetări privind metodologia de testare .....	16	55
Obiectivele testului accelerat de durată de viață a panoului ușii.....	17	58
Procedura experimentală.....	17	60
5.1. Standarde de testare .....	18	61
5.2. Echipamente și facilități .....	18	62
5.3. Implementarea procedurilor de testare .....	19	65
5.4. Concluzii și contribuții.....	19	67
<i>Capitolul VI. Evaluarea procesului de rezolvare a problemelor privind defectarea panoului ușii folosind abordarea 8D .....</i>	20	69
Studiu de caz 8D. ....	20	70
6.1. D0: Pregătire și acțiuni în situații de urgență .....	20	71
6.2. D1: Definirea echipei .....	21	73
6.3. D2: Descrierea problemei .....	21	74
6.4. D3: Elaborarea planului intermediar de izolare .....	23	77
6.5. D4: Determinarea cauzelor rădăcină .....	24	78
6.6. Concluzii și contribuții.....	26	81
<i>Capitolul VII. D5: Validarea cercetării pe baza rezultatelor testelor accelerate de viață .....</i>	27	82
Testul de durabilitate.....	27	83
7.1. Metoda de testare .....	27	84
7.2. Pregătirea experimentală .....	28	85
7.3. Raportul de testare .....	28	87
7.3.1. Măsurări de cuplu.....	28	87
7.3.2. Măsurări de decalaj și aliniere.....	31	92
7.3.3. Măsurarea sarcinii de închidere și deschidere .....	33	94
7.3.4. Concluzii .....	36	97
Test accelerat de mediu .....	37	98
7.4. Metoda de testare .....	37	98
7.5. Pregătirea experimentală .....	37	98
7.6. Raportul de testare .....	37	99
7.6.1. Măsurarea decalajului și alinierii ușii .....	37	99
7.6.2. Concluzii .....	39	100
Test accelerat de îmbătrânire termică.....	39	101

7.7. Metoda de testare .....	39	101
7.8. Pregătirea experimentală .....	40	101
7.8.1. Distribuția Weibull (ore versus temperatură).....	40	102
7.8.2. Distribuția Arrhenius (ore versus temperatură) .....	41	103
7.9. Raportul de testare .....	43	105
7.9.1. Măsurarea cuplului plăcii modulului.....	43	105
7.9.2. Concluzii .....	45	108
7.10. Concluzii și contribuții.....	45	108
<i>Capitolul VIII. Recunoașterea succesului echipei și documentarea rezultatelor</i> .....	46	109
Indicatori de performanță .....	46	110
8.1 D6: Validarea Rezultatelor .....	46	110
8.2 D7: Prevenirea recurenței și tehnici de analiză.....	48	111
8.3 D8: Măsurarea succesului echipei .....	50	113
8.4. Concluzii și contribuții.....	51	115
<i>Capitolul IX. Concluzii finale, principalele contribuții ale cercetării și obiective de continuare a cercetării</i>	51	116
Bibliografie .....	56	119

## Lista de abrevieri

N°.	Abbrev.	Significance	Semnificație
01	AET	Accelerated Environmental Testing	Testare accelerată de mediu
02	AHAT	Accelerated Heat Aging Testing	Testare accelerată de îmbătrânire
03	ALT	Accelerated Life Testing	Testare accelerată a vieții
04	CAD	Computer-aided Design	Proiectare asistată de calculator
05	CDF	Cumulative Distribution Function	Funcția de distribuție cumulativă
06	DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve, Control	Definiți, măsurați, analizați, îmbunătățiți, controlați
07	FMEA	Failure Modes and Effects Analysis	Analiza modurilor de defectare și a efectelor acestora
08	ICA	Interim Containment Action	Ațiuni intermediară de izolare
09	KLT	Key Life Test	Test cheie de (durată de) viață
10	KPI	Key Performance Indicators	Indicatori de performanță
11	LH	Left Hand	Ușa din partea stângă
12	LSL	Lower Specification Limit	Limita inferioară de specificații
13	MIS	Mileage in Service	Nr de km la care este necesară intervenție / verificare în service
14	PCA	Permanent Corrective Action	Ațiuni corectivă permanentă
15	PLC	Programme Logic Controller	Controler programabil
16	PPS	Practical Problem Solving	Rezolvarea practică a problemelor
17	RH	Right Hand	Ușa din partea dreaptă
18	SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers	Furnizori, intrări, proces, ieșiri, clienți
19	SPD	Standard Problem Definition	Definire standard a problemei
20	TIS	Time in Service	Timp in service
21	TQM	Total Quality Management	Managementul total al calității
22	USL	Upper Specification Limit	Limita superioară a specificațiilor
23	8D	8 Disciplines of problem solving	8 modalități de rezolvare a problemelor

## ***Prefață***

Teza de doctorat a fost elaborată în timpul experienței mele ca Lead Test Engineer într-un laborator de testare a componentelor și subsistemelor mecanice, în cadrul unei companii din domeniul auto, având responsabilitatea gestionării activităților de dezvoltare a proiectelor și testarea fizică a componentelor de pe caroseria vehiculului. Am acumulat o experiență valoroasă lucrând cu testarea fizică a diferitelor componente și subsisteme și mi-am consolidat abilitățile de management de proiect și am aprofundat cunoștințele mele privind procesele calității. Programul de doctorat a constat în pregătirea, prezentarea și susținerea examenelor și rapoartelor științifice, aprofundarea studiului, propunerea și dezvoltarea optimizării procesului de rezolvare a problemelor cu aplicare la panourile ușilor supuse testelor accelerate de viață folosind abordarea Six Sigma și 8D.

Cercetarea și dezvoltarea acestei teze își propune să abordeze problemele literaturii de specialitate Six Sigma și 8D în scopul identificării și analizei problemelor din domeniul auto, optimizarea procesului de rezolvare a problemelor prin elaborarea de diagrame de flux; urmărind să dezvolte un nou concept pentru testarea accelerată a durabilității cu aplicare pe panourile ușilor vehiculelor. Această lucrare de cercetare prezintă rezultatele a două aspecte luate în considerare.

O primă preocupare a lucrării este legată de necesitatea Six Sigma în organizații și de estimarea succesului și progresului companiilor de automobile ca urmare a implementării Six Sigma. Acest lucru se realizează prin efectuarea unei analize detaliate a aplicabilității Six Sigma în inginerie industrială de-a lungul timpului și a opiniilor diferiților autori asupra beneficiilor și criticilor implementării metodologiei. Rezultatele obținute prin analiza cărților de specialitate, lucrărilor științifice și articolelor publicate, indică faptul că abordarea a fost implementată în mare măsură în domeniile industriale și se numără printre metodele inovative de mare succes. Cel de-al doilea aspect prezentat în lucrare este legat de dezvoltarea unei noi viziuni în detectarea, analizarea și rezolvarea problemelor care apar în timpul procesului de dezvoltare și fabricație în domeniul auto utilizând metodologia teoretică Six Sigma și 8D. Rezultatele cercetărilor au fost publicate în Buletinul științific UPB, Conferința AHFE 2021 și Jurnalul MDPI Sustainability 2021.

Lucrarea se concentrează pe factorii de succes care contribuie la procesul de rezolvare a problemelor și urmează pașii 8D în dezvoltarea unei evaluări robuste a problemei identificate privind funcționarea defectuoasă a mânerelor ușilor la temperatură scăzută și evaluarea sistemului ușilor laterale prin efectuarea a trei teste de accelerare a duratei de viață. Întregul proces de testare și metodologia aferentă sunt prezentate în lucrare sub forma unui studiu de caz, tratat prin metodologia 8D. Analiza datelor obținute în urma testelor ALT - KLT, AET și AHAT au rolul de a investiga cauza principală a problemelor apărute, componentele ușii fiind supuse la temperaturi extrem de ridicate și scăzute. Datele sunt prezentate sub formă tabelară și grafică folosind software-ul Minitab Statistical și instrumentele Six Sigma. Toate fluxurile de proces sunt dezvoltate cu ajutorul Axure RP 10. Rezultatele cercetărilor referitoare la procedurile de testare au fost publicate în a 36-a Conferință IBIMA și IBIMA JIBBP 2021.

Aș dori să-mi exprim recunoștință față de conducătorul științific, Prof.dr.ing. Irina Severin care mi-a oferit tot sprijinul necesar cu bunăvoință și înțelegere și a adus o contribuție valoroasă la dezvoltarea mea profesională.

Concluziile cercetării mele referitoare la metodologiile de testare implementate au fost diseminate în cadrul proiectului BeAntreprenor! și aș dori să adresez mulțumiri Prof. Mihaela Ulmeanu pentru sprijinul acordat pe parcursul derulării proiectului.

Mulțumesc familiei mele pentru încurajarea și sprijinul moral acordat în timpul studiilor doctorale, precum și prietenilor mei care m-au susținut în această perioadă.

## **Capitolul I. Încadrarea tezei de doctorat în domeniul tematic abordat**

### **1.1. Contextul cercetării**

Nevoia de tehnologie și calitate la cel mai înalt nivel a devenit indispensabilă. Suntem într-o continuă mișcare în ceea ce privește evoluția și fiecare mișcare necesită analiză aprofundată. Industria auto a devenit una dintre cele mai apreciate industrii din lume, cerințele fiind deosebit de diverse și eterogene. Clienții au așteptări foarte mari, începând de la tehnologie, estetică, digitalizare și bineînțeles calitate la cel mai bun preț. Pentru a satisface nevoile clienților, în fiecare etapă a proiectului ingineriei asigură transparență și încredere în munca bine făcută de-a lungul acestuia. Lucrarea își propune să arate o abordare Six Sigma clară și transparentă și utilitatea acesteia în detectarea și rezolvarea problemelor ingineresti. Managementul operațional și optimizarea proceselor au ca scop eficientizarea metodelor de lucru și calitate, îmbunătățirea proceselor și componentelor industriale, siguranța operațională și a producției, satisfacția angajaților și clienților companiei. Scopul cercetării este de a examina conceptele și tehnicile de utilizare a cunoștințelor în procesul de implementare Six Sigma, precum și modul în care conceptele de management al cunoștințelor ar putea fi integrate într-un cadru Six Sigma pentru implementarea unui proiect în procesul de dezvoltare și fabricație a produselor din industria auto.

### **1.2. Obiectivele cercetării**

Obiectivul general al tezei este de a prezenta o nouă abordare în ceea ce privește utilizarea Six Sigma și 8D în rezolvarea problemelor care apar pe parcursul procesului, în domeniul auto. Teza își propune să abordeze următoarele aspecte: trecerea în revistă a literaturii de specialitate și stadiul actual al cercetării privind Six Sigma în domeniul auto; abordarea Six Sigma și 8D și procesul de rezolvare a problemelor abordate în inginerie; implementarea abordării 8D pentru evaluarea problemelor apărute la sistemele de uși laterale; prezentarea metodelor de testare a ușilor și analiza rezultatelor; validarea rezultatelor și propuneri de îmbunătățire și optimizare a proceselor.

### **1.3. Scopul Tezei de Doctorat**

Teza de doctorat își propune să dezvolte un studiu original, cu aplicabilitate în studii și cercetări privind detectarea defectelor în urma testării accelerate de viață a componentelor pe sistemele de uși. Studiul de cercetare urmărește metodologia celor opt căi de rezolvare a problemelor, începând cu identificarea problemei: „Ușa șoferului funcționează defectuos în condiții de temperatură scăzută sau mediu înghețat - încuietorea ușii nu funcționează la temperaturi scăzute” și urmând întregul proces de definire, analiză și validare. Studiul se bazează pe o serie de instrumente precum ciclul Deming, diagrama Pareto, diagrama Ishikawa și analiza FMEA. De asemenea, utilizează o serie de diagrame flux pentru a defini procesele și metodologiile de testare pentru identificarea cauzelor rădăcină.

### **1.4. Structura Tezei de Doctorat**

Teza este împărțită în nouă capitole, care includ o introducere în teză, o trecere în revistă a literaturii de specialitate Six Sigma și a implementării acesteia în domeniul auto, prezentarea metodologiei Six Sigma, sinteza literaturii de bază privind cercetarea, sintezele rezultatelor testelor accelerate de viață ale studiilor de caz, interpretarea rezultatelor și validarea acestora și, în concluzie, sunt discutate implicațiile, limitările și etapele de cercetare viitoare.



## 1.5. Conținutul sumar al capitolelor Tezei de Doctorat

**Capitolul I** al tezei începe cu introducerea în lucrarea de cercetare și prezentarea problemei în studiu, scopul cercetării, bazele teoretice, importanța studiului, metodologia cercetării și ipotezele privind cercetarea de față, concluzii și limitări.

**Capitolul II** include o trecere în revistă a literaturii de specialitate Six Sigma și o evaluare a opiniilor cercetătorilor și practicienilor. Viziunea desprinsă din literatură despre Six Sigma deschide noi provocări pentru impactul acesteia. Sunt enumerate o serie de critici și beneficii, desprinse din publicații, care justifică oportunitatea revizuirii metodologiei.

**Capitolul III** detaliază metodologia de prezentare Six Sigma, rolurile, procesele și nivelele care certifică performanța în utilizare. Vocea clientului are un rol esențial, alături de instrumentele folosite în atingerea nivelului de satisfacție. Capitolul prezintă metodologia privind cerințele de sistem, axată pe practicile ingineresti, care are rolul de a implementa procesul.

**Capitolul IV** prezintă procesul de rezolvare a problemelor și cercetarea implicată în furnizarea de posibile soluții. Metodologia de cercetare și analiza factorilor de eșec, instrumentele calității, procesul SIPOC, DMAIC și diagrama flux de proces pentru rezolvarea problemelor. Sunt prezentate asemănări între instrumentele esențiale pentru gestionarea și urmărirea problemei.

**Capitolul V** prezintă metodologia de dezvoltare și implementare a testelor accelerate de viață precum durabilitatea KLT, AET, AHAT. Metodologia de testare prezintă condițiile de testare ALT, efectele mediului și fiabilitatea, obiectivele ALT privind sistemele de uși, procedura experimentală și procedura de lucru conform standardelor, echipamentele și facilitățile alocate pentru testare și măsurare și tipurile de măsurări aferente testelor.

**Capitolul VI** prezintă abordarea 8D în validarea studiului privind problema „Ușa șoferului funcționează defectuos în condiții de temperatură scăzută sau mediu înghețat - încuietoria ușii nu funcționează la temperaturi scăzute”. Studiul de caz urmează pașii 8D în definirea problemei, analiza cauzei principale și validarea posibilei soluții. Acțiunile întreprinse în acest capitol au rolul de a prezenta date esențiale care au condus la degradarea funcționalității ușii vehiculului. Studiul include practici de analiză și instrumente specifice calității precum PDCA, SPD, Ishikawa, Pareto și reprezentarea grafică a rezultatelor.

**Capitolul VII** validează rezultatele testelor menționate în capitolele precedente. Metodologia de testare prezintă metoda de implementare a fiecărui test conform procedurii de lucru. În urma fiecărei încercări sunt prezentate o serie de măsurări și interpretarea acestora. KLT prezintă configurarea experimentală și măsurări ale balamalei (hinge) și a brațului de fixare a ușii, cuplul încuietorii ușii și a balamalei (striker), decalajul (gap) și alinierea (flush) nivelului ușii, deschiderea ușii, încuietorii ușii și balamaua (striker) – sarcina aplicată la închidere și deschidere. AET prezintă configurația experimentală și măsurările decalajelor (gaps) interioare ale panoului ușii. AHAT prezintă configurația experimentală, distribuția Weibull și legea Arrhenius. Măsurările decalajului plăcii modulului (module plate) pot fi regăsite în partea de analiză.

**Capitolul VIII** prezintă rezultatele obținute și reprezentate prin indicatori de performanță, validarea rezultatelor calitative și cantitative în planul calității produsului, prevenirea și analiza defectelor folosind analiza FMEA. Capitolul se încheie cu recunoașterea rezultatelor echipei pe baza nivelului de productivitate.

**Capitolul IX** cuprinde contribuțiile și concluziile finale privind studiul de caz cercetat în lucrare. Contribuțiile lucrării sunt: prezentarea Six Sigma printr-un studiu de identificare a evenimentelor relevante pentru evoluția conceptelor, sinteza limitărilor și beneficiilor care au contribuit de-a lungul anilor prin dezvoltare și îmbunătățire continuă; noua abordare de prezentare a metodei de analiză 8D în rezolvarea problemelor prin elaborarea de diagrame de flux și optimizarea procesului; o nouă abordare a dezvoltării și cercetării metodelor de testare accelerată de viață a panoului ușii; implementarea testărilor și interpretarea rezultatelor folosind software-ul de reprezentare grafică Minitab Six Sigma.



## **Capitolul II. Studiul literaturii de specialitate Six Sigma**

În acest capitol este prezentată trecerea în revistă a literaturii de specialitate, care acoperă o perioadă de treizeci de ani (1991-2021) descriind viziuni, surse și evoluții. Acesta își propune să sintetizeze literatura esențială, cu accent pe implementarea Six Sigma în companiile auto. Subiectul Six Sigma este de notorietate și nu mulți critici, de-a lungul timpului au avut doar cuvinte de laudă. Cu toate acestea, numărul foarte mare de articole publicate pe acest subiect și reinterpretarea lor, certifică încă o dată relevanța acestuia.

### **2.1. Revizuirea literaturii de specialitate**

Six-sigma este o metodologie de implementare a tehnicilor statistice, bazată pe obiectivul organizațiilor de a preveni neconformitatea și de a contribui la îmbunătățirea performanței prin utilizarea tehnicilor promovate de cercetători și analiști. Din bazele de date cu bibliografia de specialitate, au fost extrase contribuții relevante, cele mai multe fiind documentate în articole de specialitate [M01] și prin atenția considerabilă primită în timp, în presa publică. Autorii literaturii Six Sigma cred cu tărie că criticile vor ajuta cercetătorii și practicienii să înțeleagă unele rezerve esențiale în implementarea Six Sigma ca strategie de îmbunătățire a afacerii [M19]. În 2010, Wall Street Journal a raportat că 60% dintre proiectele Six Sigma au eșuat [S07]. Multe instituții de învățământ superior nu au adoptat Six Sigma din considerentul accesului limitat la informații și baze de date, a limitărilor privind contribuția și beneficiile metodologiei și lipsa aderenței culturale la noutate și inovație.

#### **2.1.1. Limitările Six Sigma**

Abordarea Six Sigma în diverse industrii, a fost cercetată de diferite studii de specialitate. Există informații mai puțin cunoscute că Six Sigma poate fi folosită ca o abordare a schimbării strategice și poate fi aplicată în alte domenii industriale [R08]. O trecere în revistă a stării actuale a cercetării în literatura Six Sigma asociată lucrării prezintă un număr de zece critici identificate în lucrările științifice de specialitate. Orice critică adusă subiectului de față, face o sesizare a necesității de îmbunătățire și optimizare în abordarea six-sigma.

#### **2.1.2. Beneficiile Six Sigma**

Prin implementarea conceptului de calitate, multe companii au reușit să obțină rezultate financiare pozitive și există interesul de a se concentra asupra modului de eficientizare a strategiei companiei [C03]. Schimbările culturale necesită timp și angajament înainte de a putea fi stabilite ferm în organizație [Y01]. Procesul Six Sigma se extinde în corporații din întreaga lume, cu rezultate substanțiale și economii masive. Six Sigma are atât susținători, cât și critici; unii susțin că nu este nimic inovator, iar alții concluzionează că este revoluționar [A03]. Punctul de vedere organizațional este de a sprijini Six Sigma ca metodologie în TQM, reprezentând un amestec de instrumente anterioare și actuale, făcând referire la faptul că instrumentele Six Sigma sunt similare și legate strategic în raport cu utilizarea curentă a acestor instrumente [A06].

### **2.2. Fundamente Six Sigma (studiu de caz)**

Abordarea orientată către echipa tehnică și către tehnicile Six Sigma s-au dovedit a fi esențiale în optimizarea și îmbunătățirea profitabilității companiilor de automobile din întreaga lume. Informațiile obținute prin trecerea în revistă intensivă a literaturii de specialitate sunt folosite ca bază pentru enunțarea premiselor esențiale ale cercetării. Atâta timp cât abordarea six-sigma este cunoscută,

nivelul de performanță Six Sigma poate fi implementat în domeniul industrial. Evoluția Six Sigma este prezentată pe scurt din anii 1911, în timpul revoluției industriale, tehnologice, socio-economice și culturale – până în zilele noastre, când în 1995 J. Welsh a aplicat metodele Six Sigma.

### 2.3. Concluzii și contribuții

Următoarele puncte cheie pot fi concluzionate din analiza literaturii de specialitate:

- Literatura de specialitate citează Six Sigma ca o îmbunătățire sistematică a proceselor organizaționale;
- Selecția tehnicilor și instrumentelor este foarte importantă în fiecare etapă a proiectului pentru a asigura succesul aplicării Six Sigma;
- Cei mai importanți factori în organizarea procesului auto sunt: angajamentul managementului de a gestiona livrabilele și indicatorii de performanță, concentrarea pe satisfacția clienților, selectarea și prioritizarea activităților în funcție de așteptările și cerințele clienților, schimbarea culturii organizaționale și a politicilor instituționale;
- Criticile aduse tehnicilor Six Sigma au avut un impact benefic asupra îmbunătățirii continue și au crescut conștientizarea asupra unor puncte ce trebuie revizuite;
- Indicatorii cheie de performanță Six Sigma în organizații aduc un beneficiu financiar prin reducerea variabilității, timpul până la livrare, calitatea producției și satisfacția clienților;
- Tehnicile Six Sigma în timpul implementării, prin colectarea datelor în domeniul industrial analizat, acuratețea și completitudinea datelor pot preveni probleme majore care apar pe parcursul acestui ciclu.

Contribuțiile originale ale acestui capitol pot fi enumerate, după cum urmează:

- a) **Contribuția teoretică:** Revizuirea literaturii de specialitate oferă o privire de ansamblu asupra tehnicilor Six Sigma în Inginerie Industrială, beneficii și limitări.
- b) **Contribuția metodologică:** Descoperirile pot oferi linii directe pentru alte cercetări viitoare privind metodologia Six Sigma. Studiile, lucrările științifice și articolele de specialitate oferă informații valoroase care pot contribui la studii viitoare.
- c) **Contribuția empirică:** Analiza evoluției în timp bazată pe dovezi și bune practici în domeniul industrial și educațional.
- d) **Contribuția privind colectarea datelor:** Evaluarea surselor pe baza lucrărilor de cercetare și studiilor de caz.

## **Capitolul III. Metodologia de cercetare Six Sigma în domeniul auto**

Studiul de cercetare oferă o prezentare elaborată a practicilor și proceselor de rezolvare a problemelor din domeniul auto, compania producând componente din material plastic pentru subansambluri și ansambluri ale ușilor vehiculelor. Aceste tehnici sunt implementate ca bază a unui program robust în analiza inginerescă a sistemelor de uși și evitarea modului de defecțiune. Lucrarea prezintă principiile celor două perspective teoretice majore ale problemelor și a rezolvării acestora, și anume tehnica metodologică axată pe excelența proceselor operaționale și abordarea robustă în analiza sistemică inginerescă.

## Metodologia Ingineriei Sistemelor

Scopul ingineriei sistemelor este de a combina elementele de interacțiune pentru atingerea obiectivelor propuse în cadrul echipei, respectiv în companie. Produsele și procesele se declară ca sisteme care furnizează rezultate conform prevederilor standardizate (ISO 15288:2015) [\*\*\*09]. Ingineria sistemelor este o abordare interdisciplinară a aspectelor privind tipul de afacere și tehnicile utilizate în proiectarea și producerea de produse complexe de succes [D03]. Se definește sistemul pornind de la nevoile clienților și funcționalitatea necesară la începutul ciclului de dezvoltare. Se creează o metodologie structurată care trece de la concept la producție, la operare și întreținere, susținută de o documentație complet trasabilă. Cerințele funcționale se definesc ca funcții ale sistemului, explicitând ce trebuie făcut, nu cum sau cât de bine este făcut. Acestea includ de obicei funcțiile interne și cerințele de intrare/ieșire cu interfața de sistem.

## Metodologia Six Sigma

Ideea de inovație este abordată de un număr mare de companii care se concentrează pe îmbunătățirea proceselor interne ținând cont de procesele utilizate în trecut, pe creșterea valorii afacerii, plus beneficiul de a-și vedea clienții extrem de mulțumiți de produsele pe care le pot oferi. Six Sigma este o abordare relativ binecunoscută pentru obținerea de rezultate excelente, de înaltă performanță, care poate ajuta companiile să descopere noi oportunități de inovare dincolo de operațiuni simple, să obțină o productivitate ridicată, performanță financiară solidă și o inovație inerentă [A07, R09].

### 3.1. Certificările Six Sigma

Six Sigma are un istoric bine stabilit și dovedit de-a lungul timpului. De la primele utilizări, practicienii certificărilor Six Sigma, au aplicat instrumente și tehnici statistice pentru a aduce îmbunătățiri durabile în produsele și procesele companiei. Activarea și susținerea implementării Six Sigma este confirmată prin recunoașteri intitulate „Centuri”, care au rolul de a facilita activitățile de rezolvare a problemelor în mod structurat și sistematic.

### 3.2. Vocea Clientului

„Vocea clientului” necesită o atenție deosebită, în ceea ce privește procesul și răspunsul la cerințele acestuia. Ca răspuns la nevoile clientului, Six Sigma facilitează parcurgerea întregului proces pentru a recunoaște și rezolva problemele care apar pe toată durata de viață a produsului și pentru a oferi o garanție a calității produsului. Vocea clientului reprezintă limitele specificațiilor clientului, acestea fiind diferite de limitele de control, care sunt calculate conform diagramei de control [A01].

### 3.3. Instrumente Six Sigma

Setul de instrumente utilizat în managementul de proiect include o serie de instrumente de proiectare, tehnici statistici, abordare flexibilă (Lean), instrumente pentru identificarea și evaluarea cerințelor clienților, instrumente de control și management al calității. Toate aceste instrumente au rolul de a sprijini proiectul în fiecare etapă de dezvoltare [F02]. Procesul proiectului include pași și activități care trebuie urmate în cadrul companiei sau la furnizori externi, ambele fiind conduse secvențial pentru a obține rezultate.

### 3.4. Optimizarea calității versus loialitatea clienților

Modalitățile de creștere a loialității clienților se bazează pe faptul că serviciul clienți este o prioritate, în acest fel compania demonstrând aprecierea sa pentru clienții. Cea mai bună modalitate de a-i determina pe clienți să revină este răsplata pentru loialitatea lor, oferindu-le tot sprijinul și

răspunsurile la nevoile lor. Concentrarea pe feedback-ul de la clienți cu privire la utilizarea produsului poate face procesul mai ușor de înțeles. Având în vedere eficiența procesului, fidelizarea clienților este esențială pentru o afacere stabilă.

### 3.5. Derularea procesului Six Sigma

Caracteristicile proiectelor și proceselor pot fi analizate, măsurate, optimizate și gestionate. Întreaga organizație trebuie să fie implicată în optimizarea și îmbunătățirea calității, în special echipa managerială - leadership [J12]. Six Sigma presupune îmbunătățirea continuă a practicilor și tehnicilor ingineresti. Abordarea este de a simplifica procesele organizației, axându-se pe predictibilitatea controlului performanței și gestionarea proceselor simple folosind metode standard. Îmbunătățirea optimă Six Sigma și îmbunătățirea treptată au o legătură foarte strânsă, diferența fiind în timpii alocați procesului care se reflectă în durată (ani) și nivel / cotă de îmbunătățire.

### 3.6. Niveluri Six Sigma

Six Sigma își propune să eficientizeze efortul de îmbunătățire și, în același timp, să fie eficient la toate nivelurile. Pentru ca nivelul de satisfacție Six Sigma să fie atins, procesul nu trebuie să depășească indicele de 3,4 defecte per milion de oportunități [T02]. Limitele specificațiilor trebuie să prezinte cu exactitate adevărata cerință a clientului [A01, B05]. Nivelul de performanță înregistrată în companii este de 2 sau 3 la nivel de scală, ceea ce înseamnă între 66807 și 308538 nemulțumiri sau reclamații ale clienților raportate la un milion de achiziții [T02, A03].

### 3.7. Studiu de caz

Nivelul Six Sigma al procesului sau al produsului poate fi calculat folosind ecuația de mai jos:

$$\left( \frac{\# \text{ oportunități} - \# \text{ defecte}}{\# \text{ oportunități}} \right) \times 100 = \text{Precizia} \quad (1)$$

Departamentul Calitate primește lunar reclamații de la clienți. Se estimează că 150 de reclamații au fost primite într-o lună privind sistemele laterale ale ușilor. Unul dintre subiecte reprezintă o problemă cu încuietoarea ușii care nu funcționează la temperatură scăzută. Problema a fost semnalată de 5 clienți. Echipa Calitate estimează că 100 de vehicule ar putea avea probleme. Procesul de blocare a ușii are 150 de oportunități pentru o problemă în fiecare lună și aproximativ 200 de defecte.

$$\left( \frac{150 - 100}{150} \right) \times 100 = \text{Precizia de } 33.3\% \quad (2)$$

DPMO poate fi calculat folosind ecuația de mai jos:

$$DPMO = \frac{D}{N \times O} \times 10^6 \quad (3)$$

$$DPMO = \frac{150}{100 \times 5} \times 10^6 = 300\,000 \text{ DPMO} \quad (4)$$

### 3.8. Concluzii și contribuții

Următoarele puncte cheie pot fi concluzionate din analiza literaturii de specialitate:

- Metodologia de cercetare prezentată în acest capitol își propune să evidențieze necesitatea documentării și combinării proceselor în interacțiune într-un sistem în cadrul echipei și, în același timp, adoptarea Six Sigma pentru ca organizația să răspundă așteptărilor clienților săi;
- Metodologia Six Sigma reamintește rolurile, nivelurile și procesele care au contribuit și continuă să contribuie la îmbunătățirea continuă a produselor, serviciilor și proceselor din industria auto;
- Informațiile obținute prin revizuirea intensivă a literaturii sunt folosite ca bază pentru enunțarea specificațiilor esențiale ale cercetării, în ceea ce privește tehnicile Centura Galbenă, Centura Verde și Centura Neagră; concepte documentate de Juran, Taguchi, Deming și Shewhart.

Contribuțiile originale ale acestui capitol pot fi enumerate, după cum urmează:

- a) **Contribuția teoretică:** Constatările metodologiei Ingineriei Sistemelor și metodologiei Six Sigma se bazează pe experiența acumulată în industria auto, în companii din țară și din străinătate.
- b) **Contribuția metodologică:** Constatările efectuate pot contribui la cercetările viitoare privind metodologia Six Sigma. Studiile, lucrările științifice și articolele de specialitate oferă informații valoroase care pot fi utilizate pentru studiile viitoare.
- c) **Contribuția empirică:** Calculul Defecte pe milion de oportunități (DPMO) și reprezentarea grafică a capacității Six Sigma.
- d) **Contribuția privind colectarea datelor:** Evaluarea critică a surselor pe baza lucrărilor de cercetare și studiilor de caz.

Constatările cercetării au fost publicate în:

- Dina Diga și Irina Severin., "Bonnet cable defect analysis using Six Sigma DMAIC techniques", UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering 43(2):203-214, ISSN 1454-2358, 2021.

## **Capitolul IV. Cercetări privind rezolvarea problemelor utilizând metodologia Six sigma - 8D - DMAIC**

În această lucrare au fost analizate doar cele mai relevante instrumente care asigură efectivitatea operațiunilor și managementul performanței și ajută compania să păstreze controlul asupra proceselor și să le îmbunătățească continuu. Instrumentele de evaluare și control aplicate sunt abordarea Six Sigma, DMAIC și 8D, efectele cauzei rădăcină principale, 5 De ce, analiza de rezolvare a problemelor, sistemele de măsurare [L01, M16], etc. Instrumentele sunt indicate în conceptele TQM și Lean Manufacturing, modelele de excelență, diferite metode de testare, standardele ISO și proceduri de lucru aferente [\*\*\*08], etc. În planificare, cele mai frecvente instrumente și tehnici întâlnite sunt Implementarea funcției de calitate (QFD), Matricea părților interesate, Diagrama de afinitate, Brainstorming, Benchmarking, Arborele de decizie etc. Soluțiile implementate vor fi reanalizate pentru a valida îmbunătățirea procesului.

## Metodologia de cercetare privind rezolvarea problemelor

Studiile validează aceste afirmații prin localizarea Six Sigma în literatură datorită modelelor și strategiei competitive. Succesul proiectelor este validat de funcționarea și eficiența echipelor. Abilitățile de rezolvare a problemelor organizate eficient și practicile au avantajul competitiv de a participa la strategia companiei și integrarea acestora ca sursă potențială în optimizare [J06]. Metodologiile reprezintă cele mai înalte niveluri în ceea ce privește gândirea și proiectarea metodelor de rezolvare a problemelor. În acest studiu de cercetare, metodologia a abordat un set de tehnici și principii în rezolvarea problemelor existente pe baza unei filozofii metodologice care se concentrează pe rezultate și atingerea obiectivelor propuse.

### 4.1. Cadru general

Tehnicile de rezolvare a problemelor sunt cele mai importante abordări procesuale din industria auto, atât în proiectare, cât și pe piețele de producție și vânzări. Gestionarea problemelor apărute pe parcursul întregului ciclu de implementare, asigură simplificarea și identificarea principalelor cauze și furnizarea de rezultate constante și intermediare la neconformitățile recurente, prin minimizarea timpului nefuncțional al procesului și de pierdere a productivității. Managementul soluționării problemelor poate elimina reducerea neconformităților. Prezenta lucrare explică modul în care instrumentele și tehnicile Six Sigma și DMAIC pot fi utilizate eficient pentru a implementa un management activ de rezolvare a problemelor, cu beneficii majore, eficiență, îmbunătățit continuu, în toate domeniile de afaceri.

### 4.2. Procesul de rezolvare a problemelor

Rezolvarea problemelor s-a concentrat pe proiectare folosind o analogie între abordarea 8D și tehnica Six Sigma, împreună cu testele cheie ale procedurii de lucru. Etapele de rezolvare a problemelor Six Sigma și 8D au fost abordate detaliat, împreună cu livrabilele pentru fiecare etapă, cerințele procesului prin definirea problemelor, înțelegerea situației actuale, detectarea cauzei principale, implementarea îmbunătățirii, prevenirea recurenței problemelor, precum și setul de instrumente care oferă îndrumări în utilizarea instrumentelor legate de fiecare etapă de rezolvare a problemelor.

### 4.3. Implementarea DMAIC

Cercetarea în abordarea Six Sigma DMAIC (Definiție, Măsurare, Analiză, Îmbunătățire și Control) utilizează principii de management și optimizare a calității în fiecare etapă a problemei urmând ca astfel procesul în ansamblu să funcționeze eficient [A05]. Proiecte pentru îmbunătățirea procesului -  $Y=f(x)$  Cascade: proiectele Six-Sigma DMAIC sunt adesea menite să ofere îmbunătățiri ale procesului, mai degrabă decât un răspuns la probleme specifice raportate sau „stări de eroare”; în cazul în care identificarea proiectului pentru îmbunătățirea procesului este întreprinsă, funcția / cascada  $Y=f(x)$  este un instrument important pentru definirea domeniului proiectului; un concept fundamental al metodologiei Six-Sigma:

- “Y” este o funcție a “X”
- adică., Ieșirea este o funcție de intrare... o funcție de transfer.  
 $Y = f(X_1, X_2, X_3 \dots X_n)$

Abordarea în cascadă  $Y=f(x)$  ajută la definirea proiectelor pentru a aduce valoare afacerii, aliniate cu obiectivele propuse și disponibile pentru echipa de proiect [\*\*\*07].



#### 4.4. Asemănări între Six Sigma DMAIC - 8D - PDCA

Asemănările între Six Sigma DMAIC - 8D - PDCA s-au evidențiat prin prisma rezultatelor comune și trasabilitatea informațiilor. Strategia abordată de DMAIC facilitează cadrul necesar pentru îmbunătățirea procesului [B05]. Abordarea 8D este des utilizată în industria auto, ca proces complet structurat de rezolvare a problemelor, utilizat în identificarea, corectarea și eliminarea problemelor.

#### 4.5. Fluxul procesului de rezolvare a problemelor

**Rezultatele fluxului de proces sunt:** înțelegerea critică a atributelor unui proces bine structurat pentru rezolvarea problemelor în domeniul auto (DMAIC și 8D); utilizarea adecvată a instrumentelor de calitate în implementarea proceselor de îmbunătățire și rezolvare a problemelor tehnice; selectarea proiectelor ce necesită îmbunătățire și etapizarea etapelor de rezolvare a problemelor; capacitatea procesului de a se reinventa în urma deciziilor luate privind optimizarea modului de lucru; analiza și evaluarea procesului existent, eficientizarea echipei și măsurarea rezultatelor [J07]; succesul fiecărui proiect este susținut de implicarea managementului în organizație prin alocarea de resurse și evaluarea indicatorilor de performanță [R02].

#### 4.6. Studiu de caz folosind SIPOC

**Rezultatele procesului SIPOC sunt:** stabilirea echipelor și escaladarea subiectelor în discuție; utilizarea unei metodologii robuste de rezolvare a problemelor; sincronizarea etapelor în atingerea țintei de <95 de zile conform 8D; comunicarea eficientă a acțiunilor; determinarea cauzei principale utilizând abordarea SPD sau 8D și comunicarea rezultatelor tuturor părților implicate.

#### 4.7. Concluzii și contribuții

Următoarele puncte cheie pot fi concluzionate în urma capitalului de rezolvare a problemelor:

- Proiectele Six Sigma se bazează pe o abordare de îmbunătățire continuă și necesită sprijinul conducerii organizației pentru a avea succes. Limitarea accesului la informații și resurse va duce la rezultate inadecvate. Astfel de situații neplăcute pot fi prevenite doar dacă managementul de vârf a organizației conduce procesul de definire a proceselor și monitorizează proiectul la intervale regulate;
- Lucrarea prezintă instrumente ale procesului de rezolvare a problemelor, precum Six Sigma DMAIC și 8D, ce vizează analiza detaliată a problemelor existente, urmând o serie de pași în succesiune logică pentru definirea, analiza, măsurarea și rezolvarea acestora prin implementarea unui cadru eficient pentru a preveni reparația și a elimina neconformitățile;
- Fluxul procesului privind rezolvarea problemelor urmărește setul de tehnici Six Sigma – DMAIC, prin alocarea de timp standardizați și repartizarea responsabilităților pe echipă, în același timp folosește instrumente de calitate și delimitează fluxul activităților alocate;
- Analiza SIPOC a fost utilizată pentru a identifica factori relevanți în reanalizarea unui proiect, în scopul îmbunătățirii și optimizării procesului.

Contribuțiile originale ale acestui capitol pot fi enumerate în următoarele categorii:

- a) **Contribuția teoretică:** Utilizarea tehnicilor și instrumentelor de calitate pentru rezolvarea problemelor din industria auto.



- b) **Contribuția metodologică:** Dezvoltarea unui flux de proces folosind metodologiile Six Sigma-DMAIC și 8D. Studiile, lucrările științifice și articolele de specialitate oferă informații esențiale care vor fi de ajutor în elaborarea studiilor viitoare.
- c) **Contribuția empirică:** Implementarea procesului SIPOC pe baza experienței practice dobândite în funcția de lider calitate în departamentul Vehicul dintr-o companie auto.
- d) **Contribuția privind colectarea datelor:** Evaluarea bazelor de date și studiilor de caz ; utilizarea software-ului Axure RP 10 a fost necesară în dezvoltarea tuturor proceselor flux din Teza de Doctorat.

Constatările cercetării au fost publicate în:

- Dina Diga și Irina Severin., "Key Life Test Process Optimization Using Six-Sigma Approach", Journal of Innovation & Business Best Practice, Vol. 2021, Article ID 536861, DOI: 10.5171/2021.536861

## **Capitolul V. Testare accelerată a vieții - Metodologie de cercetare și dezvoltare cu aplicare la panourile de ușă**

Metodologia de cercetare prezintă metode de testare și viziuni ale analiștilor și autorilor cu privire la efectuarea testelor accelerate de durată de viață și rezultatele acestora, precum și caracteristici importante în desfășurarea activităților de metrologie și optimizare. Prin stabilirea unor reglementări privind testarea și timpul de testare alocat componentelor critice, proiectul poate fi menținut în traiectorie. Investigațiile au fost efectuate pe baza a 33 de articole științifice privind testarea duratei de viață a diferitelor produse din diferite ramuri industriale. Studiul își propune să analizeze rezultatele metodelor de testare accelerată a duratei de viață, pentru a îmbunătăți continuu și durabil satisfacția clienților.

### **Cercetări privind metodologia de testare**

Tehnologia este în continuă dezvoltare și optimizarea proceselor a devenit o cerință esențială în organizații. Nevoia consumatorilor rămâne aceeași, de a avea produse extrem de fiabile și de calitate, punând presiune pe producătorii de automobile să livreze vehicule de mai bună calitate. Această lucrare prezintă metode și tehnici de testare accelerată și durabilitate a componentelor panoului ușii, modele actuale de simulare a tehnicilor de validare a performanței materialelor supuse condițiilor climatice și aplicabilitatea acestora pe întreg ciclul de viață în procesul de testare [H01]. Metodologia de testare specifică cerințele de performanță și metodele de testare pentru componentele sistemului ușii conform standardelor și procedurilor în vigoare.

#### **Beneficiile testului accelerat de durată de viață:**

- Identifică moduri de defectare și crește fiabilitatea produselor și proceselor.
- Feedback-ul furnizat la timp previne reparația degradării și facilitează atât testarea cantitativă, cât și calitativă [\*\*\*01].

#### **Dezavantaje testului accelerat de durată de viață:**

- Fiabilitatea scăzută a produsului în condiții normale de utilizare.

- Unele produse se pot deteriora într-un timp relativ scurt [D01].

Componentele sunt supuse mai multor medii de stres, care pot include șoc termic și electric, vibrații, cicluri termice și umiditate. Fiecare test, în funcție de tipul condițiilor de rulare sau de expunerea la condiții extreme, trebuie adaptat conform procedurii, la cerințele componentei ce necesită testare.

## Obiectivele testului accelerat de durată de viață a panoului ușii

Testarea accelerată a duratei de viață este utilizată în detectarea defectelor de durabilitate care apar în condițiile normale de funcționare a vehiculului. Vehiculul supus testării trebuie să prezinte un sistem de închidere complet asamblat, cu toate componentele de închidere aferente, care ar putea fi afectate în timpul ciclului de testare. Procedura testului accelerat de durată de viață presupune validarea performanței sistemelor ușilor laterale, atunci când sunt testate în conformitate cu procedura de testare BS EN 60068-2-6:2008 și sunt supuse cerințelor specificate conform ISO 75-1:2020(en). Testul va fi efectuat conform specificațiilor de material ale componentelor ușilor laterale, sistemul ușilor trebuie să fie complet funcțional și echipamentul care va fi supus testării trebuie furnizat. Testele accelerate de durată de viață sunt prezentate în Fig. 5.1, după cum urmează: testul de durabilitate, testul de mediu, testul de îmbătrânire termică.

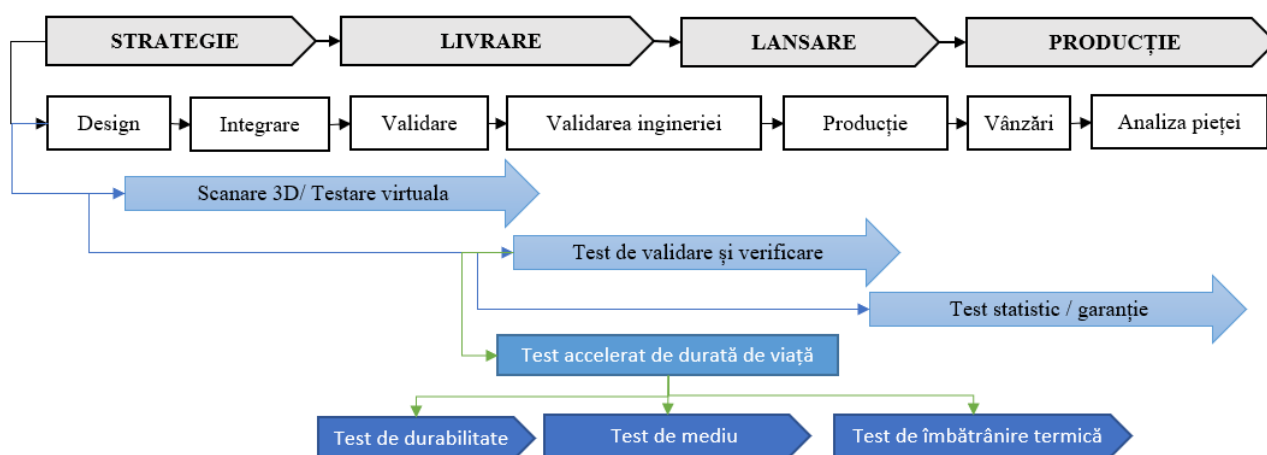


Fig. 5.1 Planificarea testelor accelerate de durată de viață

## Procedura Experimentală

Procedura de testare experimentală este împărțită în următoarele etape: planificare, pregătire, testare efectivă și analiză. Fiecare etapă include o serie de activități prestabilite pentru efectuarea testelor accelerate de durată de viață și delimitează fiecare activitate în funcție de cerințele procedurii. Procedurile de testare accelerate de durată de viață prezentate în această lucrare includ rezultatele obținute din testul de durabilitate, testul de mediu și testul de îmbătrânire termică. Fiecare dintre aceste teste urmează o serie de criterii și proprietăți pentru a genera cele mai bune rezultate, așa cum sunt prezentate:

- **Testul de durabilitate (KLT)** - procedura de testare este utilizată pentru a testa durabilitatea și funcționalitatea componentelor, în condiții normale de mediu sau expuse la condiții extreme

de temperatură și umiditate, în timpul ciclului de simulare a duratei de viață a vehiculului și a componentelor ușii.

- **Testul de mediu (AET)**- procedura de testare este utilizată pentru a evalua performanța materialelor și componentelor supuse condițiilor normale de mediu. Scopul unui astfel de test este de a identifica orice problemă de finisare sau funcționalitate, ca rezultat direct al expunerii la intervale diferite, la mediu diferit.
- **Testul de îmbătrânire termică (AHAT)** - procedura de testare este utilizată pentru a evalua performanța materialului și a componentelor după expunerea pe termen lung la căldură și are scopul de a evalua atât efectul pe termen lung asupra suprafețelor, cât și a proprietăților dimensionale ale materialelor și componentelor ușilor supuse încercării.

## 5.1. Standarde de testare

Validarea componentelor implică verificarea, analiza, testarea și interpretarea rezultatelor conform standardelor de mediu și de durabilitate a materialelor. Standardele de testare aferente testelor accelerate de durată de viață sunt:

- ISO / IEC 17025:2017 Laboratoare de testare și calibrare
- BS EN 60068-2-6:2008 Testarea mediului
- IEC 62506: 2013 Metode de testare accelerată a produsului
- ISO 75-1:2020(en) Materiale plastice - Determinarea temperaturii de deformare
- EN ISO 6789-2003 Scule pentru asamblarea șuruburilor și piulițelor - măsurare cuplu.
- GMW15094:2016 Sistemul ușii - Test de durabilitate etc.

## 5.2. Echipamente și facilități

Lucrarea prezintă o gamă largă de echipamente și instrumente utilizate în efectuarea testelor și măsurare, după cum urmează: indicatorul de forță este utilizat pentru măsurarea sarcinilor de închidere și deschidere, cheia dinamometrică este utilizată pentru strângerea șuruburilor de fixare ale balamalei, vernierul este utilizat pentru măsurarea distanțelor, aparatul de măsurare utilizat pentru măsurarea decalajului și alinierii, PLC este folosit pentru a simula închiderea și deschiderea ușii.

### Instalarea bancului de testare

Instalația pneumatică de testare este proiectată pentru testarea durabilității și simularea performanței complete a duratei de viață a ușilor laterale, mânerelor ușii, încuietorilor ușii, etanșărilor ușii și altor ansambluri ale ușilor laterale, ale vehiculelor comerciale, conform IEC 62506: 2013. Rolul ansamblului bancului de testare este de a efectua și măsura în timp real forța de deblocare a ușii, confirmând semnalul de poziție primit de la un micro-întrerupător și deschiderea ușii. Forța de deschidere și forța de închidere a ușii laterale, forța de închidere și unghiul de rotație, forța de deblocare și de ridicare electrică a geamului ușii în timpul testului, oglinda retrovizoare și deschiderea încuietorii ușii, sunt măsurate și analizate cu ajutorul programului PLC (Controler programabil) Alpha.

### Camera de testare climatică

Testarea vehiculelor în camera de testare climatică, se efectuează în conformitate cu reglementările și cerințele de produs impuse de procedura de testare și client. Camera climatică de testare a mediului

înregistrează diverse informații, cum ar fi: temperatura necesară pentru testarea componentelor, diferențele de temperatură la care sunt supuse și timpul alocat testării.

### 5.3. Implementarea procedurilor de testare

S-au efectuat următoarele tipuri de măsurare:

- ❖ **Măsurarea cuplului** - obiectul măsurării cuplului este de a se asigura asamblarea corespunzătoare a șuruburilor supuse încercării; șuruburile trebuie strânse, marcate, monitorizate și verificate conform cerințelor EN ISO 6789:2003.
- ❖ **Măsurarea decalajului și alinierii** - măsurarea decalajului și alinierii a fost efectuată la începutul testului și după fiecare ciclu de temperatură. S-au efectuat 5 măsurări pe parcursul testului și apoi s-a calculat media.
- ❖ **Măsurarea sarcinii de închidere și deschidere** - Măsurarea angajării și eliberării reprezintă testarea performanței unei componente sau a unui software atunci când este aplicată o sarcină de închidere sau deschidere.

### 5.4. Concluzii și contribuții

Următoarele concluzii pot fi relatate privind metodologia de testare accelerată de durată de viață:

- Lucrarea prezintă planificarea testării și procedura experimentală, împreună cu standardele de testare aferente.
- Condițiile climatice de mediu, tipurile de măsurări și instalarea bancului de testare sunt prezentate în secțiunea echipamente și facilități, și sunt utilizate pentru efectuarea testului accelerat de durată de viață.
- Rezultatele testării validează componentele panoului de ușă supus măsurărilor de cuplu, măsurărilor de decalaj și aliniere, eforturilor de operare, cuplare și deschidere.
- Fiecare etapă a procesului respectă procedura de testare a sistemului ușii și cerințele clienților prezentate în această lucrare.

Contribuțiile originale ale acestui capitol pot fi enumerate în următoarele categorii:

- a) **Contribuția teoretică:** Constatările privind literatura de specialitate și prelucrarea informațiilor pe baza experienței acumulate în laboratorul de testare accelerată și durabilitate, în funcția de inginer de testare.
- b) **Contribuția metodologică:** Abordarea conceptuală a metodologiei de testare și urmărirea standardizată a procedurilor și instrucțiunilor de lucru.
- c) **Contribuția empirică:** Dezvoltarea fluxului de proces a metodei de măsurare a cuplului șuruburilor, bolțurilor, fixărilor etc.
- d) **Contribuția privind colectarea datelor:** Înțelegerea condițiilor și limitărilor de testare în conformitate cu cerințele standardelor, proiectarea procedurilor de testare pentru KLT, AET, AHAT; Implementarea procedurii de testare pentru testul de accelerare și durabilitate a sistemului ușii, validarea rezultatelor testării.

## **Capitolul VI. Evaluarea procesului de rezolvare a problemelor privind defectarea panoului ușii folosind abordarea 8D**

Acest capitol prezintă aplicabilitatea 8D în domeniul auto și delimitarea etapelor pentru eficientizarea procesului. Se identifică cele mai bune variabile în procesul de gestionare și colectare a datelor și a reclamațiilor de la clienți. În prima fază se răspunde urgent solicitării clientului, printr-o analiză ERA. Se utilizează SPD pentru a identifica și defini simptomul / problema. Odată identificată problema, s-au folosit instrumente pentru măsurarea gradului de defectare, identificarea și verificarea cauzei principale utilizând analiza Ishikawa, Pareto și dovezi grafice bazate pe datele colectate de la clienți și comercianți.

### **Studiu de caz 8D**

Studiul actual își propune să investigheze problema componentelor panoului ușii și să utilizeze o serie de instrumente și tehnici de calitate pentru a determina cauza principală a defecțiunii. Problema face parte dintr-un studiu six-sigma, realizat într-o companie din industria auto, compania dezvoltă și produce diverse componente și subsisteme pentru ușile laterale ale autovehiculului utilizate pentru asamblarea sistemului de ușă. Cerința clientului pentru problema identificată este să fie efectuat un studiu detaliat, să fie analizată și evaluată problema „Ușa șoferului funcționează defectuos în condiții de temperatură scăzută sau mediu înghețat - încuietoearea ușii nu funcționează la temperaturi scăzute” folosind abordarea Six Sigma și 8D.

#### **6.1. D0: Pregătire și acțiuni în situații de urgență**

Simptomul problemei generează un efect nedorit și poate fi identificat folosind informațiile necesare privind efectele de funcționalitate și cele extinse. A fost dezvoltată o acțiune de răspuns urgent pentru a proteja clientul și a derula procesul de inițiere 8D. A fost efectuat un Audit Intern și linia de asamblare a fost oprită pentru inspecție, așa cum se arată în Tabelul 6.1.

**Tabelul 6.1** Planul de măsuri corective

<b>Acțiune imediată</b>	<b>Acțiunea corectivă a cauzei principale</b>	<b>Acțiunea corectivă preventivă (sistemică) a cauzei principale</b>
Lotul de componente este inspectat pentru problema relatată de către un alt operator	Design-ul a fost modificat pentru solicitarea în cauză	Verificarea componentelor înainte de implementare sau ori de câte ori este posibil
Componenta defectă a fost înlocuită și retestată	Proiectarea componentei pentru variabilitatea producției	Modificarea procesului pentru a testa variațiile înregistrate pe componentele furnizorului
Sortare 100% a componentelor Verificare multiplă	Analiza Pareto - cele mai frecvente cauze care apar	Asigurare că procesul este urmat și nu provoacă alte defecte

Rechemarea componentelor din fabrică	Depistarea cauzelor cu diagrama cauză-efect – Ishikawa Utilizarea 5 De ce – definirea cauzei principale	
Verificarea efectivității acțiunii imediate (dacă a avut succes). Prevenirea apariției unui nou defect generat de soluția temporară	Eliminarea erorii și documentarea procesului sau produsului dezvoltat	Urmărirea procesului pentru identificarea riscului. Verificarea BOM înainte de lansare.
Asigurarea că acțiunile efectuate sunt conforme și efectele nedorite asupra clientului prevenite până la implementarea acțiunilor permanente	Furnizarea de dovezi viabile pentru a rezolva problema și pentru a preveni reparația acesteia în viitor	Măsurarea eficacității acțiunilor corective
Satisfacția clientului	Identificarea procesului care a cauzat problema	Stocarea documentelor în sistemul de înregistrări, obținerea răspunsului clienților și recunoașterea din partea managementului

\*BOM – listă de materiale

## 6.2. D1: Definirea echipei

Abordarea 8D necesită o echipă organizată și capabilă să depună efort și cunoștințe esențiale pentru a detecta cauza principală a problemei. Membrii echipei trebuie să cunoască procesul, instrumentele și tehnicile necesare pentru a rezolva această problemă.

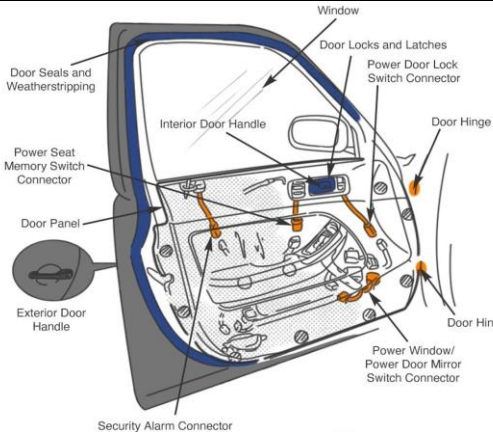
## 6.3. D2: Descrierea problemei

Defectul ușii a fost sesizat de client atunci când nu a putut deschide sau închide ușa în condiții de temperaturi scăzute sau de îngheț (temperaturi mai scăzute de -4 °C). După deblocarea vehiculului, ușa a rămas încuiată și nu a fost posibilă deschiderea ușii nici din exterior, nici din interiorul vehiculului, iar mânerul ușii exterioare nu a avut tensiune, în timp ce era tras. S-a observat că la temperatura camerei, după aproximativ 20 de minute, mecanismul de blocare a ușii a început să funcționeze normal. Problema va fi escaladată și va fi utilizată abordarea 8D, având la dispoziție 95 de zile pentru a evidenția cauza principală și posibilă soluție. În cadrul studiului au participat: echipa de calitate vehicul, inginerii responsabili de dezvoltare a panourilor ușilor și echipa responsabilă pentru problemele raportate pe piețele internaționale, așa cum sunt prezentate în analiza metodei SPD și 5 De ce, în Tabelul 6.2.

**Tabelul 6.2** Definiția standardizată a problemei [H03]

2A	<b>Definirea problemei:</b> Ușa șoferului funcționează defectuos în condiții de temperatură scăzută sau mediu înghețat - încuietoria ușii nu funcționează la temperaturi scăzute.	<b>Schiță/ imaginea panoului ușii</b>
	<b>Simptom:</b> Clienții nu pot deschide sau închide ușa șoferului când vehiculul este expus la temperaturi scăzute sau îngheț (temperaturi mai scăzute de -4 °C).	



	<p><b>VOC:</b> Ușa nu poate fi închisă sau deschisă, mânerul ușii rămân blocate când este frig și îngheț.</p> <p><b>Clienții:</b> Clientul se așteaptă să deschidă și să închidă ușa de fiecare dată fără efort suplimentar.</p>	
2B	<b>CARE ESTE PROBLEMA?</b>	<b>CE AR PUTEA FI DAR NU ESTE?</b>
Cine	<p>Cine este afectat de problemă?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ușa stângă a vehiculului</li> <li>• Ușa șoferului</li> <li>• Mânerul ușii exterioare și interioare</li> <li>• Modulul mânerului ușii</li> <li>• Cablu de blocare</li> </ul> <p>Cine a observat primul problema?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clieții din Nurenberg, Germania</li> <li>• Clieții au parcat vehiculul afară peste noapte</li> </ul> <p>Cui i-a fost raportată problema?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Către piețe și comercianți</li> </ul>	<p>Cine nu este afectat de problemă?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ușa dreaptă a vehiculului</li> </ul> <p>Cine nu a găsit problema?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alte medii climatice de iarnă</li> </ul>
Ce	<p>Ce tip de problemă este?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ușa nu se poate deschide din interior și ușa nu se poate închide</li> <li>• Prezența apei pe modulul ușii și cablurile de blocare</li> </ul> <p>Avem dovezi fizice ale problemei?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Da, toate vehiculele</li> </ul>	<p>Ce nu are problema?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poziția încuietorii este incorectă</li> </ul> <p>Ce s-ar putea întâmpla, dar nu se întâmplă?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Defectul apare la toate ușile</li> </ul> <p>Care ar putea fi problema dar nu este?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poziția balamalei</li> </ul>
De ce	<p>De ce aceasta este o problemă?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deoarece mânerul ușii nu mai sunt funcționale.</li> </ul> <p>Procesul este stabil?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesul este stabil, dar cauza principală trebuie identificată</li> </ul>	<p>De ce nu este o problemă?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nu poate fi o problemă pentru alte tipuri de vehicule</li> </ul>
Unde	<p>Unde a fost observată problema?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atât la mânerul interioare, cât și exterior</li> <li>• Ușa șoferului</li> <li>• Prezența apei pe cablurile de blocare și pe modulul mânerului ușii</li> </ul> <p>Unde apare problema?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rusia</li> <li>• Condiții de iarnă (temperaturi mai scăzute de -4 °C)</li> </ul>	<p>Unde ar putea fi localizată problema, dar nu este?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ușile pasagerilor</li> </ul> <p>Unde mai poate fi localizată problema, dar nu este??</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Țări care ating temperaturi mai scăzute de -4 °C</li> </ul>



<b>Când</b>	<p>Când a fost observată prima dată problema?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dec 2020</li> <li>Condiții de iarnă (zăpadă și îngheț)</li> <li>temperaturi mai scăzute de -4 °C</li> <li>3 – 6 MIS</li> </ul> <p>De când s-a observat?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Expunerea vehiculelor la temperaturi scăzute, timp de 4&lt; ore</li> <li>Condiții de iarnă (temperaturi mai scăzute de -4 °C)</li> </ul>	<p>Când problema ar fi putut fi observată, dar nu a fost?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Orice MIS</li> <li>Toamnă sau primăvară</li> <li>Temperaturi mai scăzute de -4 °C</li> </ul>
<b>Cat de mult</b>	<p>Câte probleme au fost semnalate?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2 Germania</li> <li>1 Rusia</li> <li>3 vehicule în condiții climatice de iarnă (temperaturi mai scăzute de -4 °C)</li> <li>Numai ușa șoferului</li> </ul>	<p>Câte ar putea avea problema, dar nu au?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Toate vehiculele</li> <li>Toate cele 4 uși (pasager)</li> </ul> <p>Cât de mare ar putea fi problema, dar nu este?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Toate în țări care ating aproximativ - 4 °C și temperaturi mai scăzute de -4 °C</li> </ul>
<b>Cât de des</b>	<p>Care este tendința?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>S-a observat doar iarna</li> </ul> <p>Problema a apărut anterior?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Da. Mânerul exterior al ușii nu se retrage în condiții climatice de iarnă.</li> </ul>	<p>Care ar putea fi trendul, dar nu este?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Creșterea utilizării altor tipuri de uși</li> <li>Perioade de iarnă mai reci</li> </ul>
<b>2C</b>	<p><b>Descrierea problemei</b> Ușa șoferului nu se poate deschide utilizând mânerul interior sau exterior. Când ușa este deschisă, clientul nu poate închide ușa.</p> <p><b>Descrierea incidentului:</b> Vehiculul a fost spălat cu jet de spălare fără uscare pe 3 ianuarie și de atunci a fost parcat afară. Această problemă a apărut la temperatura de -3 °C. Cel mai probabil, această funcționare anormală a blocării ușii șoferului a avut loc din cauza apei înghețate din interiorul mecanismului de blocare a ușii.</p>	

\*VOC -Vocea clientului; MIS - Nr de km la care este necesară intervenția;

#### 6.4. D3: Elaborarea planului intermediar de izolare

Pentru elaborarea planului intermediar de izolare, au fost întreprinse acțiuni imediate pentru validarea și planificarea proiectului, așa cum este prezentat în Fig. 6.1.

DONE	ACTION	ASSIGNED TO	DATE ASSIGNED	DATE DUE	PRIORITY	STATUS	% COMPLETE	NOTES
✓	D1-D2 Define the issue - SPD	Quality Team	01/22/21	02/01/21	High	Complete	100%	SPD complete
✓	Establish Team and set daily meeting	Product integration / Engineering	01/23/21	01/30/21	High	In Progress	90%	Action Items and Gantt planning
✓	D2-D4 Cause and effect diagram and failure mode analysis	Quality Team	02/02/21	03/17/21	High	Complete	100%	Ishikawa analysis complete
	Review alternative corrective action	Quality Team / Engineering	03/17/21	03/21/21	Low	On Hold	80%	
	Select and implement alternative corrective action	Quality Team / Engineering	03/21/21	03/24/21	Medium	Overdue	60%	
	D5 - Analyze test report	Quality Team / Test team	05/22/21	05/23/21	Medium	In Progress	30%	
	D6 Raise process and management sign off event	Quality Team / Engineering	05/23/21	05/25/21	Medium	In Progress	50%	
	D7 - Prevent re-occurrence and Raise Forward model AIM	Quality Team / Engineering	05/25/21	05/30/21	Medium	In Progress	50%	
	D8 Recognise the succes and leasson learned	Quality Team / Engineering	05/30/21	06/01/21	Medium	In Progress	40%	

Fig. 6.1 Plan de acțiune

## 6.5. D4: Determinarea cauzelor rădăcină

Fig. 6.2 prezintă analiza cauză-efect Ishikawa, care ajută la identificarea posibilelor cauze ale problemei.

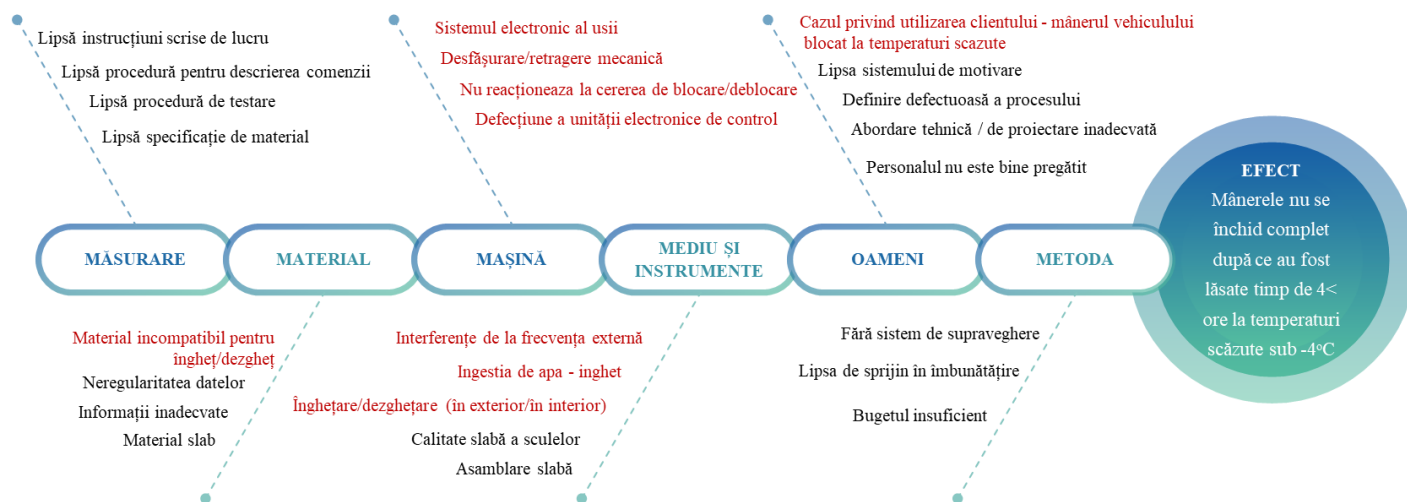


Fig. 6.2 Analiza Ishikawa

După cum se prezintă în diagrama cauză-efect, cea mai mare influență în generarea problemei o are semnalul electric - Can analyser și impactul climatic pe care o are componenta la temperaturi scăzute sub -4 °C. Componenta trebuie supusă testelor de durabilitate și de mediu în conformitate cu cerințele procedurilor de lucru pentru ornamentele interioare și exterioare ale caroseriei.

Analiza Pareto este utilizată pentru a evalua recurența problemelor în faza de dezvoltare sau în linia de asamblare. Eforturile de îmbunătățire vizează zonele cu cel mai mare impact din cadrul companiei.

Tabelul 6.3 Componente defecte

Cauză	Efect	Procent cumulativ
Categorie/ descriere	Calcul	
Încuietoare ușă	58	50.4%
Mâner – Deschidere ușă	17	65.2%
Ușa șofer	16	79.1%
Pârghie – Tragerea ușii	9	87%
Încuietoare – Ușă dreapta	5	91.3%
Încuietoare – Ușă stânga	4	94.8%
Cabluri de blocare	4	98.3%
Altele	2	100%

Graficul Pareto evidențiază principala sursă de defecțiune și efectul acesteia prezentat în procente, reprezentând principala cauză a defecțiunii. În acest caz, încuietoarea ușii are cel mai mare impact în defecțiunea întregului lot de subansambluri, având un număr de 58 de defecte înregistrate, generând astfel și alte defecte ale subansamblurilor și ale întregului vehicul.

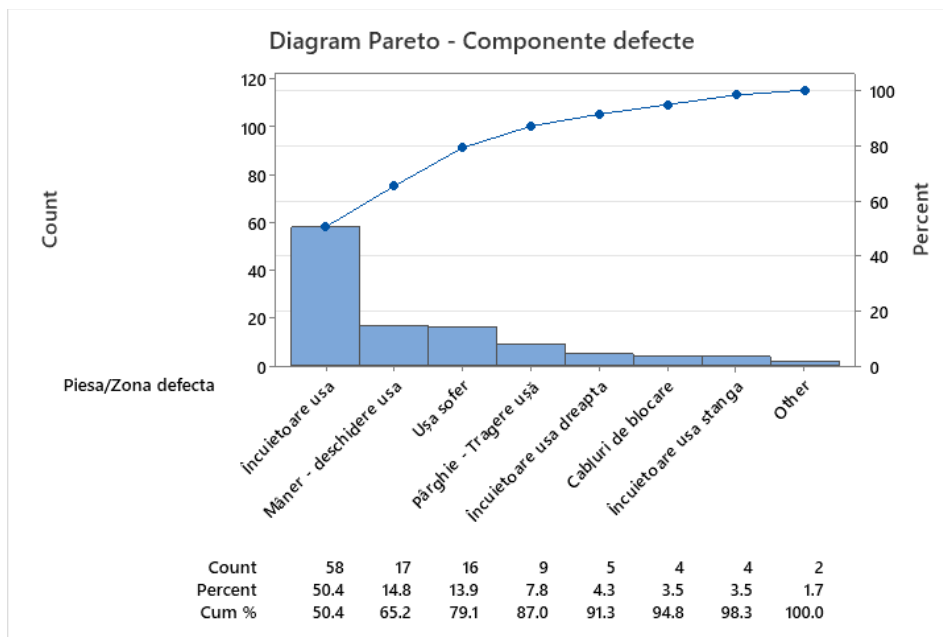


Fig. 6.3 Analiza Pareto

Diagrama Pareto arată că  $(58 + 17) / 99 \approx 80\%$  din componentele defecte provin de la 2 din 10 = 20% din tipurile de componente defecte.

Histogramele din Fig. 6.4 și Fig. 6.5 arată o reprezentare detaliată a timpului de funcționare a vehiculului până la detectarea problemei și a numărului de km la care este necesară intervenția.

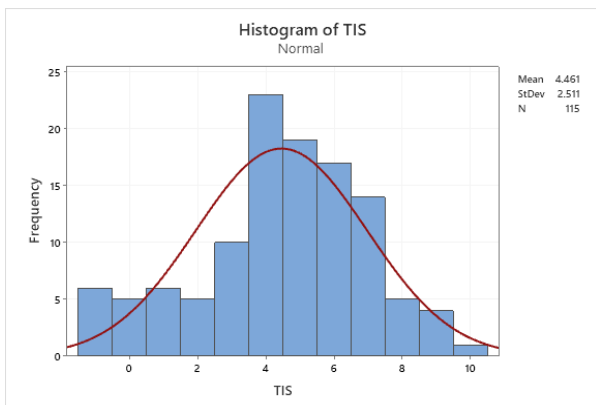


Fig. 6.4 Timpul vehiculului în service

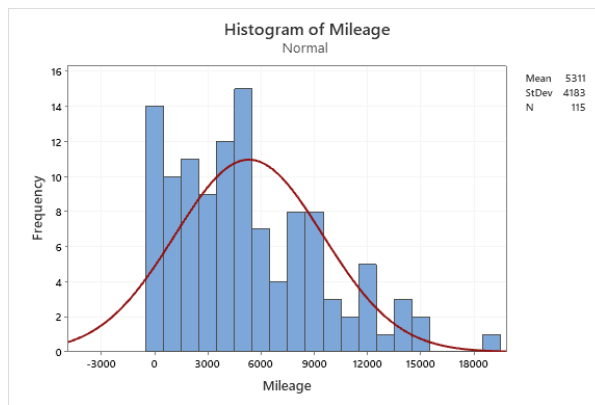


Fig. 6.5 Nr km parcurși de vehicul

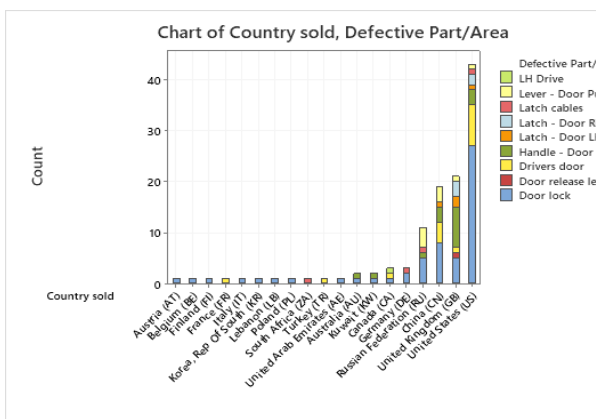


Fig. 6.6 Țara vânzării și piesă defectă

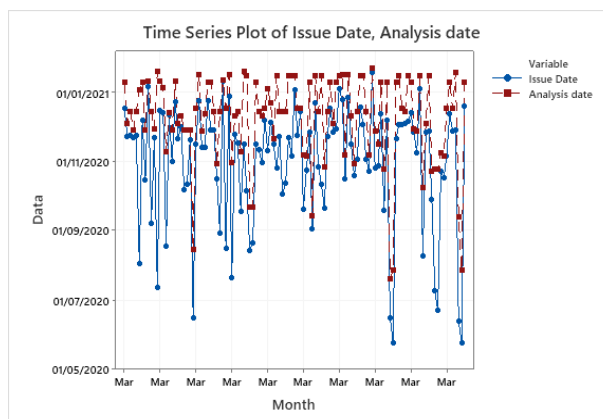


Fig. 6.7 Diagramă problemelor înregistrate

Fiecare dintre cauzele posibile prezentate în histogramele din Fig. 6.6 și Fig. 6.7 vor fi prezentate în capitolul următor pentru investigarea cauzelor posibile.

Următorul capitol va prezenta cauzele principale care au dus la degradarea și funcționarea defectuoasă a mânerului ușii la temperaturi sub  $-4^{\circ}\text{C}$ .

## 6.6. Concluzii și contribuții

Următoarele puncte cheie pot fi concluzionate din abordarea 8D:

- În prima fază s-a decis aplicarea ERA, unde s-au întreprins o serie de acțiuni în vederea protejării clienților. Odată ce s-a stabilit că problema necesită o abordare mai largă, procesul PDCA a fost dezvoltat prin definirea problemei pe baza datelor din reclamațiile primite de la clienți, definind planului de acțiuni ICA și PCA.
- Problema a fost definită în funcție de cerințele clienților prin identificarea și descrierea în termeni cuantificabili a ceea ce este greșit folosind abordarea enunțării problemei. SDP a fost folosit pentru a detalia problema. Analiza - Care este problema/ Ce ar putea fi dar nu este? a răspuns la întrebările metodei 5 De ce, metodă care își propune să evidențieze toți factorii cheie implicați în efectele neconformității prin prezentarea informațiilor primite de la părțile implicate. Impactul asupra afacerii a fost cuantificat în termeni de calitate, livrare, cost și performanță.

Contribuțiile originale ale acestui capitol pot fi enumerate în următoarele categorii:

- a) **Contribuția teoretică:** Validarea studiului de caz prin utilizarea instrumentelor de calitate Six Sigma - 8D.
- b) **Contribuția metodologică:** Dezvoltarea fluxului de proces folosind abordarea PDCA în organizarea acțiunilor de răspuns în situații de urgență, Acțiune intermediară de izolare (ICA) și Acțiune corectivă permanentă (PCA).
- c) **Contribuția empirică:** Utilizarea Definiții standard a problemei (SPD) - 5 De ce, Ishikawa - diagrama cauză - efect, Pareto și prezentarea grafică a datelor analizate pe baza reclamațiilor.
- d) **Contribuția privind colectarea datelor:** Definirea și analiza reclamațiilor primite de la clienți și a informațiilor referitoare la timpul în service (TIS), Nr de km la care este necesară intervenția în service (MIS), țara în care s-a vândut vehiculul și tipul de problemă înregistrată, folosind software-ul Minitab Six Sigma.

Constatările cercetării au fost publicate în:

- Dina Diga și Irina Severin, "Bonnet cable defect analysis using Six Sigma DMAIC techniques", UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering 43(2):203-214, ISSN 1454-2358, 2021.
- Dina Diga și Irina Severin, "Sill Panel Corrosion in Automotive Industry", Springer AHFE 2021, pp. 140–147, LNNS 274, 2021.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-80462-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80462-6_18)
- Dina Diga, Irina Severin și Nicoleta Daniela Ignat, "Quality Study on Vehicle Heat Ventilation and Air Conditioning Failure" MDPI Sustainability, 13, 13441, ISSN 2071-1050, 2021. <https://doi.org/10.3390/su132313441>

## **Capitolul VII. D5: Validarea cercetării pe baza rezultatelor testelor accelerate de viață**

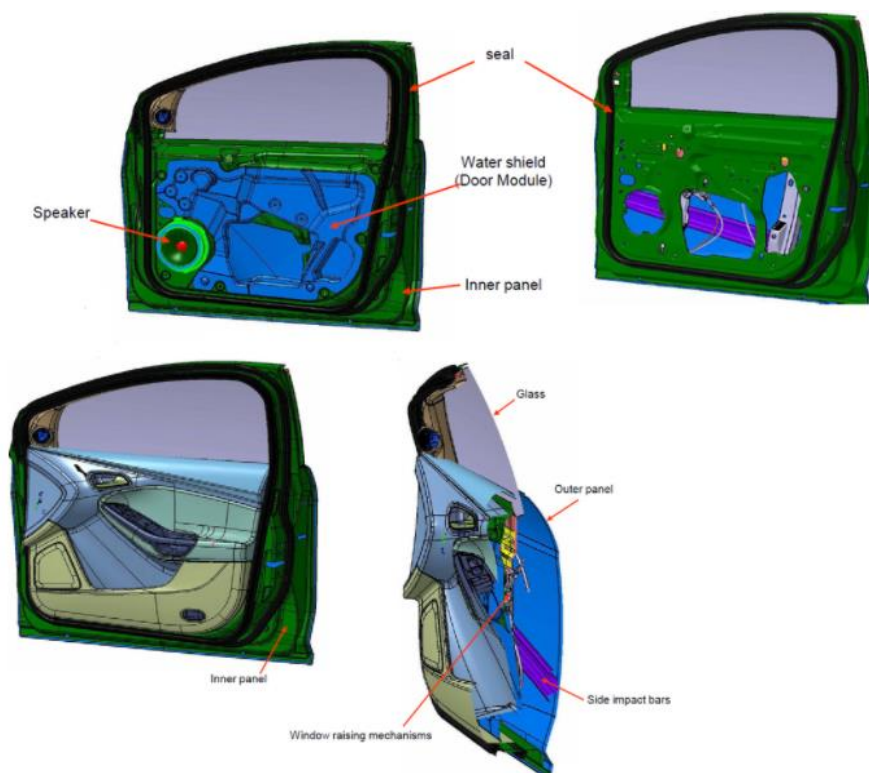
Studiul a fost realizat într-un laborator de testare a componentelor și subsansamblurilor din cadrul unei companii auto. Obiectivul studiului de cercetare este de a analiza și inspecta rezultatele obținute în urma încercărilor supuse la condițiile de mediu. Validarea și verificarea ciclului de viață sunt extrem de importante pentru succesul unui studiu complet, pentru a simula proprietățile funcționale ale componentelor auto. Pe baza acestei premise, componentele ușii au fost supuse mai multor tipuri de teste de viață accelerată, și anume durabilitatea KLT, AET și AHAT.

### **Testul de durabilitate**

Sistemul ușilor laterale a fost supus unui test de durabilitate a ușii conform GMW15094:2016 și GB 15086:2013, care precizează: Sistemul ușilor laterale trebuie să aibă o durată de viață utilă de 10 ani (240.000 km). Acest lucru va fi demonstrat prin finalizarea testului de durabilitate a ușii laterale fără să indice vreo defecțiune funcțională sau de atribut, așa cum este identificat în criteriile de reușită sau eșec ale metodei de verificare a proiectării.

#### **7.1. Metoda de testare**

Metoda prezintă rezultatele obținute în timpul rulării primei părți a KLT, unde ușile laterale au fost închise și deschise de 42.000 de ori pe o perioadă de 480 de ore, într-o cameră de testare climatică.



**Fig.7.1** Prezentare de ansamblu a panoului ușii [<https://skill-lync.com/student-projects/week-11-final-project-99>, [H03]]

Testul a fost efectuat cu ajutorul unei instalații pneumatice pentru a simula deschiderea și închiderea ușilor instalate în camera climatică, unde temperaturile de funcționare au fost stabilite între  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  și  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , cu condiții de umiditate de până la 85% RH conform procedurii de testare.

## 7.2. Pregătirea experimentală

Diferențele de temperatură indică nivelurile superioare și inferioare de temperatură la care componentele au cea mai mare rată de defectiune. Temperaturile la care se va efectua testul sunt: la temperatura ambiantă se vor efectua 21.580 de cicluri pe sistemul ușii la 12 V urmate de 5 cicluri la 9,6 V. Temperatura va fi crescută la  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  cu 85 % umiditate și se vor efectua 7.800 de cicluri. Următoarea etapă va fi la temperatura  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  și se vor efectua aproximativ 1.500 de cicluri, apoi se reduce temperatura la  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Urmează reducerea temperaturii la  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  și efectuarea a 2050 de cicluri, urmată de efectuarea ultimelor 80 de cicluri la temperatura  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Secvența completă se repetă de 2 ori.

## 7.3. Raportul de testare

Raportul de testare prezintă rezultatele obținute din măsurătorile cuplului conform EN ISO 6789-2003 (balamale, brațe de fixare, încuietoare), Decalaj și aliniere conform FGP FP 210-15-10 (ușă față și mâner), sarcină de închidere și deschidere conform GB 15086-2013 (ușă stânga, încuietoare și balamale).

### 7.3.1. Măsurarea cuplului

După încheierea testării, acolo unde este posibil accesul, se va măsura cuplul crack-off cu cheia dinamometrică, se va roti dispozitivul de fixare în direcția de slăbire (cuplu de slăbire sau de rupere) și apoi strânge din nou în poziția anterioară (revenirea la marcaj sau re-cuplu).

#### Balamale și brațe de fixare ușă (în sens invers acelor de ceasornic)

Un prim pas în efectuarea măsurărilor de cuplu este cunoașterea datelor nominale specificate în instrucțiunea de testare privind șuruburile și balamalele pieselor ce vor fi testate. La finalizarea testului, nu a existat nicio alunecare a îmbinării sau rotație a elementului de fixare, iar cuplul rezidual nu este mai mic de 70% față de cuplul setat inițial, așa cum este prezentat în Tabelul 7.1.

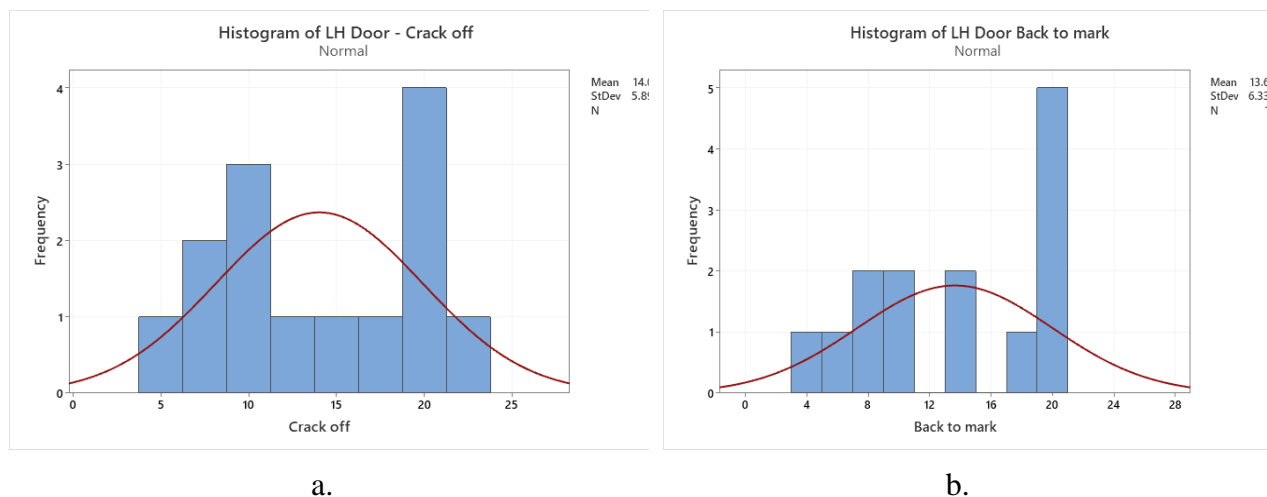
**Tabelul 7.1** Măsurarea cuplului șuruburilor balamalei și a brațului de fixare

Cuplul [Nm]	Specificație	Ușa stânga			Ușa dreapta		
		Setare	Rupere / Crack-off	Re-cuplu	Setare	Rupere / Crack-off	Re-cuplu
Balama superioară la partea superioară a caroseriei	30	30	14	13	30	17	17
Balama superioară la partea inferioară a caroseriei	30	30	19	18	30	15	15
Balama inferioară la partea superioară a caroseriei	30	30	13	14	30	20	19
Balama inferioară la partea inferioară a caroseriei	30	30	18	19	30	15	15



Balama superioară la partea superioară a ușii	30	30.3	20	20	30.0	20	20
Balama superioară la partea inferioară a ușii	30	30.1	21	21	30.4	18	19
Balama inferioară la partea superioară a ușii	30	30.1	22	21	30.0	19	20
Balama inferioară în partea de jos a ușii	30	30.1	20	21	30.3	22	21
Șurubul știftului balamalei superioare	13.5	13.5	10	9.5	13.5	9.8	8.5
Șurubul știftului balamalei inferioare	13.5	13.5	11	10	13.5	9.5	9
Verificare partea superioară a brațului de fixare ușa	12	10.4	7	8	10.4	9	8
Verificare partea inferioară a brațului de fixare ușa	12	10.4	8.75	7	10.4	9.5	8
Verificare partea superioară a brațului caroseriei	12	10.2	7.5	6.5	10.2	7	6
Verificare partea inferioară a brațului caroseriei	12	10.2	5	3	10.3	6	3.5

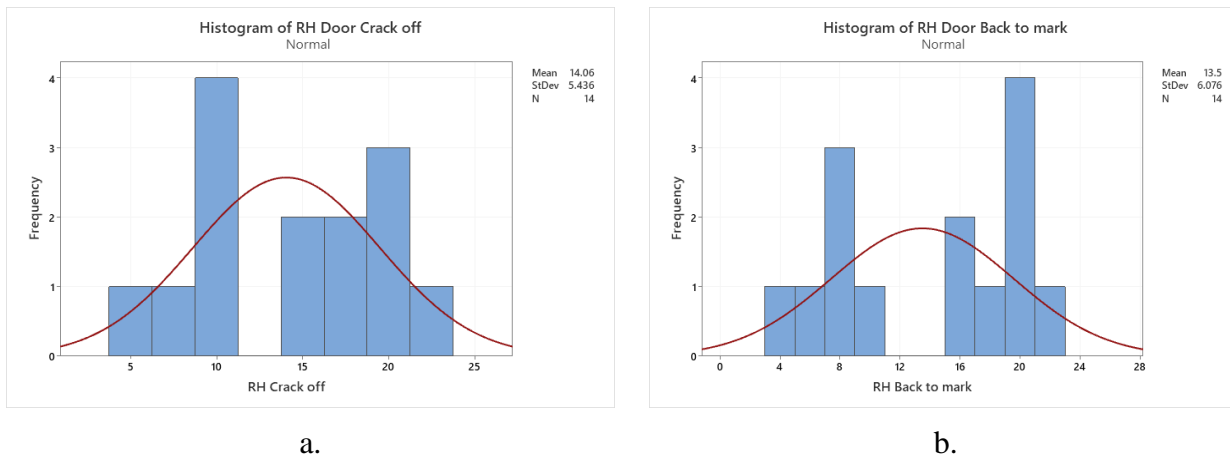
Histogramele din Fig. 7.2 și Fig. 7.3 au rolul de a evidenția diferențele între datelor înregistrate în urma efectuării măsurărilor de cuplu.



**Fig. 7.2** Histograma ușa stânga - cuplul de rupere (a), restrânge cuplul (b) [Nm]

Datele obținute arată o corespondență între cuplul nominal și rezultatele obținute din măsurările care au fost efectuate după ce șuruburile balamalelor au fost supuse la temperaturi de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  și  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$  / 85% umiditate. Se poate observa că în timpul derulării testului în camera de testare climatică, elementele de fixare au suferit modificări.





**Fig. 7.3** Histograma ușa dreaptă - cuplul de rupere (a), re-cuplu (b) [Nm]

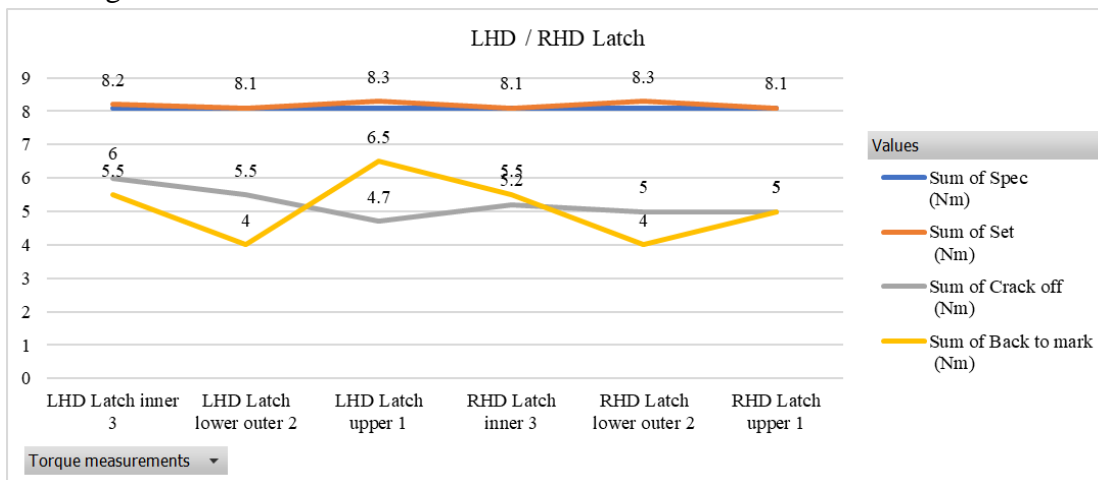
**Concluzie:** elementele de fixare și-au pierdut funcționalitatea în timpul testului de durabilitate.

**Încuietoarea și Balamaua** (în sens invers acelor de ceasornic) Datele din Tabelul 7.2 conțin observații multiple, cu valori predictive privind defectiunea determinată.

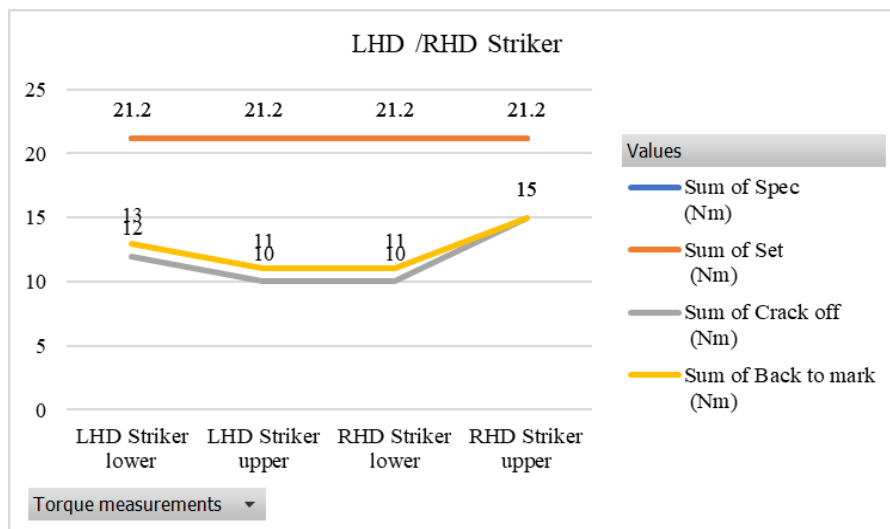
**Tabelul 7.2** Măsurări de cuplu a încuietorii și balamalei

Cuplul [Nm]	Specificație	Ușa stânga			Ușa dreapta		
		Setare	Crack off	Re-cuplu	Setare	Crack off	Re-cuplu
Încuietoare superioară 1	8.1	8.3	4.7	6.5	8.1	5	5
Încuietoare exterioră inferioară 2	8.1	8.1	5.5	4	8.3	5	4
Încuietoare interioară 3	8.1	8.2	6	5.5	8.1	5.2	5.5
Balama superioară	21.2	21.2	10	11	21.2	15	15
Balama inferioară	21.2	21.2	12	13	21.2	10	11

Încuietoarea superioară, inferioară exterior și interioară indică variații evidente între valorile esențiale și cele obținute pe parcurs. Șuruburile încuietorii ușii sunt slăbite, iar rezultatele măsurărilor arată pierderile înregistrate.



**Fig. 7.4** Măsurări ale cuplului șuruburilor încuietorii [Nm]

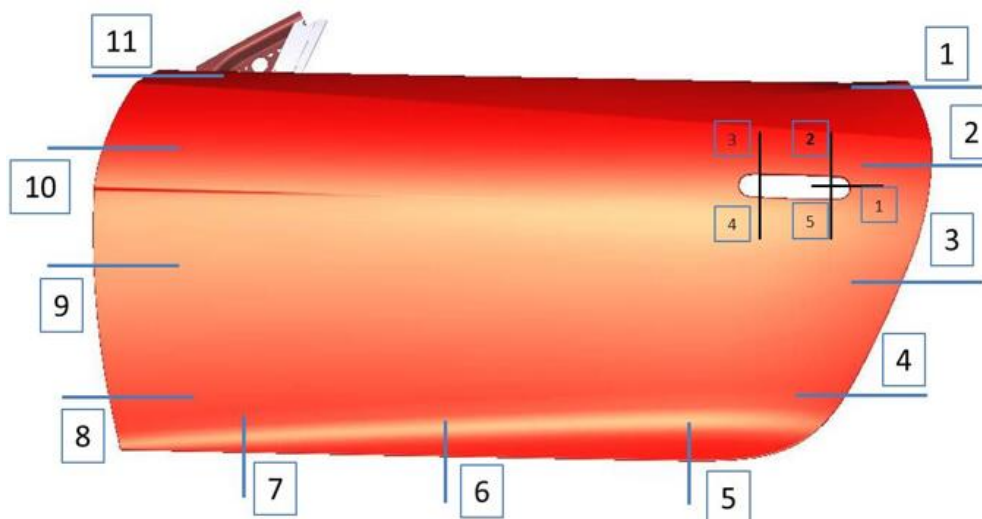


**Fig. 7.5** Măsurările cuplului balamalei [Nm]

Rezultatele cuplului din Fig. 7.5 arată cantitatea presupusă de relaxare a cuplului, pentru toate dispozitivele de prindere a balamalelor, rezultând o pierdere a cuplului față de cel aplicat inițial.

### 7.3.2. Măsurări de decalaj și aliniere

Deoarece ușile sunt folosite în mod repetat de către proprietarul vehiculului, ele influențează percepția asupra nivelului calitativ al produsului. Panoul ușii, încuietorile și componente de fixare sunt prezentate în Fig. 7.8. Cerința prevede că nu ar trebui să existe semne vizibile de deformare, decalaje prea mari, fisuri sau deteriorarea componentelor ușii.



**Fig. 7.6** Pozițiile pentru măsurare a panoului ușii

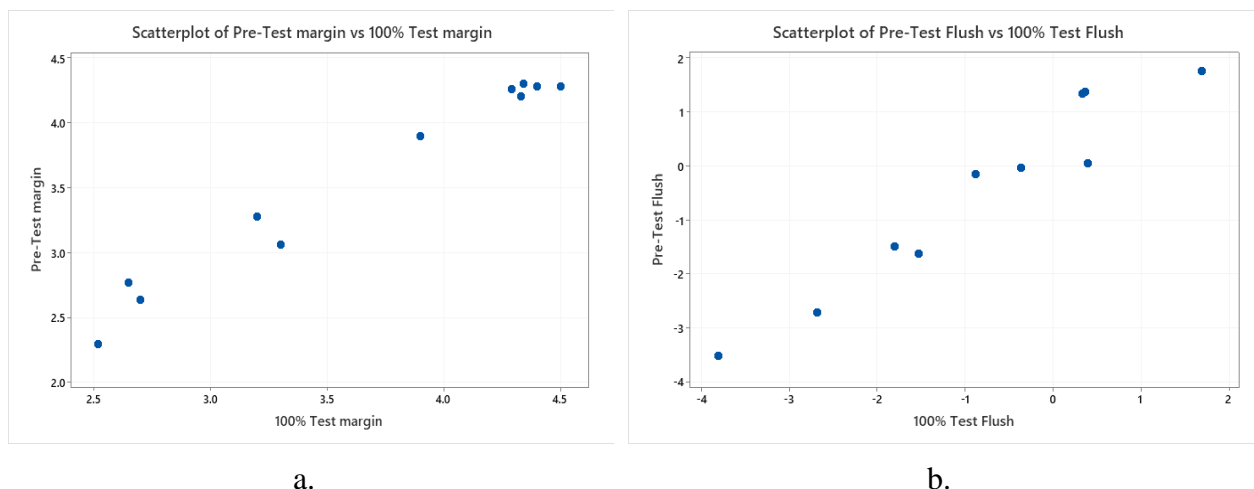
Măsurarea decalajului a fost făcută între primul punct tangent pe razele interioare ale muchiei. Modificările de decalaj și de aliniere între suprafața caroseriei și panoul ușii, sunt prezentate și evaluate utilizând graficele de analiză Minitab, prezentate în Tabelul 7.3.

**Table 7.3** Măsurarea decalajului și alinierii

Poziția [mm]	Pre-Test Decalaj	50% Test Decalaj	100% Test Decalaj	Pre-Test Aliniere	50% Test Aliniere	100% Test Aliniere
1	2.64	2.71	2.70	-2.71	-1.20	-2.68
2	2.30	2.50	2.52	0.05	0.59	0.4
3	2.77	2.63	2.65	-0.15	-0.19	-0.88
4	3.06	3.30	3.30	-1.62	-2.4	-1.53
5	4.28	4.44	4.50	-3.51	-4.33	-3.8
6	4.28	4.33	4.40	-1.49	-1.74	-1.8
7	3.90	3.90	3.90	-	-	-
8	4.30	4.23	4.34	-0.04	-0.04	-0.36
9	4.26	4.27	4.29	1.33	1.31	0.34
10	3.28	3.12	3.20	1.36	1.32	0.37
11	4.20	4.26	4.33	1.75	2.35	1.69

\* Alinierea față de caroserie

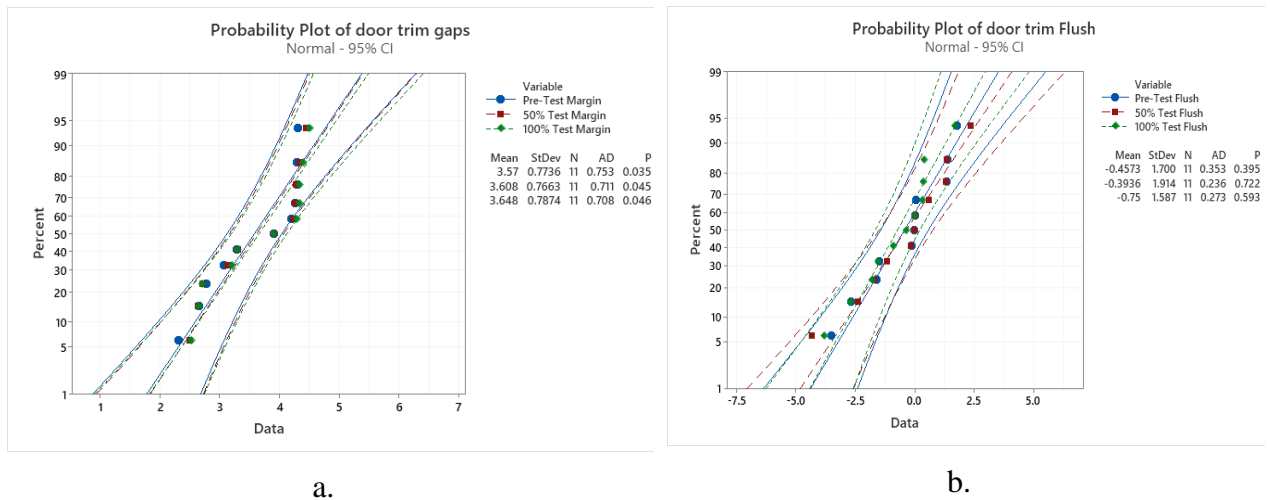
Toate măsurările de decalaj și alinierea a ușii cu caroseria efectuate sunt cuprinse în tabel și sunt verificate conform specificațiilor impuse de procedura de lucru.



**Fig. 7.7** Decalajul pre-testare vs 100% Testare (a), Aliniere pre-testare vs 100% Testare (b) [mm]

Diagramele prezintă că decalajului a crescut în timpul testului de durabilitate, ajungând până la aproape 0,2 mm în etapa de măsurare a decalajului testat 100%. De asemenea, măsurările de aliniere prezintă o creștere de 0,5 mm în unele zone ale ușilor și acestea pot fi observate pe tot parcursul măsurărilor de aliniere pre- testare, aliniere 50% din test și aliniere 100%, după cum se remarcă în Fig. 7.7.

Graficul a) și graficul b) arată cele 11 puncte de control pentru decalaj și aliniere. După cum se poate observa, măsurarea poziției unei singure ușii se realizează în 22 de puncte de control. Variabilele sunt corelate și modelele de variație pot fi extrase din date. În acest caz, toate punctele de control sunt măsurate la fiecare punct de măsurare enumerat în antetul tabelului.



**Fig. 7.8** Graficul probabilității pentru decalajul ușilor (a), aliniere variabilă (b) [mm]

Măsurările de decalaj și aliniere, prezentate în Tabelul 7.4, au fost parțial efectuate deoarece încuietoria mânerului ușii a întâmpinat dificultăți în funcționare în timpul testului, la temperaturi de  $-4^{\circ}\text{C}$  sau inferioare. Acest lucru confirmă încă o dată că încuietoria este neconformă, așa cum a fost identificată problema în fazele anterioare analizei de validare.

**Tabelul 7.4** Măsurarea de decalaj și aliniere a mânerului ușii

Mânerului ușii [mm]	Pre-Test Decalaj	50% Test Decalaj	100% Test Decalaj	Pre-Test Aliniere	50% Test Aliniere	100% Test Aliniere
1	2.38	Nu există date disponibile din cauza defecțiunii încuietorii ușii și necesitatea de înlocuire a componentei		-	-	-
2	3.05			-	-	-
3	1.48			-	-	-
4	2.10			-	-	-
5	0.90			-	-	-

Măsurarea suprafețelor nu este fezabilă, astfel este necesar să se definească un set de puncte de control pentru măsurarea calității dimensionale.

### 7.3.3. Măsurarea sarcinii de închidere și deschidere

Măsurările de sarcină efectuate pe panoul ușii au fost testate în conformitate cu cerințele GB15086-2013. În Tabelul 7.5 sunt enumerate o serie de rezultate a sarcinii de închidere și deschidere a mânerului extern, sarcina de reținere a brațului ușii și căderea liberă a ușii. Toate sarcinile au fost aplicate în mod normal pe suprafața componentei.

**Tabelul 7.5** Măsurători de sarcină aplicată ușii

Măsurări de sarcină [N]	Start	Mai sus +40 °C	25%	50%	Mai sus +40 °C	75%	-20 °C @84 000 cicluri	84 000 cicluri

Sarcină de deschidere a mânerului de deschidere (1/2 direcție împreună cu deschiderea mânerului) [N]	46			85		90	93.4	87.0
Verificarea sarcinilor de reținere a ușii brațului (mânerului exterior al ușii) [N]:								
Deschidere la (1) verificare la mijloc	32	26	25	27	27	27.5	42.8	31
Deschidere de la mijlocul interior (1) verificare până la mijlocul exterior (2)	35	32	32	32	33	32	41.4	32
Deschidere de la mijlocul de control exterior (2) până la deschidere completă	37	34	36	33	33.5	35	39.5	34
Închidere de la complet deschis până la mijlocul de verificare (2)	33	30	32	27	31	26	33.6	27
Închidere de la mijlocul de verificare exterioară (2) până la mijlocul de verificare (1)	34	34	35	30	32	31	30.6	28
Închidere de la mijlocul interior (1)	36	33	34	32	33	29	33	29

Sarcina a fost aplicată cu o viteză de aplicare sub 20 N/s. Toate punctele au fost măsurate cu o extensie și un disc plat de 10 mm, simulând apăsarea cu degetul mare. Forța a fost aplicată cu calibrare la zero la fiecare măsurare. Pe baza rezultatelor obținute în Tabelul 7.5, sarcinile de reținere a brațului ușii, considerate relevante pentru non-conformitate, au fost reprezentate în formă grafică, în Fig. 7.9.

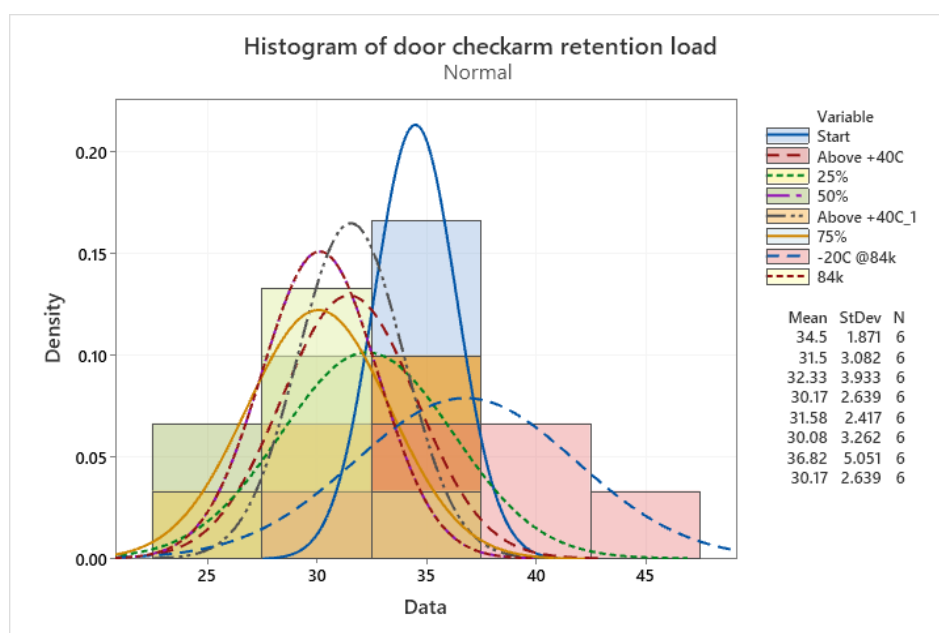


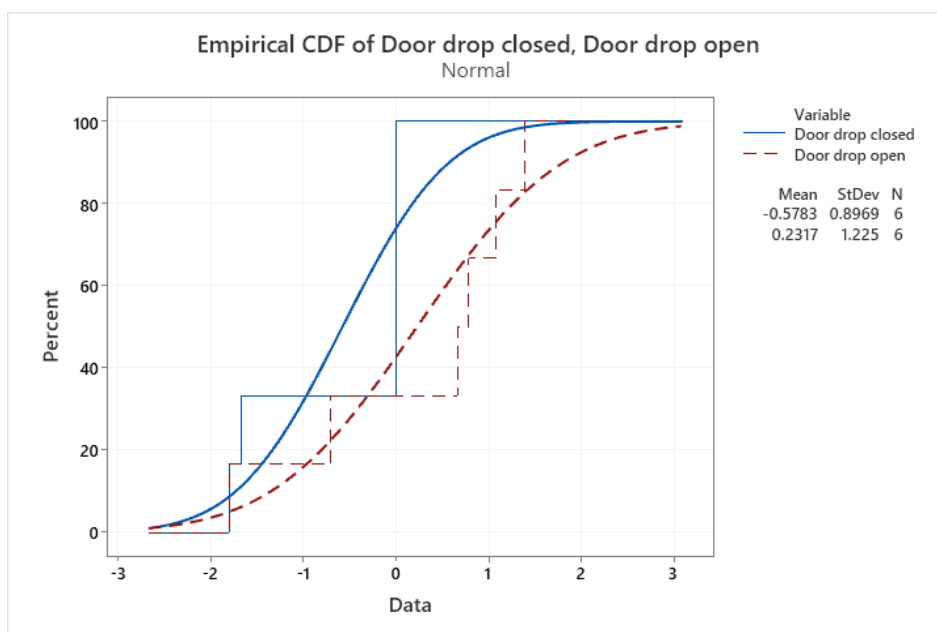
Fig. 7.9 Sarcina de reținere a brațului ușii [N]

Graficul ilustrează cu exactitate abaterea de la specificație, întâlnită în cazul rezultatelor înregistrate la temperaturi de funcționare „peste + 40°C”. Acest lucru demonstrează încă o dată că, în condiții de solicitare la temperaturi extreme, componentele se comportă diferit și au un grad mai mare de defectare.

**Tablul 7.6** Măsurările căderii libere a ușii

Măsurările ușilor	Start	> +40 °C	25%	50%	> +40 °C	75%	-20°C @84000 cicluri	84000 cicluri
Ușă închisă [mm]	0	-	0	0	-	0	-1.8	-1.67
Ușa deschisă [mm]	0.66	-	0.78	1.07	-	1.38	-1.8	-0.7
Viteza minimă de închidere [m/s]	0.70	-	-	0.50	-	1.4	-	0.8

Graficul arată distribuția valorilor pentru măsurările căderii libere a ușilor închise și deschise.



**Fig. 7.10** Ușă închisă/ Ușă deschisă CDF

În Fig 7.10. s-a folosit o diagramă empirică CDF pentru a evalua distribuția datelor înregistrate în timpul căderii libere a ușilor închise și deschise. S-a estimat și comparat funcția de distribuție a valorilor înregistrate la deschiderea liberă a ușii. Abaterea medie pătratică măsoară media erorilor pătratice, care este -0,5783 pentru ușa închisă și 0,2317 pentru ușa deschisă.

#### Încuietoare și balama– Sarcina de închidere și deschidere

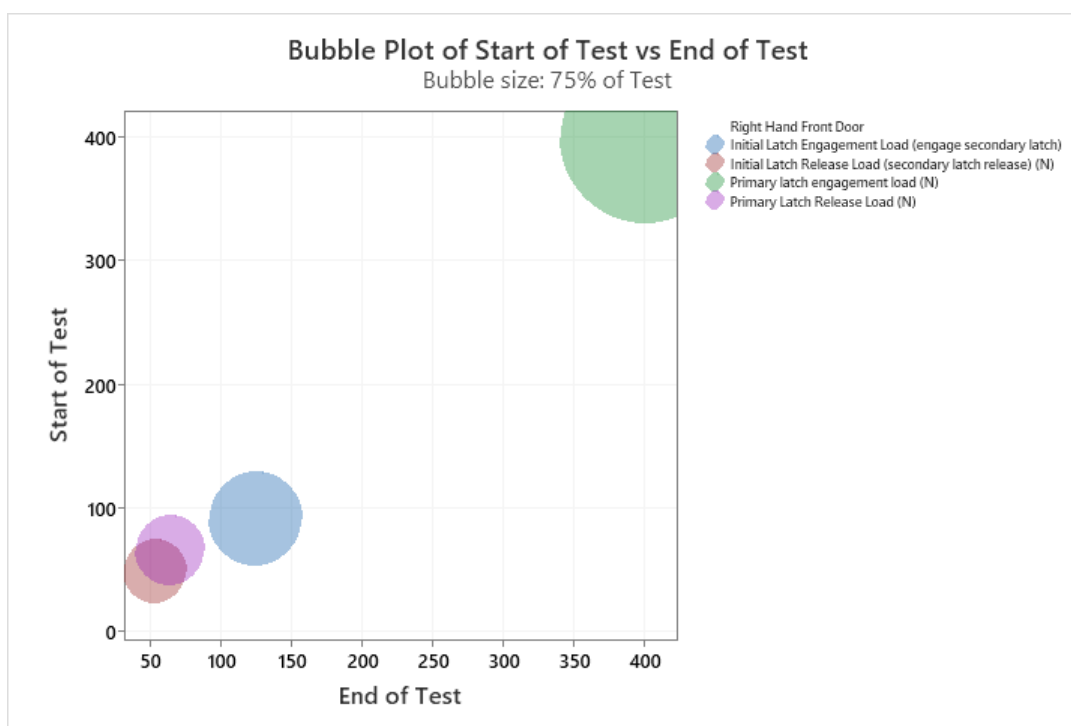
După cum se arată în Tabelul 7.7, sarcina inițială de cuplare a încuietorii a indicat o forță de aplicare diferită față de sarcina de cuplare a încuietorii primare, la care se aplică o sarcină de 400 N datorită rezistenței la închidere a încuietorii în poziția deschis.



**Table 7.7** Sarcina de închidere și deschidere

Ușa față - dreapta	Începutul testului	25% din Test	50% din Test	75% din Test	Sfârșitul testului
Sarcina de închidere inițială a încuietorii (închiderea încuietorii secundare) (N)	91.90	83.05	90.03	112.30	124.20
Sarcina de închidere a încuietorii primare (N)	399.80	370.80	392.70	390.00	402.00
Încărcare inițială de deschidere a încuietorii (deschidere secundară a încuietorii) (N)	49.20	52.02	49.80	52.90	52.60
Sarcina de deschidere a încuietorii primare(N)	65.80	55.20	65.20	65.00	64.10

Fig. 7.11 oferă referințe clare între reprezentarea tabelară și cea grafică, unde se poate observa în toate cele 5 poziții de măsurare că există similitudini între rezultate. În același timp, sarcina de închidere inițială a încuietorii își pierde proprietățile funcționale din punctul de măsurare de 75%.

**Fig. 7.11** Sarcina de închidere a încuietorii la 75% din test

### 7.3.4. Concluzii

Componentele testate nu au îndeplinit criteriile de acceptare atunci când au fost inspectate. Două probleme au fost semnalate în urma procedurii de testare, acestea sunt:

- Geamul fix al ușii a fost desprins din poziția inițială, în timpul testării la 80°C.

- Suprafața superioară a ușii a fost deformată la sfârșitul etapei 45°C/ 85% RH. Testul a indicat deteriorare la 50.000 de cicluri.

## Test accelerat de mediu

Procedura de testare documentează rezultatele testului accelerat de mediu pentru panoul ușii efectuat în laboratorul de testare a componentelor și subsistemelor, în camera climatică conform CETP:00.00-1467 și ISO 75-1:2020.

### 7.4. Metoda de testare

Metoda de testare este utilizată pentru a investiga performanța componentelor și ansamblurilor după 240 de ore de expunere la intervale de temperatură diferite și are scopul de a evalua proprietățile dimensionale și funcționale ale materialelor și componentelor, în conformitate cu procedura BS EN60068-2 și DEF STAN00-35.

### 7.5. Pregătirea experimentală

Procedura de testare la testul de mediu este prezentată în Tabelul 7.8. Temperatura specificată pentru acest test este de 85°C.

**Table 7.8** Evoluția temperaturii de testare

Temperatura [C°]	Ore	Umiditate [%]
22	2	50%
-40	22	50%
22	2	50%
85	22	85%
22	2	50%

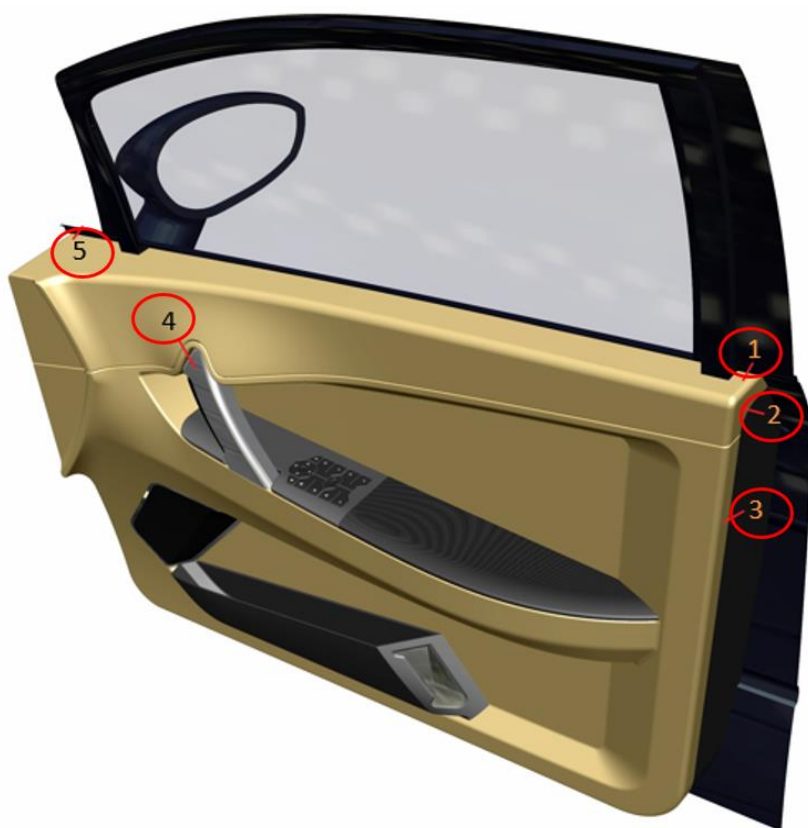
Procedura de lucru are 3 bucle de rulare, cu temperaturi înregistrate între -40°C și + 85°C / 85% umiditate. Tabelul prezintă o singură buclă completă de testare.

### 7.6. Raportul de testare

Raportul de testare prezintă rezultatele obținute din măsurările de decalaj a ușii.

#### 7.6.1. Măsurarea decalajului și alinierii ușii

Decalajul este definit ca o marjă orizontală între panoul ușii și ușa ce trebuie măsurată, sau între ușă și caroseria unui vehicul.



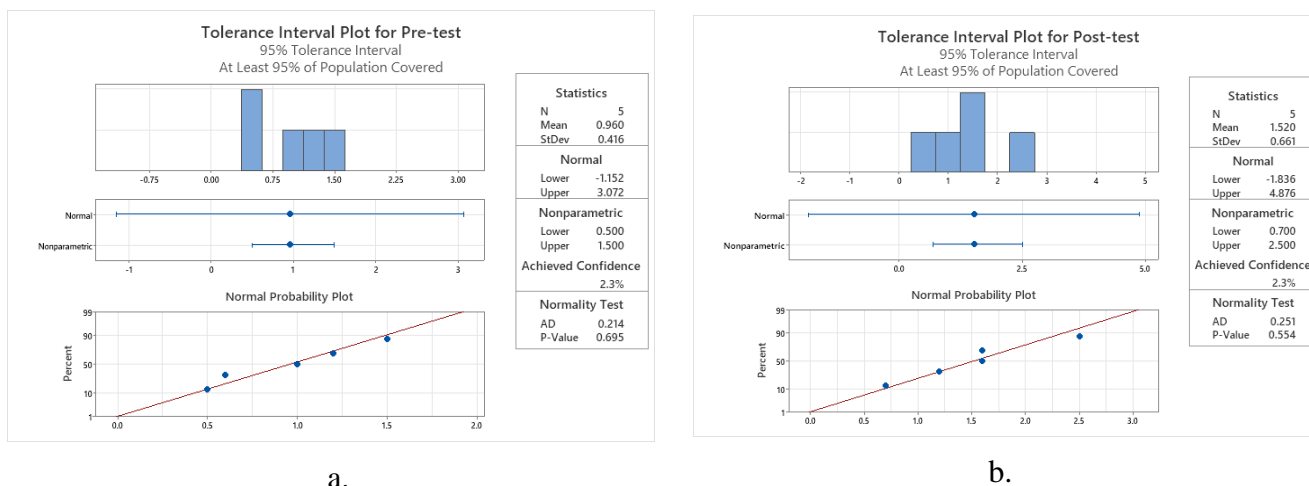
**Fig. 7.12** Poziții de măsurare decalaj [\*\*\*05]

Decalajul panoului ușii din Fig.7.12 prezintă pozițiile de măsurat prezentate în Tabelul 7.9.

**Table 7.9** Poziții de măsurare decalaj

Poziții de măsurare [mm]	Poziția 1	Poziția 2	Poziția 3	Poziția 4	Poziția 5
Decalaj nominal	1±0.7	0±0.8	1±0.7	0.7±0.6	1±0.5
Pre-test	1.2	1.5	1	0.6	0.5
Post-Test	1.6	1.6	<b>2.5</b>	1.2	0.7
Decalaj mărit	0.4	0.1	1.5	0.6	0.2

Reprezentarea tabelară a datelor arată diferențe vizibile între măsurările pre-test și post-test a decalajului. Diferența poate fi văzută în specificația măsurărilor nominale conform cerințelor de validare a proiectării, pe fiecare poziție măsurată.



a.

b.

**Fig. 7.13** Rezultate toleranțe pre - test (a), post-test (b) [mm]

În prezentarea grafică a datelor obținute, se poate observa că decalajul a crescut pentru fiecare poziție măsurată, cu un impact mai mare pe poziția 3, unde diferența confirmă că testul nu a îndeplinit cerințele specificate și există prezența unei defecțiuni.

## 7.6.2. Concluzii

În urma efectuării testului de mediu timp de 240 de ore, s-au observat următoarele modificări pe suprafața panoului ușii:

- Suprafața a fost deformată (încrêțire, ondulare) pe panoul ușilor după efectuarea testului de mediu la temperatura de 85°C/85%HR’.
- Geamul fix al ușii a fost detașat în timpul testării la 82°C. Problema este cunoscută și întâlnită în timpul testului de durabilitate. Geamul ușii a fost fixat cu bandă adezivă pentru a continua derularea testului.
- S-a observat și deformarea suprafeței superioare a ușii. Problema este cunoscută din prima parte a rezultatelor testului de durabilitate. După finalizarea testului, pe suprafața superioară a ușii au rămas doar semne, celelalte componente au revenit la starea inițială.

## Test accelerat de îmbătrânire termică

În urma testului de îmbătrânire termică se prezintă rezultatele testării panoului interior al ușii expus timp de 500 de ore, la temperaturi de 80 °C, 90 °C și 100 °C și 50% umiditate. Testul a fost efectuat în laboratorul de testare a componentelor și subsistemelor conform CETP:00.00-1467 și ISO 75-1:2020.

## 7.7. Metoda de testare

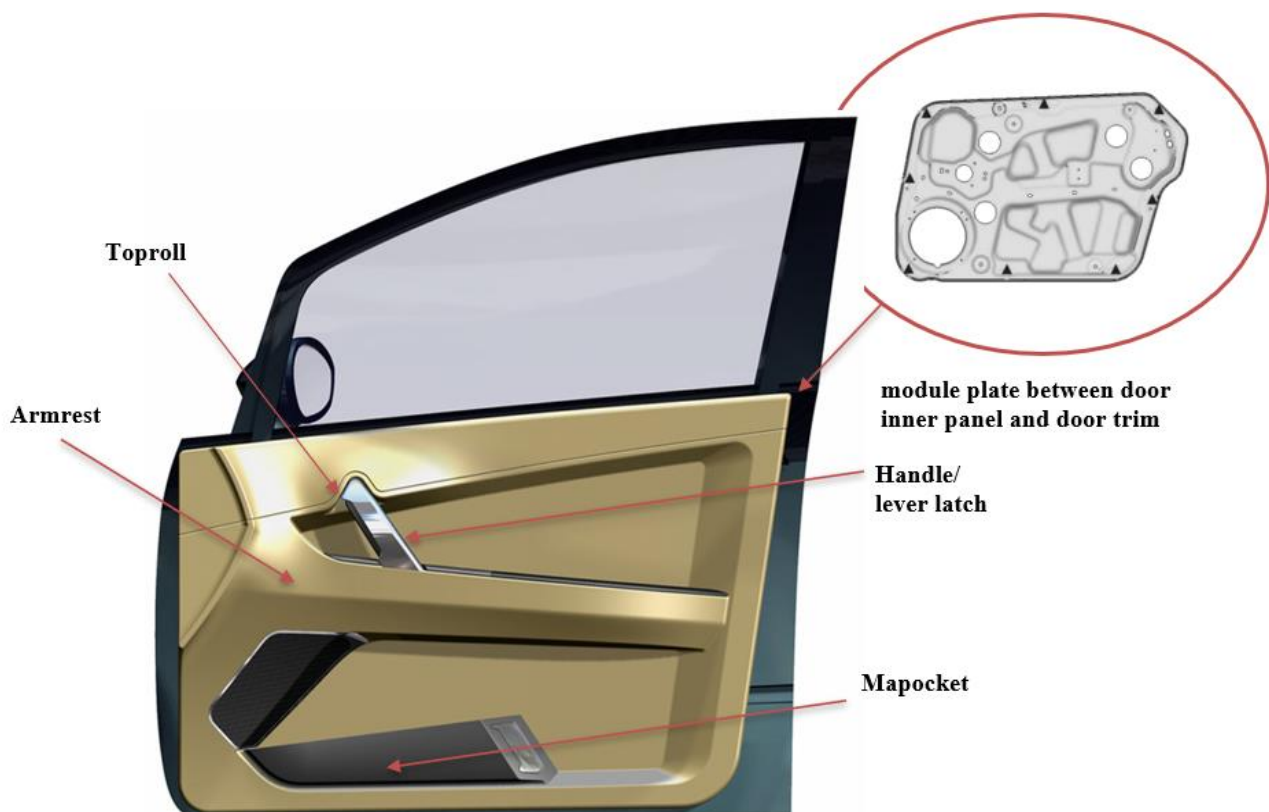
Această metodă de testare este utilizată pentru evaluarea performanței materialului componentelor după expunerea pe termen lung la căldură și are scopul de a evalua atât efectul pe termen lung asupra aspectului, cât și proprietățile dimensionale ale componentelor testate. Apariția oricăreia dintre următoarele elemente se înregistrează ca deteriorare și conduce la respingerea componentei: pierdere

luciu, bășici, deformare, distorsiune, delaminare, crăpare, deteriorare a fibrelor, încrețire, ondulare.

## 7.8. Pregătirea experimentală

Conform ASTM D3045 și BS EN 60068-2, componentele panoului ușii au fost supuse la condiții extreme de temperatură și au fost testate pentru validarea rezistenței și simularea proprietăților funcționale. S-a menținut conformitatea activităților asociate procesului cu standardele ISO17025, IATF16949 și ISO 45001.

Componentele ansamblului ușii supuse testului de îmbătrânire termică pot fi văzute în Fig. 7.14..

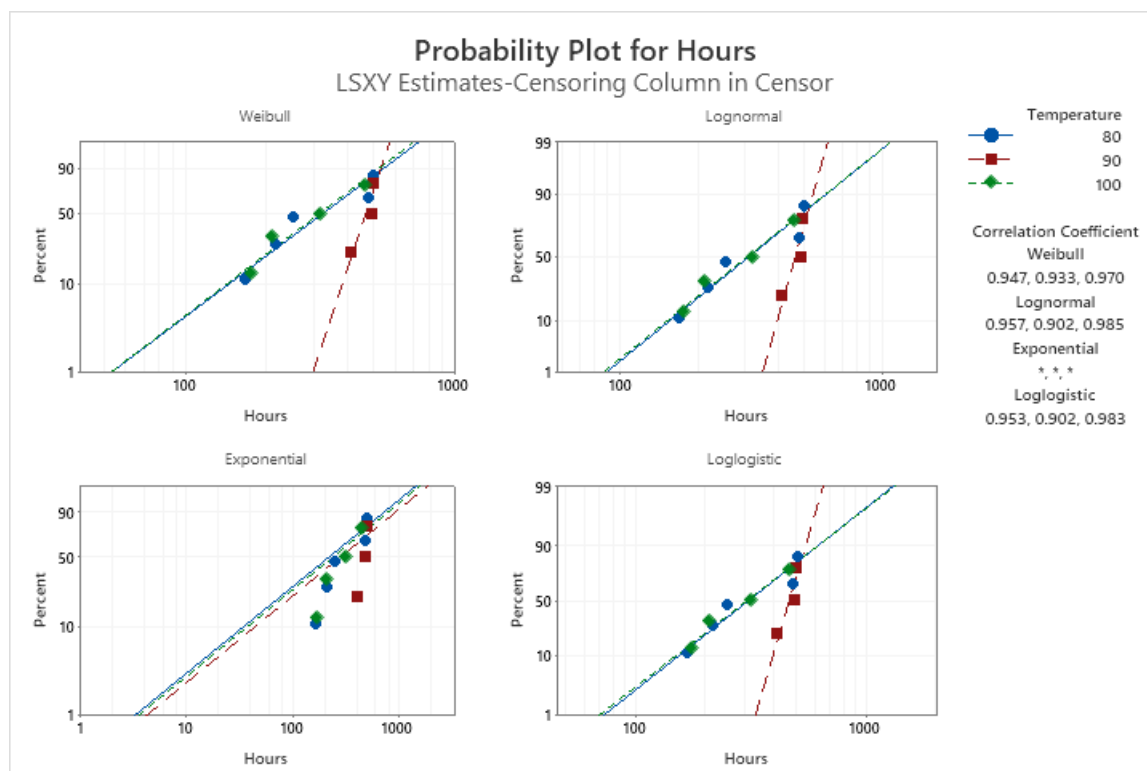


**Fig. 7.14** Componente panou ușă [\*\*\*04, \*\*\*05]

Testul de îmbătrânire termică a fost efectuat pe componentele panoului ușii, iar rezultatele au fost prezentate într-un un studiu de caz în programul Minitab. Au fost testate șase probe la fiecare temperatură de 80 °C, 90 °C și 100 °C.

### 7.8.1. Distribuția Weibull (ore versus temperatură)

Distribuția Weibull analizează datele de durată de viață ale componentelor și a timpului de defectare în etapa de proiectare și în timpul utilizării (in-service). Scopul testului a fost de a estima durată de viață a componentei proiectate la temperatura de 70 °C.



**Fig. 7.15** Graficul de probabilitate – Corelație cu distribuția Weibull, lognormală, exponențială și loglogistică

Au fost generate următoarele distribuții:

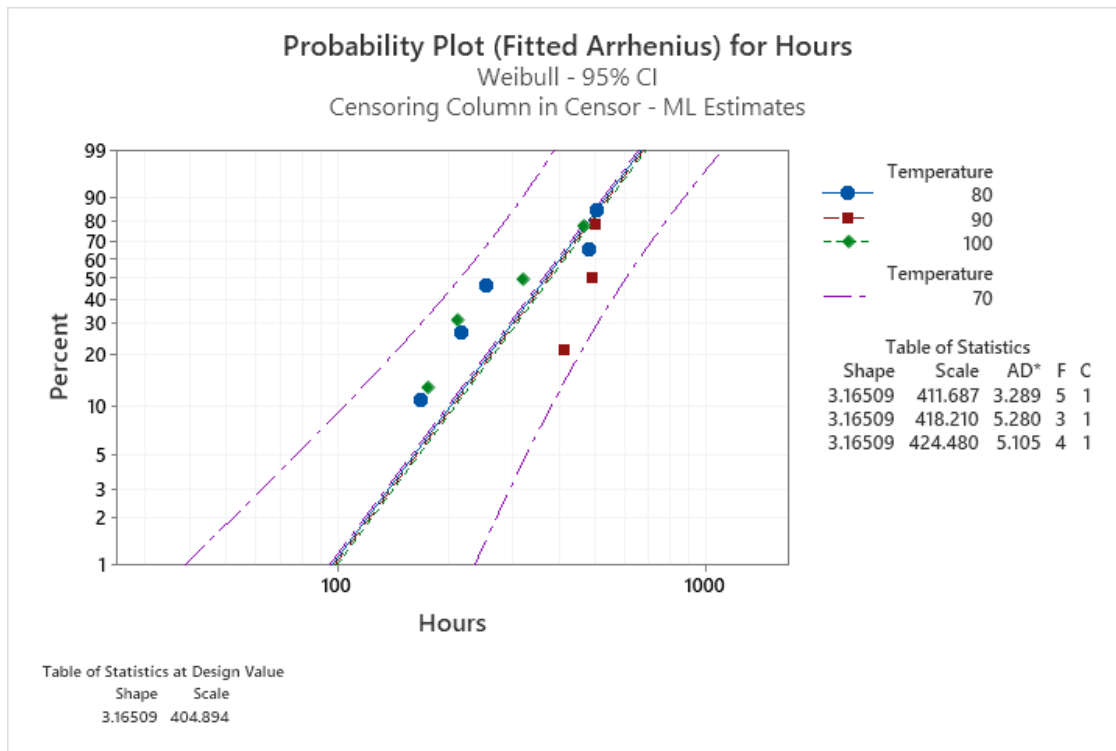
- Distribuția probabilității Weibull de estimare a orelor;
- Distribuția probabilității temperaturilor minime atribuite pentru testarea expunerii la căldură;
- Distribuția de probabilitate Weibull, lognormală, exponențială și normală sunt reprezentate grafic în Fig. 7.15.

Se poate concluziona că impactul duratei de expunere la temperatură determină în fiecare stadiu gradul de degradare al componentelor. Se constată tendința de deteriorare cu impact 80 %, respectiv dintr-un număr de 14 componente doar 3 au trecut testul.

### 7.8.2. Distribuția Arrhenius (ore versus temperatură)

Relația Arrhenius a fost folosită în grafic pentru a descrie elementele care se deteriorează în timpul expunerii la temperatură. Datele colectate, au fost utilizate pentru a genera o corelație de probabilitate Weibull inversă, așa cum se arată în Fig. 7.16.





**Fig. 7.16** Arrhenius - Graficul de probabilitate

Modelul Arrhenius [\*\*\*08]:

$$\ln T = \beta_0 + \beta_1 \frac{11604.83}{s+273.16} + \frac{1}{2.8246} W \quad (1)$$

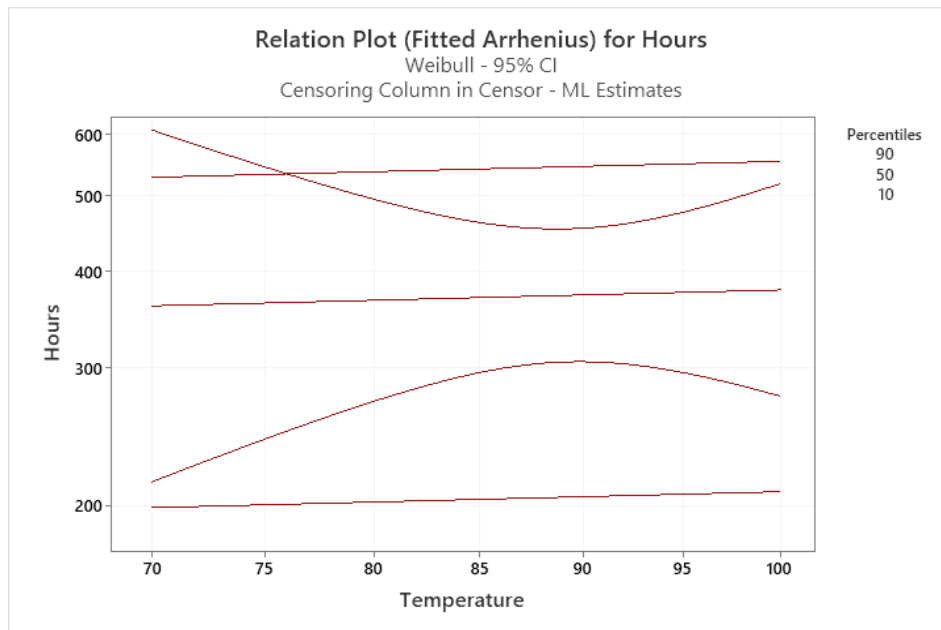
unde,

W= Gumbel/ Weibull

S = temperatura în °C.

$$\ln T = 6.59121 + (-0.0173753) \frac{11604.83}{s+273.16} + \frac{1}{2.8246} W \quad (2)$$

Timpul de defectare reprezintă durată de viață a produsului. Timpul de defectare este strâns legat de procesul de degradare fizică, care depinde de mai mulți factori. S-a stabilit o corelație între timpul de degradare și sarcina aplicată, iar viteza de evoluție a fost calculată folosind rezultatele testului de îmbătrânire, așa cum se prezintă în 7.17.



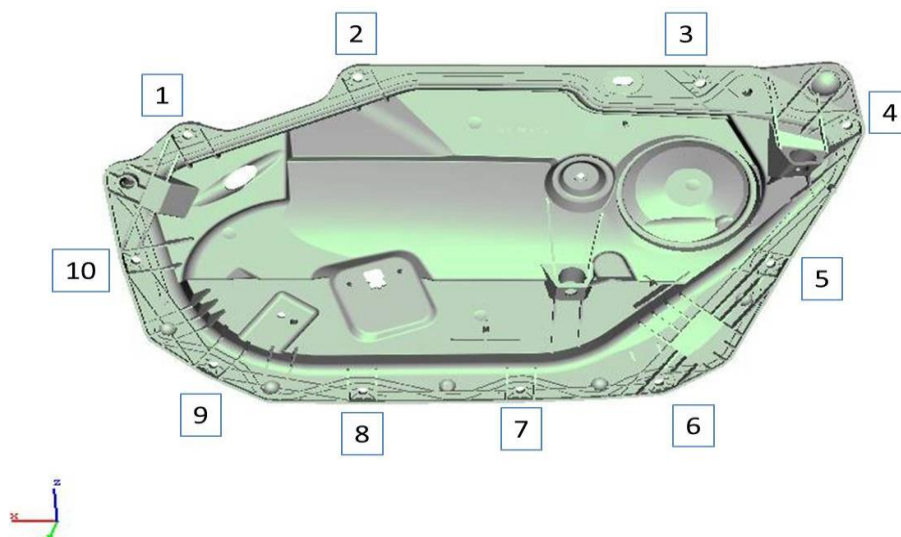
**Fig. 7.17** Arrhenius – Graficul de corelație

## 7.9. Raportul de testare

Raportul de testare prezintă rezultatele obținute în urma măsurărilor cuplului șuruburilor plăcilor modulului.

### 7.9.1. Măsurări de cuplu a plăcii modulului

Măsurările de cuplu efectuate pe șuruburile plăcii modulului au înregistrat date din două etape de măsurare, una înainte de test, numită rupere cuplu și a doua măsurare după expunerea la căldură, numită re-cuplu. Datele colectate în urma măsurărilor arată indicii de deteriorare, ambele etape nu se încadrează în specificațiile de material. Pozițiile măsurate sunt indicate în Fig. 7.18.



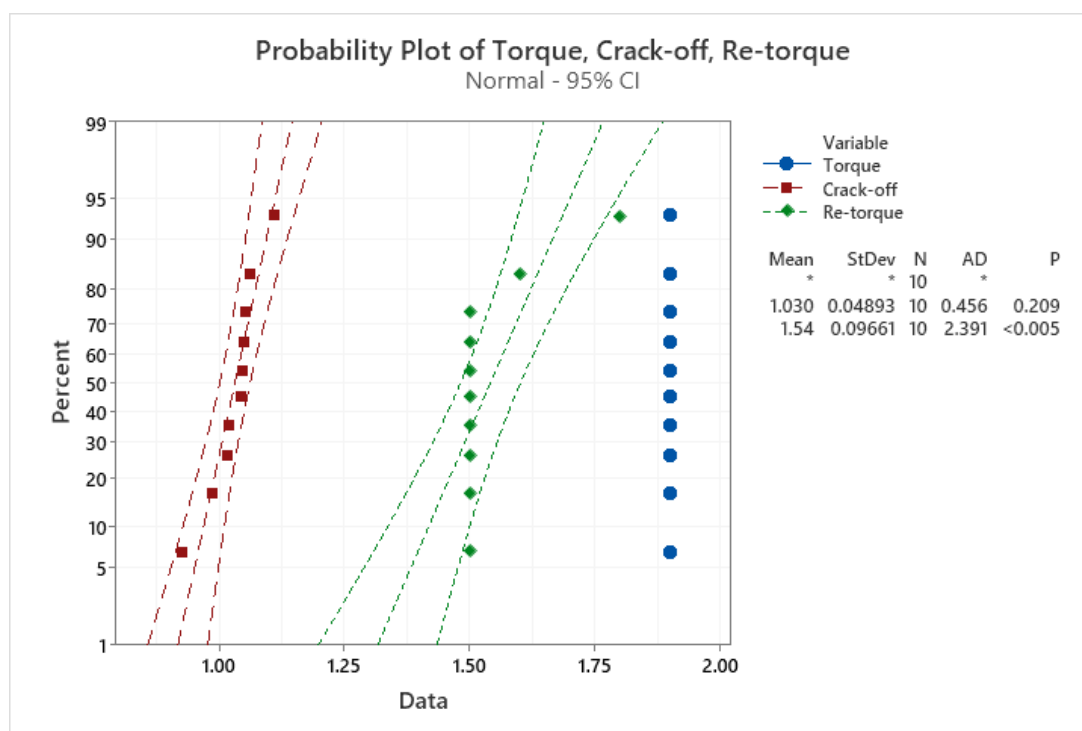
**Fig. 7.18** Pozițiile șuruburilor plăcilor modulului de ușă [S09]

Tabelul 7.10 prezintă datele înregistrate în urma măsurărilor de cuplu, ținând cont de cuplul nominal de 1,9Nm și toleranța de  $\pm 0,3$ .

**Table 7.10** Măsurători de crack-off și re- torque

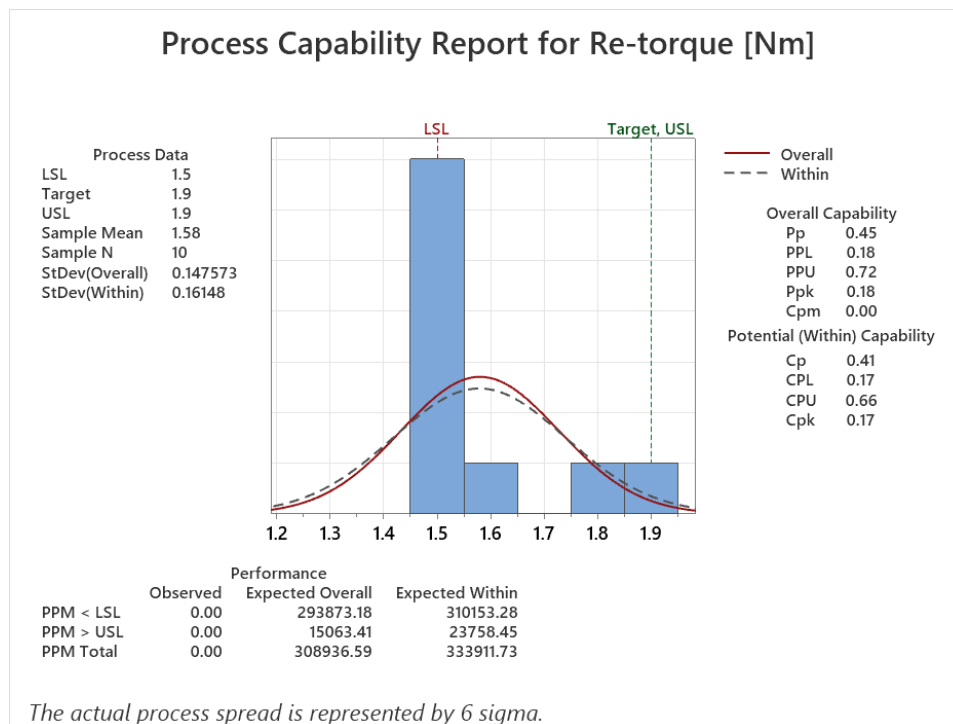
No.	Cuplul nominal [Nm]	Crack-off [Nm]	Re-torque [Nm]
1	1.9±0.3	0.926	1.8
2	1.9±0.3	0.986	1.5
3	1.9±0.3	1.11	1.6
4	1.9±0.3	1.06	1.5
5	1.9±0.3	1.043	1.5
6	1.9±0.3	1.045	1.5
7	1.9±0.3	1.018	1.5
8	1.9±0.3	1.051	1.5
9	1.9±0.3	1.016	1.5
10	1.9±0.3	1.1	1.9

Se poate observa cu ușurință că datele raportate sunt în specificațiile de material și respectă procedura de lucru.



**Fig. 7.19** Rezultatele cuplului șuruburilor plăcilor modulului de ușă [Nm]

Pe baza acestor date, în Fig. 7.19 a fost elaborat un grafic de probabilitate, pentru a reprezenta înregistrările efectuate. Astfel, poziționarea fiecărei măsurări poate fi văzută în conformitate cu datele cuplului nominal specificate în instrucțiunea de lucru. Au fost înregistrate valori sub toleranța nominală, așa cum se arată în Fig. 7.20, care arată că rezultatele testării conduc la neconformitate în raport cu specificațiile de testare.



**Fig. 7.20** Raport privind capabilitatea procesului la re-cuplu

## 7.9.2. Concluzii

Inspekția vizuală finală a componentelor a fost efectuată conform cerințelor BS EN 60068-2. În timpul celor 500 de ore de expunere la căldură, s-au observat defecte precum încrețirea și deformarea suprafețelor. Defecțiunea apare în primele 24 de ore de la expunerea la căldură de 80 °C. Componentele afectate sunt: încuietorea ușii, suprafața superioară a ușii, geamul fix al ușii; acestea nu au îndeplinit cerințele de testare stipulate în procedura de testare. Timpul de expunere a fost fixat în prealabil conform procedurii de testare, iar profilul de temperatură a fost stabilit de către client conform specificațiilor de material.

## 7.10. Concluzii și contribuții

Următoarele puncte cheie pot fi concluzionate din validarea rezultatelor testelor:

- Graficul de probabilitate al coeficientului de corelație prezintă distribuția Weibull, lognormală, exponențială și normală de estimare a orelor versus temperatură.
- Studiul de cercetare validează rezultatele colectate din cele trei teste de accelerare a duratei de viață: testul de durabilitate, testul accelerat de mediu și testul de îmbătrânire termică.
- Studiul prezintă efectul expunerii la temperatură în regim accelerat asupra proprietăților componentelor din polimeri, cu aplicabilitate la panourile ușilor. S-a demonstrat că pe măsură ce temperatura de îmbătrânire crește, materialul își păstrează proprietățile. Componentele testate au arătat o rată scăzută de deteriorare la expunerile de scurtă durată în comparație cu expunerea la o durată mai lungă.

Contribuțiile originale ale acestui capitol pot fi enumerate în următoarele categorii:

- a) **Contribuția teoretică:** Validarea rezultatelor obținute în urma testelor accelerate de durată de viață a componentelor panoului ușii.

- b) **Contribuția metodologică:** Proiectarea și implementarea procedurilor de testare pentru testarea durabilității, redactarea și revizuirea procedurilor de lucru pentru testare, stabilirea metodologiei și documentația experimentală.
- c) **Contribuția empirică:** Analiza rezultatelor folosind software-ul Alpha PLC, HBM Catman (achiziție de date), Quantum (hardware), CANalyser și Minitab Six Sigma.
- d) **Contribuția privind colectarea datelor:** Efectuarea tuturor testelor și măsurărilor folosind instrumente de măsurare și colectarea și interpretarea datelor.

Constatăările cercetării au fost publicate în:

- Dina Diga, Elena Lascu și Georgiana Chisui., "Key Life Tests for Automotive Design Validation" Proceedings of the 36th International Business Information Management Association (IBIMA), ISBN: 978-0-9998551-5-7, 4-5 November 2020, Granada, Spain.

## **Capitolul VIII. Recunoașterea succesului echipei și documentarea rezultatelor**

În acest capitol sunt structurate rezultatele finale ale tezei și orientarea acesteia către îmbunătățirea proceselor și produselor. Lucrarea prezintă informații structurate pe parcursul dezvoltării procesului 8D și Six Sigma, și prezintă bune practici în identificarea, analizarea și rezolvarea problemelor din industria auto.

### **Indicatori de performanță**

#### **8.1. D6: Validarea Rezultatelor**

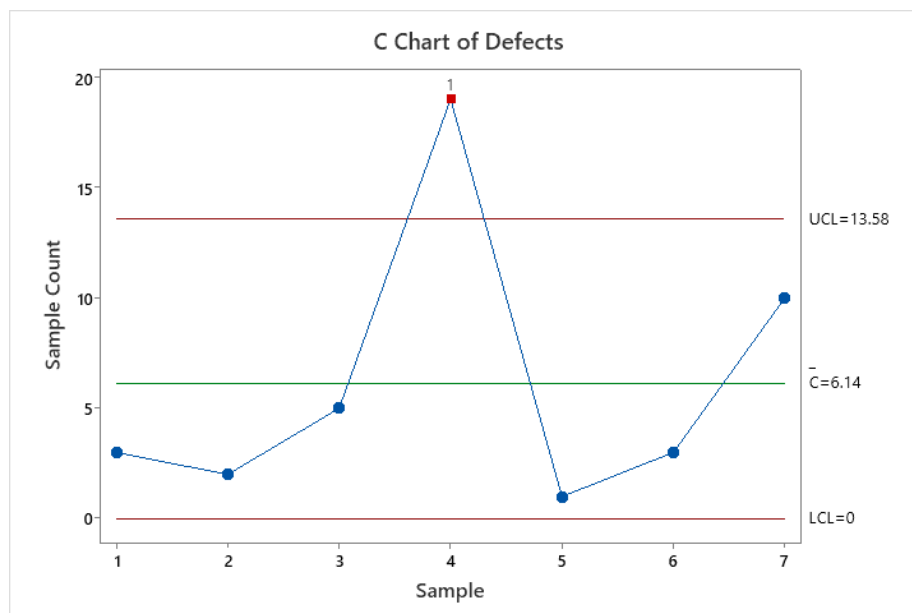
Rapoartele testelor au arătat o serie de rezultate obținute în urma expunerii componentelor la diferite temperaturi și solicitări. În urma acestor rezultate au fost identificate defecte ale componentelor sistemului ușii, defecte care au avut un impact major în nevalidarea produsului final. Tabelul 8.1 prezintă defectele identificate în procesul de validare.

**Table 8.1** Defecte ale rapoartelor de validare

No.	Descrierea defectului	Defect nr.	Validat
1	Geamul ușii detașat	3	Raport de testare
2	Suprafața superioară a ușii deformată	2	Raport de testare
3	Probleme de blocare și deblocare a mânerului ușii	5	Raport de calitate
4	Balamalele și șuruburile caroseriei, încuietoarea și șuruburile de pe striker nu îndeplinesc condițiile de măsurare cuplu.	19	Raport de testare
5	Decalajul panoului ușii este de 2,5 mm, în afara specificațiilor	1	Raport de testare
6	Suprafața panoului ușii este deformată	3	Raport de testare

7	Cuplului șuruburilor plăcilor modulului de ușă nu îndeplinește specificațiile de testare	10	Raport de testare
---	--	----	-------------------

Graficul din Fig. 8.1 arată că numărul mediu de defecte per componentă este de 6,14 și nu a îndeplinit cerințele specificațiilor deoarece datele sunt în afara limitelor de control.



**Fig. 8.1** Mostre defecte

Planul de calitate al produsului este prezentat ca o matrice de calcul între instrumentele calitative și dovezile cantitative. Raportul calitativ-cantitativ trebuie să fie de 3:1, așa cum se arată în Tabelul 8.2.

**Table 8.2** Plan de calitate a produsului

Cerințe de sistem pentru uși	Impact asupra Clientului	Calitativ						Cantitativ		
		Specificații de proiectare	Revizuirea procesului	Simulare	FMEA	Test	Audit	QRR	DVP	QRR/DVP
Încuietoare mâner ușă - piese reparate în service	5		3		1		3	80	15	5.33
Prelucrare Top roller - adăugarea unui strat de fibre pe piele	5		3	3	1	3		45	30	1.5
Încuietoare mânerului ușii - Modificare Design	5	5			1			40	50	0.8
Balamalele și șuruburile caroseriei, încuietoare și șuruburile striker conform specificațiilor	5	3	3	3	1	3	3	65	45	1.44
Șuruburile plăcuței modulului ușii conform specificațiilor	5	3	3	3	1	3	3	65	45	1.44



**8.2. D7: Prevenirea recurenței și tehnici de analiză**

Tehnica de analiză utilizată în această etapă este analiza modului de defectare și a efectului care are ca scop principal determinarea efectelor potențiale, a cauzei defecțiunii, recomandările aferente fiecărei acțiuni în rezolvarea problemelor și prevenirea reapariției unei defecțiuni viitoare. Tabelul 8.3 prezintă toate neconformitățile identificate și pașii parcurși pentru procesul de rezolvare a problemelor.

**Table 8.3 FMEA**

Test	Modul de eroare identificat	Efecte potențiale	Cauza potențială a eșecului	Acțiune recomandată	Prevenire posibilă
KLT	Geamul ușii detașat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deteriorări în timpul montajului</li> <li>- Prelucrare necesară la operarea ulterioară</li> <li>- Afectare client</li> </ul>	Alegere greșită a materialului	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificarea pieselor</li> <li>- Confirmare revizuire piese cu furnizorul</li> <li>- Înlocuire garnitura</li> <li>- Montare garnitura cu adeziv pe geamul fix al ușii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retestarea pieselor la furnizor</li> <li>- Revizuirea procesului furnizorului</li> </ul>
	Top roller a fost deformată la sfârșitul ciclului 45 °C/ 85% RH	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Timp pierdut</li> <li>- Deteriorarea produsului</li> </ul>	Impactul temperaturii Calitatea slabă a pielii sau tipul de piele inadecvat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Re-testarea Top roll</li> <li>- Adăugarea unui strat de fibre pielii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retestarea pieselor la furnizor</li> <li>- Revizuirea procesului furnizorului</li> </ul>
	Probleme de blocare și deblocare a mânerului ușii la temperaturi scăzute	Modificare design mâner ușa	Nerespectarea toleranțelor de proiectare	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revizuire Design</li> <li>- Revizuirea pieselor cu furnizorul</li> <li>- Specificarea toleranțelor componentelor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificarea ansamblului pieselor</li> <li>- DFMEA</li> <li>- Audit de proces la furnizor</li> </ul>
	Balamalele și șuruburile caroseriei, încuietoare și șuruburile - pierderea proprietăților	Componenta se detașează după vânzarea vehiculului sau în funcționare	Design greșit a găurii de montare a componentei Fixare greșită	Revizuirea designului piesei (DFMEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificarea ansamblului pieselor</li> <li>- DFMEA</li> <li>- Audit de proces la furnizor</li> </ul>
AET	Decalajul panoului ușii este de 2,5 mm, în afara specificațiilor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performanța produsului nu este optimă</li> <li>- Afectează clientul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scule utilizate incorect</li> <li>- Montarea necesită abilități adecvate</li> </ul>	Revizuirea procesului pieselor (PFMEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificarea ansamblului pieselor</li> <li>- PFMEA</li> <li>- Audit de proces la furnizor</li> </ul>

	Suprafața panoului ușilor s-a deformat la expunere la mediu 85°C/85HR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Componenta nu se poate monta</li> <li>- Deteriorarea componentei</li> </ul>	Încălzirea componentei la o temperatură necorespunzătoare	Temperatura de funcționare dată de solicitant trebuie modificată (vezi 85 °C) conform specificațiilor materialelor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificarea ansamblului pieselor</li> <li>- Revizuirea procesului</li> <li>- Retestarea pieselor</li> </ul>
	Geamul fix al ușii a fost desprins în timpul ciclului la temperatura de 82°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deteriorări în timpul montajului</li> <li>- Prelucrare necesară la operarea ulterioară</li> <li>- Afectare client</li> </ul>	Alegere greșită a materialului	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificarea pieselor</li> <li>- Confirmarea revizuirii pieselor cu furnizorul</li> <li>- Înlocuire garnitura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retestarea pieselor la furnizor</li> <li>- Revizuirea procesului furnizorului</li> </ul>
AHA T	Top roller increțit, deteriorare de distorsiune la 80°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Timp pierdut</li> <li>- Deteriorarea produsului</li> </ul>	Impactul expunerii la temperatură Calitatea slabă a pielii sau tipul de piele inadecvat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Re-testarea Top roll</li> <li>- Adăugarea unui strat de fibre piele</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retestarea pieselor la furnizor</li> <li>- Revizuirea procesului furnizorului</li> </ul>
	Geamul fix al ușii detașat la 80°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deteriorări în timpul montajului</li> <li>- Prelucrare necesară la operarea ulterioară</li> <li>- Afectare client</li> </ul>	Alegere greșită a materialului	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificarea pieselor</li> <li>- Confirmare revizuirea pieselor cu furnizorul</li> <li>- Înlocuire garnitura</li> <li>- Montare garnitura cu adeziv pe geamul fix al ușii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retestarea pieselor la furnizor</li> <li>- Revizuirea procesului furnizorului</li> </ul>
	Șuruburile plăcuței modulului ușii conform specificațiilor	Eșecul măsurării cuplului	Impactul expunerii la temperatură Nerespectarea toleranțelor de proiectare	Revizuirea designului piesei (DFMEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificarea ansamblului pieselor</li> <li>- DFMEA</li> <li>- Audit de proces la furnizor</li> </ul>

În urma FMEA, s-a ajuns la concluzia că 90% dintre problemele identificate au soluții durabile și doar 10% dintre probleme necesită o analiză mai detaliată.

### 8.3. D8: Măsurarea succesului echipei

Activitățile legate de testare și rezultatele obținute sunt prezentate în Fig. 8.2 - Fig. 8.5 printr-o serie de indicatori cheie de performanță.

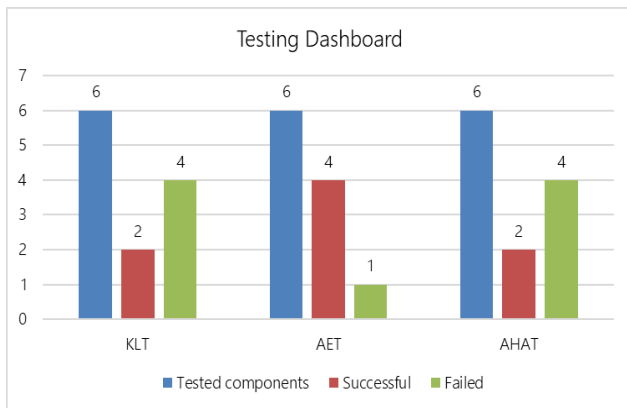


Fig. 8.2 Rezultatele testelor

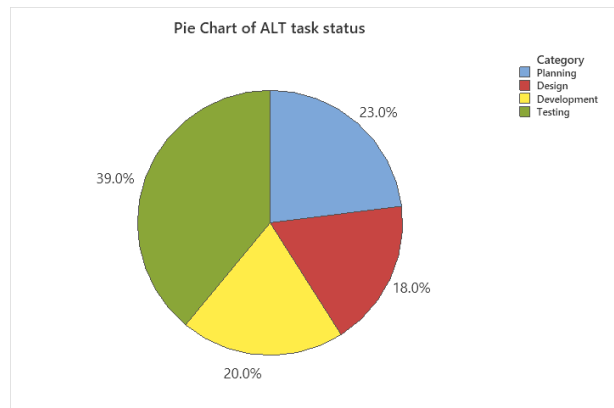


Fig. 8.3 ALT categorii

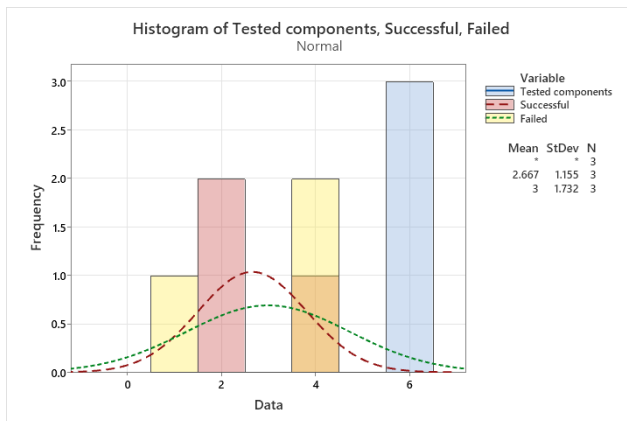


Fig. 8.4 Histograma componentelor testate

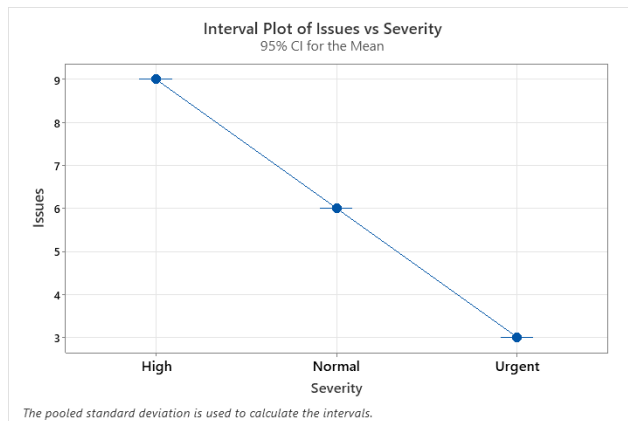


Fig. 8.5 Problemă vs impact de severitate

Indicatorii de performanță indică necesitatea îmbunătățirii continue și impactul componentelor defecte asupra întregului ansamblu al panoului sistemului ușa.

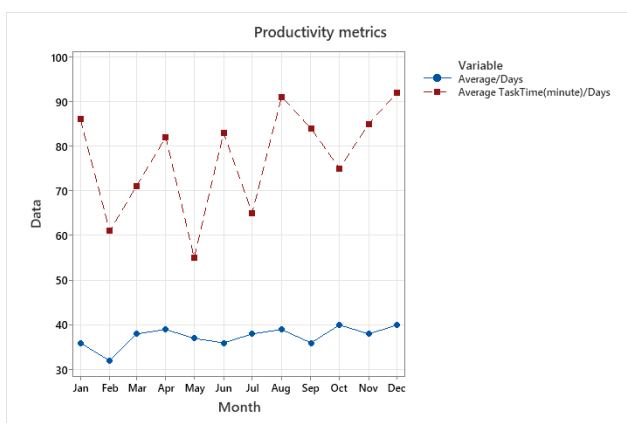


Fig. 8.6 Măsurile de productivitate

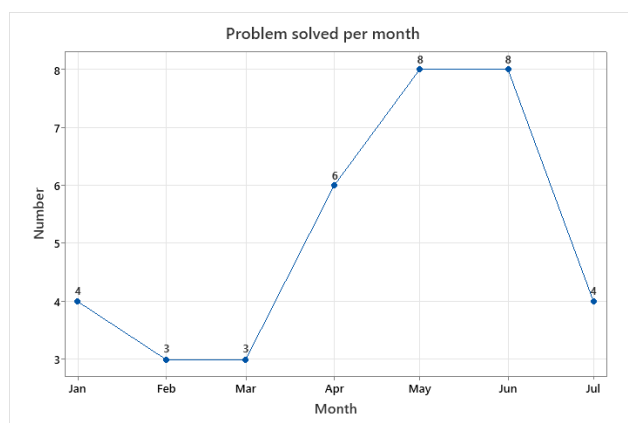


Fig. 8.7 Probleme rezolvate pe lună

Graficele din Fig. 8.6 și Fig. 8.7 arată contribuția echipei la rezolvarea problemelor și nivelul corespunzător de productivitate. Din dovezile prezentate se poate observa un grad ridicat de implicare în procesul de rezolvare a problemelor, echipa validând indicatorii de succes.

## 8.4. Concluzii și contribuții

Următoarele puncte cheie pot fi concluzionate din rezultatele finale:

- Acest capitol validează rezultatele și identifică o serie de defecte pe panoul ușii în urma testării accelerate;
- În planul de calitate a produsului, o serie de rapoarte calitative și cantitative sunt atribuite cerințelor sistemului de ușii;
- Analiza modului de defectare și a efectelor critice (FMEA) a fost utilizată pentru a determina efectele potențiale, cauzele importante, prevenirea și recomandările pentru îmbunătățirea continuă;
- Realizările echipei în ceea ce privește performanța și productivitatea, în urma analizelor și testării, au fost măsurate prin KPI.

Contribuțiile originale ale acestui capitol pot fi enumerate în următoarele categorii:

- a) **Contribuția teoretică:** Studiul contribuie la identificarea factorilor ce participă la optimizarea procesului și la fidelizarea clienților.
- b) **Contribuția metodologică:** Concepția, adaptarea și implementarea metodologiei.
- c) **Contribuția empirică:** Utilizarea indicatorilor de performanță (KPI) pentru reprezentarea grafică a rezultatelor.
- d) **Contribuția privind colectarea datelor:** Tehnici și metode de măsurare a succesului echipei.

## **Capitolul IX. Concluzii finale și principalele contribuții ale cercetării**

În ultimii ani, calitatea a fost adoptată în principal ca urmare a globalizării crescute și a pieței naționale și internaționale. Progresul continuu în toate domeniile industriei a facilitat comerțul și a conectat consumatorii, producătorii și comercianții interni și străini din întreaga lume. Performanța organizației este axată pe optimizarea proceselor și eliminarea problemelor prin utilizarea Six Sigma. Obiectivul organizației este să se concentreze pe inovare și îmbunătățirea proceselor. Informațiile obținute prin trecerea în revistă intensivă a literaturii de specialitate sunt folosite ca bază prin care sunt enunțate caracteristicile esențiale ale cercetării. Lucrarea prezintă instrumente de proces de rezolvare a problemelor, precum Six Sigma DMAIC (Definire, măsurare, analizare, îmbunătățire, control) și 8D (8 modalități de rezolvare a problemelor), care vizează analiza detaliată a problemei existente, urmând o serie de pași logici de definire, analiză, măsurare și rezolvare a acestora prin implementarea unui cadru eficient pentru prevenirea recurenței. Analiza SIPOC (Furnizori, intrări, proces, ieșiri, clienți) a fost utilizată pentru a identifica factori relevanți în realizarea unui proiect, în îmbunătățirea și optimizarea procesului. SPD (Definirea standard a problemei) a fost folosit pentru a detalia problema în termeni cuantificabili. Declararea problemei Is/is not a fost urmată de folosirea metodei 5Ws, care urmărește să evidențieze toți factorii cheie implicați în generarea neconformității prin prezentarea informațiilor primite de la părțile interesate implicate. Impactul afacerii a fost cuantificat în termeni de calitate, livrare, cost și performanță. În lucrare, metodele Ishikawa și Pareto au fost folosite pentru a formula cauza principală a problemei: „Ușa șoferului funcționează defectuos

în condiții de temperatură scăzută sau mediu înghețat - încuietorea ușii nu funcționează la temperaturi scăzute”. Analiza Ishikawa arată că cauzele potențiale sunt generate de semnalul electric - CANalyser și impactul climatic pe care îl are componenta la temperaturi scăzute sub temperaturi de  $-4^{\circ}\text{C}$ . Analiza Pareto arată că încuietorea ușii are cel mai mare impact asupra defecțiunii întregului subansamblu și provoacă alte defecte ale subansamblurilor la nivelul întregului vehicul. Dovezile grafice prezintă histograma TIS (Timp în service) și MIS (Nr de km la care este necesară intervenția), arătând durată de viață a vehiculului înregistrată pe piețele lumii. În același timp, au fost înregistrate defecțiuni a componentelor precum ușa șoferului, încuietorea și mânerul ușii la clienți din mai multe țări. Studiul de cercetare validează rezultatele înregistrate în urma a trei teste accelerate de durată de viață, și anume testul de durabilitate, testul de mediu și testul de îmbătrânire termică. Efectul accelerat al condițiilor de temperatură asupra proprietăților componentelor din material plastic a fost studiat pentru componenta testată în acest studiu. S-a demonstrat că pe măsură ce temperatura de îmbătrânire crește, materialul își păstrează proprietățile. Polimerii au indicat o rată scăzută de degradare la expunerile scurte în comparație cu expunerea lor la durate mai lungi. Studiul validează rezultatele și identifică o serie de defecte pe panoul ușii în urma testării accelerate de viață. Metodele de analiză Pareto, Ishikawa, DPMO (Defecte pe milion de oportunități), FMEA (Analiza modurilor de defectare și a efectelor acestora) au participat la validarea rezultatelor finale. Graficul de probabilitate al coeficientului de corelație este prezentat prin estimarea distribuției Weibull, lognormală, exponențială și normală, astfel încât să poată fi reprezentată grafic în fiecare etapă a cercetării. Această parte a analizei descrie o serie de macrocomenzi Minitab care fac versiuni ale sumei secvențiale a pătratelor și ale regresiei asupra tehnicilor statistice de bază și sugerează modalități în care macrocomenzile ar putea fi utilizate în statistici. Studiul a evidențiat necesitatea tehnicilor statistice în monitorizarea indicatorilor de performanță.

Contribuțiile originale ale tezei de doctorat pot fi conturate ca:

a) **Contribuția teoretică:**

- Documentarea aplicabilității metodei six-sigma în raport cu evoluțiile tehnologice din ingineria industrială.
- Formalizarea metodei de analiză 8D prin introducerea și elaborarea diagramelor de flux pentru optimizarea procesului.
- Utilizarea tehnicilor și instrumentelor de calitate în cercetare pentru rezolvarea problemelor din industria auto.
- Validarea rezultatelor obținute în urma testelor accelerate de durată de viață a componentelor panoului ușii.
- Optimizarea proceselor și abordarea KPI.

b) **Contribuția metodologică:**

- Orientări pentru alte cercetări viitoare privind metodologia Six Sigma.
- Dezvoltarea unui flux de proces de rezolvare a problemelor.
- Dezvoltarea unui nou concept pentru testarea accelerată și a durabilității cu aplicare pe panourile ușilor vehiculului.
- Dezvoltarea fluxului de proces folosind abordarea PDCA în etapa ICA și PCA.
- Optimizarea metodologiei de testare a durabilității panoului ușii și aplicabilitatea tehnicilor și metodologiei de testare, instrumentelor și echipamentelor.

**c) Contribuția empirică:**

- Pe baza cursurilor de certificare Six Sigma Yellow Belt și Green Belt, a fost posibilă desfășurarea tuturor proceselor și validarea procesului de rezolvare a problemelor și gestionarea situațiilor complexe.
- Studiu de caz la nivelul produsului Six Sigma folosind DPMO și reprezentarea raportului de capacitate procesului Sigma de 2.02, care confirmă nevoia de îmbunătățire.
- Implementarea procesului SIPOC pentru a stabili date transparente de intrare și ieșire între părțile interesate.
- Dezvoltarea fluxului de proces al metodei de măsurare a cuplului.
- Utilizarea diagramei SPD - 5Whys, Ishikawa și Pareto.
- Evaluarea caracteristicilor termice pe baza distribuției Weibull și a legii Arrhenius.
- Analiza rezultatelor testării în urma măsurătorilor cuplului, decalaj și aliniere, și a sarcinii de închidere și deschidere.
- Reprezentarea grafică a rezultatelor utilizând histograme și diferite reprezentări de diagrame folosind software-ul Minitab Six Sigma.
- Utilizarea KPI pentru reprezentarea grafică a rezultatelor.

**d) Contribuția privind colectarea datelor:**

- Informații relevante pentru studii viitoare.
- Toate fluxurile de proces au fost dezvoltate folosind Axure RP 10.
- Achiziția datelor pentru procesul de testare și prezentarea metodelor aferente testelor accelerate de durată de viață.
- Definirea și analiza reclamațiilor clienților prin TIS, MIS, țara vânzărilor și tipul problemei.
- Documentarea și organizarea procedurilor de testare, validarea procedurilor, interpretarea rezultatelor folosind Alpha PLC, HBM Catman (achiziție de date), Quantum (hardware), CANalyser, Axure RP10 și software Minitab Six Sigma.
- Aplicabilitatea tehnicilor și metodologiei pentru măsurarea succesului echipei.

Acțiunile și îmbunătățirile viitoare se vor concentra pe următoarele obiective:

Componente	Îmbunătățiri	Acțiuni
Încuietoarea ușii	Vehiculele afectate au fost rechemate în service	Problema este în etapa de Verificare a Proiectului și analiza virtuală CAE
	Toate vehiculele din aceeași serie sunt analizate pentru aceeași problemă - o primă cauză a fost identificată fiind toleranțele dintre elementele de fixare.	
	Dizolvant rezistent la apa în stare înghețată	
	Problema identificată a fost reanalizată și rezolvată prin	Lecții învățate



Suprafața superioară a ușii	adăugarea stratului de fibre pe suprafața pielii.	O remediere este disponibilă și a fost demonstrată ca fiind 100% eficientă; Comunicarea a fost escaladată prin Buletinul de service tehnic; Acțiunea de prevenire a recurenței (D7) este finalizată.
Geamul ușii	Geamul ușii a fost fixat prin adăugarea de adeziv pe garnitura ușii.	Lecții învățate O remediere este disponibilă și a fost demonstrată ca fiind 100% eficientă; Comunicarea a fost escaladată prin Buletinul de service tehnic; Acțiunea de prevenire a recurenței (D7) este finalizată.

Dezvoltarea unei noi componente sau a unui sistem necesită timp, resurse și costuri suplimentare. Problemele identificate în timpul procesului au dus la rezultate semnificative datorită faptului că componentele neconforme au fost înlocuite sau reperlucrate, vehiculele clienților pot fi reparate la retailer, eliminând astfel costurile suplimentare și întârzierile în proces. În același timp, având un impact important în identificarea lacunelor în proces și optimizarea procesului de rezolvare a problemelor. Toți pașii întreprinși în rezolvarea problemelor au avut un impact semnificativ asupra companiei și, în același timp, asupra indicatorilor de performanță ai echipei de ingineri.

Cercetările viitoare presupun următoarele puncte de interes:

- **Standardizarea procesului de rezolvare a problemelor și a timpilor alocați:** Fluxul procesului de rezolvare a problemelor prezentat în Capitolul IV va fi validat și aprobat de consiliul de conducere și apoi transpus în alte departamente.
- **Dezvoltarea unui model pentru reducerea nivelului de defectare în timpul testării atunci când componentele sunt expuse la temperaturi peste 80°C:** Modelul dezvoltat va presupune elaborarea unui program structural și atribuirea acestuia la setările camerei climatice, pentru a reduce nivelul de impact în timpul expunerii la temperaturi ridicate. Se va elabora o evaluare amănunțită a factorilor de impact și adaptabilitatea la noul model.
- **Analiza defectelor prin deteriorare și coroziune:** Încercări de impact sau de tracțiune pentru a determina proprietățile mecanice ale materialelor; Testare cu ultrasunete nedistructive sau teste radiografice pentru a localiza deteriorarea; Analize chimice (spectroscopie optică de emisie); Teste de duritate pentru materiale și componente (Brinell, Vickers, Rockwell) și Test de coroziune.
- **Integrarea tuturor conceptelor de testare într-o bază de date comună:** Crearea unei baze de date comune ca interfață între părțile interesate pentru a defini tipul de testare și proiectarea, planificarea, organizarea și gestionarea rapoartelor de testare. Scopul bazei de date va fi gestionarea datelor și trasabilitatea informațiilor.
- **Efectuarea de studii de calitate 8D și Six Sigma asupra altor componente și finisaje ale vehiculului:** Aplicarea studiului de calitate elaborat în capitolele VI și VII la celelalte componente de pe caroseria vehiculului, raportate în procesul de

dezvoltare sau fabricație aferent. Dezvoltarea unei strategii pentru a minimiza repetabilitatea neconformității.

Metodologia cercetării și principalele constatări pot fi transferate către alte componente din industria auto, dar și către alte industrii, după cum urmează:

- **Conștientizarea problemei:** Identificarea și definirea problemei are un rol esențial în investigarea produsului și inițierea preocupărilor ca prim răspuns la îngrijorarea / solicitatea clientului. Trasabilitatea informațiilor între părțile interesate facilitează procesul de rezolvare a problemei și de constituire a echipei de investigare.
- **Identificarea celor mai potrivite teste:** Factorii potențiali implicați în degradarea produsului pot fi identificați prin replicarea problemei folosind teste de validare. Testele accelerate de viață au aplicabilitate ridicată în diverse industrii, în special pentru produsele polimerice. ALT include: Test de durabilitate, Test de mediu, Test de îmbătrânire termică, Test de umiditate, Test de coroziune, Test de garanție, Test de oboseală etc. Rezultatele ALT au o fiabilitate de 90% și un nivel de încredere de 80% conform Ansys.
- **Documentarea și implementarea procedurilor de testare:** Conceptele Six Sigma sunt aplicate în orice domeniu industrial și creează o îmbunătățire continuă durabilă. Standardele de testare, procedurile de testare și instrucțiunile de lucru au o contribuție masivă în diferite industrii, cu aplicabilitate în testarea de durată de viață a produsului. Documentația de testare cuprinde strategia de testare, date de testare, planuri de testare, tipuri de teste, studii de caz, măsurări ale testelor și rezultate ale rapoartelor de testare.
- **Configurare instrumente de testare:** Dezvoltarea și proiectarea bancurilor / standurilor de testare pneumatice pot fi adaptate la mai multe tehnologii diferite, cu control și instrumentare complet integrate pentru măsurarea și certificarea sistemelor și componentelor complete, cu aplicabilitate la următoarele industrii: Auto, Aerospațială, Inginerie Civilă, Cercetare și dezvoltare materiale, Echipamente pentru agricultură etc.
- **Aplicarea software-urilor de testare pentru analiza rezultatelor:** Utilizarea software-ului pentru a testa componente și sisteme ajută la prevenirea erorilor, la îmbunătățirea performanței și la reducerea costurilor de dezvoltare.
- **Comunicarea la nivel de echipa a rezultatelor obținute:** Validarea rezultatelor în cadrul echipei este esențială, având un impact mare asupra fiecărei activități din proces. Măsurarea succesului echipei este benefică pentru motivarea echipei și validarea indicatorilor de performanță ca standard de calitate în organizație.

## Bibliografie

- [A01] A. Alowad, P. Samaranayake, K. Ahsan, H. Alidrisi and A. Karim (2021). Enhancing patient flow in emergency department using lean strategies—an integrated voice of customer and voice of process perspective, *Business Process Management Journal*, Vol. 27 No. 1, pp.75-105.
- [A02] A.B. Subramaniyan (2020). Reliability Assessment Methodologies for Photovoltaic Modules, Dissertation or Thesis.
- [A03] A. Chiarini (2012). Book: From total quality control to lean six sigma: evolution of the most important management systems for the excellence, Springer. [A04] A. Chiarini (2011). Japanese Total Quality Control, TQM, Deming's System of Profound Knowledge, BPR, Lean and Six Sigma, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 2, no. 4, pp. 332-355, Emerald Insight.
- [A05] A. Douglas, S. Middleton, J. Antony, S. Coleman (2009). Enhancing the Six Sigma problem-solving methodology using the systems thinking methodologies, *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. DOI: 10.1504/IJSSCA.2009.025166
- [A06] A. Pugna, R. Negrea and S. Miclea (2016). Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company, *Procedia - Social and Behavioural Sciences*, Vol. 221, pp. 308-316.
- [A07] A. Romle, A. Salleh, M. Zakaria, S. Zakinuddin, M. Zolkepli and R. Daud (2016) The Effects of TQM Practices on Organizational Culture: A New Movement. *World Applied Sciences Journal* 34 (5): 553-560, ISSN 1818-4952 © IDOSI Publications.
- [A08] A. S. Patel, K. M. Patel (2021). Critical review of literature on Lean Six Sigma methodology, *International Journal of Lean Six Sigma*.
- [B01] B. A. Lameijer, J. De Mastm and R. J.M.M. Does (2017). Lean Six Sigma Deployment and Maturity Models: A Critical Review, *Quality Management Journal*.  
<https://doi.org/10.1080/10686967.2017.12088376>
- [B02] B. Cazzell and J. M. Ulmer (2009). Measuring Excellence: A Closer Look at Malcolm Baldrige National Quality Award Winners in the Manufacturing Category”, *Journal of Technology Management & Innovation* v.4 n.1.
- [B03] B. Lindqvist (2015). Accelerated lifetime models - at NTNU.
- [B04] B. Marr (2010). Book: The 10 biggest mistakes companies make with KPIs.
- [B05] B. R. Krishnan and K. A. Prasath (2013). Six Sigma concept and DMAIC implementation, *International Journal of Business Management & Research (IJBMR)* ISSN 2249-6920, Vol. 3, Issue 2, pp. 111-114.
- [C01] C. A. Riesenberger and S. D. Sousa (2010). The 8D Methodology: An Effective Way to Reduce Recurrence of Customer Complaints? *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol III, WCE 2010.
- [C02] C. Fragassa and A. Pavlocic (2014). Using a Total quality strategy in a new practical approach for improving the product reliability in automotive industry, *International Journal for Quality Research*, 8(3) 297-310, ISSN 1800-6450.
- [C03] C. Stokes-Brown (2014). The Industrial Revolution, World History Project.
- [C04] C.V. Kifor (2006). Book: Quality engineering: 6 sigma improvement (Ingineria calității: îmbunătățirea 6 sigma), University Lucian Blaga, ISBN 9737390350

- [C05] C.V. Kifor and N. Tudor (2013). Quality System for Production Software as tool for monitoring and improving organization KPIs, *International Journal of Computers, Communications and Control*, ISSN 1841-9836, E-ISSN 1841-9844, Vol. 8, No. 2, pp. 236 – 247
- [C06] C.V. Kifor, C. Oprean, C. Alexe, L. Lobont (2011) Process based architecture for organization reengineering. *Proceedings of the 1st International Conference on Quality and Innovation in Engineering and Management*, ISBN 978 –973 – 662 – 614 – 2
- [D01] Dr. L. Freeman (2011). *Accelerated Life Testing, Tutorial with NASA and DOD Applications*, Institute for Defense Analyses.
- [D02] D. M. Buede (2009). *Book: The Engineering Design of Systems: Models and Methods*, Second Edition, Wiley Series in Systems Engineering and Management.
- [D03] D. M. Buede and W.D. Miller (2016). *Book: The Engineering Design of Systems*, Third Edition, Wiley Series in Systems Engineering and Management.
- [D04] D. Rodriguez (2020). *The Evolution of Six Sigma*.
- [D05] D. W. Benbow and A. Zarghami (2017). *Introduction To 8D Problem Solving (E-Book)*. ISBN: 978-0-87389-955-0.
- [E01] E Gijo, S. Bhat, and N.A. Jnanesh (2014). Application of Six Sigma methodology in a small-scale foundry industry, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 5 No. 2, pp. 193-211.
- [E02] E. Lascu, F.D. Lascu, F. Stinga and I. Severin (2020). Process redesign to reduce stocks of obsolete parts in automotive industry, *Quality Access to Success*, vol. 21, nr. 178, pp. 43-49
- [E03] E. P. W. M. Veenendaal and G. Bath (2013). *Book: Improving the Test Process: Implementing Improvement and Change - A Study Guide for the ISTQB Expert Level Module*.
- [E04] E. Shevtshenko (2014). Quality improvement methodologies for continuous improvement of production processes and product quality and their evolution, 9th International DAAAM Baltic Conference Industrial Engineering 24-26 April.
- [E05] E. Swan and T. O'Rourke (2018). *Book: The Problem-Solver's Toolkit: A Surprisingly Simple Guide to Your Lean Six Sigma Journey*, Independently Published.
- [E06] E. Tippmann, P. S. Scott and V. Mangematin (2012). Problem solving in MNCs: How local and global solutions are (and are not) created, *Journal of International Business Studies*, Vol. 43, No.8, pp. 746-771.
- [F01] F. Dia, N. Mbengue, O. Sarr, M. Diagne, M. Niasse, A. Dieye, M. Niang, B. Ba and C. Sene (2016). Model Associated with the Study of the Degradation Based on the Accelerated Test: A Literature Review. *Open Journal of Applied*, S. 6, 49-63.
- [F02] F. Franceschini, D. Maisano and L. Mastrogiacomo (2015). Customer requirement prioritization on QFD: a new proposal based on the generalized Yager's algorithm, *Research in Engineering Design* volume 26, pages171–187.
- [F03] F. Juliani, O. J. Oliveira (2020). Lean Six Sigma principles and practices under a management perspective, *Journal Production Planning and Control*, Vol.3, pp.1223-1244.
- [F04] F. Stinga, I. Severin, I.A. Mitache and E. Lascu (2020). Redesign of the curing area of the tire manufacturing process. *Sustainability*, MDPI, Vol. 12, Issue 17, 6909.
- [F05] F. W. Taylor (2013). *The Principles of Scientific Management 1910*, Ch. 2: The Principles of Scientific Management Excerpts, National Humanities Centre.
- [G01] G. Arcidiacono and A. Pieroni (2018). The Revolution Lean Six Sigma 4.0, *International Journal on Advanced Science Engineering*, Vol. 81, No. 1, ISSN: 2088-5334.

- [G2] G. Belforte, A. M. Bertetto and L. Mazza (2012). Test rig for friction force measurements in pneumatic components and seals, *Proceeding of the Institution of Mechanical engineering. Part J, Journal of Engineering Tribology*, vol. 227 n. 1, pp. 43-59. ISSN 1350-6501.
- [G03] G. Yadav, T. N. Desai (2016). Lean Six Sigma: a categorized review of the literature, *International Journal of Lean Six Sigma*.
- [H01] H. Hiraoka, T. Tanakaa, T. Sugaharaa and H. Saitoa (2021). Assembly model of mechanical products for their life cycle simulation, 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, *Procedia CIRP* 98, 553–55.
- [H02] H. Lester (2018). *Systems Engineering: Enabling Operations Management*, Books: Contemporary Issues and Research in Operations Management. DOI: 10.5772/intechopen.76224
- [H03] H. Molker, R. Gutkin and L. E. Asp (2019). Industrial Framework for Identification and Verification of Hot Spots in Automotive Composite Structures, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, Vol. 12, No. 22, pp. 107-120.
- [I01] I.A. Mitache, F. Stinga, and I. Severin (2020). Continuous improvement in practice within oil and gas industry, *Quality Access to Success*, vol. 21, nr. 175, pp. 52-58.
- [I02] I. Bass, Book: *Six Sigma Statistics with Excel and Minitab*, McGraw-Hill Professional Pub; 2nd edition. 2015.
- [I03] I. Severin, M.F. Ilinca, B. Dumitru and M. Caramihai (2018). Productivity increases through carousel posts balance for engine wiring fabrication: A Business Process Reengineering, Case Study, *Proc. 32nd IBIMA*, Seville, pp 1420-1431.
- [J01] J. A. Garza-Reyes (2015). Green lean and the need for Six Sigma *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 6 No. 3, pp. 226-248. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2014-0010>
- [J02] J. Antony, “Lean Six Sigma for higher education”, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2017.
- [J03] J. Antony, M. Sony, M. Dempsey, A. Brennan, T. Farrington and E. A. Cudney, “An evaluation into the limitations and emerging trends of Six Sigma: an empirical study”, *The TQM Journal*, 2019.
- [J04] J. Antony, R. Snee, R. Hoerl, “Lean Six Sigma: yesterday, today and tomorrow, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 34 No. 7, pp. 1073-1093, 2017.
- [J05] J. A. Defeo, J.M. Juran, *Juran’s Quality Handbook: “The complete guide to Performance Excellence*, McGraw-Hill Professional”, 2010.
- [J06] J. A. Defeo and W. Barnard, Book: “*Juran Institute's Six Sigma Breakthrough and Beyond: Quality Performance Breakthrough Methods*”, 2003.
- [J07] J. de Mast, J. Lokkerbol. “An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 139, Issue 2, pp. 604-614, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- [J08] J. Gangai and G.R. Naik (2014). Process Optimization by using Lean Manufacturing Technique (Six Sigma) – A Case Study in Manufacturing Industry, *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, ISSN: 2319 – 1058.
- [J09] J. Goding and M. Hammer (2001). Putting Six Sigma in Perspective, *Quality*, Vol. 40, No. 10, pp. 58-62.
- [J10] J. E. Ross, Book: *Total Quality Management, Text, Cases, and Readings*, Third Edition. 2017. <https://doi.org/10.1201/9780203735466>

- [J11] J. Jeston and J. Nelis (2006). *Business Process Management: Practical Guidelines to Successful Implementations*, Butterworth-Heinemann.
- [J12] J.M. Juran (2003). *Book: Juran on Leadership for Quality*, Simon and Schuster.
- [J13] J. Potkalitsky and J. Novak (2017). *Putting the RS into DMAIC*, The Center for Corporate and Professional Development, Kent State Facilitators.
- [J14] J. R. Vest and L. D. Gamm (2009) *A critical review of the research literature on Six Sigma, Lean and Studer Group's Hardwiring Excellence in the United States: the need to demonstrate and communicate the effectiveness of transformation strategies in healthcare*, *Implementation Science* Vol. 4, Art: 35.
- [J15] J. van Iwaarden, T. van der Wiele, B. Dale, R. Williams and B. Bertsch (2008). *The Six Sigma improvement approach: a transnational comparison*, *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207540802234050>
- [L01] L. A. P. Carmona (2019). *A Graphical Approach for Interpreting Out-of-Control Signals in Multivariate Control Charts*.
- [L02] L. Bertolaccini, A. Viti and A. Terzi (2015). *The Statistical point of view of Quality: The Lean Six Sigma methodology*. Doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.04.11
- [L03] L. B. Weinstein, J. A. Petrick, J. Castellano and R. Vokurka (2018). *Integrating Six Sigma Concepts in an MBA Quality Management Class*, *The Journal of Education for Business* 83(4):233-238. DOI: 10.3200/JOEB.83.4.233-238
- [L04] L. Fonseca, D. Leite, V. Lima (2014). *Six Sigma methodologies: Implementation and impacts on Portuguese small and medium companies (SMEs)*, *International Journal for Quality Research*.
- [L05] L. M. Klyatis (2012). *Book: Accelerated Reliability and Durability testing technology*, Wiley series in System Engineering and Management, Published by John Wiley & Sons, Inc.
- [L06] L. Ramanan, Dr M. Kumar and Dr K. Ramanakumar (2014). *Six Sigma - DMAIC Framework for Enhancing Quality in Engineering Educational Institutions*. *International Journal of Business and Management Invention*. ISSN (Online): 2319 – 8028, ISSN (Print): 2319 – 801X, [www.ijbmi.org](http://www.ijbmi.org) Vol. 3 Issue 1, pp.36-40.
- [M01] M. Aboelmaged (2010). *Six Sigma quality: A structured review and implications for future research*, *International Journal of Quality & Reliability Management* 27(3):268-317.
- [M02] M. Barney (2002). *Motorola's Second Generation*, American Society for Quality.
- [M03] M. B. Santos (2019). *The Integration of Six Sigma and Lean Manufacturing*, *Lean Manufacturing and Six Sigma*.
- [M04] M. Esmaily, M. Ström, J.E. Svensson, M. Halvarsson and L.G. Johansson (2015). *Corrosion Behavior of Alloy AM50 in Semisolid Cast and High-Pressure Die Cast States in Cyclic Conditions*, NACE International.
- [M05] M. G. Aboelmaged (2010). *Six Sigma quality: a structured review and implications for future research*, *International Journal of Quality and Reliability Management*.
- [M06] M. Hasan and M Chiu (2016). *The History and Development of Six Sigma Quality Management*, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- [M07] M. Hekmatpanah, M. Sadroddin, S. Shahbaz, F. Mokhtari and F. Fadavinia (2008). *Six Sigma Process and its Impact on the Organizational Productivity*, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 43.



- [M08] M. Koripadu, K. V. Subbaiah (2014). Problem Solving Management Using Six Sigma Tools & Techniques”. International Journal of Scientific and Technology Research, Vol. 3, Issue 2, ISSN 2277-8616.
- [M09] M. L. George (2002). Book: Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed, McGraw-Hill.
- [M10] M. Miletić and I. Miletić (2017). Lean Methodology and its derivatives usage for production systems in modern industry, Applied Engineering Letters, Vol.2, No.4, pp.144-148.
- [M11] M. M. Parast (2011). The effect of Six Sigma projects on innovation and firm performance, International Journal of Project Management, Vol. 29, Issue 1, pp. 45-55.
- [M12] M. Murray (2018). Supply chain management/ operations, Lean Six Sigma.
- [M13] M. P. Aristigueta (2008). The Integration of Quality and Performance, International Handbook of Practice-Based Performance Management.
- [M14] M. Patel, D. A. Desai (2018). Critical review and analysis of measuring the success of Six Sigma implementation in manufacturing sector”, International Journal of Quality & Reliability Management.
- [M15] M. Radley (2015). A3 Practical Problem Solving-Principal Document, GENEEO Consulting Limited.
- [M16] M. Sharma, S. Sharma and S. Sahni (2020). Structured Problem Solving: combined approach using 8D and Six Sigma - case study, Engineering Management in Production and Services 12(1):57-69.
- [M17] M. Sokovic, D. Pavletic and K. K. Pipan (2010). Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS. The Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.
- [M18] M. Singh and R. Rathi (2018). A structured review of Lean Six Sigma in various industrial sectors”, International Journal of Lean Six Sigma.
- [M19] M. Sony, J. Antony, S. Park and M. Mutingi (2020). Key Criticisms of Six Sigma: A Systematic Literature Review, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 67, Issue 3
- [M20] M. T. Patel (2017). Six Sigma in Service Organization – A Critical Review”, International Conference on Emerging Trends in Mechanical Engineering.
- [M21] M. Wojtaszak and W. Biały (2015). Problem solving techniques as a part of implementation of Six Sigma methodology in tire production. Case study, Management Systems in Production Engineering, nr 3 (19) 133—137.
- [O01] O. Busche (2015). The Lazy Leader's Toolbox: Root Cause Countermeasures RCCM.
- [P01] P. B Sangode and H. R. Hedao (2018). Six Sigma in Manufacturing Industries: Barriers to Implementation. Amity Journal of Operations Management, 3 (1), (12-25).
- [P02] P. Jirasukprasert, J. A. Garza-Reyes, H. Soriano-Meier and L. Rocha-Lona (2012). A Case Study of Defects Reduction in a Rubber Gloves Manufacturing Process by Applying Six Sigma Principles and DMAIC Problem Solving Methodology, International Conference on Industrial Engineering and Operations Management.
- [P03] P. Nonthaleerak and L.C. Hendry (2006). Six Sigma: literature review and key future research areas, International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage.
- [P04] P. Pusporini, K. Abhary and L. H.S. Luong (2012). Environmental Performance as Key Performance Indicators in the Lean Six-Sigma Methodology, Advanced Materials Research (Volumes 488-489).

- [P05] P. S. Pande (2001). Book: What is Six Sigma, McGraw-Hill.
- [Q01] Quality and Productivity Research Conference (2021). NISS, niss.org
- [R01] R. Andersson, H. Eriksson and H. Torstensson (2006). Similarities and differences between TQM, Six Sigma and Lean, The TQM Magazine.
- [R02] R. Basu (2011). Fit Six Sigma, A Lean Approach to Building Sustainable Quality Beyond Six Sigma, A John Wiley and Sons, Ltd., Publication.
- [R03] R Bhargav (2021). History and Evolution of Six Sigma.
- [R04] R. Cyert and J. March (1963). Book: Behavioral theory of the firm.
- [R05] R. D. Snee and R. Hoerl (2017). Time for Lean Six Sigma 2.0? Quality Progress 50-53.
- [R06] R. L. Vitalo (2016). Deming Revisited: The Real Quality Model for Commerce.
- [R07] R. Mann (2008). Revisiting a TQM research project: The quality improvement activities of TQM, In Honor of Professor Kanji's 70th Birthday. Total Quality Management & Business Excellence, Vol. 19, Issue 7-8.
- [R08] R. McAdam, S.A. Hazlett and J. Henderson (2005). A critical review of Six Sigma: exploring the dichotomies, International Journal of Organizational Analysis.
- [R09] R. Rohan (2014). Efficient management methods specific to production systems. Six Sigma Methodology - Quality Management Course (Metode eficiente de management specifice sistemelor de producție. Metodologia Six Sigma - Curs Managementul Calității).
- [R10] R. Sorensen (2010). Accelerated Life Testing - presentation, Sandia National Labs.
- [S01] S. Albliwi, J. Antony, S. A. H. Lim and T. van der Wiele (2014). Critical failure factors of Lean Six Sigma: a systematic literature review”, International Journal of Quality & Reliability Management.
- [S02] S. Barone, E. Lo Franco (2012). Book: Statistical and Managerial Techniques for Six Sigma Methodology: Theory and Application, John Wiley & Sons.
- [S03] S. Bisgaard and J. D. Mast (2006). After Six Sigma -What's Next? Quality Progress.
- [S04] S. Furterer (2009). Book: Lean Six Sigma in Service, Applications and Case Studies.
- [S05] S. M. Sapuan (2005). A Conceptual Design of the Concurrent Engineering Design System for Polymeric-Based Composite Automotive Pedals, American Journal of Applied Sciences.
- [S06] S. N. Selvaraj (2013). Applying Six Sigma for Quality Management in Educational Institutions, Global Business and Management Research: An International Journal 2(1):70-74.
- [S7] S. S. Chakravorty (2010). Where Process-Improvement Projects Go Wrong”, Wall Street J.
- [S08] S. Kadry (2013). Six Sigma Methodology for the Environment Sustainable Development, Mechanism Design for Sustainability pp 61-76.
- [S09] S. Vinay Seeba, S. Srikari and V. K. Banthia (2010). Design and analysis of a plastic door module for car body application, Microsoft Word - sasTech V9I1. Volume 9, Issue 1.
- [T01] T. M. Fehlmann (2016). Book: Managing Complexity: Uncover the Mysteries with Six Sigma Transfer Functions.
- [T02] T.M. Kubiak and D. W. Benbow (2016). The Certified Six Sigma Black Belt Handbook, Third Edition. Hardcover, 946 pages. ISBN: 978-0-87389-941-3
- [T03] T. Pyzdek and Paul Keller (2014). Six Sigma Handbook, Fourth Edition, McGraw-Hill Education. ISBN: 9780071840538
- [T04] T.T. Allen (2019). Book: Introduction to Engineering Statistics and Lean Six Sigma, Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems.

- [V01] V. Majstorovic and N. Stefanovic (2005). Six Sigma — the Methodology for Achieving Total Business Excellence, Published in: E. Kuljanic (Ed.) Advanced Manufacturing Systems and Technology, CISM Courses and Lectures No. 486, Springer Wien New York.
- [W01] W.H. Chen, L. Gao, J. Pan, P. Qian and Q.C. He (2018). Design of Accelerated Life Test Plans - Overview and Prospect, Chinese Journal of Mechanical Engineering vol. 31, Art. 13.
- [W02] W. Nelson (2004). Book: Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis, Volume 550 of Wiley Series in Probability and Statistics.
- [W03] W. Shewhart and W. E. Deming. The journal Quality Technology and Quantitative Management” published a special issue in on Advances in the Theory and Application of Statistical Process Control. ISSN 1684-3703.
- [X01] X. Zu, L. D. Fredendall and T. J. Douglas (2008). The evolving theory of quality management: The role of Six Sigma, Journal of Operations Management, Vol. 26, Issue 5, pp. 630-650.
- [Y01] Y. H. Kwak and F. T. Anbari (2006). Benefits, obstacles, and future of Six Sigma approach, Tec novation Vol. 26, Issues 5–6, pp. 708-71.
- [Y02] Y. Wooluru, S. D.R and P. Nagesh (2014). The process capability analysis – a tool for process performance measures and metrics – a case study, International Journal for Quality Research 8(3) 399-416, ISSN 1800-6450.
- [Z01] Z. Zhuo (2019). Research on using Six Sigma management to improve bank customer satisfaction, Zhuo International Journal of Quality Innovation.
- [\*\*\*01] Accelerated Life Testing Reference (2015). ReliaSoft Corporation.
- [\*\*\*02] ASTM D3045 <https://www.micomlab.com/micom-testing/astm-d3045/>
- [\*\*\*03] Basic Force Gauge <https://www.dmv-uk.com/specsheets/373.pdf>
- [\*\*\*04] Feeler Gauge <https://www.gerotools.ro>
- [\*\*\*05] Cad door trim [<https://grabcad.com/library/car-door—1>]
- [\*\*\*06] Gap and Step <https://www.stepgauge.com/>
- [\*\*\*07] Green Belt training module (2018). Product Engineering Six Sigma Team.
- [\*\*\*08] IATF 16949:2016 Quality management system for organizations in the automotive industry.
- [\*\*\*09] ISO/IEC/IEEE 15288:2015(en) Systems and software engineering — System life cycle processes.
- [\*\*\*10] ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration Laboratories.
- [\*\*\*11] Millbrook - Vehicle Environmental Testing Services | Millbrook | Specification Sheet.
- [\*\*\*12] PLC <https://www.unitronicsplc.com>
- [\*\*\*13] Programming and Problem Solving through C Language O Level / A Level, Chapter -2: Flowcharts for Problem Solving.
- [\*\*\*14] Project: Lean Six Sigma (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time, International Journal of Lean Six Sigma 1(1):9-29 Follow journal.
- [\*\*\*15] Renewing door hinge pins and hinges <https://www.howacarworks.com>
- [\*\*\*16] Six Sigma Yellow Belt certification course.
- [\*\*\*17] The Council for Six Sigma Certification (2018). [www.sixsigmacouncil.org](http://www.sixsigmacouncil.org)
- [\*\*\*18] Torque Wrench <https://www.machinemart.co.uk>
- [\*\*\*19] Vernier Calliper <https://www.dm-tools.co.uk>