

**MINISTERUL EDUCAȚIEI**

**Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA  
București**

**Școala Doctorală de Inginerie Industrială și Robotică**

**Domeniul fundamental de doctorat Științe inginerești**

**Domeniul de doctorat Inginerie și management**



**Vasile GUSAN**

# **REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT**

**Contribuții cu privire la creșterea calității, eficienței și  
eficacității unor fluxuri de fabricație de serie prin integrarea  
unor roboți colaborativi în industria automotive**

**Conducător științific,**

**Prof. univ. dr. ing. Aurel Mihail ȚÎȚU**

**Cuprinsul tezei de doctorat**

<b>Cuvânt înainte</b> .....	9
<b>Introducere</b> .....	10
<b>Lista de abrevieri</b> .....	13
<b>Lista cu cuvinte cheie</b> .....	15
<b>Lista figurilor și a tabelelor</b> .....	17
<b>PARTEA I. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL ASIGURĂRII CALITĂȚII PROCESELOR DE FABRICAȚIE PRIN INTEGRAREA UNOR ROBOȚI INDUSTRIALI ȘI COLABORATIVI DIN INDUSTRIA AUTOMOTIVE</b> .....	21
<b>Capitolul 1. Stadiul actual al cunoașterii privind calitatea și asigurarea calității în industria automotive</b> .....	22
1.1 Conceptul de calitate. Concepte asociate conceptului de calitate .....	22
1.2 Conceptul de asigurare a calității .....	26
1.3 Controlul tehnic de calitate în viziunea temei de cercetare .....	29
1.4 Calitatea totală și strategia zero defecte .....	30
1.4.1 Locul și rolul celor două concepte în cadrul temei de cercetare doctorală .....	30
1.4.2 Politici și strategii în domeniul automotive în concordanță cu cele două concepte .....	32
1.5 Managementul calității. Managementul calității totale .....	34
1.5.1 Managementul calității în viziune modernă .....	34
1.5.2 Managementul calității totale aplicat în organizațiile din domeniul automotive .....	36
1.5.3 Corelarea celor două concepte cu organizația bazată pe cunoștințe .....	39
1.5.3.1 Organizația bazată pe cunoștințe versus organizația care învață .....	40
1.5.3.2 Integrarea managementului calității în organizația bazată pe cunoștințe .....	42
1.5.3.3 Managementul bazat pe cunoștințe – cale de îmbunătățire a calității proceselor de fabricație în industria automotive .....	43
1.5.3.4 Economia bazată pe cunoștințe în contextul economic mondial și al temei de cercetare doctorale .....	44
1.6 Eficiența și eficacitatea în managementul proceselor de fabricație de serie din industria automotive care au în componență roboți colaborativi .....	46
1.7 Aspecte tehnice și manageriale cu privire la principiile managementului calității, principiile	

POLITEHNICA București	Rezumatul Tezei de doctorat	Contribuții cu privire la creșterea calității, eficienței și eficacității unor fluxuri de fabricație de serie prin integrarea unor roboți colaborativi în industria automotive	Vasile GUSAN
calității totale și principiile managementului calității totale cu implicații majore în tema de cercetare doctorală .....			48
1.8 Asigurarea și managementul calității din perspectiva cercetării prezentate cu implicații în pierderea de calitate.....			51
1.9 Concluzii .....			53
<b>Capitolul 2. Stadiul actual al cunoașterii în domeniul proceselor de fabricație în industria automotive care integrează roboți colaborativi.....</b>			<b>55</b>
2.1 Procesul de fabricație. Procesul de fabricație în industria automotive. Procesul de fabricație în industria automotive cu roboți colaborativi .....			55
2.2 Procesul de integrare a roboților colaborativi .....			58
2.3 Integrarea roboților colaborativi. Factori care pot influența calitatea funcționării roboților colaborativi.....			61
2.4 Parametrii care pot determina calitatea procesului .....			65
2.5 Concluzii .....			68
<b>Capitolul 3. Stadiul actual al cunoașterii în domeniul roboților industriali și colaborativi integrați în procese de fabricație din industria automotive.....</b>			<b>69</b>
3.1 Știința roboticii.....			69
3.2 Repere cronologice în cazul roboților .....			71
3.3 Roboții industriali.....			72
3.3.1 Tipuri de roboți industriali staționari .....			72
3.3.2 Tipuri de roboți industriali mobili.....			75
3.3.3 Furnizori de roboți industriali staționari.....			76
3.4 Roboții colaborativi.....			78
3.4.1 Prezentarea roboților colaborativi .....			78
3.4.2 Tipuri de roboți colaborativi .....			80
3.4.3 Furnizori de roboți colaborativi.....			84
3.5 Concluzii .....			85
<b>Capitolul 4. Eficiență și eficacitate – condiție esențială în creșterea calității produsului final în industria automotive.....</b>			<b>87</b>
4.1 Conceptul de eficiență abordat din perspectiva temei de cercetare doctorală.....			87
4.2 Conceptul de eficacitate în corelație cu obiectivele propuse în contextul temei de cercetare doctorală.....			88
4.3 Prezentarea unei corelații dintre conceptele eficiență, eficacitate și roboții colaborativi în vederea integrării acestora în fluxuri de fabricație de serie în industria automotive .....			90

POLITEHNICA București	Rezumatul Tezei de doctorat	Contribuții cu privire la creșterea calității, eficienței și eficacității unor fluxuri de fabricație de serie prin integrarea unor roboți colaborativi în industria automotive	Vasile GUSAN
4.4 Concluzii .....			92
<b>Capitolul 5. Concluzii privind stadiul actual al cercetării în domeniul asigurării calității proceselor de fabricație prin integrarea unor roboți industriali și colaborativi în industria automotive.....</b>			<b>93</b>
<b>PARTEA a II-a. CONTRIBUȚII PRIVIND CERCETAREA ȘI DEZVOLTAREA EFICIENȚEI ȘI EFICACITĂȚII FLUXURILOR DE FABRICAȚIE DE SERIE PRIN UTILIZAREA ROBOȚILOR COLABORATIVI ÎN VEDEREA ÎMBUNĂTĂȚIRII CALITĂȚII ȘI PERFORMANȚEI ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE.....</b>			<b>99</b>
<b>Capitolul 6. Direcțiile, obiectivul principal, obiectivele specifice și metodologia de cercetare a creșterii calității, eficienței și eficacității proceselor de fabricație prin integrarea roboților colaborativi în industria automotive.....</b>			<b>100</b>
6.1 Direcții de cercetare .....			100
6.2 Obiectivul principal și obiectivele specifice propuse în cadrul cercetării doctorale.....			104
6.3 Metodologia de cercetare propusă în cadrul cercetării doctorale.....			104
<b>Capitolul 7. Contribuții în domeniul tehnic cu privire la programarea roboților colaborativi .....</b>			<b>105</b>
7.1 Contribuții privind elaborarea și structurarea unui model propriu de programare .....			105
7.2 Explorarea studiului de caz și a contribuțiilor în programarea roboților colaborativi .....			107
7.3 Contribuții cu privire la programarea setărilor de bază.....			108
7.4 Contribuții cu privire la programarea categoriei „Before Start” .....			121
7.5 Contribuții cu privire la programarea categoriei „Robot Program” .....			126
7.6 Contribuții cu privire la programarea categoriei „SubProgram” .....			135
7.7 Contribuții cu privire la programarea categoriei „Thread” .....			147
7.8 Concluzii .....			150
<b>Capitolul 8. Contribuții în domeniul tehnic cu privire la modalitatea de implementare a sistemelor de siguranță auxiliare în ceea ce privește integrarea roboților colaborativi în industria automotive .....</b>			<b>154</b>
8.1 Modalități de plasare a roboților colaborativi în spațiul liniei de fabricație .....			154
8.2 Sisteme auxiliare de siguranță existente, metode de integrare și modalități de funcționare ale acestora.....			156
8.2.1 Sistemele auxiliare de siguranță existente și utilizate în aplicațiile cu roboți colaborativi .....			156
8.2.2 Principiul de funcționare electrică al elementelor de siguranță auxiliare utilizate în zona de producție .....			158
8.2.3 Programarea sistemelor de siguranță auxiliare și generarea schemei electrice de comandă a elementelor de siguranță .....			163

POLITEHNICA București	Rezumatul Tezei de doctorat	Contribuții cu privire la creșterea calității, eficienței și eficacității unor fluxuri de fabricație de serie prin integrarea unor roboți colaborativi în industria automotive	Vasile GUSAN
8.3	Concluzii .....		172
<b>Capitolul 9. Contribuții în managementul integrării roboților colaborativi în industria automotive .....</b>			<b>174</b>
9.1	Procesul de trasare a cerințelor în vederea implementării roboților colaborativi .....		174
9.2	Managementul costurilor de implementare .....		176
9.3	Aplicarea practică a unui model matematic în vederea gestionării costurilor de implementare în cadrul inițierii unui proiect cu roboți colaborativi .....		179
9.4	Managementul calității în implementarea roboților colaborativi. Aplicarea metodologiei PFMEA într-un flux cu roboți colaborativi.....		186
9.5	Modalități de definire ale parametrilor de măsurare a eficienței și eficacități din punct de vedere calitativ și cantitativ în industria automotive.....		190
9.6	Eficiența unui flux de fabricație cu și fără roboți colaborativi.....		192
9.7	Eficacitatea unui flux de fabricație cu și fără roboți colaborativi .....		195
9.8	Concluzii .....		197
<b>Capitolul 10. Contribuții cu privire la îmbunătățirea calității și a implementării strategiei zero timp de schimbare a fabricației .....</b>			<b>199</b>
10.1	O analiză comparativă a roboților industriali versus roboți colaborativi .....		199
10.2	Aspecte tehnice și economice cu privire la modalitatea de alegere a unui tip de robot .....		206
10.3	Problematika analizei costurilor înainte și după implementarea roboților colaborativi. Analiza costurilor de fabricație .....		207
10.4	Calitatea produselor, înainte și după implementarea roboților colaborativi .....		211
10.5	Strategia de zero timp de schimbare a fabricației aplicată asupra procesului de implementare a roboților colaborativi .....		212
10.6	Concluzii .....		215
<b>Capitolul 11. Integrarea metodologiei IDEF0 și implementarea strategiilor Lean Manufacturing în contextul Kaizen asupra proceselor de fabricație utilizând roboți colaborativi .....</b>			<b>217</b>
11.1	Procese de fabricație în domeniul automotive. Harta proceselor propusă pentru această industrie .....		217
11.2	Modelarea grafică a unui proces cu roboți colaborativi din automotive.....		219
11.3	Contribuții cu privire la metodologia Jishuken în procesele de fabricație din domeniul automotive utilizând roboți colaborativi .....		221
11.4	Implementarea conceptului Deviation Management în procesele de fabricație din domeniul automotive unde au fost implementați roboți colaborativi.....		224
11.5	Concluzii .....		227

<b>Capitolul 12. Contribuții privind politicile și strategiile de resurse umane în contextul integrării roboților colaborativi: Gestionarea și soluționarea excesului de personal .....</b>	<b>229</b>
12.1 Resursele umane și roboți colaborativi .....	229
12.2 Strategii eficiente pentru gestionarea tranziției resurselor umane în era integrării roboților colaborativi .....	230
12.3 Concluzii .....	231
<b>Capitolul 13. Concluzii finale și contribuții principale privind creșterea calității, eficienței și eficacității prin implementarea roboților colaborativi pe fluxurile de fabricație de serie din domeniul automotive .....</b>	<b>233</b>

## Bibliografie

## Anexe

Anexa 1 – Abordarea cercetării folosind harta mentală.....	a1-1
Anexa 2 – Diagrama fluxului de fabricație cu roboți colaborativi.....	a2-1
Anexa 3 – Studiu PFMEA asupra roboților colaborativi .....	a3-1
Anexa 4 – Aplicarea acțiunilor și recalcularea RPN în PFMEA .....	a4-1
Anexa 5 – Descompunerea diagramei A2, Procese operaționale prin IDEF0 .....	a5-1
Anexa 6 – Descompunerea procesului bloc A25 BackEnd - Asamblare finală , Subproces cu roboți colaborativi prin IDEF0 .....	a6-1

\*

**Precizăm faptul că rezumatul tezei de doctorat cuprinde doar o redare succintă a celor mai importante informații cuprinse în teză. (Autorul)**

## Cuprinsul rezumatului tezei de doctorat

<b>Cuvânt înainte .....</b>	<b>8</b>
<b>Introducere .....</b>	<b>9</b>
<b>PARTEA I. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL ASIGURĂRII CALITĂȚII PROCESELOR DE FABRICAȚIE PRIN INTEGRAREA UNOR ROBOȚI INDUSTRIALI ȘI COLABORATIVI DIN INDUSTRIA AUTOMOTIVE .....</b>	<b>11</b>
<b>Capitolul 1. Stadiul actual al cunoașterii privind calitatea și asigurarea calității în industria automotive .....</b>	<b>11</b>

POLITEHNICA București	Rezumatul Tezei de doctorat	Contribuții cu privire la creșterea calității, eficienței și eficacității unor fluxuri de fabricație de serie prin integrarea unor roboți colaborativi în industria automotive	Vasile GUSAN
1.1 Conceptul de calitate. Concepte asociate conceptului de calitate .....			11
<b>Capitolul 2. Stadiul actual al cunoașterii în domeniul proceselor de fabricație în industria automotive care integrează roboți colaborativi.....</b>			<b>13</b>
2.1 Procesul de fabricație. Procesul de fabricație în industria automotive. Procesul de fabricație în industria automotive cu roboți colaborativi .....			13
2.2 Procesul de integrare a roboților colaborativi .....			14
<b>Capitolul 3. Stadiul actual al cunoașterii în domeniul roboților industriali și colaborativi integrați în procese de fabricație din industria automotive.....</b>			<b>16</b>
3.1 Știința roboticii.....			16
<b>Capitolul 4. Eficiență și eficacitate – condiție esențială în creșterea calității produsului final în industria automotive.....</b>			<b>17</b>
4.1 Conceptul de eficiență abordat din perspectiva temei de cercetare doctorală.....			17
4.2 Conceptul de eficacitate în corelație cu obiectivele propuse în contextul temei de cercetare doctorală.....			18
<b>Capitolul 5. Concluzii privind stadiul actual al cercetării în domeniul asigurării calității proceselor de fabricație prin integrarea unor roboți industriali și colaborativi în industria automotive.....</b>			<b>19</b>
<b>PARTEA a II-a. CONTRIBUȚII PRIVIND CERCETAREA ȘI DEZVOLTAREA EFICIENȚEI ȘI EFICACITĂȚII FLUXURILOR DE FABRICAȚIE DE SERIE PRIN UTILIZAREA ROBOȚILOR COLABORATIVI ÎN VEDEREA ÎMBUNĂTĂȚIRII CALITĂȚII ȘI PERFORMANȚEI ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE.....</b>			<b>20</b>
<b>Capitolul 6. Direcțiile, obiectivul principal, obiectivele specifice și metodologia de cercetare a creșterii calității, eficienței și eficacității proceselor de fabricație prin integrarea roboților colaborativi în industria automotive.....</b>			<b>20</b>
6.1 Direcții de cercetare .....			20
6.2 Obiectivul principal și obiectivele specifice propuse în cadrul cercetării doctorale.....			24
6.3 Metodologia de cercetare propusă în cadrul cercetării doctorale.....			24
<b>Capitolul 7. Contribuții în domeniul tehnic cu privire la programarea roboților colaborativi .....</b>			<b>25</b>
7.1 Contribuții privind elaborarea și structurarea unui model propriu de programare .....			25
<b>Capitolul 8. Contribuții în domeniul tehnic cu privire la modalitatea de implementare a sistemelor de siguranță auxiliare în ceea ce privește integrarea roboților colaborativi în industria automotive.....</b>			<b>26</b>
8.2 Sisteme auxiliare de siguranță existente, metode de integrare și modalități de funcționare ale acestora.....			26
8.2.1 Sistemele auxiliare de siguranță existente și utilizate în aplicațiile cu roboți colaborativi .....			26

POLITEHNICA București	Rezumatul Tezei de doctorat	Contribuții cu privire la creșterea calității, eficienței și eficacității unor fluxuri de fabricație de serie prin integrarea unor roboți colaborativi în industria automotive	Vasile GUSAN
--------------------------	-----------------------------------	--	--------------

---

<b>Capitolul 9. Contribuții în managementul integrării roboților colaborativi în industria automotive .....</b>	<b>28</b>
9.2 Managementul costurilor de implementare.....	28
<b>Capitolul 10. Contribuții cu privire la îmbunătățirea calității și a implementării strategiei zero timp de schimbare a fabricației .....</b>	<b>29</b>
10.1 O analiză comparativă a roboților industriali versus roboți colaborativi.....	29
<b>Capitolul 11. Integrarea metodologiei IDEF0 și implementarea strategiilor Lean Manufacturing în contextul Kaizen asupra proceselor de fabricație utilizând roboți colaborativi .....</b>	<b>31</b>
11.1 Procese de fabricație în domeniul automotive. Harta proceselor propusă pentru această industrie.....	31
<b>Capitolul 12. Contribuții privind politicile și strategiile de resurse umane în contextul integrării roboților colaborativi: Gestionarea și soluționarea excesului de personal.....</b>	<b>32</b>
12.1 Resursele umane și roboți colaborativi .....	32
<b>Capitolul 13. Concluzii finale și contribuții principale privind creșterea calității, eficienței și eficacității prin implementarea roboților colaborativi pe fluxurile de fabricație de serie din domeniul automotive .....</b>	<b>33</b>
<b>Bibliografie .....</b>	<b>35</b>
<b>Anexe 1-6.....</b>	<b>45</b>



---

**CUVÂNT ÎNAINTE**

Teza intitulată „*Contribuții cu privire la creșterea calității, eficienței și eficacității unor fluxuri de fabricație de serie prin integrarea unor roboți colaborativi în industria automotive*” reprezintă un studiu dedicat calității, eficienței și eficacității proceselor de fabricație de serie, având ca instrument principal roboții colaborativi. Această temă este deosebit de actuală, având în vedere creșterea implementării roboților colaborativi în fluxurile de fabricație din industria automotive. Din ce în ce mai mulți producători de roboți dezvoltă modele inovatoare de roboți colaborativi, oferind noi soluții care devin tot mai prezente pe piață și în zona industrială. Adoptarea roboților colaborativi în cadrul organizațiilor din industria automotive devine tot mai prominentă, motivată de avantajele substanțiale pe care aceștia le furnizează. Toate drepturile de proprietate intelectuală ale prezentei teze de doctorat aparțin în mod egal atât conducătorului de doctorat, cât și doctorandului. Acest aspect este acceptat (agreat) în mod unanim atât de către conducătorul de doctorat, cât și de către doctorand.

Cercetarea și întreaga elaborare a demersului științific au fost marcate de o colaborare productivă și benefică cu distinsul conducător științific, prof. univ. dr. ing. Aurel Mihail ȚÎȚU. Exprim faptul că sunt profund recunoscător pentru îndrumare și susținere, pentru timpul prețios acordat și pentru generozitatea de a împărtăși cunoștințele și experiența sa vastă în domeniul cercetării științifice. Contribuțiile sale au avut un impact semnificativ asupra calității și relevanței cercetării, reprezentând o sursă de inspirație și orientare în această călătorie academică și științifică.

Transmit sincere aprecieri distinșilor profesori: domnului prof. univ. dr. ing. Nicolae Ionescu, domnului prof. univ. dr. ing. Cristian Doicin, domnului prof. univ. Emerit dr. ing. Constantin Oprean și domnului prof. univ. dr. ing. Mihai Dragomir. Exprim o recunoștință profundă pentru răbdarea, îndrumarea și experiența pe care au oferit-o în timpul desfășurării și elaborării cercetării științifice. Apreciez în mod deosebit contribuția lor esențială, care a jucat un rol crucial în atingerea succesului și în dezvoltarea abilităților mele în domeniul cercetării științifice.

Sunt profund recunoscător soției mele, Andra-Ioana, pentru sprijinul constant oferit în fiecare fază a acestui demers științific, inclusiv în timpul deplasărilor și în orice moment dedicat finalizării cercetării științifice. Îmi exprim, de asemenea, recunoștința față de părinții și socrii mei pentru sprijinul pe care l-au acordat. Încrederea lor în abilitatea mea de a atinge acest obiectiv, atât din perspectivă personală, cât și profesională, a reprezentat o ancoră solidă în momentele dificile ale procesului de cercetare. Aceste contribuții externe au fost fundamentale pentru succesul cercetărilor mele.

Ing. Vasile GUSAN

## INTRODUCERE

Secolul XXI, a reprezentat debutul primului robot colaborativ. Roboții colaborativi reprezintă echipamente deosebit de performante și versatile, susceptibile de integrare în diverse fluxuri de fabricație prin ajustarea echipamentelor existente. Cu toate acestea, în industria automotive, s-a constatat că nu întotdeauna organizațiile industriale sau integratorii de soluții tehnice au avut succes în atingerea eficienței, eficacității și calității în ceea ce privește integrarea roboților colaborativi.

În contextul acestui aspect, această cercetare științifică își propune să stabilească un standard pentru programarea roboților colaborativi, cu accent pe elaborarea unei structuri de programare și utilizarea unor limbaje software specializate. Obiectivul general al demersului este orientat către asigurarea îmbunătățirilor semnificative în calitatea, eficiența și eficacitatea în industria automotive, prin adoptarea și implementarea avansată a roboților colaborativi. În această perspectivă, obiectivul central al investigației științifice este evidențierea „*contribuțiilor personale aduse industriei automotive, focalizându-se pe îmbunătățirea calității, eficienței și eficacității în cadrul fluxurilor de producție în serie prin implementarea roboților colaborativi*”.

Structura tezei este divizată în două părți specifice. În prima parte, s-a efectuat o analiză a stadiului actual al cunoașterii în domeniu. În deschiderea celei de-a doua părți, se conturează direcțiile de cercetare, obiectivul principal și obiectivele specifice, fiind evidențiată metodologia de cercetare aplicată. Această secțiune avansează prin prezentarea detaliată a contribuțiilor originale și formularea concluziilor definitive, rezultate din această cercetare științifică.

În primul capitol, s-a efectuat o analiză detaliată a stadiului actual al calității și asigurării calității în industria automotive. Au fost explorate tendințele contemporane în domeniul calității și conceptele asociate acestora, cu accent pe rolul esențial al calității în atragerea clienților și generarea profitului. Implementarea unor sisteme riguroase de asigurare a calității în procesele de fabricație a fost investigată, acoperind diverse concepte precum controlul tehnic de calitate, filosofia calității totale și strategia zero defecte. Analiza a subliniat beneficiile aduse de integrarea organizațiilor bazate pe cunoștințe și managementul calității, evidențiind satisfacția clienților și îmbunătățirea continuă a proceselor. În acest context, s-a acordat o atenție deosebită eficienței, prin aplicarea managementului proceselor și a celui bazat pe cunoștințe, evidențiind impactul pozitiv al integrării roboților colaborativi în procesele de fabricație. Astfel, a fost conturată o perspectivă strategică orientată către satisfacția clienților și o investiție susținută în cercetarea de piață, recunoscute ca elemente esențiale pentru succesul organizațiilor din industria automotive.

Capitolul 2, este focalizat pe procesul de fabricație din industria automotive, cu o atenție deosebită pe automatizarea și interconectivitatea proceselor. Introducerea roboților colaborativi constituie un element central în această transformare, aducând beneficii semnificative în ceea ce privește eficiența, calitatea produselor și condițiile de lucru. Analiza detaliată din această secțiune relevă factorii variabili care influențează calitatea aplicațiilor cu roboți colaborativi, subliniind importanța unei implementări reușite pentru a adăuga valoare în procesul de producție. Pe parcursul acestui capitol, s-a considerat necesară identificarea parametrilor susceptibili care pot să influențeze calitatea proceselor de fabricație.

În continuare, sunt vizate progresele semnificative în domeniul roboților industriali și colaborativi din cadrul industriei automotive, în contextul evoluției cercetării. În sfera analizei din capitolul 3, s-a progresat prin examinarea soluțiilor robotice cu diferite niveluri de autonomie, evidențiind beneficiile roboților industriali, mobili și staționari. De asemenea, s-a cercetat diversitatea oferită de furnizorii de roboți industriali și colaborativi, evidențiind proprietățile și funcțiile tehnice variate, cruciale pentru îmbunătățirea eficienței și calității în mediul industrial.

În analiza detaliată prezentată în cadrul capitolului 4, s-a evidențiat influența semnificativă a eficienței și eficacității fluxurilor de fabricație în industria automotive. S-a acordat atenție specială utilizării roboților colaborativi, subliniindu-se impactul lor pozitiv asupra aspectelor economice și productivității. Importanța acestor roboți în reducerea costurilor de producție, optimizarea fluxurilor

de fabricație și îmbunătățirea calității produselor finite a fost subliniată, consolidând beneficiile aduse de această tehnologie în contextul industriei automotive.

Pe baza aspectelor abordate în capitolele componente ale primei părți, s-a conceput capitolul 5 cu scopul de a contura concluzii clare referitoare la stadiul actual al cunoașterii în domeniul studiat.

În partea a doua a tezei, sunt expuse direcțiile de cercetare, obiectivul principal, obiectivele specifice, metodologia de cercetare aplicată și contribuțiile originale rezultate în urma cercetării teoretice desfășurate în prima parte. Aceasta debutează prin conturarea clară a direcțiilor de cercetare, a obiectivului principal și a obiectivelor specifice, precum și prin expunerea metodelor utilizate, subiect abordat în capitolul 6. Argumentarea necesității automatizării cu roboți colaborativi s-a fundamentat pe criza acută a forței de muncă cu care România se confruntă, pe imperativul optimizării continue a costurilor și pe exigențele sporite de a îmbunătăți eficiența și eficacitatea fluxurilor de fabricație.

Capitolul 7 abordează domeniul programării roboților colaborativi, începând cu sublinierea necesității unei standardizări eficiente. Propunând o structură programabilă și oferind recomandări specifice, acest capitol se distinge printr-o abordare inovatoare în contextul caracterizat de lacune în standardizare. O atenție deosebită se acordă importanței configurării setărilor de bază și a categoriilor: „BeforeStart”, „Robot Program”, „SubProgram” și „Thread”, elemente cu impact direct asupra eficienței procesului de programare și a funcționalității generale. În abordarea colaborării om-robot, capitolul identifică oportunități și gestionează provocările asociate cu posibilele coliziuni, contribuind astfel la dezvoltarea unei practici mai sigure și eficiente în domeniul robotic. Structura bine definită și orientarea către standardizare reprezintă, în ansamblu, contribuții remarcabile pentru avansarea programării roboților colaborativi.

Cu toate că programarea roboților colaborativi este realizată în mod excelent, riscul securității omului poate persista, în special atunci când roboții colaborativi operează la viteze mari sau utilizează dispozitive periculoase. Aspectul poziționării spațiale a roboților colaborativi reprezintă, de asemenea, o problemă esențială ce trebuie definită în mod clar. Această abordare a condus la elaborarea capitolului 8, având ca obiectiv principal evidențierea modalităților optime de plasare spațială a roboților colaborativi și dezvoltarea unui sistem auxiliar de siguranță. Astfel s-au propus multiple soluții pentru suspendarea roboților colaborativi, detaliind diverse metode pentru identificarea optimă a poziționării spațiale în cadrul fluxului de fabricație. În etapele ulterioare, au fost prezentate diferite echipamente individuale ce pot fi integrate pentru constituirea unui sistem de siguranță, precizând modul în care acestea pot fi incorporate. De asemenea, au fost descrise principiile funcționării electrice și procedurile de programare a dispozitivelor ce necesită astfel de intervenții.

În cadrul capitolului 9, s-au adus multiple contribuții originale în ceea ce privește managementul integrării roboților colaborativi. Astfel, s-a dezvoltat un model matematic destinat gestionării costurilor de implementare, iar ulterior, s-a efectuat o aplicație practică pentru a demonstra validitatea acestui model matematic. O atenție deosebită a fost acordată validării calitative și prevenirii potențialelor defecte prin implementarea metodologiei PFMEA. De asemenea, au fost dezvoltate metode matematice pentru calculul eficienței și eficacității fluxurilor de fabricație cu roboți colaborativi, acestea fiind ulterior aplicate pentru a demonstra validitatea formulărilor elaborate.

În scopul analizei îmbunătățirii profitabilității organizațiilor, a fost dezvoltat capitolul 10. Inițial, a fost dezvoltat un proces detaliat pentru stabilirea cerințelor în vederea integrării acestora, urmat de o analiză a costurilor comparative pentru diverse moduri de operare cu: operatori, roboți industriali și roboți colaborativi. S-a considerat oportună formularea de recomandări tehnice și economice referitoare la alegerea tipului de robot colaborativ. De asemenea, s-a analizat, utilizând același model matematic elaborat, un flux de producție adițional între modul de lucru cu operatori și cel cu roboți colaborativi. Au fost formulate argumente pentru a demonstra modalitatea prin care roboții colaborativi contribuie la îmbunătățirea calității produselor. În acest context, s-a considerat oportună modalitatea de implementare a conceptului „Zero timpi de schimbare a fabricației”, și s-a prezentat modul în care acesta se integrează cu roboții colaborativi.

În capitolul 11 se evidențiază importanța sinergiei dintre metodologia IDEF0 și strategiile Lean Manufacturing în cadrul procesului continuu de îmbunătățire Kaizen, cu focalizare asupra

roboților colaborativi în fluxurile de producție din industria automotive. Roboții colaborativi, integrați conform IDEF0, sunt confirmați ca entități esențiale în asamblarea finală, generând eficiență și economii semnificative. IDEF0 subliniază abilitatea roboților de a prelua activități repetitive, eliberând resurse umane pentru sarcini cu valoare cognitivă. Deși IDEF0 consideră echivalente resursele umane și roboții colaborativi, se evidențiază prioritatea acordată capacității cognitive a operatorilor umani. Modelul IDEF0 relevă rolul crucial al roboților colaborativi în îmbunătățirea eficienței și funcționalității fluxului de producție. Implementarea Jishuken, dezvoltată de Toyota, este instrumentul principal pentru îmbunătățirea continuă, eliminând cele opt tipuri de pierderi din procesele de producție. Compararea fluxurilor de producție sub Jishuken evidențiază avantajele roboților în gestionarea deviațiilor și îmbunătățirea calității. Prin propunerea unui concept inovativ privind implementarea Deviation Management în sfera producției, se aduce în prim plan o metodologie aplicativă și o relație matematică pentru evaluarea deviațiilor. Acest concept se integrează în cadrul strategiilor Lean, în care Deviation Management identifică și remediază abaterile, optimizând procesele după implementarea Jishuken și eliminarea pierderilor. Într-un context de producție cu roboți colaborativi, se constată o reducere semnificativă a deviațiilor, consolidând importanța integrării coerente a acestor strategii și metodologii în evoluția industriei moderne.

În final, în cadrul capitolului 12, se demonstrează că prin creșterea numărului de roboți colaborativi se reduce considerabil numărul de operatori. Acest aspect este parțial adevărat, dar nu în totalitate, deoarece resursa umană și roboții colaborativi sunt complementari. De asemenea, pentru operatorii care părăsesc vechile locuri de muncă repetitive, s-au formulat diverse soluții pentru a gestiona această situație, inclusiv relocarea acestora.

Modelele matematice, tipurile de programare, recomandările, ideile și sistemele dezvoltate și prezentate în partea a doua a tezei reprezintă contribuții originale, demonstrând astfel îndeplinirea cu succes a fiecărui obiectiv propus în cadrul tezei de doctorat.

## **PARTEA I. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL ASIGURĂRII CALITĂȚII PROCESELOR DE FABRICAȚIE PRIN INTEGRAREA UNOR ROBOȚI INDUSTRIALI ȘI COLABORATIVI DIN INDUSTRIA AUTOMOTIVE**

### **Capitolul 1 STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII PRIVIND CALITATEA ȘI ASIGURAREA CALITĂȚII ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE**

#### **1.1 Conceptul de calitate. Concepte asociate conceptului de calitate**

CALITATEA reprezintă un concept deosebit de complex. Acest concept a fost definit, de-a lungul timpului, în diferite moduri ca fiind:

- concordanță cu necesitățile (Crosby, 1979);
- conformare la nevoile clientului (Deming, 1986);
- conformitate în vederea utilizării (Juran, 1988);
- un ansamblu de caracteristici ale unui material sau nematerial care are în componență aptitudinea de a satisface nevoile exprimate (Organizația Internațională pentru Standardizare, 1994);

- adecvarea în care un ansamblu de caracteristici intrinseci aparținând obiectului îndeplinesc cerințele (Oprean, Vanu, & Stan, 2021);
- totalitatea caracteristicilor, ale unui produs sau serviciu, care au capacitatea de a satisface nevoile specificate ale clienților (Organizația Internațională pentru Standardizare, 2015).

Calitatea mai poate fi descrisă ca fiind ansamblul de trăsături care determină sau facilitează satisfacția nevoilor clientului, acestea fiind prezente încă de la proiectarea produsului, în procesul de fabricație și până la livrarea acestuia. Asigurarea și menținerea unui nivel de calitate sunt esențiale și trebuie obligatoriu luate în considerare în toate etapele procesului de producție.

Dată fiind necesitatea asigurării continue a conceptului de calitate în mediul industrial de serie sau masă, s-a impus implementarea controlului calității și a ingineriei calității ca mijloace de garantare a calității. (Oprean & Țițu, 2008)

În conformitate cu cele menționate, calitatea poate fi definită ca fiind:

- măsura în care un set de caracteristici intrinseci îndeplinește cerințele; (ISO 9000:2015, 2024)
- conformitate în raport cu specificația sau caietul de sarcini;
- îndeplinirea în totalitate a cerințelor clientului;
- capacitatea de a satisface o necesitate.

Pot fi remarcate în definițiile conceptului de calitate anumite cuvinte cheie cum ar fi: „necesitate”, „nevoie” sau „cerință”. Calitatea sau lipsa acesteia poate fi definită doar în momentul în care există un sistem clar precizat în funcție de care conceptul poate fi raportat. Acest sistem este caracterizat de către necesitățile, nevoile sau cerințele exprimate de către piață sau de către client. Conceptul de calitate ar fi deosebit de dificil de definit în lipsa acestor cuvinte cheie, un produs fiind considerat calitativ, conform sau concordant doar în momentul în care condițiile exprimate au fost satisfăcute. Din perspectiva practică, un obiect sau corp poate fi considerat ca având calitate în măsura în care acesta îndeplinește în mod satisfăcător nevoile și așteptările clientului și, în același timp, respectă cerințele tehnice specifice.

...

Specificația produsului sau serviciului poate cuprinde o varietate de cerințe care trebuie îndeplinite de către furnizor, inclusiv caracteristici tehnice, estetice, economice, sociale și de utilizare. Aceste cerințe sunt esențiale pentru a garanta că produsul sau serviciul final îndeplinește nevoile și așteptările clientului. Prin identificarea și analizarea acestor cerințe, furnizorul poate dezvolta un plan de acțiune pentru a atinge scopul final, și anume satisfacția clientului.

Caracteristicile tehnice ale unui produs sau serviciu pot fi cuantificate prin definirea unor parametri tehnico-economici și tehnico-funcționali, care sunt esențiali pentru a garanta îndeplinirea cerințelor clientului. Acești parametri pot include, de exemplu, limitări ale performanței, specificații ale materialelor, parametri de testare și standarde de calitate. Prin stabilirea acestor parametri de natură tehnică, se poate asigura că produsul sau serviciul final îndeplinește nevoile și așteptările clientului și satisface cerințele specifice ale acestuia. (Oprean & Vanu, 2006)

Caracteristicile estetice sunt aspecte legate de design și aspectul vizual al unui produs sau serviciu. Ele pot include forma, textura, culoarea, ambalajul și alte caracteristici care afectează prezentarea și percepția produsului sau serviciului. Aceste caracteristici estetice pot avea un impact semnificativ asupra atractivității și acceptabilității produsului sau serviciului în ochii clientului sau consumatorului și pot contribui la creșterea vânzărilor și a satisfacției clientului. Prin urmare, caracteristicile estetice joacă un rol important în proiectarea și dezvoltarea produselor sau serviciilor. (Oprean, Vanu, & Stan, 2021)

...

Asigurarea calității reprezintă un proces complex și sistematic care are ca scop garantarea că produsele sau serviciile furnizate îndeplinesc standardele de calitate și cerințele specificate. Unul dintre principalele obiective ale asigurării calității este de a asigura că toate activitățile desfășurate în cadrul procesului de fabricație sau furnizare a serviciilor sunt planificate, implementate și controlate

într-un mod care să asigure că produsele sau serviciile rezultate sunt conforme cu cerințele și așteptările clienților. Acest lucru implică dezvoltarea și aplicarea unui set de politici, proceduri și standarde de calitate, în conformitate cu norme și reglementări internaționale recunoscute.

...

## Capitolul 2 STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL PROCESELOR DE FABRICAȚIE ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE CARE INTEGREAZĂ ROBOȚI COLABORATIVI

### 2.1 Procesul de fabricație. Procesul de fabricație în industria automotive. Procesul de fabricație în industria automotive cu roboți colaborativi

Orice entitate materială existentă în natură este produsul unui proces, fie el natural, fie influențat sau creat de către om. Chiar dacă procesul este de origine naturală, omul a înțeles că prin utilizarea corectă a parametrilor, poate replica sau recrea același rezultat.

Fiecare proces poate fi împărțit în etape distincte și funcționează în baza unor parametrii specifici, cum ar fi timpul, temperatura, mediul. Unul dintre procesele care poate fi menționat printre multitudinea celorlalte existente este fabricația.

Procesul poate fi definit, conform (Oprean, Vanu, & Stan, 2021), ca fiind o serie de activități corelate sau interdependente care folosesc intrări pentru a produce un rezultat planificat.

Procesul de fabricație poate fi regăsit sub diverse definiții:

- Procesul de fabricație poate fi definit ca fiind ansamblul de procedee utilizate în transformarea materiei prime și a semifabricatelor în produse finite. (Dicționar explicativ al limbii române, 2023)
- În termeni științifici, procesul de fabricație poate fi definit ca fiind un set de acțiuni planificate și executate de către lucrătorii unei organizații, cu ajutorul mașinilor și echipamentelor, asupra materiei prime sau a componentelor, urmărind transformarea acestora în produse finite sau servicii. (Frățilă, 2019)

Pe scurt, procesul de fabricație este modalitatea prin care materia primă sau componentele sunt transformate în produse sau piese finite, prin intermediul acțiunilor efectuate de angajații organizației și cu ajutorul echipamentelor sau mașinilor. Acest proces poate fi împărțit în mai multe etape, în care produsul este supus diferitelor procese tehnologice, controale de calitate, analize sau teste tehnice și procedee de ambalare sau împachetare.

Figura 2.1 prezintă diagrama de fabricație a unui proces tipic de fabricație.

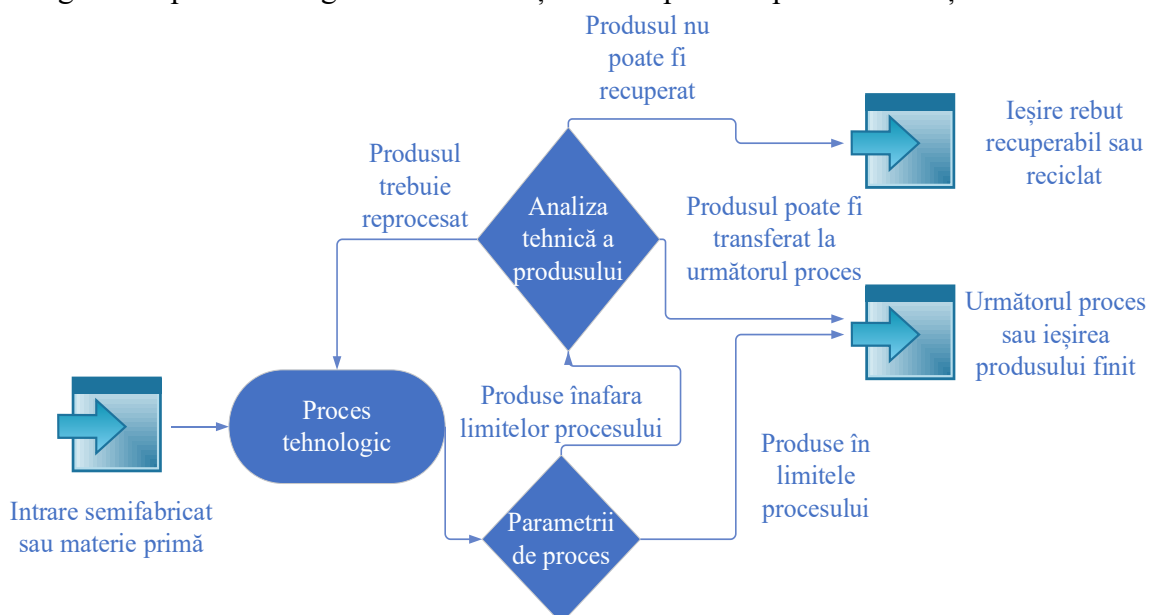


Fig. 2.1 Diagramă a unui proces de fabricație

Procesul tehnologic este afectat de o serie de parametrii care trebuie să fie menținuți sub control și verificați în mod constant pentru a asigura calitatea produselor finite obținute.

...

Procesul tehnologic reprezintă un ansamblu de operațiuni și procedee prin care materia primă sau semifabricatul este transformat într-un produs finit de calitate. Aceste modificări sunt critice pentru a asigura calitatea produsului final, iar parametrii de proces trebuie să fie controlați și monitorizați pentru a asigura menținerea acestora în limitele stabilite. Modificările la care este supus semifabricatul poate avea un impact în ceea ce privește:

- Proprietatea materialului;
- Dimensiunea;
- Forma (Frățilă, 2019).

În termeni științifici, procesul de fabricație poate fi definit ca o succesiune de operații tehnologice complexe, integrate și optimizate, care sunt utilizate pentru a interveni în proprietățile materialelor, dimensiunile și forma acestora, în scopul obținerii produselor finite cu calități și caracteristici specifice. Procesele tehnologice sunt selectate și combinate într-un mod rațional, având în vedere obiectivele de producție și factorii tehnici, economici și de mediu, astfel încât să se obțină performanțe optime în ceea ce privește calitatea, eficiența și durabilitatea produselor obținute.

Industria automotive, numită și automobilistică, are drept scop principal dezvoltarea, inovarea, îmbunătățirea, producția și distribuția autovehiculelor și a componentelor lor. (Omar, 2011)

Procesul de fabricație în industria automotive este esențial în producția autovehiculelor și componentelor acestora. Scopul acestui proces constă în obținerea de produse finite, care sunt apoi utilizate în construcția autovehiculelor sau în asamblarea acestora. În industria automotive există o varietate de procese tehnologice utilizate în cadrul fabricației:

- Asamblarea produsului finit;
- Tratarea produsului finit;
- Realizarea tehnologică a produsului finit.

Industria automotive reprezintă unul dintre cele mai importante sectoare ale producției din comunitatea globală, generând beneficii economice semnificative pentru economia mondială. (Nieuwenhuis & Wells, 2015)

...

## 2.2 Procesul de integrare a roboților colaborativi

Roboții colaborativi, cunoscuți sub denumirea de coboți, sunt proiectați să interacționeze direct cu operatorii umani. (Peshkin & Colgate, 1999) Pentru a realiza o integrare eficientă și eficace a roboților colaborativi, este crucial să existe suficiente resurse și o documentare adecvată privind aspectele importante. Integrarea în sine este un proces relativ rapid și simplu.

Integrarea roboților colaborativi în procesul de fabricație implică procese distincte, care trebuie urmate în ordine secvențială pentru a asigura o implementare eficientă și eficace:

- Procesul de studiu asupra fezabilității integrării roboților colaborativi;
- Procesul de achiziție;
- Procesul de montaj și programare;
- Procesul de validare al procesului de fabricație cu roboți colaborativi;
- Procesul de lansare în fabricația de serie a noului flux cu roboți colaborativi.

Integrarea roboților colaborativi într-un proces de fabricație necesită inițierea unui proces de studiu al fezabilității, în care se determină toate aspectele relevante pentru montajul și funcționarea acestora. Printre acestea se constată numărul de dispozitive de prindere, necesitatea scanerelor sau barierelor de siguranță și modul de comunicare dintre roboți și mediul înconjurător.

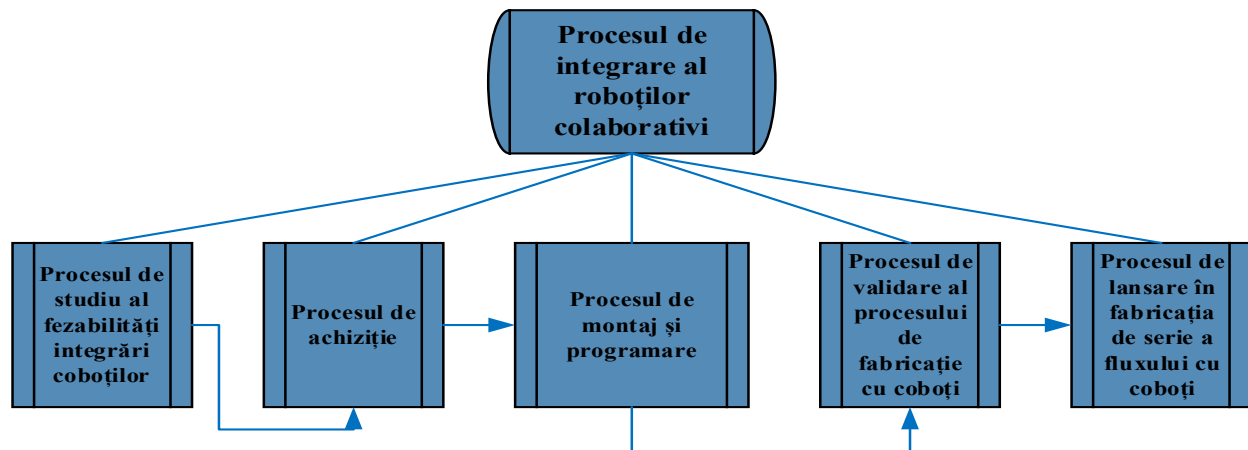


Fig. 2.2 Procesul de integrare al roboților colaborativi

Sursa: (Țițu, Gusan, &amp; Dragomir, 2023)

De asemenea, trebuie stabilit timpul de ciclu și numărul de roboți necesari pentru o anumită aplicație.

...

Ca primă etapă, se demarează procesul de etapizare a asamblării structurii roboților colaborativi, urmată de implementarea efectivă a roboților, a dispozitivelor de prindere corespunzătoare și, în anumite situații, a dispozitivelor de securitate din punct de vedere mecanic și electric. Se procedează ulterior la conectarea la rețea a tuturor dispozitivelor și echipamentelor asociate roboților colaborativi, asigurând astfel posibilitatea de comunicare eficientă a acestora cu mediul înconjurător. Pentru a facilita comunicarea, roboții colaborativi sunt echipați cu diferite mijloace de conectivitate, cum ar fi intrări-ieșiri electrice, protocol industrial Modbus, protocol industrial TCP-IP sau protocol industrial Profinet. (Gusan, Țițu, & Oprean, 2022)

Utilizarea unui singur cablu ethernet pentru comunicare între dispozitive poate fi mult mai convenabilă decât folosirea unui număr mare de fire sau cabluri electrice separate. Acest lucru poate fi exemplificat în mod concret prin figura 2.4. În urma finalizării proceselor de montaj electric și mecanic, precum și a stabilirii conexiunilor dintre roboții colaborativi și mediul înconjurător, etapa de programare a roboților colaborativi poate fi inițiată.

Pentru a configura o aplicație, este necesară urmarea unui set de pași, care includ:

- Determinarea și declararea punctului central al sculei;
- Declararea poziției de montaj;
- Denumirea și declararea intrărilor și ieșirilor electrice, respectiv a altor semnale și variabile;
- Salvarea configurațiilor de bază.

După configurarea setărilor de bază, se poate trece la programarea efectivă a roboților colaborativi. Programul va fi executat secvențial, de la început până la sfârșit. Fiecare intrare și ieșire va fi interogată în program, iar în funcție de acestea, se vor putea construi decizii și porți logice prin intermediul instrucțiunilor simple de if/elseif/else. Mișcările robotului vor fi definite prin stabilirea coordonatelor pentru fiecare punct, iar pentru aceste mișcări și puncte, vitezele și decelerarea robotului vor fi specificate în program. De asemenea, pentru a evita oprirea robotului la fiecare punct, se poate programa să ocolească punctul conform unei raze, fără a se opri. În final, aplicațiile trebuie să respecte caietul de sarcini și să fie dezvoltate într-un mod simplu și rapid. Posibilitățile de programare și dezvoltare, în această direcție, sunt nelimitate.

Procesul de validare a fluxului de fabricație cu roboți colaborativi reprezintă un set de activități care asigură certificarea funcționalității și siguranței noii modalități de producție. Această procedură de validare este efectuată de către departamente specializate în domeniu, având ca scop recertificarea fluxului de producție în urma implementării roboților colaborativi, relocației echipamentelor, sau altor modificări relevante. Spre exemplu, în industria automotive cu specific în electronică, se efectuează măsurători ESD pentru a obține certificarea ESD. Această abreviere



provine de la electrostatic safety dischargement - descărcarea electrostatică în siguranță. În acest caz, este crucial ca roboții colaborativi să fie construiți din materiale care favorizează descărcarea electrostatică. Instrucțiunile de lucru trebuie actualizate pentru a integra noile proceduri de operare cu roboți colaborativi, facilitând familiarizarea operatorilor cu aceștia. O revalidare a liniei de producție cu roboți colaborativi va fi efectuată de către un specialist în sănătate și securitate în muncă. În acest timp vor fi verificate butoanele de urgență și elementele auxiliare de siguranță conectate la robotul colaborativ. În final, auditorul SSM va emite o certificare internă care confirmă că fluxul de producție cu roboți colaborativi este sigur pentru a fi operat în mod obișnuit de către operatorii umani.

...

### **Capitolul 3 STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL ROBOȚILOR INDUSTRIALI ȘI COLABORATIVI INTEGRAȚI ÎN PROCESE DE FABRICAȚIE DIN AUTOMOTIVE**

#### **3.1 Știința roboticii**

Știința roboticii reprezintă disciplina care este preocupată cu cercetarea, proiectarea, producția și ceea ce presupune tehnologia roboților. Robotica reprezintă o știință care combină și impune cunoștințe în zona de mecanică, electronică și programare.

În primul rând, este importantă identificarea originii științei numită „Robotică”. Termenul de „Robotică” provine, desigur, de la cuvântul robot. În trecut, cuvântul robot era prezent doar în literatura science fiction. Acest cuvânt era complet absent din limbajul inginerilor și al personalului tehnic, până în anul 1920 când autorul ceh de origine, Karel Capek, a scris lucrarea intitulată „Rossum’s Universal Robots”. Piesa a fost premiată la Praga în 1921 și a fost interpretată la Londra în anul 1921 și în anul 1922 la New York. În această lucrare tema principală abordată o reprezintă muncitorii futuriști construiți de către oameni. Acești operatori sau muncitori sunt prezentați ca fiind creați de către oameni pentru a reduce dificultățile vechilor locuri de muncă prin automatizarea acestora. (Kuffers, 2005)

...

Idealul roboticii este ilustrat prin înlocuirea muncii umane cu sisteme automate complexe, capabile să execute cu succes sarcinile impuse de om, fără a mai necesita intervenția umană în timp real. (Telea, 2014)

Datorită faptului că știința roboticii înglobează cunoștințe multiple din diverse domenii ingineresti, precum: mecanica, informatica, bioingineria, electrotehnica și programarea; poate fi considerată ca fiind o știință deosebit de complexă.

Echipamentele elaborate în cadrul domeniului robotic au scopul de a prelua diverse activități din responsabilitatea omului sau de a le replica, ușurând astfel viața omului. Viața omului este plină de provocări și de activități diverse și repetitive, aspect care a condus la nașterea diverselor modele de roboți care se pot deosebi în funcție de destinație și utilizare. Din punct de vedere mecanic, roboți pot prelua diverse forme, fiind inspirați din biologia omului sau din alte arii. Astăzi, aceștia pot fi regăsiți sub numeroase forme, fiind destinați pentru diferite scopuri de utilizare, asemători total sau parțial omului: robot umanoid, braț robotic, picior robotic, robot mobil pentru transport sau curățare, etc.

...

Omul s-a inspirat inclusiv din natură pentru a replica prin știința roboticii diferite activități. În aceste zile, roboții pot replica activități precum: vorbirea, gândirea, manipularea greutăților, mersul și multe altele.

Roboții pot fi clasificați și în funcție de zona de activitate pentru care aceștia au fost concepuți, aceștia fiind utilizați în domenii variate de activitate, precum:

- Zone de fabricație (activități care cuprinde preluarea și plasarea, transportul de mărfuri și produse, manipularea diverselor scule, etc.);

- Zona casnică (activități de curățenie sau servire, etc.);
- Zone cu grad de pericolozitate ridicat (inspecția materialelor radioactive, detectarea și dezamorsarea explozivilor, și alte domenii de activitate similare);
- Zona medicală (înlocuirea membrilor amputate sau a altor organe pentru a susține viața și asistarea în operații care necesită o precizie ridicată sunt doar câteva exemple de aplicații ale roboților în domeniul medical);
- Zone incompatibile cu viața omului (explorarea și operarea în spațiul extraterestru, cu temperaturi înalte, aflate la adâncimi mari ale apei sau lipsite de oxigen, etc.).

În trecut, cercetătorii, inginerii și inventatorii și-au exprimat frecvent presupunerile cu privire la faptul că roboții vor reprezenta viitorul. Întotdeauna a existat dorința omului de a crea roboți total autonomi, însă indicele de cercetare în ceea ce privește funcționalitățile și potențialul lor a rămas scăzut până în secolul XX.

...

## **Capitolul 4 EFICIENȚĂ ȘI EFICACITATE – CONDIȚIE ESENȚIALĂ ÎN CREȘTEREA CALITĂȚII PRODUSULUI FINAL ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE**

### **4.1 Conceptul de eficiență abordat din perspectiva temei de cercetare doctorală**

Conceptul de eficiență este unul complex și poate fi abordat atât din perspectiva tehnică, cât și din perspectiva economică. (Çalmaşur, 2016)

În cadrul cercetărilor academice din domeniul producției, se observă o utilizare frecventă a termenului de eficiență în legătură cu noțiunea de productivitate. Aceasta este definită ca producerea unui volum mai mare sau cel puțin egal de bunuri folosind aceleași sau mai puține resurse. (Pekur, Haapasalo, & Herrala, 2011)

În cercetările de specialitate, roboții colaborativi sunt prezentați ca fiind instrumente care:

- pot îmbunătăți sistemul de producție prin sprijinirea lucrătorilor atât la nivel fizic, cât și cognitiv; (Braganța, Costa, Castellucci, & Arezes, 2019)
  - pot optimiza costurile prin echilibrarea efortului uman și prin urmărirea ergonomiei, asigurând un flux de lucru eficient și productiv; (Weckenborg & Spengler, 2019)
  - pot crește eficiența, eficacitatea și calitatea procesului de producție. (Țîțu & Gusan, 2022)
- Roboți colaborativi cresc eficiența în ceea ce privește producția fluxurilor de fabricație prin:
- creșterea numărului de repere produse pe oră;
  - stabilizarea numărului de repere produse de fluxul de fabricație pe oră.

Îmbunătățirea eficienței fluxului de producție poate fi realizată prin creșterea numărului de repere produse pe oră, prin optimizarea vitezei de producție.

...

În paralel, implementarea roboților colaborativi conduce și la responsabilizarea operatorului rămas pe fluxul de fabricație. Acesta devine conștient de faptul că ritmul de producție este impus de roboți, motiv pentru care se va concentra mai bine asupra sarcinilor proprii, devenind astfel singura resursă variabilă cu un impact semnificativ asupra productivității fluxului de fabricație.

Variația unui flux de fabricație se amplifică odată cu creșterea numărului de operatori existenți pe fluxul de fabricație. Fiecare operator aduce cu sine, o variație deoarece:

- aceștia pot părăsi locul de muncă pentru pauze;
- pot fi distrași din timp în timp cu ușurință, fiind posibil chiar să se distragă unii pe ceilalți prin socializare, astfel fiind realizată o pierdere a concentrării în ceea ce pot presupune activitățile de producție;
- fiecare om este diferit, cu grad de rezistență la oboseală diferită, cu viteză de lucru și atenție variabilă în funcție de vârstă sau stare emoțională.

Roboții colaborativi eficientizează fluxurile de fabricație din punct de vedere economic. Aceștia reduc costurile de fabricație prin reducerea numărului de operatori, investiția fiind recuperată într-un timp foarte scurt. Prin optimizarea costurilor de fabricație organizațiile vor putea fabrica la un cost mult mai redus, rămânând deosebit de competitive pe piață.

...

#### **4.2 Conceptul de eficacitate în corelație cu obiectivele propuse în contextul temei de cercetare doctorală**

Definiția eficacității, conform (eficacitate - definiție și paradigmă | dexonline, 2023), se referă la capacitatea de a produce efectul dorit sau așteptat într-un mod pozitiv și cu calitate.

Eficacitatea, dintr-o perspectivă generală, se referă la a face lucrurile potrivite, adică la selecționarea și concentrarea pe producerea unui produs sau serviciu pentru care există o cerere reală și o nevoie identificată. (Sundqvist, Backlund, & Chronéer, 2014)

Pornind de la premisa că eficacitatea implică realizarea lucrurilor într-un mod adecvat, se poate considera că eficacitatea unui flux de producție se poate referi și la capacitatea acestuia de a realiza produse conforme, ceea ce înseamnă o îndeplinire adecvată a cerințelor și așteptărilor clientului. Produsele conforme sunt cele care sunt considerate adecvate și corespunzătoare cerințelor și specificațiilor, ceea ce le conferă un grad ridicat de calitate și poate conduce la certificarea lor ca produse de calitate.

În prezent, una dintre strategiile cele mai frecvent utilizate de către organizații este reprezentată de îmbunătățirea și controlul continuu al calității. (Godina, Matias, & Azevedo, 2016)

Calitatea procesului de fabricație este influențată în mare parte de parametrii de proces, printre care se numără și manipularea produsului. Manipularea produsului este un parametru esențial care nu poate fi măsurat automat deoarece depinde de eficacitatea operatorului. Eficacitatea operatorului se referă la abilitatea acestuia de a efectua sarcinile atribuite în conformitate cu procedurile și instrucțiunile de lucru.

...

Roboții colaborativi permit obținerea unui număr mai mare de produse conforme, prin asigurarea unei repetabilități garantate, care variază între  $\pm 0.03$  -  $\pm 0.1$  mm în cazul roboților colaborativi de la Universal Robots. Repetabilitatea este o proprietate specifică fiecărui tip de robot și reprezintă capacitatea acestuia de a păstra aceleași coordonate după realizarea mai multor deplasări. Robotul colaborativ poate realiza mișcări precise după multiple cicluri, fiind un instrument complex.

În fluxurile de fabricație din industria automotive, aproximativ 40% din rebuturi sunt cauzate de erorile muncitorilor sau operatorilor. Aceste erori pot fi adăugate la alte 35% din rebuturi, care sunt datorate altor cauze necunoscute, dar care pot fi, în parte, legate de erorile muncitorilor. Astfel, se estimează că erorile umane pot duce la aproximativ 75% din totalul pieselor rebut. Aceste erori sunt cauzate de:

- produse căzute pe jos;
- produse manipulate neconform;
- nerespectarea instrucțiunilor de lucru;
- încărcarea materialelor greșite și mixare.

Acumularea de oboseală în timpul orelor de lucru, neatenția operatorului, lipsa de cunoștințe referitoare la operațiile pe fluxul de fabricație, lipsa de interes, starea emoțională, stresul legat de atingerea obiectivelor de producție și menținerea eficienței reprezintă câteva dintre aspectele asociate problemelor operaționale. Acestea pot fi atribuite, de asemenea, unor cauze diverse.

...

Prin implementarea roboților colaborativi în fluxurile de fabricație, se poate obține eliminarea completă a erorilor umane menționate anterior. În ceea ce privește impactul asupra producției, s-a estimat că 40% din totalul produselor fabricate sunt rebuturi datorate greșelilor umane. Eliminarea acestor rebuturi ar conduce la o creștere a procentajului de produse finale conforme din fluxul de

fabricație cu 40%. Prin urmare, există o relație cauză-efect între eliminarea cauzelor negative și eliminarea efectelor negative asociate, care duc la pierderi datorate lipsei calității.

...

## **Capitolul 5 CONCLUZII PRIVIND STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL ASIGURĂRII CALITĂȚII PROCESELOR DE FABRICAȚIE PRIN INTEGRAREA UNOR ROBOȚI INDUSTRIALI ȘI COLABORATIVI ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE**

Partea I abordează importanța calității în fabricarea produselor, cu accent pe industria automotive. Standardul IATF 16949:2016 impune cerințe esențiale pentru certificare, atestând respectarea cerințelor de calitate. Calitatea se definește ca satisfacerea cerințelor din caietul de sarcini, având ca scop final satisfacerea clienților. Neconformitatea apare în cazul deficiențelor în calitate, având consecințe negative. Concepte asociate calității includ asigurarea calității, sistemul de management al calității, ingineria calității, controlul calității și managementul calității totale. Satisfacția clientului reprezintă un indicator crucial al calității.

Controlul tehnic de calitate constă în evaluarea caracteristicilor tehnice ale produselor pentru a verifica conformitatea cu cerințele și specificațiile tehnice. Filosofia calității totale și strategia zero defecte sunt abordări globale pentru îmbunătățirea calității, având ca scop satisfacerea nevoilor clienților. În industria automotive, atingerea obiectivului „Zero Defecte” implică implementarea conceptului de calitate totală. Managementul calității implică un sistem de conducere axat pe asigurarea calității, aducând beneficii și adăugând valoare organizației. Filosofia Managementului Calității Totale joacă un rol esențial în căutarea excelenței, prioritatea supremă fiind satisfacția clienților. Legătura strânsă între managementul calității, managementul calității totale și organizațiile bazate pe cunoștințe contribuie la obținerea satisfacției clienților în mod eficient și eficace.

Organizațiile bazate pe cunoștințe utilizează resursele digitale pentru a menține și distribui cunoștințe, asigurând actualizarea continuă a angajaților. Integrarea acestei filosofii în managementul calității contribuie la durabilitatea organizației, facilitând distribuirea cunoștințelor și identificarea eficientă a cauzelor rădăcină în procesele de îmbunătățire. În industria automotive, adoptarea roboților colaborativi prin gestionarea cunoștințelor optimizează calitatea și eficiența producției. Prioritatea trebuie să fie satisfacerea cerințelor clienților prin strategii de marketing centrate pe nevoi, pentru a obține avantaje competitive și stabilitate pe termen lung.

Industria automotive adoptă tot mai mult roboții colaborativi în procesele de fabricație pentru a preveni neconformitățile și a asigura consistența calității. Integrarea acestora optimizează eficiența, reduce erorile umane și îmbunătățește condițiile de muncă. Beneficiile includ creșterea eficienței, reducerea costurilor și îmbunătățirea calității produselor finite. Procesul de integrare necesită planificare meticuloasă, inclusiv evaluarea nevoilor organizației, selecția roboților potriviți, pregătirea personalului și adaptarea fluxurilor de lucru. Asigurarea calității în implementarea roboților colaborativi este esențială pentru succes și eficiență.

Industria roboților se dezvoltă rapid, oferind soluții diverse și autonome. Investițiile în cercetare, dezvoltare și automatizare sunt esențiale pentru optimizarea potențialului acestei industrii. Progresele în domeniul roboticii au un impact semnificativ asupra vieții cotidiene, industriei și medicinei. Roboții industriali aduc beneficii semnificative, îmbunătățind productivitatea, calitatea și eficiența în diverse sectoare, inclusiv industria automotive. Analiza utilizării roboților în producție evidențiază diversitatea soluțiilor și avansurile tehnologice, cu potențialul de a eficientiza procesele și a se adapta la cerințele schimbătoare ale pieței. Progresul în roboții mobili autonomi poate reduce costurile și îmbunătăți eficiența în industrie și logistică, oferind noi oportunități pentru beneficiile aduse de roboți în diferite sectoare.

Integrarea roboților colaborativi în mediul industrial aduce soluții optime pentru zonele cu risc ridicat pentru operatori. Acești roboți preiau sarcini periculoase și repetitive, reducând astfel accidentele de muncă și permitând operatorilor să se concentreze pe activități valoroase. Diversitatea

soluțiilor și inovațiile în domeniul roboților colaborativi sunt evidențiate, iar alegerea unui robot adecvat este esențială pentru maximizarea eficienței și productivității, menținând un echilibru optim între performanță și costuri. Utilizarea acestor roboți contribuie la creșterea eficienței și stabilizarea producției, reducând costurile și îmbunătățind calitatea produselor finite. Integrarea lor în fluxurile de fabricație în serie minimizează erorile umane, asigurând un proces de producție precis și coerent, ceea ce duce la obținerea unor produse finale de înaltă calitate. Roboții colaborativi reprezintă soluția optimă pentru optimizarea costurilor de producție, îmbunătățind eficiența proceselor și certificând calitatea produselor în conformitate cu standardele.

## PARTEA a II-a CONTRIBUȚII PRIVIND CERCETAREA ȘI DEZVOLTAREA EFICIENȚEI ȘI EFICACITĂȚII FLUXURILOR DE FABRICAȚIE DE SERIE PRIN UTILIZAREA ROBOȚILOR COLABORATIVI ÎN VEDEREA ÎMBUNĂȚĂȚIRII CALITĂȚII ȘI PERFORMANȚEI ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE

### Capitolul 6 DIRECȚIILE, OBIECTIVUL PRINCIPAL, OBIECTIVELE SPECIFICE ȘI METODOLOGIA DE CERCETARE A CREȘTERII CALITĂȚII, EFICIENȚEI ȘI EFICACITĂȚII PROCESELOR DE FABRICAȚIE PRIN INTEGRAREA ROBOȚILOR COLABORATIVI ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE

#### 6.1 Direcții de cercetare

În societatea modernă, se evidențiază o serie de provocări și obstacole. Crizele economice și medicale, printre altele, au avut un impact semnificativ asupra umanității.

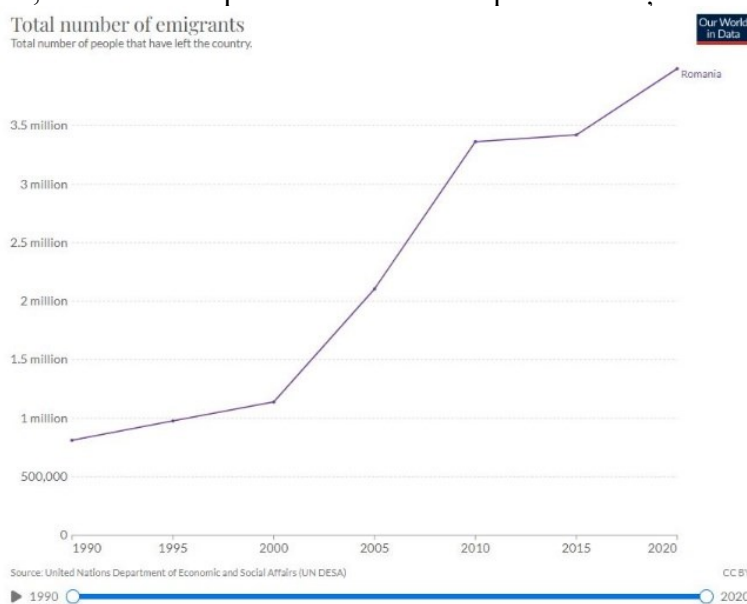


Fig. 6.1 Fenomenul emigrării populației din România în perioada cuprinsă între anul 1990 și 2020

Sursa: (Migration - Our World in Data, 2023)

În ultimele decenii, România a fost martora unei tendințe crescute de emigrare, o situație care a adus noi provocări în industrie și societate în ansamblu. Din datele prezentate în figura 6.1, se poate observa o creștere semnificativă a numărului de cetățeni români care au ales să părăsească țara și să se stabilească în străinătate, începând din anul 1990.

Conform datelor prezentate, în anul 1990, un număr de 811.853 de persoane au ales să emigreze către alte țări, în timp ce în anul 2020 acest număr a crescut semnificativ, ajungând la 3,99 milioane de cetățeni care au părăsit țara. Această creștere susținută a emigrării a avut un impact major asupra pieței forței de muncă, determinând o scădere semnificativă a resurselor umane disponibile și o creștere a competiției între organizații în ceea ce privește atragerea și retenția angajaților. În fața acestei situații, angajatorii se confruntă cu provocarea de a atrage și păstra personalul calificat. Pe lângă aspectele financiare, aceștia încearcă să ofere beneficii atractive angajaților pentru a-i fideliza. De asemenea, investesc în dezvoltarea angajaților, oferindu-le oportunități de specializare, cu scopul ca aceștia să contribuie la îmbunătățirea calității produselor, eficienței și eficacității proceselor de fabricație. Astfel, într-un mediu competitiv din punct de vedere al resurselor umane, investiția în dezvoltarea personalului devine crucială pentru succesul și creșterea organizațiilor. În special în urma aderării României la Acordul Schengen, există perspectiva amplificării acestui fenomen. (Tertoreanu, Țițu, Bogorin-Predescu, Gusan, & Bâlc, 2024)

Figura 6.2 ilustrează numărul actual de imigranți în România. Conform datelor prezentate, în 2020 exista un număr de 705,310 persoane imigrante din mediul internațional. Acest număr este exponențial mai mic în comparație cu numărul de persoane care au emigrat din România și care au contribuit la reducerea semnificativă a forței de muncă disponibile în țară.

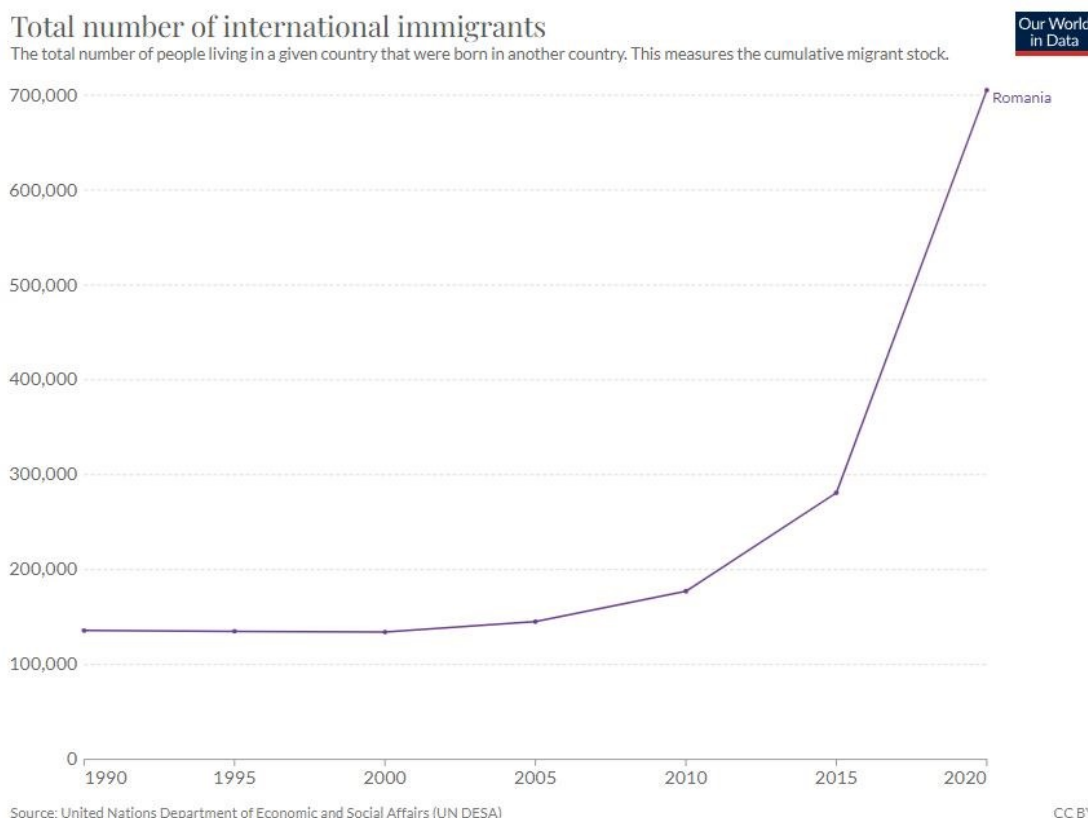


Fig. 6.2 Fenomenul imigrării populației din România în perioada cuprinsă între anul 1990 și 2020

Sursa: (Migration - Our World in Data, 2023)

Această discrepanță între numărul de imigranți și numărul de emigranți subliniază faptul că România se confruntă în continuare cu o pierdere semnificativă a forței de muncă, iar fluxurile migratorii nu compensează în totalitate această situație. Atracția și retenția personalului calificat în

țară rămâne astfel o provocare majoră pentru a asigura dezvoltarea economică și competitivitatea organizațiilor din diverse sectoare. Devine esențial ca această problemă să fie tratată cu meticulozitate și prin aplicarea unor strategii corespunzătoare, astfel încât să se contracareze consecințele negative ale emigrării și să se stimuleze atragerea și retenția talentului în țară. Investițiile în dezvoltarea resurselor umane, crearea unui mediu de lucru atractiv și oferirea unor oportunități de creștere și progres profesional pot contribui la îmbunătățirea situației și la stimularea dezvoltării sustenabile în România.

În contextul tuturor acestor provocări, organizațiile industriale trebuie să își asigure în același timp generarea de profit, având în vedere că acestea sunt entități orientate către obținerea de câștiguri financiare. Pentru a atinge acest obiectiv, este necesar să fie aplicate strategii eficiente de reducere a costurilor de fabricație, să fie negociate în mod riguros anumite contracte cu furnizorii de materii prime, echipamente de producție și transport.

Reducerea costurilor de fabricație implică identificarea și implementarea unor soluții care să permită optimizarea proceselor, eficientizarea utilizării resurselor, eliminarea risipei și reducerea cheltuielilor inutile. Negocierile cu furnizorii de materii prime, echipamente și servicii de transport reprezintă un aspect esențial în obținerea unor condiții avantajoase și a costurilor competitive. Aceste negocieri presupun abilități de negociere și cunoașterea detaliată a pieței și a specificului industriei respective.

Durata de execuție a produsului reprezintă un aspect deosebit de crucial, având un impact direct asupra intervalului de livrare. Prin urmare, organizațiile orientează investițiile către tehnologii de producție care să permită obținerea produselor într-un mod rapid, automat și economic.

Un criteriu esențial în această abordare îl constituie calitatea. Calitatea reprezintă fundamentul esențial al relației dintre client și furnizor și constituie elementul cheie care deschide poarta negocierilor pentru furnizorul unui produs sau serviciu. Având în vedere această importanță, au fost elaborate standarde de calitate, s-au instituit departamente specializate în gestionarea calității și controlului produselor sau serviciilor. Acest criteriu exercită o influență considerabilă asupra durabilității furnizorului pe piață și a credibilității sale în fața clienților actuali și potențialilor viitori clienți.

Calitatea trebuie să reprezinte un criteriu esențial încă din faza de dezvoltare a produsului sau serviciului. În acest sens, se efectuează analize, cum ar fi DFM (Design for Manufacturing) și D-FMEA (Design Failure Mode and Effect Analysis), atât în timpul, cât și după finalizarea proiectării produsului. Scopul acestor analize este să se asigure realizarea produsului într-un flux tehnologic eficient, cu o calitate înaltă, într-un timp scurt și cu costuri de fabricație reduse. O lansare în fabricație fără efectuarea acestor analize sau teste crește riscul ca proiectul să nu fie de succes și să genereze probleme în procesul de fabricație, ceea ce poate conduce la costuri ridicate ale neconformității. În situația în care produsul proiectat nu îndeplinește anumite criterii și analizele sau testele relevă neconformități, acesta se întoarce în zona de proiectare pentru a suferi modificările necesare identificate în urma analizelor.

Se poate constata că termenul de calitate joacă un rol crucial în ceea ce privește costul de fabricație al unui produs. Costul de producție poate fi asimilat cu structura unui aisberg, unde în faza incipientă a unui proiect nou, costurile vizibile, asemănătoare vârfului aisbergului, cuprind costurile de lansare, ale materiilor prime, logistice și costurile directe de producție. Totuși, cele mai semnificative costuri sunt imperceptibile, asemănătoare bazei aisbergului ascunse sub apă, și sunt reprezentate de costurile asociate lipsei calității.

Un scenariu obișnuit ilustrează investiția într-o mașină de producție cu performanțe mai reduse, dar mai economică. Chiar dacă costul inițial este redus, se vor înregistra pierderi semnificative în viitor din cauza rebuturilor repetate care pot apărea pe această mașină de producție, costuri care pot fi cuantificate drept costuri ale neconformității produsului.

Într-o eră în care industria se îndreaptă tot mai mult către automatizare totală, se dezvoltă în paralel diverse dispozitive și procese automate de control al calității produsului. Astfel, după procesarea pieselor pe fluxurile de fabricație, acestea necesită o validare obligatorie a procesului de fabricație prin intermediul unor parametrii specifici de proces, senzori sau camere de inspecție.

În plus, organizațiile industriale pot adopta și alte strategii pentru optimizarea costurilor, precum implementarea tehnologiilor avansate, automatizarea proceselor de producție, diversificarea surselor de aprovizionare sau identificarea unor soluții inovatoare pentru eficientizarea lanțului de aprovizionare și distribuție.

Totodată, organizațiile industriale trebuie să își asigure câștigarea de noi proiecte profitabile și obținerea de clienți pe termen lung. În contextul proceselor de negociere, nu întotdeauna partea care propune cea mai eficientă soluție tehnică obține victoria, ci aceea care reușește să furnizeze un cost redus în raport cu o calitate considerată satisfăcătoare pentru client.

Toate aceste eforturi sunt necesare pentru ca organizațiile industriale să fie competitive și să asigure un echilibru între generarea de profit și eficiența operațională.

În sectorul automotive, se poate observa o tendință clară către o automatizare și digitalizare din ce în ce mai avansată. Această evoluție conduce la o interconectare și comunicare completă între echipamente, utilaje și roboți, indiferent de nivelul lor de mobilitate, în diferite aplicații industriale. Scopul acestei automatizări constă în optimizarea eficienței și preciziei proceselor de producție prin eliminarea potențialelor erori și a impactului uman asupra calității produselor.

În timpul vizitelor efectuate în zonele de producție din industria automotive, în special în zonele cu un nivel ridicat de automatizare, se va observa prezența roboților colaborativi, precum și a altor tehnologii avansate de producție.

Din studiul literaturii de specialitate, se observă o tendință de a recomanda înlocuirea forței de muncă umane cu sisteme automate în situațiile în care automatizarea poate aduce o creștere a calității și preciziei muncii. (Matúšová, Bučányová, & Hrušková, 2019)

Roboții colaborativi reprezintă o etapă nouă în dezvoltarea roboților industriali, în care aceștia interacționează strâns cu oamenii și asigură un nivel înalt de siguranță. Acești roboți sunt echipați cu o varietate de senzori, inclusiv sisteme avansate de viziune. (Galin & Meshcheryakov, 2019)

Prin implementarea tehnologiilor avansate, cum ar fi roboții colaborativi și sistemele de viziune industriale, industria automotive reușește să realizeze operațiuni complexe și repetitive cu o mai mare rapiditate și precizie. Aceste tehnologii permit o interacțiune sigură și eficientă între oameni și roboți în cadrul aceluiași proces de producție. De asemenea, utilizarea senzorilor și a sistemelor de control avansate contribuie la monitorizarea și reglarea continuă a proceselor, asigurând astfel un nivel ridicat de calitate și fiabilitate în fabricație. (Bogorin-Predescu, Țițu, Terteanu, Bâlc, & Gusan, 2024)

Cercetarea a fost direcționată pe mai multe direcții de cercetare, după cum urmează:

- Integrarea roboților colaborativi datorită potențialului lor nelimitat. Această direcție explorează modalitățile de transformare a fluxurilor de muncă manuale în fluxuri automate de producție cu roboți colaborativi prin reingineria fluxurilor de fabricație;
- Dezvoltarea metodologiilor de programare pentru roboții colaborativi și implementarea unei standardizări a structurii și terminologiei pentru semnale, poziții, scule, etc., cu scopul de a facilita înțelegerea programului de către alți programatori, inclusiv în condiții de distanțe geografice semnificative.
- Implementarea strategiei de „zero timp” pentru schimbarea fabricației în industria automotive. Acesta este un concept dezvoltat personal și implică reducerea la minimum a timpului necesar pentru ajustarea și reconfigurarea echipamentelor în procesele de producție în serie.
- Studiul fluxurilor de fabricație autonome și analiza elementelor logistice existente în cadrul acestor fluxuri. Aceasta vizează optimizarea și gestionarea eficientă a fluxurilor de materiale și informații în procesele de producție, cu scopul de a spori performanța și rentabilitatea.
- Aplicarea metodei PFMEA într-un flux de fabricație cu roboți colaborativi. Utilizarea acestei metodologii pentru elaborarea unui plan punctual de acțiuni cu scopul de a preveni și gestiona potențialele cauze care pot genera defecte.



- Prezentarea și compunerea unor soluții tehnice funcționale în ceea ce privește sistemele de siguranță auxiliare utilizate în ceea ce privește integrarea roboților colaborativi pe fluxurile de fabricație de serie. Această direcție se concentrează pe găsirea soluțiilor tehnice și metodologice pentru a certifica și monitoriza siguranța interacțiunii dintre roboți și oameni în cadrul fluxurilor de fabricație.
- Expunerea modalităților concrete, sprijinite de date științifice și elaborarea unor modele matematice în vederea determinării modalităților prin care roboți colaborativi cresc eficiența, eficacitatea și calitatea fluxurilor de fabricație.
- Definirea și analizarea detaliată a unui proces clar de trasare a cerințelor pentru implementarea roboților colaborativi în fluxurile de fabricație.
- Definirea din punct de vedere teoretic, propunerea și validarea a unor modele matematice de calcul ale costurilor directe și costurilor indirecte, stabilind o modalitate clară de calcul a rentabilității investiției și a costurilor energiei electrice estimate pe an.

## 6.2 Obiectivul principal și obiectivele specifice propuse în cadrul cercetării doctorale

**Obiectivul general al acestui demers de cercetare științifică constă în formularea unui standard pentru programarea roboților colaborativi, prin elaborarea unei structuri de programare și utilizarea unor limbaje software specializate. Scopul fundamental al acestei abordări constă în garantarea, prin intermediul programării, a realizării îmbunătățirilor în ceea ce privește calitatea, eficiența și eficacitatea în industria automotive, prin adoptarea și implementarea avansată a roboților colaborativi.**

Obiectivele specifice propuse pentru acest studiu de cercetare sunt următoarele:

- Dezvoltarea unei arhitecturi programabile, unui limbaj specific și a unui algoritm pentru roboții colaborativi, urmată de o propunere de standardizare a acestei structuri.
- Elaborarea unui sistem complementar de siguranță în situații critice, dedicat integrării roboților colaborativi.
- Definirea cerințelor și modelelor matematice utile în integrarea roboților colaborativi în industria automotive, aplicarea PFMEA și stabilirea parametrilor de măsurare a eficienței și eficacității.
- Optimizarea proceselor prin analiza comparativă a costurilor, cu accent pe îmbunătățirea calității și integrarea strategiei zero timpi de schimbare a fabricației în programarea roboților colaborativi.
- Dezvoltarea și aplicarea metodologiei IDEF0 și Lean Manufacturing în procesele de fabricație, cu accent pe utilizarea roboților colaborativi în contextul KAIZEN.
- Dezvoltarea și aplicarea politicilor de resurse umane pentru gestionarea excesului de personal în urma integrării roboților colaborativi în industria automotive.

## 6.3 Metodologia de cercetare propusă în cadrul cercetării doctorale

Metodologia de cercetare este concepută și stabilită prin intermediul hărților mentale realizate pe parcursul demersului de cercetare științifică. Structura metodologiei de cercetare a fost concepută ca o succesiune logică a etapelor necesare pentru atingerea obiectivului principal al proiectului de doctorat, precum și pentru a deschide posibilități de dezvoltare ulterioare.

În cadrul acestui studiu științific, s-a aplicat metoda celor șase pași, care constă în următoarele etape de cercetare:

- Stabilirea obiectivului care constă în definirea clară a scopului urmărit în studiu;
- Analiza stadiului actual - evaluarea detaliată a situației curente pentru a identifica nevoile și provocările existente;
- Emiterea unor ipoteze - formularea presupunerilor și afirmațiilor în ceea ce privește implementarea roboților colaborativi;

- Realizarea modelelor matematice, configurațiilor tehnice și programelor - implementarea și desfășurarea unei activități controlate pentru a obține date și informații relevante în ceea ce privește implementarea roboților colaborativi;
- Analiza rezultatelor - examinarea și interpretarea rezultatelor obținute în urma cercetării științifice pentru a trage concluzii valide;
- Prezentarea concluziilor finale - sumarizarea rezultatelor și formularea concluziilor finale pe baza analizei și interpretării datelor colectate.

## Capitolul 7 CONTRIBUȚII ÎN DOMENIUL TEHNIC CU PRIVIRE LA PROGRAMAREA ROBOȚILOR COLABORATIVI

### 7.1 Contribuții privind elaborarea și structurarea unui model propriu de programare

Exploatarea tot mai extinsă a roboților colaborativi este însoțită de o provocare semnificativă legată de programarea acestora, în special în cadrul organizațiilor mici și mijlocii. (Fogli, Gargioni, Guida, & Tampalini, 2022)

Roboții colaborativi prezintă avantajul de a fi foarte ușor de programat. În urma cercetărilor efectuate în literatura de specialitate și din propria experiență acumulată în domeniu la Continental Automotive timp de 8 ani, s-a constatat că acest aspect poate fi extrem de riscant în ceea ce privește implementarea unei aplicații. Absența unui standard clar care să reglementeze programarea roboților colaborativi poate duce la o calitate scăzută a programului și, în consecință, la posibile coliziuni între robotul colaborativ și mediul înconjurător, fie că este vorba despre un alt robot sau echipament aflat în proximitate.

Absența unui standard în privința programării conduce, de asemenea, la o interpretare mai puțin precisă a programului. Această situație poate fi comparată cu doi indivizi care trăiesc în aceeași țară, dar vorbesc în dialecte diferite. Chiar dacă în cele din urmă vor reuși să se înțeleagă, această diferență poate conduce la pierderea timpului și la o concentrare mai intensă din partea interlocutorilor. Similar, în cazul roboților colaborativi, când un proiect cu astfel de roboți este transferat în altă organizație sau zonă de producție, lipsa unui standard conduce la dificultăți în înțelegerea programului și necesită un studiu detaliat.

Având în vedere aceste aspecte, s-a considerat oportună propunerea unui model propriu, dezvoltat și îmbunătățit pe baza experienței acumulate din implementarea mai multor aplicații cu roboți colaborativi. Calea care va fi prezentată poate fi privită ca o „rețetă a succesului”, aplicabilă de către orice integrator sau organizație, în vederea îmbunătățirii eficienței, eficacității și calității fluxurilor de fabricație prin integrarea roboților colaborativi. Pe baza acestui obiectiv, se sugerează utilizarea limbajului propus și dezvoltat în urma acestui demers științific.

...

Reglementarea acestor aspecte ar facilita înțelegerea și utilizarea mai ușoară a programelor de către diferiți programatori, contribuind astfel la o colaborare mai eficientă și la transferul de cunoștințe în domeniul roboticii colaborative. Pe baza experienței acumulate în urma cercetării, s-a considerat că aceste aspecte ar trebui reglementate la nivel internațional, astfel încât transferul de cunoștințe de la un programator la altul să fie facil. Se poate începe cu denumirea intrărilor și ieșirilor electrice, a registrelor ModBus și a sculelor sau dispozitivelor utilizate, astfel încât un alt programator să poată recunoaște cu ușurință, în funcție de începutul denumirii, ce comandă este utilizată în program. Spre exemplu:

- **i\_buton\_1** reprezintă o **intrare electrică (input)** acționată de către un buton sau o altă intrare electrică;
- **o\_electrovalva\_1** – o **ieșire electrică (output)** prin care robotul colaborativ acționează o electrovalvă;
- **ri\_ass\_variant** – un **registru de intrare (register input)** ModBus prin care stația de asamblare transmite robotului colaborativ tipul de variantă fabricată;

- **ro\_clear\_zone** – un **registru de ieșire (register output)** ModBus prin care roboții colaborativi comunică în privința zonelor comune de lucru;
- **t\_scula\_1** – o **sculă sau dispozitiv (tool)** cu numărul 1.

În vederea continuării argumentației tehnice, s-a susținut că acest aspect ar trebui reglementat cu atenție și standardizat la nivel internațional pentru a asigura o programare eficientă și coerentă a roboților colaborativi. În vederea obținerii unui transfer facil de cunoștințe între programatori, s-a propus adoptarea unui limbaj comun și utilizarea unor secvențe standardizate pentru programarea acestor roboți. Astfel, se recomandă următoarele secvențe:

- Secvența „BeforeStart” ar trebui utilizată pentru a întoarce robotul într-o poziție de siguranță la o viteză mică, pentru a reseta variabilele, a reseta semnalele și registrele utilizate de acesta, a verifica piesele rămase în dispozitiv și a deschide/închide dispozitivele necesare. În acest mod, robotul colaborativ va putea să identifice starea pieselor din dispozitiv și poziționarea lor corectă în echipamentele deservite.
- Secvența „Robot Program” ar trebui folosită doar pentru interpretarea semnalelor și registrelor, în funcție de anumite condiții setate de către programator. În această secvență, robotul colaborativ va apela subprogramele necesare în funcție de semnalele și condițiile îndeplinite. Totodată, se poate implementa strategia de „Zero timpi de schimbare a fabricației”, în care robotul colaborativ se va adapta automat la modificările registrelor de către echipamentele înconjurătoare.
- „SubProgram” ar trebui utilizat pentru a programa mișcările caracteristice. În subprogram, pe lângă mișcările specifice pentru o aplicație particulară, vor fi introduse semnalele caracteristice care trebuie verificate sau acționate și registrele care trebuie modificate.
- „Thread” ar trebui utilizat pentru a comanda un echipament extern sau pentru a verifica semnale sau variabile în paralel cu programul principal.

În ciuda libertății considerabile în ceea ce privește programarea roboților colaborativi, se consideră benefic să se stabilească o structură și denumiri standardizate pentru semnale și alte aspecte, astfel încât programul să poată fi ușor înțeles de către alți programatori familiarizați cu acest standard, chiar și la distanțe geografice considerabile. Pentru a asigura o programare coerentă și eficientă a acestor roboți colaborativi, limbajul și structura utilizată ar trebui să fie universale.

## **Capitolul 8 CONTRIBUȚII ÎN DOMENIUL TEHNIC CU PRIVIRE LA MODALITATEA DE IMPLEMENTARE A SISTEMELOR DE SIGURANȚĂ AUXILIARE ÎN CEEA CE PRIVEȘTE INTEGRAREA ROBOȚILOR COLABORATIVI ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE**

### **8.2 Sisteme auxiliare de siguranță existente, metode de integrare și modalități de funcționare ale acestora**

#### **8.2.1 Sistemele auxiliare de siguranță existente și utilizate în aplicațiile cu roboți colaborativi**

Interacțiunea dintre om și robot poate implica riscuri semnificative în absența unei adecvate considerări a factorului uman pe parcursul întregului proces. (Braganța, Costa, Castellucci, & Arezes, 2019)

Roboții colaborativi pot fi integrați în spații partajate cu omul. În orice caz, acest aspect presupune acționarea robotului colaborativ la viteze reduse și cu dispozitive colaborative. În situația

în care robotul colaborativ acționează la viteze și accelerații ridicate sau utilizează un dispozitiv periculos, partajarea spațiului de lucru ar putea reprezenta un pericol pentru om. Această situație impune ca și aplicația în ansamblu să fie una colaborativă.

Este posibil să se contureze întrebarea cu privire la persistența demersului de cercetare științific în a promova utilizarea continuă a unui robot colaborativ în această situație, în contrast cu alegerea unui robot industrial. Această opțiune se bazează pe premise justificate, precum prețul redus al robotului colaborativ comparativ cu cel industrial și complexitatea inferioară în ceea ce privește integrarea și mentenanța. În plus, nivelul de precizie între cele două tipuri de roboți este comparabil. De asemenea, menținerea unui spațiu deschis aduce beneficii, incluzând diminuarea costurilor prin eliminarea necesității unei celule de protecție sau a unui echipament. Minimizarea amprente spațiale reprezintă o valoare distinctivă, dificil de atins în contextul integrării roboților colaborativi în cadrul unei celule automate. Această direcție de abordare aduce câștiguri semnificative organizației, oferind oportunitatea de a utiliza spațiul rămas liber în vederea implementării altor proiecte.

...

Prin urmare, a fost inițiată cercetarea în această direcție cu scopul de a identifica diverse tipuri de dispozitive auxiliare de siguranță disponibile pe piață și de a evalua modalitățile de interconectare între acestea și robotul colaborativ, astfel încât să configureze un sistem auxiliar de siguranță. Acest sistem trebuie să fie conceput pentru a preveni orice risc de vătămare a omului atunci când acesta pătrunde în zona de lucru a robotului colaborativ. În același timp, sistemul auxiliar de siguranță rezultat trebuie să poată opri robotul colaborativ și dispozitivul asociat într-o stare de oprire sigură, urmând ca la ieșirea din zona de lucru, roboții colaborativi să își reia activitatea din punctul în care au fost opriți. În mod evident, a fost analizată, de asemenea, integrarea unei funcționalități de oprire de urgență în caz de necesitate.

Sistemul de siguranță auxiliar propus, prin intermediul cercetării științifice, are rolul distinct de a adăuga un nivel suplimentar de siguranță și protecție în ceea ce privește interacțiunea om-robot în contextul utilizării roboților colaborativi. Acest sistem facilitează o interacțiune directă și corespunzătoare între operator și robot, asigurând că robotul colaborativ va fi sistematic oprit în cazul prezenței operatorului în proximitate.



Fig. 8.4 Dispozitive de siguranță utilizate personal în integrarea roboților colaborativi

Sursa: (Gusan & Țîțu, 2023)

Dispozitivele de siguranță individuale aplicate în elaborarea acestui sistem de siguranță includ:

- Scanerele de perimetru;
- Barierele de securitate;
- Controlerile programabile de siguranță (PLC);
- Relele de siguranță.

Sistemele sau elementele de siguranță se evidențiază prin utilizarea culorii galbene, această caracteristică fiind ilustrată în figura 8.4.

...  
În continuare, vor fi prezentate atât considerații teoretice privind funcționarea dispozitivelor de siguranță, cât și modalități de programare și utilizare. Toate aspectele prezentate sunt susținute de exemple practice și pot fi considerate, de asemenea, rețete de succes pentru orice integrator sau organizație.

## Capitolul 9 CONTRIBUȚII ÎN MANAGEMENTUL INTEGRĂRII ROBOȚILOR COLABORATIVI ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE

### 9.2 Managementul costurilor de implementare

Formulele și conceptele privind structura costurilor au fost dezvoltate pe parcursul cercetării științifice și evidențiază categoriile de cheltuieli asociate implementării roboților colaborativi. Aceste categorii cuprind următoarele aspecte:

- Costuri indirecte: Acestea includ cheltuielile legate de achiziționarea roboților colaborativi, dispozitivelor suport, sistemelor de prindere, dispozitivelor auxiliare de siguranță și a altor echipamente necesare pentru implementare.
- Costuri directe: Acestea reprezintă cheltuielile generate de consumul de energie electrică și de resursele umane alocate pentru integrarea roboților colaborativi în mediul de producție. Pentru evaluarea totalității costurilor de implementare, s-a dezvoltat formula 9.1.

$$T_C = C_D + C_I, \quad (9.1)$$

unde:

$T_C$  reprezintă totalitatea costurilor de implementare a roboților colaborativi;

$C_I$  – costurile indirecte de implementare a roboților colaborativi;

$C_D$  – costurile directe de implementare a roboților colaborativi.

...  
Costurile directe de implementare sunt generate de compensarea resurselor umane implicate în proiect, precum și de consumul de resurse energetice. Compensarea resurselor umane implicate în proiect este determinată de numărul de ore de muncă alocate pentru realizarea proiectului. Proiectul presupune utilizarea sau angajarea mai multor profesioniști care contribuie la gestionarea acestuia. Pentru fiecare profesionist sunt atribuite sarcini specifice, asigurându-se o distribuție clară a responsabilităților după cum urmează:

- Responsabilul de proiect elaborează și coordonează planificarea optimă a activităților din cadrul proiectului, asigurând monitorizarea atentă a progresului în raport cu calendarul și bugetul stabilit;
- Echipele tehnice electromecanice sunt responsabile pentru asamblarea componentelor mecanice și electrice. Aceste echipe vor efectua montajul și fixarea structurilor, roboților colaborativi, dispozitivelor de lucru ale acestora, precum și instalarea și securizarea conexiunilor electrice și pneumatice, după caz;
- Echipa specializată în programarea roboților colaborativi și a sistemului de siguranță se ocupă de configurarea și optimizarea funcționalității acestora.

...  
Pe lângă aceasta, este esențial ca investiția să se recupereze într-un interval de timp cât mai redus. Roboții colaborativi sunt proiectați pentru a efectua operațiuni repetitive. Recuperarea investiției într-un flux de producție cu roboți colaborativi poate fi realizată atunci când aceștia

operează în mod continuu, pe parcursul mai multor schimburi. Masa și gradul de complexitate al produselor trebuie să se încadreze în limitele sarcinii maxime utile cu care robotul colaborativ poate opera, iar acest lucru trebuie să fie adaptat la capacitățile dispozitivelor de prindere sau de manipulare. Datorită acestui aspect, se sugerează implementarea roboților colaborativi în linii de producție de serie mare sau în producții de masă, unde gama de produse este restrânsă, dar fluxul de producție este continuu.

O serie de companii de pe piață optează pentru implementarea roboților colaborativi datorită faptului că aceștia oferă o modalitate de a diminua costurile de producție. Prin reducerea cheltuielilor de fabricație, organizațiile pot obține o majorare a profitului generat de vânzarea fiecărui produs. Această realizare este realizată prin:

- diminuarea cantității de operatori implicați în operațiuni repetitive pe linia de producție;
- scăderea numărului de defecțiuni și de produse nesatisfăcătoare generate în cadrul proceselor de fabricație.

...

În încheiere, s-a conturat dintr-o perspectivă teoretică și s-au propus metodologii de calcul pentru costurile directe și indirecte, dezvoltând astfel o abordare pentru evaluarea rentabilității investiției și a estimărilor costurilor de energie electrică pe an. De asemenea, s-a subliniat importanța bugetării proiectului în faza sa preliminară și modul în care aceasta trebuie corelată cu întreaga gamă de costuri asociate implementării roboților colaborativi.

## **Capitolul 10 CONTRIBUȚII CU PRIVIRE LA ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII ȘI A IMPLEMENTĂRII STRATEGIEI ZERO TIMPI DE SCHIMBARE A FABRICAȚIEI**

### **10.1 O analiză comparativă a roboților industriali versus roboți colaborativi**

Organizațiile din industrie își caută constant modalități de a produce mai eficient, cu costuri mai mici, o calitate superioară și într-un timp mai scurt, în scopul de a-și menține o poziție competitivă pe piață. (Galin & Meshcheryakov, 2019)

Datorită necesității de a produce la costuri mai mici, cu o calitate superioară și o viteză mai mare în mediul industrial, este important să se analizeze economic implementarea roboților colaborativi în comparație cu cea a roboților industriali pentru a determina profitabilitatea soluțiilor.

...

Este necesar să se efectueze un studiu pentru a aduce reduceri semnificative în ceea ce privește costul de fabricație al produsului, din punct de vedere economic. Studiul va fi considerat fezabil dacă investiția va fi amortizată după trei ani.

Pentru a efectua o comparație fezabilă, este necesar un calcul economic între modul de lucru cu operatori și modul de lucru cu roboți industriali sau colaborativi. Calculul va fi realizat luând în considerare faptul că linia era în trecut deservită de doi operatori, iar astfel, calculele se vor concentra asupra operatorului care va fi înlocuit de robotul industrial sau colaborativ. Prețurile vor fi estimate în Euro.

***Calculele economice ale modului de lucru cu operatori includ analiza costurilor de fabricație implicate în procesul de producție cu operatori:***

În cadrul acestei linii de producție, este necesar un singur operator pe fiecare schimb. Luând în considerare faptul că linia de producție funcționează în patru schimburi, rezultă că avem nevoie de un total de patru operatori, conform relației 10.1.

$$N = O * S = 1 * 4 = 4 \text{ operatori,} \quad (10.1)$$

O reprezintă numărul de operatori pe schimb;

S – numărul de schimburi;  
N – numărul total de operatori.

...

A fost realizat un calcul al costului anual al salariilor suportate de către organizație pentru toți operatorii, conform relației 10.3.

$$T_A = T_S * L = 4,541.2 * 12 = 54,494.4 \text{ de Euro / an,} \quad (10.3)$$

$T_A$  reprezintă salariul anual primit de către toți operatorii;

$T_S$  – totalul salariilor pe toate schimburile / lună;

L – numărul de luni dintr-un an.

...

***Calcululele economice ale modului de lucru cu robot industrial care includ analiza costurilor de implementare și amortizarea acestora:***

Având în vedere că robotul industrial utilizează energie electrică în funcționare, este imperativ să se recurgă la utilizarea relației 9.6 pentru a estima cheltuielile aferente energiei electrice pe parcursul unui an. Pentru a implementa eficient această relație, este esențială identificarea în prealabil a următoarelor date:

- $P_{KWO}$  reprezintă prețul consumului de energie electrică;
- $C_{EER}$  – consumul de energie electrică al robotului colaborativ estimat pe oră;
- $N_F$  – numărul de ore de funcționare ale robotului colaborativ pe zi;
- $N_{ZA}$  – numărul de zile lucrătoare pe an în care robotul colaborativ va opera fluxul de fabricație;
- $N_R$  – numărul de roboți colaborativi existenți în aplicație.

...

În vederea integrării robotului industrial, se va construi o celulă specială, iar prețul estimat pentru aceasta ( $P_C$ ) este de aproximativ 50,000 Euro. Acest preț include costul pentru integrarea robotului industrial, automatizarea celulei, ambalarea, livrarea și instalarea acesteia.

Prin urmare, având în vedere datele menționate mai sus, se va putea efectua un calcul costul unei celule cu robot industrial ( $C_{cr}$ ), conform relației 10.7.

$$C_{cr} = P_{RI} * 1 + P_C * 1 = 53,000 + 50,000 = 103,000 \text{ de EURO,} \quad (10.7)$$

Costul total al modului de lucru cu robot industrial, poate fi determinat conform relației 10.8. Acesta este echivalent cu costul total al investiției într-o celulă cu robot industrial ( $CT_{Iri}$ ). Calculul acestuia va fi obținut prin însumarea costului comandării celulei cu robot industrial ( $C_{cr}$ ) și costului consumului de energie electrică al roboților pe un an ( $C_{RA}$ ).

$$CT_{Iri} = C_{cr} + C_{RIA} = 103,000 + 5,460 = 108,460 \text{ de EURO,} \quad (10.8)$$

***Calcululele economice ale modului de lucru cu robot colaborativ care includ analiza costurilor de implementare și amortizarea acestora:***

S-a efectuat mai întâi un calcul pentru a determina consumul de energie electrică al robotului colaborativ. Pentru realizarea acestui calcul, s-a efectuat o investigație asupra:

- $P_{KWO}$  reprezintă prețul consumului de energie electrică;
- $C_{EER}$  – consumul de energie electrică al robotului colaborativ estimat pe oră;
- $N_F$  – numărul de ore de funcționare ale robotului colaborativ pe zi;
- $N_{ZA}$  – numărul de zile lucrătoare pe an în care robotul colaborativ va opera fluxul de fabricație;
- $N_R$  – numărul de roboți colaborativi existenți în aplicație.

...

Se poate constata că pe termen lung, cea mai bună investiție este realizată în modul de lucru cu roboți colaborativi. De asemenea, utilizarea roboților industriali reprezintă o investiție viabilă față de modul de lucru cu operatorul uman.

Începând cu cel de al patrulea an, anual în cazul modului de lucru cu robot industrial, conform relației 10.14, se va putea economisi o sumă totală de:

$$T_A - C_{RIA} - C_{SMARi} = 54,494.4 - 5,460 - 2,000 = 47,034.4 \text{ Euro}, \quad (10.14)$$

În al treilea an, se poate observa o economie totală de 40,102 Euro realizată prin implementarea unui robot industrial, urmând ca din cel de al patrulea an suma totală de 47,034.4 Euro să fie economisită anual până la sfârșitul ciclului de viață al proiectului.

În cazul investiției în modul de lucru cu robot colaborativ, începând cu cel de al patrulea an, anual, se poate obține o economie totală, conform relației 10.15, de:

$$T_A - C_{RCA} = 54,494.4 - 773.136 = 53,721.264 \text{ Euro}, \quad (10.15)$$

În al treilea an, se constată o economie totală de 115,163.6 euro obținută prin implementarea unui robot colaborativ, urmând ca începând cu cel de-al patrulea an, o sumă totală de 53,721.264 euro să fie economisită anual până la încheierea ciclului de viață al proiectului. Se observă că metoda cu robotul colaborativ aduce un beneficiu economic semnificativ mai mare pentru organizație decât modul de lucru cu robotul industrial. Metoda de lucru cu robot colaborativ optimizează cel mai bine costurile organizației, reducând costurile și asigurând o performanță pe termen lung similară.

Calculul au fost efectuate luând în considerare situația economică curentă, fără a lua în considerare inflația sau alți parametri economici variabili în timp.

## **Capitolul 11 INTEGRAREA METODOLOGIEI IDEF0 ȘI IMPLEMENTAREA STRATEGIILOR LEAN MANUFACTURING ÎN CONTEXTUL KAIZEN ASUPRA PROCESELOR DE FABRICAȚIE UTILIZÂND ROBOȚI COLABORATIVI**

### **11.1 Procese de fabricație în domeniul automotive. Harta proceselor propusă pentru această industrie**

S-a aplicat metodologia IDEF0 pentru a elabora o reprezentare schematică a fluxului de producție în industria automotive. S-a efectuat o descompunere a procesului începând de la un nivel general și ajungând până la un nivel detaliat de al treilea grad. Este important de menționat că în industria automotive, procesele de producție sunt deosebit de complexe. Se va ilustra această metodă printr-un exemplu specific din domeniul producției de componente electronice din industria automotive.

...

În sectorul automotive, organizația își desfășoară activitatea în conformitate cu legile, normele și standardele în vigoare, atât la nivel național, în țara în care își are sediul, cât și la nivel internațional. Este crucial ca organizațiile din industria automotive să obțină certificări relevante, care să ateste clienților faptul că operațiunile și activitățile lor sunt conforme cu cerințele standardelor. Aceste certificări reprezintă o modalitate importantă prin care organizațiile din sectorul automotive își pot demonstra angajamentul față de calitate și conformitate.

Scopul primordial al organizațiilor din industria automotive constă în producerea și furnizarea produselor destinate automobilelor, culminând cu livrarea acestora către clienți. Aceasta reprezintă ieșirea principală a acestor organizații, iar succesul lor se măsoară în mare măsură prin capacitatea de a produce și comercializa cu succes componente și produse automotive de calitate.



Conducerea organizației reprezintă elementul-cheie care direcționează și garantează că organizația înțelege și implementează cerințele clientului în concordanță cu cadrul legal, normele și standardele în vigoare, cu scopul de a fabrica produse de cea mai înaltă calitate și de a le livra la clienți la momentul potrivit.

Toate aceste ICOM-uri reprezintă pilonii care permit funcționarea fluidă a organizației automotive. Se observă că produsul finit constituie ieșirea din proces, în timp ce cerințele pieței sau ale clientului reprezintă punctul de intrare. Acest aspect evidentiază faptul că orice organizație din automotive se subordonează cerințelor clientului. Aceste cerințe sunt esențiale în dezvoltarea produselor destinate comercializării și livrării către consumatorul final. Prin urmare, se poate trage concluzia că succesul organizației din industria automotive este direct legat de capacitatea sa de a fabrica produse de înaltă calitate.

...

Pentru a obține o înțelegere detaliată a funcționării acestei organizații, s-a efectuat o descompunerea diagramei A0 a organizației automotive. Descompunerea A0, conform ilustrației 11.2, a fost realizată cu un accent pe procesele cheie existente într-o organizație automotive. Această analiză a condus la identificarea următoarelor categorii de procese principale:

- Procesele de management: Aceste procese reprezintă acțiunile prin care organizația este condusă și controlată în ansamblu. Ele cuprind activități de planificare, coordonare și luare a deciziilor care asigură direcția și obiectivele organizației.
- Procesele operaționale: Acestea sunt procese cheie care adaugă valoare organizației prin activități precum vânzarea, achiziția și producția produselor sau serviciilor. Ele sunt esențiale pentru funcționarea cotidiană a organizației și pentru furnizarea produselor sau serviciilor către clienți.
- Procesele de sprijin: Aceste procese oferă suport operațiunilor organizației și facilitează funcționarea eficientă a proceselor operaționale și de management. Ele pot include activități precum contabilitatea, analiza datelor, gestionarea resurselor umane și gestionarea resurselor financiare.

...

Considerând aceste aspecte, roboții colaborativi pot fi văzuți ca un element de resursă implicat în etapa de asamblare finală a produsului. Roboții colaborativi reprezintă un sistem care interacționează sinergic cu forța de muncă umană, dar, în același timp, concurează cu aceasta datorită costurilor reduse și altor beneficii.

## **Capitolul 12 CONTRIBUȚII PRIVIND POLITICILE ȘI STRATEGIILE DE RESURSE UMANE ÎN CONTEXTUL INTEGRĂRII ROBOȚILOR COLABORATIVI: GESTIONAREA ȘI SOLUȚIONAREA EXCESULUI DE PERSONAL**

### **12.1 Resursele umane și roboți colaborativi**

În contextul resurselor umane și a colaborării cu roboții, se manifestă o strânsă cooperare. Deși roboții colaborativi pot fi văzuți ca potențiali înlocuitori pentru oameni și pot conduce la reducerea locurilor de muncă, ei pot funcționa într-un mod cu adevărat colaborativ doar în prezență și în colaborare cu resurse umane. Pentru a se putea realiza o colaborare eficientă, este esențial ca oamenii să fie parte integrantă a fluxului de lucru al roboților colaborativi.

Desigur, așa cum s-a exemplificat în aplicațiile prezentate anterior, prin implementarea IDEF0, care realizează echivalarea celor două resurse sau mecanisme, se poate constata că roboții colaborativi pot prelua anumite responsabilități în cadrul fluxului de producție. Apare observația prin care se poate concluziona faptul că implementarea roboților colaborativi conduce la o reducere într-o anumită măsură a numărului de operatori. Această observație este parțial adevărată, însă locurile de muncă pe care roboții colaborativi le pot prelua sunt în principal caracterizate prin activități repetitive,

adică pot fi automatizate. Aceste poziții de muncă sunt, fără îndoială, potrivite pentru a fi preluate de către roboții colaborativi, deoarece sunt intrinsec legate de procesele de robotizare. În schimb, locurile de muncă care implică luarea deciziilor și interacțiunea umană nu pot fi înlocuite de către roboți colaborativi și vor continua să fie ocupate doar de către operatori umani.

...

Dacă s-ar face o verificare, se va observa că, într-adevăr, numărul produselor de calitate crește în cadrul unui flux de producție colaborativ. Această îmbunătățire are loc deoarece, atunci când activitatea desfășurată nu este plictisitoare sau repetitivă, monotonia nu se instalează, iar atenția operatorului rămâne mai concentrată.

S-a concluzionat că integrarea roboților colaborativi în mediul de lucru reprezintă un avans semnificativ în automatizarea proceselor de producție și în domenii conexe. Această colaborare între resurse umane și mașini inteligente oferă oportunități semnificative pentru creșterea eficienței și productivității, în timp ce contribuie la reducerea riscurilor de sănătate și securitate la locul de muncă și la îmbunătățirea condițiilor de muncă. În ansamblu, această evoluție în automatizarea industrială și în alte domenii demonstrează că tehnologia și resursele umane pot colabora împreună pentru a atinge niveluri superioare de performanță și inovație. Este crucial să se continue cercetarea și implementarea roboților colaborativi pentru a valorifica pe deplin potențialul acestei colaborări inteligente între om și mașină într-o lume în continuă schimbare.

### **Capitolul 13 CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PRINCIPALE PRIVIND CREȘTEREA CALITĂȚII, EFICIENȚEI ȘI EFICACITĂȚII PRIN IMPLEMENTAREA ROBOȚILOR COLABORATIVI PE FLUXURILE DE FABRICAȚIE DE SERIE DIN DOMENIUL AUTOMOTIVE**

#### ***Concluzii generale***

Scopul fundamental al acestei cercetări științifice constă în formularea unui standard pentru programarea roboților colaborativi, prin elaborarea unei structuri de programare și utilizarea unor limbaje software specializate. Obiectivul principal al acestei abordări constă în garantarea, prin intermediul programării, a realizării îmbunătățirilor în ceea ce privește calitatea, eficiența și eficacitatea în industria automotive, prin adoptarea și implementarea avansată a roboților colaborativi.

...

#### ***Contribuții originale***

Inovațiile aduse prin demersul științific, dintre care o considerabilă parte au fost diseminate în decursul programului de cercetare prin intermediul publicațiilor științifice, constau în:

- Evidențierea necesității unei standardizări clare în structurarea programelor pentru roboții colaborativi. În acest sens, s-a elaborat o structură programabilă, oferind recomandări specifice care vizează atât structura programului, cât și limbajul utilizat. Un accent deosebit s-a pus pe universalitatea și coeziunea în limbaj și structură, pentru a facilita colaborarea între programatori de pe întreg globul.
- Exprimarea modului de configurare a setărilor de bază, recunoscându-le rolul fundamental în asigurarea unei inițieri corespunzătoare și a unui comportament adecvat al roboților colaborativi. Această inițiere solidă reprezintă temelia pe care se construiește cu succes funcționalitatea ulterioară a acestora.
- Insistarea pe utilizarea eficientă a „BeforeStart”, „Robot Program”, „SubProgram” și „Thread”. Fiecare categorie a fost detaliată cu atenție, oferind îndrumări esențiale pentru optimizarea procesului de programare și a funcționalității generale a roboților colaborativi.
- Contribuția adusă în colaborarea om-robot a fost de asemenea abordată, identificându-se oportunități pentru intervenția umană și, în același timp, conștientizând provocările asociate cu potențialele coliziuni în timpul operațiunilor roboților colaborativi.

- Au fost aduse contribuții în dezvoltarea metodelor pentru poziționarea optimă a roboților colaborativi în producție, evidențierea importanței simulărilor 3D și prezentarea unei alternative economice pentru simularea mobilității acestora.
- Evidențierea unor variate soluții de securitate și siguranță, integrate într-un sistem original, cu detalierea procesului de programare și implementarea dispozitivelor de la furnizori recunoscuți precum SICK AG și PILZ GmbH & Co. KG.
- Contribuțiile se extind la elaborarea unui sistem de siguranță testat personal la Continental Automotive, prezentat atât teoretic, cât și integrat practic în proiecte concrete cu roboți colaborativi. Această abordare cuprinzătoare oferă nu doar soluții practice, ci și o „rețetă a succesului” pentru integratori și organizații, garantând eficiență și durabilitate.
- ...
- Cuantificarea eficienței și eficacității printr-o abordare matematică, aducând o perspectivă clară asupra managementului acestor aspecte în organizații. În situația prezentată, implementarea cu succes a roboților colaborativi într-un flux de fabricație a generat îmbunătățiri semnificative, inclusiv o creștere a productivității cu aproximativ 24% și o reducere a costurilor de producție cu 98.9%.
- Analizele și concluziile efectuate susțin ideea că modul de operare cu roboți colaborativi este cu aproximativ 2% mai eficace decât modul de operare cu operatori în contextul fluxului de producție analizat. Aceste constatări subliniază importanța tehnologiei roboților colaborativi în mediul de producție și reflectă expertiza în gestionarea eficienței și eficacității implementării.
- Analiza detaliată a trei tipuri distincte de fluxuri de producție - cu operatori umani, cu roboți industriali și cu roboți colaborativi - dezvăluie un beneficiu economic semnificativ al abordării cu roboți colaborativi. Economia totală estimată este de 115,163.6 euro în al treilea an de implementare, cu o economie anuală constantă de 53,721.264 euro începând cu al patrulea an, evidențiind eficiența și durabilitatea acestei metode.
- Analiza modalității de alegere a roboților, definind criteriile clare precum sarcina utilă, viteza, accelerația și numărul de axe. Acestea joacă un rol esențial, asigurând maximizarea fiabilității și productivității la costuri minime.
- Într-o perspectivă a calității, s-a demonstrat faptul că roboții colaborativi s-au dovedit instrumente esențiale, gestionând cu precizie fluxul de producție și eliminând fluctuațiile și erorile umane. Acești roboți contribuie semnificativ la optimizarea proceselor de fabricație, reducând costurile și îmbunătățind eficacitatea.
- Integrarea conceptului inovator de programare, „Zero Timp de Schimbare a Fabricației”, a fost dezvoltat și aplicat cu succes la multiple aplicații cu roboți colaborativi implementate personal la locul de muncă. S-a ilustrat modul în care conceptul poate fi integrat într-un program cu roboți colaborativi. Această abordare permite tranziția fluentă între diversele configurații de producție fără intervenție umană, având potențialul de extindere și implementare într-o varietate de aplicații.
- Identificarea roboților colaborativi ca resursă esențială în asamblarea finală, prin aplicarea metodologiei IDEF0 și definirea hărții procesului în industria automotive. În contextul IDEF0, unde roboții colaborativi și operatorii umani sunt identificați ca resurse sau mecanisme comparabile, s-a sugerat valorificarea în primul rând a capacității cognitive a operatorilor umani și gestionarea sarcinilor repetitive de către roboții colaborativi.
- Analiza și evaluarea comparativă a rezultatelor prin intermediul metodologiei Jishuken a două fluxuri de fabricație, unul bazat exclusiv pe resursa umană și celălalt de natură colaborativă, implicând atât operatori umani, cât și roboți colaborativi.
- ...

***Direcții ulterioare de cercetare***

- Prima direcție ulterioară de cercetare ar putea consta în extinderea și rafinarea modelelor matematice asociate eficienței și eficacității roboților colaborativi, cu accent pe considerentele specifice domeniului industrial, reprezintă o direcție esențială pentru cercetare ulterioară. Această continuare ar putea implica adaptarea modelelor la variabile specifice industriilor sau proceselor particulare, contribuind la o evaluare mai precisă a beneficiilor aduse de implementarea roboților colaborativi.
- ...
- O direcție de cercetare crucială în evoluția roboților colaborativi se concentrează asupra securității cibernetice, în vederea dezvoltării de tehnologii inovatoare care să prevină și să protejeze acești agenți inteligenți împotriva amenințărilor cibernetice și a potențialelor atacuri.
- O direcție de cercetare promițătoare vizează îmbunătățirea abilităților sociale ale roboților colaborativi pentru a facilita o colaborare mai naturală cu operatorii umani. Această perspectivă poate cuprinde elaborarea aspectelor precum expresiile faciale, gesturile și alte modalități de comunicare.

## BIBLIOGRAFIE

*3200 lei Net - Calcul Salariu Brut.* (2021, Mai 06). Preluat de pe Calculator Salarii: <https://www.calculator-salarii.ro/3200-net-calcul-salariu-brut/anul-2021/>

*3200 lei Net - Calcul Salariu Brut.* (2023, Mai 06). Preluat de pe Calculator Salarii: <https://www.calculator-salarii.ro/3200-net-calcul-salariu-brut/>

*ABB products and services A - Z index.* (2023, Mai 04). Preluat de pe ABB Group. Leading digital technologies for industry — ABB Group: [https://new.abb.com/offerings?\\_ga=2.59776559.369866101.1614715443-1467847424.1614715443](https://new.abb.com/offerings?_ga=2.59776559.369866101.1614715443-1467847424.1614715443)

*ABB Robotics | Anthropomorphic | RGA Custom technologies.* (2023, Mai 04). Preluat de pe RGA Custom technologies | Automazione | Domotica | Robotica | Reti | Termoregolazione: [https://www.rga.eu/robotica/ABB\\_industrial\\_robots.php](https://www.rga.eu/robotica/ABB_industrial_robots.php)

Afsari, K., Gupta, S., Afkhamiaghda, M., & Lu, Z. (2018). Applications of Collaborative Industrial Robots in Building Construction. *54th ASC Annual International Conference Proceedings*, 472-479.

Agrawal, N. K., Singh, V. K., Parmar, V. S., Sharma, V. K., Singh, D., & Agrawal, M. (2020). Design and Development of IoT based Robotic Arm by using Arduino. *Fourth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), IEEE*, 776-780.

Alavi, M., & Leidner, D. E. (2001). Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. *MIS quarterly*, 107-136.

Amrina, E., & Yusof, S. M. (2011). Key performance indicators for sustainable manufacturing evaluation in automotive companies. *2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1093-1097.

*Automation with Automated guided vehicles (AGVs) | SSI SCHAEFER.* (2023, Mai 03). Preluat de pe SSI SCHAEFER în România | SSI SCHÄFER: <https://www.ssi-schaefer.com/en-th/best-practices-trends/trends/automation-automated-guided-vehicles-708788>

Balaz, M., Polo, G., Belan, L., Korenko, M., Findura, P., & Pristavka, M. (2018). Processes of Quality Planning and Quality Assurance in Automotive. *Agricultural, Forest and Transport Machinery and Technologies (ISSN: 2367– 5888), Volume 5(1)*.

- Barnett, N., Costenaro, D., & Rohmund, I. (2017). Direct and Indirect Impacts of Robots on Future Electricity Load. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*, 2-9.
- Barravecchia, F., Mastrogiamomo, L., & Franceschini, F. (2023). A general cost model to assess the implementation of collaborative robots in assembly processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-20.
- Bloss, R. (2016). Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programing ease, portability and cost while addressing many new applications. *Industrial Robot: An International Journal*.
- Bogorin-Predescu, A., Țițu, A. M., Tertoreanu, P., Bâlc, D., & Gusan, V. (2024). IOT system for acquiring ambient data using a dedicated portable platform. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics (în curs de publicare)*.
- Bogue, R. (2016). Europe continues to lead the way in the collaborative robot business. *Industrial Robot Vol. 43 No. 1*, 6-11.
- Bragança, S., Costa, E., Castellucci, I., & Arezes, P. M. (2019). A Brief Overview of the Use of Collaborative Robots in Industry 4.0: Human Role and Safety. *Occupational and environmental safety and health*, 641-650.
- Brațe robotizate colaborative | Automatizare cu roboți colaborativi | UR.* (2023, Mai 05). Preluat de pe Brațe robotizate pentru roboți colaborativi industriali | roboți Cobot de la Universal Robots: [https://www.universal-robots.com/ro/?\\_gl=1\\*crq7lr\\*\\_up\\*MQ..&gclid=Cj0KCCQiA7YyCBhD\\_ARIsALkj54qsCnxQNzqQ7yKtTwa98wFi5LmCbMhrDRoj3SiTLugvHpfEaMPChLoaAjshEALw\\_wcB](https://www.universal-robots.com/ro/?_gl=1*crq7lr*_up*MQ..&gclid=Cj0KCCQiA7YyCBhD_ARIsALkj54qsCnxQNzqQ7yKtTwa98wFi5LmCbMhrDRoj3SiTLugvHpfEaMPChLoaAjshEALw_wcB)
- Broum, T., & Šimon, M. (2019). Preparation of collaborative robot implementation in the Czech Republic. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 453-460.
- Çalmaşur, G. (2016). Technical efficiency analysis in the automotive industry: A stochastic frontier approach. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 4(4), 120-137.
- Carmona, M. (2019). Place value: Place quality and its impact on health, social, economic and environmental outcomes. *Journal of urban design*, 24(1), 1-48.
- Cele 8 tipuri de pierderi.* (2023, Noiembrie 19). Preluat de pe Acasa - Business Cover: <https://www.businesscover.ro/cele-8-tipuri-de-pierderi/>
- Chinniah, Y. (2016). Robot safety: overview of risk assessment and reduction. *Advances in Robotics & Automation*.
- Cobot Comparison Tool: Collaborative Robot Buyer's Guide.* (2023, Aprilie 09). Preluat de pe Collaborative Robotics Trend - The essential guide for cobot end users: <https://www.cobottrends.com/cobot-comparison-tool/>
- Cobots and electricity use: one less thing to worry about.* (2023, Mai 11). Preluat de pe Collaborative robotic automation | Cobots from Universal Robots: <https://www.universal-robots.com/blog/cobots-and-electricity-use-one-less-thing-to-worry-about/>

- Collaborative robots from UR | Start your automation journey.* (2023, August 16). Preluat de pe Collaborative robotic automation | Cobots from Universal Robots: <https://www.universal-robots.com/products/>
- Company Profile | Techman Robot.* (2023, Mai 05). Preluat de pe The Cobot Company for Manufacturing | Techman Robot: <https://www.tm-robot.com/en/company-profile/>
- Crosby, P. B. (1979). *Quality Is Free*. New York: McGraw-Hill.
- Curs Bnr Azi | Curs BNR.* (2023, Mai 06). Preluat de pe Curs BNR, Curs valutar online, Curs euro: <https://www.cursbnr.ro/curs-bnr-azi>
- Davenport, T. H., & Prusak, L. (1998). *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Boston, Massachusetts: Harvard Business Press.
- DeFeo, J. A. (2017). *Juran's quality handbook: The complete guide to performance excellence*. New York: McGraw-Hill Education.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MA: MIT Center for Advanced Engineering Study.
- Derouin, R. E., Fritzsche, B. A., & Salas, E. (2005). E-Learning in Organizations. *Journal of management*, 31(6), 920-940.
- Dhillon, B. S. (1991). *Robot Reliability and Safety*. New York: Springer.
- Dicționar explicativ al limbii române.* (2023, Februarie 19). Preluat de pe <https://dexonline.ro/>: <https://dexonline.ro/definitie/standard>
- Ding, X., Guo, J., Ren, Z., & Deng, P. (2022). State-of-the-Art in Perception Technologies for Collaborative Robots. *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 18, 17635-17645.
- Doosan Cobots - Collaborative Robot Solutions - Mills CNC.* (2023, Mai 05). Preluat de pe Mills CNC Machine Tools, Milling, Lathes, Turning Centres & Machines: <https://www.millscnc.co.uk/automation-systems/cobots/>
- Drummond, H. (1992). *The quality movement: what total quality management is really all about!* Kogan Page.
- Durana, P., Kral, P., Stehel, V., Lazaroiu, G., & Sroka, W. (2019). Quality Culture of Manufacturing Enterprises: A Possible Way to Adaptation to Industry 4.0. *Social Sciences*, 8, 124.
- eficacitate - definiție și paradigmă | dexonline.* (2023, Mai 14). Preluat de pe Dicționar explicativ al limbii române | dexonline: <https://dexonline.ro/definitie/eficacitate>
- Eleftheriadis, R., & Myklebust, O. (2016). A guideline of quality steps towards Zero Defect. *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Finkemeyer, B. (2017). Towards safe human-robot collaboration. *22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, 883-888.
- Fogli, D., Gargioni, L., Guida, G., & Tampalini, F. (2022). A hybrid approach to user-oriented programming of collaborative robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 73*.
- Frățilă, D. (2019). *Tehnologii de Fabricație*. Cluj-Napoca: Editura UTPRESS.

- |                          |                                   |  |              |
|--------------------------|-----------------------------------|--|--------------|
| POLITEHNICA<br>București | Rezumatul<br>Tezei de<br>doctorat | Contribuții cu privire la creșterea calității, eficienței și<br>eficacității unor fluxuri de fabricație de serie prin integrarea<br>unor roboți colaborativi în industria automotive | Vasile GUSAN |
|--------------------------|-----------------------------------|--|--------------|
- 
- Galın, R., & Meshcheryakov, R. (2019). Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 537, No. 3), IOP Publishing.*
- Gleirscher, M., & Calinescu, R. (2020). Safety controller synthesis for collaborative robots. *25th International Conference on Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS)*, 83-92.
- Godina, R., Matias, J. C., & Azevedo, S. G. (2016). Quality improvement with statistical process control in the automotive industry. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 1-8.
- Guiding, C. (2010). Profit and loss statement. *INTERNATIONAL ENCYCLOPEDIA OF HOSPITALITY MANAGEMENT*, 537.
- Gusan, V., & Țițu, A. M. (2021).** Management of cost reduction and process improvement. Implementation of industrial robots versus collaborative robots. *Review of Management & Economic Engineering*, 20(3).
- Gusan, V., & Țițu, A. M. (2022).** The implementation process and factors that influence the quality of the integration of collaborative robots in the automotive industry. *New Technologies, Development and Application V. Cham: Springer International Publishing*, 46-57.
- Gusan, V., & Țițu, A. M. (2023).** Implementation of safety systems in applications with collaborative robots. *ACTA Technica Napocensis-series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering*, 65(4).
- Gusan, V., & Țițu, A. M. (2024).** Improving Process, Ergonomics and Product Quality with Collaborative Robots through Zero Manufacturing Change Time. *In International Conference Interdisciplinarity in Engineering, Cham: Springer International Publishing.*
- Gusan, V., Bădescu, M., & Țițu, A. M. (2020).** Possibilities of collaborative robots integration in the field of nonconventional technologies. *In: Nonconventional Technologies Review*, 24(3).
- Gusan, V., Purcar, C., Bădescu, M., & Țițu, A. M. (2023).** Enhancing quality in knowledge-based organizations through the implementation of collaborative robots into nonconventional technologies in automotive. *In: Nonconventional Technologies Review*, 27(2).
- Gusan, V., Țițu, A. M., & Deac-Șuteu, D. V. (2022).** Application of FMEA in context of organizations providing integral services of local and regional interest in Romania. *In: IMANEE 2022 Iași International Conference, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering*, 65(4S).
- Gusan, V., Țițu, A. M., & Oprean, C. (2022).** Industrial robots versus collaborative robots - The place and role in nonconventional technologies. *ACTA TECHNICA NAPOCENSIS-Series: APPLIED MATHEMATICS, MECHANICS, and ENGINEERING*, 65(1S).
- Gusan, V., Țițu, A. M., Bogorin-Predescu, A., Tertoreanu, P., & Bâlc, D. (2024).** From industrial robots to collaborative robots: exploring the transformation in the collaborative work environment. *In: International Conference "New Technologies, Development and Applications" 2024, NT 2024, Springer, Cham. (în curs de publicare).*
- Hasta, A., & Harwati, H. (2019). Line Balancing with Reduced Number of Operator: A Productivity Improvement. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 528, No. 1). IOP Publishing.*

- History of ABB — ABB Group.* (2023, Mai 04). Preluat de pe ABB Group. Leading digital technologies for industry — ABB Group: <https://global.abb/group/en/about/history>
- Industrial Robots - KUKA AG.* (2023, Mai 04). Preluat de pe industrial intelligence 4.0\_beyond automation - KUKA AG: <https://www.kuka.com/ro-ro/produse-servicii/robotics-systems/industrial-robots>
- Industrial robots, cobots and mobile robot systems / Stäubli.* (2023, Mai 04). Preluat de pe Automatizare industrială pentru conectori, robotică și mașini textile – Stäubli: <https://www.staubli.com/en/robotics/product-range/>
- Iqbal, Z., Pozzi, M., Prattichizzo, D., & Salvietti, G. (2021). Detachable Robotic Grippers for Human-Robot Collaboration. *Frontiers in Robotics and AI*, 1, 8.
- Istoricul KUKA: Automatizarea, atunci și acum - KUKA AG.* (2023, Mai 04). Preluat de pe industrial intelligence 4.0\_beyond automation - KUKA AG: <https://www.kuka.com/ro-ro/companie/prin-kuka/istoric>
- Jesus, C., Lima, R., Barretiri, L., & Lopes, S. I. (2022). A Maturity Model Proposal with Readiness Level Assessment for Organizational Processes Improvement. In *2022 17th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1-4.
- Juran, J. M. (1988). *Quality Control Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook 5th edition*. New York, United States of America: McGraw-Hill.
- Kelada, J. (1990). *La gestion integrale de la qualite. Pour une qualite totale*. Quebec: Ed. Quebec.
- Klimecki, R., & Lassleben, H. (1998). *What causes organizations to learn?* Konstanz: University of Konstanz.
- Kragic, D., Gustafson, J., Karaoguz, H., Jensfelt, P., & Krug, R. (2018). Interactive, Collaborative Robots: Challenges and Opportunities. In *IJCAI*, 18-25.
- Krüger, J., Lien, T. K., & Verl, A. (2009). Cooperation of human and machines in assembly lines. *CIRP annals*, 58(2), 628-646.
- Kuffers, T. R. (2005). *Robotics and Automation Handbook*. Florida: Ed. CRC Press.
- Kumar, R. S., Nathan, N. V., Ashique, M. S., Rajkumar, V., & Karthick, A. P. (2021). Productivity enhancement and cycle time reduction in toyota production system through jishuken activity – Case study. *Materials Today: Proceedings*, 37, 964-966.
- Ladinig, T. B., & Vastag, G. (2021). Mapping quality linkages based on tacit knowledge. *International Journal of Production Economics*, 233.
- Laskurain-Iturbe, I., Arana-Landín, G., Heras-Saizarbitoria, I., & Boiral, O. (2021). How does IATF 16949 add value to ISO 9001? An empirical study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 32(11-12), 1341-1358.
- LBR iiwa | KUKA AG.* (2023, Mai 05). Preluat de pe industrial intelligence 4.0\_beyond automation | KUKA AG: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/industrial-robots/lbr-iiwa#>



- Mahfouz, D. M., Shehata, O. M., & Awad, M. I. (2022). Development of a Collaborative Robotic Architecture for Co-Manipulation Activities. *2022 4th Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, 177-181.
- Makino, H. (2014). Development of the SCARA. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 26(1), 5-8.
- Marsick, V. J., & Neaman, P. G. (1996). Individuals Who Learn Create Organizations that Learn. *New Directions for Adult and Continuing Education*, 72, 97-104.
- Matthias, B., Kock, S., Jerregard, H., Kallman, M., Lundberg, I., & Mellander, R. (2011). Safety of collaborative industrial robots: Certification possibilities for a collaborative assembly robot concept. *2011 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM), Tampere, Finland*, 1-6.
- Matúšová, M., Bučányová, M., & Hrušková, E. (2019). The future of industry with collaborative robots. *MATEC Web of Conferences 2019, vol. 299, EDP Sciences*, p. 02008.
- Migration - Our World in Data*. (2023, Mai 24). Preluat de pe Our World in Data: <https://ourworldindata.org/migration>
- New UR30 cobot arm packs muscle into small frame*. (2023, Decembrie 10). Preluat de pe The Robot Report: <https://www.therobotreport.com/new-ur30-cobot-arm-packs-muscle-into-small-frame/>
- NewsDetail : Doosan Robotics*. (2023, Mai 05). Preluat de pe Doosan Robotics: <https://www.doosanrobotics.com/en/News/NewsDetail/27ee1dde-bd05-ea11-a811-000d3a07be14>
- Ngubane, E. C. (2013). Total quality management in automotive manufacturing. *University of Kwazulu-Natal*.
- Nicolescu, O. (2006). *Economia, firma și managementul bazat pe cunoștințe*. București: Economică.
- Nicolescu, O., Plumb, I., Vasilescu, I., & Verboncu, I. (2004). *Abordări moderne în managementul și economia organizației, volum IV*. București: Economică.
- Nieuwenhuis, P., & Wells, P. (2015). *The global automotive industry*. Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons.
- Oakland, J. S. (2003). *Total quality management: text with cases*. Rochester: Routledge.
- OECD. (1999). *The knowledge-based economy: a set of facts and figures*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Oferte, prețuri și tarife - Electrica Furnizare S.A. - Clienți noncasnici*. (2023, August 30). Preluat de pe Electrica Furnizare - Clienți noncasnici - Electrica Furnizare S.A. - Clienți noncasnici: <https://www.electrifurnizare.ro/business/prețuri-si-tarife/>
- Olaru, M. (1999). *Managementul calității*. București: Economică.
- Olaru, M. (2000). *Tehnici și instrumente utilizate în managementul calității*. București: Economică.
- Omar, M. A. (2011). *The automotive body manufacturing systems and processes*. Chichester, West Sussex, United Kingdom ; : Hoboken, N.J. : Wiley.
- Oprean, C., & ș.a. (2000). *Managementul calității în administrația publică*. Sibiu: CRFCAPL.

- Oprean, C., & ș.a. (2001). *Administrația publică, consilierul și cetățeanul*. Sibiu: CRFCAPL.
- Oprean, C., & ș.a. (2006). *Metode și tehnici ale cunoașterii științifice*. Sibiu: Editura Universității „Lucian Blaga” din Sibiu.
- Oprean, C., & Suci, O. (2003). *Managementul calității mediului*. București: Editura Academiei Române.
- Oprean, C., & Țițu, A. M. (2007). *Cercetarea experimentală și prelucrarea datelor. Partea a II-a*. Sibiu: Editura Universității „Lucian Blaga” din Sibiu,.
- Oprean, C., & Țițu, A. M. (2008). *Managementul calității în economia și organizația bazată pe cunoștințe*. București: Editura AGIR.
- Oprean, C., & Țițu, A. M. (2023). *Politici și mecanisme instituționale în domeniul calității*. Cluj Napoca: Editura Universității Tehnice Cluj Napoca.
- Oprean, C., & Vanu, A. (2006). *Dicționar de management integrat al calității*. București: AGIR.
- Oprean, C., Țițu, A. M., & Bucur, V. (2011). *Managementul global al organizației bazată pe cunoștințe*. București: AGIR.
- Oprean, C., Vanu, A., & Stan, S. (2021). *Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie: Managementul integrat al calității*. București: AGIR.
- Organizația Internațională pentru Standardizare. (1994). *Calitate - Vocabular și principii fundamentale*. Geneva, Elveția: ISO .
- Organizația Internațională pentru Standardizare. (2015). *Sisteme de management al calității - Cerințe. ISO (ISO 9000:2015)*. Geneva, Elveția: ISO.
- Organizația Internațională pentru Standardizare. (2021). *Robotics — Vocabulary (ISO 8373:2021)*. Geneva, Elveția: ISO.
- Otto, A., Agatz, N., Campbell, J., Golden, B., & Pesch, E. (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks*, 411-458.
- Oyekan, J. O., Hutabarat, W., Tiwari, A., Grech, R., Aung, M. H., Mariani, M. P., Dupuis, C. (2019). The effectiveness of virtual environments in developing collaborative strategies between industrial robots and humans. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 55, 41-54.
- Pekur, A., Haapasalo, H., & Herrala, M. (2011). Productivity and Performance Management – Managerial Practices in the Construction Industry. *International Journal of Performance Measurement*, 1(1), 39-58.
- Peshkin, M., & Colgate, J. (1999). Cobots. *Industrial Robot: An International Journal*, 335-341.
- Pieskä, S., Kaarela, J., & Mäkelä, J. (2018). Simulation and programming experiences of collaborative robots for small-scale manufacturing. In *2018 2nd International Symposium on Small-scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS)*. IEEE, 1-4.
- Plumb, I., & Zamfir, A. (2009). Managing service quality within the knowledge-based economy: Opportunities and challenges. *Amfiteatru Economic Journal*, 11(26), 373-382.

- Poór, P., Broum, T., & Basl, J. (2019). Role of Collaborative Robots in Industry 4.0 with Target on Education in Industrial Engineering. *2019 4th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC)*, 42-46.
- Pop, A. B., Pop, G. I., **Gusan, V.**, & Țițu, A. M. (2023). Surface treatment in aerospace industry: A study on acid pickling and paint adhesion. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, (13), 58-69.
- Priede, J. (2012). Implementation of quality management system ISO 9001 in the world and its strategic necessity. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 58, 1466-1475.
- QVIRO | DOOSAN MI509 Reviews, Price, Use-cases, Compare Cobots. (2023, Mai 05). Preluat de pe QVIRO | Industrial Robotics Reviews, Prices, Use-cases, Comparison: <https://s3.eu-west-3.amazonaws.com/virtual-industry/Doosan-range.jpg>
- Raiola, G., Cardenas, C. A., Tadele, T. S., De Vries, T., & Stramigioli, S. (2018). Development of a safety- and energy-aware impedance controller for collaborative robots. *IEEE Robotics and automation letters*, 1237-1244.
- Robot Definition & Meaning - Merriam-Webster*. (2023, Aprilie 26). Preluat de pe Dictionary by Merriam-Webster: America's most-trusted online dictionary: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/robot#dictionary-entry-1>
- Robotics Basics: Definition, Use, Terms - Infineon Technologies*. (2023, Mai 03). Preluat de pe Semiconductor & System Solutions - Infineon Technologies: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/fundamentals-robotics/>
- Schou, C., Andersen, R. S., Chrysostomou, D., Bøgh, S., & Madsen, O. (2018). Skill-based instruction of collaborative robots in industrial settings. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 53, 72-80.
- Schweitzer, C., & Capstone, H. (2012). *The Toyota Approach to Quality Management: A Guide to Understanding and Implementing the Toyota Way*.
- Severo, E. A., Dorion, E. C., Olea, P. M., Camargo, M. E., Nodar, C., & Rohr da Cruz, M. (2012). Cleaner production: Cases of the metal-mechanic automotive cluster of Serra Gaúcha, Brazil. *African Journal of Business Management*, 6(37), 10232.
- Sharkey, N., & Amanda, S. (2009). Electro-mechanical robots before the computer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 223(1):235-241.
- Shigemi, S. (2018). ASIMO and Humanoid Robot Research at Honda. *Humanoid Robotics: A Reference*, pp 55-90.
- Shirine, E., Marei, M., Weidong, L., & Zahid, U. (2019). Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview. *Robotics and Autonomous Systems, Volume 116*, 162-180.
- SICK, A. microScan3 Core I/O Safety laser scanners Operating Instructions.
- Simões, A. C., Soares, A. L., & Barros, A. C. (2020). Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations. *Journal of Engineering and Technology Management, Volume 57*, 101574.

- Singh, S., Singh, B., Bhuvanewari, G., & Bist, V. (2015). Power factor corrected zeta converter based improved power quality switched mode power supply. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 5422-5433.
- Singhal, A., Pallav, P., Kejriwal, N., Choudhury, S., Kumar, S., & Sinha, R. (2017). Managing a fleet of autonomous mobile robots (AMR) using cloud robotics platform. *European conference on Mobile robots (ECMR)*, 1-6.
- Soares, A., & Rios-Zaruma, J. (2021). Relationships between Knowledge Management and Quality Management in Organizational Performance: : an Integrative Review. *In 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1-6.
- Souza, I., Tereso, A., & Mesquita, D. (2020). Communication in Project Management: An Action Research Approach in an Automotive Manufacturing Company. *In: Rocha, Á., Adeli, H., Reis, L., Costanzo, S., Orovic, I., Moreira, F. (eds) Trends and Innovations in Information Systems and Technologies. WorldCIST 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1159. Springer, Cham.*
- Stäubli - Wikipedia. (2023, Mai 04). Preluat de pe Wikipedia, the free encyclopedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4ubli>
- Suciu, O., & Oprean, C. (2007). *Calitatea globală concurențială*. București: AGIR.
- Sundqvist, E., Backlund, F., & Chronéer, D. (2014). What is Project Efficiency and Effectiveness? *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 278-287.
- Tan, J. C., Duan, F., Kato, R., & Arai, T. (2010). Safety Strategy for Human–Robot Collaboration: Design and Development in Cellular Manufacturing. *Safety strategy for human–robot collaboration: Design and development in cellular manufacturing*, 24(5-6), 839-860.
- Telea, D. (2014). *Sisteme flexibile de producție*. Sibiu: Editura Universității Lucian Blaga.
- Tertoreanu, P., Țițu, A. M., Bogorin-Predescu, A., **Gusan, V.**, & Bâlc, D. (2024). Integrated IT systems for the management of activities related to border control at the schengen space. *In: International Conference “New Technologies, Development and Applications” 2024, NT 2024, Springer, Cham. (în curs de publicare).*
- Teso-Fz-Betoño, D., Zulueta, E., Sánchez-Chica, A., Fernandez-Gamiz, U., & Saenz-Aguirre, A. (2020). Semantic Segmentation to Develop an Indoor Navigation System for an Autonomous Mobile Robot. *Mathematics*, 8(5), 855.
- The Cobot Company for Manufacturing | Techman Robot*. (2023, Mai 05). Preluat de pe The Cobot Company for Manufacturing | Techman Robot: <https://tm-robot.com/en/>
- The Future of Robotics in the Smart City: A Preview for 2023*. (2023, Aprilie 26). Preluat de pe Newswire: Press Release Distribution, Targeting, Monitoring & Marketing - Canada: <https://www.newswire.ca/news-releases/the-future-of-robotics-in-the-smart-city-a-preview-for-2023-812522515.html>
- The LBR iisy cobot – set it up, switch it on, get started | KUKA AG*. (2023, Mai 05). Preluat de pe industrial intelligence 4.0\_beyond automation | KUKA AG: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/lbr-iisy-cobot>

- Țițu, A. M. (2007). *Managementul calității în organizațiile industriale moderne, Teză de doctorat*. Sibiu: Universitatea Lucian Blaga din Sibiu.
- Țițu, A. M., & Gusan, V. (2021). Total Quality in a Serial Industry - The Concept of a Closed-Loop in a Total Autonomous Flow. *NT 2021: New Technologies, Development and Application IV* (pg. 410-421). Sarajevo: Springer Cham.
- Țițu, A. M., & Gusan, V. (2022). The Influence of Collaborative Robots on the Quality, Efficiency and Effectiveness of Automotive Manufacturing Flows. *In New Technologies, Development and Application V* (pg. 58-67). Sarajevo, Bosnia and Herțegovina: Cham: Springer International Publishing.
- Țițu, A. M., & Gusan, V. (2024). Implementation Management of Collaborative Robots in Knowledge-Based Organizations: An Innovative and Efficient Perspective. *IEEE Transactions on Robotics, (în curs de publicare)*.
- Țițu, A. M., & Oprean, C. (2006). *Cercetarea experimentală și prelucrarea datelor. Partea I*. Sibiu: Editura Universității „Lucian Blaga” din Sibiu.
- Țițu, A. M., & Oprean, C. (2007). *Managementul calității*. Pitești: Editura Universității din Pitești.
- Țițu, A. M., & Oprean, C. (2007). *Managementul strategic*. Pitești: Editura Universității din Pitești.
- Țițu, A. M., & Oprean, C. (2015). *Management of intangible assets in the context of knowledge based economy*. Germania: LAP Lambert.
- Țițu, A. M., Bâlc, D., Gusan, V., Bogorin-Predescu, A., & Tertoreanu, P. (2024). Autonomous mobile platform with UV ray disinfection system, a modular and affordable solution for virus elimination. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics (în curs de publicare)*.
- Țițu, A. M., Doicin, C. V., Ionescu, N., & Gusan, V. (2023). Application of the PFMEA methodology in a production flow with collaborative robots. *In: International Conference “New Technologies, Development and Applications”*, 27-36.
- Țițu, A. M., Gusan, V., & Bogorin-Predescu, A. (2023). Enhancing Collaborative Robot Communication with Electrical Discharge Machine through MODBUS TCP Integration: A Feasibility and Application Study. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, (14)*, 27.
- Țițu, A. M., Gusan, V., & Deac-Șuteu, D. V. (2022). The feasibility of using a problem solving methodology used in manufacturing in public interest sectors. *In: IMANEE 2022 Iași International Conference, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering, 65(4S)*.
- Țițu, A. M., Gusan, V., & Dragomir, M. (2023). Integration of Collaborative Robots in the Automotive Industry during Post-Pandemic Recovery. *ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering, 66(1S), ISSN:1221-5872*.
- Țițu, A. M., Gusan, V., & Pop, A. B. (2023). Methods and Techniques Utilized in Programming Collaborative Robots for High-Quality Automation. *In: International Conference on Reliable Systems Engineering (ICORSE), pp. 469-489, Cham: Springer Nature Switzerland*.
- Țițu, A. M., Oprean, C., & Boroiu, A. (2011). *Cercetarea experimentală aplicată în creșterea calității produselor și serviciilor*. București: AGIR.

---

Țițu, A. M., Oprean, C., & Cicală, E. (2001). *Tehnici și metode în conducerea proceselor tehnologice*. Sibiu: Editura Universității „Lucian Blaga” din Sibiu.

Țițu, A. M., Oprean, C., & Tomuță, I. (2007). *Cercetarea experimentală și prelucrarea datelor. Studii de caz*. Sibiu: Editura Universității „Lucian Blaga” din Sibiu.

Țițu, A. M., Pop, A. B., & Țițu, Ș. (2018). The correlation between intellectual property management and quality management in the modern knowledge-based economy. *In 2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 1-6.

Tocan, M. C. (2012). Knowledge based economy assessment. *Journal of Knowledge. Management, Economics and Information Technology*, 2(5), 1-13.

...

### **Anexe 1-6**

...