



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
ROMÂNIA
UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ,
FARMACIE, ȘTIINȚE ȘI TEHNOLOGIE
„GEORGE EMIL PALADE”
DIN TÂRGU MUREȘ

UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ, FARMACIE, ȘTIINȚE ȘI TEHNOLOGIE „GEORGE EMIL PALADE” DIN TÂRGU MUREȘ

**ȘCOALA DOCTORALĂ DE LITERE, ȘTIINȚE UMANISTE ȘI APLICATE
DOMENIUL : INGINERIE ȘI MANAGEMENT**

CERCETĂRI PRIVIND ȚINEREA SUB CONTROL A NECONFORMITĂȚILOR ÎN SISTEMELE DE MANAGEMENT AL CALITĂȚII DIN INDUSTRIA AUTOMOTIVE

REZUMAT

Doctorand:

Ing. Sergiu-Adrian OGREAN

Conducător științific:

Prof. univ. dr. abil. ing. Liviu MOLDOVAN



TÂRGU MUREȘ

2024

CUPRINS

CAPITOLUL 1	4
FUNDAMENTELE ȘTIINȚIFICE ALE TEMEI DE CERCETARE.....	4
1.1 Actualitatea temei	4
1.2 Alegerea temei	4
1.3 Contextul și importanța cercetării.....	4
1.4 Obiectivele lucrării	4
1.5 Metodologia cercetării	5
1.6 Structura lucrării	5
CAPITOLUL 2	5
ANALIZA STADIULUI ACTUAL A SISTEMELOR DE MANAGEMENT AL CALITĂȚII ÎN DOMENIUL AUTOMOTIVE.....	5
2.1 Sisteme de management a calității (SMC)	5
2.2 Standarde ISO, IATF și alte norme pentru sisteme de management al calității în industria automotive	5
2.3 Evoluția SMC în industria automotive	6
2.4 Neconformități în industria automotive.....	6
2.5 Reclamațiile primite din partea clienților, gestionare lor și tipuri de reclamații din domeniul automotive	7
2.6 Metoda 8D de soluționare a anomaliilor, neconformităților și a reclamațiilor primite de la clienți	8
CAPITOLUL 3	8
ANALIZA STADIULUI ACTUAL DE IDENTIFICARE PRIN METODE DE CONTROL NEDESTRUCTIV A NECONFORMITĂȚILOR APĂRUTE ÎN PROCESELE DE PRODUCȚIE ȘI DEFECTELOR RECLAMATE DE CLIEȚI	8
3.1 Inspecția vizuală a produsului	8
3.2 Examinarea dimensională.....	9
3.3 Deblocarea modului electronic pentru testarea funcțională și interpretarea erorilor.....	10
3.4 Testarea funcțională	10
3.5 Test de raze X	11
3.6 Efectuarea măsurătorilor electrice	12
3.7 Test de temperatură în „trepte”	12
3.8 Teste în mediu de ulei	13
3.9 Teste de șoc termic asupra modului electronic	14
3.10 Test de vibrații	15

3.11 Teste de cositor	15
3.12 Testul forței de împingere și tragere	16
3.13 Examinare cu substanță de contrast.....	17
3.14 Testul de ceață salină	18
CAPITOLUL 4	19
ANALIZA STATISTICĂ A DATELOR PROVENITE DE LA RECLAMAȚILE PRIMATE DE LA CLIEȚI ȘI A NECONFORMITĂȚILOR IDENTIFICATE DIN CADRUL PRODUCȚIEI	19
4.1 Controlul statistic și utilizarea datelor statistice în cadrul sistemului de management al calității	19
4.2 Analiza statistică a datelor provenite din reclamații.....	20
4.2.2 Analiza frecvențelor	20
4.2.3 Testul χ^2 bivariat (chi square).....	21
CAPITOLUL 5	22
AUDITUL DE PRODUS ÎN VEDEREA IDENTIFICĂRII NECONFORMITĂȚILOR ȘI DEFECTELOR CU AJUTORUL TESTELOR DE FIABILITATE	22
5.1 Auditul de produs.....	22
5.1.1 Testul de fiabilitate și auditul de produs	22
5.1.2 Planificarea auditului de produs.....	23
CAPITOLUL 6	23
AUDITUL DE PRODUS „INTELIGENT”	23
6.1 Prevenirea reclamațiilor clienților și reducerea efortului de testare Z (teste de fiabilitate) prin eșantionare bazată pe date „Audit de produs inteligent”	23
CAPITOLUL 7	25
CONTRIBUȚII PERSONALE	25
7.1 Contribuții personale teoretice.....	25
7.2 Contribuții personale experimentale.....	29
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	34

CAPITOLUL 1

FUNDAMENTELE ȘTIINȚIFICE ALE TEMEI DE CERCETARE

1.1 Actualitatea temei

Sistemele de management al calității (SMC) sunt esențiale pentru asigurarea conformității cu standardele internaționale, minimizarea neconformităților și prevenirea defectelor în producția industrială, în special în sectorul automotive. În contextul digitalizării și al Industriei 4.0, integrarea tehnologiilor avansate în aceste sisteme permite monitorizarea în timp real și analiza predictivă a calității, facilitând intervenții rapide și precise. Într-un mediu global competitiv, eficiența operațională și optimizarea costurilor sunt cruciale, făcând din reducerea neconformităților o prioritate pentru menținerea competitivității și reputației.

1.2 Alegerea temei

Tema cercetării, „Cercetări privind ținerea sub control a neconformităților în sistemele de management al calității din industria automotive”, este motivată de importanța critică a calității în acest sector. Industria automotive necesită standarde stricte pentru a asigura produse sigure și fiabile, iar defectele pot avea consecințe financiare și reputaționale grave. Lucrarea se propune să aducă o contribuție semnificativă în înțelegerea relației dintre SMC și neconformități, oferind recomandări practice pentru optimizarea acestor sisteme.

1.3 Contextul și importanța cercetării

Industria automotive este caracterizată de competiție intensă și reglementări stricte, ceea ce face ca un SMC eficient să fie vital pentru menținerea calității produselor. Standardele ISO 9001:2015 și IATF 16949 sunt larg adoptate pentru a asigura calitatea și îmbunătățirea continuă. Cercetarea își propune să analizeze cum implementarea SMC influențează calitatea produselor, identificând factorii care contribuie la succesul acestor sisteme și oferind soluții practice pentru companiile din acest sector.

1.4 Obiectivele lucrării

Obiectivele cercetării includ evaluarea eficacității SMC în reducerea neconformităților, identificarea principalelor tipuri de neconformități și cauzele lor, analiza impactului SMC asupra companiei studiate și formularea de recomandări pentru îmbunătățirea acestor sisteme. Scopul final este de a propune noi soluții și metode pentru optimizarea SMC, adaptate cerințelor din Industria 4.0.

1.5 Metodologia cercetării

Metodologia cercetării va combina metode cantitative și calitative, incluzând studii de caz, colectarea și analiza datelor din cadrul companiei, și verificarea documentelor interne existente. Analiza statistică și metodele calitative vor fi utilizate pentru a interpreta datele și a elabora noi metode de identificare și tratare a neconformităților.

1.6 Structura lucrării

Teza este structurată în 7 capitole, acoperind fundamentele teoretice, analiza stadiului actual al SMC, identificarea neconformităților prin metode de control nedistructiv, analiza statistică a reclamațiilor, auditul de produs, contribuțiile proprii pentru metode de calcul și implementarea unui sistem eficient de audit, și concluziile finale.

CAPITOLUL 2

ANALIZA STADIULUI ACTUAL A SISTEMELOR DE MANAGEMENT AL CALITĂȚII ÎN DOMENIUL AUTOMOTIVE

2.1 Sisteme de management a calității (SMC)

Acest segment definește și explică conceptele fundamentale ale unui sistem de management al calității (SMC) în industria automotive. SMC reprezintă un set de politici, procese și proceduri care asigură conformitatea produselor și serviciilor cu cerințele clienților și reglementările specifice sectorului. Principalele concepte includ calitatea, politica de calitate, obiectivele calității, planificarea calității, controlul calității, asigurarea calității, îmbunătățirea continuă și satisfacția clientului.

2.2 Standarde ISO, IATF și alte norme pentru sisteme de management al calității în industria automotive

Acest subcapitol discută despre standardele internaționale ISO și IATF care reglementează sistemele de management al calității în industria automotive. ISO 9001:2015 este standardul de bază pentru SMC, iar IATF 16949 adaugă cerințe suplimentare specifice industriei auto. Aceste standarde facilitează îmbunătățirea continuă, prevenirea defectelor și eficiența operațională. Importanța auditului intern al calității, utilizarea unei abordări bazate pe riscuri și leadershipul managementului sunt elemente critice în implementarea eficientă a acestor standarde.

2.3 Evoluția SMC în industria automotive

Evoluția sistemelor de management al calității în industria automotive se îndreaptă spre integrarea tehnologiilor avansate și digitalizarea proceselor de producție. Conceptul de „Quality 4.0” este central în această transformare, implicând utilizarea inteligenței artificiale și a analizei datelor pentru îmbunătățirea calității produselor. De asemenea, standardele de planificare avansată a calității produsului (APQP) și procesul de aprobare a pieselor de producție (PPAP) joacă un rol esențial în menținerea standardelor ridicate în fața provocărilor globale.

2.4 Neconformități în industria automotive

Industria automotive se confruntă cu provocarea de a menține calitatea în fața creșterii complexității proceselor de producție și a cerințelor stricte ale pieței globale. Neconformitățile, abateri de la specificațiile sau standardele stabilite, pot afecta semnificativ performanța organizațională, satisfacția clienților și reputația companiilor. Acestea pot apărea în diverse etape ale ciclului de viață al produsului, inclusiv în proiectare, producție și lanțul de aprovizionare.

Cauzele neconformităților includ probleme de proiectare, erori de proces în producție și probleme în lanțul de aprovizionare. De exemplu, o proiectare necorespunzătoare poate duce la produse care nu îndeplinesc specificațiile, iar deficiențele în procesele de fabricație sau calitatea slabă a componentelor furnizate de terți pot duce la neconformități care afectează durabilitatea și performanța produsului final.

Gestionarea neconformităților este esențială pentru a asigura produse de înaltă calitate și a menține competitivitatea pe piață. Sunt utilizate metode precum audituri de calitate, analiza cauzei-rădăcină și îmbunătățirea continuă a proceselor pentru a identifica și corecta neconformitățile. Auditurile interne și externe sunt cruciale pentru a dezvălui probleme ascunse, iar metodele de analiză, precum Five Whys și FMEA, ajută la identificarea cauzelor fundamentale ale problemelor.

Neconformitățile pot fi clasificate în majore, minore și sistematice. Neconformitățile majore afectează semnificativ siguranța și performanța produsului și necesită acțiuni corective imediate. Neconformitățile minore, deși nu afectează direct funcționalitatea sau siguranța, pot influența aspecte precum estetica. Neconformitățile sistematice sunt legate de deficiențe în sistemele de management al calității și procesele organizaționale și necesită îmbunătățiri continue pentru a preveni reapariția problemelor.

2.5 Reclamațiile primite din partea clienților, gestionare lor și tipuri de reclamații din domeniul automotive

Reclamațiile din industria automotive se referă la plângerile clienților privind produse sau servicii care nu au îndeplinit așteptările. Acestea pot varia de la probleme minore, precum zgârieturi, până la defecțiuni majore, cum ar fi probleme la motor. Gestionarea reclamațiilor este esențială pentru menținerea calității și satisfacției clienților. Implementarea unor sisteme eficiente de management al reclamațiilor, precum CRM (Customer Relationship Management), este crucială pentru colectarea și analizarea feedback-ului clienților, facilitând identificarea rapidă a problemelor și personalizarea răspunsurilor.

Aspecte teoretice includ utilizarea metodologiilor QRQC, FMEA și diagrama Ishikawa pentru identificarea cauzelor fundamentale ale problemelor și implementarea măsurilor corective. În practică, studiile arată că implementarea unor noi sisteme de gestionare a reclamațiilor poate reduce semnificativ costurile și îmbunătăți performanța proceselor.

Provocările includ adaptarea la cerințele Industry 4.0, care necesită digitalizare pentru monitorizarea și analiza reclamațiilor în timp real. Producătorii auto trebuie să gestioneze reclamațiile în contextul tranziției către vehicule electrice și autonome, care aduc noi provocări.

Reclamațiile sunt clasificate în două tipuri principale: „0 km”, care apar înainte ca vehiculul să părăsească fabrica, și „teren”, care apar după ce vehiculul a fost livrat și utilizat. Gestionarea eficientă a acestor reclamații este esențială pentru menținerea calității și prevenirea costurilor asociate.

Abordările de gestionare a reclamațiilor pot fi reactive, concentrându-se pe rezolvarea problemelor apărute, sau proactive, prevenind problemele înainte de a apărea. Abordarea proactivă implică prevenirea problemelor prin detectarea timpurie, îmbunătățirea continuă și decizii bazate pe date. Abordarea reactivă se concentrează pe identificarea și corectarea rapidă a problemelor, utilizând feedback-ul clienților pentru a îmbunătăți procesele.

Procesul „No Trouble Found” (NTF) este un proces important în analiza pieselor returnate pentru defecte nedetectabile la inspecție. Acesta include etape precum colectarea și evaluarea datelor, testele de sistem și studiul procesului, având ca scop identificarea și soluționarea cauzelor rădăcină ale defecțiunilor nereproductibile, îmbunătățind astfel satisfacția clienților și reducând costurile.

2.6 Metoda 8D de soluționare a anomaliilor, neconformităților și a reclamațiilor primite de la clienți

Metoda 8D (Eight Disciplines) este o abordare structurată pentru rezolvarea problemelor, dezvoltată de Ford Motor Company, utilizată pe scară largă în industria auto pentru identificarea, corectarea și prevenirea problemelor recurente. Aceasta constă în 8 pași: formarea echipei (D1), descrierea problemei (D2), acțiuni de izolare temporară (D3), determinarea cauzelor rădăcină (D4), proiectarea și verificarea acțiunilor corective permanente (D5), implementarea și validarea acțiunilor corective (D6), prevenirea re-apariției (D7), și felicitarea echipei (D8).

Implementarea eficientă a metodei 8D implică formarea echipelor, utilizarea software-urilor avansate și promovarea unei culturi organizaționale orientate spre calitate.

Modul de aplicare și durata fiecărui pas al metodei sunt definite conform unei reguli de 2-14-60-90 de zile pentru rezolvare, iar schema de restrângere a problemelor și cauzelor este prezentată sub forma unei „pâlnii”. Metoda 8D este un instrument esențial pentru îmbunătățirea calității, reducerea costurilor și creșterea satisfacției clienților în industria auto, consolidând competitivitatea și performanța organizațională.

CAPITOLUL 3

ANALIZA STADIULUI ACTUAL DE IDENTIFICARE PRIN METODE DE CONTROL NEDESTRUCTIV A NECONFORMITĂȚILOR APĂRUTE ÎN PROCESELE DE PRODUCȚIE ȘI DEFECTELOR RECLAMATE DE CLIEȚI

3.1 Inspecția vizuală a produsului

Inspecția vizuală a produsului este o metodă esențială în managementul calității, folosită pentru a evalua conformitatea și integritatea componentelor și produselor finite. Aceasta implică examinarea sistematică a produselor pentru a identifica defecte precum zgârieturi, fisuri, deformări și alte neconformități care ar putea afecta performanța și estetica produsului. Utilizarea standardelor și procedurilor bine definite este crucială pentru asigurarea consistenței și obiectivității evaluărilor. Inspecția vizuală poate fi realizată manual sau automatizat, fiecare metodă având avantaje și limitări.

Avantajele inspecției vizuale includ rapiditatea, cost-eficiența și versatilitatea, în timp ce dezavantajele sale sunt subiectivitatea, limitările în detectare și dependența de condițiile de iluminare. Integrarea inspecției vizuale în sistemele de management al calității implică stabilirea standardelor clare de inspecție, formarea și certificarea inspectorilor, și monitorizarea continuă a procesului.

Un studiu de caz realizat la Bosch România evidențiază importanța inspecției vizuale în analiza modului electronic de control al cutiei de viteze. Aceasta este esențială atât la începutul, cât și după fiecare test al produsului, pentru a asigura conformitatea componentelor și prevenirea neconformităților majore. Inspecția vizuală se realizează cu ajutorul unor echipamente precum aparate de fotografiat digitale de înaltă rezoluție și microscopie. Neconformitățile identificate sunt documentate și analizate pentru a îmbunătăți procesul de producție și a reduce riscurile asociate cu defectele.

3.2 Examinarea dimensională

Examinarea dimensională reprezintă un pilon central în asigurarea calității și fiabilității componentelor automotiv. Utilizarea tehnologiilor avansate de măsurare și a instrumentelor precise permite producătorilor să livreze produse de înaltă calitate, conforme cu specificațiile de proiectare. Examinarea dimensională implică măsurarea exactă a dimensiunilor componentelor pentru a asigura conformitatea acestora cu specificațiile de proiectare și toleranțele admise. Precizia acestor măsurători este crucială pentru funcționarea corectă și sigură a vehiculului.

Tehnicile și echipamentele utilizate în inspecția dimensională includ calibrarea și măsurarea geometrică, utilizarea mașinilor de măsurat în coordonate (CMM) și tehnologia 3D și scanarea laser. Calibrele Vernier și micrometrele sunt utilizate pentru măsurători precise, iar CMM-urile sunt esențiale pentru măsurători tridimensionale complexe. Scanarea laser 3D și tomografia computerizată (CT) oferă vizualizări detaliate și permit identificarea defectelor ascunse.

Examinarea dimensională contribuie la optimizarea procesului de producție, reducând rata de respingere a pieselor și costurile asociate reparațiilor. În cadrul companiei Bosch, secțiunea automotive, măsurătorile 3D respectă standardele definite în SR EN ISO 10360-1-6, iar condițiile de examinare, precum temperatura și umiditatea, sunt stricte pentru a asigura conformitatea măsurătorilor. Probele sunt păstrate în condiții controlate și sunt măsurate cu ajutorul mașinilor de măsurat în coordonate 3D, asigurând precizia necesară pentru conformitatea cu specificațiile tehnice.

3.3 Deblocarea modului electronic pentru testarea funcțională și interpretarea erorilor

Deblocarea modului electronic se realizează cu ajutorul unui software special, accesibil doar dezvoltatorului, esențial pentru diagnosticarea sistemelor electronice din vehicule moderne. Aceasta permite accesul la date importante despre utilizare și erori. Deblocarea are loc după inspecția modului, când acesta este „blocat” de software-ul clientului pentru protecție în timpul transportului. În laborator, modulul este deblocat folosind software-ul companiei, trecând astfel în modul de „dezvoltare”. Odată deblocat, poate fi testat pe echipamente speciale pentru a simula funcționarea sa pe o cutie de viteze automată.

Procesul de deblocare implică utilizarea mai multor echipamente „hardware” și „software”, inclusiv un laptop, software de deblocare și interogare a erorilor, sursă de alimentare, modul de comunicare cu interfața vehiculului, card de deblocare și cablu de alimentare și comunicare.

Dacă modulul nu este deblocat corect, va raporta erori pe bancurile de testare funcțională din cauza protecției software. Din acest motiv, deblocarea este un pas critic în analiza produsului, realizată doar de personal calificat și instruit, folosind un cod special de securitate.

3.4 Testarea funcțională

Testarea funcțională în domeniul automotive este esențială pentru asigurarea calității și siguranței vehiculelor, verificând dacă toate componentele și sistemele funcționează conform specificațiilor tehnice. Aceasta acoperă o gamă largă de activități, de la verificarea motoarelor și transmisiilor până la testarea sistemelor electronice și de siguranță.

Metodele de testare funcțională includ:

- **Testarea pe un banc de testare:** Utilizează bancuri specializate pentru a simula condițiile de operare reală ale componentelor, cum ar fi motoarele și transmisiile, pentru a măsura parametrii de performanță.
- **Testarea în medii controlate:** Include testarea climatică și șocuri termice, evaluând performanța componentelor în condiții extreme de temperatură și umiditate.

În cadrul companiei Bosch din România, testarea funcțională a modulelor electronice este un proces esențial care indică rapid dacă modulele funcționează corect. Un raport generat în timpul testării funcționale evidențiază toți parametrii verificați, marcând orice probleme identificate.

Pentru testarea funcțională se utilizează echipamente precum suporturi de fixare cu conexiuni electrice și tablouri electrice de stimulare a modulelor. Modulul electronic este testat funcțional la temperaturi extreme, folosind o cameră climatică pentru a asigura funcționarea corectă la temperaturi de -40°C și $+140^{\circ}\text{C}$.

Erorile sunt identificate prin testele funcționale, cum ar fi erorile senzorilor de viteză, presiune, poziție, și ale actuatorilor. Testarea funcțională este esențială pentru asigurarea siguranței vehiculelor, prevenind accidentele și reducând costurile pe termen lung prin identificarea problemelor în fazele incipiente ale dezvoltării.

3.5 Test de raze X

Examinarea cu raze X utilizează radiații electromagnetice de energie înaltă pentru a pătrunde în interiorul materialelor și a crea imagini ale structurii interne. În industria automotive, această tehnică este folosită pentru inspectarea componentelor critice, cum ar fi sudurile, joncțiunile și materialele compozite, permițând identificarea variațiilor de densitate și detectarea defectelor interne, cum ar fi porozitatea și fisurile.

Inspecția sudurilor și îmbinărilor: Examinarea cu raze X este esențială pentru asigurarea integrității sudurilor, detectând fisuri și pori care ar putea compromite rezistența structurală a vehiculului.

Controlul calității în producția de masă: Tehnologia cu raze X poate fi integrată în liniile de producție pentru inspecții rapide și precise, contribuind la reducerea ratei de respingere și a costurilor asociate reparațiilor.

Verificarea materialelor compozite: Examinarea cu raze X permite detectarea defectelor interne, precum delaminările și incluziunile, în materialele compozite, asigurând astfel performanța și durabilitatea acestora.

Examinarea cu raze X oferă avantaje semnificative, inclusiv inspecții neinvazive și nedistructive, imagini de înaltă rezoluție și posibilitatea de automatizare a procesului de inspecție, care îmbunătățește eficiența și consistența calității produselor. Cu toate acestea, această tehnologie implică și costuri ridicate și necesită personal specializat pentru operare și întreținere, precum și măsuri stricte de siguranță datorită expunerii la radiații.

Studiu de caz: În testarea cu raze X a modulelor electronice, echipamentul permite verificarea prezenței particulelor metalice mai mari de 1 mm în zone critice. Operatorul uman controlează mașina

pentru inspecția fiecărei zone indicate, realizând fotografiile pentru trasabilitate și raportare. În ciuda beneficiilor, utilizarea razelor X necesită investiții semnificative în echipamente și măsuri de siguranță stricte pentru protecția operatorilor.

3.6 Efectuarea măsurătorilor electrice

Măsurătorile electrice sunt esențiale pentru diagnosticarea, testarea și calibrarea componentelor și produselor electrice, asigurând buna funcționare a sistemelor. În industria auto, cele mai frecvente tipuri de măsurători electrice includ:

- **Măsurarea tensiunii:** Verifică dacă tensiunea în componente și circuite electrice este în limitele specificate, ajutând la identificarea problemelor de alimentare și diagnosticarea componentelor defecte.
- **Măsurarea curentului:** Asigură funcționarea corectă a circuitelor electrice, prevenind supraîncălzirea și identificând scurtcircuiturile prin verificarea consumului de energie.
- **Măsurarea rezistenței:** Verifică continuitatea circuitelor și diagnostichează problemele de conexiuni și cablaje, fiind esențială pentru testarea corectă a senzorilor și actuatorilor.

Instrumentele de măsurare și tehnicile utilizate:

- **Multimetru:** Instrument esențial pentru măsurarea tensiunii, curentului și rezistenței, preferat pentru precizia și ușurința de utilizare.
- **Osciloscop:** Utilizat pentru vizualizarea semnalelor electrice în timp real, esențial pentru diagnosticarea problemelor în circuitele electronice complexe.

Studiu de caz:

În cadrul unui laborator din compania Bosch România, măsurătorile electrice sunt efectuate pentru evaluarea rezistențelor și continuității electrice ale componentelor unui modul electronic, utilizând un multimetru. Măsurătorile sunt realizate manual de către un operator uman, iar rezultatele sunt documentate într-un formular pentru asigurarea trasabilității și validității măsurătorilor.

3.7 Test de temperatură în „trepte”

Testarea funcțională la diferite temperaturi în domeniul automotive este esențială pentru a asigura performanța și fiabilitatea vehiculelor în diverse condiții de mediu. Această testare implică evaluarea componentelor și sistemelor vehiculului sub expunerea la temperaturi extreme, de la frig

extrem la căldură intensă, pentru a determina cum influențează aceste condiții funcționarea și durabilitatea acestora.

Testarea la temperaturi extreme este critică, deoarece vehiculele trebuie să funcționeze fiabil în toate condițiile climatice, de la regiunile nordice până la deșerturi. Fără aceste teste, există riscul ca vehiculele să eșueze în condiții extreme, ceea ce poate duce la accidente și costuri ridicate de reparație.

Camerele climatice, echipamente specializate care permit controlul precis al temperaturii și umidității, sunt utilizate pentru a expune vehiculele și componentele lor la condiții de temperatură extremă, variind de la temperaturi sub zero până la peste 50°C. De asemenea, software-ul de simulare termică ajută inginerii să modeleze comportamentul componentelor sub influența variațiilor de temperatură, optimizând designul înainte de fabricarea prototipurilor.

Componentele electronice, inclusiv ECU-urile, senzorii și actuatorii, sunt supuse testelor de temperatură pentru a asigura funcționarea corectă în toate condițiile. Scopul acestui test este de a monitoriza și înregistra datele și potențialele neconformități pe parcursul unui interval de temperatură variată, de la -40°C la +140°C. Trecerea între aceste temperaturi este realizată cu un gradient de 2°C, permițând înregistrarea precisă a eventualelor erori și a temperaturii la care acestea apar.

Testarea la temperaturi extreme permite identificarea și corectarea problemelor de design înainte ca vehiculele să ajungă la consumatori, asigurând astfel fiabilitatea și siguranța acestora.

3.8 Teste în mediu de ulei

Testarea funcțională în mediul de ulei este esențială în domeniul automotive pentru a asigura performanța și fiabilitatea componentelor vehiculului care interacționează direct cu lubrifianți. Aceasta include motoare, transmisii, sisteme hidraulice și alte piese mobile ce necesită lubrifiere constantă. Testarea în mediu de ulei evaluează durabilitatea și eficiența acestor componente în condiții reale de operare, prevenind defecțiuni mecanice grave.

În timpul testării, uleiul este răcit și încălzit la temperaturi extreme, de la -40°C până la +140°C, pentru a simula condițiile în care modulul electronic va funcționa pe cutia de viteze automată. Acest test este monitorizat permanent pentru a identifica potențiale erori. Modulele electronice sunt fixate pe un dispozitiv special care le protejează părțile ce nu trebuie să intre în contact cu uleiul.

Testarea în mediu de ulei oferă numeroase avantaje, inclusiv identificarea timpurie a problemelor, optimizarea designului componentelor și selectarea lubrifianților adecvați, contribuind astfel la reducerea costurilor de întreținere și îmbunătățirea fiabilității vehiculelor. Cu toate acestea,

testarea prezintă și provocări, cum ar fi simularea condițiilor reale de operare într-un mediu controlat, analiza complexă și costisitoare a uleiului, și necesitatea de standardizare riguroasă și control al calității din cauza variabilității în calitatea uleiurilor de lubrifiere.

3.9 Teste de șoc termic asupra modului electronic

Testarea funcțională la șocuri termice este esențială în domeniul automotive pentru a evalua durabilitatea și fiabilitatea componentelor vehiculului atunci când sunt expuse la variații rapide și extreme de temperatură. Această metodă simulează condițiile severe pe care vehiculele le pot întâlni în utilizarea reală, cum ar fi trecerea de la temperaturi foarte scăzute la foarte ridicate într-un timp scurt. Testarea la șocuri termice ajută la identificarea rapidă a defectelor și slăbiciunilor materialelor și componentelor.

Vehiculele sunt adesea expuse la condiții de mediu variabile și extreme, care pot provoca dilatări și contracții ale materialelor, afectând integritatea structurală și funcțională a componentelor. Prin urmare, testarea la șocuri termice este crucială pentru a asigura că toate componentele vehiculului rezistă acestor condiții fără a se deteriora.

Camerele de șoc termic sunt echipamente specializate care expun componentele la cicluri repetate de încălzire și răcire rapidă, controlând precis temperaturile și ratele de schimbare. Testele se concentrează pe identificarea crăpăturilor, deformărilor sau altor defecte apărute ca urmare a expunerii la șocuri termice. Sistemele electronice și componentele, cum ar fi ECU-urile, senzorii și cablajele, sunt deosebit de sensibile la aceste variații, iar testele ajută la identificarea problemelor de conectivitate și funcționare.

Sistemele de propulsie și transmisie, care trebuie să funcționeze fiabil chiar și în condiții de schimbări rapide de temperatură, sunt, de asemenea, testate la șocuri termice pentru a asigura rezistența la dilatarea și contracția termică, prevenind uzura și defecțiunile premature.

Acest test este esențial și pentru analiza calității modulelor electronice de control al cutiei de viteze automată, acestea fiind trecute rapid de la o temperatură de -40°C la $+140^{\circ}\text{C}$. Testul permite evaluarea proprietăților materialelor și componentelor modului electronic, care trebuie să funcționeze optim în condiții extreme. Modulul electronic este montat pe o placă hidraulică împreună cu solenoizii de control pentru a simula cât mai exact funcționarea reală, iar toate funcțiile sunt monitorizate și înregistrate în timp real.

3.10 Test de vibrații

Testarea funcțională cu teste de vibrație este esențială în domeniul automotive pentru a evalua durabilitatea și fiabilitatea componentelor vehiculului atunci când sunt expuse la condiții de drum reale. Aceste teste simulează vibrațiile și șocurile pe care vehiculele le întâlnesc în utilizarea normală, de la drumuri netede până la teren accidentat.

Vehiculele sunt constant expuse la vibrații și șocuri în timpul funcționării, ceea ce poate provoca uzura și deteriorarea componentelor, afectând astfel performanța și siguranța vehiculului. Testarea funcțională cu teste de vibrație asigură că toate componentele vehiculului pot rezista la aceste condiții fără a se deteriora, contribuind la dezvoltarea de vehicule durabile și fiabile.

Metode de Testare Funcțională cu Teste de Vibrație:

1. Bancuri de testare a vibrațiilor: Acestea permit aplicarea controlată a vibrațiilor și șocurilor mecanice asupra componentelor vehiculului, simulând condițiile reale de drum și observând eventualele defecte precum crăpături sau deformări.

2. Testarea în teren: Implică conducerea vehiculelor pe diverse suprafețe care generează vibrații intense, oferind informații despre comportamentul vehiculelor în condiții reale.

3. Simulări de vibrații: Utilizarea software-ului de simulare pentru a modela și prezice comportamentul componentelor sub influența vibrațiilor, optimizând designul înainte de fabricarea prototipurilor.

Testul de vibrații pentru un modul electronic de control al cutiei de viteze automate: Acest test este un test de duranță, simulând timp de 32 de ore vibrații și șocuri pe trei axe (X, Y, Z). În total, testul durează aproximativ 96 de ore și reproduce modul de funcționare al modului timp de 7 ani. Testul determină dacă modulul rezistă șocurilor suferite în timpul utilizării pe drumuri publice pentru o perioadă lungă de timp.

Componentele electronice, cum ar fi ECU-urile, senzorii și cablajele, sunt deosebit de sensibile la vibrații, iar testarea la vibrații ajută la identificarea eventualelor probleme de conectivitate și funcționare care pot apărea din cauza vibrațiilor intense.

3.11 Teste de cositor

Cositorirea este un proces esențial în unirea componentelor metalice folosind un aliaj de cositor topit la temperaturi scăzute, asigurând conexiuni electrice fiabile și durabile în vehicule.

Conexiunile defectuoase pot duce la probleme grave, precum întreruperi de curent, funcționare necorespunzătoare a componentelor și, în cazuri extreme, incendii. Prin urmare, este esențial să se efectueze teste riguroase pentru a garanta calitatea conexiunilor cositorite.

Metode de testare a cositoririi:

1. **Testarea vizuală:** Implică examinarea conexiunilor pentru a identifica defecte evidente, cum ar fi pori, crăpături sau exces de cositor.
2. **Testarea mecanică:** Include teste de tragere și forfecare pentru a evalua rezistența mecanică a conexiunilor, aplicând forță până când acestea cedează.
3. **Testarea termică:** Evaluează comportamentul conexiunilor la variații de temperatură prin cicluri de încălzire și răcire, simulând condițiile reale de operare.
4. **Testarea funcțională:** Verifică conexiunile cositorite în cadrul circuitelor electrice complete, măsurând rezistența electrică și asigurând continuitatea circuitului.

Conexiunile de pe plăcile de circuit imprimat (PCB-uri) și cele dintre conectori și terminale sunt testate pentru a garanta stabilitatea și rezistența lor la vibrații și solicitări mecanice. Calitatea cositorului utilizat pe linia de producție este analizată pentru a se asigura că elementele chimice din aliajul de cositor sunt în limitele procentuale corespunzătoare, asigurând durabilitatea conexiunilor în timp și rezistența la uzură și temperaturi extreme.

Analiza cositorului se realizează cu ajutorul unui spectometru de emisie optică, care evaluează compoziția chimică a materialului și identifică eventualele impurități. Testul se efectuează lunar sau ori de câte ori este necesar, pentru a menține standardele de calitate.

3.12 Testul forței de împingere și tragere

Testele de forță sunt esențiale în industria automotive pentru a verifica capacitatea componentelor de a rezista la forțele de compresie și tensiune aplicate în timpul funcționării normale și în condiții de stres extrem. Componentele vehiculului sunt supuse la diverse forțe mecanice în timpul utilizării, iar capacitatea lor de a rezista acestor forțe este crucială pentru siguranță și fiabilitate.

Metode de Testare:

1. **Testul forței de împingere și tragere:** Evaluează comportamentul materialelor și componentelor sub sarcini mecanice specifice, contribuind la prevenirea defecțiunilor și îmbunătățirea durabilității.
2. **Mașini de testare universală la tracțiune și compresie:** Aceste echipamente permit aplicarea controlată a forțelor asupra componentelor testate, măsurând rezistența la rupere, alungirea și deformarea materialelor sub sarcini specifice.
3. **Simulări software:** Inginerii folosesc simulările pentru a modela și prezice comportamentul componentelor sub forțele de împingere și tragere, ajutând la optimizarea designului înainte de fabricarea prototipurilor.

Studiu de caz:

În laboratoarele de calitate ale companiei Bosch, produsele sunt testate fără a fi îmbătrânite prematur înaintea testului inițial. Piesele sunt verificate înainte și după testare pentru funcționare, etanșare, rezistență la izolare și alte parametri specifici. Testul implică tensionarea produsului la bușe și aplicarea unei forțe de tracțiune, $F1 = 120 \text{ N}$ și $F2 = 60 \text{ N}$, timp de un minut, pentru a evalua modificările mecanice sau electrice ale piesei.

Pentru eșantionare și testul anual de recalificare (QZ), toate dimensiunile trebuie măsurate conform desenului, iar testarea în producția de serie necesită acordul departamentului de calitate.

3.13 Examinare cu substanță de contrast

Examinarea cu substanță de contrast, cunoscută și ca testare cu particule magnetice sau testare cu penetrant, este o metodă nedistructivă utilizată în domeniul automotive pentru detectarea defectelor și fisurilor în componentele metalice ale vehiculelor. Această tehnică implică aplicarea unei substanțe de contrast care evidențiază defectele de suprafață, facilitând inspecția vizuală sau utilizând instrumente de detecție specifice.

Metode de Examinare cu Substanță de Contrast:

1. **Testarea cu particule magnetice:** Aceasta metodă implică magnetizarea componentei metalice și aplicarea unei suspensii de particule magnetice. Defectele de suprafață sau sub-suprafață perturbă câmpul magnetic, iar particulele magnetice se acumulează în jurul defectelor, făcându-le vizibile. Este eficientă pentru detectarea fisurilor și incluziunilor în materiale feromagnetice.

2. **Testarea cu penetrant:** Implică aplicarea unui lichid penetrant pe suprafața componentei. Lichidul penetrează fisurile și alte defecte de suprafață. După un timp de penetrare, excesul de lichid este îndepărtat, iar o substanță de dezvoltare este aplicată pentru a atrage lichidul din fisuri la suprafață, făcând defectele vizibile. Această metodă este utilă pentru inspectarea materialelor neferomagnetice, cum ar fi aluminiul, aliajele de magneziu sau materialele plastice.

3.14 Testul de ceață salină

Testarea cu sare salină este esențială în industria automotive pentru a evalua rezistența la coroziune a componentelor expuse la condiții severe de mediu. Aceste teste simulează expunerea prelungită la medii saline, cum ar fi cele întâlnite pe drumurile dezăpezite cu sare în timpul iernii, pentru a determina reacția materialelor și finisajelor vehiculului la coroziune. Testarea ajută la identificarea slăbiciunilor potențiale și la asigurarea longevității și durabilității componentelor automotive.

Camerele de testare cu spray de sare: Aceste echipamente specializate expun componentele la un mediu controlat de spray salin, simulând condițiile reale de expunere la sare. Parametrii precum temperatura, umiditatea și concentrația soluției saline sunt controlați pentru a reproduce mediul coroziv, iar componentele sunt monitorizate pentru a observa apariția și evoluția coroziunii.

Metode de testare accelerată: Aceste metode utilizează condiții de mediu intensificate pentru a accelera procesul de coroziune, permițând evaluarea rapidă a durabilității materialelor și a acoperirilor protectoare într-un timp mai scurt comparativ cu testele tradiționale.

Coroziunea poate afecta grav funcționarea componentelor electrice și a conectorilor, provocând defecțiuni și scurtcircuite, subliniind importanța acestor teste pentru asigurarea fiabilității vehiculelor.

CAPITOLUL 4

ANALIZA STATISTICĂ A DATELOR PROVENITE DE LA RECLAMAȚILE PRIMITE DE LA CLIEȚI ȘI A NECONFORMITĂȚILOR IDENTIFICATE DIN CADRUL PRODUCȚIEI

4.1 Controlul statistic și utilizarea datelor statistice în cadrul sistemului de management al calității

Controlul statistic al procesului tehnologic este o metodă preventivă de management al calității, bazată pe utilizarea unor instrumente statistice pentru documentarea, monitorizarea și supravegherea procesului de producție. Aceasta metodă permite identificarea precoce a abaterilor sistematice, asigurând astfel că produsele finite respectă limitele de toleranță admise. Analiza capacității procesului este esențială pentru determinarea abilității acestuia de a produce produse conforme prin analiza datelor monitorizate.

Principii și cauze ale variației în controlul statistic:

- **Cauzele aleatoare:** Sunt parte permanentă a procesului și influențează toate componentele acestuia, contribuind ușor la variabilitatea generală.
- **Cauzele definibile:** Apar ca urmare a unor circumstanțe specifice și nu sunt parte permanentă a procesului, inducând schimbări reale reflectate în fluctuația datelor.

Tipuri de variabile în controlul statistic:

Variabile calitative:

- Nominale: Descriu calități sau caracteristici fără o ordine logică.
- Ordinale: Descriu calități care pot fi ordonate, dar fără informații despre distanțele dintre valori.

Variabile cantitative:

- Continue: Pot lua orice valoare numerică într-un interval dat, variind continuu.
- Discrete: Pot lua doar valori distincte și separate, fără alte valori posibile între acestea.

Aplicarea SPC (controlul statistic al procesului) în industria auto este crucială pentru îmbunătățirea continuă a calității produselor și proceselor, răspunzând astfel cerințelor pieței și concurenței în creștere. SPC facilitează colectarea și analiza simplă a datelor, permițând monitorizarea performanței și luarea deciziilor corecte în ceea ce privește calitatea și procesele de producție.

4.2 Analiza statistică a datelor provenite din reclamații

Analiza statistică a datelor referitoare la reclamațiile clienților este un instrument esențial pentru evaluarea performanței și calității produselor și serviciilor oferite de o companie. Acest proces implică colectarea, procesarea și interpretarea datelor pentru a identifica tendințele, tiparele și cauzele fundamentale ale problemelor raportate de clienți. Tehnicile statistice transformă datele brute în informații utile pentru luarea deciziilor și implementarea măsurilor de îmbunătățire continuă.

Colectarea și analiza datelor: Datele din reclamații sunt colectate sistematic și organizate într-o bază de date, incluzând informații despre tipul de problemă, frecvența apariției, timpul de răspuns și soluționare, precum și feedback-ul clienților. Analiza descriptivă a acestor date, cum ar fi calcularea mediei, medianei și deviației standard, oferă o imagine clară asupra stării curente a calității produselor sau serviciilor. De exemplu, o deviație standard mare indică o variabilitate semnificativă în calitatea produselor, ceea ce necesită uniformizarea proceselor de producție.

Testele de ipoteză: Testele statistice, sunt utilizate pentru a determina semnificația diferențelor observate în date. Aceste tehnici ajută la identificarea factorilor cu impact semnificativ asupra calității și satisfacției clienților.

Analiza regresiei și modelarea predictivă: Aceste instrumente sunt utilizate pentru a identifica relațiile cauzale și a anticipa problemele viitoare. Prin construirea unor modele statistice, companiile pot prezice probabilitatea apariției unor reclamații și pot implementa măsuri preventive. De exemplu, un model de regresie liniară multiplă poate determina cum influențează factori precum temperatura de operare sau umiditatea frecvența defecțiunilor raportate de clienți.

4.2.2 Analiza frecvențelor

Analiza frecvențelor este o tehnică esențială în statistica descriptivă, utilizată pentru a înțelege distribuția și structura unui set de date, prin numărarea și prezentarea frecvențelor de apariție ale valorilor variabilelor dintr-un set de date. Aceasta ajută la vizualizarea și interpretarea datelor, oferind informații despre tendințe, comparații între grupuri și detectarea valorilor anormale.

Analizele realizate prezintă frecvențele și analiza descriptivă pentru componenta defectă. Datele componentelor defecte identificate în inspecții și teste sunt din totalul de 368 de defecte, senzorul de presiune reprezintă 57,07%, urmat de senzorul de poziție cu 16,58%, și conectorul pentru senzorul de parcare cu 0,82%. Media de 3,73 și abaterea standard de 2,05 sugerează o distribuție moderat concentrată.

Datele despre defectele reclamate de clienți prezintă ponderile acestor defecte. Senzorul de presiune este cel mai frecvent defect raportat, cu 62,50%, urmat de senzorul de poziție și deteriorarea contactelor actuatorilor. Media este de 2,46, cu o abatere standard de 2,63.

Frecvențele tipurilor de defecte evidențiază că defectele funcționale sunt cele mai frecvente, cu 84,51%, urmate de defectele vizuale (14,40%) și defectele de asamblare (1,09%).

Frecvențele și analiza descriptivă pentru testele de identificare a defectelor arată că testul funcțional la temperatura camerei este cel mai frecvent utilizat (37,50%), urmat de testele la temperaturi extreme (18,21%) și testele pe banc de testare specific produsului (14,67%).

Responsabilitatea defectelor, cu 73,91% din cazuri atribuite clienților și 26,09% producătorului. Aceste procente devin esențiale pentru înțelegerea responsabilității și implementarea măsurilor corective.

Această analiză arată că defectele cele mai frecvente sunt legate de senzorul de presiune și de poziție, indicând necesitatea unor intervenții specifice pentru îmbunătățirea calității și fiabilității acestor produse.

4.2.3 Testul χ^2 bivariat (chi square)

În cadrul studiului, au fost realizate corelații între componentele defecte și tipul de defect, precum și între componentele defecte și reclamațiile clienților. Valorile obținute din testul χ^2 au arătat că rezultatele sunt semnificative statistic, respingând ipoteza nulă. S-a constatat o relație semnificativă între anumite componente și tipurile de defecte, indicând predispoziții specifice la anumite probleme.

Analiza CROSSTABS pe lunile anului 2022 a evidențiat fluctuații sezoniere în frecvența defectelor raportate, cu o asociere puternică între tipul de componentă defectă și tipul de defect raportat de clienți, sugerând necesitatea unor acțiuni corective.

Investigația relației dintre defectele reclamate și responsabilitatea acestora a relevat că majoritatea problemelor de „senzor de presiune” sunt atribuite clienților, în timp ce „senzorul de

poziție” este responsabilitatea producătorului. Testul Chi-pătrat a indicat o asociere semnificativă între tipul de defect și responsabilitatea acestuia, subliniind necesitatea de a îmbunătăți calitatea senzorilor și procesele de fabricație.

Propunerile pentru reducerea defectelor includ îmbunătățirea proceselor de fabricație, testarea extensivă înainte de livrare, optimizarea iC-urilor și analiza detaliată a defectelor raportate, cu colaborare strânsă între producători și furnizori pentru a asigura calitatea produselor și creșterea satisfacției clienților.

CAPITOLUL 5

AUDITUL DE PRODUS ÎN VEDEREA IDENTIFICĂRII NECONFORMITĂȚILOR ȘI DEFECTELOR CU AJUTORUL TESTELOR DE FIABILITATE

5.1 Auditul de produs

Auditul de produs este esențial pentru sistemele de management al calității, asigurând că produsele respectă specificațiile tehnice și cerințele clienților. Prin acest audit se identifică neconformitățile și se propun măsuri de corecție și prevenire, contribuind la menținerea calității și competitivității pe piață. În industria automotive, auditul de produs asigură conformitatea cu cerințele specifice și reglementările în vigoare, fiind utilizate standarde precum VDA 6.3 și VDA 6.5. VDA 6.5 se axează pe verificarea produselor finite, implicând planificare, pregătire, desfășurarea auditului, documentare și implementarea măsurilor corective, toate acestea contribuind la menținerea calității și satisfacției clienților.

5.1.1 Testul de fiabilitate și auditul de produs

Progresele și îmbunătățirile continue ale sistemelor tehnologice pentru aplicații auto sunt esențiale pentru creșterea fiabilității și diagnosticarea defecțiunilor. Testele de fiabilitate sunt aplicate tuturor produselor din portofoliul companiei, fiind esențiale pentru evaluarea comportamentului produselor sub diverse condiții de stres.

Metodele de inspecție a fiabilității includ teste de "viață", care supun produsele la condiții mai dure decât cele normale de operare, și alte testări precum cele de temperatură, tensiune înaltă sau

șocuri mecanice, menite să descopere rapid defecțiuni. Prognoza defectului este o metodă folosită pentru a lua decizii în timp real, reducând stresul aplicat și prelungind durata de viață a produsului.

Auditul de produs în industria auto este un proces esențial care implică evaluarea conformității produselor cu standardele și specificațiile stabilite. Auditul acoperă verificarea conformității cu standarde precum ISO, evaluarea specificațiilor tehnice, testarea funcționalității și performanței, urmărirea trasabilității și gestionarea calității. Resursele necesare pentru realizarea auditului de produs includ planificatori, auditori și laboratoare interne sau externe echipate corespunzător.

Obiectivul testelor de fiabilitate în cadrul auditurilor de produs este verificarea conformității produselor cu specificațiile și cerințele clientului. Departamentul de asigurare a calității, împreună cu departamentele de dezvoltare și producție, este responsabil de efectuarea auditului, iar eventualele neconformități sunt documentate și gestionate prin rapoarte 8D.

5.1.2 Planificarea auditului de produs

Planificarea auditului de produs în industria automotive este esențială pentru asigurarea calității și conformității produselor. Procesul implică definirea obiectivelor, stabilirea domeniului de aplicare, alocarea resurselor și elaborarea unui program de audit. Fluxul auditului include etape precum planificarea, pregătirea documentației, desfășurarea auditului, documentarea rezultatelor, implementarea măsurilor corective și monitorizarea continuă.

Testele de calitate (Q) și de fiabilitate (Z) sunt componentele principale ale auditului, iar densitatea testării este ajustată pe baza unei evaluări a riscurilor. Studiile de caz realizate în cadrul unei companii au demonstrat eficacitatea reducerii densității de testare de la 100 PPM la 50 PPM, fără a compromite calitatea produselor fiind confirmată de o analiză realizată ulterior. Aceasta optimizare a dus la economii de costuri și timp, fără a afecta negativ performanța produselor.

CAPITOLUL 6

AUDITUL DE PRODUS „INTELIGENT”

6.1 Prevenirea reclamațiilor clienților și reducerea efortului de testare Z (teste de fiabilitate) prin eșantionare bazată pe date „Audit de produs inteligent”

Auditul de produs „inteligent” în industria automotive reprezintă o metodologie avansată ce integrează tehnologii de ultimă generație, precum „Internet of Things (IoT)”, „Big Data” și algoritmi

de „machine learning”, pentru a monitoriza și evalua calitatea produselor în timp real. Această abordare revoluționară combină tehnicile tradiționale de control al calității cu soluții digitale inovatoare, permițând detectarea timpurie a neconformităților și prevenirea defecțiunilor care pot duce la rechemări costisitoare.

Monitorizarea continuă și analiza precisă a datelor oferite de „IoT” și „Big Data” îmbunătățesc considerabil capacitatea de a evalua produsele complexe din industria automotive. Algoritmii de „machine learning” analizează volume mari de date colectate din procesele de producție, generând modele predictive care identifică și anticipează problemele de calitate. Acest lucru permite intervenții corective rapide, contribuind la creșterea fiabilității produsului, reducerea reclamațiilor și optimizarea costurilor operaționale.

Un aspect inovator al auditului inteligent este eșantionarea bazată pe date. Spre deosebire de metodele tradiționale de prelevare aleatorie a pieselor, această metodologie utilizează date colectate în timp real pentru a identifica piesele critice, cele care prezintă un risc ridicat de neconformitate. Această abordare permite o intervenție corectivă mai rapidă și mai precisă decât metodele convenționale.

Standardizarea datelor de producție joacă, de asemenea, un rol central în auditul inteligent. Utilizarea metodologiei „Z-Score” pentru evaluarea caracteristicilor pieselor supuse auditului permite o analiză obiectivă și comparabilă a abaterilor față de valorile așteptate. Analiza se concentrează pe 18 caracteristici distincte, măsurate în diverse stații de lucru de pe linia de producție. Rezultatele sunt prezentate sub formă de grafice care ilustrează deviațiile standardizate, facilitând identificarea pieselor cu cele mai mari abateri pentru investigații suplimentare.

În completarea acestei metodologii, un algoritm avansat este folosit pentru a analiza deviațiile standardizate și pentru a identifica piesele care prezintă cele mai mari diferențe față de media procesului. Piesele cu abateri semnificative sunt supuse unor teste suplimentare de fiabilitate, asigurând un control riguros al calității. Acest algoritm a dovedit o eficiență de aproximativ 95% în identificarea pieselor critice, contribuind la reducerea timpului de procesare și a costurilor asociate auditului de calitate.

Implementarea auditului de produs inteligent nu este lipsită de provocări, în special în ceea ce privește integrarea platformelor tehnologice necesare pentru colectarea și analiza volumelor mari de date, dar și din perspectiva investițiilor inițiale în infrastructura IT și formarea personalului. Cu toate

acestea, beneficiile pe termen lung sunt semnificative, incluzând îmbunătățirea continuă a proceselor și produselor, reducerea neconformităților și creșterea performanțelor operaționale.

Un exemplu concret este metoda de calcul a sumelor deviațiilor standardizate, aplicată pe un set de 80 de piese, fiecare evaluată pe baza celor 18 caracteristici distincte. Calculul și însumarea abaterilor standardizate permit identificarea precisă a pieselor cu cel mai mare risc de neconformitate, care sunt direcționate către investigațiile din auditul de produs. Graficele rezultate oferă o reprezentare clară a abaterilor față de normele acceptate, asigurând un control eficient al calității.

CAPITOLUL 7

CONTRIBUȚII PERSONALE

7.1 Contribuții personale teoretice

Această cercetare mi-a permis să explorez în profunzime impactul sistemelor de management al calității asupra neconformităților produselor și modul în care acestea pot fi controlate prin aplicarea acestor sisteme în mod eficient și optimizate pe nevoile companiei.

Am dobândit o înțelegere aprofundată a complexității proceselor de asigurare a calității din industria automotive și am dezvoltat abilități analitice și de cercetare avansate. Interacțiunea cu profesioniști din industrie și analiza practică a problemelor de calitate mi-au oferit perspective valoroase, pe care le voi putea aplica în viitoarele mele proiecte și activități profesionale.

Contribuțiile personale în cadrul cercetării au fost esențiale pentru consolidarea și aprofundarea temei. În primul rând, am selectat tema cercetării datorită relevanței sale actuale și a impactului semnificativ asupra industriei auto, subliniind nevoia necontestabilă de îmbunătățire a calității produselor și serviciilor. Am stabilit un cadru teoretic robust prin analiza cuprinzătoare a literaturii de specialitate și a standardelor internaționale, precum ISO 9001:2015 și IATF 16949, aducând o perspectivă critică asupra implementării și evoluției acestor norme.

Structura lucrării reflectă aceste eforturi, fiind concepută pentru a oferi un flux logic și coerent al informațiilor. Am organizat materialul în mod sistematic, facilitând astfel înțelegerea interconexiunilor dintre diferitele aspecte ale managementului calității în industria automotive.

Fiecare capitol și secțiune au fost structurate pentru a reflecta progresul natural al cercetării și pentru a ghida cititorul prin complexitatea temei studiate și anume a provocărilor din domeniul automotive.

Am formulat obiectivele clare ale cercetării pentru a ghida cercetarea și a asigura o analiză cuprinzătoare și bine focalizată asupra influenței și controlului SMC (Sistemelor de Management al Calității).

Prin actualitatea temei, am evidențiat relevanța contemporană a sistemelor de management al calității în industria automotive, subliniind presiunile uriașe asupra producătorilor de a menține standarde înalte de calitate cu scopul de a rămâne competitivi într-o piață globalizată.

Am plasat studiul în cadrul mai larg al tendințelor industriei automotive și al provocărilor întâmpinate de aceasta, cum ar fi reglementările stricte și cerințele variate ale clienților.

Am subliniat rolul crucial al calității în asigurarea satisfacției clienților și în prevenirea pierderilor economice ori a reputației cauzate de neconformități.

Am folosit o metodologie de cercetare riguroasă, combinând abordări calitative și cantitative pentru a evalua eficacitatea sistemelor de management al calității (SMC) existente și pentru a identifica neconformitățile frecvente în industria automotive.

Am studiat și definit conceptele cheie ale sistemelor de management al calității (SMC) în industria automotive, incluzând calitatea, politica de calitate, obiectivele calității, și planificarea calității. Am elaborat o sinteză a acestor concepte, subliniind importanța lor în asigurarea conformității produselor cu cerințele stricte ale clienților și reglementărilor specifice industriei.

Am realizat o analiză detaliată a standardelor ISO 9001:2015 și IATF 16949, evidențiind diferențele și asemănările dintre acestea. Am subliniat importanța acestor standarde în asigurarea calității și a îmbunătățirii continue în procesele de producție auto, precum și rolul lor.

Am evaluat impactul neconformităților asupra performanței organizaționale și satisfacției clienților, subliniind importanța unui management eficient al calității. Am propus soluții pentru gestionarea neconformităților prin implementarea unor audituri riguroase, analiza cauzei-rădăcină, și adoptarea unei strategii de îmbunătățire continuă

Am analizat studii de caz din diverse companii auto care au implementat standardele IATF 16949 și ISO 9001, evidențiind provocările întâmpinate și beneficiile obținute. Am identificat bune

practici și lecții învățate din aceste studii, oferind recomandări pentru o implementare eficientă a acestor standarde în alte organizații.

Analiza tipurilor de reclamații și totodată a abordării lor, precum și a procesului „No trouble found” (NTF) au fost un punct central, permițându-mi să identific tipare și să propun soluții inovative prin metoda 8D de soluționare a anomaliilor.

Am investigat metodele de control nedestructiv utilizate în industria automotive pentru identificarea neconformităților și defectelor în cadrul unei companii cu domeniul de activitate în producerea produselor destinate autovehiculelor.

Am integrat metodele de testare nedestructive în sistemele de management al calității, dezvoltând un flux de lucru care asigură detectarea timpurie a defectelor și prevenirea problemelor în fazele incipiente ale producției. Am formulat proceduri pentru inspecția și documentarea neconformităților, care sunt acum parte din standardele de operare ale companiei.

Am aplicat principiile teoretice ale inspecției vizuale pentru a dezvolta un proces sistematic de evaluare a conformității componentelor electronice. Am propus o metodologie standardizată care include utilizarea de aparate optice și fotografierea detaliată a fiecărui pas, asigurând astfel trasabilitatea și consistența evaluărilor.

Am definit și implementat un set de metode de control nedestructiv în procesele de calitate din cadrul laboratoarelor de analize, concentrându-mă pe tehnici precum inspecția vizuală, examinarea dimensională și testele de raze X.

Am formulat criterii riguroase pentru evaluarea conformității produselor, ceea ce a permis identificarea precisă a neconformităților înainte ca produsele să fie livrate.

Am definit procesul de examinare dimensională ca un proces central al asigurării calității în industria automotive. Am elaborat un ghid de utilizare a echipamentelor CMM și a tehnologiilor 3D pentru măsurarea precisă a componentelor, asigurând astfel conformitatea acestora cu specificațiile de proiectare.

Am definit criteriile de evaluare pentru testarea funcțională a modulelor electronice, care includ verificarea integrității structurale și funcționale în diverse condiții de temperatură și mediu. Am propus un set de standarde pentru testele de temperatură, șoc termic și vibrații, pentru a evalua durabilitatea și fiabilitatea produselor în condiții extreme.

Am utilizat programul „software” de statistică „PSPP” pentru realizarea analizelor statistice necesare în evaluarea datelor provenite din reclamațiile clienților și din neconformitățile identificate în producție. Prin intermediul acestui software, am putut efectua teste de frecvență, analiza Chi-pătrat și alte analize statistice descriptive, care au permis o interpretare în detalii a datelor și identificarea tendințelor și corelațiilor semnificative între variabile.

Am elaborat un cadru teoretic detaliat care include metode de analiză statistică aplicabile datelor provenite din reclamațiile clienților și din neconformitățile identificate în producție. Acest cadru a fost conceput pentru a facilita înțelegerea și aplicarea acestor metode în scopul îmbunătățirii calității produselor.

Am aplicat testul χ^2 (Chi-pătrat) pentru a evalua relațiile dintre variabilele categoriale, cum ar fi componenta defectă și tipul de defect. Am interpretat rezultatele pentru a identifica asocierile semnificative dintre variabile, demonstrând relevanța acestui test în identificarea și prevenirea problemelor de calitate.

Am definit și clasificat variabilele statistice utilizate în controlul statistic al proceselor de producție, cum ar fi variabilele calitative și cantitative. Această clasificare a permis aplicarea corectă a tehnicilor statistice și interpretarea adecvată a datelor.

Am conceptualizat un proces de audit de produs menit să identifice neconformitățile și defectele prin utilizarea testelor de fiabilitate. Acest proces implică o planificare riguroasă, desfășurarea auditului conform standardelor VDA 6.5 și implementarea măsurilor corective bazate pe rezultatele obținute.

Am elaborat o metodologie pentru efectuarea auditului de produs, care include etape detaliate precum planificarea, pregătirea documentației, execuția, documentarea rezultatelor și implementarea măsurilor corective. Această metodologie asigură că auditul este efectuat sistematic și că toate neconformitățile sunt abordate eficient.

Am definit criteriile de evaluare a riscului asociate cu densitatea de testare a produselor în cadrul auditului de produs. Aceste criterii includ factori precum complexitatea produsului, inovația procesului, și situația calității, permițând o evaluare detaliată și obiectivă a riscurilor.

Am propus utilizarea metodei "Valoare la Risc" pentru evaluarea și gestionarea riscurilor asociate cu auditul de produs, asigurându-se astfel că deciziile sunt bazate pe o analiză riguroasă și informată a potențialelor amenințări.

Am propus soluții inovative pentru calculul și implementarea unui sistem de audit eficient, bazat pe date statistice și eșantionare. Aceste soluții au fost concepute pentru a preveni reclamațiile clienților și pentru a reduce efortul de testare, maximizând eficiența proceselor de control al calității.

Am propus un sistem de audit de produs inteligent care integrează tehnologii avansate precum big data și calcularea multitudinilor de variabile standardizate. Acest sistem reflectă transformările esențiale ale „Industry 4.0”, unde conectivitatea și analiza datelor sunt esențiale pentru optimizarea proceselor de producție.

Am conceptualizat o abordare „Quality 4.0” prin integrarea tehnologiilor digitale și a analizei predictive în controlul calității, permițând astfel o monitorizare în timp real și pentru de a identifica proactiv neconformitățile înainte ca acestea să devină probleme critice în cadrul auditului de produs.

Am propus un proces de standardizare a datelor provenite de la diferite stații de lucru, o inițiativă care reflectă obiectivele Quality 4.0 de a transforma datele brute în informații valoroase astfel încât să poată fi analizate împreună, facilitând identificarea pieselor critice. Acest proces de standardizare transformă variațiile parametrilor de proces într-o metrică unitară, permițând o evaluare coerentă și comparabilă a diferitelor piese, asigurând că deciziile sunt bazate pe date corecte și relevante, un pilon central al Quality 4.0.

Am propus și definit un algoritm de calcul care utilizează datele de proces pentru a identifica piesele critice dintr-o linie de producție. Algoritmul se bazează pe suma variațiilor („delta”) între parametrii de proces și standardizează aceste variații într-o unitate de măsură numită „diferențiere totală”.

7.2 Contribuții personale experimentale

Am gestionat reclamațiile de tip „0 km” și „teren” printr-o abordare sistematică, utilizând analiza cauzei-rădăcină și implementarea unor soluții rapide pentru remedierea problemelor. Am dezvoltat procese pentru analiza și evaluarea pieselor returnate, asigurându-se că toate defectele sunt corect identificate și remediate.

Am implementat un sistem avansat de inspecție vizuală în cadrul laboratoarelor de asigurare a calității, utilizând echipamente optice precum microscopice și aparate de fotografiat de înaltă rezoluție. Am creat și utilizat un catalog de defecte pentru a standardiza procesul de inspecție, reducând variabilitatea subiectivă și asigurând evaluări consistente.

Am monitorizat și optimizat procesul de inspecție vizuală, implementând măsuri corective pe baza feedback-ului obținut din analiza datelor colectate. Am redus timpul necesar pentru inspecție și am crescut acuratețea identificării defectelor.

Am dezvoltat și aplicat o listă de verificare pentru inspecția vizuală a modulului electronic de control, înainte și după fiecare test funcțional. Am standardizat procedurile de inspecție, asigurându-se că toate componentele sunt verificate în mod consistent și detaliat, reducând astfel riscul de a omite defecte importante.

Am testat și evaluat performanța modulelor electronice printr-o serie de teste funcționale, inclusiv în medii de ulei și la temperaturi extreme.

Am elaborat și descris metodologia de efectuare a testelor de vibrații și șocuri mecanice pentru a simula condițiile de funcționare reale și a evalua durabilitatea și rezistența modulelor electronice, asigurând conexiuni electrice solide.

Am prezentat protocoale pentru testele de temperatură în „trepte”, testele în mediu de ulei și testele de șoc termic asupra unui produs numit „modul electronic de control al cutiei de viteze automate”, evaluând astfel durabilitatea produselor în condiții extreme.

Am aplicat teste de raze X pentru a identifica defecte interne în modulele electronice, precum fisuri și incluziuni străine.

Prin examinarea cu substanță de contrast și testul de ceață salină, am oferit metode non-invazive pentru evaluarea calității și rezistenței la coroziune a componentelor.

Am coordonat testele de cositorire și am realizat măsurători ale compoziției chimice folosind spectrometrul de emisie optică. Propunerea și descrierea examinării unor probe de cositor folosite în procesul de cositorire au urmărit determinarea compoziției chimice precise a materialului, garantând astfel realizarea corectă și de înaltă calitate a conexiunilor electrice.

Am efectuat teste de împingere și tragere pentru a evalua rezistența mecanică a componentelor și conexiunilor electronice.

Am efectuat o analiză statistică detaliată a datelor provenite din reclamațiile clienților și a neconformitățile identificate în liniile de producție.

Am creat și gestionat o bază de date cu 368 de observații statistice, incluzând variabile cheie precum componenta defectă, tipul de defect și responsabilitatea defectului. Această bază de date a fost utilizată pentru a efectua analize statistice detaliate și pentru a trage concluzii privind îmbunătățirea calității sau a proceselor de producție.

Am identificat și priorizat componentele cu cele mai multe defecte raportate de clienți, concentrându-mă pe senzorul de presiune, care a prezentat cel mai mare procent de defecte. Am propus acțiuni specifice pentru îmbunătățirea acestor componente critice, bazându-mă pe analiza frecvențelor și a tendințelor identificate în datele statistice.

Am efectuat analize ale frecvențelor pentru variabilele calitative din baza de date, determinând tipurile de defecte și componentele cele mai afectate. Aceasta a inclus crearea de tabele de frecvențe și grafice pentru a ilustra tendințele și modelele din date.

Am efectuat teste de corelație între componentele defecte și tipul de defect, precum și între componentele defecte și defectele reclamate de clienți, folosind testul χ^2 pentru a determina semnificația statistică a rezultatelor.

Am interpretat rezultatele testului χ^2 , concluzionând relațiile semnificative dintre variabile, care au relevat susceptibilitatea anumitor componente la defecte specifice.

Am realizat o analiză detaliată a defectelor funcționale și vizuale, demonstrând că defectele funcționale reprezintă cea mai mare parte a problemelor raportate, cu un procent semnificativ de 84,51%. Această analiză a permis formularea unor recomandări pentru reducerea acestor tipuri de defecte.

Am propus îmbunătățiri specifice pentru procesul de fabricație, cum ar fi controlul detaliat al calității materiilor prime și optimizarea parametrilor de producție pentru a preveni defectele cauzate de factorii de mediu. Aceste propuneri au fost formulate pe baza rezultatelor obținute din analiza statistică a datelor.

Am evaluat responsabilitatea pentru defectele identificate și am propus măsuri corective specifice în funcție de responsabilitatea atribuită (client sau producător). Aceste măsuri au inclus colaborarea cu furnizorii și îmbunătățirea proceselor interne pentru a reduce numărul de defecte raportate de clienți.

Am monitorizat reclamațiile și defectele pe parcursul întregului an, identificând fluctuațiile sezoniere și propunând ajustări în procesele de fabricație și testare pentru a minimiza impactul variabilităților sezoniere asupra calității produselor.

Am formulat ipotezele nulă și alternativă pentru testul χ^2 , aplicând acest test pentru a evalua asocierea dintre două variabile categorice.

Am generat grafice și analize descriptive pentru a vizualiza distribuția și structura datelor, facilitând astfel interpretarea și luarea deciziilor.

Am utilizat procesul de audit de produs la nivelul companiei, implementând un plan detaliat care a inclus testarea fiabilității modulelor electronice de control al cutiilor de viteze automate. Prin această implementare, am reușit să monitorizez și să evaluez stabilitatea produselor și rezultatele testelor de fiabilitate (Z-Teste) pe o perioadă de doi ani.

Am optimizat procesul de audit prin reducerea densității de testare de la 100 PPM la 50 PPM, pe baza unei analize de risc detaliate. Această reducere a dus la scăderea costurilor și la eficientizarea timpului de audit, fără a compromite calitatea produselor.

Am evaluat impactul reducerii densității de testare prin analiza reclamațiilor primite de la clienți în urma reducerii frecvenței de testare. Am constatat că reducerea la 50 PPM nu a crescut numărul de reclamații, din potrivea acesta a și scăzut, demonstrând că evaluarea riscului a fost realizată corect și că optimizarea procesului a fost un succes.

Am creat și documentat un raport de evaluare a riscului, inclusiv grafice care au ilustrat impactul reducerii densității de testare asupra numărului de reclamații, oferind o bază solidă pentru decizii viitoare privind auditul de produs.

Am dezvoltat și implementat proceduri de audit de produs axate pe identificarea neconformităților și defectelor folosind teste de fiabilitate.

Am implementat algoritmul propus într-o stație de lucru de la finalul liniei de producție, asigurând că acesta funcționează în timp real pentru a detecta piesele critice. Implementarea a inclus dezvoltarea și rularea unui cod „Python” care colectează și analizează datele de proces.

Am configurat stația de lucru finală astfel încât să fie capabilă să ruleze algoritmul, utilizând resursele hardware disponibile și integrându-l în fluxul normal de producție fără a întrerupe activitatea.

Am evaluat utilizarea resurselor precum procesor, memorie de procesare, etc. pentru a determina dacă sistemul pe care rulează algoritmul este capabil să funcționeze eficient în mediul de producție unde este nevoie de răspuns imediat, așadar timpul de execuție al calculului pentru procesarea rapidă a datelor a fost atent monitorizat.

Am testat algoritmul pe date istorice pentru a valida corectitudinea și eficiența acestuia. Rezultatele au arătat că algoritmul a identificat corect 95% din piesele critice, confirmând că poate fi utilizat în producția curentă.

Am comparat rezultatele algoritmului cu datele reale din trecut pentru a evalua acuratețea acestuia, și am realizat ajustările necesare pentru a optimiza performanța.

Am demonstrat că utilizarea algoritmului propus a condus la o reducere semnificativă a numărului de piese prelevate pentru auditul de produs, de la 2416 piese/an la 397 piese/an. Aceasta a dus la o scădere a costurilor cu aproximativ 17.500 EUR pe an.

Am reușit să reduc timpul de procesare a datelor de la 30 de minute la 5 minute pentru un set de 1000 de piese, ceea ce a demonstrat eficiența algoritmului și a contribuit la îmbunătățirea procesului de audit.

Eu am contribuit la reducerea numărului de reclamații din partea clienților cu aproximativ 60%, prin implementarea unei metode proactive de identificare și prevenire a defectelor, îmbunătățind astfel satisfacția clienților și reputația companiei.

Am organizat sesiuni de instruire pentru echipele de audit, prezentându-le noua metodă de procesare și analiza a datelor referitoare la piesele produse care vor fi preluate pentru auditul de produs.

Am organizat sesiuni de feedback pentru echipele de audit și inginerii de proces cu privire la performanța, utilitatea, eficiența algoritmului și a rezultatelor obținute. Am primit feedback pozitiv din partea echipei de producție și a clienților după implementarea auditului de produs inteligent.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

[1] Bozola P.M., Nunhes T.V., Barbosa L.C.F.M., Machado M.C., Oliveira O.J. Overcoming the challenges of moving from ISO/TS 16949 to IATF 16949: recommendations for implementing a quality management system in automotive companies. *Benchmarking: An International Journal* 2023, 30(9), 3699-3724.

[2] Gonzalez Santacruz E., Romero D., Noguez J., Wuest T. Integrated quality 4.0 framework for quality improvement based on Six Sigma and machine learning techniques towards zero-defect manufacturing. *The TQM Journal* 2024.

[3] van Iwaarden J., van der Wiele T., Williams R., Dale B. A management control perspective of quality management: An example in the automotive sector. *International Journal of Quality & Reliability Management* 2006, 23(1), 102-112.

[4] Oliveira D., Alvelos H., Rosa M.J. Quality 4.0: results from a systematic literature review. *The TQM Journal* 2024.

[16] Pacheco D.A.D.J., Librelato T.P. Optimising process and product performance in complex systems: a study in the automotive industry. *International Journal of Quality & Reliability Management* 2023, 40(4), 922-941.

[24] Teplická K., Khouri S., Mudarri T., Freňáková M. Improving the Quality of Automotive Components through the Effective Management of Complaints in Industry 4.0. *Applied Sciences* 2023, 13(14), 8402.

[34] Teplická K., Khouri S., Mudarri T., Freňáková M. Improving the Quality of Automotive Components through the Effective Management of Complaints in Industry 4.0. *Applied Sciences* 2023, 13(14), 8402.

[70] Jiang R., Product Quality Variations and Control Strategies. In: *Introduction to Quality and Reliability Engineering*. Springer Series in Reliability Engineering 2015.

[91] Ogorean, S.A., Moldovan, L. A Statistical Method for Improving the Quality of Electronic Products in the Automotive Industry. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023*. Springer Cham, Lecture Notes in Networks and Systems 2024; 926, 489-502.

[96] Ogorean, S.A., Moldovan, L. Impact of Humidity and Temperature on Quality of Automotive Products. *Acta Marisiensis. Seria Technologica* 2024; 20(2):14-18.

[100] Ogorean, S.A., Moldovan, L. Non-destructive Testing Methods Employed in the Production Processes of Electronic Modules from the Automatic Gearboxes. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 16th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2022. Springer Cham, Lecture Notes in Networks and Systems 2023; 605, 96-107.

[103] Stroganov V., Guly V., Kozlovsky V., Panyukov D., Blagoveshchensky D., Quality Management in the Automotive Industry in the Digital Transformation Era, In 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, 2021,1-5.

[106] Vicente H.A.P., Bermúdez E.G., Morales M.R., Continuous Improvement Using Statistical Process Control in the Mexican Automotive Motor Remanufacturing Industry: A Case Study, International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management Proceedings 2022.

[111] Requeijo J.G., Cordeiro J. Implementation of the Statistical Process Control with Autocorrelated Data in an Automotive Manufacturer. International Journal of Industrial and Systems Engineering 2013, 13, 325-344.

[112] Gejdoš P. Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control. Procedia Economics and Finance 2015, 34, 565-572.

[134] Hahn D., Straube S., Middendorf A., Abelein U., Lochner H. An Approach to Analyse Stressors of Semiconductors and Their ICP with Regards to Changing Requirements in Automotive. ZuE 2011, Hamburg. 2011.

[139] Knobbe F., Proff H. Dynamic Capabilities in the Automotive Industry Under Digitalisation - A Quantitative Study in the Automotive Supplier Industry. International Journal of Automotive Technology and Management 2020.

[154] Ventura Carvalho A., Lima T.M. Quality 4.0 and Cognitive Engineering Applied to Quality Management Systems: A Framework. Applied Systems Innovation 2022, 5(6):115.

[155] Yodo N., Dey A. Quality Management in Manufacturing, Industrial, and Systems Engineering for Green Sustainability. Sustainability. Special Issue 2023.

[163] Misokefalou D.E., Papoutsidakis P., Priniotakis P. Non-Destructive Testing for Quality Control in Automotive Industry. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology 2022.

[178] Tenscher-Philipp R., Schanz T., Harlacher F., Fautz B., Simon M. AI-Driven Synthetization Pipeline of Realistic 3D-CT Data for Industrial Defect Segmentation. Journal of Nondestructive Evaluation 2024.