

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Design de Produs şi Mediu

Ing. Constantin TORCĂTORU

**Managementul calităţii şi al riscurilor în cazul
procesului tehnologic de asamblare selectivă utilizând
algoritmi genetici**

**Quality and risk management in the case of the
technological process of selective assembly using
genetic algorithms**

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiinţific

Prof.dr.ing. Dan SĂVESCU

BRAŞOV, 2021

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. din

PREȘEDINTE:	Prof.dr.ing. Codruța Ileana JALIU Universitatea Transilvania din Braşov
CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:	Prof.dr.ing. Dan SĂVESCU Universitatea Transilvania din Braşov
REFERENȚI:	Prof.dr.ing. Anca DRĂGHICI Universitatea Politehnica Timișoara Prof.dr.ing. Constantin BUNGĂU Universitatea din Oradea Prof.dr.ing. Angela REPANOVICI Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:, ora, sala

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa constantin.torcatoru@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS (limba română)

Pg. Teză / Pg. Rezumat

LISTA DE NOTAȚII	6 / -
LISTA DE ABREVIERI	8 / -
MULȚUMIRI	9 / -
INTRODUCERE	10 / 7
1. MANAGEMENTUL CALITĂȚII ȘI AL RISCULUI PRODUSELOR INOVATIVE.	12 / 8
1.1 Aspecte generale privind managementul calității	12 / 8
1.1.1 Aspecte de bază ale conceptului de calitate	12 / 8
1.1.2 Definiții ale calității	13 / 9
1.1.3 Ipoteze practice ale calității	15 / 9
1.1.4 Sistemul de management al calității.....	16 / 9
1.1.5 Conceptul de management al calității	17 / 10
1.1.6 Structura organizațională și procesele sistemului de management al calității	18 / 11
1.1.7 Documentația sistemului de management al calității	18 / -
1.1.8 Resurse ale sistemului de management al calității	19 / -
1.2 Managementul riscului	20 / 11
1.2.1 Noțiuni de baza ale managementului riscului	21 / 11
1.2.2 Concepte cheie ale managementului riscurilor	22 / 11
1.3 Sisteme automatizate de stocare	23 / 12
1.3.1 Introducere și scurt istoric.....	23 / 12
1.3.2 Tendința automatizării depozitelor	25 / 13
1.3.3 Impactul COVID-19 asupra sistemelor de depozitare automată	26 / 14
1.3.4 Avantajele și dezavantajele sistemelor de depozitare automată	26 / 15
1.3.1 Clasificarea sistemelor de stocare automată.....	27 / 15
1.3.1.1 Sisteme de stocare și recuperare automate (AS/RS).....	28 / -
1.3.1.2 Carusele orizontale și verticale	29 / -
1.3.1.3 Module de stocare pe verticală (VLM) și pe orizontală (OLM).....	32 / -
1.3.1.4 Sisteme automate de stocare și recuperare cu vehicule (AVS/RS).....	33 / -
1.3.1.5 Sisteme de stocare și recuperare compacte bazate pe robot (RCS/RS).....	34 / -
1.3.1.6 Sisteme robotizate cu mișcare mobilă	35 / -
1.4 Studiul literaturii de specialitate. Stabilirea direcțiilor de cercetare.....	36 / 16
1.4.1 Studiu scientometric din Web of Science	36 / 16
1.4.2 Rezultatul VOSviewer pe baza de date din Web of Science	38 / 17
1.4.3 Studiu scientometric din Scopus și Dimensions.....	41 / 19
1.5 Concluzii	44 / 20
2. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	46 / 21
3. ASAMBLARE SELECTIVĂ. STADIUL ACTUAL	48 / 22
3.1 Stadiul actual pentru asamblarea selectivă din domeniul fabricației	48 / 22
3.2 Stadiul actual pentru asamblarea selectivă în cazul asamblării rulmenților	52 / 24
3.3 Principiile conceptului de algoritm genetic.....	53 / 25
3.4 Managementul asamblării.....	54 / 26
3.5 Concluzii	55 / 26
4. SISTEM DE STOCARE AUTOMATĂ PE VERTICALĂ. ASAMBLAREA SELECTIVĂ A RULMENȚILOR	56 / 27
4.1 Sistem de tip Vertical Lift Module pentru stocare automată.....	56 / 27

4.2 Dezvoltare algoritm genetic pentru asamblare selectivă	59 / 29
4.2.1 Studiu privind eficientizarea metodei de asamblare selectivă pentru rulmenții radiali cu bile	59 / 29
4.2.2 Studiu de caz pentru aplicarea metodei de asamblare selectivă pe un rulment 6305	63 / 34
4.2.3 Transpunerea algoritmului dezvoltat în mediul de calcul ingineresc Mathcad.....	66 / 36
4.3 Concluzii	75 / 44
5. STUDIUL UNEI COMPONENTE EFICIENTIZATE A SISTEMULUI VLM.....	77 / 45
5.1 Conceptul de proiectare pentru fabricare și asamblare.....	77 / 45
5.2 Proiectare CAD pentru componenta tavă a sistemului VLM.....	79 / 47
5.2.1 Proiectare CAD pentru ansamblul tavă sudată	79 / 47
5.2.2 Proiectare CAD pentru ansamblul tavă nituită	83 / 50
5.3 Analiza DFMA pentru cele două tăvi proiectate.....	89 / 54
5.3.1 Analiza DFM pentru ansamblul tavă sudată	90 / 55
5.3.2 Analiza DFM pentru ansamblul tavă nituită	97 / 59
5.3.3 Analiza DFA pentru ansamblul tavă sudată	99 / 60
5.3.4 Analiza DFA pentru ansamblul tavă nituită	105 / 64
5.3.5 Analiza comparativă DFMA pentru cele două tăvi proiectate	109 / 67
5.4 Concluzii	111 / 69
6. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	112 / 70
6.1 Concluzii generale	112 / 70
6.2 Contribuții personale	114 / 71
6.3 Diseminarea rezultatelor	115 / 72
6.4 Direcții viitoare de cercetare	116 / 73
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	117 / 74
LISTA FIGURILOR	126 / -
LISTA TEBELELOR	128 / -
ANEXE.....	129 / -
Anexa 1 Script Mathcad pentru date de intrare setul 1	129 / -
Anexa 2 Script Mathcad pentru date de intrare setul 2.....	135 / -
Anexa 3 Script Mathcad pentru date de intrare setul 3.....	141 / -
Anexa 4 Script Mathcad pentru date de intrare setul 4.....	147 / -
Anexa 5 Script Mathcad pentru date de intrare setul 5.....	153 / -
Anexa 6 Script Mathcad pentru date de intrare setul 6.....	159 / -
Anexa 7 Script Mathcad pentru date de intrare setul 7	165 / -
Anexa 8 Script Mathcad pentru date de intrare setul 8.....	171 / -
Anexa 9 Raport de interogare DFM pentru analiza reperului tavă sudată.....	177 / -
Anexa 10 Raport de interogare DFM pentru analiza reperului tavă nituită.....	180 / -
Anexa 11 Raport de interogare DFM pentru analiza reperului traversă.....	186 / -
Anexa 12 Raport de interogare DFM pentru analiza reperului despărțitor	189 / -
Anexa 13 Rezumatul tezei.....	192 / 79
OPIS.....	193 / -
DECLARAȚIA DE AUTENTICITATE	194 / 80

CONTENTS (english language)

Pg. Thesis / Pg. Abstract

NOTATION LIST.....	6 / -
ABBREVIATION LIST	8 / -
ACKNOWLEDGMENT	9 / -
INTRODUCTION	10 / 7
1. QUALITY AND RISK MANAGEMENT OF INNOVATIVE PRODUCTS.	12 / 8
1.1 General aspects regarding quality management.....	12 / 8
1.1.1 Basic aspects of the quality concept.....	12 / 8
1.1.2 Definitions of quality	13 / 9
1.1.3 Practical Aspects of quality	15 / 9
1.1.4 Quality management system.....	16 / 9
1.1.5 The concept of quality management	17 / 10
1.1.6 Organizational structure and processes of the quality management system	18 / 10
1.1.7 Quality management system documentation	18 / -
1.1.8 Quality management system resources.....	19 / -
1.2 Risk management	20 / 11
1.2.1 Risk management basics.....	21 / 11
1.2.2 Key concepts of risk management	22 / 11
1.3 Automated storage systems	23 / 12
1.3.1 Introduction and brief history	23 / 12
1.3.2 The trend of warehouse automation.....	25 / 13
1.3.3 Impact of COVID-19 on automatic storage systems	26 / 14
1.3.4 Advantages and disadvantages of automatic storage systems	26 / 15
1.3.1 Classification of automatic storage systems	27 / 15
1.3.1.1 Automatic storage and retrieval systems (AS / RS)	28 / -
1.3.1.2 Horizontal and vertical carousels.....	29 / -
1.3.1.3 Vertical (VLM) and horizontal (OLM) storage modules	32 / -
1.3.1.4 Automatic vehicle storage and retrieval systems (AVS / RS)	33 / -
1.3.1.5 Robot-based compact storage and retrieval systems (RCS / RS).....	34 / -
1.3.1.6 Robotic systems with mobile movement.....	35 / -
1.4 Literature review. Establishing research directions.....	36 / 16
1.4.1 Scientometric study from the Web of Science.....	36 / 16
1.4.2 VOSviewer result based on data from Web of Science.....	38 / 17
1.4.3 Scientometric study from Scopus and Dimensions	41 / 19
1.5 Conclusions	44 / 20
2. OBJECTIVES OF THE DOCTORAL THESIS	46 / 21
3. SELECTIVE ASSEMBLY. STATE OF THE ART	48 / 22
3.1 State of the art for selective assembly in manufacturing.....	48 / 22
3.2 State of the art for selective assembly in the case of bearing assembly.....	52 / 24
3.3 Principles of the concept of genetic algorithm.....	53 / 25
3.4 Assembly management	54 / 26
3.5 Conclusions	55 / 26
4. VERTICAL AUTOMATIC STORAGE SYSTEM. SELECTIVE ASSEMBLY OF BEARINGS.....	56 / 27
4.1 Vertical Lift Module system for automatic storage	56 / 27

4.2 Development of genetic algorithm for selective assembly.....	59 / 29
4.2.1 Study on the efficiency of the selective assembly method for radial ball bearings	59 / 29
4.2.2 Case study for the application of the selective assembly method on a bearing 6305	63 / 34
4.2.3 Transposition algorithm developed in the Mathcad engineering calculation	66 / 36
4.3 Conclusions	75 / 44
5. STUDY OF AN EFFICIENT COMPONENT OF THE VLM SYSTEM.....	77 / 45
5.1 Design concept for manufacturing and assembly.....	77 / 45
5.2 CAD design for the tray component of the VLM system	79 / 57
5.2.1 CAD design for welded tray assembly.....	79 / 47
5.2.2 CAD design for riveted tray assembly.....	83 / 50
5.3 DFMA analysis for the two designed trays	89 / 54
5.3.1 DFM analysis for the welded tray assembly	90 / 55
5.3.2 DFM analysis for riveted tray assembly	97 / 59
5.3.3 DFA analysis for welded tray assembly.....	99 / 60
5.3.4 DFA analysis for riveted tray assembly	105 / 64
5.3.5 DFMA comparative analysis for the two designed trays	109 / 67
5.4 Conclusions	111 / 69
6. GENERAL CONCLUSIONS. PERSONAL CONTRIBUTIONS. RESULTS DISEMINATIONS. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS	112 / 70
6.1 General Conclusions	112 / 70
6.2 Personal Contributions.....	114 / 71
6.3 Results Diseminations.....	115 / 72
6.4 Future Research Directions.....	116 / 73
SELECTED BIBLIOGRAFY.....	117 / 74
LIST OF FIGURES	126 / -
LIST OF TABLES	128 / -
ANNEXES	129 / -
Appendix 1 Mathcad script for input data set 1	129 / -
Appendix 2 Mathcad script for input data set 2.....	135 / -
Appendix 3 Mathcad script for input data set 3	141 / -
Appendix 4 Mathcad script for input data set 4	147 / -
Appendix 5 Mathcad script for input data set 5	153 / -
Appendix 6 Mathcad script for input data set 6	159 / -
Appendix 7 Mathcad script for input data set 7	165 / -
Appendix 8 Mathcad script for input data set 8	171 / -
Appendix 9 DFM query report for welded tray part analysis	177 / -
Appendix 10 DFM query report for riveted tray mark analysis	180 / -
Appendix 11 DFM query report for crossover benchmark analysis.....	186 / -
Appendix 12 DFM query report for partition analysis	189 / -
Appendix 13 Thesis abstract.....	192 / 79
OPIS	193 / -
DECLARATION OF AUTHENTICITY	194 / 80

INTRODUCERE

A livra la timp un produs finit, a fost, este și va fi o provocare, cu atât mai mare cu cât fabricarea acestuia este mai complexă și necesită mai multe operații de prelucrare-asamblare. Datorită creșterii impactului asupra conceptului de Industry 4.0, se dorește implementarea a cât mai multor sisteme de automatizare și eliminarea forței de muncă umană, în procesele de fabricație, din orice domeniu.

Având în vedere și impactul pandemiei cu COVID-19 asupra industriilor prelucrătoare, cu un prim rezultat legat de distanțarea socială a operatorilor umani, se va pune accent tot mai mult pe automatizarea posturilor de lucru, acolo unde intervenția operatorului uman face posibil acest lucru.

Competiția marilor companii din industria constructoare și prelucrătoare, este din ce în ce mai strânsă, scopul principal al acestora fiind orientat către menținerea în top pe piața și câștigarea încrederii clienților. Datorită cererilor mari de produse noi, centrele de cercetare au început să colaboreze mai mult cu producătorii și să vină în întâmpinarea acestora cu proiecte ale studenților, pentru a aduce un plus de valoare pieței, valorificând lucrările și studiile realizate de studenți [76].

Un sistem flexibil de fabricație (SFF) poate fi considerat un complex, comandat cu ajutorul unui calculator, de către mașini unelte cu comandă automată, instalații automate de manipulare a sculelor și a pieselor, echipament automatizat de măsurare și testare, care în condiții de timpi reduși de reglare, pot prelucra orice produs, aparținând unei anumite familii specifice de produse, în limitele unei capacități și a unui program de fabricație prestabilit [74].

Prelucrarea prin deformare la rece este considerată ca fiind o metodă de prelucrare modernă, utilizată la scara largă, în construcția de mașini. Principalul avantaj al acestei prelucrări este că se pot obține produse cu o formă complexă și o precizie dimensională ridicată, comparativ cu procedeele clasice de prelucrare a metalelor, în majoritatea cazurilor nemaifiind nevoie de alte prelucrări mecanice suplimentare [75]. În această lucrare, autorul își propune dezvoltarea unui algoritm matematic aplicat în etapa de asamblare selectivă, pentru produse constituite din trei elemente componente.

Piesele care contribuie la asamblarea unui produs, sunt fabricate pe mașini cu procese de prelucrare diferite, calitatea aceluia ansamblu bazându-se pe calitatea pieselor ce urmează a fi împerecheate. Ansamblul obținut prin asamblare selectivă va avea toleranțe diferite, deoarece distribuțiile dimensionale și geometrice sunt diferite pentru zonele pieselor ce urmează a fi asamblate.

Implementarea algoritmului dezvoltat în etapa de asamblare selectivă are scopul principal de a obține produse de o calitate ridicată, din elemente componente realizate cu o precizie relativ mică. Totodată, utilizarea acestui algoritm ar diminua reburile neremaniabile rezultate în urma asamblării selective, care nu ar îndeplini specificațiile tehnice prescrise.

Având în vedere tendința automatizărilor din industriile prelucrătoare, autorul a realizat o analiză privind posibilitatea implementării acestui algoritm, pe un sistem de stocare automată, care poate fi folosit în stadiul asamblării unui produs, direct pe linia de fabricație. Implementarea acestui sistem de stocare automată poate diminua problema clasificării produselor în funcție de precizia acestora, poate diminua stocul tampon, respectarea termenului de livrare a comenzilor care urmează a fi executate din etapa de asamblare.

1. MANAGEMENTUL CALITĂȚII ȘI AL RISCULUI PRODUSELOR INOVATIVE.

1.1 Aspecte generale privind managementul calității

Managementul Calității (QM) reprezintă un obiectiv al standardelor în vigoare ISO 9000:2000, care urmăresc niște principii ce au la bază întregul Sistem de Management al Calității (SMQ).

Managementul calității are preocupare legată atât de calitatea produselor, cât și a serviciilor care sunt implicate direct în competitivitatea întreprinderilor.

1.1.1 Aspecte de bază ale conceptului de calitate

Marcarea obiectelor de aur și argint, au fost primele preocupări legate de calitate, această marcare fiind o dovadă și o garanție a calității produsului care poate fi oferit de către un fabricant [69]. Totodată, mulți producători de produse care aparțineau aceluiași grup, își stabileau și mențineau propriile standarde, care influențau direct reputația și existența lor ca meseriași.

Odată cu apariția industrializării și a concurenței, calitatea a devenit o preocupare importantă și majoră [86].

Apariția producției de masă și diminuarea muncii manuale a restricționat operatorului posibilitatea autocontrolului calității. Când bunurile au început să fie produse în masă, responsabilitatea operatorului din acea vreme, pentru calitate s-a pierdut ca o trăsătură importantă a meseriei. Metodele noi ale lui FW.

Tayler și Henry Fayol [23], la începutul secolului XX, au readus operatorul uman în procesul fabricării. Datorită acestui fapt, s-a realizat o împărțire strictă a celor care "fabricau" calitatea, față de cei care "inspectau" calitatea.

Controlul calității și inspecția calității fac parte din activitățile care asigură că doar produsele și bunurile ce "îndeplinesc" caracteristicile și specificațiile standardelor calității, părăsesc poarta fabricii. Totuși, controlul calității reprezintă procesul care se desfășoară după procesul de fabricație și nu este în legătură directă cu oamenii care realizează produsul.

De fapt, inspecția și controlul calității sunt procese care identifică produsele neconforme și nu procese sau căi prin care să garanteze "grija și preocuparea" forței de muncă pentru calitate obținută [73]. În prezent, deși controlul și inspecția calității reprezintă activități absolut necesare fabricării de produse și bunuri, multe organizații caută să schimbe aceste metode, cu alte modalități de asigurare și eficientizare a calității fundamentate pentru realizarea calității, prin redarea responsabilităților operatorilor pentru calitate.

Primele sarcini majore legate de managementul calității au fost stabilite în jurul anilor 1920 în SUA, atunci când principiile managementului științific au început să fie aplicate în întreaga industrie americană.

În același timp, cercetările lui Elton Mayo de la Hawthorne, din anii 1927-1930 distinge efectul pozitiv al implicării muncitorilor pentru majorarea productivității și calității [52]. Totodată, probabilitățile matematice pentru rezolvarea conceptului de analiză statistică a controlul calității, a fost introdus pentru prima dată în perioada anilor 1930, de către Walter Shewhart [65].

1.1.2 Definiții ale calității

La modul general, calitatea reprezintă *“o categorie filosofică care exprimă însușirile esențiale ale unui obiect, serviciu, care îl fac să se distingă de toate celelalte produse/servicii similar, care au aceeași destinație, respectiv utilitate”*. J. M. Juran ne transmite faptul că această *“calitate reprezintă gradul de utilitate sau aptitudinea de utilizare a produsului”* [36]. Phil Crosby menționează *“calitatea reprezintă conformitatea cu cerințele existente în domeniu și nu ca bun”*. G. Taguchi a scris despre calitate *“ca fiind un minim de pierdere dinspre produs spre societate, din momentul în care produsul este livrat”* [24].

În ultima vreme, calitatea s-a transformat într-o problemă a tuturor angajaților unei companii, din toate sectoarele de activitate, care fac parte din toate etapele de existență a produsului, care are un caracter permanent.

Creșterea calității unui produs, care implică cheltuirea unei valori, a unei trude materiale sau imateriale, reprezintă un plus de valoare adăugat produsului respectiv, care se poate cuantifica financiar și participă la evoluția produsului.

1.1.3 Ipoteze practice ale calității

În practică, în ceea ce privește producția și circulația produselor, au apărut principii uzuale și concrete, care pot fi aplicative, derivând din noțiunea teoretică a calității. Drept urmare, calitatea este identificată prin mai multe ipoteze, iar dacă acestea sunt ignorate poate un efect de confuzie în relațiile dintre producător și beneficiar: calitatea proiectată; calitatea potențială; calitatea omologată; calitatea prescrisă; calitatea fabricației; calitatea contractată; calitatea livrată; calitatea reală; calitatea tehnică sau industrială; calitatea parțială; calitatea comercială etc.

1.1.4 Sistemul de management al calității

În rezolvarea organizată a problemelor, Joseph M. Juran consideră că sunt necesare două faze:

- o etapă de „diagnostic” – analiza problemei care conduce de la simptom la cauză;
- o etapă de „terapie” – eliminarea cauzelor, prin care sunt stabilite metodele de rezolvare a problemelor.

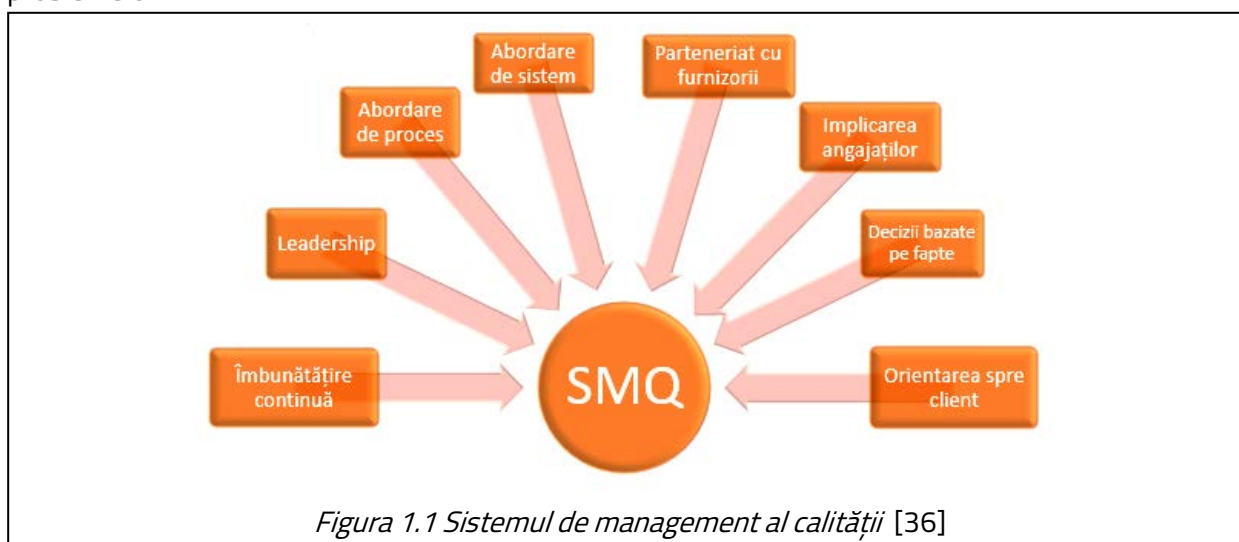


Figura 1.1 Sistemul de management al calității [36]

1.1.5 Conceptul de management al calității

Standardul ISO 8402:1992 definește sistemul calității ca fiind, *"o structură organizațională, cu responsabilitățile, procedurile, procesele și resursele necesare pentru a implementa managementul calității"*. SMQ trebuie să asigure realizarea obiectivelor propuse pentru calitate și este proiectat pentru satisfacerea cerințelor manageriale ale companiei respective.

A. Feigenbaum definește TQM ca fiind un sistem al calității în care sunt cuprinse: informațiile, documentația tehnică, structura de lucru, procedurile manageriale aferente organizării și coordonării acțiunilor personalului și mașinilor, cu scopul satisfacerii consumatorului/clientului.

Ilies definește sugestiv sistemul calității ca fiind *"o combinație de echipamente software, specialiști și proceduri cu o structură aleasă, încât să poată realiza obiectivele ce derivă din politica pentru calitate"*.

SMQ ar trebui organizat în așa fel încât să permită exercitarea controalelor corespunzătoare și continue asupra tuturor activităților și proceselor care influențează calitatea. SMQ trebuie să pună accent pe acțiuni de prevenire și diminuare a apariției problemelor [61].

1.1.6 Structura organizațională și procesele sistemului de management al calității

Ilies spune că orice SMQ are la bază două subsisteme [28]:

- subsistemul uman: în care personalul uman utilizează proceduri în activitățile lor și se implică direct în îmbunătățirea calității, indiferent de locul pe care îl ocupă în ierarhia managerială.
- subsistemul informațional: reprezintă toată documentația aferentă managementul calității, constituite din rapoarte, instrucțiuni, proceduri și manualul calității [10].

Prin proces se poate înțelege *"un ansamblu de activități corelate sau în interacțiune care transformă un set de elemente de intrare, în vederea realizării unor elemente de ieșire, de care are nevoie un client intern sau extern"*. În viziunea TQM, un proces se poate defini ca fiind *"o succesiune de activități corelate sau o activitate care are elemente de intrare și ieșire"*

1.1.7 Resurse ale sistemului de management al calității

De obicei, orice companie trebuie să determine și să asigure orice resurse necesare pentru:

- o definirea, implementarea și menținerea SMQ, precum și creșterea îmbunătățirii acestuia;
- o maximizarea satisfacției beneficiarului prin îndeplinirea solicitărilor sale.

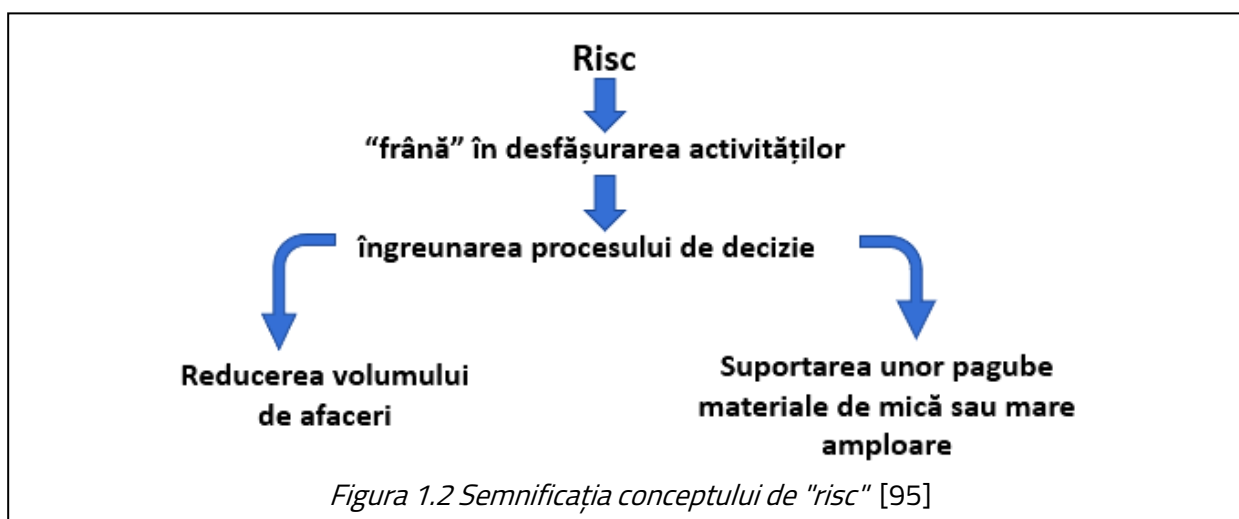
Totodată, atunci când se face referire la alocarea resurselor, se pune accent pe următoarele categorii:

- resursele umane: nivelul studiilor, instruirilor, abilităților, experiențelor;
- infrastructura: clădirile, spațiile de lucru, utilitățile, echipamentele hardware și software, serviciile suport;
- mediul și climatul de lucru: combinația factorilor fizici și umani ce pot influența atât motivația, satisfacția, dezvoltarea individuală, performanța angajaților, cât și aspecte legate de calitatea produsului/serviciului (ISO 9004:2000). O parte din factorii fizici pot fi zgomotul, căldura, iluminatul, igiena, umiditatea, vibrațiile, poluarea etc.

1.2 Managementul riscului

Conform standardului nr. 946/2005 privind managementul riscurilor aprobat prin Ordinul ministrului finanțelor publice, „*fiecare entitate publică are obligația de a analiza sistematic, cel puțin o dată pe an, riscurile legate de desfășurarea activităților sale, să elaboreze planuri corespunzătoare în direcția limitării posibilelor consecințe ale acestor riscuri și să numească responsabili pentru aplicarea planurilor respective*” [95].

Risc → reprezintă conceptul cu aplicație socială, economică, politică sau naturală, în a cărei origine este incertitudinea de a determina sau nu, o pagubă datorată nesiguranței și inconștienței luării unor decizii.



1.2.1 Noțiuni de baza ale managementului riscului

Managementul riscurilor reprezintă activități de identificare și evaluare a riscurilor, identificarea și stabilirea răspunsului pentru riscul apărut cu scopul minimizării posibilităților de apariție a riscurilor, cât și reducerea consecințelor produse, ca urmare a concretizării riscurilor.

1.2.2 Concepte cheie ale managementului riscurilor

➤ **Organizație** – atingerea unor obiective prestabilite de către persoane care lucrează împreună. O organizație poate fi o autoritate publică, un serviciu guvernamental, o întreprindere constituită sau nu în societate, o asociere de persoane fără scop lucrativ, componente structurale etc.

➤ **Obiective** – scopurile stabilite de către o organizație. Pentru nivel operațional, obiectivele generale se împart în obiective derivate și specifice. La nivel global, obiectivele pot fi definite în termeni generali, dar, la nivel operațional, obiectivele se definesc precis, prin indicatori de rezultate măsurabili. Astfel, obiectivele reprezintă acele rezultate care trebuie obținute la nivelul companiei și la nivelul fiecărei componente structurale din cadrul acesteia;

➤ **Risc** – Obținerea rezultatelor prealabil fixate este amenințată de o problemă care încă nu a apărut, dar care poate apare în viitor. Riscul din prima situație reprezintă o amenințare, riscul din a doua situație poate reprezenta o oportunitate. Riscul reprezintă incertitudinea pentru obținerea rezultatelor dorite și trebuie privit ca o combinație între probabilitate și impact;

➤ *Impactul* – dacă riscul s-ar concretiza, impactul reflectă efectul asupra rezultatelor (obiectivelor). Efectul asupra rezultatelor este negativ, dacă riscul reprezintă o amenințare, iar efectul este pozitiv, dacă riscul devine o oportunitate;

➤ *Probabilitatea de concretizare a riscului* – reprezintă gradul de posibilitate sau eventualitate ca un risc să devin concretizat. Atunci când caracterul riscului și informațiile utilizate permit o astfel de evaluare, probabilitatea reflectă o măsură a posibilității de apariție a riscului, determinată prin apreciere sau cuantificare;

➤ *Expunere la risc* – poate fi consecința rezultată ca o combinație dintre probabilitate și impact, pe care o companie le poate resimți în raport cu obiectivele prestabilite, dacă riscul se concretizează;

➤ *Materializarea riscului* – reprezintă transpunerea riscului din incertitudine, în certitudine (al faptului împlinit). Dacă riscul se manifestă ca o amenințare, acesta devine o problemă dificilă dintr-o problemă posibilă, iar dacă riscul se manifestă ca o oportunitate, acesta devine o situație favorabilă.

➤ *Atenuarea riscului* – dacă riscul s-ar materializa, atenuarea acestuia ține seama de toate măsurile abordate pentru diminuarea posibilităților de apariție a riscului și/sau a impactului asupra obiectivelor. Dacă riscul reprezintă o amenințare, atenuarea acestuia poate diminua expunerea la risc;

➤ *Evaluarea riscului* – valoarea consecințelor materializării riscului, în combinație cu evaluarea probabilității de materializare a riscului. Evaluarea riscului reflectă evaluarea expunerii la risc;

➤ *Profilul de risc* – un cumul de evaluări generale documentate și prioritizate, a tipurilor de riscuri specifice cu care se înfruntă compania;

➤ *Strategia de risc* – tactica abordării generale pe care o organizație și-o definește în privința riscurilor. Trebuie să fie bine documentată și ușor accesibilă pentru întreaga organizație. În cadrul acestei tactici se poate defini toleranța la risc;

➤ *Toleranța la risc* – "volumul" de risc prin care este pregătită o companie să-l tolereze, dar și cât de dispusă este să se expună la un moment dat;

➤ *Risc inerent* – expunerea la un anumit risc, înainte să fie luată vreo măsură de atenuare;

➤ *Risc rezidual* – expunerea datorată unui anumit risc după luarea măsurilor de atenuare a acestuia. Controlul intern este responsabil pentru măsurile de atenuare a riscurilor, iar din această cauză, riscul rezidual reprezintă o măsură a eficacității controlului intern.

1.3 Sisteme automatizate de stocare

1.3.1 Introducere și scurt istoric

Primul sistem de depozitare și recuperare a intrat în funcțiune în 1962, instalat într-un depozit de cărți, Bertelsmann din Gütersloh, Germania. Deși a fost controlat manual dintr-o cabină de pe catarg, a oferit o anumită aparență de automatizare, prin controlul unei cartele perforate [91].

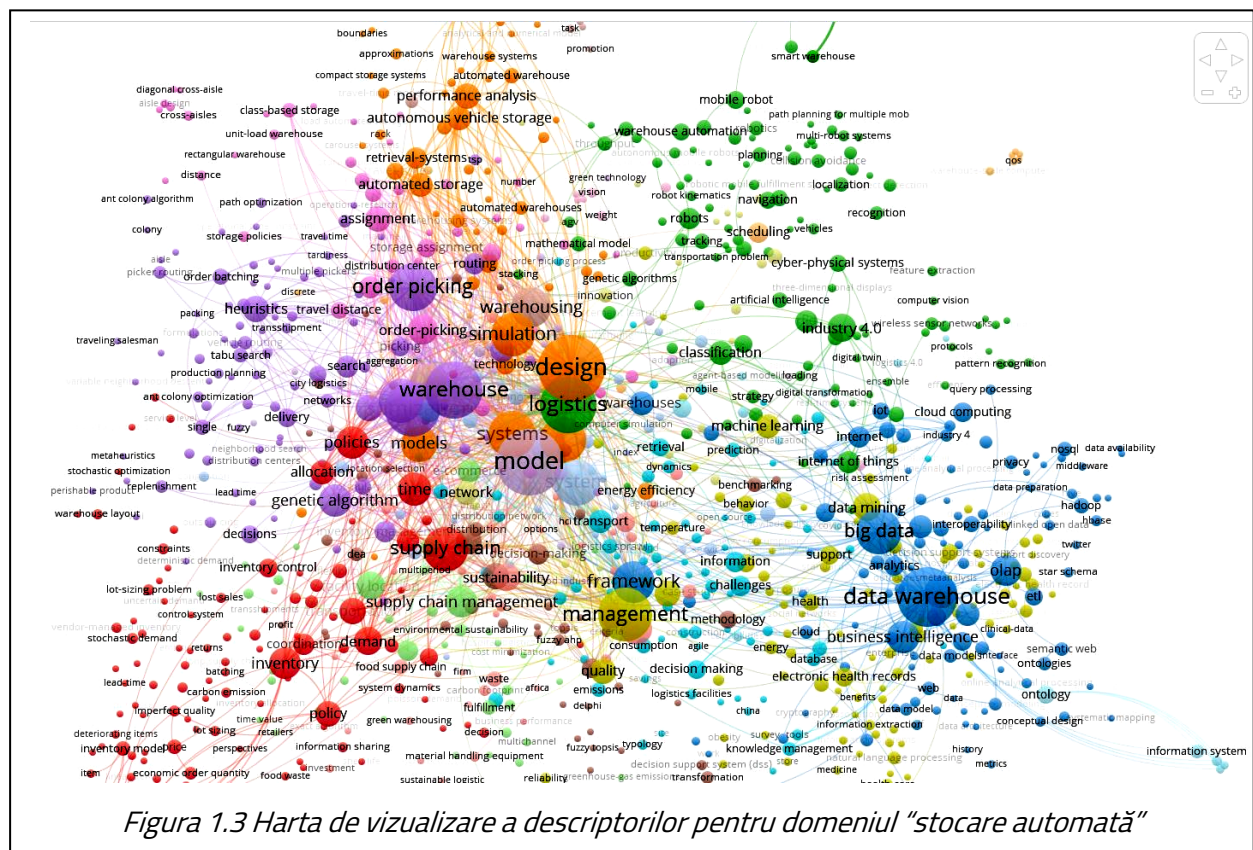
În anii 1980, sistemele de stocare și recuperare automată (AS/RS) s-au răspândit pe tot continentul și au început să apară în America de Nord și în multe alte părți ale lumii. Rata de inovații a accelerat la fel de repede ca sistemele în sine și a crescut la noi culmi. Facilitățile AS/RS erau acum denumite

depozite cu înălțimi mari, datorită creșterii înălțimii potențiale a ridicării la o înălțime de 45 de metri. Tehnologia sistemului a continuat să avanseze, inclusiv mașinile AS/RS care puteau printre raioane.

La modul general, sistemele de stocare automată pot fi definite ca o combinație de echipamente și comenzi care manipulează, depozitează și recuperează automat produse, cu viteză și precizie foarte mari, fără a fi manipulate direct de către un operator uman.

Sistemele de depozitare automată au fost definite ca fiind o legătură fizică dintre producători și consumatori. Deși termenul de depozitare capătă cu ușurință o conotație negativă, datorită activității fără valoare adăugată, a pierderii de timp și a costurilor ridicate.

În practică, există mai multe motive care obligă companiile să stocheze o parte din bunurile lor și să implementeze un sistem de depozitare [27]: optimizarea performanței logistice; asigurarea productivității; furnizarea de servicii suplimentare; reducerea costurilor de transport; echilibrarea cantităților necesare și livrate; depozitarea ca etapă a procesului.



Analizând harta descriptorilor din Figura 1.3, cu ajutorul soft-ului VOSviewer, pentru domeniul "stocare automată", s-a constatat că cele mai multe studii au abordat această temă în etapa de logistică și aprovizionare, și foarte puține au fost aplicate în alte etape ale fabricării unui produs. Cei mai relevanți termeni pentru acest domeniu au fost „logistics”, „supply”, „chain”, „management”, „design”, „warehouse”, „order picking”.

1.3.2 Tendința automatizării depozitelor

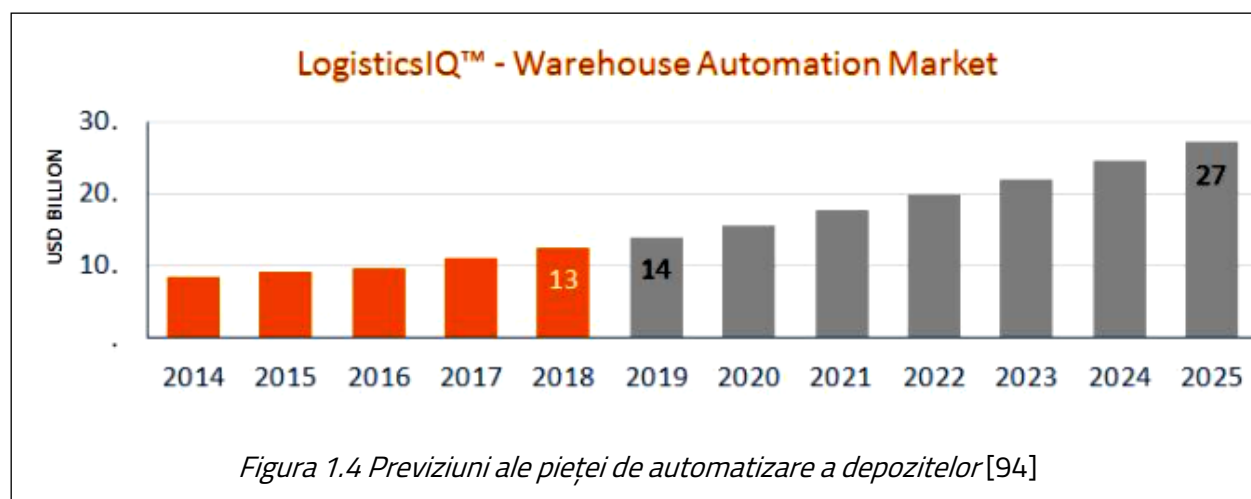
Concurența acerbă din ultima vreme și înțelegerea depozitării ca sursă de avantaj competitiv, pun eficiența depozitului sub o nouă lumină.

Pe de o parte, depozitele și centrele de distribuție trebuie să respecte producția Just in Time (JIT), ceea ce înseamnă că atât materiile prime, cât și componentele intermediare trebuie să fie disponibile la locul potrivit, în cantitatea potrivită, la momentul potrivit.

Pe de altă parte, datorită creșterii fără precedent a adoptării comerțului electronic, clienții au nevoie de o diversitate complexă a produselor, cu termene de livrare scurte și cu o cerere foarte variabilă [12, 19].

Aceste provocări crescânde, necesită sisteme de gestionare a depozitelor mai eficiente, mai flexibile și agile, care împing industria logistică să se îndrepte spre tehnologii inovatoare [3, 13].

Autorul [94] a realizat o cercetare de piață, care estimează că piața globală de automatizare a depozitelor va crește cu mai mult de două ori în următoarea perioadă, de la 13 miliarde de dolari în 2018, la 27 de miliarde de dolari până în 2025, la o rată de creștere anuală compusă (CAGR) de 11,7% între 2019 și 2025, exemplificat în Figura 1.4.



1.3.3 Impactul COVID-19 asupra sistemelor de depozitare automată

Înainte de pandemia COVID-19, McKinsey a estimat că până la 30% din locurile de muncă din SUA vor fi automatizate, iar „automatizarea va ridica productivitatea și creșterea economică, dar milioane de oameni din întreaga lume vor fi nevoiți să-și schimbe ocupația sau să-și actualizeze abilitățile” [93].

La câteva luni după izbucnire, deoarece COVID-19 forțează un număr fără precedent de lucrători să rămână acasă, majoritatea companiilor au singura alegere de a apela la automatizare pentru a-și menține afacerea în funcțiune.

Datorită accelerării declanșate de COVID-19, Bain & Company estimează că numărul companiilor care extind tehnologiile de automatizare se va dubla în următorii doi ani [6].

Încă nu se vede exact impactul pandemiei globale asupra locurilor de muncă pe termen lung și cum ar putea evolua cererea pentru companiile de automatizare a logisticii, precum și ritmul recuperării acestora.

Se poate presupune că oriunde automatizarea este capabilă să asigure atât siguranța lucrătorilor, cât și a consumatorilor, va suferi o creștere suplimentară.

1.3.4 Avantajele și dezavantajele sistemelor de depozitare automată

Pentru a sublinia în continuare beneficiile generate de automatizare, s-a constatat că drumul până la produse este cel mai mare consumator de timp și nu este doar o pierdere de timp, drumul parcurs fiind o activitate fără valoare adăugată, prin urmare, ducând la o creștere inutilă a costurilor [8].

Introducerea unui sistem automat pentru stocare, într-un depozit existent este de așteptat să conducă la numeroase beneficii. În general, aceste beneficii sunt împărțite în îmbunătățiri ale eficienței și eficacității [50].

Cele mai evidente îmbunătățiri ale eficienței sunt economiile de spațiu și costurile operaționale mai mici. Economisirea spațiului este obținută printr-o depozitare mai densă și o utilizare mai bună a spațiului, în timp ce costurile operaționale reduse rezultă din economiile de operare umană și o ergonomie mai bună [7].

Îmbunătățirile privind eficacitatea sunt o precizie îmbunătățită a depozitării, prelucrării și timpilor de procesare mai mici, care duc la niveluri de servicii îmbunătățite. Un obiectiv principal este acela de a maximiza viteza de operare.

De asemenea, alegerea mai rapidă permite o flexibilitate mai mare pentru gestionarea modificărilor târzii, care fără îndoială, este o sursă de avantaj competitiv [39, 78].

În ciuda listei convingătoare de avantaje, sistemele automate prezintă de asemenea și dezavantaje. Principala problemă este cu siguranță legată de investiția ridicată necesară, chiar înainte de a începe afacerea, iar cea de-a doua mare barieră este lipsa de flexibilitate, în special în ceea ce privește variabilitatea produsului și cererea de vârf datorită abilităților lor cognitive și motorii [26].

Depozitarea bunurilor pentru utilizare ulterioară este un obiectiv al sistemelor de stocare și recuperare automate și afectează mulți factori, inclusiv utilizarea spațiului, capacitatea de stocare, flexibilitatea produsului și selectivitatea.

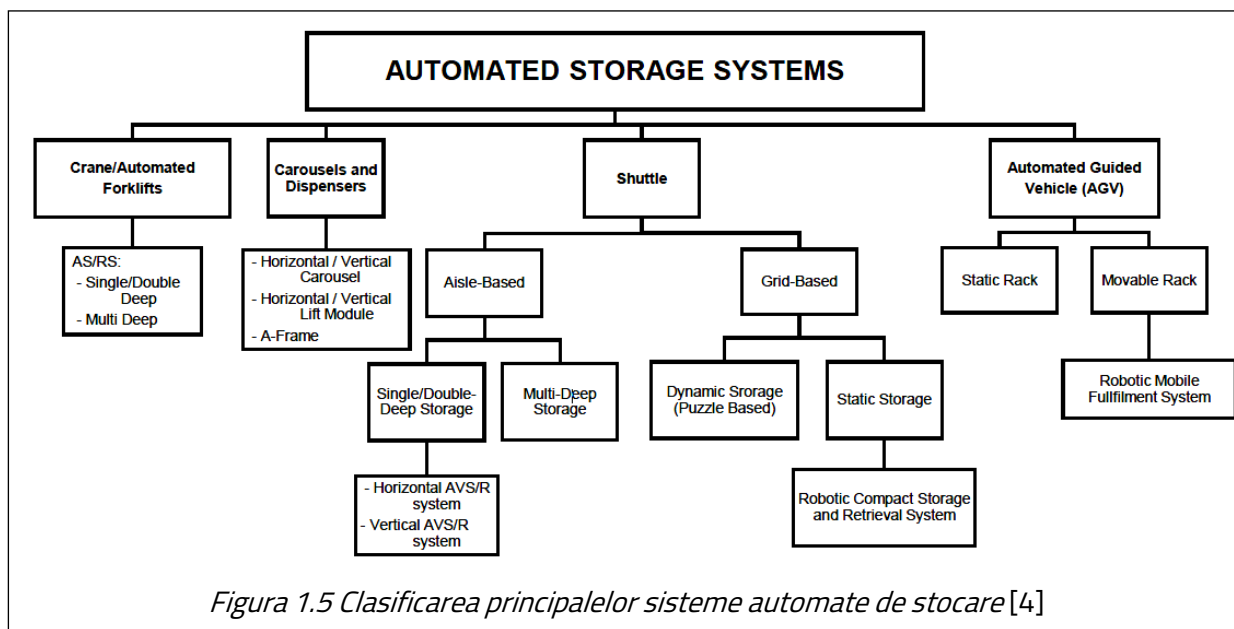
AS/RS-urile realizează totuși o altă operațiune, aceea de preluare a comenzilor, procesul de recuperare a unui număr mic de produse dintr-o zonă de stocare, pentru a satisface o serie de comenzi independente ale clienților [14].

Alegerea comenzilor este cel mai simplu mod de a reduce timpul ciclului de alegere, maximizând în același timp randamentul sistemului [49]. Este cea mai intensă operațiune din depozit, în special colectarea comenzilor acoperă mai mult de 50% din toate costurile de exploatare a depozitului și are un impact major asupra nivelului serviciilor [60].

1.3.1 Clasificarea sistemelor de stocare automată

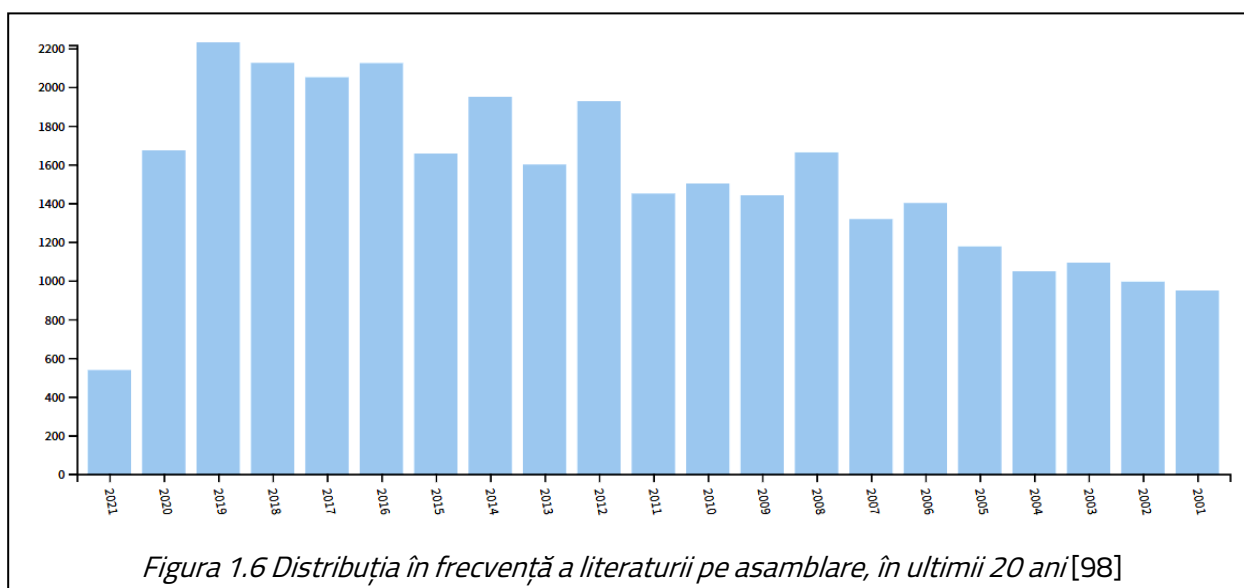
În politica dedicată de alocare a stocării, fiecare produs este stocat într-o locație fixă. O astfel de soluție oferă două avantaje principale, produsele pot fi grupate și plasate conform unui criteriu logic. Pe de altă parte, fiecare locație este rezervată chiar și pentru produsele care nu mai sunt stocate și pentru fiecare produs trebuie să fie asigurat suficient spațiu, astfel încât să poată fi stocat nivelul maxim de inventar, rezultând astfel cea mai slabă utilizare a spațiului dintre toate politicile de alocare a depozitului.

În politica de alocare a stocării dinamice, așa cum sugerează și numele, locațiile de stocare sunt definite dinamic în conformitate cu una din mai multe metode, de la alocarea complet aleatorie sau cea mai apropiată alocare a locației deschise, în conformitate cu regula cea mai apropiată locație deschisă, cea mai apropiată locație disponibilă de punctul de intrare/ieșire este selectat pentru stocare. Dacă este implementată corect, o politică de alocare a stocării dinamice ar putea crește semnificativ utilizarea spațiului și productivitatea alegerii [32, 45, 49]. În Figura 1.5 sunt clasificate principalele sisteme de stocare automată disponibile pe piața actuală.



1.4 Studiul literaturii de specialitate. Stabilirea direcțiilor de cercetare

1.4.1 Studiu scientometric din Web of Science



Interogând baza de date, Web of Science, la nivel global, în perioada 2001-2021, exista un număr de 31619 publicații bibliografice, pe subiectul de „asamblare”, în zona ingineriei industriale, de fabricare, mecanică, aerospațiale, managementului, software-lor ingineresti [98].

Analizând distribuția publicațiilor pe ani, din Figura 1.6, se poate constata faptul că trendul acestui subiect este ascendent, cu un an 2019 având cele mai multe publicații de aproximativ 2200, ceea ce se deduce că impactul managementului calității și al riscurilor din momentul asamblării unui produs, reprezintă un punct critic pentru lansarea unui nou produs pe piață.

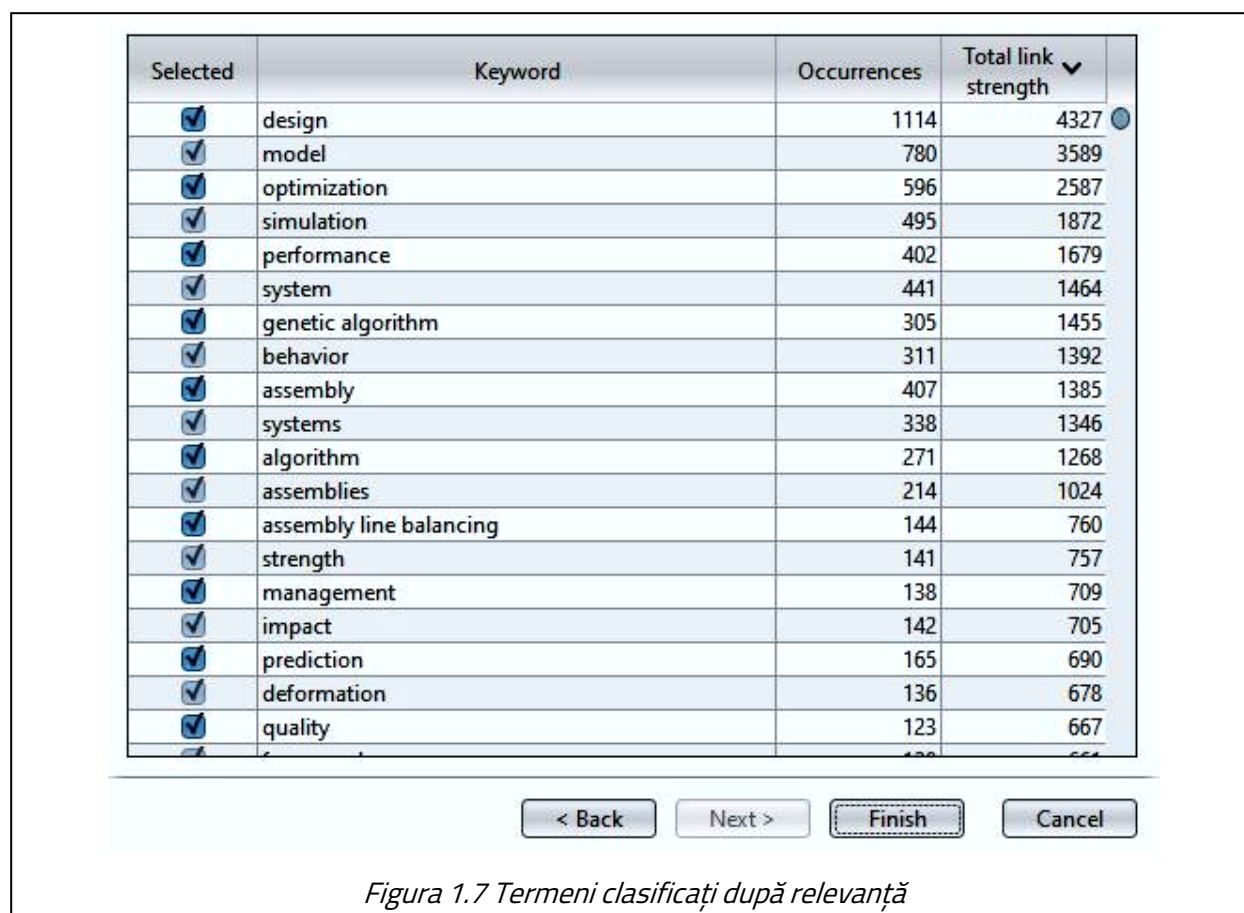
Pentru ca studiul să fie cât mai relevant, în continuare s-au realizat câteva analize mai detaliate pe ultimii cinci ani, abordând subiectul „asamblare” din zona industrială a fabricării produselor. Rezultatul subiectului „asamblare” a fost de 11765 de publicații, dintre care 6918 articole, 4844 lucrări de procedură, 196 de finanțări, 157 recenzii pe articole, 80 capitole de cărți, 20 materiale editoriale s.a.

Din totalul de 11765, cel mai mare număr de publicații a fost publicat în anul 2019 (18.079%), iar un număr de 2800 (23.799%) sunt cu acces gratuit, redate în Tabelul 1.1. Cea mai activă regiune, din totalul de 11765 de publicații este China, cu un număr de 3129 (26.596%) publicații, urmată de USA cu 2150 publicații (18.275%), Germania cu 1031 (8.763%), Franța cu 651 (5.533%), Italia, Anglia, India.

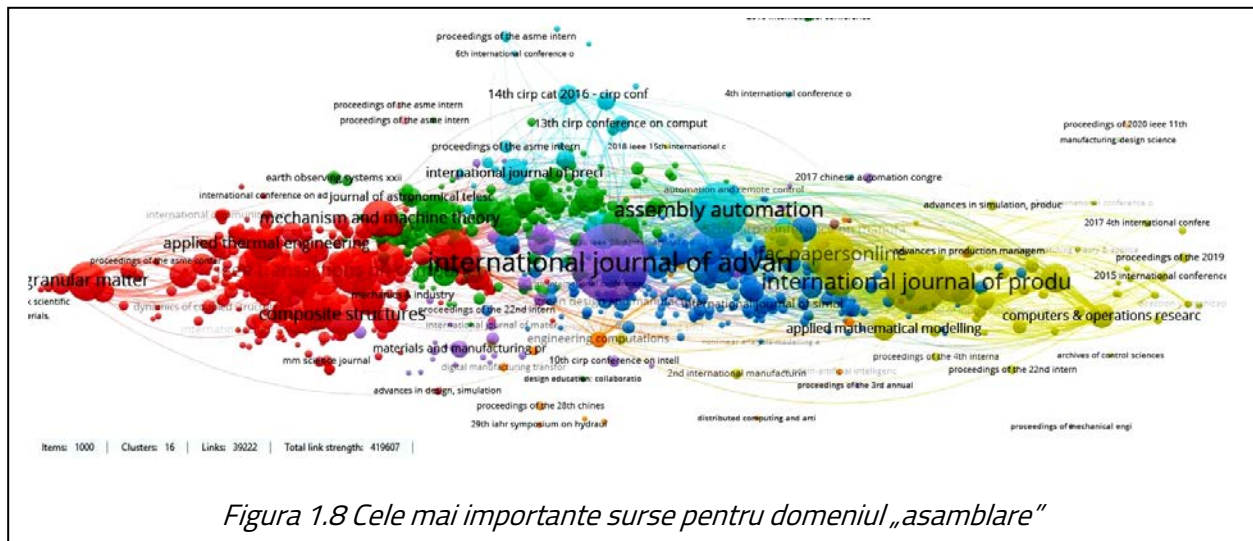
Tabelul 1.1 Distribuția publicațiilor pe ultimii cinci ani [98]

Publication Years	Record Count	% of 11,765
2021	521	4.428%
2020	1,533	13.030%
2019	2,127	18.079%
2018	1,981	16.838%
2017	1,965	16.702%
2016	2,102	17.867%
2015	1,536	13.056%

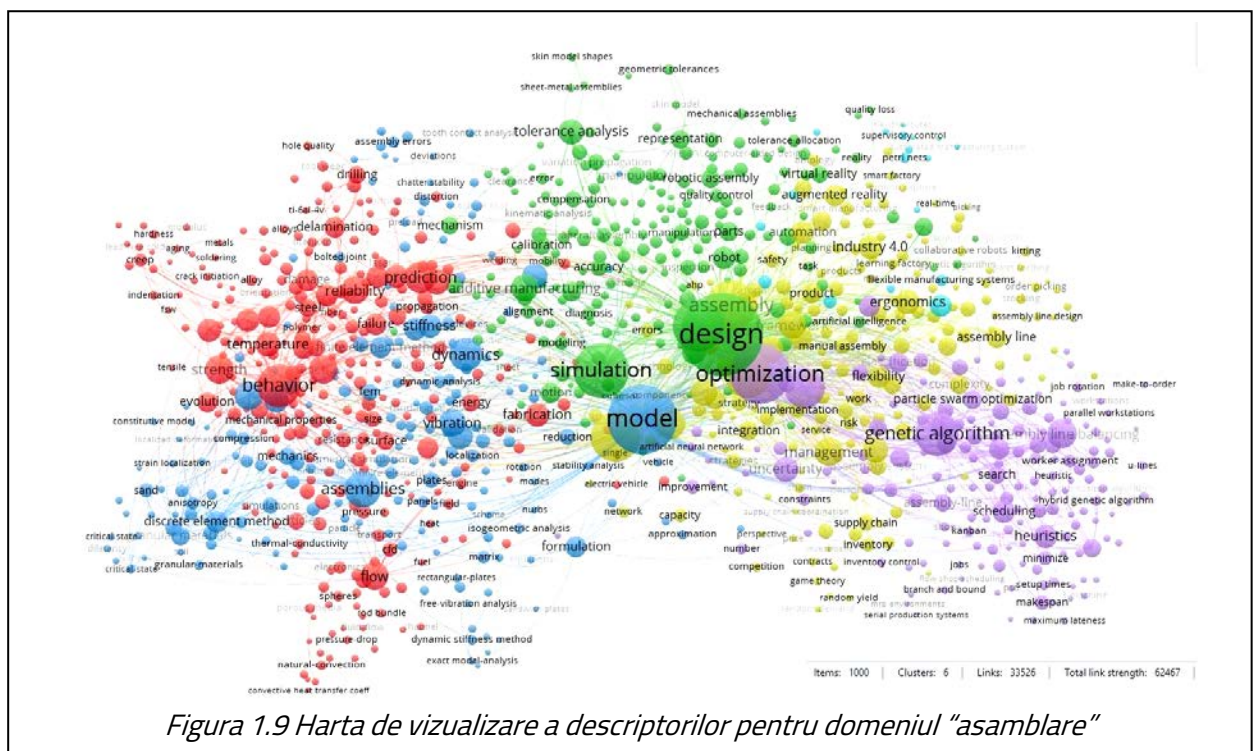
1.4.2 Rezultatul VOSviewer pe baza de date din Web of Science



VOSviewer este un instrument software pentru construirea și vizualizarea rețelelor bibliometrice. Aceste rețele pot include, de exemplu, reviste, cercetători sau publicații individuale și pot fi construite pe baza unor citări, cuplări bibliografice, co-citări sau relații de co-autor [96].



Cele mai productive jurnale pentru domeniul „asamblare” sunt International Journal of Advanced Manufacturing Technology, International Journal of Production Research, Assembly Automation, conform extrasului din VOSviewer, redat în Figura 1.7. Baza de date WOS a fost descărcată în segmente de 500 de documente, înregistrate complet, sub forma rezumat, titlu, referințe, în fila format Tab Delimited-Win, ulterior s-au importat în VOSviewer.

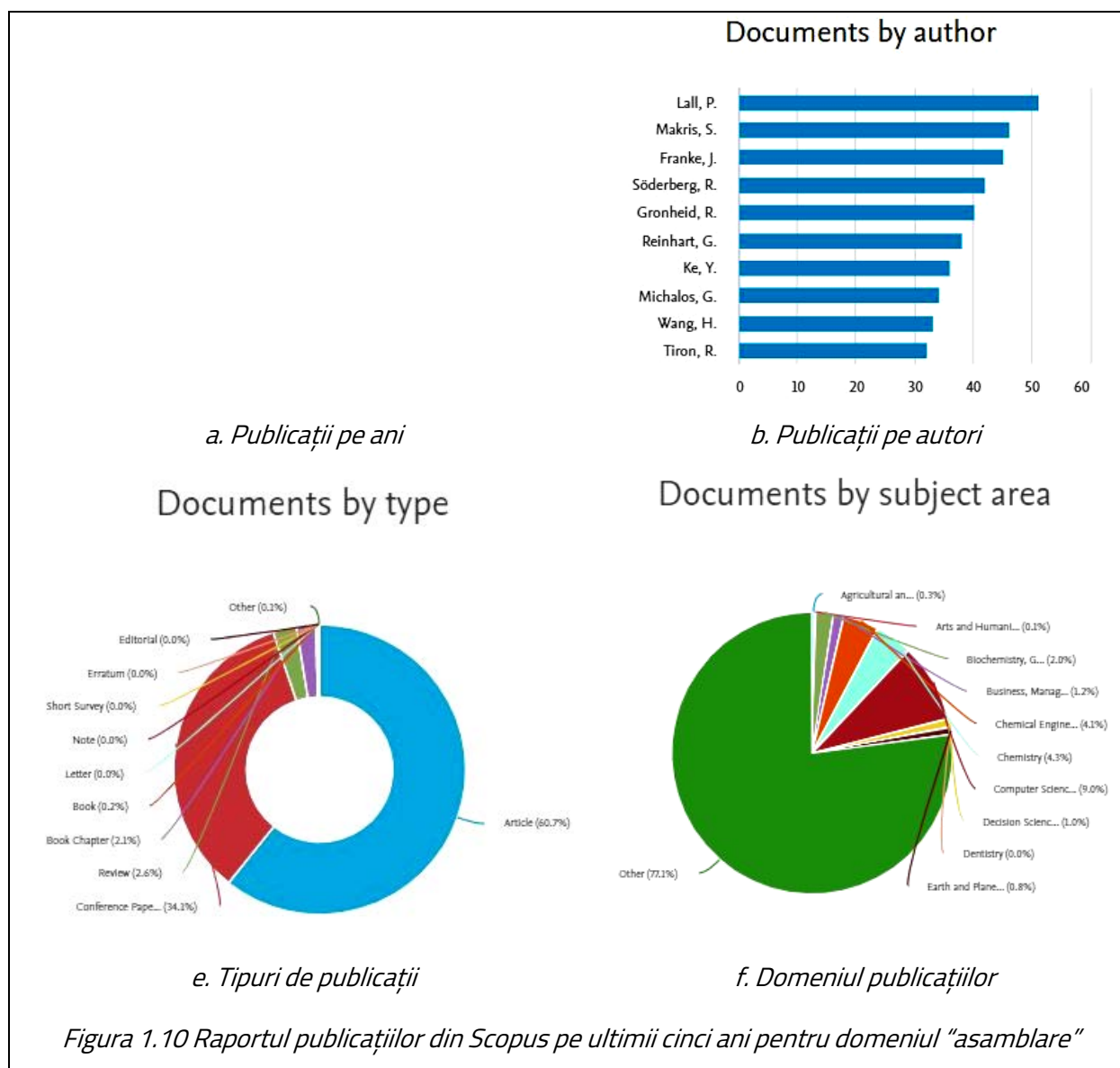


Analizând Figura 1.8, din termenii expuși cu cea mai mare relevanță, am constatat că „design” este în top. De asemenea, am identificat noi termeni relevanți pentru domeniul analizat, precum „model”, „optimization”, „simulation”, „system”, „genetic algorithm”, Figura 1.9, iar din cele șase clustere, cel mai utilizat descriptor este „design”.

1.4.3 Studiu scientometric din Scopus și Dimensions

Pentru a avea o viziune cât mai amplă a direcției de cercetare, s-a realizat un studiu scientometric și pe alte două baze de date, Scopus și Dimensions. Interogarea bazei de date din Scopus s-a realizat urmărind același principiu de la studiul din WOS, și anume interogare pe ultimii cinci ani, pentru domeniul de „asamblare”, în aria ingineriei industriale, de fabricare, mecanice, aerospațiale, managementului, software-lor ingineresti.

Trendul publicațiilor în ultimii cinci ani a fost ascendent, pentru un total de 23512 publicații, cu un an 2018 cel mai productiv cu 3875 publicații Figura 1.10. Din totalul publicațiilor, un număr de 14276 sunt articole, 8026 lucrări de conferință, 612 recenzii, 502 capitole de cărți, 37 de cărți s.a. Baza de date din Scopus a fost descărcată complet și ulterior s-a importat în VOSviewer și de această dată, pentru domeniul analizat, am identificat termeni relevanți precum „design”, „manufacture”, „assembly process”, „numerical methods”, „genetic algorithm” s.a. Analizând domeniul „asamblare” în baza de date din Dimensions, am constatat că aplicând filtrul de „ingineria fabricației”, au rezultat un număr de 24129 publicații, anul 2020 fiind cel mai productiv, cu un număr de 4392 de publicații, urmat de anii 2019 și 2018.



1.5 Concluzii

Calitatea unui produs reprezintă un atu pentru orice companie care dorește să se mențină pe piața concurențială, concept care ar trebui îmbunătățit constant pentru a rămâne în top și a câștiga încrederea clienților.

Pe de altă parte, Sistemul de Management al Calității a luat naștere datorită abordării foarte ample a conceptului de calitate, din care au rezultat proceduri, procese, responsabilități și resurse necesare pentru implementarea și respectarea caracteristicilor unui produs.

În ceea ce privește riscul, care reprezintă un concept cu aplicație socială, politică, economică sau naturală, la baza căreia se află incertitudinea de a determina sau nu, o pagubă datorată nesiguranței și inconștienței luării unor decizii, acesta nu trebuie să reprezinte un impediment asupra desfășurării activităților unei companii, iar în funcție de evaluarea, impactul și atenuarea riscului, se poate manifesta ca o amenințare sau oportunitate.

În altă ordine de idei, nivelul de management al calității și al riscurilor dintr-o companie, reprezintă atât nivelul de evaluare al acelei întreprinderi, cât și încrederea adusă clienților prin calitatea produselor și serviciile oferite.

Datorită respectării producției JIT, creșterii comerțului electronic și diversității produselor, întreprinderile sunt "forțate" în abordarea automatizării proceselor tehnologice pentru scurtarea termenului de livrare și creșterea calității produselor, în orice etapă a fluxului tehnologic de fabricație.

Multe studii au abordat posibilitatea implementării acestor sisteme automate în zona de logistică, dar sunt foarte puține care abordează această temă cu posibilitatea de implementare în alte etape ale procesului de fabricație al unui produs, cum ar fi zona de asamblare.

Din analiza rezultatelor obținute, având ca referință bazele de date din Web of Science, Scopus, Dimensions, pentru domeniul „asamblare” din ingineria industrială, s-a constatat că este un subiect de actualitate, cu o abordare ascendentă pe ultimii cinci ani, din care se pot concluziona:

- Procesul de asamblare reprezintă o etapă importantă pentru fabricarea unui produs;
- Sunt abordate principii de asamblare selectivă, care să contribuie la creșterea calității produselor, diminuarea timpilor și costurilor de fabricație, diminuarea procentului de rebuturi neremaniabile;
- Introducerea conceptului de asamblare selectivă se bazează pe crearea unor modele matematice de optimizare ale managementului fabricației prin algoritmi genetici;
- Posibilitatea introducerii în fluxul de fabricație a unor sisteme performante și automatizate, de stocare, transport și selectare;
- Sistemele automatizate trebuie să îndeplinească condiții de fiabilitate ridicată, întreținere ușoară, comandă și control;
- În condițiile perioadei de pandemie cu COVID-19, se impune distanțarea la locul de muncă, fapt care produce mari modificări în managementul fabricației, densitatea utilajelor, numărul de operatori umani, condițiile de lucru.

2. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Unul dintre conceptele de management care influențează direct productivitatea și concurența, este organizarea sistemelor de asamblare, datorită schimbărilor dramatice impuse de modificarea condițiilor pieței și de schimbări profunde în tehnologiile existente. Calitatea unui ansamblu se bazează în principiu, pe calitatea pieselor care se vor împerechea la asamblare. Asamblarea selectivă este o metodă de obținere a ansamblurilor de înaltă precizie, din componente executate cu o precizie relativ scăzută.

Majoritatea studiilor privind asamblarea selectivă, iau în considerare doar cazul în care mașinile sunt fiabile, cu toate acestea, au fost observate frecvent mașini nesigure în multe sisteme de asamblare selectivă. În urma studiului efectuat asupra literaturii de specialitate din domeniul asamblării selective, aplicat în industria fabricării, autorul și-a stabilit următorul obiectiv principal:

Dezvoltarea unui algoritm genetic pentru asamblarea selectivă a produselor constituite din trei elemente, pentru obținerea unui ansamblu cu o precizie ridicată, din componente executate cu o precizie relativ scăzută, care poate fi aplicat pe un sistem de stocare automată.

Pentru îndeplinirea obiectivului principal, se vor urmări realizarea următoarelor obiective derivate:

- a) Realizarea studiului literaturii de specialitate pe subiectul asamblare, din domeniul industrial:
 - Interogarea bazelor de date din Web of Science, Scopus și Dimensions, pentru subiectul asamblare, din domeniul industrial.
 - Analiza scientometrică utilizând VOSviewer pe bazele de date interogate.
 - Definirea direcției de cercetare analizând harta descriptorilor și evoluția subiectului de asamblare, din VOSviewer.
- b) Dezvoltarea unui algoritm genetic pentru alegerea celei mai bune combinații de elemente, pentru realizarea asamblării produselor constituite din trei componente:
 - Dezvoltarea unui calcul matematic pentru alegerea celei mai bune combinații de componente, pentru asamblarea unui rulment radial cu bile 6305 cu o precizie ridicată, executate cu o precizie relativ scăzută.
 - Aplicarea algoritmului pe diferite seturi de date de intrare, pentru validarea acestuia.
 - Transpunerea algoritmului genetic în Mathcad prin realizarea scriptului aferent limbajului de calcul al softului, pentru simularea datelor de intrare și ieșire.
- c) Studii privind alegerea și implementarea unui sistem de stocare automată, în etapa de asamblare a produselor:
 - Analiza sistemului de stocare automată pe verticală (VLM), privind modul de funcționare, eficiența și costurile aferente implementării acestuia.
 - Proiectarea CAD pentru tava sistemului VLM, pentru variantă sudată și nituită, în vederea analizei timpului și costului procesului de fabricație și asamblare.
 - Analiza proiectării pentru fabricare și asamblare (DFMA) cu ajutorul soft-ului DFMA, pentru cele două tăvi proiectate, în vederea alegerii variantei optime și eficiente.
 - Definire avantaje și dezavantaje pentru implementarea AG-ul dezvoltat direct pe sistemele VLM.

3. ASAMBLARE SELECTIVĂ. STADIUL ACTUAL

3.1 Stadiul actual pentru asamblarea selectivă din domeniul fabricației

Asamblarea selectivă (AS) este o metodă de obținere a ansamblurilor de înaltă precizie din componente executate cu o precizie relativ scăzută.

Calitatea unui ansamblu se bazează în principiu, pe calitatea pieselor care se vor împerechea la asamblare. Piesele care se assemblează sunt fabricate pe mașini cu procese de prelucrare diferite. Prin urmare, ansamblul rezultat prin metoda AS va avea toleranțe diferite, deoarece zonele pieselor care se utilizează la asamblare au distribuții dimensionale și geometrice diferite.

Sistemele de asamblare pentru producție personalizată și economică se confruntă cu cereri tot mai mari de flexibilitate și reconfigurabilitate, reutilizare și schimbare [41, 44, 53]. Flexibilitatea unor astfel de sisteme este sporită de capacitatea robotizată a acestora de a se adapta cu ușurință la efectuarea diferitelor operații de asamblare [40].

Kumar și coautorii [43], abordează un nou algoritm genetic de AS pentru un ansamblu format dintr-un butuc și un arbore. Cea mai bună combinație de grupuri selective obținute cu algoritmul lor, a avut ca rezultat o reducere apreciabilă a variației jocului din ansamblu, de la 30 μm obținute prin asamblare interschimbabilă, la 9 μm obținute prin algoritmul lor, asamblarea făcându-se în patru etape, pentru a se utiliza toate piesele și diminua părțile rebut.

În teza lui [38], capitolul patru, autorul a realizat un studiu cu privire la asamblarea aleatorie și asamblarea selectivă, punând accent pe două noi tehnici de asamblare: „*Equal Width Binning to Minimize Scrap and Equal Area Binning to Minimize Scrap*”. Comparativ cu metoda tradițională de asamblare selectivă, algoritmul propus de autor, oferă o scădere a variației ansamblului, reducând în același timp impactul costului utilizării asamblării selective.

De asemenea, oferă o metodă pentru a face compromisuri între cost și calitate, dar nu poate fi folosită pentru a lua cea mai bună alegere pentru tehnica de asamblare selectivă implementată.

Majoritatea studiilor privind AS, iau în considerare doar cazul în care mașinile sunt fiabile, cu toate acestea, sunt observate frecvent mașini nesigure în multe sisteme de AS. În lucrarea lor [34, 35], autorii au studiat un sistem de asamblare cu două componente, cu mașini Bernoulli, prin intermediul unor metode analitice bazate pe o procedură de descompunere pe două niveluri. Studiul numeric arată că o astfel de metodă oferă o precizie ridicată în evaluarea performanței. Metoda propusă de ei, ar putea fi un instrument cantitativ pentru studierea AS în mediul de producție.

Pentru AS, lucrarea lor propune un AG pentru a obține o toleranță optimă și un număr maxim de produse, la asamblarea unui arbore-ventilator. Subcomponentele au fost împărțite în trei până la zece grupuri, iar cu ajutorul algoritmului propus a avut ca rezultat aproape 965 de ansambluri produse dintr-o mie de piese, cu o reducere de costuri de fabricație de 15,86% [42].

Autorul acestei teze [18], propune cinci politici inovatoare de control al fluxului, bazate pe starea de observare a sistemului, pe care le împarte în două categorii: politici la nivel de ansamblu, cum ar fi schimbarea de clase reactive, amestecarea preventivă a clasei, dependența de nivelul tampon și

politici la nivel de fabricație a subansamblului, cum ar fi eliminarea la nivel de sistem, eliminare la nivel de sistem pentru mașina unică. Experimentele acestuia, abordează asamblarea a două componente, X și Y, jocurile ansamblului fiind împărțite pe trei niveluri.

O analiză a toleranței dintr-un ansamblu format din trei piese, integrând modelul Jacobian-Torsor și simularea Monte Carlo, autorii au dezvoltat un algoritm matriceal numeric, prin care au reușit să obțină un rebut de maxim 5%, pe un lot de 1000 de asamblări [58].

Abaterile geometrice au un rol foarte important într-un ansamblu, pentru a asigura precizia și stabilitatea asamblării, Zhu și Qiao, propun în lucrarea lor [89], o metodă matematică bazată pe matricea de transformare omogenă (HTM), care descrie abaterile geometrice ale caracteristicilor de împerechere cauzate de toleranța și jocul de asamblare și propagările rezultate în diferite secvențe de asamblare, iar rezultatul oferă dovezi bune pentru optimizarea planificării procesului de asamblare.

Deoarece există cereri tot mai mari pe varietatea produselor dorite, în special în zona de asamblare a produsului și dacă există o gamă largă de variante de asamblare, acestea necesită o configurare automată a sistemelor de asistență, deoarece configurarea manuală nu este economică [70]. Autorul demonstrează că sistemele de asistență pot îmbunătăți eficiența în asamblare, pe măsură ce procesele de asamblare devin din ce în ce mai complexe, folosind o metodologie care se bazează pe cei trei piloni ai tehnologiei, organizării și personalului.

Toleranțele de execuție a pieselor influențează costul final al produsului, iar modelul propus de autori, tinde să estimeze costul și să investigheze eficiența soluțiilor, fie pentru alocarea toleranțelor, fie pentru generarea procesului de fabricație, care poate fi o metodă de stabilire a costurilor, bazată pe activități în managementul calității [54].

Fiind cel mai răspândit tip de algoritmi de evoluție, AG-urile au devenit un mijloc foarte popular de rezolvare euristică a problemelor legate de optimizare. Livrarea produsului la timp, reprezintă un atu și un avantaj competitiv pe piață, iar programarea livrării după metodele tradiționale având o eficiență scăzută, se încearcă găsirea unui AG pentru livrarea cât mai precisă cu termenul de livrare transmis înainte de comandă [48].

Planificarea și programarea proceselor sunt două dintre cele mai importante funcții implicate în procesul de fabricație și sunt de fapt interdependente; integrarea celor două este esențială pentru a îmbunătăți flexibilitatea programării și a realiza o îmbunătățire globală pentru performanța unui sistem de fabricație [47].

Autorii [88] propun un AG îmbunătățit pentru a obține ora optimă de începere a fiecărei activități în fabricarea unui produs, plecând de la teoria constrângerilor pentru managementul proiectelor și teoria managementului lanțului critic a fost dezvoltată pentru prima dată de profesorul Goldratt în 1997.

Propunerea autorilor fiind o metodă de AG pentru a căuta soluții bune de distribuire pentru asamblarea unui produs, în mai multe fabrici [82]. Costurile operaționale de asamblare includ costul operațiunii de asamblare, costul instabilității asamblării, costul accesibilității ansamblului, costul configurării instrumentului de asamblare, costul efectului greutatei asamblării și costul general de transport.

3.2 Stadiul actual pentru asamblarea selectivă în cazul asamblării rulmenților

Productivitatea reprezintă un rol important în industria de fabricare a rulmenților, care poate fi măsurată prin eficiența de ieșire a rulmenților conform claselor de precizie, pe tot parcursul lotului de fabricare. Pentru îndeplinirea cerințelor calității, multe întreprinderi au adoptat diferite concepte de obținere și menținere a calității, cum ar fi "Six Sigma". Au fost publicate multe studii de caz și multe organizații mari au raportat beneficii financiare prin aplicarea metodologiei Six Sigma, indiferent de capacitățile de producție și mașinile existente [5, 15, 17, 33, 67, 71].

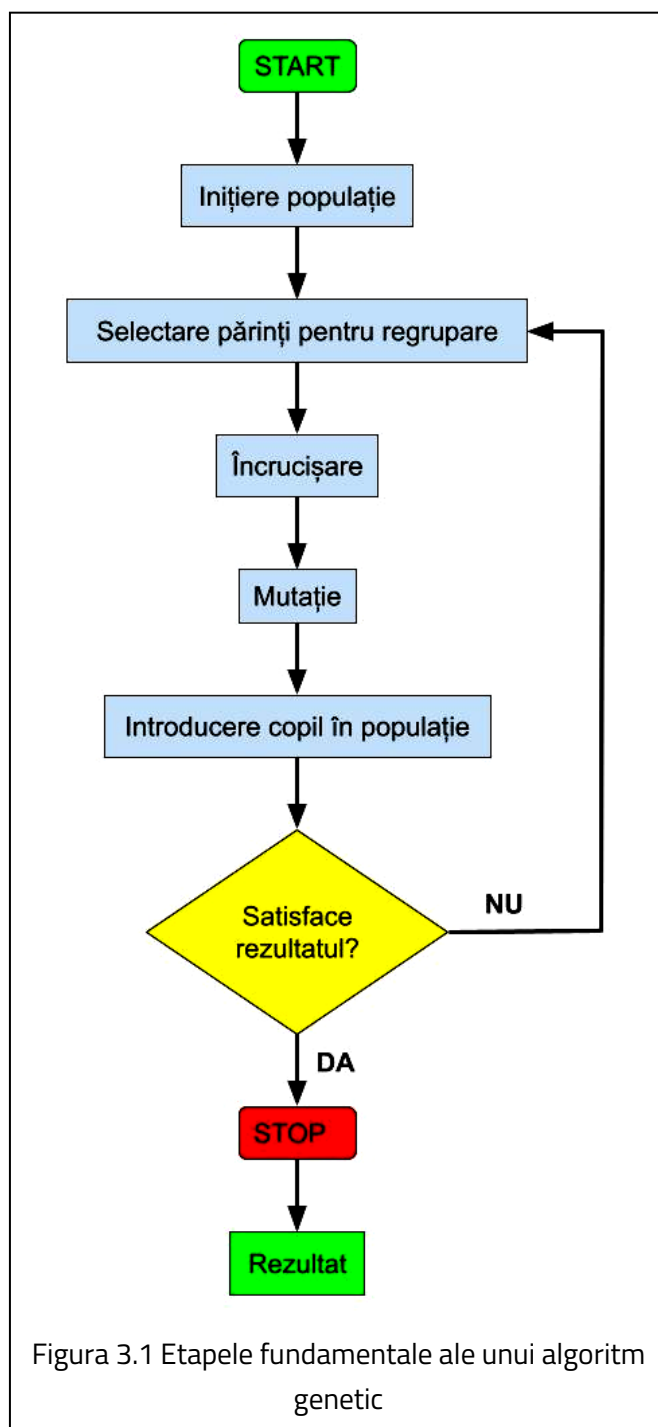
În lucrarea lor [1], abordează o analiză a jocului radial pentru rulmenții cu role, bazată pe abaterea dimensională și geometrică. Abordarea lor prezintă un concept bazat pe detectarea contactului 2D, utilizând un algoritm raytrace, care arată că geometria componentelor lagărului trebuie să fie reprezentată de o plasă de suprafață, iar detectarea contactului 2D să fie împărțită în două faze. Prima fază care determină numărul maxim de vârfuri și a doua fază, care determină numărul minim de vârfuri, care pot intra în contact, între elementele componente ale rulmentului. După aplicarea conceptului, concluzia a fost că abaterea geometrică nu duce neapărat la scăderea jocului din lagăr, iar rolele având o influență crescută asupra jocului radial.

Studiul lor [72], arată că determinarea jocului radial dintr-un rulment cu bile, se poate afla prin deplasarea celor două inele în același plan, iar distanța dintre cele două centre, $O1$ și $O2$, va rezulta o dimensiune ε , iar jocul radial $Gr=2\varepsilon$. Ei menționează faptul că această prevedere este valabilă doar atunci când corpurile de rostogolire sunt în număr par, pentru că în cazul în care numărul de elemente de rostogolire este impar, contactul se face pe un singur element, iar în cealaltă parte făcându-se în două puncte ale celor două elemente. Conform teoriei din lucrarea lor, jocul radial este mai mare în cazul rulmenților cu un număr par de elemente de rostogolire, față de un număr impar de elemente de rostogolire.

În cazul micro rulmenților cu bile, de precizie, AS face posibilă creșterea randamentului proceselor de fabricație, deoarece precizia echipamentelor de asamblare nu este niciodată exactă cu ceea ce este necesar pentru obținerea toleranței dorite [11]. Pentru o trasabilitate în ceea ce privește costul produsului, autorul menționează că abordarea metodei de asamblare selectivă, trebuie extinsă și la costurile de producție, pentru a avea o analiză a costului total de producție.

Calitatea unui ansamblu se bazează în principal pe calitatea pieselor de împerechere. Un algoritm bazat pe optimizarea roiurilor de particule (PSO), aplicat pe un ansamblu cuprinzând trei părți cu trei dimensiuni fiecare, pentru a maximiza eficiența sistemului de fabricație prin reducerea produselor rebut în ansamblul final, s-a constatat un procent ridicat de eficiență a sistemului de fabricație, indiferent de dimensiunea lotului pieselor produse [62]. Integrând un AG și PSO pentru a determina soluția optimă de producție pentru componentele electronice, atunci când producătorii se confruntă cu situații de schimbare inginerescă, pot oferi producătorilor o trasabilitate și referințe pentru selectarea parametrilor optimi pentru situații de diferență [84].

Wang M. și colab. au propus în lucrare lor un studiu privind problema de optimizare a grupării schemei de asamblare selectivă într-un proces de asamblare a rulmenților cu bile, din loturi obținute cu distribuție non-normală. Rezultatele experimentelor numerice ilustrează faptul că schema de AS



propusă cu AG îmbunătățită a fost capabilă să majoreze procentul de produse asamblate conforme, din 35,33% până la 73,84%, ceea ce înseamnă o creștere semnificativă [85].

3.3 Principiile conceptului de algoritm genetic

Un algoritm genetic (AG) reprezintă un algoritm inspirat din principiul selecției naturale, făcând parte din clasa algoritmilor evolutivi. Acești AG se folosesc pentru problemele de căutare și optimizare, pentru a determina soluții cu o calitate înaltă, utilizând operatori biologici precum mutația, încrucișarea și selecția. Se folosesc astfel de algoritmi cu scopul de a obține variante optime sau aproape optime pentru problemele dificile [59, 63].

Etapele de bază pentru implementarea unui AG, urmărind și graful din Figura 3.1, sunt:

- a) Crearea unei populații → pentru rezolvarea unei probleme de optimizare, un AG are ca punct de plecare o reprezentare structurală pentru o mulțime de parametri, care pot fi codificați ca un șir de lungime finită;
- b) Selectarea părinților pentru crearea descendenților → selectarea depinde de evaluarea performanței fiecărui părinte;
- c) Generarea de soluții cu descendenți de la părinți → amestecarea genelor de la fiecare părinte și aplicarea unei mutații aleatorii;
- d) Repetarea obținerii descendenților → până la obținerea dimensiunii unei populații necesare;
- e) Evaluarea noii populații

Un rol foarte important în cadrul unui AG îl reprezintă operatorul de selecție, care evaluează și decide ce indivizi din populația părinților vor putea participa la formarea populației de copii. Scopul selecției trebuie să asigure mai multe șanse de grupare a indivizilor astfel încât se urmărește maximizarea performanței grupării [37, 51].

Implementarea unui AG pentru aplicații cu mai mult de patru părinți ar însemna o precizie scăzută a rezultatelor obținute.

Fiind foarte folosiți și versatili, atât din punct de vedere al fabricării, cât și al folosirii acestora, în această lucrare se va încerca dezvoltarea unui AG pentru asamblarea rulmenților radiali cu bile, în care problema de optimizat va fi obținerea unei clase de precizie înalte.

3.4 Managementul asamblării

În ultimii cinci ani s-a tot pus accent pe era fabricației digitale, pe industria 4.0, pe fabrici inteligente, care promite să îmbunătățească productivitatea, să stimuleze eficiența operațională și să transforme modul în care produsele de serie sunt fabricate. Printre avantajele acestui concept, se includ eficiența optimizată și erorile reduse ale liniei de asamblare. Această tendință obligă multe industrii să investească în echipamente și tehnologii noi, iar într-un sondaj anual privind situația investițiilor din industrii, s-a constatat că aproximativ jumătate din respondenți vor alocă mai multe resurse pentru operațiuni de asamblare [16, 68, 87, 90]. În 2020, creșterea capacității de producție este primul motiv pentru investiții în tehnologia de asamblare.

Asamblarea produselor reprezintă aproximativ 50% din timpul total de producție și în jur de 20% din costul total de producție. O asamblare flexibilă este considerată o strategie importantă pentru viitor, deoarece astfel se menține concurența și se livrează la timp produsele care necesită schimbarea fluxului de producție [66].

3.5 Concluzii

Asamblarea unui produs reprezintă o etapă finală în fabricarea unui produs, iar utilizarea metodei sortării selective, are drept rezultat obținerea unui ansamblu de înaltă precizie, constituit din componente executate cu o precizie relativ scăzută.

Majoritatea studiilor și aplicațiilor pentru AS, iau în considerare doar cazul în care mașinile sunt fiabile, dar cu toate acestea, au fost observate frecvent mașini nesigure în multe sisteme de asamblare. De asemenea, au fost realizate studii privind metoda de AS, care s-au orientat pe optimizări, noi metode, algoritmi noi, însă din punct de vedere financiar, au fost puține abordări privind posibilitatea de reducere a costurilor, prin această metodă de asamblare.

Toleranțele de execuție a zonelor pieselor care urmează a fi asamblate, influențează în mod direct costul final al produsului, iar AS a luat naștere din dorința de a obține produse asamblate cu o calitate înaltă, dar cu capacități tehnologice de fabricare mai puțin performante.

Utilizarea unui algoritm matematic pentru AS, cu scopul de a obține un produs calitativ în condițiile unui proces tehnologic mai puțin precis, reprezintă un plus de valoare adus produsului final, astfel încât satisfacerea nevoilor beneficiarilor produsului să fie îndeplinită.

De asemenea, AS poate aduce un profit financiar suplimentar pentru creșterea calității produselor obținute, fără investiții mari pentru echipamentele tehnologice.

Fiind foarte folosiți și versatili, atât din punct de vedere al fabricării, cât și al folosirii acestora, în această lucrare se va încerca dezvoltarea unui AG pentru asamblarea rulmenților radiali cu bile, în care problema de optimizat va fi obținerea unei clase de precizie înalte.

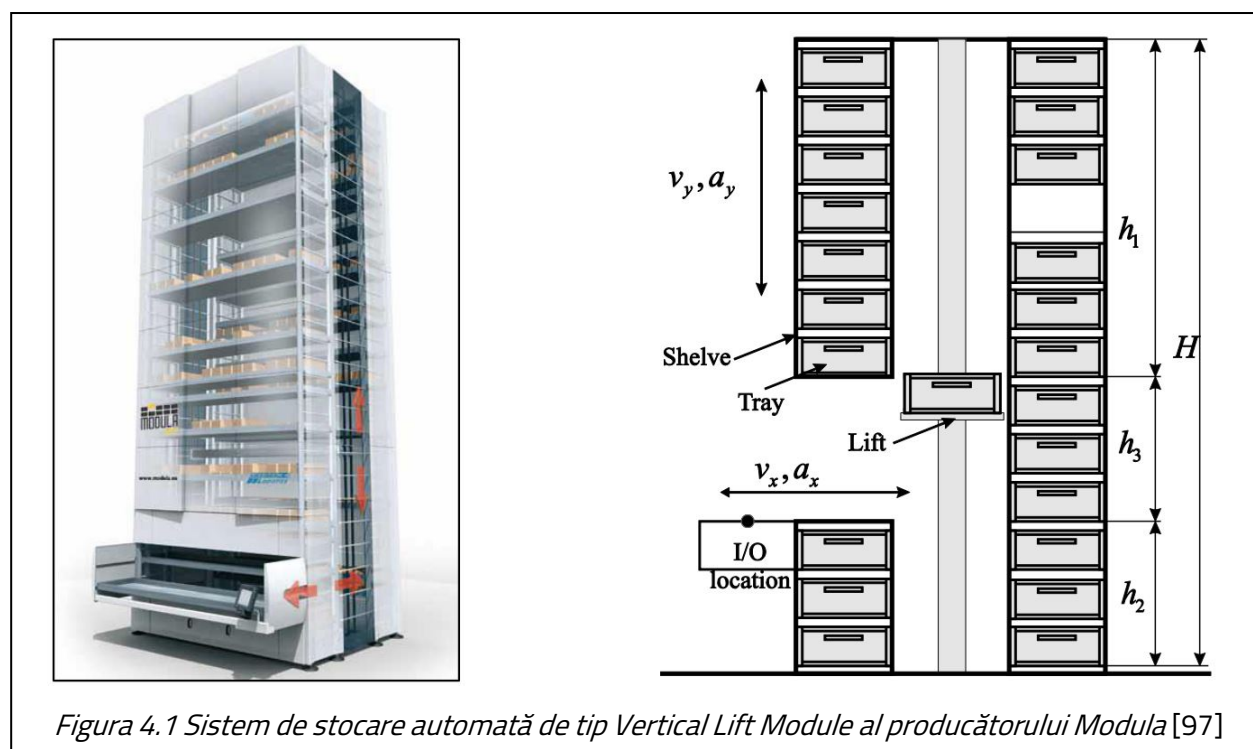
4. SISTEM DE STOCARE AUTOMATĂ PE VERTICALĂ. ASAMBLAREA SELECTIVĂ A RULMENȚILOR

4.1 Sistem de tip Vertical Lift Module pentru stocare automată

Un VLM funcționează utilizând trei coloane de bază. Coloanele din față și din spate sunt utilizate pentru stocare/depozitare și sunt echipate cu o consolă, care funcționează ca niște rafturi pe care se sprijină niște tăvi. Coloana centrală, este utilizată pentru un dispozitiv de inserție/extracție, care funcționează similar unui ascensor, deplasându-se în sus și în jos pentru a stoca și prelua tăvile conform instrucțiunilor, aducându-le în punctul de intrare/ieșire.

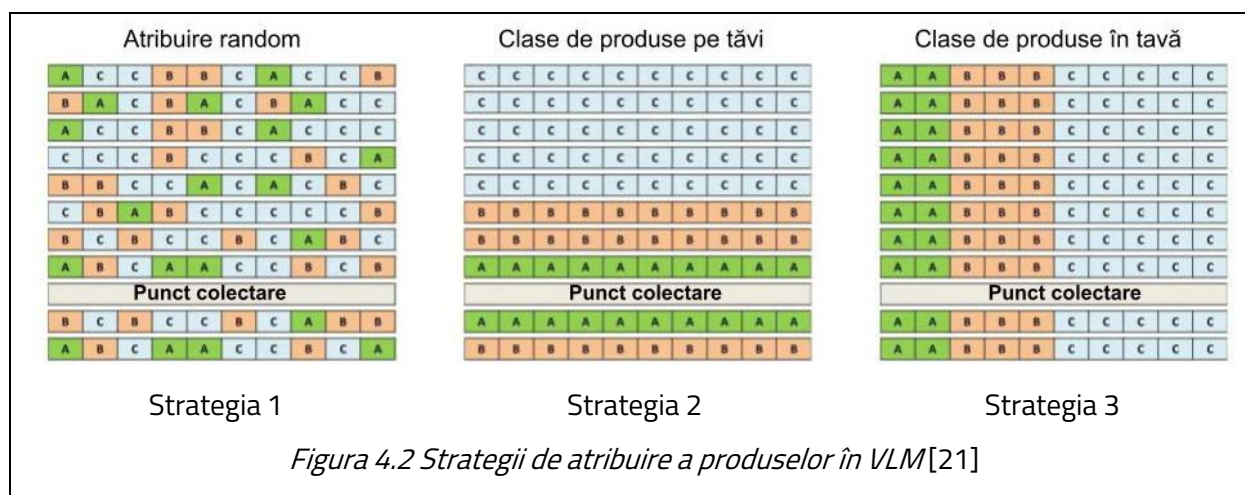
Elementele principale ale unui VLM sunt redată în Figura 4.1:

- Zona de intrare și ieșire (I/O), în care tăvile sunt aduse de către lift, pentru a gestiona produsele din VLM.
- Sistemul ascensor sau liftul, care are rolul principal de a colecta tăvile de pe rafturile celor două coloane și transportate către zona de intrare/ieșire. Liftul poate realiza mișcare pe verticală și orizontală.
- Rafturi, situate pe cele două coloane, care au rolul de a susține tăvile cu produse.
- Sistem de comandă;



Performanța VLM este evaluată pe baza randamentului sistemului, care depinde de timpul de ciclu al sistemului așteptat. De obicei, pentru analiza performanțelor unui sistem, cele trei coloane sunt împărțite în trei zone, având dimensiunile h_1 , h_2 și h_3 .

Battini Daria și ceilalți coautori, au realizat un studiu privind simularea performanțelor acestor VLM-uri, comparând trei strategii diferite de atribuire a stocării: o strategie aleatorie, a doua strategie, de atribuire pe clase de produse în tăvi și a treia, de atribuire pe clase de produse pe tăvi, exemplificate în Figura 4.2. Ei au concluzionat că cea mai performantă strategie este a doua variantă, în care produsele sunt sortate pe tăvi, adică o tavă conține o singură clasă de produse [9, 21]. Bineînțeles, acest lucru depinde foarte mult de caracteristicile produselor și fluxul de manipulare pentru anumite clase. Din anumite considerente, s-a considerat și „strategia 3” ca fiind performantă, în funcție de dimensiunile gabaritice ale produselor, dar și ale sistemului VLM. În schimb, N. Lenoble a numit această strategie ca fiind „metoda ABC” (pag.14-19) [46].



VLM-urile au fost construite astfel încât optimizarea acestora să fie accesibilă pentru orice categorii de produse, cu adaptarea modelului de colectare a produselor în funcție de specificul companiei și fluxul comenzilor [56, 83].

Autorii au raportat o evaluare matematică pentru compararea a două sisteme de stocare: un depozit tradițional cu rafturi și un VLM. Calculul matematic începe cu propunerea a două modele de cost, care iau în considerare, pentru ambele sisteme, cele mai frecvente costuri, precum costul spațiului ocupat, în funcție de saturația acestuia, alături de costul forței de muncă. De asemenea, aceste două modele de costuri au fost trecute în ecuații, pentru a sintetiza rezultatele. Acest lucru depinde de costul anual al spațiului pe metru pătrat, de costul anual al operatorului, de nivelurile de saturație a volumului celor două sisteme, de raportul timpilor de ciclu ai celor două sisteme și de productivitatea acestora [31, 64].

Avantaje pentru utilizarea unui sistem VLM:

- Diminuarea spațiului de până la 90% , realizat prin economisirea spațiului vertical și stocarea cu densitate mare, datorită unor înălțimi maxime care pot fi atinse până la 16 metri;
- Creșterea productivității datorată timpilor de tranzacție mai rapizi, deoarece operatorii nu trebuie să se mai deplaseze în depozit pentru a alege sau a reumple rafturile;
- Controlul stocurilor și trasabilitatea produsului prin utilizarea softurilor instalate pe sisteme;
- Posibilitate de configurare personalizată, prin implementarea unor două zone suprapuse pentru intrare și ieșire, astfel încât se diminuează timpul de așteptare al tăvii solicitate;

- Maximizarea eficienței de colectare, cu o precizie de 99,9%, datorită tehnicilor de selectare cu presortare;
- Indiferent de dimensiuni, se poate asigura o sarcină de maxim 990 kg/tavă și chiar dacă o sarcină este parțial dezechilibrată în tavă, nu compromite buna funcționare a VLM-ului;
- Soluție ergonomică a poziției de colectare, cu diminuarea posibilităților de accidentare a angajaților;
- Este considerat ca fiind un dispozitiv închis, de stocare în siguranță, care asigură securitatea eficientă a lucrurilor valoroase;
- Costuri operaționale mici

Dezavantaje pentru utilizarea unui sistem VLM:

- Principalul dezavantaj al VLM-urilor similar cu toate sistemele de stocare automată este costul mare de investiții.
- Sunt mult mai dificil de reconfigurat în comparație cu sistemele tradiționale de stocare,
- Costurile de întreținere sunt mai mari.

Domeniile în care aceste VLM-uri se regăsesc aplicate sunt foarte largi, cum ar fi: sisteme de preluare și pregătire a comenzilor, stocuri tampon, depozitarea pieselor și a instrumentelor de întreținere, depozitarea pieselor grele, depozitarea sculelor, depozitarea pieselor de asamblare, depozitarea materialelor într-un mediu special și multe altele (pag.14-20) [57].

Pentru a evalua fezabilitatea unei investiții în sisteme VLM, sunt analizate amortizarea și rentabilitatea investiției. O investiție mai mare poate fi justificată dacă economiile operaționale cresc proporțional. Economii operaționale sunt calculate comparând atât costurile operaționale actuale cu costurile operaționale viitoare, cât și costurile de energie, întreținere și mentenanță (pag. 64-65) [22].

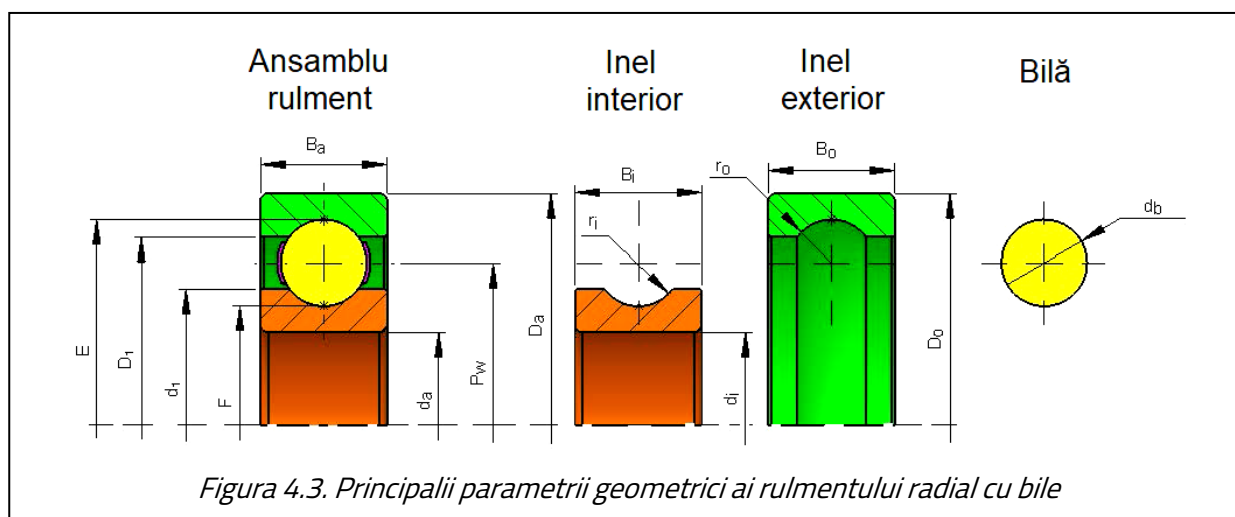
Datorită statisticilor realizate în ultimii ani, utilizarea acestor VLM-uri este în creștere, iar posibilitatea de a le implementa în domenii din afara logisticii, a început să devină o nouă direcție de cercetare.

4.2 Dezvoltare algoritm genetic pentru asamblare selectivă

4.2.1 Studiu privind eficientizarea metodei de asamblare selectivă pentru rulmenții radiali cu bile

Plecând de la posibilitatea unei noi configurații geometrice interne, în care autorul D. Săvescu a realizat un studiu în această privință, în care a ajuns la concluzia că este posibilă o configurație geometrică internă diferită, cu un diametru primitiv considerat ca fiind situat la o distanță de 55% față de axa de simetrie, cu scopul de a eficientiza capacitatea de încărcare a rulmentului, de a majora numărul de bile. Una dintre concluzii a fost că apar niște restricții cum ar fi posibilități de montare fără deformări elastice, iar grosimea minimă a inelelor este determinată de tehnologie [20].

Pe baza acestei ipoteze, s-a încercat obținerea unei optimizări pentru metoda de asamblare selectivă, având ca referință noile dimensiuni geometrice pentru căile de rulare ale inelelor și bilele aferente [79].



Având în vedere faptul că standardele în vigoare, cum ar fi ISO 492:2014, privind particularitățile dimensionale și geometrice ale rulmenților, nu sunt menționate dimensiunile geometrice interne, ci doar niște toleranțe și abateri, minime și maxime, în care ar trebui să funcționeze acești rulmenți, în stare nemontată și la temperaturi normale [29], fiecare producător are propria lui "bucătărie internă", în care produsul final trebuie să respecte aceste standarde, de funcționare.

Urmărind Figura 4.3, principalii parametri geometrici ai elementelor unui rulment sunt:

- D_a – diametrul exterior al ansamblului rulment (din standard);
- d_a – diametrul interior al ansamblului rulment (din standard);
- B_a – lățimea ansamblului rulmentului (din standard);
- d_b – diametrul bilei;
- P_w – diametrul primitiv al rulmentului;
- E – diametrul căii de rulare a inelului exterior;
- F – diametrul căii de rulare a inelului interior;
- D_1 – diametrul umărului inelului exterior;
- d_1 – diametrul umărului inelului interior;
- B_i – lățimea inelului interior;
- d_i – diametrul interior al inelului interior;
- r_i – raza căii de rulare a inelului interior;
- B_o – lățimea inelului exterior;
- D_o – diametrul exterior al inelului exterior;
- r_o – raza căii de rulare a inelului exterior;

Pentru conceperea AG-ului, s-a avut în vedere parcurgerea unor pași astfel:

• Pasul I:

Optimizarea metodei de asamblare selectivă, a avut ca punct de plecare o nouă configurație pentru geometria internă, în care diametrul primitiv a fost situat la o distanță de 55% față de axa de simetrie, determinat cu ecuația (3.1), diametrul căilor de rulare ale celor două inele, interior și exterior, fiind determinate cu ecuațiile (3.2) și (3.3).

$$P_w = 0.55 \cdot D_a + 0.45 \cdot d_a; \quad (3.1)$$

$$E = P_w + d_b; \quad (3.2)$$

$$F = P_w - 2 \cdot d_b; \quad (3.3)$$

• Pasul II:

Între corpurile de rostogolire și căile de rulare există un joc care poate fi radial C_r sau axial C_a . Acesta este definit ca media posibilităților de deplasare în direcție radială, respectiv axială, a unuia din inelele rulmentului în raport cu celălalt menținut fix, atunci când axele lor geometrice sunt paralele, respectiv coincid. Valoarea jocului înainte de montarea rulmentului pe arbore sau în carcasă a fost denumit joc inițial. Iar în continuare, studiul se va face pe acest tip de joc radial inițial, neasamblat, deoarece după montarea rulmentului, jocurile se modifică datorită factorilor externi care apar, Figura 4.4.

$$F_{min} = F - A_{iF}; \quad (3.4)$$

$$F_{max} = F + A_{sF}; \quad (3.5)$$

$$E_{min} = E - A_{iE}; \quad (3.6)$$

$$E_{max} = E + A_{sE}; \quad (3.7)$$

$$d_{bmin} = d_b - A_{idb}; \quad (3.8)$$

$$d_{bmax} = d_b + A_{sdb}; \quad (3.9)$$

Unde:

- F_{min} – diametrul minim al căii de rulare pentru inelul interior;
- F_{max} – diametrul maxim al căii de rulare pentru inelul interior;
- E_{min} – diametrul minim al căii de rulare pentru inelul exterior;
- E_{max} – diametrul maxim al căii de rulare pentru inelul exterior;
- d_{bmin} – diametrul minim al bilei;
- d_{bmax} – diametrul maxim al bilei;
- A_{iF} – abaterea inferioară pentru diametrul căii de rulare a inelului interior;
- A_{sF} – abaterea superioară pentru diametrul căii de rulare a inelului interior;
- A_{iE} – abaterea inferioară pentru diametrul căii de rulare a inelului exterior;
- A_{sE} – abaterea superioară pentru diametrul căii de rulare a inelului exterior;
- A_{idb} – abaterea inferioară pentru diametrul bilei;
- A_{sdb} – abaterea superioară pentru diametrul bilei;

Jocul radial minim din ansamblul rulmentului s-a determinat scăzând dimensiunea maximă a căii de rulare a inelului interior și două dimensiuni maxime ale diametrului bilei, din dimensiunea minimă a căii de rulare a inelului exterior, care sunt redată în ecuația (3.10).

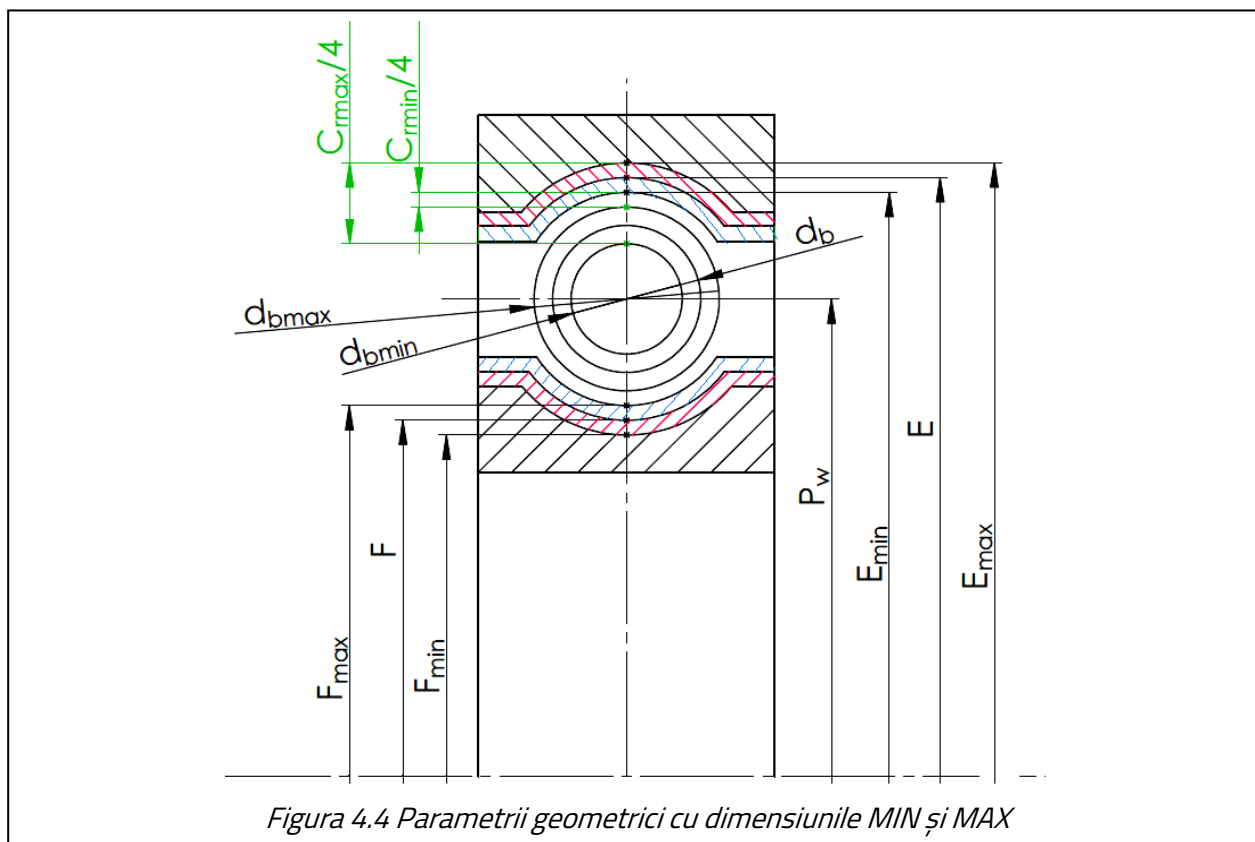
Jocul radial maxim din ansamblul rulmentului s-a determinat scăzând dimensiunea minimă a căii de rulare a inelului interior și două dimensiuni minime ale diametrului bilei, din dimensiunea maximă a căii de rulare a inelului exterior, care sunt redată în ecuația (3.11).

$$C_{rmin} = E_{AiE} - F_{AsF} - 2 \cdot d_b^{A_{sdb}} = A_{iE} - A_{sF} - 2 \cdot A_{sdb}; \quad (3.10)$$

$$C_{rmax} = E_{AsE} - F_{AiF} - 2 \cdot d_b^{A_{idb}} = A_{sE} - A_{iF} - 2 \cdot A_{idb}; \quad (3.11)$$

Unde:

- C_{rmin} – jocul radial minim al rulmentului;
- C_{rmax} – jocul radial maxim al rulmentului;



• Pasul III:

Toleranța unei dimensiuni este determinată prin scăderea dimensiunii minime, din dimensiunea maximă și sunt redată în ecuațiile (3.12) - (3.14).

$$T_F = F_{max} - F_{min}; \quad (3.12)$$

$$T_E = E_{max} - E_{min}; \quad (3.13)$$

$$T_{db} = d_{bmax} - d_{bmin}; \quad (3.14)$$

$$T = T_F + T_E + T_{db}; \quad (3.15)$$

Unde:

- T_F – toleranța diametrului căii de rulare a inelului interior;
- T_E – toleranța diametrului căii de rulare a inelului exterior;
- T_{db} – toleranța diametrului bilei;
- T – toleranța ansamblului rulmentului;

• Pasul IV:

În metoda de asamblare selectivă tradițională, toleranțele dimensiunilor care trebuie montate sunt împărțite în mod egal, în n grupe și ulterior sunt asamblate astfel încât să satisfacă condițiile finale și reducerea rebuturilor, dimensiuni calculate cu ecuația (3.15).

În această etapă, s-a stabilit rangul (σ) de împărțire a toleranțelor, pentru fiecare componentă în parte. În literatura de specialitate, acest rang este definit ca fiind precizia caracteristică a procedului de prelucrare, pentru fiecare element în parte.

$$\sigma_E = \frac{T_E}{6}; \quad (3.16)$$

$$\sigma_F = \frac{T_F}{6}; \quad (3.17)$$

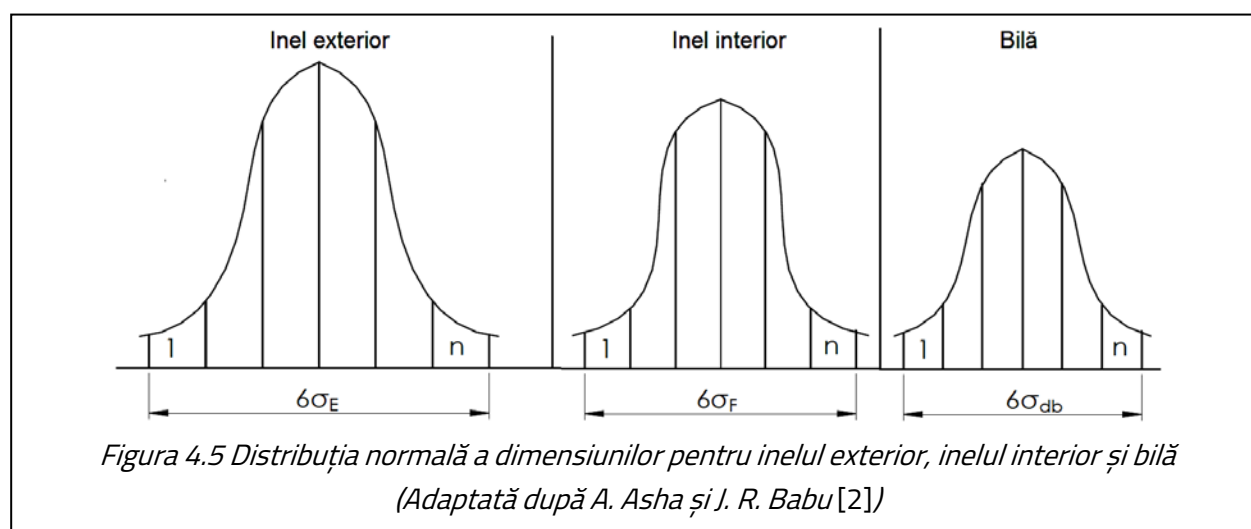
$$\sigma_{db} = \frac{T_{db}}{6}; \quad (3.18)$$

Unde:

- σ_E – rangul toleranței pentru diametrul căii de rulare a inelului exterior;
- σ_F – rangul toleranței pentru diametrul căii de rulare a inelului interior;
- σ_{db} – rangul toleranței pentru diametrul bilei;

Având ca referință principiul "6 SIGMA", care a fost introdus de inginerul american Bill Smith, în timp ce lucra la Motorola în 1980, indicând performanța procesului lor de producție, s-a adaptat pentru aplicația de sortare a rulmentului analizat, pentru cele trei componente, redat în Figura 4.5.

De asemenea, distribuția toleranțelor a fost considerată ca fiind o distribuție normală sau Gaussiană, în care probabilitatea distribuirii valorilor obținute să fie simetrice față de vârful central, în ambele direcții.



• Pasul V:

Varianța de asamblare selectivă propusă în acest studiu, în vederea diminuării rebuturilor de componente ale rulmenților, a fost de a găsi o metodă de sortare convenabilă, astfel încât cerințele finale să fie îndeplinite, rebuturile să fie minime și totodată creșterea preciziei ansamblului. Prin urmare, s-a constatat faptul că cea mai convenabilă selecție pentru prima grupă, ar fi asamblarea inelului exterior având toleranța din grupul n, cu inelul interior având toleranța din primul grup, respectiv bila cu toleranța din primul grup. Acest lucru a fost redat în ecuațiile (3.19).

$$\begin{aligned}
Gr.I \Rightarrow & \begin{cases} C_{r\min} = A_{iEn} - A_{sF1} - 2 \cdot A_{sdb1}; \\ C_{r\max} = A_{sEn} - A_{iF1} - 2 \cdot A_{idb1}; \\ \vdots \end{cases} \\
Gr.n \Rightarrow & \begin{cases} C_{r\min} = A_{iE1} - A_{sFn} - 2 \cdot A_{sdbn}; \\ C_{r\max} = A_{sE1} - A_{iFn} - 2 \cdot A_{idbn}; \end{cases}
\end{aligned} \tag{3.19}$$

Unde:

- Gr. I – grup I format după asamblarea selectivă;
- Gr. II – grup II format după asamblarea selectivă;
- Gr. n – grup „n” format după asamblarea selectivă;

4.2.2 Studiu de caz pentru aplicarea metodei de asamblare selectivă pe un rulment 6305

Pentru a demonstra optimizarea metodei prezentate mai sus, s-a analizat un rulment radial simplu, cu bile pe un singur rând, cu contact într-un singur punct.

Datele de intrare pentru analiză sunt:

Rulment radial simplu, cu bile pe un singur rând, 6305 SKF, având caracteristicile:

$$D_a = 62mm;$$

$$d_a = 25mm;$$

$$B_a = 17mm;$$

• Pasul I:

Pornind de la ecuațiile (3.1) – (3.3), s-au determinat diametrele căilor de rulare ale celor două inele și diametrul primitiv al rulmentului.

$$P_w = 0.55 \cdot D_a + 0.45 \cdot d_a = 0.55 \cdot 62 + 0.45 \cdot 25 = 45.35mm;$$

$$E = P_w + d_b = 45.35 + 11 = 56.35mm$$

$$F = P_w - 2 \cdot d_b = 45.35 - 2 \cdot 11 = 34.35mm$$

• Pasul II:

Se presupune că posibilitățile și capacitățile procesului tehnologic disponibile, pentru prelucrarea componentelor rulmentului și mai exact, pentru prelucrarea căilor de rulare ale cele două inele, interior și exterior, respectiv a elementului de rostogolire bilă, sunt redată mai jos:

$$E_{A_{iE}}^{A_{sE}} = 56.35_0^{0.018} mm \Rightarrow T = 18\mu m;$$

$$F_{A_{iF}}^{A_{sF}} = 34.35_{-0.012}^0 mm \Rightarrow T = 12\mu m;$$

$$d_{bA_{idb}}^{A_{sdb}} = 11_{-0.0065}^{-0.0005} mm \Rightarrow T = 6\mu m;$$

Pentru caracteristicile dimensionale menționate anterior, cu ecuațiile (3.10) și (3.11) s-a calculat jocul radial minim și maxim, pentru toleranțele obținute prin capacitățile procesului tehnologic, menționate mai sus. Se poate observa că toleranța dintre jocul radial maxim și minim este relativ mare, 41μm,

având în vedere că pentru clasa normală de precizie a acestui tip de rulment 6305, toleranța este de până la 15 μm , conform ISO 492:2014.

$$C_{r\min} = A_{iE} - A_{sF} - 2 \cdot A_{sdb} = 0 - 0 - 2 \cdot (-0.5) = 1 \mu\text{m};$$

$$C_{r\max} = A_{sE} - A_{iF} - 2 \cdot A_{idb} = 18 - (-12) - 2 \cdot (-6) = 42 \mu\text{m};$$

• **Pasul III/Pasul IV:**

În etapa următoare, toleranțele (T) de mai sus au fost împărțite în șase grupuri de toleranțe egale, respectând principiul din Figura 4.5. Drept urmare, rangul (σ) pentru fiecare grup în parte, aplicând ecuațiile (3.12)-(3.14), s-a reprezentat mai jos, rezultatul fiind 3 μm pentru E, 2 μm pentru F, respectiv 1 μm pentru db.

$$T_E = 18 \mu\text{m} \Rightarrow \sigma_E = \frac{T_E}{6} = 3 \mu\text{m};$$

$$T_F = 12 \mu\text{m} \Rightarrow \sigma_F = \frac{T_F}{6} = 2 \mu\text{m};$$

$$T_{db} = 6 \mu\text{m} \Rightarrow \sigma_{db} = \frac{T_{db}}{6} = 1 \mu\text{m};$$

Tabelul 4.1 Grupurile de toleranțe divizate (toate valorile exprimate în μm)

Grup	1		2		3		4		5		6	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
E	0	3	3	6	6	9	9	12	12	15	15	18
F	-12	-10	-10	-8	-8	-6	-6	-4	-4	-2	-2	0
db	-6.5	-5.5	-5.5	-4.5	-4.5	-3.5	-3.5	-2.5	-2.5	-1.5	-1.5	-0.5

• **Pasul V:**

Urmând ecuațiile (3.19), simultan cu datele din Tabelul 4.1, s-au calculat jocurile radiale minime și maxime pentru fiecare grup nou. Toate grupurile s-au calculat în mod similar, iar rezultatele au fost tabulate în Tabelul 4.2. S-a constatat că precizia ajustării scade odată cu creșterea grupurilor. Prin urmare, grupul Gr.I ar fi cel mai puțin precis, având un joc radial destul de mare (MIN = 36 μm și MAX = 46 μm), iar grupul Gr.VI, ar fi cel mai precis având un joc radial foarte mic (MIN = 1 μm și MAX = 8 μm).

$$Gr.I \Rightarrow \begin{cases} C_{r\min} = A_{iE6} - A_{sF1} - 2 \cdot A_{sdb1} = 15 - (-10) - 2 \cdot (-5.5) = 36 \mu\text{m}; \\ C_{r\max} = A_{sE6} - A_{iF1} - 2 \cdot A_{idb1} = 18 - (-12) - 2 \cdot (-6.5) = 43 \mu\text{m}; \\ \vdots \end{cases}$$

$$Gr.n \Rightarrow \begin{cases} C_{r\min} = A_{iE1} - A_{sFn} - 2 \cdot A_{sdb6} = 0 - 0 - 2 \cdot (-0.5) = 1 \mu\text{m}; \\ C_{r\max} = A_{sE1} - A_{iFn} - 2 \cdot A_{idb6} = 3 - (-2) - 2 \cdot (-1.5) = 8 \mu\text{m}; \end{cases}$$

Tabelul 4.2 Grupurile rezultate după gruparea selectivă (toate valorile exprimate în μm)

Gr. I		Gr. II		Gr. III		Gr. IV		Gr. V		Gr. VI	
MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
36	43	29	36	22	29	15	22	8	15	1	8

4.2.3 Transpunerea algoritmului dezvoltat în mediul de calcul ingineresc Mathcad

Fiind un standard recunoscut în realizarea, documentarea și munca în echipă cu calcule de inginerie, metode de calcul și algoritmi în proiectare, a fost utilizat software-ul Mathcad pentru algoritmul prezentat în subcapitolele anterioare, folosind funcțiile sale specifice. Scopul utilizării acestui software a fost de simulare și urmărire, ușoară și rapidă, a algoritmului dezvoltat, pentru diferite date de intrare, analizând trasabilitatea datelor de ieșire [81].

Input data:		Input data dimensional deviations, for processing possibilities:	
$d_a := 25 \text{ mm}$	inner diameter of the bearing;	$A_{sE} := 0.018 \text{ mm}$	Upper deviation for E;
$D_a := 62 \text{ mm}$	outer diameter of the bearing;	$A_{iE} := 0 \text{ mm}$	Lower deviation for E;
$B_a := 17 \text{ mm}$	width bearing;	$A_{sF} := 0 \text{ mm}$	Upper deviation for F;
$d_b := 11 \text{ mm}$	ball diameter;	$A_{iF} := -0.012 \text{ mm}$	Lower deviation for F;
		$A_{sdb} := -0.0005 \text{ mm}$	Upper deviation for db;
		$A_{idb} := -0.0065 \text{ mm}$	Lower deviation for db;

Figura 4.6 Datele de intrare pentru dimensiunile nominale și abaterile dimensionale pentru E, F și d_b.

Pentru început, datele de intrare care au fost introduse în Mathcad sunt dimensiunile nominale ale rulmentului și apoi abaterile inferioare și superioare pentru căile de rulare ale celor două inele, respectiv pentru elementul de rostogolire, toate acestea fiind prezentate în Figura 4.6.

Internal geometry of the bearing:		Clearances for F, E and db:	
$P_w := 0.55 \cdot D_a + 0.45 \cdot d_a = 45.35 \text{ mm}$	primitive diameter;	$T_E := A_{sE} - A_{iE} = 18 \text{ } \mu\text{m}$	Clearance for E;
$E := P_w + d_b = 56.35 \text{ mm}$	external ring rolling-way diameter;	$T_F := A_{sF} - A_{iF} = 12 \text{ } \mu\text{m}$	Clearance for F;
$F := P_w - 2 \cdot d_b = 23.35 \text{ mm}$	internal ring rolling-way diameter;	$T_{db} := A_{sdb} - A_{idb} = 6 \text{ } \mu\text{m}$	Clearance for db;
		Divide the number of groups: $n := 6$ groups.	

Figura 4.7 Geometria internă a rulmentului și toleranțele dimensionale pentru E, F și d_b.

În Figura 4.7, folosind ecuațiile (3.1) - (3.3) au fost calculate în Mathcad, diametrul primitiv și diametrele căilor de rulare pentru cele două inele, urmate de toleranțele calculate cu ecuațiile (3.12)-(3.14), folosind abaterile dimensionale din Figura 4.6. De asemenea, a fost introdus numărul „n” de grupuri pentru care s-au împărțit clasele de toleranță, conform Figura 4.5.

Rangul (σ) pentru fiecare componentă analizată, a fost stabilit în Figura 4.8, calculând ulterior jocurile C_{rmin} și C_{rmax} , înainte de împărțirea pe cele „n” grupuri stabilite.

Utilizând funcția „Step Range” din Mathcad, s-au identificat grupurile de toleranțe, pentru E, F, d_b, în funcție de rangul σ , stabilit anterior și abaterile A_i și A_s , folosite ca date de intrare. De asemenea, folosind funcția „XY Plot”, s-au determinat graficele aferente pentru fiecare grup în parte.

Conform metodei de regrupare descrise anterior, se observă că pentru componenta E, primul grup, rezultat în urma împărțirii pe ranguri, este egal cu primul grup rezultat în urma folosirii comenzii “Step Range”, arătat în Figura 4.9, $C_{rmin} = 0 \mu\text{m}$ și $C_{rmax} = 3 \mu\text{m}$.

În Figura 4.10, jocurile minime și maxime ale componentei F, $C_{rmin} = -12 \mu\text{m}$ și $C_{rmax} = 0 \mu\text{m}$, sunt identice cu cele din Tabelul 4.1, similar fiind pentru toate cele șase grupuri, rezultate după împărțire.

Urmând aceiași pași, rezultatele au fost similare pentru celelalte grupuri, ale aceleiași componente, E.

The range for each component (E, F, d_b) of the bearing, depending on the set "n" groups:

$$\sigma_E := \frac{T_E}{n} = 3 \mu m \quad \text{Division tolerance range for E;}$$

$$\sigma_F := \frac{T_F}{n} = 2 \mu m \quad \text{Division tolerance range for F;}$$

$$\sigma_{db} := \frac{T_{db}}{n} = 1 \mu m \quad \text{Division tolerance range for } db;$$

MIN and MAX of bearing clearance:

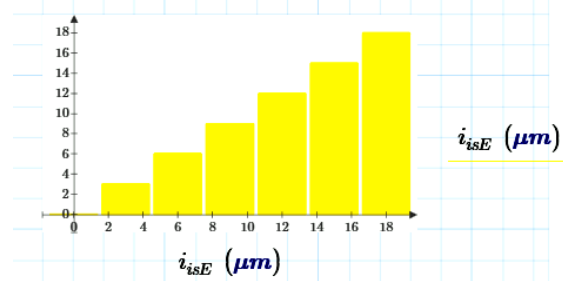
$$C_{rmin} := A_{iE} - A_{sF} - 2 \cdot A_{sdb} = 1 \mu m$$

$$C_{rmax} := A_{sE} - A_{iF} - 2 \cdot A_{idb} = 43 \mu m$$

Figura 4.8 Rangul toleranțelor pentru E, F, d_b și jocul MIN/MAX al rulmentului

$$i_{isE} := (A_{iE}), (A_{iE}) + (\sigma_E) \dots (A_{sE}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 6 \\ 9 \\ 12 \\ 15 \\ 18 \end{bmatrix} \mu m$$

a.

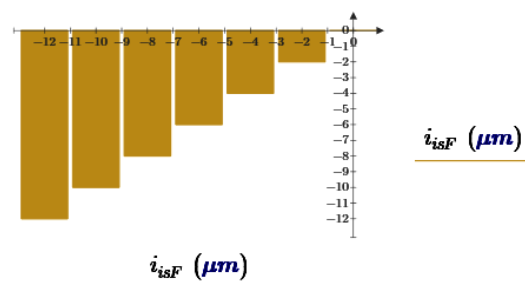


b.

Figura 4.9 Grupul de toleranțe rezultat pentru E și diagrama corespunzătoare acestuia

$$i_{isF} := (A_{iF}), (A_{iF}) + (\sigma_F) \dots (A_{sF}) = \begin{bmatrix} -12 \\ -10 \\ -8 \\ -6 \\ -4 \\ -2 \\ 0 \end{bmatrix} \mu m$$

a.

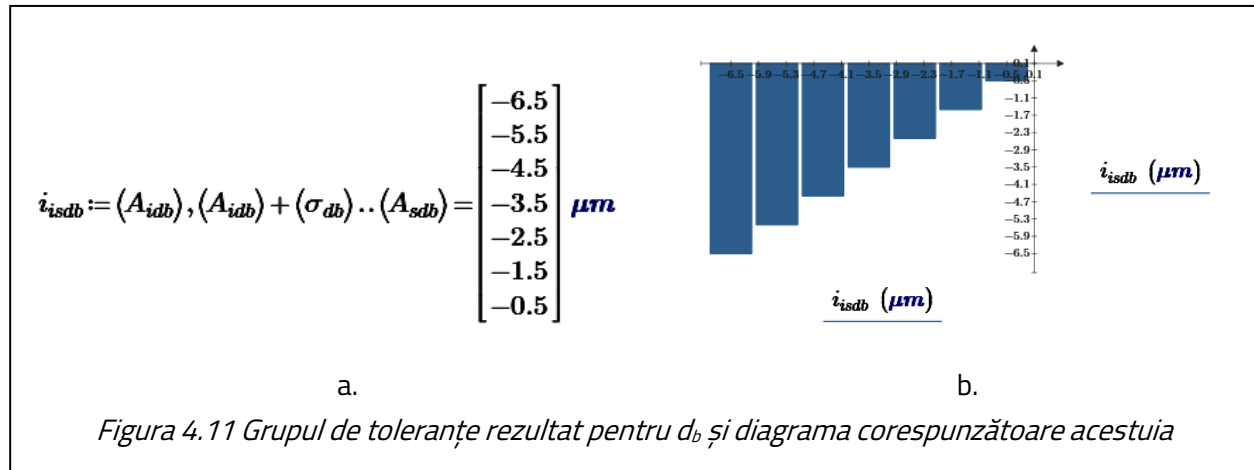


b.

Figura 4.10 Grupul de toleranțe rezultat pentru F și diagrama corespunzătoare acestuia

În Figura 4.11, jocurile minime și maxime ale componentei d_b , $C_{rmin} = -6.5 \mu m$ și $C_{rmax} = -0.5 \mu m$, sunt identice cu cele din Tabelul 4.1, similar fiind pentru toate cele șase grupuri, rezultate după împărțire.

În continuare, pentru a respecta algoritmul prezentat la subpunctele anterioare și pentru diferențierea acestora, au fost extrase cele șase grupuri pentru fiecare componentă. Pentru extragerea fiecărui grup, al fiecărei componente, s-a folosit comanda „submatrix” specificând matricea din care se va extrage, rândul și coloana respectivă. În Mathcad, numerotarea rândurilor și coloanelor începe cu zero.



Forming groups by components, depending on the clearance classes:

$$Group1_E := \text{reverse}(\text{submatrix}(i_{isE}, 0, 1, 0, 0))^T = [3 \ 0] \mu m;$$

$$Group1_F := \text{submatrix}(i_{isF}, 0, 1, 0, 0)^T = [-12 \ -10] \mu m;$$

$$Group1_{db} := \text{submatrix}(i_{isdb}, 0, 1, 0, 0)^T = [-6.5 \ -5.5] \mu m;$$

$$Group2_E := \text{reverse}(\text{submatrix}(i_{isE}, 1, 2, 0, 0))^T = [6 \ 3] \mu m;$$

$$Group2_F := \text{submatrix}(i_{isF}, 1, 2, 0, 0)^T = [-10 \ -8] \mu m;$$

$$Group2_{db} := \text{submatrix}(i_{isdb}, 1, 2, 0, 0)^T = [-5.5 \ -4.5] \mu m;$$

$$Group3_E := \text{reverse}(\text{submatrix}(i_{isE}, 2, 3, 0, 0))^T = [9 \ 6] \mu m;$$

$$Group3_F := \text{submatrix}(i_{isF}, 2, 3, 0, 0)^T = [-8 \ -6] \mu m;$$

$$Group3_{db} := \text{submatrix}(i_{isdb}, 2, 3, 0, 0)^T = [-4.5 \ -3.5] \mu m;$$

Figura 4.12 (a) Împărțirea toleranțelor MIN și MAX pentru fiecare componentă analizată

$$Group4_E := \text{reverse}(\text{submatrix}(i_{isE}, 3, 4, 0, 0))^T = [12 \ 9] \mu m;$$

$$Group4_F := \text{submatrix}(i_{isF}, 3, 4, 0, 0)^T = [-6 \ -4] \mu m;$$

$$Group4_{db} := \text{submatrix}(i_{isdb}, 3, 4, 0, 0)^T = [-3.5 \ -2.5] \mu m;$$

$$Group5_E := \text{reverse}(\text{submatrix}(i_{isE}, 4, 5, 0, 0))^T = [15 \ 12] \mu m;$$

$$Group5_F := \text{submatrix}(i_{isF}, 4, 5, 0, 0)^T = [-4 \ -2] \mu m;$$

$$Group5_{db} := \text{submatrix}(i_{isdb}, 4, 5, 0, 0)^T = [-2.5 \ -1.5] \mu m;$$

$$Group6_E := \text{reverse}(\text{submatrix}(i_{isE}, 5, 6, 0, 0))^T = [18 \ 15] \mu m;$$

$$Group6_F := \text{submatrix}(i_{isF}, 5, 6, 0, 0)^T = [-2 \ 0] \mu m;$$

$$Group6_{db} := \text{submatrix}(i_{isdb}, 5, 6, 0, 0)^T = [-1.5 \ -0.5] \mu m;$$

Figura 4.13 (b) Împărțirea toleranțelor MIN și MAX pentru fiecare componentă analizată.

S-a observat în Figura 4.12, că pentru grupul „Group1_E”, matricea din care se va extrage va fi „i_{isE}”, rândurile unu și doi, adnotate „0” și „1”, doar din prima coloană, adnotată „0” și „0”. Matricea din care se va extrage fiind o matrice de tip coloană, a fost folosită comanda „Transpose”, pentru a transpune matricea coloană extrasă, într-o matrice linie.

Respectând algoritmul de la punctul anterior, doar pentru componenta E, s-a folosit comanda „Reverse” pentru a inversa matricea linie rezultată. Acești pași au fost aplicați pentru toate cele șase grupuri, ale celor trei componente analizate, care se pot observa în Figura 4.12 și Figura 4.13.

Aplicând noua procedură, prin folosirea noului algoritm de asamblare selectivă, în Figura 4.14 au fost prezentate cele șase noi grupuri rezultate în urma asamblării selective. Folosind ecuațiile (3.19) alături de comenzile „Reverse” și „Transpose”, au fost obținute noile grupuri cu jocurile minime și maxime. Pentru ca un rulment să funcționeze, jocul minim trebuie să fie mai mare sau egal cu 1 μm.

The new groups with the precision class in the bearing, resulting from the regrouping:

$$I.Cr_{minmax} := \left(\text{reverse} \left((Group6_E - Group1_F - 2 \cdot Group1_{db})^T \right) \right)^T = [36 \ 43] \mu m;$$

$$II.Cr_{minmax} := \left(\text{reverse} \left((Group5_E - Group2_F - 2 \cdot Group2_{db})^T \right) \right)^T = [29 \ 36] \mu m;$$

$$III.Cr_{minmax} := \left(\text{reverse} \left((Group4_E - Group3_F - 2 \cdot Group3_{db})^T \right) \right)^T = [22 \ 29] \mu m;$$

$$IV.Cr_{minmax} := \left(\text{reverse} \left((Group3_E - Group4_F - 2 \cdot Group4_{db})^T \right) \right)^T = [15 \ 22] \mu m;$$

$$V.Cr_{minmax} := \left(\text{reverse} \left((Group2_E - Group5_F - 2 \cdot Group5_{db})^T \right) \right)^T = [8 \ 15] \mu m;$$

$$VI.Cr_{minmax} := \left(\text{reverse} \left((Group1_E - Group6_F - 2 \cdot Group6_{db})^T \right) \right)^T = [1 \ 8] \mu m;$$

Figura 4.14 Noile grupuri obținute după asamblarea selectivă

Verification key for bearing sets ($CR_{min} = C_{rmin}$; $CR_{max} = C_{rmax}$):

$$CR := \left(\text{augment} \left(VI.Cr_{minmax}^{(0)}, V.Cr_{minmax}^{(0)}, IV.Cr_{minmax}^{(0)}, III.Cr_{minmax}^{(0)}, II.Cr_{minmax}^{(0)}, I.Cr_{minmax} \right) \right)^T$$

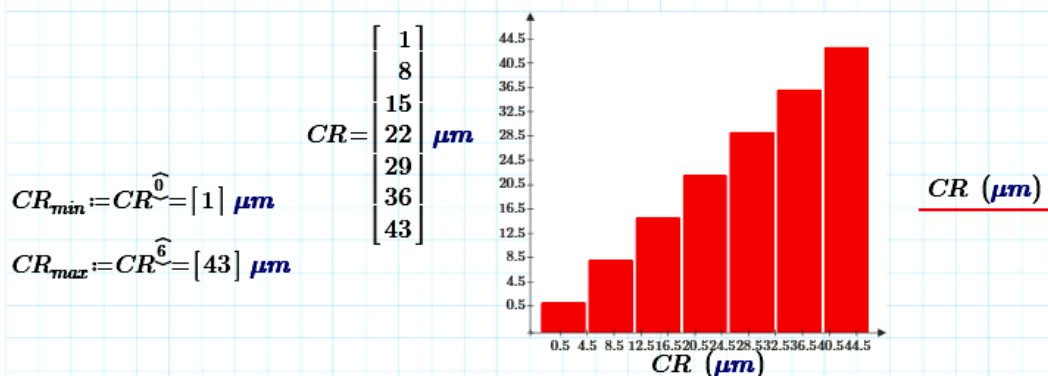


Figura 4.15 Matricea coloana rezultata și diagrama pentru noile grupuri

În Figura 4.16, au fost redată pe grafic, toleranțele celor trei componente analizate și toleranța de ansamblu a rulmentului (CR), rezultată în urma noului algoritm de asamblare selectivă. Pentru cazul analizat, se poate observa că cel mai mic joc din grupurile rezultate, îndeplinește condiția $C_{rmin} \geq 1\mu m$, pentru ca rulmentul să fie funcțional. În Figura 4.15 a fost redată diagrama pentru noile grupuri rezultante în urma aplicării algoritmului descris în rândurile anterioare [81].

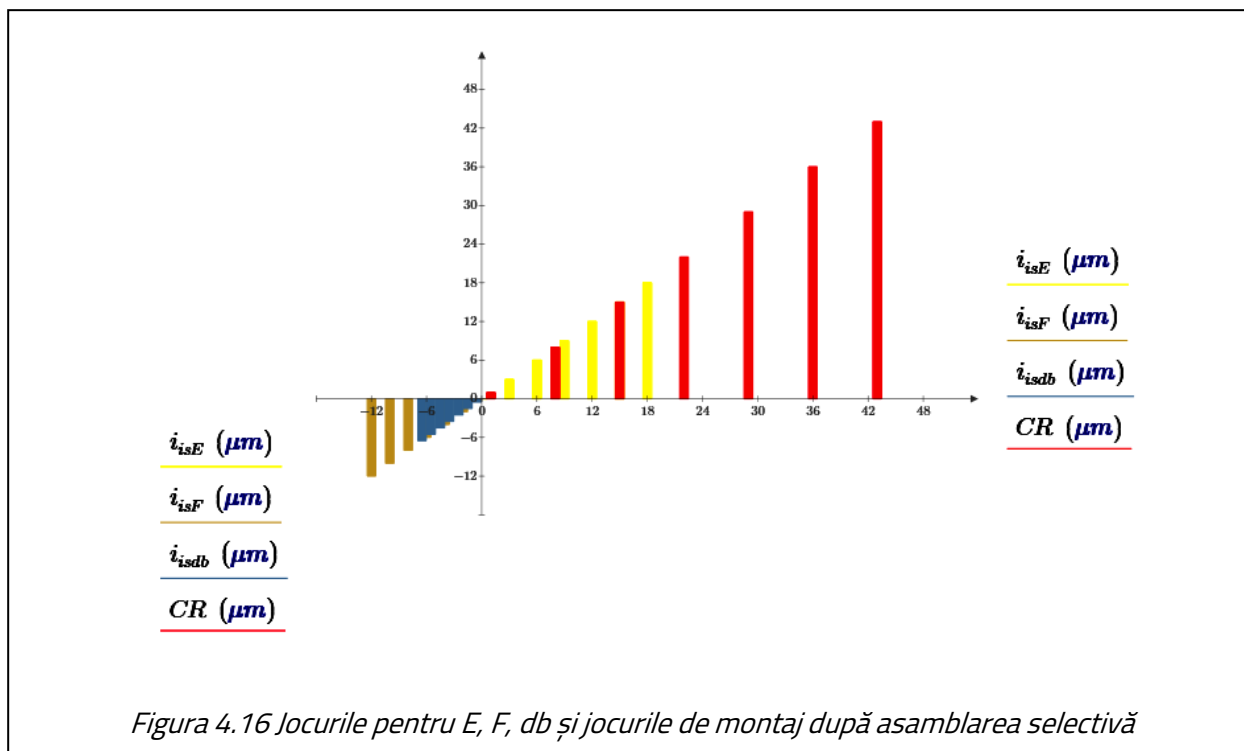


Figura 4.16 Jocurile pentru E, F, db și jocurile de montaj după asamblarea selectivă

Pentru ca rezultatul să fie redat sub formă de matrice coloană, C_r , s-a folosit funcția „Augment”, prin care au fost unite cele șase grupe rezultante, Figura 4.14, iar pentru a păstra formatul matricelor i_{isE} , i_{isF} , i_{isdb} , s-au utilizat funcțiile „Column” și „Transpose”, rezultatul observându-se în Figura 4.15. Pentru a avea control asupra corectitudinii calculelor parcurse până la acest punct, a fost introdusă o cheie de verificare, care trebuie îndeplinită întotdeauna, $C_{rmin} = C_{rmin}$.

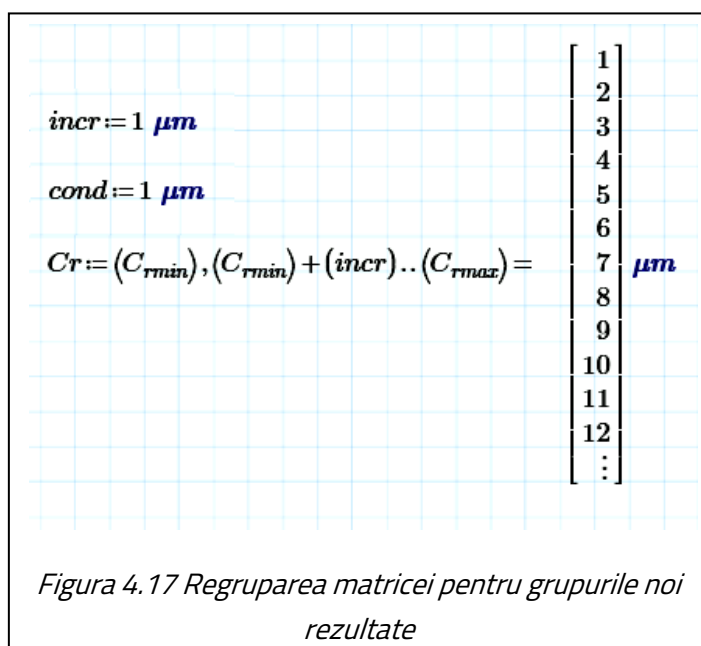


Figura 4.17 Regruparea matricei pentru grupurile noi rezultate

În Figura 4.17 s-a prezentat o nouă matrice coloană, lungimea fiind egală cu numărul de linii ale acesteia, redată de toleranța $CR=C_r$, cu increment de $1\mu m$. Această matrice a fost creată cu scopul de a avea un rezultat sub formă de procente, pentru noile grupuri care vor respecta condiția $cond \geq 1\mu m$. Pentru un caz teoretic, cele care nu respectă condiția menționată anterior au fost denumite rebuturi, iar cele care îndeplinesc această condiție, au fost denumite ca productivitate.

A fost considerat caz teoretic, pentru că

cele care nu îndeplinesc condiția de funcționare, se pot folosi la un alt lot de elemente componente, care respectând aceeași procedură a algoritmului de asamblare selectivă, procentul de rebuturi să fie minim.

Variabila "incr" a fost definită ca fiind incrementul formării matricei rezultante, plecând de la abaterea minimă și maximă. Lungimea totală a fost calculată cu funcția "Length", care a returnat diferența dintre abaterea maximă și cea minimă. C_{neg} returnează suma toleranțelor, cu incrementul definit anterior, cu valori mai mici decât variabila "cond", iar C_{poz} returnează toleranțele care au valori mai mari decât variabila "cond", definite cu același increment, scăzând din lungimea totală, variabila C_{neg} .

Clearance range:

$$Total := length(Cr) = 43$$

Tolerances lower than $1\ \mu m$, minimum condition for the bearing to be functional:

$$Cr_{neg} := \sum (Cr < cond) = 0$$

Tolerances greater than $1\ \mu m$, fact that meets the condition of operation of the bearing:

$$Cr_{poz} := Total - Cr_{neg} = 43$$

Figura 4.18 Condițiile impuse pentru funcționarea rulmentului

Scrap resulting from bearing operation condition: ($C_{rmin} < 1\ \mu m$):

$$Scrap := \frac{Cr_{neg}}{Total} = 0$$

Productivity, bearings that meet the operating condition ($C_{rmin} \geq 1\ \mu m$):

$$Prod := \frac{Cr_{poz}}{Total} = 100\%$$

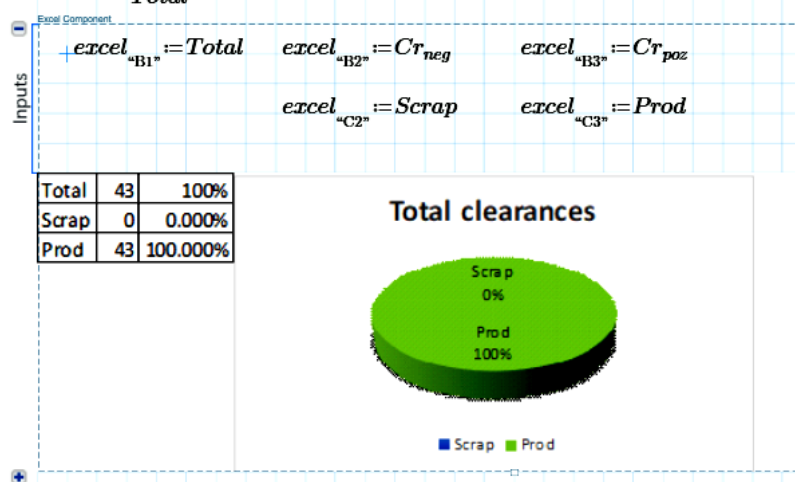


Figura 4.19 Rebuturi și productivitate în funcție de abaterile de intrare și condițiile impuse

Pentru simularea rapidă a diferitelor combinații de abateri de intrare, și de a nu urmări toți pașii de calcul descriși mai sus, pentru componentele analizate, s-au reprezentat sub formă de procente, rezultatele obținute ca rebuturi (rulmenții care nu ar îndeplini condiția $C_{rmin} \geq 1\ \mu m$, pentru ca un rulment să funcționeze) și productivitatea (rulmenții care ar îndeplini condiția $C_{rmin} \geq 1\ \mu m$) [81].

S-a folosit comanda „Insert Excel Component”, iar în zona de intrare „Inputs” au fost introduse datele calculate anterior, după cum se observă în Figura 4.19, iar în partea de mijloc, unde este foaia de calcul excel, au fost returnate valorile de rebuturi (Scrap) și productivitate (Prod), în procente și sub formă de diagramă „Chart Pie”.

În Tabelul 4.1, respectând pașii de calcul prezentați anterior, având aceleași date de intrare d , D , P_w , E , F , d_b , dar cu date de intrare diferite, pentru abaterile componentelor E , F , d_b , care au fost redată în coloana „Input Data”, se poate observa în coloana „Output Data” procentajul de rebuturi și productivitate.

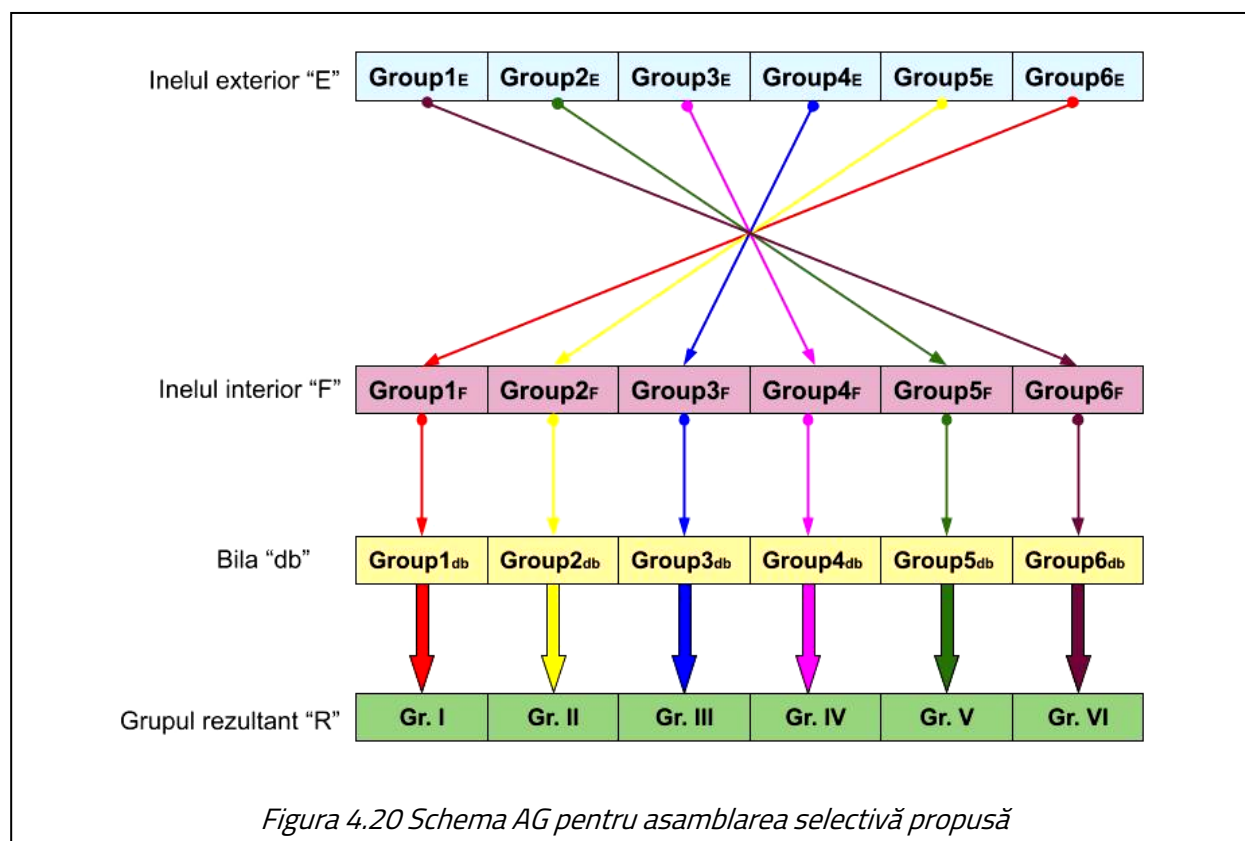


Figura 4.20 Schema AG pentru asamblarea selectivă propusă

Parcurgând algoritmul matematic, în Figura 4.20 s-a realizat schema AG propus pentru asamblarea selectivă. Urmărind această schemă, pentru un produs rezultatant „R” a fost propusă AS constituită astfel: $GR.I = Group6_E + Group1_F + Group1_{db}$. Similar realizându-se gruparea și pentru celelalte grupe.

Tabelul 4.1 Intrări și ieșiri pentru variante de toleranțe

Date intrare		Date ieșire (rebuturi și productivitate)										
Setul 1	$A_{sE} := 0 \text{ mm}$	Upper deviation for E;										
	$A_{iE} := -0.012 \text{ mm}$	Lower deviation for E;										
	$A_{sF} := 0.018 \text{ mm}$	Upper deviation for F;										
	$A_{iF} := 0 \text{ mm}$	Lower deviation for F;										
	$A_{sdb} := -0.0005 \text{ mm}$	Upper deviation for db;										
	$A_{idb} := -0.0065 \text{ mm}$	Lower deviation for db;										
		Inputs $excel_{B1} := Total$$excel_{B2} := Cr_{neg}$$excel_{B3} := Cr_{poz}$$excel_{C2} := Scrap$$excel_{C3} := Prod$ <table><tr><td>Total</td><td>43</td><td>100%</td></tr><tr><td>Scrap</td><td>31</td><td>72.093%</td></tr><tr><td>Prod</td><td>12</td><td>27.907%</td></tr></table> Total clearances Prod 28% Scrap 72% Scrap Prod		Total	43	100%	Scrap	31	72.093%	Prod	12	27.907%
Total	43	100%										
Scrap	31	72.093%										
Prod	12	27.907%										

Setul 2	$A_{sE} := 0.018 \text{ mm}$ $A_{iE} := 0 \text{ mm}$ $A_{sF} := 0 \text{ mm}$ $A_{iF} := -0.012 \text{ mm}$ $A_{sdb} := 0.0065 \text{ mm}$ $A_{idb} := 0.0005 \text{ mm}$ Upper deviation for E; Lower deviation for E; Upper deviation for F; Lower deviation for F; Upper deviation for db; Lower deviation for db;	$excel_{B1} := Total$ $excel_{B2} := Cr_{neg}$ $excel_{B3} := Cr_{poz}$ $excel_{C2} := Scrap$ $excel_{C3} := Prod$ <table><tr><td>Total</td><td>43</td><td>100%</td></tr><tr><td>Scrap</td><td>14</td><td>32.558%</td></tr><tr><td>Prod</td><td>29</td><td>67.442%</td></tr></table> Total Clearances Prod 67% Scrap 33%	Total	43	100%	Scrap	14	32.558%	Prod	29	67.442%
Total	43	100%									
Scrap	14	32.558%									
Prod	29	67.442%									
Setul 3	$A_{sE} := 0 \text{ mm}$ $A_{iE} := -0.012 \text{ mm}$ $A_{sF} := 0.018 \text{ mm}$ $A_{iF} := 0 \text{ mm}$ $A_{sdb} := 0.0065 \text{ mm}$ $A_{idb} := 0.0005 \text{ mm}$ Upper deviation for E; Lower deviation for E; Upper deviation for F; Lower deviation for F; Upper deviation for db; Lower deviation for db;	$excel_{B1} := Total$ $excel_{B2} := Cr_{neg}$ $excel_{B3} := Cr_{poz}$ $excel_{C2} := Scrap$ $excel_{C3} := Prod$ <table><tr><td>Total</td><td>43</td><td>100%</td></tr><tr><td>Scrap</td><td>43</td><td>100.000%</td></tr><tr><td>Prod</td><td>0</td><td>0.000%</td></tr></table> Total Clearances Prod 0% Scrap 100%	Total	43	100%	Scrap	43	100.000%	Prod	0	0.000%
Total	43	100%									
Scrap	43	100.000%									
Prod	0	0.000%									
Setul 4	$A_{sE} := 0.036 \text{ mm}$ $A_{iE} := 0 \text{ mm}$ $A_{sF} := 0.018 \text{ mm}$ $A_{iF} := 0 \text{ mm}$ $A_{sdb} := -0.0005 \text{ mm}$ $A_{idb} := -0.0065 \text{ mm}$ Upper deviation for E; Lower deviation for E; Upper deviation for F; Lower deviation for F; Upper deviation for db; Lower deviation for db;	$excel_{B1} := Total$ $excel_{B2} := Cr_{neg}$ $excel_{B3} := Cr_{poz}$ $excel_{C2} := Scrap$ $excel_{C3} := Prod$ <table><tr><td>Total</td><td>67</td><td>100%</td></tr><tr><td>Scrap</td><td>18</td><td>26.866%</td></tr><tr><td>Prod</td><td>49</td><td>73.134%</td></tr></table> Chart Title Prod 73% Scrap 27%	Total	67	100%	Scrap	18	26.866%	Prod	49	73.134%
Total	67	100%									
Scrap	18	26.866%									
Prod	49	73.134%									
Setul 5	$A_{sE} := 0.05 \text{ mm}$ $A_{iE} := 0 \text{ mm}$ $A_{sF} := 0 \text{ mm}$ $A_{iF} := -0.05 \text{ mm}$ $A_{sdb} := 0.005 \text{ mm}$ $A_{idb} := 0 \text{ mm}$ Upper deviation for E; Lower deviation for E; Upper deviation for F; Lower deviation for F; Upper deviation for db; Lower deviation for db;	$excel_{B1} := Total$ $excel_{B2} := Cr_{neg}$ $excel_{B3} := Cr_{poz}$ $excel_{C2} := Scrap$ $excel_{C3} := Prod$ <table><tr><td>Total</td><td>111</td><td>100%</td></tr><tr><td>Scrap</td><td>12</td><td>10.811%</td></tr><tr><td>Prod</td><td>99</td><td>89.189%</td></tr></table> Chart Title Prod 89% Scrap 11%	Total	111	100%	Scrap	12	10.811%	Prod	99	89.189%
Total	111	100%									
Scrap	12	10.811%									
Prod	99	89.189%									
Setul 6	$A_{sE} := 0 \text{ mm}$ $A_{iE} := -0.01 \text{ mm}$ $A_{sF} := 0.01 \text{ mm}$ $A_{iF} := 0 \text{ mm}$ $A_{sdb} := 0 \text{ mm}$ $A_{idb} := -0.08 \text{ mm}$ Upper deviation for E; Lower deviation for E; Upper deviation for F; Lower deviation for F; Upper deviation for db; Lower deviation for db;	$excel_{B1} := Total$ $excel_{B2} := Cr_{neg}$ $excel_{B3} := Cr_{poz}$ $excel_{C2} := Scrap$ $excel_{C3} := Prod$ <table><tr><td>Total</td><td>181</td><td>100%</td></tr><tr><td>Scrap</td><td>21</td><td>11.602%</td></tr><tr><td>Prod</td><td>160</td><td>88.398%</td></tr></table> Chart Title Prod 88% Scrap 12%	Total	181	100%	Scrap	21	11.602%	Prod	160	88.398%
Total	181	100%									
Scrap	21	11.602%									
Prod	160	88.398%									
Setul 7	$A_{sE} := 0 \text{ mm}$ $A_{iE} := -0.050 \text{ mm}$ $A_{sF} := 0.040 \text{ mm}$ $A_{iF} := 0 \text{ mm}$ $A_{sdb} := -0.0005 \text{ mm}$ $A_{idb} := -0.0065 \text{ mm}$ Upper deviation for E; Lower deviation for E; Upper deviation for F; Lower deviation for F; Upper deviation for db; Lower deviation for db;	$excel_{B1} := Total$ $excel_{B2} := Cr_{neg}$ $excel_{B3} := Cr_{poz}$ $excel_{C2} := Scrap$ $excel_{C3} := Prod$ <table><tr><td>Total</td><td>103</td><td>100%</td></tr><tr><td>Scrap</td><td>90</td><td>87.379%</td></tr><tr><td>Prod</td><td>13</td><td>12.621%</td></tr></table> Chart Title Prod 13% Scrap 87%	Total	103	100%	Scrap	90	87.379%	Prod	13	12.621%
Total	103	100%									
Scrap	90	87.379%									
Prod	13	12.621%									

4.3 Concluzii

În ceea ce privește implementarea sistemului VLM în etapa de asamblare, se pot concluziona următoarele:

- Utilizarea acestora poate aduce îmbunătățiri considerabile în ceea ce privește obținerea de produse conforme, prin utilizarea AG-ul implementat în sistem.
- Diminuarea spațiului de până la 90% , realizat prin economisirea spațiului vertical și stocarea cu densitate mare, datorită unor înălțimi maxime care pot fi atinse de până la 16 metri;
- Creșterea productivității și micșorarea termenului de livrare datorită realizării stocului tampon de elemente componente pe clase de precizie.
- Posibilitate de configurare personalizată, prin implementarea unor două zone suprapuse pentru intrare și ieșire, astfel încât se diminuează timpul de așteptare al tăvii solicitate;
- Maximizarea eficienței de colectare, cu o precizie de 99,9%, datorită tehnicilor de selectare cu presortare;
- Indiferent de dimensiuni, se poate asigura o sarcină de maxim 990 kg/tavă și chiar dacă o sarcină este parțial dezechilibrată în tavă, nu compromite buna funcționare a VLM-ului;

Algoritmul dezvoltat a fost aplicat pe mai multe seturi de abateri dimensionale, dar pentru aceleași dimensiuni nominale ale căilor de rulare pentru cele două inele, respectiv ale elementului de rostogolire, fapt pentru care se pot concluziona următoarele:

- Asamblarea selectivă realizată dintr-un inel exterior cu o abatere negativă a căii de rulare, un inel interior cu o abatere pozitivă a căii de rulare și o bilă cu abatere negativă, cu toleranțe simetrice, rezultatul obținut a fost slab, cu un procent de rebuturi de aproximativ 72% și un procent de produse conforme de aproximativ 28%. Algoritmul fiind parcurs în Anexa 1.
- Asamblarea selectivă realizată dintr-un inel exterior cu o abatere pozitivă a căii de rulare, un inel interior cu o abatere negativă a căii de rulare și o bilă cu abatere pozitivă, cu toleranțe asimetrice, rezultatul obținut a fost foarte bun, cu un procent de rebuturi de aproximativ 11% și un procent de produse conforme de aproximativ 89%. Algoritmul fiind parcurs în Anexa 5.
- Asamblarea selectivă realizată dintr-un inel exterior cu o abatere negativă a căii de rulare, un inel interior cu o abatere pozitivă a căii de rulare și o bilă cu abatere negativă, cu toleranțe asimetrice, rezultatul obținut a fost foarte bun, cu un procent de rebuturi de aproximativ 12% și un procent de produse conforme de aproximativ 88%. Algoritmul fiind parcurs în Anexa 6.
- Diverse combinații de abateri și dimensiuni luate în calcul pentru AS au fost redată și în Anexa 2, Anexa 3, Anexa 4, Anexa 7 și Anexa 8.

Făcând excepție de la dezavantajul investiției mari pentru implementarea acestor VLM, utilizarea acestora în etapa de asamblare folosind AG-ul propus poate aduce următoarele avantaje majore:

- Livrarea comenzilor într-un timp relativ mic, deoarece fluxul tehnologic pornește din etapa de asamblare utilizând stocul tampon pentru fabricarea produsului dorit.
- Diminuarea rebuturilor neremaniabile rezultate în urma asamblării datorată împerecherii neadecvate și corespunzătoare dimensiunilor și toleranțelor specificate în documentația tehnică.

5. STUDIUL UNEI COMPONENTE EFICIENTIZATE A SISTEMULUI VLM

5.1 Conceptul de proiectare pentru fabricare și asamblare

Proiectarea pentru fabricare și asamblare (DFMA) are scopul principal de a oferi îndrumare echipei de proiectare în simplificarea structurii produsului, reducerea costurilor de fabricație și de asamblare și cuantificarea îmbunătățirilor. Practica aplicării DFMA este identificarea, cuantificarea și eliminarea elementelor inutile sau redundante sau ineficiența în proiectarea produsului.

Analiza DFMA s-a dezvoltat de-a lungul anilor într-un concept de sine stătător. Mai mult decât atât, interesul a fost atât de ridicat pentru această metodologie încât a generat și software specializat. DFMA este o marcă înregistrată a firmei Boothroyd Dewhurst, Inc.

Instrumentele software DFMA permit obținerea reducerii costurilor și îmbunătățirea calității într-o perioadă scurtă de timp, încă din stadiul de proiectare. Consumatorul primește produsul pe care îl dorește cu un cost mai mic de la producătorii care au adoptat proiectarea conform conceptului DFMA [55].

DFMA oferă îndrumări precise echipei de proiectare, cu pași bine stabiliți, care vizează îmbunătățirea generală a produselor și a producției, precum și a proceselor de control și service.

Metodologia DFMA se concentrează pe următoarele direcții:

- orientare bună către client;
- scurtarea proceselor de fabricare și asamblare;
- simplificarea structurii produsului;
- reducerea costurilor de producție și de asamblare.

Pentru a fi eficientă, inginerii trebuie să aplice metodologia DFMA cât mai curând posibil în ciclul de proiectare. Astfel, pot detecta rapid și la timp, factorii care pot afecta produsul final din punct de vedere al asamblării și al fabricării.

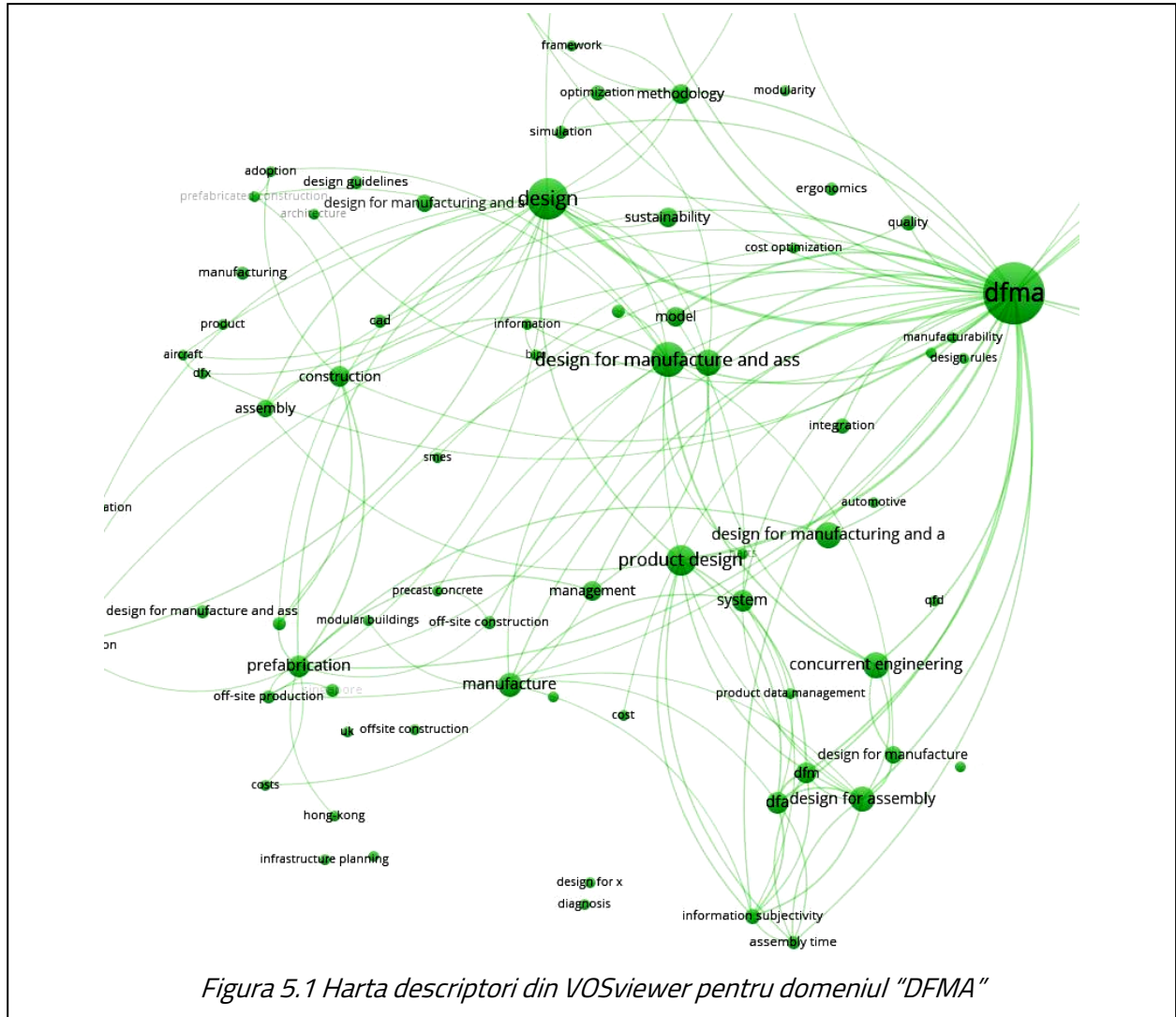
DFMA se concentrează pe trei abordări:

- reducerea numărului de componente (părți, subansambluri) ale unui ansamblu;
- reproiectarea unor componente mai simple, modulare, mai ușor de procesat și controlat și chiar mai ieftine;
- optimizarea tehnologiilor de producție și control.

Beneficiile menționate anterior ale DFMA pot fi obținute numai dacă echipa de proiectare este multidisciplinară.

De-a lungul timpului, DFMA s-a dovedit a fi un ajutor neprețuit în procesul de proiectare și în procesul de inovare a produselor și, ca urmare, această metodologie ar trebui să fie predată în universitățile tehnice unde se formează o nouă generație de ingineri și designeri.

Analizând baza de date din WOS, pentru domeniul "DFMA", s-a constatat că există un interes ascendent în ultimii cinci ani, privind subiectul de proiectare pentru fabricare și asamblare, aplicat în științele ingineresti. De asemenea, urmărind Figura 5.1, s-a constatat că pentru domeniul analizat, termenii cei mai relevanți au fost "design", "concurrent engineering", "manufacture", "sustainability", "methodology", "system" etc.



Analiza în vederea proiectării pentru fabricare și asamblare s-a realizat cu softul DFMA, deoarece acesta reprezintă un concept de sine stătător, dezvoltat de-a lungul anilor datorită interesului ridicat pentru această metodologie. De asemenea, caracteristicile și funcțiile soft-ului sunt complexe, oferind o analiză amplă și sugestivă bazată pe experiențele inginerilor care actualizează constant informațiile noi apărute.

Comparativ cu alte softuri cum ar fi DFMPPro, WINCost sau extensiile de la Autodesk, Siemens, care se pot adauga softurilor de proiectare CAD, oferind o analiză minimă pentru DFM, softul celor de la Boothroyd Dewhurst pune la dispoziție o analiză completă, atât din punct de vedere al fabricării, cât și al asamblării, cu posibilități de creare, modificare și personalizare a parametrilor de intrare, cum ar fi: modificare costuri pentru operații de prelucrare, utilaje, manopere; actualizare librărie procese tehnologice, mașini, instrucțiuni; creare profile personalizate cu parametrii specifici uzuali; creare rapoarte personalizate etc.

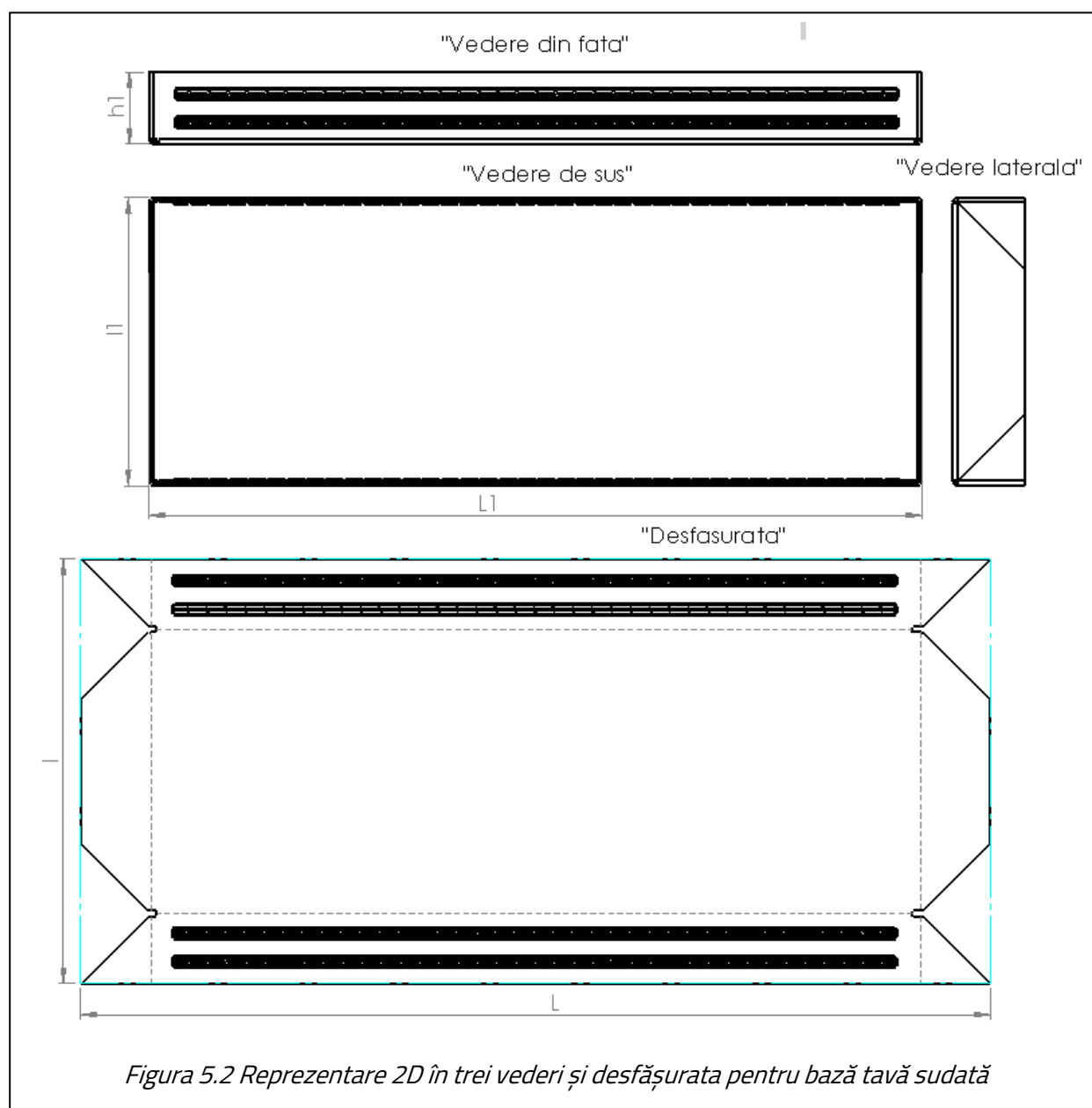
5.2 Proiectare CAD pentru componenta tavă a sistemului VLM

În acest subcapitol, s-a realizat proiectarea CAD a subansamblului tavă, cu ajutorul software-ului Solidworks, componentă a sistemului de stocare pe verticală (VLM) – analizat în capitolul anterior – care este constituită din (Figura 5.4): bază tavă, traversă și despărțitor.

Proiectarea s-a realizat pentru două tipuri de tăvi:

- Tavă sudată**, în care asamblarea componentei bază tavă este realizată prin sudare, la ambele capete;
- Tavă nituită**, în care asamblarea componentei bază tavă se realizează prin operația de nituire, la ambele capete;

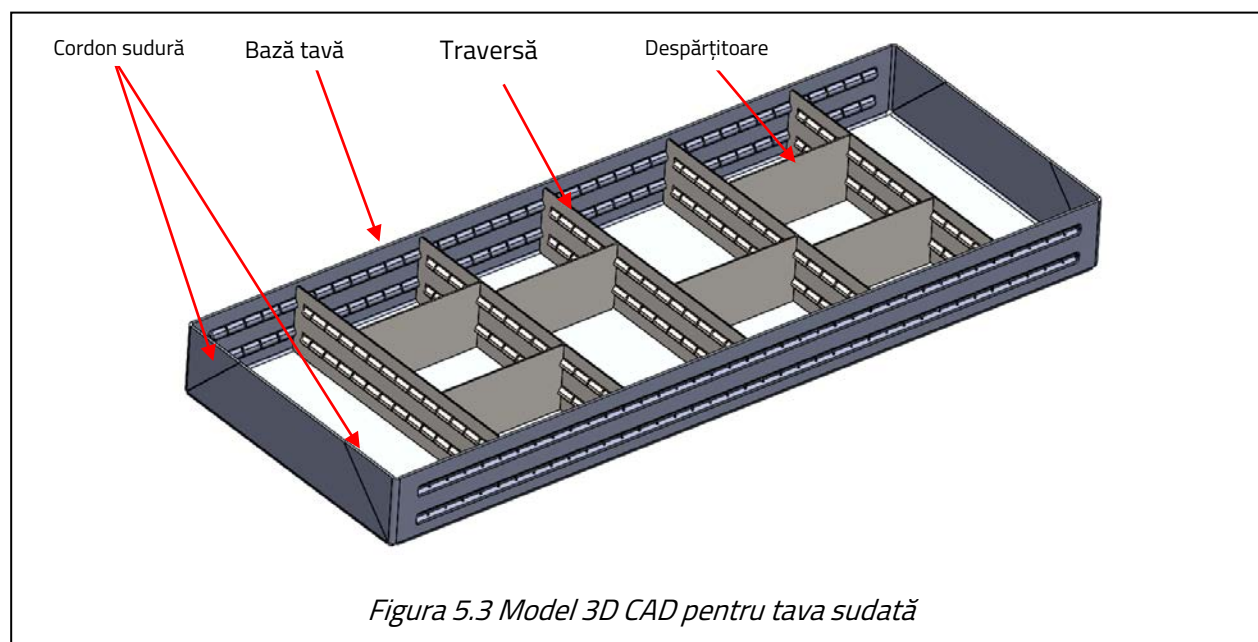
5.2.1 Proiectare CAD pentru ansamblul tavă sudată



Utilizând softul Solidworks, pentru proiectare CAD, în Figura 5.2 a fost redat desenul 2D pentru componenta bază tavă în varianta sudată, având dimensiunile $L_1 \times l_1 \times h_1$, în cele trei vederi principale: vedere din față, vedere de sus și vedere laterală.

De asemenea, baza tavă fiind fabricată din tablă, s-a realizat desfășurata acesteia, având dimensiunile $L \times l \times g$.

Deoarece pentru analiză s-a ales un sistem VLM de dimensiuni mici-medii, modelarea acestei tăvi s-a realizat pentru dimensiunile 1600x600x150 mm.



În Figura 5.3, este reprezentat modelul 3D, în vedere izometrică, pentru tava sudată, cu menționarea elementelor componente. Pentru studiul de caz, s-a decis ca acest ansamblu să aibă în componența sa cinci subansambluri de traverse – un ansamblu traversă fiind realizat din două traverse, dispuse în oglindă – și șase despărțitoare. Bineînțeles, în funcție de nevoia utilizării acesteia, se poate reduce sau majora numărul componentelor [77].

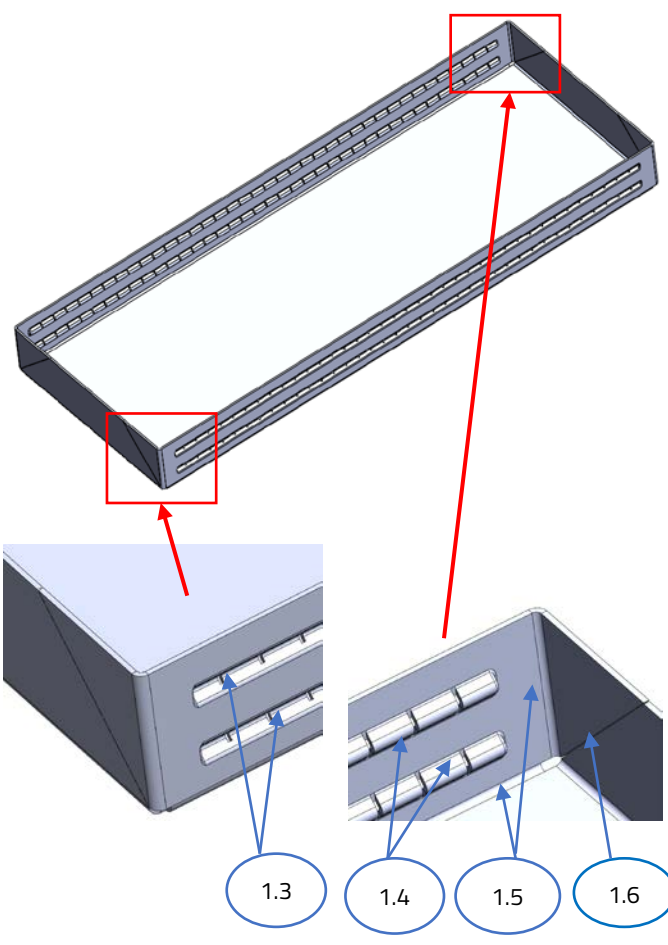
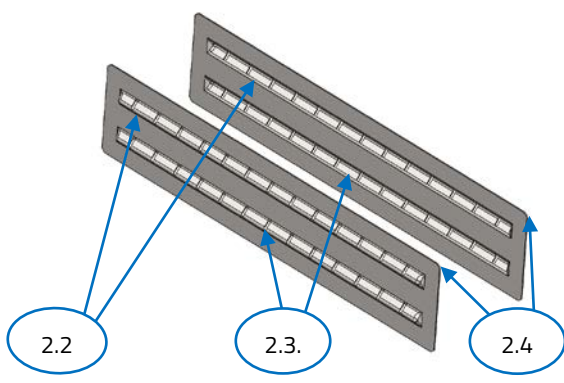
În Tabelul 5.1, au fost redate operațiile necesare fabricării și asamblării acestei tăvi, pentru fiecare componentă în parte.

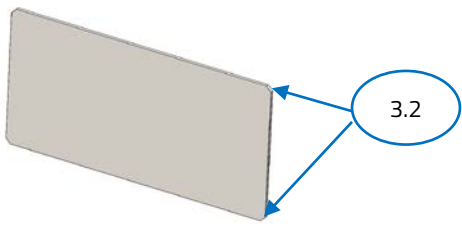
Toate componentele se realizează din prelucrări prin deformare la rece, baza tavă începând de la debitarea în foi de tablă cu dimensiunile $L \times l$, continuând cu tunderea conturului exterior, ambutisarea celor patru forme laterale, perforarea canalelor laterale, îndoire și în final sudarea celor două capete laterale, urmate bineînțeles de operații de pregătire în vederea protecției suprafețelor.

Traversa este debitată din tablă la rolă, la dimensiunile $L \times l$, realizată prin ambutisare și perforare, marcarea și debavurarea, urmate de operații de pregătire în vederea protejării suprafețelor. De asemenea, despărțitorul este debitat și tuns, din tablă la rolă.

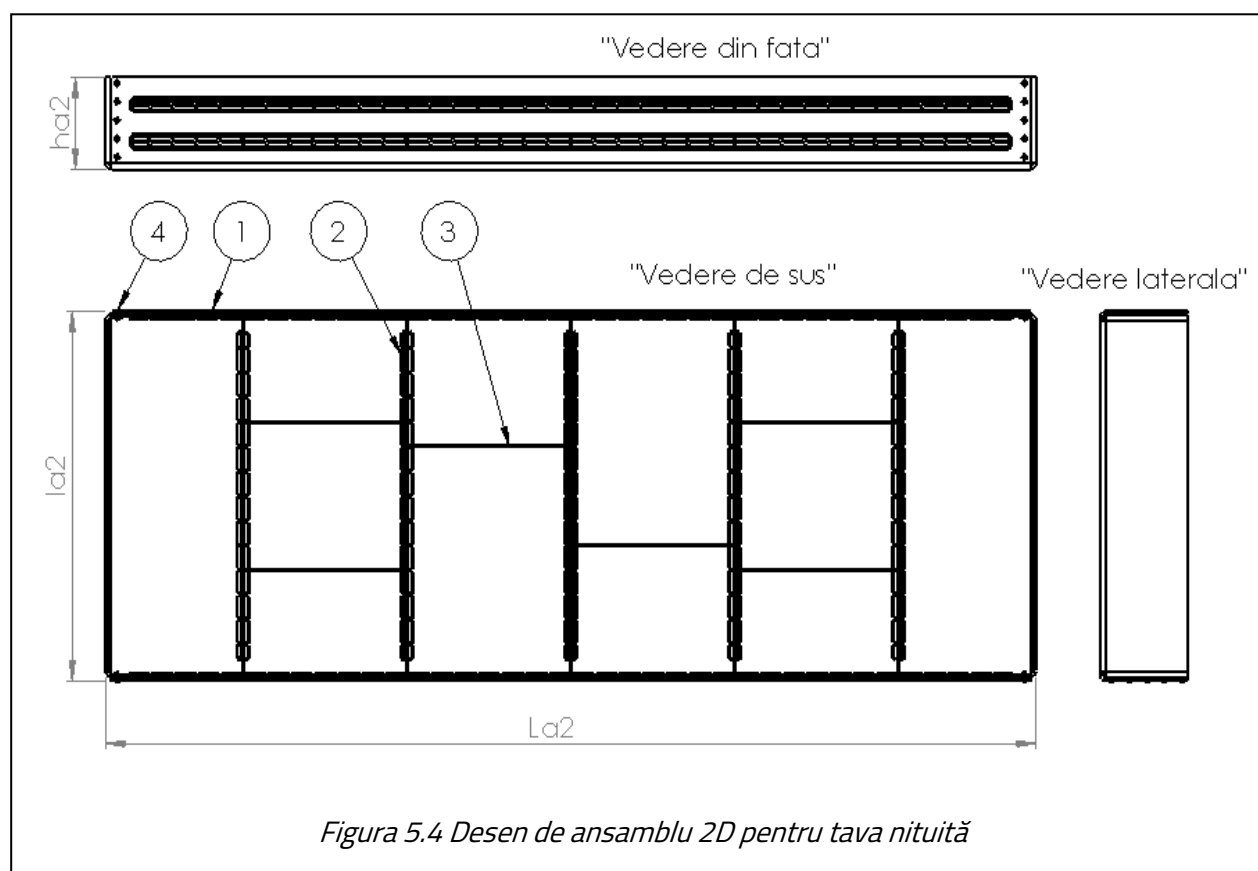
Aceste operații au fost redate în tabelul de mai jos și se vor analiza din punct de vedere economic și eficiență, în subcapitolele următoare.

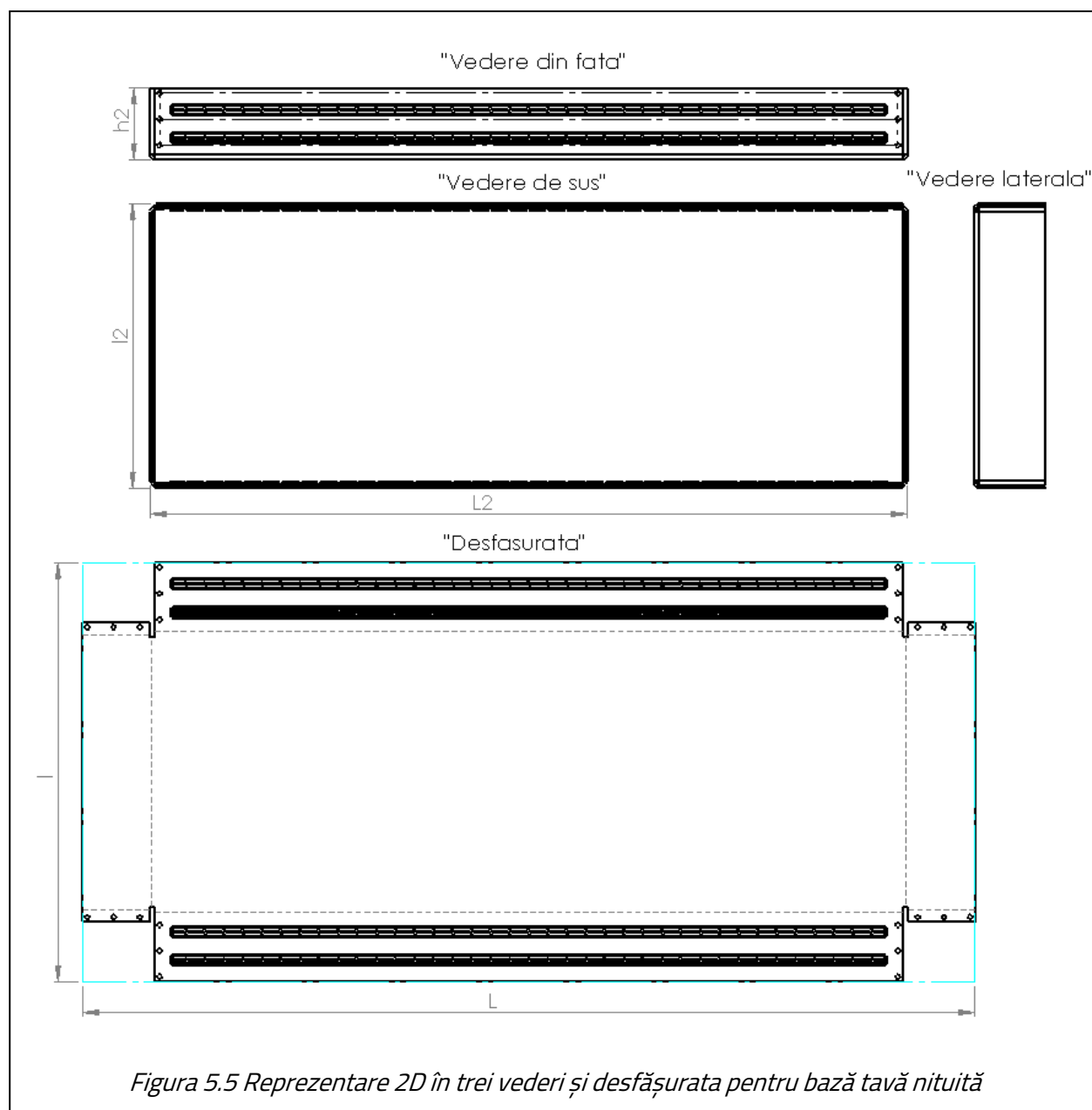
Tabelul 5.1 Filmul operațiilor pentru tava sudată

Produs	Operații
	1.1. Debitare Lxl
	1.2. Tundere contur exterior
	1.3. Ambutisare
	1.3.1. Ambutisare 1
	1.3.2. Ambutisare 2
	1.3.3. Ambutisare 3
	1.3.4. Ambutisare 4
	1.4. Perforare
	1.4.1. Perforare canele 1
	1.4.2. Perforare canele 2
	1.4.3. Perforare canele 3
	1.4.4. Perforare canele 4
	1.5. Îndoire
	1.5.1. Îndoire 1
	1.5.2. Îndoire 2
	1.5.3. Îndoire 3
	1.5.4. Îndoire 4
	1.5.5. Îndoire 5
	1.5.6. Îndoire 6
	1.5.7. Îndoire 7
	1.5.8. Îndoire 8
	1.6. Sudare
	1.7. Marcare
	1.8. Debavurare
	1.9. Degresare
	1.10. Decapare
	1.11. Fluxare
	1.12. Uscare
	1.13. Zincare
	1.14. Verificare vizuală
	2.1. Debitare Lxl
	2.2. Ambutisare
	2.2.1. Ambutisare 1
	2.2.2. Ambutisare 2
	2.3. Perforare
	2.3.1. Perforare canele 1
	2.3.2. Perforare canele 2
	2.4. Tundere colțuri
	2.5. Marcare
	2.6. Debavurare
	2.7. Degresare
	2.8. Decapare
	2.9. Fluxare
	2.10. Uscare

	2.11. Zincare
	2.12. Verificare vizuală
	3.1. Debitare
	3.2. Tundere colțuri
	3.3. Marcare
	3.4. Debavurare
	3.5. Degresare
	3.6. Decapare
	3.7. Fluxare
	3.8. Uscare
	3.9. Zincare
	3.10. Verificare vizuală
	4.1. Asamblare
	4.2. Verificare vizuala
	4.3. Conservare
	4.4. Etichetare
	4.5. Depozitare

5.2.2 Proiectare CAD pentru ansamblul tavă nituită





În Figura 5.4 s-a reprezentat desenul de ansamblu 2D, pentru tava nituită, cu menționarea elementelor componente. De asemenea, s-a ales să aibă în componența sa cinci subansambluri de traverse – un ansamblu traversă fiind realizat din două traverse, dispuse în oglindă – și șase despărțitoare, iar în funcție de nevoia utilizării acestuia, se poate reduce sau majora numărul componentelor.

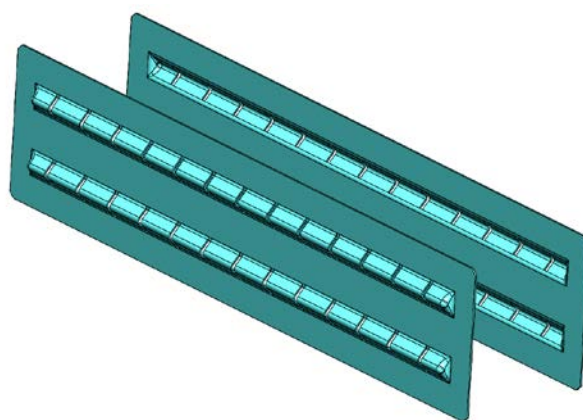
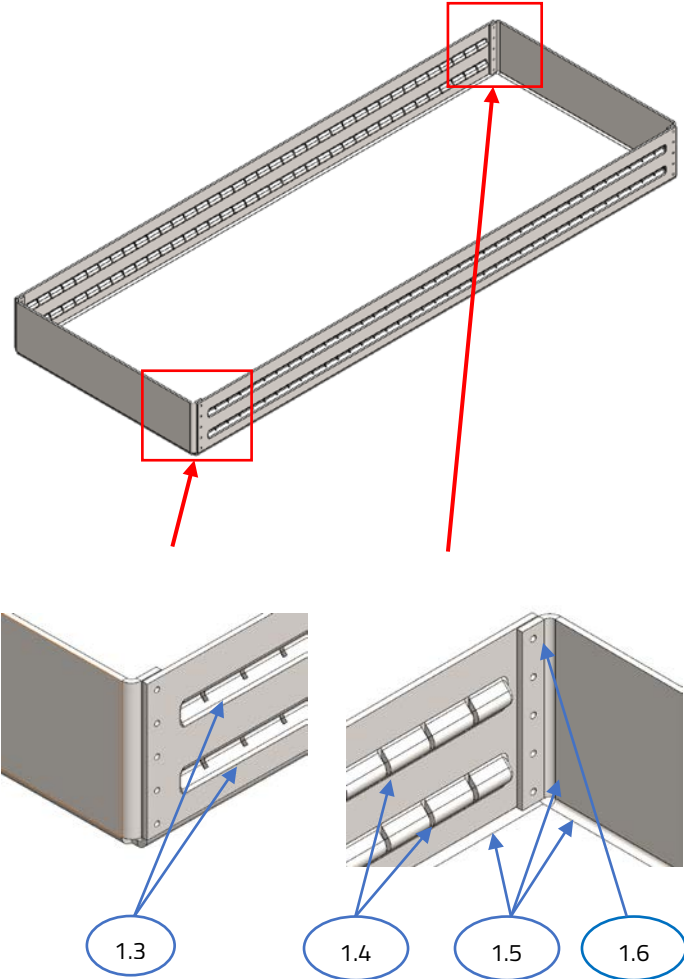
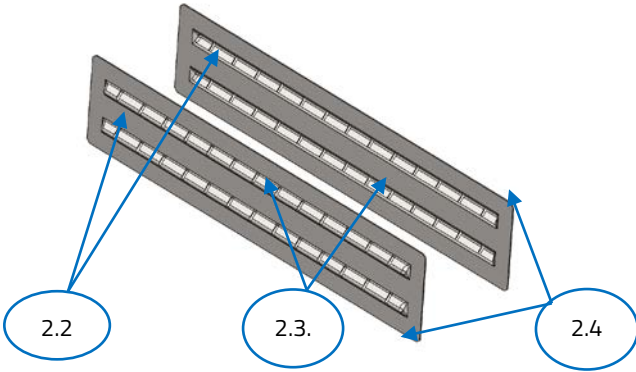
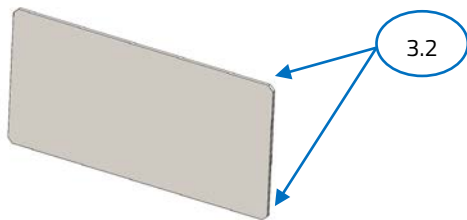


Figura 5.6 Vedere de subansamblu traversă pentru tavă sudată și nituită

Tabelul 5.2 Filmul operațiilor pentru tava nituită

Produs	Operații
	1.1. Debitare Lxl
	1.2. Tundere contur exterior
	1.3. Ambutisare
	1.3.1. Ambutisare 1
	1.3.2. Ambutisare 2
	1.3.3. Ambutisare 3
	1.3.4. Ambutisare 4
	1.4. Perforare
	1.4.1. Perforare canele 1
	1.4.2. Perforare canele 2
	1.4.3. Perforare canele 3
	1.4.4. Perforare canele 4
	1.5. Îndoire
	1.5.1. Îndoire 1
	1.5.2. Îndoire 2
	1.5.3. Îndoire 3
	1.5.4. Îndoire 4
	1.5.5. Îndoire 5
	1.5.6. Îndoire 6
	1.5.7. Îndoire 7
	1.5.8. Îndoire 8
	1.6. Găurire
	1.7. Nituire
	1.8. Marcare
	1.9. Debavurare
	1.10. Degresare
	1.11. Decapare
	1.12. Fluxare
	1.13. Uscare
	1.14. Zincare
	1.15. Verificare vizuală
	2.1. Debitare
	2.2. Ambutisare
	2.2.1 Ambutisare 1
	2.2.2 Ambutisare 2
	2.3. Ștanțare
	2.3.1. Ștanțare canele 1
	2.3.2. Ștanțare canele 2
	2.4. Tundere colțuri
	2.5. Marcare
	2.6. Debavurare
	2.7. Degresare
	2.8. Decapare
	2.9. Fluxare

	2.10. Uscare
	2.11. Zincare
	2.12. Verificare vizuală
	3.1. Debitare
	3.2. Tundere colțuri
	3.3. Marcare
	3.4. Debavurare
	3.5. Degresare
	3.5. Decapare
	3.6. Fluxare
	3.7. Uscare
	3.8. Zincare
	3.5. Verificare vizuală
	4.1. Asamblare
	4.2. Verificare vizuala
	4.3. Conservare
	4.4. Etichetare
	4.5. Depozitare

În Tabelul 5.1 au fost redade operațiile necesare fabricării și asamblării acestei tăvi, pentru fiecare componentă în parte.

Toate componentele se realizează din prelucrări prin deformare la rece, baza tavă începând de la debitarea în foi de tablă cu dimensiunile $L \times l$, continuând cu tunderea conturului exterior, ambutisarea celor patru forme laterale, perforarea canalelor laterale, îndoire și în final sudarea celor două capete laterale, urmate bineînțeles de operații de pregătire în vederea protecției suprafețelor.

Traversa este debitată din tablă la rolă, la dimensiunile $L \times l$, realizată prin ambutisare și perforare, marcare și debavurare, urmate de operații de pregătire în vederea protejării suprafețelor. De asemenea, despărțitorul este debitat și tuns, din tablă la rolă.

Aceste operații sunt redade în tabelul de mai jos și vor fi analizate din punct de vedere economic și eficiență, în subcapitolele următoare.

Pentru realizarea operației de zincare sunt necesare câteva operații premergătoare, care constau în:

- degresarea componentelor prin imersarea într-o soluție alcalină sau acidă, după imersare fiind clătite în apă;
- decapare prin imersarea produselor în acid clorhidric la temperatura mediului ambiant, pentru înlăturarea straturilor de rugină, țunder și aşchii metalice, după imersare fiind clătite în apă;
- fluxare prin imersarea produselor într-o soluție de NH_4Cl (clorură de amoniu) și ZnCl_2 (clorură de zinc) la o temperatură de $65-80^\circ\text{C}$, după imersare fiind uscate și pregătite pentru zincare.

În final realizându-se zincarea termică pentru prevenirea coroziunii pe termen lung.

5.3 Analiza DFMA pentru cele două tăvi proiectate

Modulul DFM conține informații despre materiale, procesul de prelucrare și calcule pentru estimarea rapidă a costurilor de fabricație și finisare, a unei piese sau a unui ansamblu fabricat.

Conceput cu scopul de a izola principalele componente de cost, punând accent pe investigații asupra modificărilor de proiectare pentru reducerea costurilor și pentru compararea proceselor și materialelor alternative pentru procesul de fabricație.

Acest modul urmărește ușurința în fabricare, materialul, SDV-istica și minimizarea costului de fabricație și control prin:

- Adecvarea designului piesei la tehnologiile existente/standardizate/mai ieftine;
- Selecția materialului, prin adecvarea acestuia la tehnologiile existente;
- Optimizarea timpilor procesului de fabricație;
- Strategii de alegere a SDV-urilor în vederea reducerii costului.

Modulul DFA reprezintă o procedură sistematică, utilizată pentru a reduce costul global al produsului prin simplificarea proiectării. Soft-ul ajută la identificarea zonelor cu probleme apărute din proiectarea produsului, face sugestii de reproiectare și cuantifică îmbunătățirile realizate.

Principalul scop DFA este reducerea numărului de elemente componente, iar reducerea numărului de componente are în vedere **principiul KISS** – "*Keep It Simple Stupid*," (cu cât mai simplu, cu atât mai bine).

Ține cont și de conceptul "numărul minim teoretic de piese", care, în general, o nouă piesă în produs este necesară atunci când apare o mișcare cinematică, un material diferit sau asamblarea altor părți ar fi împiedicată.

Indicele DFA este o eficiență de proiectare care se calculează prin împărțirea timpului de proces pentru un produs ideal, la timpul de proces pentru produsul real [25, 92]. Acest raport dintre timpul ideal al procesului și timpul real al procesului este apoi exprimat ca procent folosind formula:

$$DFA_{Index} = \frac{100 \cdot [T_1 + T_2 \cdot (N_{min} - 1)]}{T_a} \quad (4.1)$$

Unde:

- T_1 este timpul ideal al procesului de asamblare pentru manipularea și introducerea primului articol necesar în produs;
- T_2 este timpul ideal al procesului de asamblare pentru manipularea și introducerea fiecărui articol ulterior necesar în produs;
- N_{min} este numărul minim teoretic de articole;
- T_a este timpul real al procesului de asamblare pentru produs.
- T_1 și T_2 diferă atât în funcție de dimensiunea și greutatea produsului, cât și de simetria la 180° a piesei pentru cel puțin una dintre axele sale.

Toate valorile menționate mai sus sunt calculate de software pe baza justificării intrărilor de piese realizate în modulul DFA. Indicele DFA este calculat la intrările reușite, iar pentru designul produsului îmbunătățit, proiectanții își propun să maximizeze indicele DFA, pornind de la recomandările și sugestiile soft-ului pentru reproiectarea produsului.

Tabelul 5.3 Elementele componente ale ansamblului tavă și lotul pentru analiza DFMA

Denumire Ansamblu	Denumire componente	Material	Cantitate	U.M.
Tavă	Bază tavă	DC02	50,000	buc
	Traversă	DC02	500,000	buc
	Despărțitor	DC02	300,000	buc

Pentru o analiză cât mai corectă a ansamblului tavă, după ce acest produs a fost proiectat în două variante, este recomandat ca într-o primă etapă să se facă analiza DFM pentru fiecare componentă în parte, iar în etapa următoare să se realizeze analiza DFA și DFMA pentru fiecare ansamblu.

5.3.1 Analiza DFM pentru ansamblul tavă sudată

Generic low carbon steel sheet metal part

- Separate operations stamping process
 - Minster E2-400 Hevistamper (400 ton)
 - Load and unload part
 - Blank
 - Minster E2-300 Hevistamper (300 ton)
 - Load and unload part
 - Form bends
- Robot MIG fillet weld
- Laser mark
- Hand deburr
- Air nozzle clean
- Wash/degrease part
- Zinc plating
- Inspect visually

Part

Part name: Baza tava sudata_V01

Part number:

Life volume: 50,000

Manufacturing profiles

Current profile: CT Romania

Select a different profile...

Envelope shape

Solid cylinder, Hollow cylinder, Solid block, Hollow block, Stepped block

CAD view

Approximate envelope dimensions

CAD model is in millimeters

X axis, mm: 600.000

Y axis, mm: 150.000

Z axis, mm: 1602.000

Average thickness, mm: 2.000

Select process and material...

Notes

Thumbnail picture

View full, Load file, Clear

Cost results, €

	Previous	Calculate
material	28.24	28.27
setup	0.05	0.05
process	27.21	27.21
rejects	0.84	0.84
piece part	56.34	56.37
tooling	2.03	2.03
total	58.37	58.40
Tooling investment	101,535	101,599

Figura 5.7 Alegerea materialului pentru bază tavă

Prima componenta analizată a fost baza tavă, iar în prima etapă s-a importat modelul 3D CAD cu extensia „step”, realizat în Solidworks, urmată de verificarea dimensională și geometrică a piesei în modulul DFM. S-a stabilit lotul de fabricație de 50,000 buc, care v-a influența costurile SDV-

urilor/piesă, semifabricatul ales fiind din tablă, cu un conținut scăzut de carbon, având densitatea, $\rho=7.83\text{g/cm}^3$ și rezistența la rupere, $\sigma=330\text{MPa}$ [80].

S-a configurat un nou profil de fabricare, CT Romania, față de cel implicit al acestui modul, în care au fost modificați anumiți parametrii, cum ar fi costurile realizării SDV-urilor, costurile de producție pentru utilaje și operatori umani, costuri administrative, timpi de operare s.a. dar ținând cont și de faptul că se intenționează ca produsele obținute să fie exportate în întreaga Europa și nu numai.

Moneda de lucru a fost schimbată în euro, softul fiind implicit setat pe dolari, acesta făcând conversia aferentă schimbului valutar. O parte din aceste modificări se pot observa în Figura 5.7.

Generic low carbon steel sheet metal part

- Separate operations stamping process**
 - Minster E2-400 Hevistamper (400 ton)
 - Load and unload part
 - Blank
 - Minster E2-300 Hevistamper (300 ton)
 - Load and unload part
 - Form bends
 - Robot MIG fillet weld
 - Laser mark
 - Hand deburr
 - Air nozzle clean
 - Wash/degrease part
 - Zinc plating
 - Inspect visually

Basic data

Batch size: 6250

Overall plant efficiency, %: 85

Material cost, €/kg: 1.036

Material scrap value, €/kg: 0.110

Perimeter process: Blank

Gage thickness, mm: 2.000

Stock form: Purchased blank

Part to stock edge clearance, mm: 4.000

Part to part clearance, mm: 4.000

Parts per stroke: 1

Part basic data

Area of part, cm²: 16350.640

Unfolded length, mm: 1902.000

Unfolded width, mm: 900.000

Additional setups

Hole punching: 0

Form feature punching: 0

Combination punch operation: 0

Die bend forming: 1

Press brake: 0

Blank data

Perimeter of blank, mm: 5604.000

Form bends 1 data

Number of bends: 12

Length of bend lines, mm: 2372.082

Cost results, €

	Previous	Calculate
material	27.98	27.98
setup	0.04	0.04
process	1.35	1.35
rejects	0.26	0.26
piece part	29.64	29.64
tooling	1.63	1.63
total	31.28	31.28
Tooling investment	81,599	81,599

Figura 5.8 Alegerea operației de prelucrare prin deformare la rece

În Figura 5.8, s-au prezentat parametrii operației de prelucrare prin deformare la rece, care au fost adoptați din librăria modulului DFM. Datorită dimensiunii relativ mari a desfășuratei produsului bază tavă, Figura 5.2, semifabricatul care s-a adoptat pentru fabricarea acestui reper a fost achiziția de foi cu dimensiuni apropiate desfășuratei "Purchased blank", dar cu un adaos de prelucrare necesar operației de tundere. Alegând acest tip de semifabricat, prima configurație reprezintă o presă pentru ștanțare încărcată manual, unde semifabricatele sunt încărcate manual în ștanță și apoi tăiate pentru a crea forma exterioară a piesei.

Pe baza tarifelor tipice ale utilajelor din industria furnizorilor și a operatorilor pentru lucrările pe mașini, au fost utilizate o parte din sugestiile implicite din biblioteca de utilaje.

În etapa următoare, pentru realizarea operației de sudură, s-a optat pentru sudare MIG cu arc metalic gazos, cu ajutorul unui robot, setând procentul de rebuturi, numărul de cordoane de sudura, lungimea totală a acestora, raza cordonului, costurile fixe cu robotul și consumabilele.

Pentru marcarea produsului, s-a ales o operație de marcăre cu laser, setând un număr 15 caractere și o înălțime de 9 mm, care influențează direct timpul de execuție al acestei operații. S-au setat și timpi pentru preluarea și punerea deoparte a produsului, precum și timpi pentru răsturnarea și repoziționarea piesei în timpul marcării.

La operația de debavurare, se poate opta pentru un șlefuitor cu disc sau un instrument debavurator cu lamă. În acest caz, s-au setat un total de opt muchii, situate pe fiecare latură a tăvii, pentru a fi debavurate. Timpul este influențat direct de greutatea tăvii și lungimea muchiilor ce urmează a fi prelucrate.

Tabelul 5.4 Costurile totale pe operații, timpul total și investițiile necesare pentru bază tavă (extras din DFMA)

Process Chart	Batch size	Cost per part, €							Initial tooling investment	
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total	Operation time per part, s	Initial tooling investment
Generic low carbon steel sheet metal part		28.27	0.05	27.21	0.84	56.37	2.03	58.40	701.40	101,599
Separate operations stamping process	6250	27.98	0.04	1.35	0.26	29.64	1.63	31.28	77.20	81,599
Minster E2-400 Hevistamper (400 ton)			0.02	0.70	0.13	0.86	0.89	1.75	38.69	44,623
Load and unload part			0.02	0.61		0.64	0.89	1.53	33.69	44,623
Blank				0.09		0.09		0.09	5.00	
Minster E2-300 Hevistamper (300 ton)			0.02	0.65	0.13	0.81	0.74	1.55	38.51	36,976
Load and unload part			0.02	0.57		0.59	0.74	1.33	33.51	36,976
Form bends				0.08		0.08		0.08	5.00	
Robot MIG fillet weld		0.05		0.36	0.05	0.47		0.47	54.90	
Laser mark			0.00	1.50		1.50		1.50	153.00	
Hand deburr				0.37		0.37		0.37	38.20	
Air nozzle clean				0.21		0.21		0.21	21.00	
Wash/degrease part			0.00	0.55		0.55		0.55	55.60	
Zinc plating		0.23	0.00	19.92	0.25	20.41	0.40	20.81		20,000
Inspect visually				2.96	0.27	3.22		3.22	301.50	

Înainte de spălarea și degresarea automată a produsului, s-a ales o operație de curățare cu un pistol cu aer, pentru îndepărtarea resturilor și șpanului, ramase în urma ștanțării și debavurării.

Pentru zincarea produsului, au fost așezate două tăvi pe câte un raft, urmând să se facă scufundări automate dintr-un rezervor în alt rezervor.

Iar în final, se realizează o operație de control vizual, pentru identificarea defectelor, pentru fiecare suprafață în parte, cu precădere în zona cordoanelor de sudură și a zonelor ambutisate și perforate, redate în Tabelul 5.1, operația 1.3 și 1.4. Din modulul DFM, se pot exporta diferite rapoarte pentru analiză și trimitere către alte departamente, iar Tabelul 5.4 reprezintă raportul total de costuri/produs, pentru analiza de mai sus.

Generic low carbon steel sheet metal part

Multi-stage tool stamping process

Minster E2-300 Hevistamper (300 ton)

Unload, transfer and load part

Cycle press

Laser mark

Hand deburr

Air nozzle clean

Wash/degrease part

Zinc plating

Inspect visually

Basic data

Batch size: 62500

Overall plant efficiency, %: 85

Material cost, €/kg: 1.036

Material scrap value, €/kg: 0.110

Separation operation: On multi-stage tool

Number of stages: 2

Gage thickness, mm: 2.000

Stock form: Purchased blank

Part to stock edge clearance, mm: 4.000

Part to part clearance, mm: 4.000

Parts per stroke: 1

Part basic data

Area of part, cm²: 890.391

Unfolded length, mm: 868.000

Unfolded width, mm: 290.257

Additional setups

Hole punching: 0

Form feature punching: 0

Combination punch operation: 0

Die bend forming: 0

Press brake: 0

Stage 1 data

Stage type: Compound die

Perimeter of blank, mm: 2316.515

Number of holes: 43

Perimeter of holes, mm: 1716.425

Number of form features: 0

Perimeter of form features, mm: 0.000

Stage 2 data

Stage type: Die bend forming

Number of bends: 7

Length of bend lines, mm: 966.353

Notes

Thumbnail picture

Load file

Thumbnail picture

View full Load file Clear

Cost results, €

	Previous	Calculate
material	3.94	3.94
setup	0.00	0.00
process	0.42	0.42
rejects	0.02	0.02
piece part	4.39	4.39
tooling	0.11	0.11
total	4.50	4.50
Tooling investment	55,734	55,734

Figura 5.9 Alegerea operației de prelucrare prin deformare la rece pentru traversă

Generic low carbon steel sheet metal part

Multi-stage tool stamping process

Minster P2H-160 (180 ton)

Unload, transfer and load part

Cycle press

Laser mark

Hand deburr

Air nozzle clean

Wash/degrease part

Zinc plating

Inspect visually

Basic data

Batch size: 37500

Overall plant efficiency, %: 85

Material cost, €/kg: 1.036

Material scrap value, €/kg: 0.110

Separation operation: On multi-stage tool

Number of stages: 2

Gage thickness, mm: 2.000

Stock form: Purchased blank

Part to stock edge clearance, mm: 4.000

Part to part clearance, mm: 4.000

Parts per stroke: 1

Part basic data

Area of part, cm²: 398.880

Unfolded length, mm: 556.000

Unfolded width, mm: 283.000

Additional setups

Hole punching: 0

Form feature punching: 0

Combination punch operation: 0

Die bend forming: 0

Press brake: 0

CAD view

Stage 1 data

Stage type: Compound die

Perimeter of blank, mm: 1678.000

Number of holes: 0

Perimeter of holes, mm: 0.000

Number of form features: 0

Perimeter of form features, mm: 0.000

Stage 2 data

Stage type: Die bend forming

Number of bends: 6

Length of bend lines, mm: 693.324

Notes

Thumbnail picture

Load file

Thumbnail picture

View full Load file Clear

Cost results, €

	Previous	Calculate
material	2.45	2.45
setup	0.00	0.00
process	0.30	0.30
rejects	0.01	0.01
piece part	2.77	2.77
tooling	0.09	0.09
total	2.85	2.85
Tooling investment	25,873	25,873

Figura 5.10 Alegere materialului, operațiilor, utilajelor și parametrilor de lucru pentru despărțitor

În mod similar s-au analizat din punct de vedere DFM și celelalte elemente componente pentru ansamblul tavă sudată. În cazul traversei, a fost aleasă o presă mai mică, de 300 tone, un “Minster E2-300 Hevistamper”, iar datorită faptului că produsul este relativ mic, operațiile de prelucrare se fac pe o singură presă, cu mai multe matrițe, în etape succesive.

În prima etapă se realizează debitarea, apoi tunderea și perforarea canalelor, urmând ca în a treia etapă să se facă ambutisarea conform Tabelul 5.1. Semifabricatul fiind sub formă de rolă, alimentând presele automat. După prima operație de debitare, operatorul uman trebuie să realizeze păsuirea produselor pentru etapele următoare.

Celelalte operații de marcăre cu laser, debavurare, curățare cu aer, spălare, degresare, zincare și controlul vizual fiind setate în mod similar cu analiza bază tavă, respectând sugestiile DFM.

În mod similar s-a analizat și reperul despărțitor, având în principiu aceleași operații de prelucrare, după cum se observă în arborele de analiză, din Figura 5.10.

Pentru analiza unui raport complet, detaliat pentru fiecare operație în parte, atât din punct de vedere financiar, cât și în ceea ce privesc timpii de lucru pentru fiecare utilaj și operație, modulul DFM poate exporta astfel de rezultate, rezultate care sunt redată în Anexa 9, Anexa 10, Anexa 11 și Anexa 12.

5.3.2 Analiza DFM pentru ansamblul tavă nituită

Generic low carbon steel sheet metal part

- Separate operations drawing process
- Laser mark
- Hand deburr
- Air nozzle clean
- Wash/degrease part
- Zinc plating
- Inspect visually

Part

Part name: Baza tava nituita
 Part number:
 Life volume: 50,000

Manufacturing profiles

Current profile: CT Romania
 Select a different profile...

Envelope shape

Solid cylinder, Hollow cylinder, Solid block, Hollow block, Stepped block

CAD view

Approximate envelope dimensions

CAD model is in millimeters

X axis, mm: 600.000
 Y axis, mm: 150.000
 Z axis, mm: 1600.000
 Average thickness, mm: 2.000

Forming direction:
 Principal axis:
 Select process and material...

Notes

Thumbnail picture

View full, Load file, Clear

Cost results, €

	Previous	Calculate
material	30.12	30.12
setup	0.08	0.08
process	30.12	30.12
rejects	1.64	1.64
piece part	61.96	61.96
tooling	9.17	9.17
total	71.12	71.12
Tooling investment	458,386	458,386

Figura 5.11 Alegere material și setare geometrică pentru bază tavă nituită

Pentru a studia din punct de vedere DFM, produsul bază tavă nituită, în prima etapă s-au parcurs aceiași pași folosiți la analiza bază tavă sudată, prezentați în Figura 5.7. Materialul ales fiind același semifabricat de tip foi din tablă, cu un conținut scăzut de carbon, având densitatea, $\rho=7.83 \text{ g/cm}^3$ și rezistența la rupere, $\sigma=330 \text{ MPa}$, mergând pe același profil de fabricare, CT Romania, informații regăsite în Figura 5.11.

S-au setat detaliile prelucrărilor, cum ar fi forma piesei concavă, razele de îndoire, eliminarea flanșei prin operația de tundere, selectarea numărului de găuri, numărului de îndoiri s.a. Celelalte operații necesare, care au fost trecute în arborele de prelucrare, au fost setate similar cu cele de la analiza anterioară. În etapa de marcare cu laser, s-a estimat costul de configurare și costul procesului pentru efectuarea acestei operații.

Eficiența medie a tuturor operațiilor a fost setată la 85%, care este egală cu timpul de funcționare al mașinii sau timpul real de producție, împărțit la timpul total de producție disponibil. Timpii de funcționare sunt timpi reali pentru a efectua operația cu o eficiență de 100%.

5.3.3 Analiza DFA pentru ansamblul tavă sudată

În Figura 5.12 este reprezentată diagrama structurii produsului, care conține atât produsele care fac parte din ansamblu tavă sudată, cât și operațiile necesare asamblării, iar în partea dreaptă, o privire generală asupra ansamblului, în care se regăsesc dimensiunile de gabarit, costul/oră de asamblare al operatorului, volumul de produse, locația unde se realizează asamblarea etc.

Atunci când a fost selectată o componentă din structura produsului și menținută secțiunea de întrebări activă, softul pune la dispoziție o gamă minimă necesară de informații, pe care le putem utiliza în analiza de asamblare. Acest lucru se poate observa în Figura 5.13, unde a fost interogată produsul bază tavă și se pot regăsi informații precum forma și greutatea produsului, rolul acestuia în ansamblu, dificultăți vizuale și manipulare, dificultăți de rezistență și aliniere, date despre fabricarea produsului etc.

În prima etapă de interogare trebuie stabilit rolul funcțional al piesei analizate. În cazul de față, baza tavă fiind produsul principal, la care se vor asambla următoarele componente aferente ansamblului, a fost selectat ca având un alt rol decât cel al elementelor de conexiune sau legătură, apoi bifat ca fiind piesa de bază, care de obicei este selectat la prima piesă din ansamblu. În a doua etapă, interogarea se axează pe dificultăți de manipulare a produsului, în funcție de greutatea și dimensiunile de gabarit ale acestuia. Bază tavă având o dimensiune relativ mare, a fost selectată manipulare de către doi operatori umani, fără a fi nevoie de un sistem de ridicare mecanizat.

Pasul trei, reprezintă asamblarea produsului la piesa de bază, atunci când are un sistem de lipire, un element de înșurubat, dar aici nu a fost cazul, deoarece produsul este piesa de bază, pe care urmează să se asambleze celelalte componente. La pașii următori, care constau atât în dificultăți de aliniere și opunere de rezistență, restricții vizuale, cât și alți factori care îngreunează asamblarea, pentru produsul bază tavă nu a fost cazul de aliniere cu alt produs sau de fixare prin opunere de rezistență. De asemenea, nu au fost restricții vizuale, dar a fost aleasă opțiunea de susținere a produsului, având o greutate relativ mare, interogări redată în Figura 5.13. Pentru fiecare componentă, aceasta interogare s-a realizat în mod similar, dar alegând opțiunile aferente fiecărui rol al produsului.

Questions **Worksheet** **Redesign**

Tava VLM sudata

- Reading instructions
- Baza tava sudata
- Reorientation of assembly
- Subansamblu Traversa
 - Traversa 1
 - Traversa 2
- Adjustment of item by hand
- Despartitor
- Adjustment of item with tool
- Mark label

Assembly

Part number:

Manufacturer

Name:

Location:

Life volume:

Assembly data

Labor rate, €/hr:

Overall plant efficiency, %:

Cost of assembly fixture, €:

Envelope dimensions, mm

X axis, mm:

Y axis, mm:

Z axis, mm:

Product summary

Parts & unanalyzed subs	17
Separate operations	26
Theoretical minimum items	4
DFA index	10.39

Notes

Thumbnail picture

Figura 5.12 Diagrama structurii cu datele de intrare pentru ansamblul tavă sudată

Questions **Worksheet** **Redesign**

Tava VLM sudata

- Reading instructions
- Baza tava sudata
- Reorientation of assembly
- Subansamblu Traversa
 - Traversa 1
 - Traversa 2
- Adjustment of item by hand
- Despartitor
- Adjustment of item with tool
- Mark label

Item

Part number:

Repeat count:

Cost of special assembly tools, €:

Item weight

☐ Less than 5 lb (2.27kg)

☐ From 5 lb (2.27kg) to 30 lb (13.6kg)

☒ More than 30 lb (13.6kg)

Envelope dimensions

CAD model is in millimeters

X axis, mm:

Y axis, mm:

Z axis, mm:

Item function

Item has no function except to:

☐ Fasten or secure other items

☐ Connect other items

☒ Item has other function

Minimum part criteria

Item must be separate from all other items assembled, because:

☒ Base part (usually only the first)

☐ Moves relative to all other items

☐ Must be a different material

☐ Separate to allow assembly

☐ No fundamental reason exists

Handling difficulties

☐ Crane required

☒ Two persons required

☒ No feature allows for easy grasping

☐ Item is flexible

☐ Awkward to handle

☐ Item requires unpacking

Securing process

☒ Added not secured

☐ Snap/push fitting

☐ Threaded fastening

☐ Self-stick securing

Alignment and resistance difficulties

☒ No locating features

☐ Multiple insertion points

☐ Small clearances

☐ Excessive insertion force

☐ Jamming or wedging

☐ Mating location not secure

Vision difficulties

☒ No vision restrictions

☐ Minor vision restrictions

☐ Severe vision restrictions

Other insertion factors

☒ Support weight during insertion

☐ Regrasping required

☐ Large depth of insertion (> 1in or 25mm)

Manufacturing data

Piece part cost, €:

Item cost, €:

Tooling investment, €:

Notes

Thumbnail picture

Figura 5.13 Interogare generală pentru produsul bază tavă sudată

În cazul traversei, rolul acesteia în ansamblu nu face parte din categoria elementelor de conexiune sau fixare, ci având o altă funcție. Subansamblu traversa, constituit din doua traverse asamblate în oglindă, reprezintă un criteriu de operație independenta fata de piesa de baza, împerecherea celor doua nefiind securizata, având o mica dificultate de aliniere și orientare la introducerea subansamblului traversa în canalele laterale ale bazei tavă.

Urmărind foaie de lucru a ansamblului tavă sudată, în care sunt cuantificate răspunsurile interogărilor, de la pasul anterior, se pot regăsi numărul total de piese, subansambluri sau operații ale ansamblului, numărul de repetări la intrare, timpul și costul de asamblare. De asemenea, au fost introduse operații suplimentare, precum citirea fișei pentru instrucțiuni de asamblare, de reorientare a piesei de bază pentru eficientizarea asamblării, ajustarea componentelor cu anumite scule, etichetare s.a.

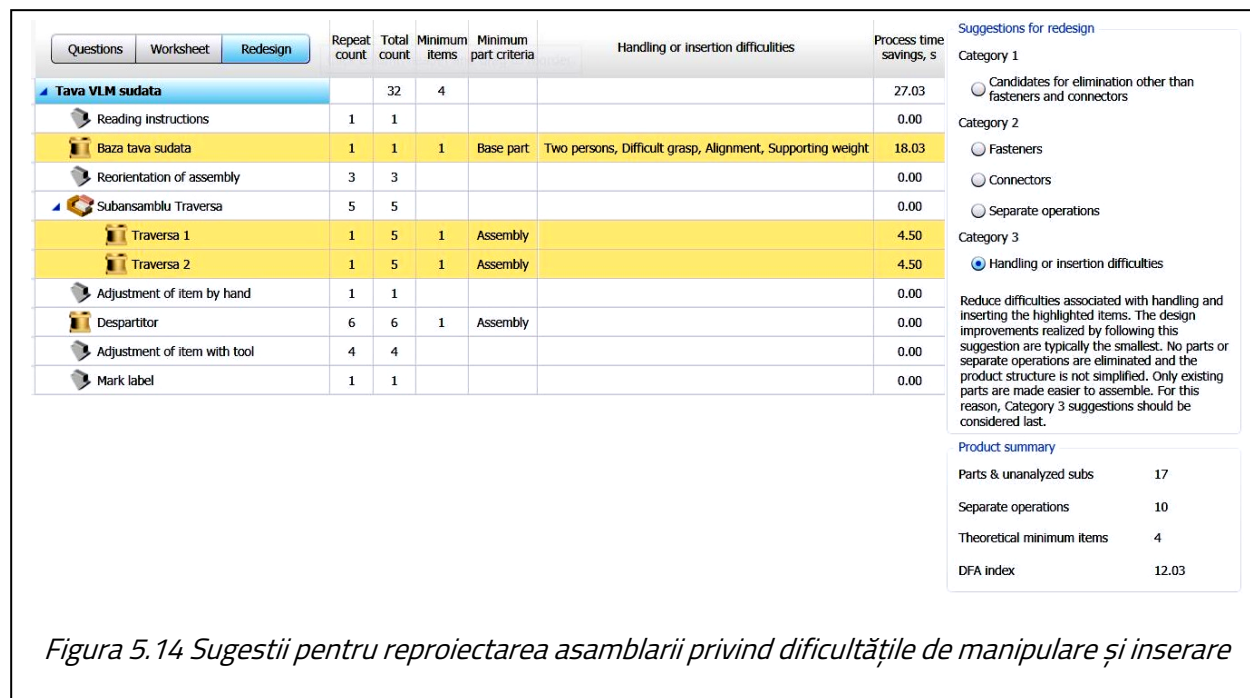


Figura 5.14 Sugestii pentru reproiectarea asamblării privind dificultățile de manipulare și inserare

În final, modulul DFA realizează niște sugestii și recomandări din punct de vedere al asamblării, pe trei categorii, pentru reproiectarea anumitor elemente componente din produsul final, eliminarea anumitor conectori, operații suplimentare, micșorare de timpi, astfel încât indicele DFA să fie cât mai mare.

După cum se observă în Figura 5.14, au fost câteva sugestii care au fost luate în considerare în etapa următoare de analiză, precum posibilitatea de reducere a dificultăților de împerechere a traverselor și introducere în canale.

Analizând graficele cu produse și timpii de execuție, în cazul profilului produsului s-a constatat că cele mai multe operații de asamblare au fost pe subansamblurile traversă și despărțitor, soft-ul indicând eliminarea acestora, dar motivul pentru care nu au fost eliminate, a fost rolul acestora în utilizarea produsului final.

De asemenea, timpul de asamblare cel mai mare a fost în asamblarea traverselor și despărțitoarelor, trecând peste aceasta sugestie a soft-ului, de îmbunătățire a timpilor de asamblare și continuând analiza. Plecând de la ecuația (4.1), pentru bază tavă, soft-ul a calculat un indice **DFA = 12.03**, un indice care în realitate nu poate atinge valoare maximă.

S-a constatat faptul că asamblarea traverselor și despărțitoarelor, fiind încadrate la operații ce pot fi eliminate, au procentul cel mai mare din costul total de asamblare, 6.78 €/produs.

Raportul total pentru analiza DFA a fost redat în Figura 5.16, în care sunt incluse quantumul de intrări și timpul de asamblare defalcat pe subansambluri și operații separate.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.**Analysis Totals for Design for Assembly (DFA)****Entries including repeats****Tava sudata**

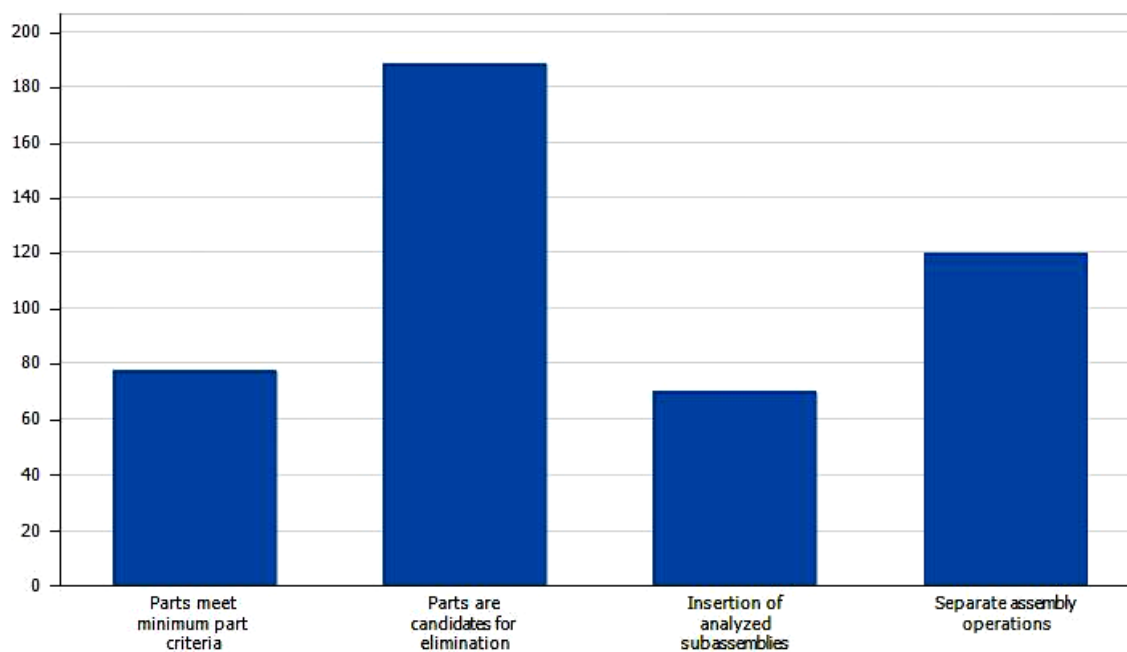
Parts meet minimum part criteria	4
Parts are candidates for elimination	13
Analyzed subassemblies	5
Separate assembly operations	10
Total entries	32

Assembly labor time, s

Parts meet minimum part criteria	77.47
Parts are candidates for elimination	188.03
Insertion of analyzed subassemblies	69.55
Separate assembly operations	119.73
Total assembly labor time	454.78

Design efficiency

DFA Index	12.03
-----------	-------

Assembly labor time, s*Figura 5.15 Rezultatul analizei totale DFA pentru tava sudată*

5.3.4 Analiza DFA pentru ansamblul tavă nituită

Din Figura 5.17, comparativ cu Figura 5.12, se observă faptul că în structura ansamblului a fost introdus produsul „pop-nit” și operația de nituire cu un pistol pneumatic.

Questions | **Worksheet** | **Redesign**

Tava VLM cu nituri

- Reading instructions
- Baza tava nituita
- Reorientation of assembly
- Pop-nit
- Pop riveting
- Subansamblu Traversa
 - Traversa 1
 - Traversa 2
- Adjustment of item by hand
- Despartitor
- Adjustment of item with tool
- Mark label

Assembly

Part number:

Manufacturer

Name:

Location:

Life volume:

Assembly data

Labor rate, €/hr:

Overall plant efficiency, %:

Cost of assembly fixture, €:

Envelope dimensions, mm

Product summary

Parts & unanalyzed subs	37
Separate operations	48
Theoretical minimum items	4
DFA index	4.88

Notes

Thumbnail picture

☐ Freeze

Figura 5.16 Diagrama structurii produsului tavă nituită

Questions	Worksheet	Redesign	Repeat count	Total count	Minimum items	Minimum part criteria	Process time per entry, s	Process time per product, s	Process cost per product, €
Tava VLM cu nituri				90	4			1125.42	15.80
Reading instructions			1	1			32.00	32.00	0.42
Baza tava nituita			1	1	1	Base part	33.94	33.94	0.89
Reorientation of assembly			5	5			49.65	49.65	1.30
Pop-nit			20	20	0	Fastener	331.74	331.74	4.34
Pop riveting			20	20			247.04	247.04	3.23
Subansamblu Traversa			5	5			69.55	69.55	0.91
Traversa 1			1	5	1	Assembly	14.81	74.05	0.97
Traversa 2			1	5	1	Assembly	14.81	74.05	0.97
Adjustment of item by hand			1	1			4.50	4.50	0.06
Despartitor			6	6	1	Assembly	83.46	83.46	1.09
Adjustment of item with tool			20	20			101.52	101.52	1.33
Mark label			1	1			23.92	23.92	0.31

Figura 5.17 Foaie de lucru pentru ansamblu tavă nituită

Similar cu analiza pentru tava sudată, s-a analizat și tava nituită. În prima etapă de interogare s-a stabilit rolul funcțional al piesei analizate, iar în cazul de față, baza tavă fiind produsul principal, la care se vor asambla următoarele componente aferente ansamblului.

Acest produs a fost selectat ca având un alt rol decât cel al elementelor de conexiune sau legătură, apoi bifat ca fiind piesa de bază, care de obicei este selectat la primul produs din ansamblu.

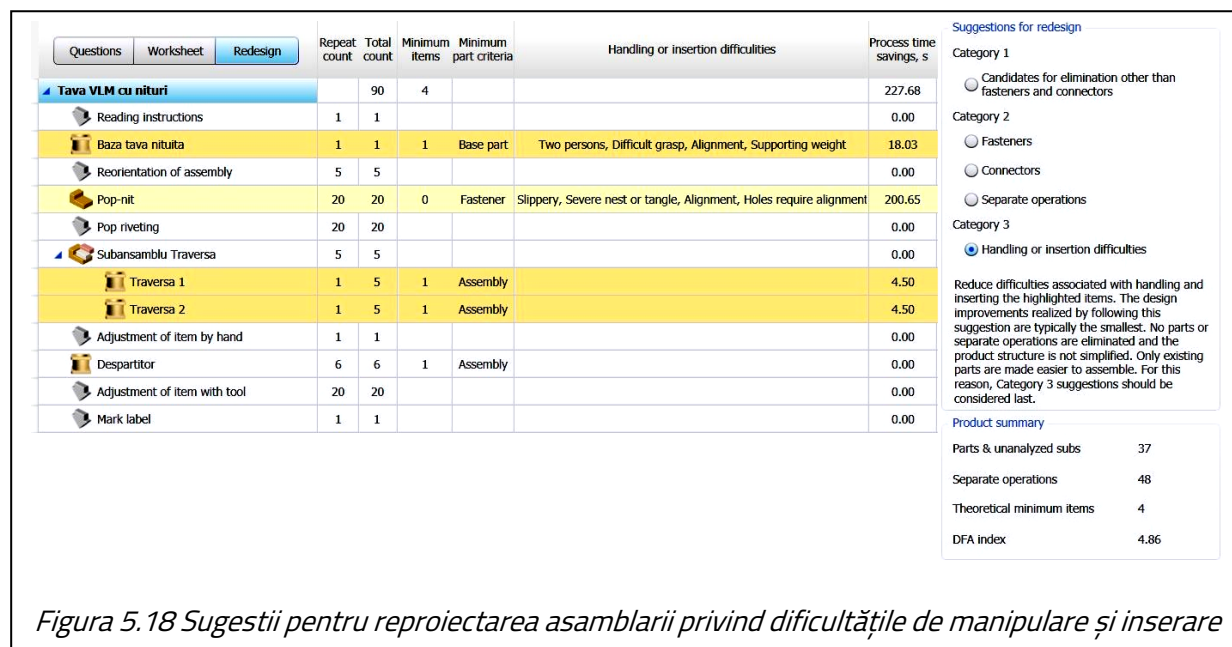


Figura 5.18 Sugestii pentru reproiectarea asamblării privind dificultățile de manipulare și inserare

În a doua etapă, interogarea se axează pe dificultăți de manipulare a produsului, în funcție de greutatea și dimensiunile de gabarit ale acestuia. Baza tavă având o dimensiune relativ mare, a fost selectată manipulare de către doi operatori umani, fără a fi nevoie de un sistem de ridicare mecanizat.

În Figura 5.18 și Figura 5.19, se regăsește foaia de lucru în care au fost cuantificate elementele componente, operațiile de asamblare, timpii, costurile, respectiv sugestiile softului cu privire la acest ansamblu.

S-a constatat că pe lângă recomandările primite la tava sudată, în acest caz ne îndrumă către diminuarea numărului de nituri folosite la asamblare, dar nu a fost micșorat, deoarece acesta a fost numărul obținut în calculele de rezistență.

Pentru această variantă, s-a observat că există un număr foarte mare în zona operațiilor separate, cum ar fi operații suplimentare sau auxiliare necesare asamblării. De asemenea, numărul de intrări pe organe de asamblare, în care sunt incluse pop-niturile, a fost relativ mare.

Comparativ cu tava sudată, în care timpul de asamblare a fost de aproximativ 45s, în cazul asamblării nituite, timpul a fost mai mult decât dublu, de aproximativ 112s. Caz, în care s-a observat ca timpul cel mai mare a fost realizat în asamblarea pop-niturilor.

În ceea ce privesc costurile de asamblare, pentru tava nituită a rezultat un cost de asamblare de aproximativ 15.80 €/buc, în comparație cu 6.58 €/buc pentru tava sudată. De asemenea, s-a constatat că cele mai mari costuri a fost în operațiile de asamblare cu nituri.

În acest caz, indicele pentru eficiența proiectării a fost $DFA=4.86$, comparativ cu primul caz, eficiența proiectării a fost relativ mică. Raportul total pentru analiza DFA a fost redat în Figura 5.20, unde au fost incluse cuantumul de intrări aferente asamblării, defalcat pe subansambluri și operații separate.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Analysis Totals for Design for Assembly (DFA)



Entries including repeats	Tava cu nituri
Parts meet minimum part criteria	4
Parts are candidates for elimination	33
Analyzed subassemblies	5
Separate assembly operations	48
Total entries	90

Assembly labor time, s	
Parts meet minimum part criteria	77.47
Parts are candidates for elimination	519.77
Insertion of analyzed subassemblies	69.55
Separate assembly operations	458.63
Total assembly labor time	1125.42

Design efficiency	
DFA Index	4.86

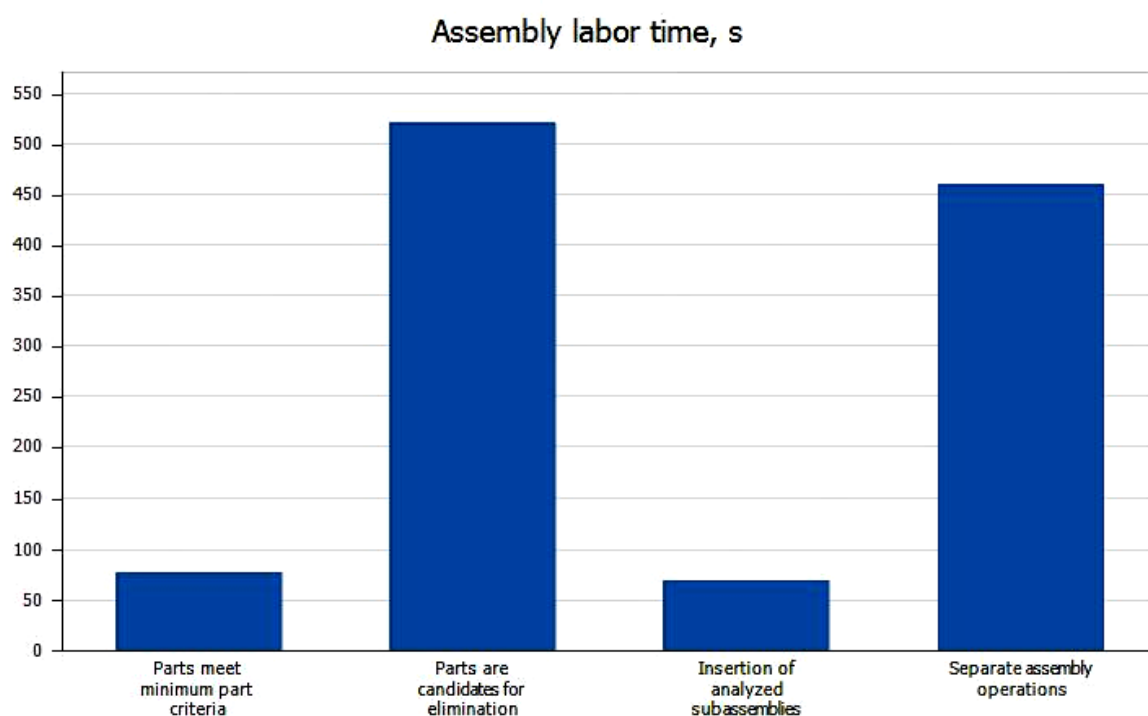


Figura 5.19 Rezultatul analizei totale DFA pentru tavă nituită

5.3.5 Analiza comparativă DFMA pentru cele două tăvi proiectate

Atunci când se face analiza DFA, soft-ul pune la dispoziție și alternativa de fabricare, pentru a lua în calcul ambele analize, DFM și DFA. Prin urmare, pentru a se face analiza completă și cât mai corect, din punct de vedere economic și timp de asamblare, trebuie să se facă analiza DFM pentru fiecare produs în parte, care face parte din ansamblul produsului final.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.**Analysis Totals for Design for Assembly (DFA)**

Entries including repeats	Baseline Tava cu nituri	Tava sudata	Difference	
Parts meet minimum part criteria	4	4	0	0%
Parts are candidates for elimination	33	13	-20	-61%
Analyzed subassemblies	5	5	0	0%
Separate assembly operations	48	10	-38	-79%
Total entries	90	32	-58	-64%

Assembly labor time, s				
Parts meet minimum part criteria	77	77	0	0%
Parts are candidates for elimination	520	188	-332	-64%
Insertion of analyzed subassemblies	70	70	0	0%
Separate assembly operations	459	120	-339	-74%
Total assembly labor time	1125	454.78	-670.64	-60%

Design efficiency				
DFA Index	4.86	12.03	7	147%

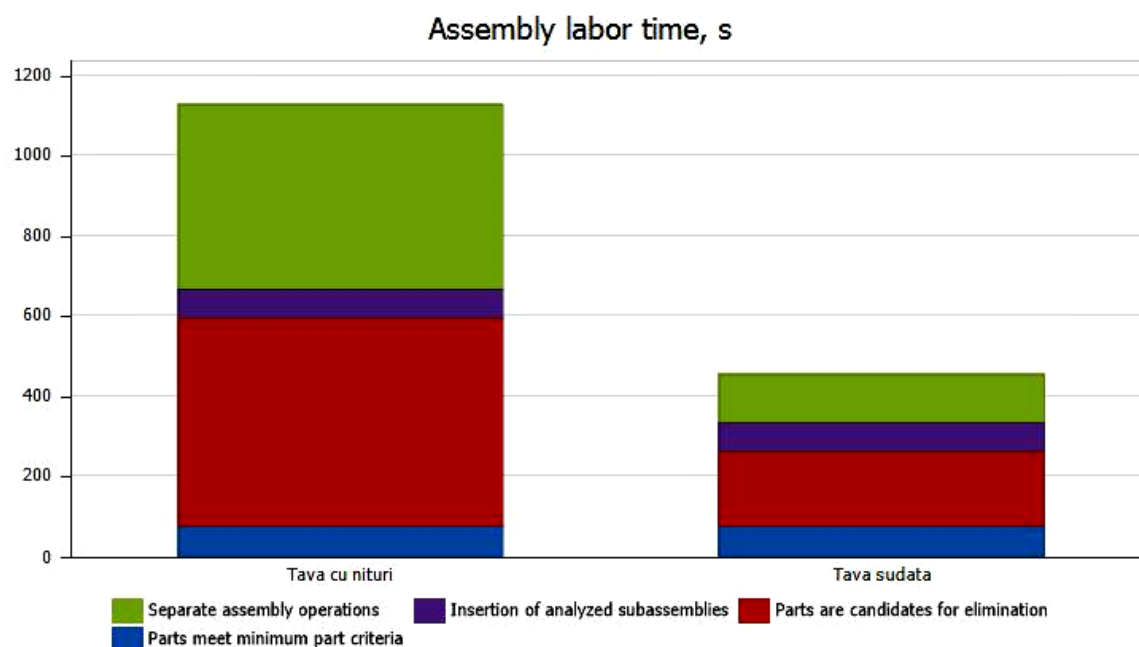


Figura 5.20 Comparația timpului de asamblare și cuantumul de intrări pentru cele două tăvi

Din punct de vedere al costurilor, în Figura 5.22, a rezultat faptul că tava nituită are un cost total de execuție și asamblare de 178.77 €/buc, în schimb tava sudată are un cost mai mic, de doar 157.02 €/buc. Cea mai eficientă variantă a fost tava sudată, cu un timp de asamblare de 454s, față de 1125s pentru tava nituită. De asemenea, indicele DFA a fost îmbunătățit de la 4.86, la 12.03, ceea ce înseamnă o creștere a eficienței de proiectare pentru ansamblul tavă, Figura 5.21.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Analysis Totals for Design for Manufacture and Assembly (DFMA)



Per product costs, €	Baseline Tava cu nituri	Tava sudata	Difference	
Assembly process	15.80	6.78	-9.03	-57%
Manufacturing piece part	146.67	141.08	-5.59	-4%
Total cost without tooling	162.47	147.86	-14.61	-9%
Total tooling cost	16.29	9.16	-7.14	-44%
Total cost	178.77	157.02	-21.75	-12%

Total tooling investment, €

Assembly tools and fixtures	20	20	0	0%
Manufacturing tooling	814,672	457,885	-356,787	-44%
Total investment	814,692	457,905	-356,787	-44%

Production life data and weight

Life volume	50,000	50,000	0	0%
Total production life cost, €	8,938,297	7,850,948	-1,087,349	-12%
Total weight, kg	42.97	43.32	0.35	1%

Per product costs, €

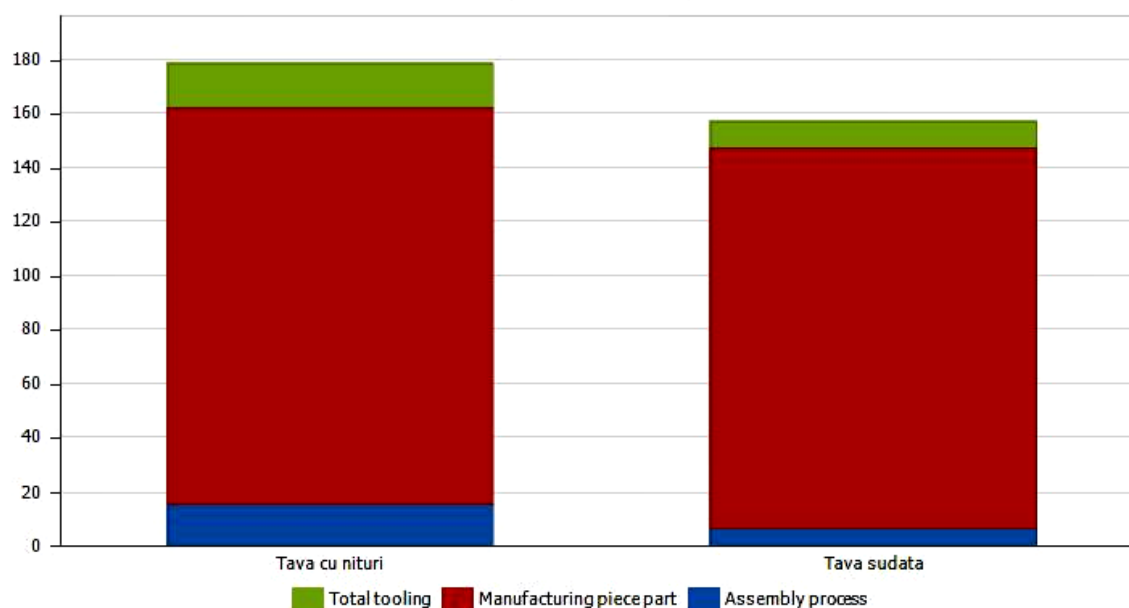


Figura 5.21 Comparația costurilor totale de fabricație/produs pentru cele două tăvi

Rezultatul produsului finit a fost același, de a avea același rol funcțional, aceleași dimensiuni și forme geometrice, dar analizând produsul din punct de vedere al fabricării și asamblării prin moduri și procedee diferite.

Daca se merge pe varianta fabricării în regie proprie, se constată că investiția pentru SDV-istică are o diferență de 44 %, cea mai economică fiind varianta sudată.

De asemenea, în Anexa 9, Anexa 10, Anexa 11 și Anexa 12 au fost redați toți parametrii de lucru și setările din DFMA, pentru fiecare reper în parte, a celor două tăvi, care au fost analizate.

5.4 Concluzii

În urma analizei DFMA pentru cele două produse, tava asamblată prin nituire și tava asamblată prin sudare, urmând sugestiile și recomandările software-ului DFMA pentru reproiectarea acestora, s-a realizat o îmbunătățire asupra design-ului, timpului, procesului și costului de fabricație, pentru fabricarea unui lot de 50,000 buc/an, după cum urmează:

- Diminuarea costului procesului de fabricație cu 4%, de la 146.67 €/buc pentru tava nituită, la 141.08 €/buc pentru tava sudată.
- Diminuarea costului procesului de asamblare cu 57%, de la 15.80 €/buc pentru tava nituită, la 6.78 €/buc pentru tava sudată.
- Diminuarea investiției SDV-urilor cu 44%, de la 814,692 €/buc pentru tava nituită, la 457,905 €/buc pentru tava sudată;
- Eliminarea unor operații de asamblare cu 64%, de la un număr de 48 operații separate pentru asamblarea tăvii nituite, la un număr de 10 operații.
- Reducerea timpului de asamblare cu 60%, de la 18.75 min/buc pentru tava nituită, la 7.58 min/buc pentru tava asamblată prin sudare;
- Creșterea eficienței de proiectare pentru asamblare cu 147%, de la un index DFA=4.86 pentru tava nituită, la un indice DFA=12.03 pentru tava sudată;
- Costurile totale/produs pentru procesul de fabricație și asamblare, au fost diminuate cu aproximativ cu 21.75 €/produs, de la 178.77 €/produs, la 157.02 €/produs;
- Pentru lotul de produse analizat s-a realizat o salvare de cost de aproximativ 1,087,349 €/an, conform rezultatelor obținute în soft-ul DFMA.
- Studiul DFMA a fost analizat și aplicat cu succes pe ansamblul tăvilor, abordând atât aspecte legate de proiectarea produsului, cât și aspecte privind fabricarea și asamblarea acestuia. Încă din etapa de proiectare, au fost luate în considerare capacitățile tehnologice de bază pentru producția produsului.
- În cazul dezvoltării de produse noi (NPD), implementarea conceptului DFMA, este o valoare adăugată adusă produsului nou dezvoltat, punând accent pe calitatea produsului. Rezultatele DFMA s-au dovedit a sprijini cu adevărat ingineria concurentă, având un feedback pozitiv din partea departamentelor ingineresti.

6. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

6.1 Concluzii generale

În cazul tezei de doctorat intitulată **Managementul calității și al riscurilor în cazul procesului tehnologic de asamblare selectivă utilizând algoritmi genetici**, se prezintă studii desfășurate de autor, cu privire la:

- dezvoltarea unui algoritm genetic (AG), aplicat în stadiul procesului de asamblare selectivă, pentru produse constituite din trei elemente componente.
- AG-ul dezvoltat a fost transpus în soft-ul Mathcad, pentru a simula rapid și ușor, datele de intrare și ieșire.
- Analiza AG-ului pentru implementarea în etapa de asamblare a produselor, pe un sistem de stocare pe verticală (VLM), sistem care în prezent este utilizat pentru logistică.
- S-a realizat o analiză pe subansamblul tavă – componenta a sistemului VLM – din punct de vedere al fabricării și asamblării (DFMA), în vederea optimizării acestuia și posibilitatea implementării algoritmului dezvoltat, în cazul procesului de asamblare selectivă.

Algoritmul dezvoltat a fost aplicat într-un studiu de caz, pe asamblarea unui rulment radial cu bile, iar în funcție de capacitățile de fabricare a elementelor componente, având ca date de intrare abaterile dimensionale pentru cele două căi de rulare și bilă, se pot concluziona:

- Conform procedurii propuse prin aplicarea AG-ului în asamblarea selectivă a rulmentului, s-a constatat că cele mai convenabile abateri dimensionale ale suprafețelor de contact trebuie să fie o abatere negativă pentru dimensiunea căii de rulare a inelului exterior, o abatere pozitivă pentru dimensiunea căii de rulare a inelului interior și o abatere negativă pentru dimensiunea elementului de rostogolire;
- Cele mai puțin eficiente combinații au fost pentru o abatere negativă a dimensiunii căii de rulare a inelului exterior, o abatere pozitivă a dimensiunii căii de rulare a inelului interior și o abatere pozitivă pentru dimensiunea bilei;
- În funcție de capacitățile de producție și cerințele clienților pentru clasa de precizie a rulmenților solicitați, aplicând acest AG, se poate alege opțiunea optimă, având o eficiență ridicată a productivității;
- Prin aplicarea modelului matematic dezvoltat, se poate gestiona problema stocului tampon, livrarea către client respectând termenul transmis comenzii;

În urma analizei DFMA pentru cele două produse, tava asamblată prin nituire și tava asamblată prin sudare, urmând sugestiile și recomandările software-ului DFMA pentru reproiectarea acestora, s-a realizat o îmbunătățire asupra design-ului, timpului, procesului și costului de fabricație, pentru fabricarea unui lot de 50,000 buc/an, după cum urmează:

- Diminuarea costului procesului de fabricație cu 4%, de la 146.67 €/buc pentru tava nituită, la 141.08 €/buc pentru tava sudată.

- Diminuarea costului procesului de asamblare cu 57%, de la 15.80 €/buc pentru tava nituită, la 6.78 €/buc pentru tava sudată.
- Diminuarea investiției SDV-urilor cu 44%, de la 814,692 €/buc pentru tava nituită, la 457,905 €/buc pentru tava sudată;
- Eliminarea unor operații de asamblare cu 64%, de la un număr de 48 operații separate pentru asamblarea tăvii nituite, la un număr de 10 operații.
- Reducerea timpului de asamblare cu 60%, de la 18.75 min/buc pentru tava nituită, la 7.58 min/buc pentru tava asamblată prin sudare;
- Creșterea eficienței de proiectare pentru asamblare cu 147%, de la un index DFA=4.86 pentru tava nituită, la un indice DFA=12.03 pentru tava sudată;
- Costurile totale/produs pentru procesul de fabricație și asamblare, au fost diminuate cu aproximativ cu 21.75 €/produs, de la 178.77 €/produs, la 157.02 €/produs;
- Studiul DFMA a fost analizat și aplicat cu succes pe ansamblul tăvilor, abordând atât aspecte legate de proiectarea produsului, cât și aspecte privind fabricarea și asamblarea acestuia, dovedindu-se ca fiind o valoare adăugată unui produs nou dezvoltat.

Implementarea sistemului VLM pe linia de fabricație, în etapa de asamblare a produsului, poate aduce următoarele îmbunătățiri:

- creșterea eficienței managementului calității și al riscurilor;
- eliminarea stocului tampon;
- diminuarea rebuturilor neremaniabile rezultate în urma asamblării selective;
- reducerea timpilor de pregătire a fabricației;
- livrarea rapidă și la termen a comenzilor solicitate.

6.2 Contribuții personale

- S-a realizat o introducere în conceptul managementului calității și al riscurilor, în cazul produselor inovative.
- S-a realizat un studiu scientometric cu ajutorul softului VOSviewer, în care au fost interogate bazele de date din Web of Science, Dimensions și Scopus, pentru subiectul de „asamblare”, în zona ingineriei industriale, de fabricare, mecanice, aerospațiale, managementului.
- S-a constatat faptul că trendul acestui subiect este ascendent, din care s-a dedus că impactul managementului calității și al riscurilor din etapa asamblării unui produs, reprezintă un punct critic pentru lansarea unui nou produs pe piață.
- Din analiza hărții descriptorilor din VOSviewer, pentru domeniul de asamblare, s-a constatat că termenii expuși cu cea mai mare relevanță au fost „design”, „model”, „optimization”, „simulation”, „system”, „genetic algorithm”;
- Termenii cei mai relevanți au fost luați în considerare, urmând trei direcții: design, optimizare și algoritm genetic, cu aplicație pe un studiu de caz al asamblării rulmenților;

- S-au analizat sistemele actuale de depozitare automată;
- A fost realizată o clasificare a acestor sisteme, urmate de avantajele și dezavantajele acestora, cât și de impactul creșterii tendinței de implementare;
- S-a constatat că implementarea directă pe liniile de fabricație/asamblare a fost abordată foarte puțin, acestea fiind folosite foarte mult în zona de logistică;
- Analizând avantajele și dezavantajele acestor sisteme, s-a ales spre analiză sistemul de tip Vertical Lift Module (VLM), care funcționează utilizând trei coloane de bază, cea din mijloc fiind utilizată pentru un dispozitiv de inserție/extracție, care funcționează similar unui ascensor.
- Pentru studiul de caz, s-a ales un rulment radial cu bile pe un rând, 6305.
- Plecând de la o geometrie internă, în care diametrul primitiv, a fost considerat ca fiind situat la o distanță de 55% față de axa de simetrie, cu scopul de a eficientiza capacitatea de încărcare a rulmentului, s-au determinat elementele constructive ale acestuia;
- S-a obținut un algoritm genetic prin modelarea unui calcul matematic, cu scopul de a obține cele mai bune combinații de asamblare: inel interior, element de rostogolire și inel exterior.
- În funcție de abaterile dimensionale ale căilor de rulare pentru cele două inele și ale bilei, loturile de fabricație pentru fiecare componentă a rulmentului au fost împărțite în grupuri de câte șase, stabilite după un rang calculat în funcție de toleranța abaterilor dimensionale.
- Algoritmul dezvoltat a fost transpus în Mathcad, utilizând funcțiile specifice acestui mediu de calcul, pentru obținerea aceluiași rezultat, dar cu o trasabilitate rapidă.
- Scopul principal al acestui algoritm este alegerea celei mai bune combinații pentru asamblarea rulmentului, astfel încât, cu capacități de prelucrare mai puțin performante, să se obțină o clasă de precizie ridicată a rulmentului.
- S-a ales o tavă, ca fiind componenta sistemului VLM adoptat, pentru studiul DFMA, pornind de la proiectarea 3D în Solidworks, în două variante, apoi stabilindu-se operațiile necesare fabricării și asamblării acestora;
- S-au analizat individual, ambele variante de tăvi, proiectarea pentru fabricare (DFM), pentru fiecare componentă în parte a ansamblului tavă.
- S-au analizat individual, ambele variante de tăvi, proiectarea pentru asamblare (DFA), pentru fiecare componentă în parte a ansamblului tavă.
- S-a realizat analiza comparativă DFMA, pentru cele două variante de tăvi, pentru un lot de 50,000 buc/an, constatând că cea mai economică variantă din punct de vedere al fabricării și asamblării este tava sudată.

6.3 Diseminarea rezultatelor

O parte din rezultatele obținute, în urma studiului desfășurat în cadrul stagiului de doctorat, au fost diseminate prin publicarea mai multor articole științifice, ca prim autor, prezentate în cadrul unor conferințe internaționale sau publicate în jurnale de specialitate, după cum urmează:

- 1) **Torcătoru Constantin:** Unele aspecte privind evoluția mediilor ingineresti în tandem cu mediile universitare. AGIR. 1, 1, 108–113 (2019).
- 2) **Torcătoru Constantin:** Aspects of the technological transfer management for capitalizing on the results obtained through scientific research. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. p. 012041 Institute of Physics Publishing (2019). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/514/1/012041>.
- 3) **Torcătoru Constantin, Săvescu Dan:** Aspects regarding the capitalization of remanufactured scrap in the automotive industry using a Paternoster system. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. p. 012026 Institute of Physics Publishing (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/749/1/012026>.
- 4) **Torcătoru Constantin, Săvescu Dan:** Some management's aspects regarding ball bearings minimizing scrap. In: Review of Management and Economic Engineering. pp. 401–409 Todesco Publishing House, Cluj-Napoca, Romania (2020).
- 5) **Torcătoru Constantin, Săvescu Dan:** Analyzing the sustainability of an automotive component using SolidWorks CAD software. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. p. 012113 Institute of Physics Publishing (2019). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/568/1/012113>.
- 6) **Torcătoru Constantin, Săvescu Dan, Valter Narcisa:** Design For Manufacture And Assembly Analysis of the Tray for Vertical Lift Modules. (IN CURS DE PUBLICARE). In: Journal of Research and Innovation for Sustainable Society. , Targu-Jiu (2021).
- 7) **Torcătoru Constantin, Săvescu Dan:** Regarding on management's aspects of minimizing scrap in ball bearings. In: International Conference on Information Science and Information Literacy. (2021). <https://doi.org/https://doi.org/10.2478/9788395815065-042>.

6.4 Direcții viitoare de cercetare

Studiile prezentate în cadrul acestei lucrări, contribuie la evidențierea managementului proceselor de asamblare selectivă, pentru produse constituite din maxim trei elemente componente.

Pentru ca acest proces să devină mult mai atractiv pentru producătorii din domeniu, este nevoie ca procedura propusă să fie considerabil îmbunătățită.

În acest sens, pentru domeniul asamblării selective, pot fi considerate următoarele posibile direcții de cercetare:

- Analiza implementării algoritmului propus, pe mai multe tipuri de produse;
- Analiza implementării algoritmului propus, pe mai multe categorii de rulmenți;
- Extinderea studiului pe ansambluri de produse constituite din mai mult de trei elemente componente;
- Identificarea posibilității de implementare pe linia de asamblare, a mai multor sisteme de stocare VLM, pentru a fi folosite simultan;
- Identificarea posibilității de implementare a algoritmului dezvoltat în Mathcad, direct în soft-ul de manipulare al sistemului VLM;

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Aschenbrenner, A., Wartzack, S.: A Concept for the Consideration of Dimensional and Geometrical Deviations in the Evaluation of the Internal Clearance of Roller Bearings. *Procedia CIRP*. 43, 256–261 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.003>.
2. Asha, A., Rajesh Babu, J.: Comparison of clearance variation using selective assembly and metaheuristic approach. *Int. J. Latest Trends Eng. Technol.* 8, 3, 148–155 (2017). <https://doi.org/10.21172/1.83.020>.
3. Azadeh, K. et al.: Design, modeling, and analysis of vertical robotic storage and retrieval systems. *Transp. Sci.* 53, 5, 1213–1234 (2019). <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0883>.
4. Azadeh, K. et al.: Robotized and automated warehouse systems: Review and recent developments, (2019). <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0873>.
5. Bagchi, T.P.: Defect reduction justification by quantifying hidden costs in bearing production. *Int. J. Oper. Quant. Manag.* 19, 1, 1–23 (2013).
6. BAIN&COMPANY: Automation rapidly scales up across sectors, with coronavirus crisis likely to force acceleration, <https://www.bain.com/about/media-center/press-releases/2020/automation-rapidly-scales-up-with-coronavirus-forcing-acceleration/>, last accessed 2021/02/14.
7. Baker, P., Halim, Z.: An exploration of warehouse automation implementations: Cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Manag.* 12, 2, 129–138 (2007). <https://doi.org/10.1108/13598540710737316>.
8. Bartholdi, J.J., Hackman, S.T.: *Warehouse & Distribution Science*. (2019).
9. Battini, D.M.C.A.P.F.S.: Dual-tray vertical lift modules for fast order picking.
10. Birkinshaw, J. et al.: *Management innovation*, (2008). <https://doi.org/10.5465/AMR.2008.34421969>.
11. Bourgeois, F.: Vers la maîtrise de la qualité des assemblages de précision. 3825, (2007).
12. Boysen, N. et al.: Warehousing in the e-commerce era: A survey. *Eur. J. Oper. Res.* 277, 2, 396–411 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.023>.
13. Cassettari, L. et al.: A 4 . 0 Automated Warehouse Storage and Picking System for Order Fulfillment. In: *World Congress on Engineering*. pp. 978–988 (2021).
14. Chackelson, C. et al.: Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: A Design of Experiments approach. *Int. J. Prod. Res.* 51, 20, 6097–6109 (2013). <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.796421>.
15. Chen, K.S. et al.: A model for evaluating the performance of the bearing manufacturing process. *Appl. Sci.* 9, 15, (2019). <https://doi.org/10.3390/app9153105>.
16. Cohen, Y. et al.: Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the Industry 4.0 era. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 105, 9, 3565–3577 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04595-0>.
17. Colledani, M. et al.: Design and evaluation of in-line product repair strategies for defect reduction in the production of electric drives. In: *Procedia CIRP*. pp. 159–164 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.186>.
18. Colledani, M. et al.: Integrated quality and production logistics modelling for the design of selective and adaptive assembly systems. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 63, 1, 453–456 (2014).

- <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.120>.
19. Custodio, L., Machado, R.: Flexible automated warehouse: a literature review and an innovative framework. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 106, 1–2, 533–558 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s00170-019-04588-z>.
 20. Dan Savescu: About new internal configuration of ball bearings in the way to have improved capacities (Part I). 55th Anniv. Found. Fac. Mech. Eng. VSB. (2005).
 21. Daria, B. et al.: Dual-tray vertical lift module for order picking: A performance and storage assignment preliminary study. *Proc. Summer Sch. Fr. Turco. Industrial Systems Engineering*, 85–90 (2015).
 22. DÖLLINGER ACHIM: Selection of Automated Order Picking Systems: Automated Storage and Retrieval Systems within Contract Logistics. Chalmers University of Technology (2016).
 23. Drucker, H.F.F.W.T.P.F.: Principles of Management. (2014).
 24. Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Y.W.: Taguchi's Quality Engineering. Wiley-Interscience (2004).
 25. Geoffrey Boothroyd, Boothroyd Dewhurst, W.A.K.: Product Design for Manufacturing and Assembly. (2011). <https://doi.org/10.1002/9781118985960.meh202>.
 26. Grosse, E.H. et al.: Human factors in order picking: a content analysis of the literature. *Int. J. Prod. Res.* 55, 5, 1260–1276 (2017). <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1186296>.
 27. Hompel, Michael; Schmidt, T.: Warehouse Management: Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems. SPRINGER (2007).
 28. Ilies, L.: Managementul Calitatii Totale. , Cluj-Napoca (2003).
 29. ISO: 492:2014 - Rolling bearings - Radial Bearings - Geometrical product specifications (GPS) and tolerance values. 2014, 68 (2014).
 30. ISO: ISO 9001:2015 - Quality management systems — Requirements,
<https://www.iso.org/standard/62085.html>, last accessed 2019/03/28.
 31. Jaghbeer, Y. et al.: Automated order picking systems and the links between design and performance : a systematic literature review. *Int. J. Prod. Res.* (2020).
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1788734>.
 32. Jan Roodbergen, K., Vis, I.F.: A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *Eur. J. Oper. Res.* 194, 343–362 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038>.
 33. John, B., Areshankar, A.: Reduction of Rework in Bearing End Plate Using Six Sigma Methodology : A Case Study. *J. Appl. Res. Ind. Eng.* 5, 1, 10–26 (2018).
<https://doi.org/10.22105/jarie.2018.120059.1033>.
 34. Ju, F. et al.: Selective assembly system with unreliable bernoulli machines and finite buffers. *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 14, 1, 171–184 (2017). <https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2604371>.
 35. Ju, F., Li, J.: A bernoulli model of selective assembly systems. *IFAC Proc. Vol.* 19, 1692–1697 (2014).
<https://doi.org/10.3182/20140824-6-za-1003.00525>.
 36. Juran, J.M.A.B.G.: Juran's quality handbook. (2005).
 37. Kachitvichyanukul, V.: Comparison of Three Evolutionary Algorithms: GA, PSO, and DE. *Ind. Eng. Syst. July*, (2014). <https://doi.org/10.7232/iems.2012.11.3.215>.
 38. Kern, D.C.: Forecasting Manufacturing Variation Using Historical Process Capability Data: Applications for Random Assembly, Selective Assembly, and Serial Processing. (2003).
 39. Koster, R. de et al.: Design and control of warehouse order picking : A literature review. (2006).
 40. Kousi, N. et al.: AI based combined scheduling and motion planning in flexible robotic assembly lines. *Procedia CIRP.* 86, 74–79 (2020). <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2020.01.041>.

41. Krüger, J. et al.: Innovative control of assembly systems and lines. *CIRP Ann.* 66, 2, 707–730 (2017). <https://doi.org/10.1016/J.CIRP.2017.05.010>.
42. Kumar, M.S. and Kannan, S.: Optimum manufacturing tolerance to selective assembly technique for different assembly specifications by using genetic algorithm. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 32, 5–6, 591–598 (2007).
43. Kumar, M.P.P.A. et al.: Minimizing clearance variation by applying genetic algorithm in selective assembly. 2, 92–102 (2013).
44. L. Weyand, H.B.: Automotive Final Assembly Planning and Equipment Reuse. In: *International Conference on Competitive Manufacturing COMA'10*. (2010).
45. Le-duc, T.H.: *Design and Control of Efficient Order Picking Processes*. University Rotterdam (2005).
46. Lenoble, N.: *Optimisation de la préparation de commandes dans les entrepôts de distribution*. L'Université de Grenoble (2018).
47. Lihong, Q., Shengping, L.: An improved genetic algorithm for integrated process planning and scheduling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 58, 5–8, 727–740 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3409-0>.
48. Low, C. et al.: Integrated scheduling of production and delivery with time windows. *Int. J. Prod. Res.* 51, 3, 897–909 (2013). <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.677071>.
49. Manzini, R.: *Warehousing in the Global Supply Chain: Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems*. (2012).
50. Marchet, G. et al.: Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach. *Int. J. Logist. Res. Appl.* 18, 1, 82–98 (2015). <https://doi.org/10.1080/13675567.2014.945400>.
51. Mark, C.M.: *Algoritmi genetici*. Universitatea "Tibiscus" (2010).
52. Mayo, E.: *The Hawthorne Experiments Thinker*. - The British Library, <https://www.bl.uk/people/elton-mayo#>, last accessed 2018/10/02.
53. Michalos, G. et al.: Seamless human robot collaborative assembly – An automotive case study. *Mechatronics*. 55, 194–211 (2018). <https://doi.org/10.1016/J.MECHATRONICS.2018.08.006>.
54. Mirdamadi, S. et al.: Cost estimation method for variation management. *Procedia CIRP*. 10, 44–53 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.08.011>.
55. Narcisa VALTER: *Design pentru fabricare si asamblare*. (2019).
56. Nicolas, L. et al.: Order batching in an automated warehouse with several vertical lift modules: Optimization and experiments with real data. *Eur. J. Oper. Res.* 267, 3, 958–976 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.037>.
57. Pašalić, I.: *Analiza protoka vertikalnih podiznih modula*. Fakultet Strojarsstva I Brodogradnje, zagrebu (2015).
58. Peng, H., Lu, W.: Three-Dimensional Assembly Tolerance Analysis Based on the Jacobian-Torsor Statistical Model. In: *MATEC Web of Conferences*. (2017). <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179507007>.
59. Popescu, R.-M.: *Algoritmi genetici*. (2010).
60. Quader, S., Castillo-Villar, K.K.: Design of an enhanced multi-aisle order-picking system considering storage assignments and routing heuristics. *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 50, 13–29 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.12.009>.
61. Raboca H., Profiroiu A., Sabie O.M., Onofrei M., Maxim E., O.F.: *Ghid privind managementul calității programelor de masterat în domeniul administrației publice*. Accent, Cluj-Napoca (2002).
62. Raj, M.V. et al.: Maximising manufacturing system efficiency for multi-characteristic linear

- assembly by using particle swarm optimisation in batch selective assembly. *Int. J. Prod. Res.* 49, 21, 6491–6516 (2011). <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.537388>.
63. Sfetcu, C.-G.: Modelarea și simularea algoritmului genetic în Python pentru aplicații de optimizare.
64. Sgarbossa, F. et al.: Economic and performance analysis of dual-bay vertical lift modules (vlms). *DEStech Trans. Eng. Technol. Res. icpr*, (2018). <https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/19237>.
65. Shewhart, W.: The Grandfather of Total Quality Management., <https://www.skymark.com/resources/leaders/shewart.asp>, last accessed 2019/04/12.
66. Shimon Y. Nof, Wilbert E. Wilhelm, H.W.: *Industrial Assembly*. SPRINGER (1997).
67. Sivakumar, K. et al.: Evolutionary multi-objective concurrent maximisation of process tolerances. *Int. J. Prod. Res.* 50, 12, 3172–3191 (2012). <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.550637>.
68. Sprovieri, J.: ASSEMBLY Capital Spending Report 2019: Manufacturers Continue to Invest in Technology, <https://www.assemblymag.com/articles/95337-assembly-capital-spending-report-2019-manufacturers-continue-to-invest-in-technology>, (2019).
69. Stanciu Ion: Managementul calitatii totale. eBiblioPhil (2003).
70. Stecken, J. et al.: Didactic Concept for Increasing Acceptance of Consistent Data Standards Using the Example of Assistance Systems in Assembly. *Procedia Manuf.* 31, 277–282 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.044>.
71. Syaifoelida, F. et al.: The designing analysis process of constituent attributes by using VSM and Six Sigma to enhance the productivity in industry of bearings. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 788, 1, 0–12 (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/788/1/012021>.
72. Tarasov, V.N. et al.: Research procedure of radial clearances in rolling bearings. *J. Phys. Conf. Ser.* 112028 (2019). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1260/11/112028>.
73. **Torcătoru, C.**: Aspects of the technological transfer management for capitalizing on the results obtained through scientific research. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. p. 012041 Institute of Physics Publishing (2019). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/514/1/012041>.
74. Torcătoru, C.: *Sisteme flexibile automatizate utilizate pentru deservirea echipamentelor de deformare plastica la rece. Lucrare de disertatie*, (2017).
75. Torcătoru, C.: *Studiu privind proiectarea dispozitivelor de presare la rece utilizând Catia si proiectarea tehnologiei de prelucrare mecanica a reperului "capac de protectie", conform desenului anexat, pentru o productie anuala de 280.000 bucati. Lucrare de licenta. Universitatea Transilvania, Brasov, Romania* (2015).
76. **Torcătoru, C.**: Unele aspecte privind evolutia mediilor ingineresti in tandem cu mediile universitare. *AGIR*. 1, 1, 108–113 (2019).
77. **Torcătoru, C.**, Săvescu, D.: Analyzing the sustainability of an automotive component using SolidWorks CAD software. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. p. 012113 Institute of Physics Publishing (2019). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/568/1/012113>.
78. **Torcătoru, C.**, Săvescu, D.: Aspects regarding the capitalization of remanufactured scrap in the automotive industry using a Paternoster system. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. p. 012026 Institute of Physics Publishing (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/749/1/012026>.
79. **Torcătoru, C.**, Săvescu, D.: Some management's aspects regarding ball bearings minimizing scrap. In: *Review of Management and Economic Engineering*. pp. 401–409 Todesco Publishing House, Cluj-Napoca, Romania (2020).

80. **Torcătoru Constantin**, Săvescu Dan, V.N.: Design For Manufacture And Assembly Analysis of the Tray for Vertical Lift Modules. (IN CURS DE PUBLICARE). In: Journal of Research and Innovation for Sustainable Society. , Targu-Jiu (2021).
81. **Torcătoru Constantin**, S.D.: Regarding on management's aspects of minimizing scrap in ball bearings. In: International Conference on Information Science and Information Literacy. (2021). <https://doi.org/https://doi.org/10.2478/9788395815065-042>.
82. Tseng, Y.J. et al.: A multi-plant assembly sequence planning model with integrated assembly sequence planning and plant assignment using GA. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 48, 1–4, 333–345 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2264-8>.
83. Walitsarangkul, A., Kittithreerapronchai, O.: Storage Allocation For Stocked and Buffer Baskets. In: Materials Science and Engineering. (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/893/1/012009>.
84. Wang, S.T.: Integration of a GA and PSO for discussing the impact of 3C product engineering changes on customisation degree. Int. J. Prod. Res. 50, 15, 4224–4236 (2012). <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.603708>.
85. Wang, W.M.; et al.: Modelling and optimization for a selective assembly process of parts with non-normal distribution. Int. J. Simul. Model. 17, 1, 133–146 (2018). [https://doi.org/10.2507/IJSIMM17\(1\)CO1](https://doi.org/10.2507/IJSIMM17(1)CO1).
86. Waterman, T.J.P.R.H.: In Search of Excellence. , United States of America (2004).
87. Weber, A.: Special Report: State of the Profession Report 2017, <https://www.assemblymag.com/articles/93897-special-report-state-of-the-profession-report-2017>, (2017).
88. Zhao, Z.Y. et al.: Application of Innovative Critical Chain Method for Project Planning and Control under Resource Constraints and Uncertainty. J. Constr. Eng. Manag. 136, 9, 1056–1060 (2010). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000209](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000209).
89. Zhu, Z., Qiao, L.: Analysis and control of assembly precision in different assembly sequences. Procedia CIRP. 27, 117–123 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.053>.
90. Zhuang, C. et al.: Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1617-6>.
91. ASRS: A History of Innovation, <https://blog.dematic.com/en-us/ASRS-A-History-of-Innovation/>, last accessed 2021/03/20.
92. DFMA® - Cutting Billions in Manufacturing Costs Since 1983 | Boothroyd Dewhurst, Inc., <https://www.dfma.com/software/dfma.asp>, last accessed 2021/04/01.
93. Logistics automation: Big opportunity, bigger uncertainty | McKinsey, <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/automation-in-logistics-big-opportunity-bigger-uncertainty#>, last accessed 2021/02/14.
94. LogisticsIQ: Warehouse Automation Market to Hit \$27B by 2025, <https://www.roboticsbusinessreview.com/news/report-warehouse-automation-logisticsiq/>, last accessed 2021/02/14.
95. ORDIN 946 04/07/2005 - Portal Legislativ.
96. VOSviewer - Visualizing scientific landscapes, <https://www.vosviewer.com/>, last accessed 2021/06/03.
97. Warehouse Management & Organization | Modula, <https://www.modula.eu/blog/en/warehouse-management/>, last accessed 2020/06/08.
98. Web of Science [v.5.35] - Web of Science Core Collection Basic Search.

Anexa 1 Rezumatul tezei

Rezumatul tezei în limba română

Conducător științific

Doctorand

Prof. univ. dr. ing. Dan SĂVESCU

Ing. Constantin TORCĂTORU

**Managementul calității și al riscurilor în cazul procesului tehnologic de asamblare selectivă
utilizând algoritmi genetici**

Studiile desfășurate în cadrul tezei de doctorat vizează aspecte cu privire la managementul calității în etapa procesului de asamblare selectivă, folosind un algoritm genetic dezvoltat cu posibilitatea implementării pe un sistem de stocare automată pe verticală (VLM). Necesitatea eficientizării metodei de asamblare selectivă a produselor constituite din trei elemente componente, a rezultat ca obiectiv principal, în urma unei ample analize a stadiului actual prin interogarea mai multor baze de date și realizarea unui studiu scientometric în VOSviewer, pentru domeniul de asamblare. Studiul de caz pentru aplicarea algoritmului a fost realizat pe asamblarea unui rulment radial cu bile, ulterior fiind transpus în Mathcad, pentru simularea celor mai bune combinații de asamblare. S-a analizat în detaliu sistemul VLM, iar componenta tavă a fost proiectată CAD și analizată din punct de vedere DFMA, în variantă sudată și nituită. În urma analizei cu soft-ul DFMA, s-a constatat că cea mai economică și eficientă a fost tava în varianta sudată. Implementarea algoritmului genetic pe sistemul de stocare automată VLM, poate avea ca rezultate creșterea eficienței managementului calității și al riscurilor, reducerea timpilor de pregătire a fabricației, diminuarea rebuturilor neremaniabile rezultate în urma asamblării selective, eliminarea stocului tampon, livrarea la termen a comenzilor solicitate.

Thesis Summary in English Language

Scientific Advisor

PhD Candidate

Prof. univ. dr. eng. Dan SĂVESCU

Eng. Constantin TORCĂTORU

**Quality and risk management in the case of the technological process of selective assembly using
genetic algorithms**

The studies carried out within the doctoral thesis aim at aspects regarding the quality management in the stage of the selective assembly process, using a genetic algorithm developed with the possibility of implementation on an automatic vertical storage system (VLM). The need to streamline the method of selective assembly of products consisting of three components, resulted as the main objective, following a comprehensive analysis of the current state by querying several databases and conducting a scientometric study in VOSviewer, for the field of assembly. The case study for the application of the algorithm was performed on the assembly of a radial ball bearing, later being transposed in Mathcad, to simulate the best assembly combinations. The VLM system was analyzed in detail, and the tray component was CAD designed and analyzed from the DFMA point of view, in welded and riveted versions. Following the analysis with the DFMA software, it was found that the most economical and efficient was the tray in the welded version. The implementation of the genetic algorithm on the VLM automatic storage system can result in increasing the efficiency of quality and risk management, reducing manufacturing preparation times, reducing unrecoverable waste resulting from the selective assembly, eliminating the buffer stock, timely delivery of required orders.

DECLARAȚIA DE AUTENTICITATE

DECLARAȚIE DE AUTENTICITATE

Subsemnatii:

ING. TORCĂTORU CONSTANTIN

(nume și prenume doctorand)

în calitate de

student - doctorand al IOSUD:

Universitatea Transilvania din Brașov

(denumire IOSUD)

autor al tezei de doctorat cu titlul:

MANAGEMENTUL CALITĂȚII
ȘI AL RISCURILOR ÎN CAZUL PROCESULUI TEHNOLOGIC DE
ASAMBLARE SELECTIVĂ UTILIZÂND ALGORITMI GENETICI

(titlul tezei de doctorat)

și

PROF. DR. ING. SĂVESCU DAN

(nume și prenume conducător doctorat)

în calitate de Conducător de doctorat al autorului tezei

la instituția

Universitatea Transilvania din Brașov

(denumire instituție)

declarăm pe proprie răspundere că am luat la cunoștință de prevederile art.143 alin (4) și (5)* și art. 170** din Legea educației naționale nr.1/2011, ale art. 65, alin.5 – 7***, art. 66, alin (2)**** din Hotărârea Guvernului nr.681/2011, privind aprobarea Codului Studiilor universitare de doctorat, ale art. I alin. (5) și (7) ***** din Hotărârea nr. 134 privind modificarea Codului studiilor universitare de doctorat, aprobat prin HG nr. 681/2011 și ale Anexei nr. 2 (Soluționarea sesizărilor cu privire la nerespectarea standardelor de calitate sau de etică profesională, inclusiv cu privire la existența plagiatului, în cadrul unei teze de doctorat) din Ordinul MENCS nr. 3482/2016 privind aprobarea Regulamentului de organizare și funcționare a Consiliului Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (CNATDCU) și ne asumăm consecințele nerespectării acestora.

Semnătură

Student doctorand

Semnătură

Conducător de doctorat

***(4)** îndrumătorii lucrărilor de licență, de diplomă, de disertație, de doctorat răspund solidar cu autorii acestora de asigurarea originalității conținutului acestora.

(5) este interzisă comercializarea de lucrări științifice în vederea facilitării falsificării de către cumpărător a calității de autor al unei lucrări de licență, de diplomă, de disertație sau de doctorat.

**** (1)** În cazul nerespectării standardelor de calitate sau de etică profesională, se aplică prevederile Hotărârii nr. 134 privind modificarea Codului studiilor universitare de doctorat, aprobat prin HG nr. 681/2011.

(2) Reacreditarea școlii doctorale se poate obține după cel puțin 5 ani de la pierderea acestei calități, numai în urma reluării procesului de acreditare, conform art. 158.

(3) Redobândirea calității de conducător de doctorat se poate obține după cel puțin 5 ani de la pierderea acestei calități, la propunerea IOSUD, pe baza unui raport de evaluare internă, ale cărei aprecieri sunt validate printr-o evaluare externă efectuată de CNATDCU. Rezultatele pozitive ale acestor proceduri sunt condiții necesare pentru aprobare din partea Ministerului Educației Naționale și Cercetării Științifice.

(4) Conducătorii de doctorat sunt evaluați o dată la 5 ani. Procedurile de evaluare sunt stabilite de Ministerul Educației Naționale și Cercetării Științifice, la propunerea CNATDCU.

***** (5)** teza de doctorat este o lucrare originală, fiind obligatorie menționarea sursei pentru orice material preluat.

(6) studentul - doctorand este autorul tezei de doctorat și își asumă corectitudinea datelor și informațiilor prezentate în teză, precum și a opiniilor și demonstrațiilor exprimate în teză.

(7) conducătorul de doctorat răspunde împreună cu autorul tezei de respectarea standardelor de calitate sau de etică profesională, inclusiv de asigurarea originalității conținutului, conform art. 170 din Legea nr. 1/2011.

******** protecția drepturilor de proprietate intelectuală asupra tezei de doctorat se asigură în conformitate cu prevederile legii.

******* (5) (6)** În cazul în care membrii CNATDCU din cadrul unei comisii de evaluare a unei teze de doctorat constată nerespectarea standardelor de etică profesională, inclusiv existența plagiatului, în cadrul tezei și/sau al activităților care au dus la realizarea acesteia, aceștia invalidează teza de doctorat, comunică aceste constatări celorlalți membri ai comisiei de evaluare și sesizează Consiliul general CNATDCU pentru analiza responsabilității conducătorului de doctorat sau a școlii doctorale și pentru aplicarea prevederilor art. 69 alin. (5).

(7) (3) În termenul prevăzut la alin. (2), Consiliul general al CNATDCU solicită IOSUD punctul de vedere care trebuie formulat în termen de maximum 30 de zile de la primirea solicitării. În situația în care IOSUD confirmă încălcarea standardelor de calitate sau de etică profesională, va transmite CNATDCU decizia privind propunerea de retragere a titlului, semnată de rector sau, după caz, de președintele Academiei Române, avizată din punct de vedere juridic de universitate sau, după caz, de Academia Română.

(4) În termenul prevăzut la alin. (2), Consiliul general al CNATDCU decide dacă au fost sau nu respectate standardele de calitate sau de etică profesională, inclusiv existența plagiatului, iar președintele CNATDCU transmite autorului sesizării, autorului tezei și IOSUD decizia Consiliului general al CNATDCU și motivarea acesteia. Aceștia au la dispoziție 10 zile pentru formularea unei contestații privitoare la procedură, iar Consiliul general al CNATDCU are la dispoziție 10 zile pentru formularea răspunsului la contestație.

(5) În cazul în care Consiliul general al CNATDCU decide că nu au fost respectate standardele de calitate sau de etică profesională, inclusiv în ceea ce privește plagiatul, președintele CNATDCU propune Ministerului Educației Naționale și Cercetării Științifice una sau mai multe din următoarele măsuri:

- a)** retragerea calității de conducător de doctorat;
- b)** retragerea titlului de doctor;
- c)** retragerea acreditării școlii doctorale.