



**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI
TEHNOLOGIE POLITEHNICA BUCUREȘTI**

**Școala Doctorală de
Inginerie Industrială și Robotică**

Florin Ghe. ENACHE

**Model generalizat pentru analiza
proceselor de producție**

• Rezumatul tezei de doctorat *

***Conducător științific,*
Prof.univ.dr.ing. Stefan VELICU (UNSTPB)**

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București
 Facultatea Inginerie Industrială și Robotică
 Departamentul Roboți și Sisteme de Producție

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE _____ **4/ 04**

INTRODUCERE _____ **5/ 05**

**CAPITOLUL 1 - STADIUL ACTUAL AL CERCETARILOR PRIVIND
 CREȘTEREA PERFORMANȚELOR PROCESELOR DE PRODUCȚIE** _____ **7/ 04**

1.1. Introducere _____ 7/ 07

1.2. Identificarea sistemelor de producție _____ 7/ 07

1.2.1. *Sistemul de producție - Componentele fluxurilor de producție* _____ 7

1.2.2. *Tipuri de producție și organizare în fabricație* _____ 7

1.2.3. *Tipuri de fluxuri și concepții în organizarea producției:* _____ 7

1.2.3.1. Elemente procesului de producție _____ 8

1.2.4. *Categorii de procese* _____ 8

1.2.5. *Tipuri de Producție - definire, clasificare, importanță* _____ 8

1.2.5.1. Prezentarea Tipurilor de Producție _____ 9

1.2.5.2. Producția în serie _____ 9

1.2.5.2.1. Producția individuală _____ 9

1.2.5.2.2. Organizarea producției în flux _____ 9

1.3. Sinteza metodelor de îmbunătățire a performanțelor proceselor de fabricație _____ 10/ 10

1.3.1. *Principiile Agile* _____ 10

1.3.2. *Design Thinking, împreună cu Lean și Agile* _____ 11

1.4. Îmbunătățirea performanțelor proceselor de producție prin proiecte de digitalizare _____ 12/ 12

1.5. Formularea obiectivelor tezei _____ 13/ 13

1.6. Concluzii _____ **Error! Bookmark not defined.**

**CAPITOLUL 2 - DEZVOLTARE TEORETICĂ A PROBLEMELOR PRIVIND
 ÎMBUNĂȚĂȚIREA PROCESELOR DE PRODUCȚIE** _____ **14/ 14**

2.1. Elemente ale proceselor de producție - tipuri, clasificare, definire, importanță _____ 14/ 14

2.2. Metode de îmbunătățire a proceselor de producție _____ 14/ 14

2.3. Îmbunătățirea eficienței producției prin simularea modelului de fabricației celulară _____ 14/ 14

2.4. Metode de îmbunătățire a managementului proceselor de producție _____ 14/ 14

2.4.1. *Măsurarea performanței procesului holistic* _____ 15

2.4.2. *Principiile Lean manufacturig în creșterea performanței manageriale* _____ 15

2.4.3. *Gestionarea modernă a resurselor umane în relație cu angajații din generația Z* **Error! Bookmark not defined.**

2.5. Alte metode de creștere a performanței _____ 15/ 15

2.5.1. *Riscuri întâlnite în etapa de implementare a metodelor de creștere a performanței* _____ 16

2.6. Monitorizarea fluxurilor de producție _____ 16/ 16

2.6.1. *Monitorizarea și ajustarea proceselor de producție* _____ 16

2.6.2. *Metode moderne de monitorizare a producției* _____ 16

2.7. Concluzii _____ **Error! Bookmark not defined.**

CAPITOLUL 3. CONTRIBUȚII PRIVIND MODELAREA MATEMATICĂ A OPTIMIZĂRII PROCESELOR DE PRODUCȚIE	18/ 18
3.1. Modelarea matematică utilizată în analiza fluxurilor de producție	18/ 18
3.2. Optimizarea multicriterială a fluxurilor de producție	18/ 18
3.3. Formularea matematică a ecuației multicriteriale a modelului generalizat pentru analiza fluxurilor de producție	27/ 22
3.4. Concluzii privind analiza și optimizarea teoretică a fluxurilor de fabricație	29/ 29
CAPITOLUL 4 - CONTRIBUȚII PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA PROCESELOR DE PRODUCȚIE PRIN SIMULARE	30/ 30
4.1. Clasificarea modelelor și tehnicilor de simulare; modele de simulare	30/ 30
4.1.1. <i>După natura fizică a elementelor modelului</i> se pot enumera:	30
4.1.2. <i>După natura matematică a relațiilor din model</i> se pot enumera:	30
4.1.3. <i>După natura evoluției sistemului modelat</i> se pot întâlni:	30
4.1.5. <i>După natura variabilelor</i> se pot enumera:	30
4.2. Modelarea și simularea sistemelor mecatronice	31/ 31
4.3. Cercetări de optimizare prin simulare la implementarea unei celule robotizate	32/ 32
4.3.1. <i>Modelarea matematica a sistemului</i>	32
4.3.2. <i>Optimizare prin simulare</i>	32
4.3.3. <i>Validarea modelului matematic prin cercetări experimentale</i>	33
4.4. Concluzii	Error! Bookmark not defined.
CAPITOLUL 5 - CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND CREȘTEREA PERFORMANȚELOR FLUXULUI DE FABRICAȚIE PRIN ROBOTIZARE	35/ 35
5.1. Prezentare unitate elementară de lucru	35/ 35
5.2. Identificare modificări înlocuire operații manuale cu operații robotizate	35/ 35
5.3. Proiectarea fluxului de fabricație cu operații robotizare	37/ 37
5.4. Implementarea fluxului de fabricație cu operații robotizate	37/ 37
5.5. Monitorizarea și optimizarea fluxului de fabricație robotizat	39/ 39
5.6. Evaluarea creșterii performanțelor fluxului de fabricație prin robotizare	39/ 39
5.7. Concluzii	Error! Bookmark not defined.
CAPITOLUL 6 – CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	42/ 42
6.1. Concluzii generale	42/ 42
6.2. Contribuții personale	43/ 43
6.3. Direcții ulterioare de cercetare	44/ 44
6.4. Valorificarea rezultatelor cercetării	44/ 44
BIBLIOGRAFIE	46/ 46

CUVÂNT ÎNAINTE

Cercetarea-dezvoltarea prezentată în această teză de doctorat reprezintă rezultatul unei călătorii pline de pasiune și dedicare în domeniul analizei proceselor de producție și a impactului celulelor robotizate asupra acestora. Acest program de doctorat a fost alcătuit dintr-o serie de provocări intelectuale, descoperiri valoroase și îmbunătățirea proceselor de producție prin aplicarea tehnologiei de ultimă generație.

În calitate de cercetător, m-am angajat să explorez noile frontiere ale cunoașterii și să caut soluții inovatoare pentru provocările industriei de astăzi. Programul meu de doctorat a presupus o pregătire riguroasă, susținerea examenelor și prezentarea unor rapoarte științifice relevante, toate fiind etape cruciale pentru dezvoltarea competențelor mele științifice și academice.

Una dintre cheile acestui demers a fost aprofundarea studiului și identificarea aspectelor esențiale ale proceselor de producție care ar putea beneficia de implementarea celulelor robotizate. Am explorat avantajele oferite de tehnologia avansată, impactul asupra eficienței operaționale și perspectivele de îmbunătățire a calității produselor finite.

În cadrul acestui program, am avut prilejul să colaborez cu specialiști din diverse domenii, într-un mediu propice pentru schimbul de idei și experiențe. Am împărtășit cunoștințe și expertiză, am analizat împreună provocările și oportunitățile pe care le reprezintă celulele robotizate în contextul analizei proceselor de producție.

Rezultatul acestor eforturi a fost realizarea și publicarea unor lucrări științifice, care au contribuit la avansarea domeniului și diseminarea cunoașterii către comunitatea științifică. Aceste lucrări au constituit temelia prezentei teze de doctorat, în care am dezvoltat un „Model generalizat pentru analiza proceselor de producție”, oferind astfel un cadru coerent și cuprinzător pentru înțelegerea și optimizarea proceselor industriale.

În încheiere, doresc să-mi exprim recunoștința față de toți cei care m-au sprijinit în această „călătorie” mulțumindu-i, în primul rând, domnului prof. univ. dr. ing. Ștefan VELICU, pentru răbdarea constantă, dedicarea și amabilitatea de a-mi oferi răspunsuri la întrebările mele, sfaturi prețioase și îndrumări înțelepte; sub îndrumarea dumnealui, am dobândit nu doar cunoștințe academice, ci și abilități esențiale de gândire critică, rezolvare a problemelor de cercetare, dând dovadă de un mentorat dedicat și pasionat. Vă mulțumesc, domnule profesor!

De asemenea, aduc mulțumiri și domnului prof.univ.dr.ing. Constantin DOGARIU, pentru îndemnul și sfaturile transmise cu ocazia susținerii rapoartelor științifice.

Continui prin a mulțumi familiei mele, pentru că m-au absolvit de alte sarcini pentru a mă concentra asupra studiului/ cercetării și apoi unor colegi de încredere, în fața cărora mă înclin (C.Emil).

Cu încredere în contribuția acestei teze de doctorat la programul științific și tehnologic, adresez cu sinceritate aceste cuvinte tuturor celor interesați de domeniul analizei proceselor de producție și impactul celulelor robotizate asupra acestuia.

Exprim speranța că această lucrare va inspira și va suscita noi idei și perspective pentru viitorul industriei de producție și că va servi ca sursă de informații și cunoaștere pentru toți cei pasionați de progres și inovație.

Cu gratitudine,
Florin Enache

INTRODUCERE

În contextul dinamic al industriei moderne, creșterea performanțelor proceselor de producție reprezintă un obiectiv cheie pentru companiile din diverse domenii de activitate. Îmbunătățirea eficienței, reducerea costurilor, optimizarea calității produselor și optimizarea utilizării resurselor devin factori critici în atingerea succesului pe piață astfel, cercetările în domeniul creșterii performanțelor proceselor de producție devenind tot mai relevante și mai necesare. Scopul acestei lucrări constă în identificarea și aplicarea celor mai eficiente metode și tehnici în vederea optimizării fluxurilor de fabricație și creșterii eficienței în cadrul proceselor de producție.

Teza abordează aspecte ale proceselor de producție, cum ar fi tehnologiile emergente, automatizarea, optimizarea fluxurilor de fabricație, managementul lanțului de aprovizionare, planificarea și programarea producției. Obiectivul principal al tuturor acestor cercetări este să identifice și să dezvolte metode, tehnici și soluții inovatoare pentru a spori performanțele proceselor de producție și a obține avantaje competitive.

În prezent există o gamă largă de cercetări în domeniu, desfășurate atât în mediul academic cât și în cel industrial, bazându-se pe fundamente teoretice solide și aplicații practice, specific fiecărui sector industrial.

Cercetătorii explorează o multitudine de tehnologii avansate, cum ar fi inteligența artificială, analiza datelor, roboții colaborativi, internetul lucrurilor (IoT) și fabricația aditivă, pentru îmbunătățirea performanțelor și aducerea de inovații în procesele de producție.

Analiza stadiului actual al cercetărilor privind performanța proceselor de producție este necesară pentru înțelegerea direcțiilor actuale de dezvoltare, tendințele emergente și provocările întâmpinate, oferind o perspectivă cuprinzătoare asupra performanțelor recent obținute și a rezultatelor din domeniu, contribuind la dezvoltarea și implementarea practicilor eficiente în industrie.

Prin aceasta lucrare, ne propunem să explorăm și să analizăm în profunzime rezultatele cercetărilor recente în domeniul creșterii performanțelor proceselor de producție, examinând metode și tehnici inovatoare și evaluând impactul asupra performanțelor industriale, identificând posibilele direcții de dezvoltare viitoare. Scopul acestei lucrări este de a contribui la înțelegerea și promovarea unor practici avansate și eficiente în domeniul producției.

Această analiză a stadiului actual al cercetărilor privind creșterea performanțelor proceselor de producție și rezultatele obținute au potențialul de a inspira și ghida companiile, cercetătorii și factorii de decizie în luarea celor mai bune decizii strategice în ceea ce privește îmbunătățirea performanțelor industriale, prin consolidarea cunoștințelor existente și promovarea inovației, contribuind la dezvoltarea unei industrii mai competitive, mai eficiente și sustenabile.

În capitolul 1 este realizată o prezentare a stadiului actual al cercetărilor privind creșterea performanțelor proceselor de producție. Sunt analizate tehnologiile moderne de fabricație și se subliniază importanța principiilor Agile în contextul optimizării proceselor de producție. De asemenea, se explorează conceptele de identificare a sistemelor și modelarea proceselor cu ajutorul Agile, oferind o panoramă asupra categoriilor de procese și tipurilor de producție. Capitolul continuă cu discuții detaliate despre conceptul Lean și Design Thinking. Aceste metode nu numai că permit reducerea risivelor și a costurilor, dar și stimulează inovația și colaborarea în cadrul echipei de producție.

În capitolul 2 se aduce în prim plan o dezvoltare teoretică a problemelor asociate cu îmbunătățirea proceselor de producție. Sunt analizate elementele cheie ale proceselor de producție, clasificarea lor și importanța în contextul optimizării. De asemenea, se prezintă metodele de îmbunătățire a proceselor de producție, incluzând abordări precum Lean manufacturing și gestionarea modernă a resurselor umane. Acest capitol oferă o privire asupra performanței procesului holistic și metodelor moderne de monitorizare a producției. Se concentrează, de asemenea, pe abordări și metode de îmbunătățire a proceselor de producție. Principiile Lean manufacturing sunt dezvoltate în detaliu, evidențiind modurile în care acestea pot duce la eficiență crescută prin reducerea risivelor și optimizarea resurselor. Gestionarea modernă a resurselor umane

este, de asemenea, adusă în discuție, punctând importanța adaptării strategiilor de resurse umane la cerințele noilor generații.

În capitolul 3 este analizată modelarea matematică a optimizării proceselor de producție. Este dezvoltată o abordare matematică pentru analiza fluxurilor de producție și se explorează conceptul de optimizare multicriterială a acestora. Prin utilizarea unor metode analitice și tehnici de modelare, capitolul aduce contribuții semnificative în ceea ce privește identificarea soluțiilor optime pentru îmbunătățirea proceselor de producție. Optimizarea multicriterială este prezentată ca o abordare puternică pentru a identifica soluții echilibrate și eficiente pentru îmbunătățirea proceselor.

În capitolul 4 se evidențiază capacitatea de îmbunătățire a proceselor de producție prin utilizarea simulării. Se abordează diverse modele de simulare utilizate în industrie și se prezintă studii de caz privind optimizarea prin simulare și validarea experimentală, acest capitol aducând o contribuție semnificativă în ceea ce privește eficiența și îmbunătățirea proceselor de producție. De asemenea, sunt aduse contribuții practice prin punerea în aplicare a simulării pentru a evalua impactul schimbărilor în cadrul producției.

În capitolul 5 sunt prezentate cercetările experimentale efectuate pentru a evalua impactul automatizării prin robotizare în procesele de producție. Se validează modelul teoretic propus pentru identificarea modificărilor necesare și proiectarea fluxului de fabricație, implementarea operațiilor robotizate și monitorizarea fluxurilor de producție. Prin analiza rezultatelor obținute, capitolul oferă o perspectivă asupra creșterii performanțelor în urma aplicării soluțiilor de robotizare.

În capitolul 6 este adusă în prim plan perspectiva utilizării ecuațiilor multicriteriale în analiza și optimizarea proceselor de producție. Se dezvoltă o abordare analitică pentru a evalua performanța și eficiența proceselor, luând în considerare multiplele criterii care influențează rezultatele. Se trec în revistă contribuțiile personale realizate în cadrul cercetărilor teoretice și experimentale, avantajele folosirii acestor tehnici inovative și căile de dezvoltare viitoare, precum și lista cu cele 4 articole științifice publicate și în curs de publicare.

Capitolul contribuie la adâncirea înțelegerii proceselor de producție prin prisma evaluării multicriteriale, oferind date concrete și rezultate ale cercetărilor efectuate.

Bibliografia acestei teze cuprinde un număr de 127 de lucrări tehnice și științifice și link-uri pentru pagini web, care au fost accesate în perioada 2018- 2023.

Prin urmare, această lucrare reprezintă o investigație exhaustivă a proceselor de producție și a metodelor de optimizare, aducând contribuții semnificative în domeniul îmbunătățirii performanțelor și creșterii eficienței în industrie.

CAPITOLUL 1 - STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND CREȘTEREA PERFORMANȚELOR PROCESELOR DE PRODUCȚIE

1.1. Introducere

Tehnologiile moderne de fabricație reprezintă ansamblul de metode, tehnici și echipamente utilizate pentru producția eficientă și optimizată a bunurilor.

Tehnologiile moderne de fabricație au impact asupra eficienței, calității, flexibilității și sustenabilității proceselor de producție, contribuind la reducerea costurilor, creșterea productivității, îmbunătățirea calității produselor și oferirea de soluții personalizate și adaptabile la cerințele pieței.

1.2. Identificarea sistemelor de producție

1.2.1. Sistemul de producție - Componentele fluxurilor de producție

Procesul de obținere de produse materiale presupune existența unui ansamblu de materii prime și materiale, numite și obiecte ale muncii, preluate din natură sau reprezentând rezultatul altor activități.

Sistemul de producție este alcătuit din:

- fabricația propriu-zisă a bunurilor materiale industriale, activitate realizată prin intermediul procesului de producție industrial;
- activități de cercetare și testare a noilor produse, activități legate în mod direct de fabricația propriu-zisă.

Procesul de producție reprezintă totalitatea componentelor naturale și artificiale, forța de muncă și relațiile de producție ce concură la obținerea produselor sau la executarea lucrărilor și serviciilor ce reprezintă obiectul de activitate al întreprinderii.

În cadrul sistemului de producție, în funcție de modul în care omul intervine, se disting următoarele tipuri de procese:

1.2.2. Tipuri de producție și organizare în fabricație

- Procesele de producție și auxiliare – o privire asupra transformării materiilor prime în produse finite și a serviciilor secundare;
- Procesele de producție de servire/ deservire – contribuția departamentelor auxiliare la desfășurarea proceselor de bază și de producție;

1.2.3. Tipuri de fluxuri și concepții în organizarea producției:

- structura organizatorică de tip tehnologic (vezi Fig.1.5) – dispunerea locurilor de muncă pe grupe omogene de mașini și utilaje; o abordare eficientă pentru producția de serie;
- structura organizatorică de tip obiect – organizarea pe baza produselor; o concepție flexibilă pentru producția diversificată;
- structura organizatorică de tip mixt – integrarea celor două concepte; optimizarea fluxurilor de producție prin combinarea abordărilor.

Pentru *tipul de producție pe obiect*, se

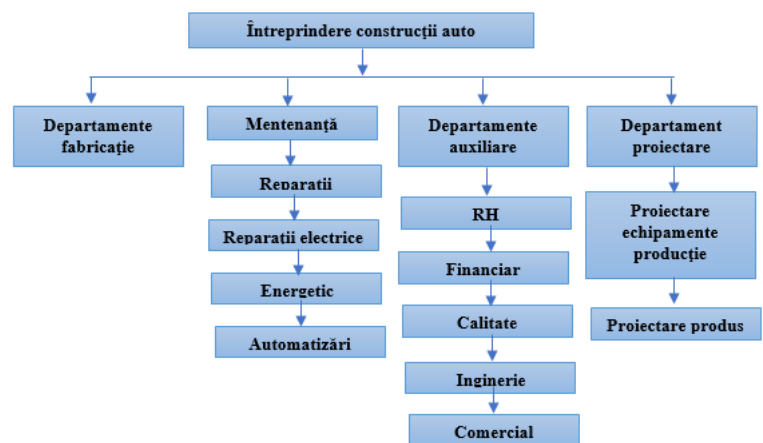


Fig.1.5 - Reprezentarea tipului de producție tehnologic

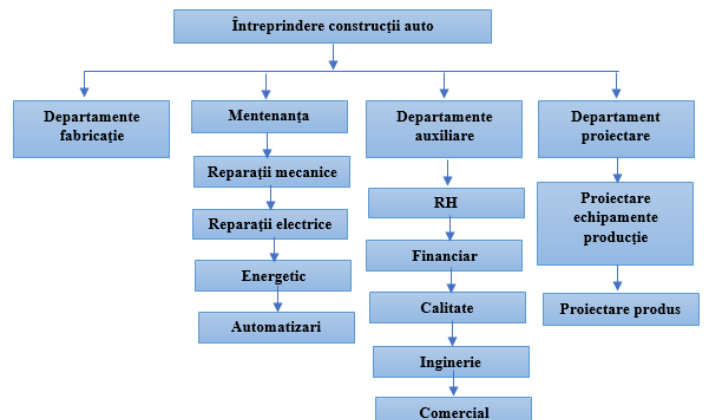


Fig.1.7 - Reprezentarea tipului de producție pe mixt

pot menționa următoarele caracteristici (vezi Fig.1.6) :

- organizarea departamentelor este identică cu tipul de producție tehnologic;
- fiecare departament fabrică un singur tip de produs;

Pentru **tipul de producție mixt**, se pot menționa următoarele caracteristici (vezi Fig.1.7):

- organizarea departamentelor mixte (o parte dintre activități sunt organizate după tipul producției tehnologice; o altă parte sunt organizate după producția pe obiect);
- este specific producției de serie mică și mijlocie.

Sistemul de producție industrial reprezintă o combinație complexă de resurse, etape și fluxuri care interacționează pentru a obține produsele și serviciile necesare pieței.

1.2.3.1. Elementele procesului de producție

În cadrul procesului de producție, există trei elemente care contribuie la realizarea obiectivelor organizației:

- operațiile tehnologice;
- operațiile de control;
- operațiile de transport și depozitare.

Abordarea procesuală

Într-o organizație bazată pe abordarea procesuală, se aplică mai multe principii și cerințe pentru a asigura funcționarea eficientă și îndeplinirea obiectivelor.

Acestea includ:

1. Principii pentru integrarea abordării procesuale în organizație:
 - organizare ierarhică - în afară de structura ierarhică tradițională, se adaugă o organizare orizontală care se concentrează pe procesele care aduc valoare clienților;
2. Cerințe pentru aplicarea abordării procesuale:
 - identificarea proceselor – toate procesele din organizație, inclusiv cele subcontractate, trebuie identificate pentru a înțelege modul în care se adaugă valoare și pentru a le gestiona eficient;
3. Roluri cheie în organizația bazată pe abordarea procesuală:
 - proprietarii de proces – sunt responsabili de performanța și îmbunătățirea proceselor, asigurându-se că acestea aduc rezultatele dorite și se aliniază cu obiectivele organizației.

1.2.4. Categoriile de procese

Pentru a descrie orice organizație, pot fi clasificate trei tipuri procese:

- procesele de realizare;
- procesele de management;
- procesele suport.

1.2.5. Tipuri de Producție - definire, clasificare, importanță

Categoriile de procese organizaționale

Pentru a descrie orice organizație, aceasta poate fi analizată în funcție de trei categorii de procese (vezi Fig.1.8):

- Procesele de realizare
- Procesele de management
- Procesele de suport

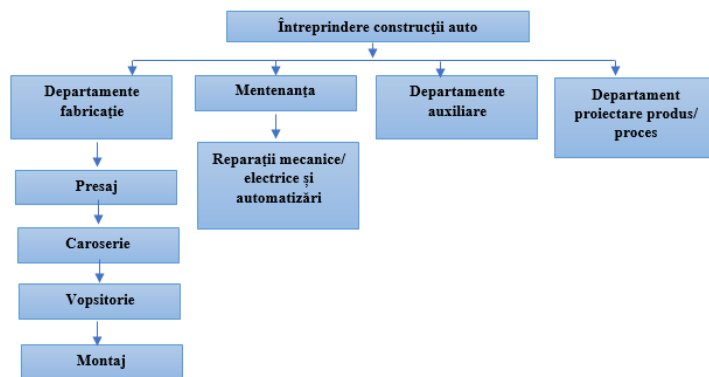


Fig.1.6 - Reprezentarea tipului de producție pe obiect



Fig. 1.8 - Linie de producție (înlănțuirea activităților)

1.2.5.1. *Prezentarea Tipurilor de Producție*

Practica a dovedit că, din punct de vedere organizatoric, în cadrul unităților industriale nu există întreprindere în care să se întâlnească în formă pură unul dintre cele trei tipuri de producție: în masă, în serie sau individuală.

1.2.5.2. *Producția în serie*

Principala caracteristică a producției de serie este repetarea fabricării aceleiași producții. Astfel, producția de serie implică o fabricație periodică, în loturi sau serii mijlocii sau mici, cu o stabilitate mai mică în timp.

1.2.5.2.1. *Producția individuală*

Principala caracteristică a producției individuale este aceea că majoritatea lucrărilor și produselor ce se fabrică reprezintă comenzi cu un grad de repetabilitate foarte redus și neregulat, sau care nu se mai repetă în fabricație.

1.2.5.2.2. *Organizarea producției în flux*

Organizarea producției în flux reprezintă o formă superioară de organizare a procesului de producție în cadrul întreprinderilor industriale, fiind aplicată în mod eficient în toate cazurile în care se poate permanentiza executarea unei operații sau a unui grup de produse pe anumite locuri de muncă, asigurându-se, ca o condiție necesară, o încărcare completă a acestora.

Încărcarea completă a locurilor de muncă se poate asigura dacă este respectată relația:

$$Q \cdot n * t > F * t \quad (2)$$

unde:

Q = volumul producției ce trebuie executat din produsul considerat;

$N * t$ = norma de timp pe produs pentru operația dată;

$F * t$ = fondul de timp disponibil al mașinii pe care se execută operația.

Procesul de producție reprezintă un ansamblu ordonat de activități și operațiuni tehnice, organizate într-o secvență logică și coerentă, care transformă materiile prime și materialele în produse finite sau semifinite.

Organizarea producției în flux implică o serie de trăsături de bază care contribuie la eficiența și performanța procesului de producție prin:

- Divizarea procesului tehnologic în operații egale sau multiple;
- Repartizarea executării operațiilor pe locuri de muncă ;
- Amplasarea locurilor de muncă în ordinea de execuție a operațiilor;
- Trecerea obiectelor muncii cu un ritm reglementat;
- Utilizarea mijloacelor de transport adecvate;
- Execuția concomitentă a operațiilor pe toate locurile de muncă.



Fig.1.10. Linie în flux robotizată

Prin organizarea producției în flux, companiile pot obține avantaje semnificative, cum ar fi reducerea timpului de producție, optimizarea utilizării resurselor, creșterea eficienței și calității produselor și implicit, obținerea unui avantaj competitiv pe piață..

1.3. Sinteza metodelor de îmbunătățire a performanțelor proceselor de fabricație

Una dintre metodele utilizate de majoritatea companiilor în managementul proiectelor de creștere a performanțelor proceselor de fabricație este Agile. Promovează un management de proiect riguros urmărit, gestionat și încurajează auto-organizarea, munca în echipă, responsabilitatea, promovează un set de bune practici care să permită livrabile rapide și calitative și un mediu ce armonizează nevoile clienților cu dezvoltarea companiei.

Componența unei echipe Scrum este redusă și are următoarele roluri:

- gestionarul proiectului;
- scrum Master (managerul de proiect);
- echipa.

Metodologia Agile Scrum este rapidă și simplă, dar nu este pentru toată lumea sau pentru orice proiect.

- **Puncte pro pentru Agile Scrum;**
- **Puncte contra pentru Agile Scrum.**

1.3.1. Principiile Agile

Metodologia se bazează pe 12 principii [89]:

- satisfacția clientului prin livrarea rapidă a proiectului;
- focusare pe cerințele de schimbare, chiar și într-o etapă târzie a dezvoltării/ implementării;
- proiectul funcțional pe module este livrat frecvent;
- cooperarea strânsă, zilnică, între clientul final și echipa de proiect;
- proiectele sunt construite în jurul persoanelor motivate, care ar trebui să fie de încredere;
- conversația față în față este cea mai bună formă de comunicare;
- proiectul funcțional este măsura principală a progresului;
- dezvoltarea durabilă, în măsură să mențină un ritm constant;
- o atenție continuă pentru excelența tehnică și implementare eficientă;
- simplitatea este esențială (arta de a maximiza volumul de muncă în lucru);
- echipe auto-organizate;
- adaptarea periodică a circumstanțelor în schimbare.

Valorile fundamentale Agile:

- indivizii și interacțiunea sunt mai presus decât procesele și instrumentele;
- proiectul finalizat este mai presus decât documentarea cuprinzătoare;
- colaborarea cu clienții este mai presus decât negocierea contractelor;
- reacția la schimbare este mai presus decât urmărirea unui plan fix.

Instrumentele utilizate de această metoda SCRUM:

- Product Backlog;
- Sprint Backlog;
- Increment (scopul sprintului).

Etapetele metodei Scrum:

- organizarea backlog-ului;
- planificarea Sprintului;
- sprintul;
- stand Up zilnic;
- recenzie a Sprintului;
- retrospectiva Sprintului.

Cele șapte principii ale TPS (Toyota Production System):

1. elimină risipă: - orice activitate care nu produce valoare este considerată risipă;
2. construiește calitativ – realizarea unor cicluri mai mici de muncă, validate;
3. asimilarea de cunoștințe – echipa trebuie să fie mereu deschisă și receptivă față de noutăți și disponibilă în permanență pentru învățare;
4. amânarea angajamentului – presupune o abordare flexibilă a procesului, lăsând loc de modificări sau îmbunătățiri;

5. livrare rapidă – munca trebuie să fie pe măsura capacității echipei care implementează proiectul, făcându-se prin cicluri mai scurte de muncă;
6. respectul față de oameni – echipa de proiect trebuie să fie implicată și concentrată pe ceea ce face;
7. optimizarea întregului proces – implementarea unui proiect trebuie privită în ansamblu de către echipa proiect.

Relația dintre metodologiile AGILE și LEAN

- dezvoltarea iterativă care stă la baza metodologiei Lean este echivalentul principiilor Agile care se referă la livrare rapidă și amânarea responsabilității;
- se bazează pe cicluri scurte de producție,;
- metoda Agile este folosită pentru a „disciplina” procesul de management de proiect.

1.3.2. Design Thinking, împreună cu Lean și Agile - emfatizarea, ideatia, testarea.

- **Design Thinking** - artistul, ține de latura creativă;
- **Lean** - savantul, partea de experimentare;
- **Agile** - constructorul, partea de producție propriu-zisă.

sau,

- **Design Thinking** - sufletul, viziune și empatie;
- **Lean** - creierul, luarea deciziilor și managementul riscului;
- **Agile** - motorul, calitate, eficacitate și optimizare.

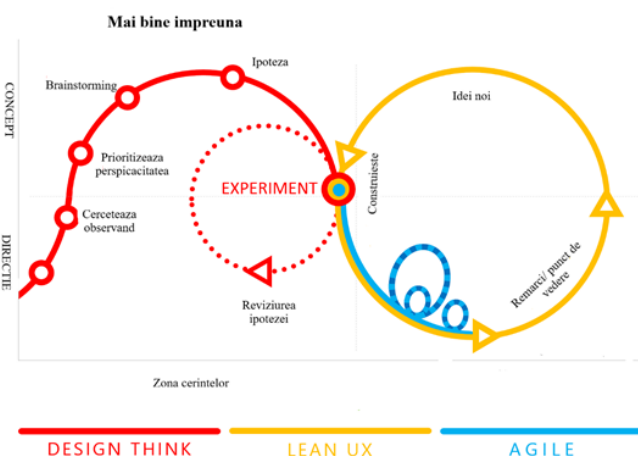


Fig. 1.4 – Relația Agile, Lean, Design Thinking

- inginerie;
- design industrial;
- știința materialelor;
- chimie;
- interacțiunea om-computer;

Cei trei piloni Design Thinking:

- **Empatie** - înțelegerea profundă a nevoilor celor pentru care crezi;
- **Ideație** - Generarea unei multitudini de idei prin diferite metode;
- **Experimentare** - Testarea ideilor prin prototipare.

Avantajele utilizării Design Thinking:

- ajută la descoperirea nevoilor oamenilor, nesatisfăcute până acum, pe baza cărora se poate inova;
- reduce riscul asociat lansării de noi produse;
- generează soluții cu potențial disruptiv, nu doar incrementale;
- ajută organizațiile să învețe mai repede.

1.4. Îmbunătățirea performanțelor proceselor de producție prin proiecte de digitalizare

Proiectele de digitalizare a liniilor de fabricație presupun reducerea consumului de hârtie prin introducerea informațiilor digitale și digitalizarea postului de lucru printr-o aplicație web compatibilă cu smartphone-uri și tablete care oferă o funcție pentru fiecare inițiativă legată de o stație de lucru digitală.

0Paper

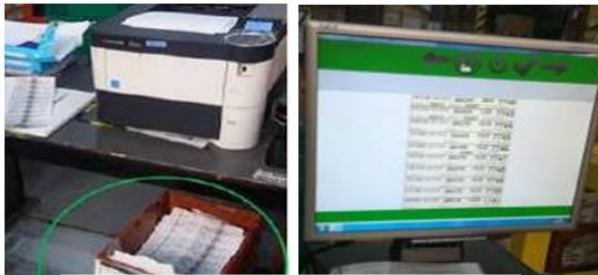


Fig.1.11 – Proiect 0Paper : Inainte/ După

0Paper

Beneficii instantanee - promovarea unei soluții *e-paper* în liniile de fabricație a devenit o provocare care trebuia declanșată pentru că, în multe uzine de fabricație autovehicule, digitalizarea sistemelor de producție a fost punctul cheie în dezvoltarea acestora, asigurarea calității și satisfacția clientului final (vezi Fig.1.11).

Obiectivele proiectului (vezi Fig.1.12):

- reducerea numărului de hârtii imprimate în procesul de fabricație și înlocuirea acestora cu ecrane;
- identificarea surselor de non-valoare în posturile de lucru;
- ameliorarea performanței în posturile de lucru.

Câștiguri estimate – aprox. 70 k€ rezultați din:

- recuperarea imprimantelor din linia de fabricație și reducerea consumabilelor aferente;
- diminuarea numărului de alerte pentru echipamentele de imprimare;
- alte costuri asociate (reînnoire parc imprimante, refacere rețele informatice, înlocuire porturi transfer informație etc.).

În urma analizelor privind consumabilele utilizate în procesul de fabricație, pentru 1 an au rezultat următoarele datele din Fig.1.13.

Digitalizarea postului de lucru (DWS)

Implementarea unor tablete, în fiecare post de lucru, cu ajutorul cărora operatorii să cunoască și să răspundă activităților desfășurate în linia de fabricație.

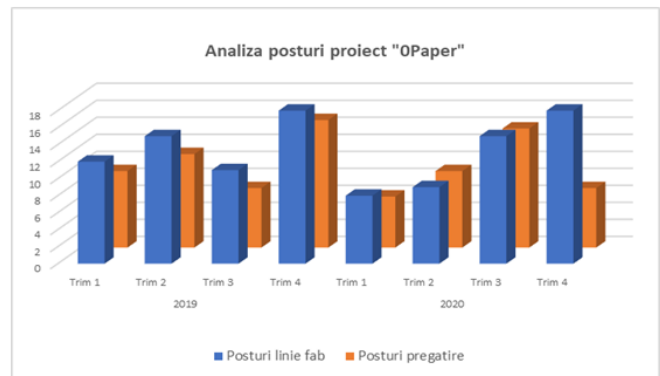


Fig. 1.12 – Analiza posturi proiect „0Paper”

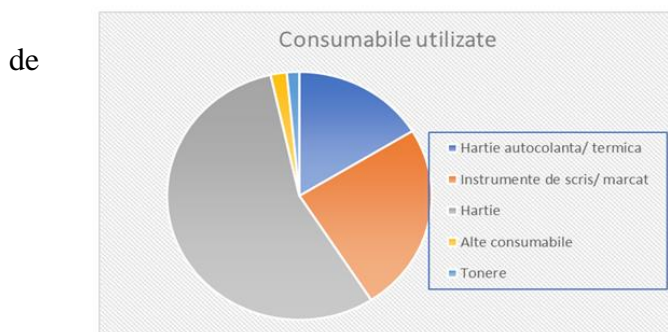


Fig. 1.13 – Analiza consumabilelor

de

autonomă.

Câștigurile digitalizării :

Pentru operator :

Avantajele implementării proiectului digitalizare post de lucru :

- eliminare non-valoare adăugată pentru operatori prin validare manuală de trecere la următorul auto;
- eliminare validare manuală pentru toate ecranele dispuse în linia de fabricație;
- eliminare etichete ce însoțesc kitul cu referințe;
- diminuare timp mentenanță preventivă și

- lansare alerte (piesă lipsă din kit; degradare vehicul în procesul de lucru; probleme de mentenanță; piese neconforme cu specificația etc.).
- informații diverse – despre vehicul; avertizare variantele exotice (rare); alerte montare neconformă ;
- demaraj activitate fără probleme – conectare sigură la postul digital; validare pornire post digital; avertizare scule nefuncționale; semnalizare finalizare vehicul (primul).

Pentru supervisor :

- rezolvare apel operator: vizualizare rapidă apel; clasificare alertă (fabricație; logistică; fiziologice etc.);
- re-apel avertizare; vizualizare tip apel în așteptare; închidere apel.

Digitalizarea acestor operații de verificare conformitate, nu poate să aducă decât calitate, reactivitate ridicată și la final, satisfacția clientului (vezi Fig.1.14).

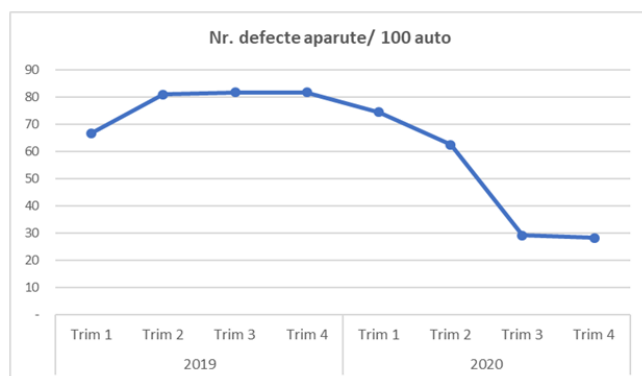


Fig. 1.14 – Evoluția indicatorului de calitate

Proiectul de digitalizare presupune un program informatic de gestionare a valorilor rezultate, în toate posturile de lucru care sunt supuse cerințelor de reglementare. Ca și utiluri pentru operatorii ce efectuează operațiile de verificare vor fi disponibile echipamente de măsură (cu memorie împrăștiată) care păstrează valorile măsurate, corelate cu codul de identificare al fiecărui vehicul și care se poate descărca la finalul ciclului de verificare într-un

calculator sau poate comunica wifi și transmite datele înregistrate în timp real.

1.5. Formularea obiectivelor tezei

Obiectivele reprezintă căile pe care cercetătorul urmează să le parcurgă în lucrare pentru a atinge rezultatele dorite. În cazul acestei lucrări, obiectivele au fost stabilite în conformitate cu necesitatea abordării și rezolvării problemelor din sfera optimizării proceselor de producție.

Obiectul cercetării

Principalul obiectiv al cercetării științifice este formularea unui model generalizat pentru analiza fluxurilor de producție care să constituie baza deciziilor pentru aplicarea unor metode de îmbunătățire a performanțelor acestora.

Obiectivele specifice

Obiectivul principal va fi atins prin parcurgerea următoarelor obiective specifice:

- identificarea problemelor actuale din domeniul optimizării proceselor de producție;
- analizarea metodelor de creștere a performanțelor proceselor de producție;
- formularea matematică sub forma unei ecuații multicriteriale a modelului generalizat pentru analiza fluxurilor de producție;
- investigarea experimentală a impactului deciziei de automatizare prin robotizare și validarea ipotezelor privind creșterea performanțelor proceselor de producție.

CAPITOLUL 2 - DEZVOLTARE TEORETICĂ A PROBLEMELOR PRIVIND ÎMBUNĂȚIREA PROCESELOR DE PRODUCȚIE

2.1. Elemente ale proceselor de producție - tipuri, clasificare, definire, importanță

Elementele fluxurilor de producție reprezintă componentele fundamentale ale activităților de producție ce contribuie la realizarea produselor sau serviciilor în cadrul unei întreprinderi, fiind esențiale în gestionarea și optimizarea proceselor de producție și sunt specifice fiecărui tip de activitate, produsul final și metodele de fabricație utilizate.

Tipuri de fluxuri de producție :

- | | |
|--|---|
| 1. Materialele | 7. Planificarea și programarea producției |
| 2. Utilajele | 8. Logistica și gestionarea lanțului de aprovizionare |
| 3. Muncitorii | 9. Fluxul de informații financiare |
| 4. Metodele și tehnologiile de producție | 10. Mediul și sustenabilitatea. |
| 5. Fluxul de informații | |
| 6. Controlul calității | |

2.2. Metode de îmbunătățire a proceselor de producție

O observare directă este valoroasă pentru că poate identifica:

- nivelul de corelare a uneia sau mai multor activități;
- problemele recurente, care nu au fost tratate cu responsabilitate sau deloc;
- gradul de angajare al operatorilor;
- nerespectarea unor etape de lucru clar definite;
- rezolvarea unor probleme în toate sectoarele;
- înțelegerea procesului și a înlănțuirii activităților într-un procent redus, fără a exista nici o posibilitate de evoluție;
- dezechilibre în alocarea resurselor;
- lipsa criteriilor de evaluare pentru procesul de lucru.

Pe baza studiilor este promovată ideea că productivitatea unei industrii este influențată de creșterea productivității ei și este influențată de asemeni de organizația care este poziționată în centrul rețelei.

O industrie este într-o poziție centrală, dacă are un număr mare de conexiuni de tranzacționare între industrii.

2.3. Îmbunătățirea eficienței producției prin simularea modelului de fabricației celulare

Modelul de fabricație celulară flexibilă a fost dezvoltat, testat și implementat pentru a îmbunătăți eficiența proceselor de fabricație în interiorul unei organizații, fiind un instrument ce permite experimentări cu diverse tehnici de fabricație pentru a identifica cea mai bună soluție, fără implementare reală.

Ca avantaje se pot menționa:

- crearea efectului de producție în masă, realizarea de ateliere specifice unui anumit tip de producție;
- reducerea timpului de instalare/ modificare;
- reducerea costurilor datorită simplificării fluxului de materiale;
- ușurință în reproiectarea unei machete noi de fabricație;
- procesul de verificare a acurateții simulării este ridicat, cu ajutorul tehnicilor statistice.

2.4. Metode de îmbunătățire a managementului proceselor de producție

Pentru majoritatea celor ce analizează performanța întreprinderilor industriale, managementul proceselor este un sector important al activităților unei secții de producție ce prezintă sisteme, proceduri, metode și instrumente pentru realizarea unei performanțe ridicate și durabile, pentru îmbunătățirea proceselor și îndeplinirea angajamentelor față de patronat (vezi Fig.1.13).

Evaluarea și măsurarea proceselor se bazează pe identificarea indicatorilor de performanță interni, specifici fiecărei ramuri de activitate/ proces și se raportează la atribute comune – clientul final, intrările/ ieșirile și limitele procesului analizat.

Indicatorii interni de determinare a performanței proceselor trebuie să fie determinați într-un mod prin care se poate monitoriza îndeplinirea indicatorilor cheie ce urmăresc aplicarea strategiei de atingere a performanței.

Acțiunile de creștere și eficientizare a performanței pot fi grupate în șase categorii:

- **eficiența și eficacitatea** procesului;
- **calitatea** – nivelul de satisfacere a cerințelor și așteptărilor clienților;
- **punctualitatea** – bazată pe cerințele clienților;
- **productivitatea** – ca valoare adăugată a procesului compus din valoarea forței de muncă și consumul de capital;
- **siguranța** – măsoară starea generală de sănătate a mediului de lucru al angajaților.

Există trei tipuri de indicatori de măsurare ai performanței:

- **indicatorii de rezultat** (KRI), ce măsoară rezultatele mai multor acțiuni și se concentrează pe o perioadă lungă de timp;
- **indicatorii de performanță** (KPI), necesită acțiuni corective, având impact pozitiv asupra tuturor indicatorilor;
- **indicatorii de performanță proces** (IPP), se găsesc între indicatorii de rezultat și indicatorii de performanță.

2.4.1. Măsurarea performanței procesului holistic

Acest sistem necesită date relevante privind performanța diferitelor sisteme ce utilizează informații operaționale, fiind proiectat pe baza procesului de activități la nivel de organizație.

Studiile teoretice, privind analiza performanței proceselor, au dus la dezvoltarea următoarelor tipologii a indicatorilor de proces:

- indicatori de proces cu caracter universal ce sunt utilizați pentru diferite măsurări a performanței;
- indicatori pentru măsurarea proceselor de producție, sunt necesari pentru managementul de producție operativ;
- indicatori pentru măsurarea proceselor indirect productive – acele procese ce se execută înaintea procesului de producție, în timpul producției și după etapa de producție.

2.4.2. Principiile Lean manufacturig în creșterea performanței manageriale

Conform studiilor, în cazul organizațiilor cu rezultate scăzute au fost identificate cinci domenii principale de ameliorare a managementului:

- managerii trebuie să fie extrem de competenți în domeniul tehnic;
- managerii trebuie să aibă o imagine clară a propriilor clienți;
- managerii trebuie să aibă indicatorii de performanță afișați și actualizați,
- managerii trebuie să fie implicați în îmbunătățirea proceselor;
- managerii trebuie să facă tot posibilul pentru recunoașterea realizărilor angajaților.

2.5. Alte metode de creștere a performanței

Aplicarea și gestionarea performanței proceselor de producție din întreaga lume a devenit o activitate indispensabilă a tuturor organizațiilor axate pe productivitate, creșterea cifrei de afaceri și a calității produselor, focusarea pe factorii interni fiind imperios necesară pentru succesul acestora.

Factorii interni analizați sunt: analiza structurală, managementul, procesele tehnologice, cultura organizațională și angajamentul salariaților.

Instrumentul principal utilizat în analiza fluxurilor informaționale și materiale este VSM (Value Stream Mapping), fiind un instrument clasic de analiză a proceselor de fabricație cu performanță scăzută, o metodă economică pentru prezentarea și îmbunătățirea fluxurilor materiale din procesele de fabricație.

După mai mulți ani de studiu, Toyota a arătat ca implementarea conceptului Lean manufacturing implică posibilitatea apariției mai multor bariere și obstacole însă, beneficiile compensează toate greutățile și eforturile depuse.

2.5.1. Riscuri întâlnite în etapa de implementare a metodelor de creștere a performanței

Ca orice schimbare de la „rutina” zilnică, implementarea metodelor noi sunt privite cu suspiciune/ reținere, de către mulți dintre angajați; dacă organizația nu are o cultură organizațională dezvoltată, este dificil de realizat o „ruptură”, pentru îmbunătățirea performanței.

Punctul cel mai important în organizațiile cu o cultură organizațională redusă este crearea unui proiect de învățare organizațională, un proces de instruire și implementare a noilor viziuni astfel încât instrumentele clasice să poată fi înlocuite treptat și cu ușurință de către cele moderne, pentru eficientizarea proceselor de fabricație.

Orice proiect de creștere a performanței trebuie să înceapă prin compararea situației actuale cu ținta stabilită, pentru identificarea decalajului ce urmează a fi eliminat și analiza cauzelor; odată identificat decalajul, este necesară stabilirea unui plan de acțiuni defalcat.

2.6. Monitorizarea fluxurilor de producție

Elementele de monitorizare ale unei linii de producție în flux

Aceasta implică inspecții, audituri interne, analize periodice și evaluări efectuate de clienți. Prin monitorizarea constantă a datelor de producție și comparația lor cu indicatorii de performanță stabiliți, se pot identifica deficiențele și se pot lua măsuri corective pentru a optimiza procesele.

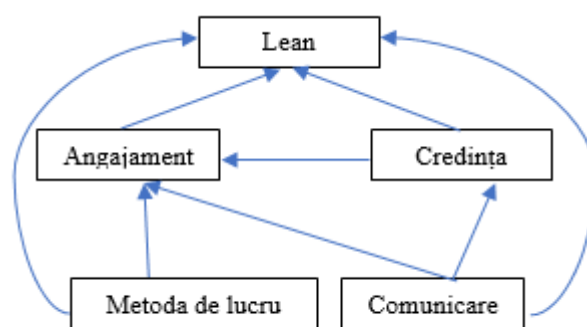


Fig. 2.2 - Factorii de predicție care

2.6.1. Monitorizarea și ajustarea proceselor de producție

Aspecte legate de monitorizarea și ajustarea proceselor de producție [73]:

1. Monitorizarea performanței proceselor;
2. Sisteme de monitorizare și control;
3. Indicatori de performanță (KPI-uri);
4. Ajustarea proceselor;
5. Utilizarea tehnologiilor avansate.

2.6.2. Metode moderne de monitorizare a producției

Sistemele de monitorizare sunt sisteme integrate de organizare a producției și sunt cunoscute sub următoarele denumiri [124]:

- Metoda programării liniare;
- Metode de organizare a producției utilizând analiza drumului critic (CPM și PERT);
- Metoda „Just in Time” (JIT);
- Metoda arborelui;
- Metoda funcțiilor de producție.

Analiza drumului critic prin metoda CPM (Critical Path Method),

reprezintă un procedeu de analiză a drumului critic dintr-un proiect, cu accent pe timp. Acest drum critic reprezintă o succesiune de activități și evenimente critice care alcătuiesc un drum continuu între începutul și sfârșitul proiectului.

Prin CPM se realizează o corespondență între elementele unui proiect (activități, evenimente) și elementele unui graf (arce și noduri), punându-se în evidență particularitățile de succesiune temporală.

Analiza drumului critic prin metoda CPM:

Pentru a calcula drumul critic prin metoda CPM, trebuie să urmăm următorii pași:

- construirea diagramei rețelei CPM, care conține activitățile ca noduri și dependențele dintre ele ca arce;
- calcularea duratei fiecărei activități (D);
- calcularea începutului (ES) și sfârșitului (EF) pentru fiecare activitate;
- calcularea începutului târziu (LS) și sfârșitului timpului târziu (LF) pentru fiecare activitate;
- calcularea float-ului activității (F) pentru fiecare activitate;
- identificarea activităților cu float-ul zero – acesta formează drumul critic.

Acest cod MATLAB (vezi Fig.2.3) calculează Începutul timpului (ES) și Sfârșitul timpului (EF), Începutul timpului târziu (LS) și Sfârșitul timpului târziu (LF), Float-ul (F) și identifică activitățile critice (cu Float-ul zero). Astfel, se poate analiza și identifica drumul critic al unui proiect, folosind metoda CPM.

Metoda PERT (Tehnica Evaluării Repetate a Programului),

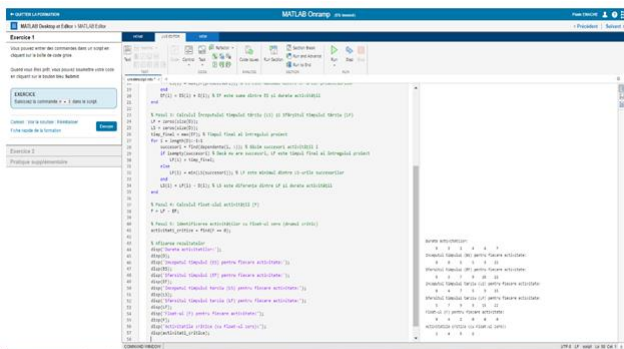


Fig. 2.3 – Reprezentarea analizei drumului critic prin metoda CPM, în MatLab

furnizează informații valoroase în procesul de conducere a proiectelor complexe, luând în considerare variațiile posibile ale duratelor de execuție ale activităților. Este utilizată în producția de unicate complexe, unde operațiile trebuie realizate într-o anumită ordine și în termene stabilite.

Metoda PERT permite calcularea timpului mediu de terminare a proiectului, identificarea activităților

critice și estimează probabilitățile de realizare a termenelor planificate. În rețeaua PERT, proiectul este modelat grafic, ilustrând relațiile logice și cronologice dintre activități și evenimentele componente.

Metoda de organizare „Just in time” („Tocmai la timp”) reprezintă o abordare strategică și operațională utilizată în managementul producției. Scopul acestei metode este de a organiza producția într-un flux continuu, asigurând o coordonare adecvată a termenelor de execuție, calității produselor și costurilor. Acest sistem are în vedere reducerea stocurilor de materii prime, materiale, piese, subansamble și producție [65].

Câteva detalii cheie despre metoda „Just in time”:

- Reducerea costurilor;
- Flux continuu de producție;;
- Calitatea ca prioritate;;
- Cooperarea cu furnizorii;;
- Producție flexibilă;;
- Reducerea timpilor de schimbare;;
- Managementul riscurilor:.

Metoda arborelui decizional

Este o metodă de abordare analitică utilizată pentru a determina și analiza riscurile, incertitudinile și probabilitățile în cadrul procesului de fabricație; implică utilizarea unui arbore decizional, care conține elemente precum puncte de decizie, alternative, puncte de ocazie, stări naturale și câștiguri.

Metoda funcțiilor de producție

Reprezintă o corelație între rezultatul unei activități de producție, cum ar fi produsul intern brut sau valoarea adăugată și factorii care o determină, precum structura și productivitatea întreprinderii, utilizarea capitalului sau gradul de re tehnologizare.

CAPITOLUL 3. CONTRIBUȚII PRIVIND MODELAREA MATEMATICĂ A OPTIMIZĂRII PROCESELOR DE PRODUCȚIE

3.1. Modelarea matematică utilizată în analiza fluxurilor de producție

Modelarea matematică a optimizării proceselor de producție presupune optimizarea costurilor, a timpului de ciclu, a nivelului de tehnologizare, a consumurilor de energie prin modele matematice utilizate în analiza fluxurilor de producție.

Determinarea performanțelor procesului

Performanța procesului se evaluează fața de două criterii, eficacitate și eficiență:

- Eficacitate - gradul în care ieșirile unui proces răspund la nevoile și așteptările clienților lor.
- Eficiența - gradul în care resursele sunt minimizate și pierderile eliminate.

Eficiența este esențială pentru organizație deoarece permite evaluarea costurilor de operare a proceselor cheie.

Costul activității de bază este instrumentul cel mai bun de folosit. Principiul pe care se bazează costul activității de bază este următorul: produsele și serviciile sunt realizate prin activități de producție, aceste activități consumă resurse și consumul de resurse implică costuri.

3.2. Optimizarea multicriterială a fluxurilor de producție,

(optimizarea costurilor, a timpului de ciclu, a nivelului de tehnologizare, consumuri de energie)

Ecuatie multicriterială pentru verificarea metodologiilor AGILE (Kanban și Scrum)

Această ecuație multicriterială poate fi construită pentru a lua în considerare mai mulți factori importanți, cum ar fi timpul de livrare, calitatea produselor livrate, satisfacția clienților, eficiența echipei etc.

Definirea variabilelor relevante pentru construirea ecuației:

- TDL (Timp de Livrare) – reprezintă timpul mediu necesar pentru a finaliza un proiect din momentul inițierii până la livrarea produsului finit;
- Calitatea produselor – poate fi măsurată, de exemplu, în termeni de defecte sau erori raportate în produsul finit;
- Satisfacția clienților – poate fie evaluată prin sondaje sau feedback-ul direct primit de la clienți cu privire la produsul livrat;
- Eficiența echipei – poate fi calculată prin numărul de sarcini finalizate în raport cu numărul total de sarcini planificate;
- Costurile proiectului - include costurile totale ale proiectului, inclusiv resursele umane și materiale alocate.

Ecuatia multicriterială ar putea arăta astfel:

$$\text{Performanța_proiectului} = w1 * (1/ \text{TDL}) + w2 * \text{Calitatea_produselor} - w3 * \text{Satisfacția_clienților} + w4 * \text{Eficiența_echipei} - w5 * \text{Costurile_proiectului}$$

(3)

unde:

w1, w2, w3, w4 și w5 reprezintă ponderile corespunzătoare fiecărui criteriu în cadrul evaluării. Aceste ponderi pot fi definite în funcție de importanța fiecărui criteriu pentru organizație sau proiectul specific.

Rezultatul ecuației „Performanța proiectului” va fi un scor care reflectă evaluarea globală a performanței proiectului în funcție de criteriile specificație și ponderile atribuite. Cu cât scorul este mai mare, cu atât performanța proiectului este considerată mai bună din perspectiva criteriilor evaluate.

Scopul acestei ecuații este să ofere o măsură a performanței generale a proiectului implementat folosind metodologiile Agile. Cu ajutorul ponderilor, organizația poate ajusta importanța fiecărui criteriu în funcție de nevoile și prioritățile sale specifice (vezi Fig.3.1).

În acest fel, ecuația multicriterială devine o unealtă valoroasă pentru managerii de proiect și echipa de lucru pentru a atinge cu succes obiectivele proiectului și pentru a asigura o dezvoltare agilă și eficientă a produselor și serviciilor.

Ecuatie multicriterială generală, pentru implementarea de noi proiecte:

Ecuatiile multicriteriale sunt folosite pentru a evalua și selecta cele mai bune soluții într-un proces de luare a deciziilor bazat pe mai multe criterii. Pentru a crea o ecuație multicriterială generală pentru implementarea unor noi proiecte cu ajutorul AGILE, LEAN și DESIGN THINKING, vom defini mai întâi criteriile relevante și ponderile lor. Apoi, vom atribui fiecărei metode o valoare pentru fiecare criteriu. Pentru a face acest lucru, vom utiliza coeficienții de importanță (ponderi) pentru fiecare metodă, astfel încât să putem ajusta influența fiecărei metode asupra rezultatului final.

Presupunem că avem următoarele criterii relevante pentru evaluarea implementării unui nou proiect:

- eficiența (ponderare: $\alpha 1$);
- calitatea produsului rezultat (ponderare: $\alpha 2$);
- flexibilitatea proiectului (ponderare: $\alpha 3$);
- costuri (ponderare: $\alpha 4$);
- timpul necesare pentru finalizare (ponderare: $\alpha 5$).

Ecuatia multicriterială are forma următoare:

$$\text{Rezultat_metoda_i} = \sqrt{\sum_j = 1 n a_j \cdot (\text{Valoare_metoda}(i, j))^2}$$

(4)

unde:

- Rezultat_metoda_i – reprezintă rezultatul obținut pentru metoda „i” (în cazul nostru, metoda Agile, Lean sau Design Thinking);
- Valoare_metoda (i, j) – reprezintă valoarea atribuită metodei „i” pentru criteriul „j”;
- N – este numărul total de criterii (în cazul nostru, n = 5);
- α_j – sunt ponderile atribuite fiecărui criteriu (în cazul nostru, valorile din vectorul „alpha”.

Explicație:

Ecuatia multicriterială este utilizată pentru a evalua diferite metode sau soluții pe baza unor criterii importante (în exemplu prezentat, avem trei metode: Agile, Lean și Design Thinking și vor fi evaluate toate metodele, în funcție de cinci criterii).

Pentru fiecare metodă, este atribuit un set de valori pentru cele cinci criterii; fiecare valoare este înmulțită cu ponderile corespunzătoare (elementele vectorului „alpha”), iar rezultatele sunt adunate și la final, însumarea este aplicată unui radical pentru a obține rezultatul final pentru fiecare metodă.

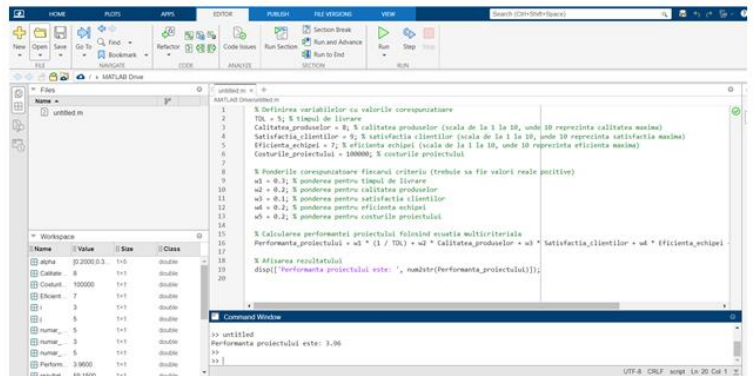


Fig. 3.1 – Optimizarea fluxurilor de producție – ecuație multicriteriala reprezentata in MatLab

Ecuția multicriterială ne permite să evaluăm și să comparăm performanța diferitelor metode (Agile, Lean și Design Thinking, în cazul de față) pe baza unor criterii importante; rezultatele obținute pentru fiecare metodă ne indică cât de bine performează metodele în funcție de criteriile date și ne ajută să luăm decizii informate în implementarea noilor proiecte (vezi Fig.3.2).

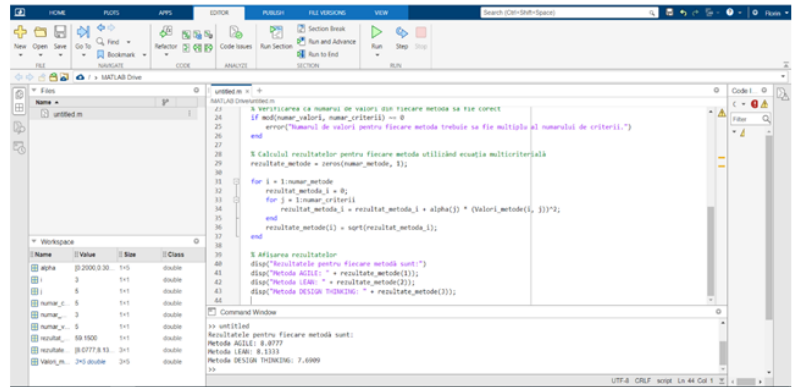


Fig. 3.2 – optimizarea fluxurilor de producție – ecuație multicriterială reprezentată în MatLab

Este important să ajustăm ponderile (valorile din vectorul („alpha”)) în funcție de importanța fiecărui criteriu pentru proiectul nostru, deoarece aceste ponderi pot influența rezultatele și pot reflecta prioritățile noastre; de asemenea, ecuația poate fi personalizată cu mai multe criterii sau metode, în funcție de specificul proiectului și a nevoilor noastre.

Ecuție multicriterială pentru analiza drumului critic prin metoda CPM:

Să presupunem că avem un proiect format dintr-un set de activități, reprezentate prin noduri într-un graf orientat aciclic (diagrama rețelei CPM).

Pentru a calcula drumul critic prin metoda CPM, trebuie să urmăm următorii pași:

- construirea diagramei rețelei CPM, care conține activitățile ca noduri și dependențele dintre ele ca arce;
- calcularea duratei fiecărei activități (D);
- calcularea începutului (ES) și sfârșitului (EF) pentru fiecare activitate;
- calcularea începutului târziu (LS) și sfârșitului timpului târziu (LF) pentru fiecare activitate;
- calcularea float-ului activității (F) pentru fiecare activitate;
- identificarea activităților cu float-ul zero – acesta formează drumul critic.

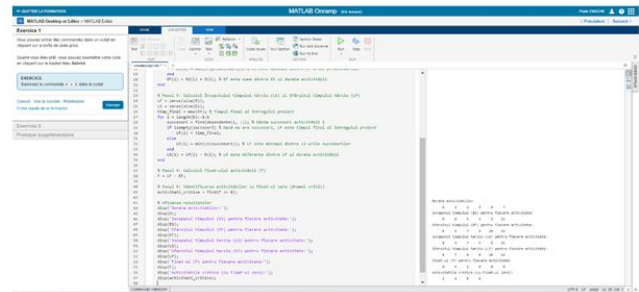


Fig. 3.3 – Analiza drumului critic prin metoda CMP reprezentată în MatLab

Acest cod MATLAB (vezi Fig.3.3) calculează Începutul timpului (ES) și Sfârșitul timpului (EF), Începutul timpului târziu (LS) și Sfârșitul timpului târziu (LF), Float-ul (F) și identifică activitățile critice (cu Float-ul zero). Astfel, se poate analiza și identifica drumul critic al unui proiect, folosind metoda CPM.

Ecuție multicriterială pentru analiza drumului critic prin metoda PERT:

Să presupunem că avem un proiect format dintr-un set de activități, reprezentate prin noduri într-un graf orientat aciclic (diagrama rețelei PERT). Pentru fiecare activitatea, putem avea următoarele criterii:

- timpul de estimare (TE): timpul alocat pentru finalizarea activității, exprimat sub forma unui număr unic;
- timpul optim (TO): timpul cel mai scurt

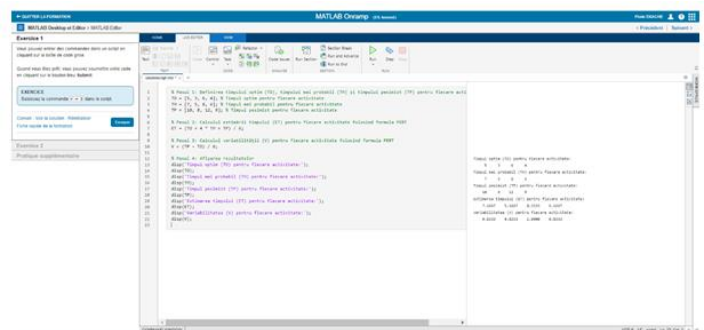


Fig. 3.4 – Analiza drumului critic prin metoda PERT reprezentată în MatLab

în care activitatea poate fi finalizată, bazat pe cele mai bune condiții de lucru;

- timpul pesimist (TP): timpul cel mai lung în care activitatea poate fi finalizată, luând în considerare posibilele întârzieri sau obstacole;
- timpul mai probabil (TM): timpul cel mai probabil în care activitatea poate fi finalizată, având în vedere condițiile normale de lucru.

Formula pentru calculul estimării timpului (ET) pentru fiecare activitate folosind metoda PERT este:

$$ET = (TO + 4 * TM + TP) / 6 \tag{5}$$

Această formulă ia în considerare faptul că timpul optim (TO) contribuie cu o pondere de 1 la estimarea timpului, iar timpul mai probabil (TM) și timpul pesimist (TP) contribuie cu o pondere de 4 fiecare. Se face media ponderată pentru a obține estimarea finală a timpului (ET).

Acest cod MATLAB (vezi Fig.3.4) calculează estimarea timpului (ET) și variabilitatea (V) pentru fiecare activitate folosind formula PERT. Aceste estimări și variabilități pot fi apoi utilizate pentru a analiza și planifica proiectul folosind metoda PERT.

Ecuatie pentru analiza drumului critic prin metoda JIT:

Metoda Just-in-Time (JIT) este o abordare de gestionare a producției care are ca scop reducerea stocurilor și a timpului de așteptare, pentru a minimiza costurile și a asigura producția eficientă și flexibilă. Într-un sistem JIT, materialele sunt aduse la linia de producție exact în momentul în care sunt necesare, eliminând astfel stocurile excesive și risipa.

Pentru a evalua performanța metodei JIT, putem folosi o ecuație multicriterială care combină mai mulți factori cheie ai sistemului de producție. Această ecuație are forma generală:

$$JIT-Score = \alpha * costuri + \beta * timp_livrare + \gamma * stocuri + \delta * rata_defectare + \varepsilon * flexibilitate$$

unde:

- α , β , γ , δ și ε sunt ponderi (coeficienți) care indică importanța relativă a fiecărui criteriu în evaluarea sistemului. Aceste ponderi ar trebui să satisfacă condiția $\alpha + \beta + \gamma + \delta + \varepsilon = 1$;
- costuri, reprezintă costurile totale de producție în sistemul JIT;
- timp_livrare, reprezintă timpul mediu de livrare al produselor finite către clienți;
- stocuri, reprezintă nivelul mediu al stocurilor de materiale sau produse în procesul de producție;
- rata_defectare, reprezintă procentajul de produse defecte sau neconforme în producție;
- flexibilitate, reprezintă măsura în care sistemul de producție poate răspunde rapid la schimbări sau cerințe noi.

Scorul JIT final, obținut prin combinarea ponderilor și valorilor criteriilor, oferă o măsură a performanței proiectului sau a sistemului de producție, permițând compararea și evaluarea diferitelor opțiuni sau alternative (vezi Fig.3.5).

Ecuatia multicriterială pentru analiza drumului critic prin metoda Arborelui decizional

Ecuatiile multicriteriale generalizează procesul de luare a deciziilor atunci când avem mai multe criterii de luat în considerare și poate fi definită sub următoare formă:

$$F(X) = \alpha_1 * f_1(X) + \alpha_2 * f_2(X) + \alpha_3 * f_3(X) + ... + \alpha_n * f_n(X) \tag{7}$$

unde:

- F(X) reprezintă funcția globală de evaluare a deciziei, care trebuie maximizată sau minimizată, în funcție de natura problemei;

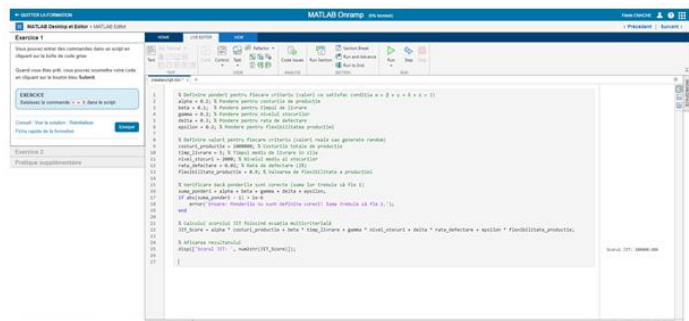


Fig. 3.5 – Analiza drumului critic prin metoda JIT, reprezentata in MatLab

- $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$ este vectorul de variabile de decizie, adică valorile pe care le putem alege pentru fiecare criteriu;
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ sunt ponderile corespunzătoare fiecărui criteriu, cu $\alpha_i \in [0, 1]$ și $\sum \alpha_i = 1$, reflectând importanța relativă a fiecărui criteriu în procesul de luare a deciziilor;
- $f_1(X), f_2(X), f_3(X), \dots, f_n(X)$ reprezintă funcțiile de evaluare a fiecărui criteriu, care pot fi definite diferit în funcție de natura criteriului și a datelor disponibile

Pentru "Metoda arborelui decizional", $f_1(X), f_2(X), f_3(X), \dots, f_n(X)$ pot fi funcții care evaluează performanța, costurile, calitatea, timpii de răspuns și orice alte criterii relevante în monitorizarea producției.

Să presupunem ca avem de ales între două mașini (Mașina A și Mașina B) pe care vrem să le cumpărăm, iar pentru a lua o decizie corectă, ne interesează mai multe aspecte: prețul, consumul de combustibil și performanțele în teste de siguranță.

Fiecare va fi reprezentat de o funcție specifică, care ia în considerare valorile fiecărui criteriu pentru fiecare mașină. De exemplu, să presupunem că avem următoarele funcții:

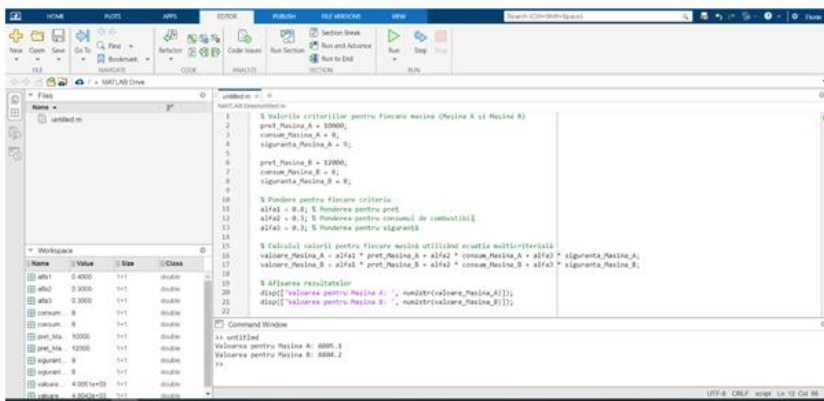


Fig. 3.6 – Analiza drumului critic prin metoda Arborelui decizional, reprezentata in MatLab

- $f_1(X)$ = prețul mașinii (cu valori mai mici fiind preferate, pentru că vrem să cheltuim mai puțini bani);
- $f_2(X)$ = consumul de combustibil al mașinii;
- $f_3(X)$ = scorul obținut în teste de siguranță.

1. Fiecare funcție va fi multiplicată cu o anumită pondere ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) care reflectă importanța relativă a fiecărui criteriu pentru noi. De exemplu, să presupunem că pentru noi costul mașinii (prețul) este mai important decât consumul de combustibil, iar siguranța este și mai importantă.

Putem avea:

- $\alpha_1 = 0.4$ (40% importanță pentru preț);
- $\alpha_2 = 0.3$ (30% importanță pentru consumul de combustibil);
- $\alpha_3 = 0.3$ (30% importanță pentru siguranță).

2. Ecuația finală se construiește sumând toate aceste componente:

$$F(X) = \alpha_1 * f_1(X) + \alpha_2 * f_2(X) + \alpha_3 * f_3(X) \tag{8}$$

. Mașina care obține rezultatul cel mai mare în ecuație va fi cea mai bună alegere pentru noi, ținând cont de prioritățile noastre și de importanța fiecărui criteriu (vezi Fig.3.6).

Ecuatia multicriterială pentru analiza drumului critic prin metoda funcțiilor de producție

Metoda funcțiilor de producție este utilizată în economie și analiza de costuri pentru a cuantifica relația dintre intrările (input-urile) și producție (output-ul) într-o firmă sau industrie. Acest lucru poate ajuta la determinarea eficienței și a randamentului producției.

1. Funcția cu progres tehnic (Cobb-Douglas):

Funcția Cobb-Douglas este o funcție de producție simplă și larg utilizată care exprimă relația dintre producție și intrări într-un mod elastic. Formula generală pentru funcția Cobb-Douglas este:

$$Y = A * (L^\alpha) * (K^\beta) \tag{9}$$

unde:

Y reprezintă producția (output-ul);

L reprezintă mărimea forței de muncă;

K reprezintă capitalul (input-ul);

A, alpha și beta sunt parametrii constanți, A fiind o măsură a tehnologiei sau a progresului tehnic;

2. Funcția de producție Constant Elasticity of Substitution (CES):

Funcția CES este o funcție de producție care ia în considerare substituția între factorii de producție. Formula generală pentru funcția CES este:

$$Y = A * [(a * (L^{\rho}) + (1-a) * (K^{\rho}))^{1/\rho}] \quad (10)$$

unde:

Y reprezintă producția (output-ul);

L reprezintă mărimea forței de muncă;

K reprezintă capitalul (input-ul);

A și rho sunt parametrii constanți, cu rho reprezentând elasticitatea de substituție și „a” fiind o măsură a ponderii fiecărui factor de producție.

Funcția de producție Irma Adelman: este o altă funcție de producție folosită pentru a analiza relația dintre producție și intrări.

Formula generală pentru funcția Irma Adelman este:

$$Y = A * (L^{\alpha}) * (K^{\beta}) * (M^{\gamma}) \quad (11)$$

unde:

Y reprezintă producția (output-ul);

L reprezintă mărimea forței de muncă;

K reprezintă capitalul (input-ul);

M reprezintă alte intrări, cum ar fi materiile prime sau tehnologia (inputul);

A, alpha, beta și gamma sunt parametrii constanți, cu A fiind o măsură a tehnologiei sau a progresului tehnic, iar alpha, beta și gamma reprezentând elasticitatea producției la fiecare factor de intrare.

Ecuatie multicriterială privind optimizarea raportului cost – calitate (optimizare fluxuri de fabricație)

Propun o ecuație multicriterială simplificată, cu 3 criterii: cost (C), timpul de ciclu (T) și nivel de tehnologizare (N). Voi atribui coeficienți de pondere w1, w2, w3 pentru fiecare criteriu, reprezentând importanța relativă a acestora. Pentru alegerea coeficienților de pondere w1, w2, w3 am evaluat importanța relativă a fiecărui criteriu în contextul specific al creșterii productivității.

Costul (C) – este un criteriu important în creșterea productivității și poate fi exprimat în termeni financiari incluzând costurile cu materialele, costurile de muncă, costurile de echipamente, plus alte cheltuieli asociate producției (cu cât costul este mai mic, cu atât variabila este mai favorabilă pentru creșterea productivității).

Timpul de ciclu (T) – reprezintă perioada necesară pentru a finaliza un ciclu de producție; poate include timpul de prelucrare, timpul de așteptare și alte activități necesare. Cu cât timpul de ciclu este mai mic, cu atât variabila este mai favorabilă pentru creșterea productivității.

Nivelul de tehnologizare (N) – reprezintă gradul de utilizare a tehnologiei moderne și a automatizării în procesul de producție. Acest criteriu poate include utilizarea roboților, a mașinilor cu control numeric, a sistemelor informatice etc. Cu cât nivelul de tehnologizare este mai mare, cu atât varianta este mai favorabilă pentru creșterea productivității.

$$F = w1 * C + w2 * T + w3 * N$$

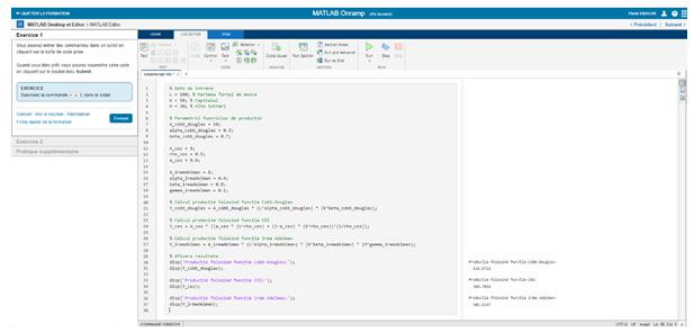


Fig. 3.7 – Analiza drumului critic prin metoda funcțiilor de producție, reprezentată în MatLab

$$W1=0.5; w2=0.3; w3=0.2$$

Rezultă ecuația:

$$F = 0.5 * C + 0.3 * T + 0.2 * N \tag{12}$$

unde:

F – reprezintă valoarea obținută în urma evaluării variantei pentru creșterea productivității;

C – reprezintă scorul atribuit criteriului de cost;

T – reprezintă scorul atribuit criteriului timp de ciclu;

N – reprezintă scorul atribuit criteriului nivel de tehnologizare.

Aplicând ecuația de mai sus, vom obține un rezultat F care va indica cât de favorabilă este varianta respectivă în ceea ce privește creșterea productivității. Cu cât valoarea este mai mare, cu atât varianta este considerată mai potrivită pentru scopul propus.

Implementarea unei celule robotizate poate contribui la optimizarea fluxurilor de fabricație, prin reducerea erorilor umane, creșterea eficienței și productivității și implicit, îmbunătățirea calității produselor și reducerea costurilor de producție.

Prin simularea și analiza fluxurilor de fabricație, se pot identifica și elimina eventualele ineficiențe sau blocaje, optimizând astfel performanța și eficacitatea întregului sistem de producție.

$$C1 = 0.85$$

$$C2 = 0.76$$

$$C3 = 0.92$$

$$w1 = 0.5$$

$$w2 = 0.3$$

$$w3 = 0.3$$

Astfel ecuația devine:

$$Z = 0.5 * 0.85 + 0.3 * 0.76 + 0.3 * 0.92 = 0.425 + 0.228 + 0.276 = 0.929 \tag{14}$$

În acest caz, valoarea obiectivului Z reprezintă o măsură a optimizării globale a fluxurilor de fabricație, ținând cont de calitatea produselor, eficiența producției și costurile de producție.

Obiectivul final este de a maximiza valoarea obiectivului Z, ceea ce indică o optimizare eficientă și echilibrată a fluxurilor de fabricație (cu cât valoarea obiectivului Z este mai mare, cu atât optimizarea fluxurilor de fabricație este considerată mai bună).

Ecuatie multicriterială pentru modelele discrete, continue și combinate pentru optimizarea prin simulare a fluxurilor de fabricație

Ecuatia multicriterială poate avea o formă generală, cu ponderi asociate fiecărui criteriu. Ponderile reflectă importanța relativă a fiecărui criteriu în cadrul procesului de decizie. În funcție de specificul fiecărui proiect sau aplicație, aceste ponderi pot fi ajustate pentru a obține rezultate relevante în raport cu obiectivele propuse.

După completarea ponderilor în ecuația multicriterială, putem obține un rezultat numeric care reprezintă scorul sau performanța fiecărui scenariu sau model evaluat în cadrul optimizării prin simulare a fluxurilor de fabricație.

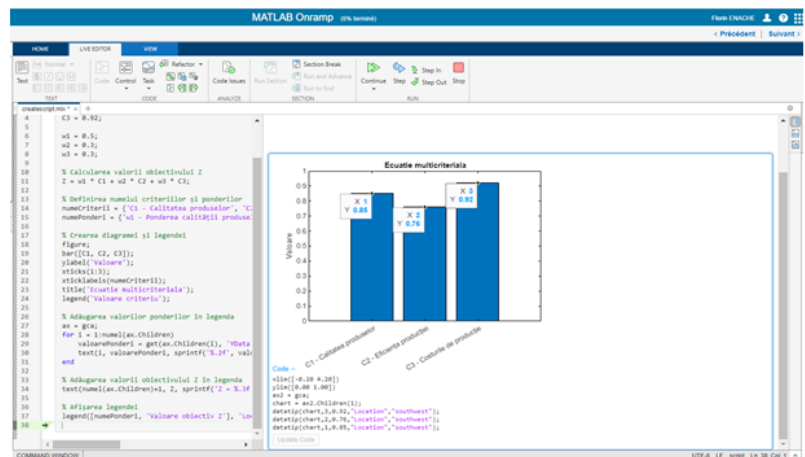


Fig. 3-9 – Reprezentare grafica a ecuației multicriteriale privind analiza și optimizarea teoretică a fluxurilor de fabricație

Rezultatul va fi o valoare care reflectă calitatea fiecărui scenariu în raport cu criteriile luate în considerare.

Exemplificare: pentru fiecare scenariu evaluat, vom avea un set de valori, pentru fiecare criteriu (timpul de producție, costurile, eficiența resurselor, calitatea produselor etc.), precum și ponderile asociate fiecărui criteriu.

Ecuția multicriterială pentru modelele discrete, continue și combinate este definită prin ponderi atribuite fiecărui criteriu; aceste ponderi indică importanța relativă a fiecărui criteriu în procesul de optimizare (avem patru criterii: timp de producție – model continuu; costuri – model discret; eficiența resurselor – model combinat; calitatea produselor – model continuu).

Ponderile pentru fiecare criteriu sunt definite astfel:

- alpha – pentru timp de producție (model discret);
- beta – pentru costuri (model discret);
- gamma – pentru eficiența resurselor (model combinat);
- delta – pentru calitatea produselor (model continuu).

Aceste ponderi (vezi Fig.3.10) satisfac condiția că suma lor este egală cu 1, pentru a reflecta importanța totală a tuturor criteriilor (în MATLAB valorile pentru fiecare criteriu sunt definite ca valori reale, în scopul exemplificării).

Ecuție multicriterială pentru evaluarea performanței celulei robotizate:

Pentru a formula ecuația multicriterială, trebuie identificate criteriile relevante pentru evaluarea performanței celulei robotizate. În funcție de informațiile disponibile și de obiectivele specifice ale sistemului, voi lua în calcul următoarele criterii:

- Eficiența;
- Reducerea costurilor;
- Calitatea produselor.

$$\text{Performanța} = w1 * \text{Eficiența} + w2 * \text{Reducerea costurilor} + w3 * \text{Calitatea produselor} \quad (15)$$

unde:

w1, w2, w3 reprezintă coeficienții de pondere pentru fiecare criteriu și reflectă importanța relativă acordată fiecăruia.

Eficiența, Reducerea costurilor, Calitatea sunt scorurile normalizate pentru fiecare criteriu, care pot fi obținute prin evaluarea performanței celulei robotizate în fiecare domeniu.

$$w1=0.5; w2=0.3; w3=0.3$$

Această ecuație permite calcularea valorii de performanță pentru fiecare variantă evaluată, ținând cont de importanța relativă a celor trei criterii: Ef=0.76; Rc=0.92; Cp=0.85.

$$\text{Performanța (Z)} = 0.5 * \text{Eficiența} + 0.3 * \text{Reducere costuri} + 0.3 * \text{Calitate produse} = 0.5 * 0.85 + 0.3 * 0.92 + 0.3 * 0.92 = 0.425 + 0.228 + 0.276 = 0.929$$

(16)

După scrierea codului Matlab rezultă următoarele:

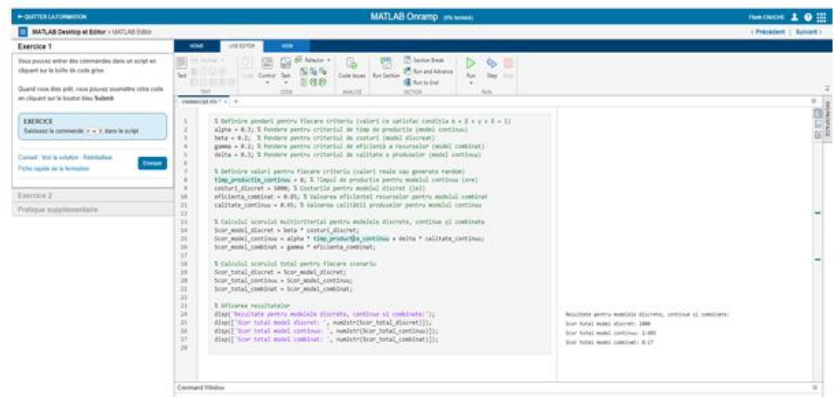


Fig. 3.10 – optimizarea prin simulare a fluxurilor de fabricație pentru modelele discrete, continue și combinate, reprezentată în MatLab

- diagrama generată în MATLAB (vezi Fig.3.11) este o diagramă tip bare, care ne ajută să vizualizăm performanța celei robotizate în funcție de criterii.
- pe axa orizontală a diagramei avem numele criteriilor luate în considerare: Eficiența, Reducere costuri și Calitate produse. Acestea reprezintă aspectele pe care dorim să le evaluăm în ceea ce privește performanța celei robotizate.
- pe axa verticală avem scala valorilor performanței, care variază în funcție de scorurile obținute pentru fiecare criteriu. Cu cât o bară este mai înaltă, cu atât scorul pentru acel criteriu este mai mare, ceea ce indică o performanță mai bună în respectivul domeniu.

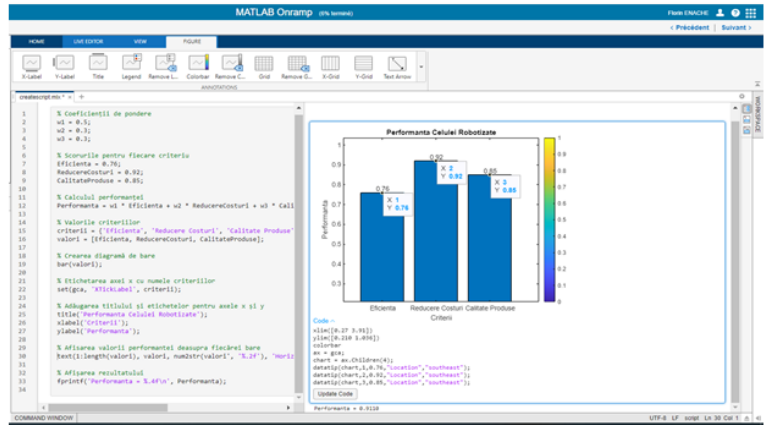


Fig. 3.11 – Reprezentare ecuație multicriterială evaluare privind evaluarea performanței celei robotizate

Fiecare bară reprezintă un criteriu, iar înălțimea acesteia este proporțională cu scorul obținut pentru criteriu (de exemplu, dacă bara pentru criteriul „Eficiență” este mai înaltă decât celelalte bare, înseamnă că celula obține un scor mai mare în ceea ce privește eficiența producției). Deasupra fiecărei bare este afișată valoarea scorului corespunzător, rotunjită la doua zecimale, ceea ce ne permite să vedem în mod clar valorile asociate fiecărui criteriu și să le comparăm între ele. Implementarea celei robotizate, în procesul de prelucrare, aduce avantaje semnificative în termeni de creștere a productivității, reducerea costurilor, îmbunătățirea calității și optimizarea utilizării resurselor, aceste beneficii contribuind la creșterea competitivității și a eficienței generale a întreprinderii.

Ecuatie multicriterială pentru evaluarea nivelului de creștere a performanței:

$$\text{maximizează } f(x) = (w1 * f1(x)) + (w2 * f2(x)) + (w3 * f3(x)) + \dots (wn * fn(x)) \tag{22}$$

unde:

f(x) - este vectorul de obiective sau criterii de performanță;

x - reprezintă variabilele de decizie sau parametrii sistemului sau procesului;

f_i(x) - reprezintă fiecare funcție obiectiv corespunzătoare unui criteriu de performanță. De exemplu, f₁(x) poate reprezenta creșterea profitului, f₂(x) poate reprezenta creșterea productivității, f₃(x) poate reprezenta reducerea costurilor etc.;

w_i - reprezintă ponderile corespunzătoare fiecărui criteriu de performanță. Aceste ponderi reflectă importanța relativă a fiecărui criteriu în evaluarea performanțelor;

n - reprezintă numărul total de criterii de performanță

Această ecuație multicriterială ne permite sa facem o evaluare globală a nivelului de creștere a performanțelor în funcție de mai multe criterii; ponderile (w_i) arată importanța relativă a fiecărui criteriu.

În codul MATLAB (vezi Fig.3.12) am definit ponderile și valorile variabilelor de decizie (x) pentru fiecare criteriu. Am definit

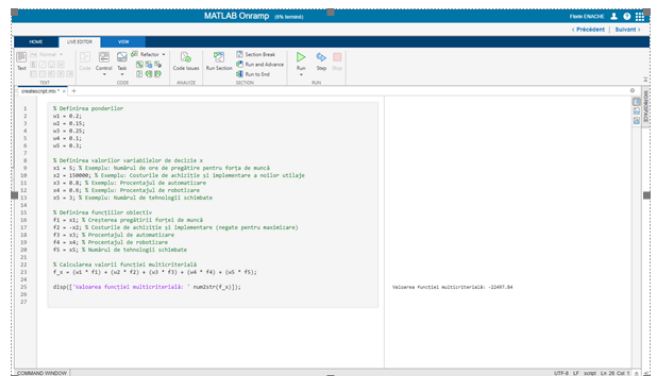


Fig.3.12 – evaluarea nivelului de creștere a performanței în funcție de mai multe criterii, reprezentata în MatLab

funcțiile obiectiv (f_1 până la f_5) care corespund fiecărui criteriu. Pentru criteriul legat de costuri (f_2), am folosit valori negative pentru a maximiza reducerea costurilor.

Apoi, am calculat valoarea funcției multicriteriale (f_x) prin însumarea ponderată a fiecărei funcții obiectiv. Rezultatul indică nivelul de performanță global, luând în considerare toate criteriile și ponderile corespunzătoare

3.3. Formularea matematică a ecuației multicriteriale a modelului generalizat pentru analiza fluxurilor de producție

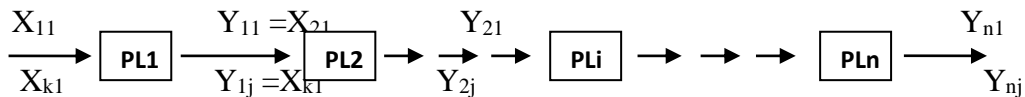
În acest sens formulez o ecuație multicriterială cu un sistem de criterii convenabil ales pentru aprecierea performanțelor sistemelor de fabricație care să conducă la un model matematic general în care să fie înglobate criteriile acceptate în contextul unor condiții tehnice impuse.

Aprecierea corectă și completă a performanței unui flux de fabricație nu se poate face decât considerând toate criteriile enunțate anterior determinând un indice global de performanță. Cunoașterea indicelui global de performanță face posibilă alegerea celui mai potrivit mod de creștere a acestuia prin schimbări tehnice, tehnologice sau economice.

Definirea performanței unui flux de fabricație

Un flux de fabricație are ca scop realizarea unui produs final. Pentru aceasta sunt necesare n posturi de lucru (PL) înseriate. Pentru fiecare post de lucru sunt definite anumite variabile independente de intrare notate cu $X_i, i=1, 2, \dots, k$ și anumite variabile dependente de ieșire notate cu $Y_e, e=1, 2, \dots, j$. Între variabilele de intrare și cele de ieșire există diverse corelații în funcție de postul de lucru definite ca funcții de proces. Mărimile de ieșire dintr-un PL sunt mărimi de intrare în următorul PL. Definirea funcțiilor de corelație se stabilește conform criteriului urmărit putând fi teoretice, deduse pe baza unor considerente fizice sau pe baza rezultatelor experimentale și sunt de forma [60]:

$$Y_{nj} = F_{PLj}(X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{nj}) \quad (17)$$



(18)

Pentru fiecare post de lucru PL se poate defini un indice global de performanță IP similar cu nivelul tehnic al utilajelor, folosind principiul utilității a lui Von Neumann-Morgenstern în funcțiile de producție de tip Cobb-Douglas [61]:

$$IP_j = F_{PLj}(C_{P1}, C_{P2}, \dots, C_{Pi}). \quad (19)$$

Pentru a putea defini formal indicele global de performanță IP vom asimila caracteristicile tehnice ale unui utilaj cu criteriile de apreciere a performanței unui post de lucru (C_{Pi}) (eficiența producției, costurile, calitatea produselor, timpul de ciclu T_{cy} , flexibilitatea, energia consumată etc.). Se observă că pentru a crește indicele global de performanță unele criterii trebuie să aibă valori cât mai mari (eficiența producției, calitatea produselor, flexibilitatea etc. unde $j=1, 2, \dots, f$), iar altele cât mai mici (costurile, timpul de ciclu T_{cy} , energia consumată etc. unde $j=g, \dots, i$). Utilitatea practică a indicelui global de performanță IP este atunci când acesta este folosit pentru analiza a două fluxuri de fabricație, unul inițial FF_a și celălalt rezultat din primul prin aducerea unor îmbunătățiri FF_b . Astfel, forma indicelui de performanță pe baza căruia se poate justifica o decizie privind îmbunătățirea unui flux de fabricație este:

$$IP_{jab} = \prod_{j=1, 2, \dots, f} \left(\frac{IP_{ja}}{IP_{jb}} \right)^{\alpha_j} \times \prod_{j=g, \dots, i} \left(\frac{IP_{jb}}{IP_{ja}} \right)^{\alpha_j},$$

(20)

În care $j = 1, 2, \dots, f$ pentru criteriile care trebuie să fie crescătoare și $j = g, \dots, i$ pentru criteriile care trebuie să fie descrescătoare, iar α_j este ponderea de influență a criteriului j asupra IP_j .

În acest fel, prin raportarea indicilor relativi $\left(\frac{IP_{ja}}{IP_{jb}}\right)$ se obțin factori adimensionali.

Exponentul α_j poate lua valori între 0 și 1. Pentru valoarea 0 rezultă că nu este important criteriul respectiv, iar pentru valoarea 1, criteriul respectiv este singurul care contează. Se recomandă excluderea celor două situații. În varianta generală trebuie respectată relația:

$$\sum_1^i \alpha_j = 1.$$

Cel mai important criteriu de apreciere a unui flux de fabricație este *eficiența E*. Aceasta reprezintă capacitatea fluxului de fabricație de a produce un număr maxim de piese într-un interval de timp dat; acest criteriu poate fi cuantificat prin *cadența* de producție sau *tactul* fluxului. În acest caz performanța fluxului de fabricație este:

$$PF_E = N_p$$

unde N_p este numărul de piese.

Criteriul *costurilor de producție* C_p reprezintă capacitatea fluxului de fabricație de a produce un număr de produse într-un timp dat cu un cost cât mai mic. Acest criteriu poate fi cuantificat prin estimarea costurilor de operare, astfel:

$$PF_{C_p} = 1/C_p.$$

Criteriul *calității produselor* C_c reprezintă capacitatea fluxului de fabricație de a produce produse de înaltă calitate, în conformitate cu specificațiile și standardele cerute; acest criteriu poate fi cuantificat prin nivelul de conformitate și numărul de piese respinse N_R în timpul procesului de producție:

$$PF_{C_c} = 1/N_R.$$

Aplicație:

Se consideră un flux de fabricație format din 3 posturi de lucru. La finalul fluxului se obține un produs la fiecare 5 minute, deci tactul fluxului este 5 cu un cost de producție de 1000 lei. În urma utilizării produselor se înregistrează în medie o reclamație la 100 produse.

Pentru creșterea performanței fluxului se hotărăște înlocuirea unui operator la un post de lucru cu un robot. În această variantă se obține un produs la fiecare 4 minute (tactul este 4), iar costul se reduce la 900 lei. Calitatea produselor crește înregistrându-se o reclamație la 1000 produse.

Pentru cele 3 criterii vom stabili următoarele valori ale exponenților de prioritate conform intereselor producătorului: $\alpha_1 = 0,4$, $\alpha_2 = 0,3$, $\alpha_3 = 0,3$.

Față de varianta inițială la care valoarea este egală cu 1, în varianta îmbunătățită indicele global de performanță va fi:

$$IP = \left(\frac{4}{5}\right)^{0,4} \times \left(\frac{1000}{900}\right)^{0,3} \times \left(\frac{1/100}{1/1000}\right)^{0,3} = \left(\frac{4}{5}\right)^{0,4} \times \left(\frac{10}{9}\right)^{0,3} \times \left(\frac{10}{1}\right)^{0,3} = 1,88.$$

(21)

Asta înseamnă că înlocuind la un post de lucru operatorul uman cu un robot, tactul s-a redus pentru că unele operații de la celelalte două posturi au fost preluate de robot reducându-se astfel

timpul de ciclu, costurile au fost reduse, iar calitatea a crescut. În acest caz, după ce am stabilit valorile exponenților de prioritate, a crescut indicatorul de performanță de la 1 la 1,88.

Față de celelalte ecuații multicriteriale prezentate, ecuația modelului generalizat pentru analiza fluxurilor de producție propusă de autor prezintă avantajul că poate fi utilizată ca bază de decizie pentru justificarea modernizării fiecărui post de lucru. Acest avantaj derivă din faptul că de fiecare dată se compară indicatorul de performanță inițial cu cel rezultat prin schimbarea propusă pentru oricare post de lucru.

3.4. Concluzii privind analiza și optimizarea teoretică a fluxurilor de fabricație

Îmbunătățirea calității produselor și serviciilor nu se poate realiza fără optimizarea fluxurilor de fabricație ce participă la funcționarea acestora. Practica modernă impune îmbunătățirea proceselor de producție, spre deosebire de vechile abordări care s-au bazat pe îmbunătățirea rezultatelor. Posibilitățile de îmbunătățire/ optimizare a fluxurilor de fabricație sunt infinite - conform concepției asiatice sau, optimizare prin inovare - conform culturii occidentale.

Optimizarea rețelelor logistice și a liniilor de fabricație, ale fiecărei întreprinderi axate pe productivitate, influențează semnificativ performanța și calitatea produsului final, monitorizarea proceselor, digitalizarea devenind acțiuni prioritare pentru aceste sectoare. Simularea fluxurilor de fabricație este necesară pentru că ajută la identificarea factorilor ce penalizează activitățile de producție și arată căile de optimizare a fluxurilor, proceselor, pentru o productivitate cât mai mare.

Optimizarea fluxurilor de fabricație se poate realiza cu ajutorul unor algoritmi ce permit minimizarea unor funcții (de ex. resursele, optimizarea și controlul arhitecturilor de fabricație), generând succesiv seturi de variabile, ajungându-se la un set optim.

Din punct de vedere teoretic organizarea producției poate fi definită ca acea formă de organizare a producției de bază, caracterizată prin specializarea locurilor de muncă în executarea operațiilor necesare fabricării unui produs sau grupe de produse, prin amplasarea locurilor de muncă în succesiunea executării operațiilor și prin deplasarea produselor de la un loc de munca la altul prin mijloace adecvate, de regulă mecanizat, pe baza unui tact de funcționare prestabilit.

Se poate menționa că optimizarea fluxurilor de fabricație pe baza unui studiu legat de modelarea procesului de structurare și optimizare a fluxurilor de informații în unitățile industriale constituie o acumulare consistentă de date, informații, proiecții, raționamente, implicând specialități diferite, precum și integrarea unor atitudini diferite în managementul strategic și operațional.

CAPITOLUL 4 - CONTRIBUȚII PRIVIND ÎMBUNĂȚĂȚIREA PROCESELOR DE PRODUCȚIE PRIN SIMULARE

4.1. Clasificarea modelelor și tehnicilor de simulare; modele de simulare

4.1.1. *După natura fizică a elementelor modelului* se pot enumera:

Modelele fizice ;

Modelele abstracte împărțite în:

- modele abstracte calitative;
- modele abstracte cantitative împărțite în:
 - modelele deterministe;
 - modelele statistice;
 - modelele stochastice;
 - modelele fuzzy;
 - modelele mixte).

Modelele hibride.

4.1.2. *După natura matematică a relațiilor din model* se pot enumera:

- Modelele liniare ă;
- Modelele neliniare.

4.1.3. *După natura evoluției sistemului modelat* se pot întâlni:

- Modelele statice ;
- Modelele dinamice:
 - modelele dinamice stabile;
 - modelele dinamice.

4.1.4. *După obiectul cercetării* se pot enumera:

- Modelele microeconomice;
- Modelele.

4.1.5. *După natura variabilelor* se pot enumera:

- Modelele discrete ;
- Modelele continue .

Optimizarea prin simulare a fluxurilor de fabricație poate fi aplicată în:

- planificarea, controlul și programarea optimă a producției;
- analiza datelor statistice și construcția de modele empirice din rezultatele experimentale, pentru obținerea unei reprezentări cât mai corecte a fenomenelor fizice;
- proiectarea optimă a mașinilor, utilajelor și proiectarea uzinelor;
- alegerea amplasamentului unei firme productive;
- planificarea menținerii și înlocuirii echipamentului pentru reducerea costurilor de funcționare;
- controlul stocurilor;
- proiectarea optimă a sistemelor de control.

Simulările sunt operații de natură procesuală ce folosesc programe specializate capabile de a reprezenta cu ajutorul unui calculator, funcționarea unei mașini, a unui sistem sau fenomen. Folosirea simulatoarelor pentru procesele de producție are drept scop definirea operațiilor de producție, eliminarea non-valorilor, atingerea într-un timp cât mai scurt a unui volum de producție cât mai ridicat cu costuri minime.

Simularea poate fi folosită atât ca un instrument de analiză, pentru a prevedea efectele schimbărilor asupra unui sistem existent cât și ca mijloc de proiectare în realizarea performanței unor noi sisteme în altfel de circumstanțe, utilizându-se în următoarele scopuri:

- pentru studierea și experimentarea acțiunilor interne ale unui sistem complex sau ale unui subsistem;
- pentru schimbările informaționale, organizaționale și de mediu care pot fi simulate, fiind observate influențele asupra comportamentului modelului;

- pentru verificarea soluțiilor analitice.

Se disting trei tipuri de modele pentru simulare:

1. Modelele discrete sau discontinue;

2. Modelele continue;

3. Modelele combinate.

Simularea amplasării componentelor unui atelier

Prin simularea amplasării componentelor unui atelier se urmărește realizarea obiectivelor propuse ținând cont de numărul de mașini și tipul acestora, natura și mărimea depozitelor (stocare, magazine, sisteme de alimentare, suprafețe de depozitare etc.), natura și dimensiunile sistemului de manipulare al pieselor, sculelor, semifabricatelor dar și volumul forței de muncă necesar.

Simularea funcționării unui atelier

Simularea permite o bună conducere a atelierului prin respectarea termenelor de fabricație, evaluarea costurilor, micșorarea producției neterminate, diminuarea rebuturilor etc.[52].

Simularea gestionării unui atelier

Acest tip de simulare permite evaluarea și compararea diferitelor strategii de conducere în scopul adoptării soluției cele mai performante plecând de la analiza planificării producției, regulile de prioritate acordate produselor sau variantelor tehnologice, strategii de distribuție a resurselor (mașini, linii de fabricație, operatori etc.), campaniile de lansare a produselor pe piață.

Procesul de optimizare și automatizare al atelierelor are implicații directe asupra structurii utilajelor industriale moderne prin creșterea elementelor electronice și de software, reușindu-se astfel o reducere a ponderii părții mecanice a utilajului cu 25%.

Optimizarea prin simulare a raportului cost-calitate

Menținerea întreprinderii pe piața produselor și serviciilor este foarte importantă și se poate realiza prin abordarea conceptelor de simulare și de logistică a producției. Astfel, informatizarea reduce costurile, deoarece determină o mai bună înțelegere și gestionare a fluxurilor materiale și de informații, ce au un rol important în coordonarea unui sistem industrial complex [53].

Informațiile pot fi tratate în simularea producției pe trei niveluri ierarhice:

- nivelul local;
- nivelul;
- nivelul central.

4.2. Modelarea și simularea sistemelor mecatronice

Rezolvarea problemelor cu ajutorul tehnicilor de simulare presupune utilizarea unor algoritmi interactivi și existența unor pași bine determinați în vederea atingerii obiectivului presupus; chiar dacă metodele Monte Carlo diferă, urmează aceleași etape:

- definirea variabilelor care se doresc studiate;
- generarea aleatorie a valorilor aferente variabilelor;
- calculul deterministic;
- agregarea rezultatelor.

Cei nouă pași necesari implementării metodei Monte Carlo [127]:

- dezvoltarea întrebării principale;
- crearea unor modele de ecuații reprezentative;
- proiectarea condițiilor specifice;
- selectarea valorilor parametrilor;
- selectarea software-ului potrivit;
- executarea simulărilor;
- crearea matricelor;
- evaluarea corectitudinii statistice a procesului;
- rezumarea rezultatelor.

4.3. Cercetări de optimizare prin simulare la implementarea unei celule robotizate

4.3.1. Modelarea matematica a sistemului

Modelarea unui sistem are la bază necesitatea analizei acestuia pentru identificarea și înțelegerea relațiilor dintre componentele ce îl formează, pentru estimarea modului de funcționare în anumite condiții (etapa ipotetică și etapa de proiectare).

Un sistem este un ansamblu de resurse și proceduri unite și reglate prin interacțiuni sau interdependențe, pentru a efectua un set de funcțiuni specifice [79], orientate spre un obiectiv comun.

Referitor la sistemul industrial, acesta este compus din mașinile, părțile componente și muncitorii care lucrează într-o linie de prelucrare sau asamblare pentru a finaliza un produs complex, de înaltă calitate. Orice sistem este influențat de schimbările care apar în exteriorul acestuia (sistemul unei întreprinderi de autovehicule poate fi influențat din exterior de creșterea sau descreșterea solicitărilor pentru un anumit tip de echipare).

Sistemul are o structură destul de complexă cuprinzând elemente de planificare, specificații, analiză, proiectare, implementare, desfășurare, structură, comportare, date de intrare, date de ieșire.

Prin modelarea unui sistem se încearcă o reprezentare abstractă în scopul reproducerii artificiale a sistemului existent, putându-se astfel analiza elementele sistemului de baza și predicția comportării acestuia.

Scopul modelării unui sistem [81] este reprezentat de:

- relevarea fenomenelor sau proceselor ce se desfășoară în interiorul sistemului real;
- menționarea consecințelor sau utilității diferitelor metode de decizie;
- descrierea elementelor componente sau a subsistemelor sistemului real.

4.3.2. Optimizare prin simulare

Implementarea unei celule robotizate, în postul de prelucrare Balador 1-2 PA, a apărut ca urmare a noilor tehnologii (Industry 4.0) și datorită necesității îmbunătățirii calității și realizării de economii (prin înlocuirea operatorului ce deservea cele trei instalații de prelucrare).

Operațiile de prelucrare vizate sunt:

- danturare exterioară balador;
- debavurare;
- șeveruire.

În timpul de lucru ale celor 3 utilaje, ce erau deservite de către un operator, randamentul operațional era destul de scăzut (aprox. 30% - media pe 3 echipe – vezi Fig.4.1).

Operațiile efectuate în celula de prelucrare sunt:

- danturare exterioară - operația de danturare, prin metoda rulării cu freza melc modul (mașina LIBHERR);
- debavurare – operația de îndepărtare a bavurilor rezultate în timpul operației de danturare, prin frezare (mașina WERA);
- șeveruire - operația de netezire fină a flancurilor roților dințate necălite, prin răzuire mecanizată (SICMAT).

SINTEZA STUDIULUI TIMPII SET BALADORI 1/2 PA																	
Nr.Op	Denumire Op.	T _{oth}	T _{cy}	T _{mo}	T _o	T _{omDT}	T _{om}	T _{uo}	T _{uo+TSP}	T _o	Nr.Mas	Cadenta orara	Cote. M.D.T	A 10	T _{uo+TSP}	Arg.	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	nom	max				
170	FREZ DANTURA(1/2)	0.67	0.67	0.687	0.698	0.707	0.734	0.1013	0.0547	0.5967	1.0	82	90	0.055		7%	
190	DANTURARE(1/2)	0.664	0.664	0.666	0.674	0.683	0.71	0.084	0.091	0.59	1.0	85	90				
195	SANFRENARE(1/2)	0.284	0.284	0.285	0.289	0.295	0.306	0.09	0.098	0.199	1.0	196	211				
200	SEVARUIRE(1/2)	0.621	0.621	0.624	0.634	0.644	0.67	0.119	0.128	0.515	1.0	90	97				
CDPM	190+195+200 (1/2)	0.664	0.664	0.67	0.694	0.716	0.744	0.393	0.424	0.301	1.0	81	90	0.424		52%	
210	SPALARE(1/2-3/4+5/6)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.404	0.42	0	0	0.4	1.0	143	150			0%	
TOTAL GEN.		2.639	2.639	2.662	2.695	2.733	2.84	0.3943	0.3717	2.3007	5			2H/Ech.	0.479	30%	

Fig. 4.1 – Valori T_{cy} operații prelucrare

Stocul fiind asigurat, piesele sunt transferate în zona de unde sunt preluate de către brațul robotului cu ajutorul unui conveyior. De aici pot fi enumerate operațiile specifice celulei de prelucrare:

1. preluare piesă de pe conveyiorul de intrare piese;
2. încărcare piesă în mașină LIBHERR;
3. descărcare piesă prelucrată din mașină LIEBHERR;
4. descărcare piesă prelucrată din mașina WERA (operația de debavurare);
5. încărcare piesa neprelucrată în mașina WERA;
6. descărcare piesă prelucrată din mașina SICMAT
7. încărcare piesa neprelucrată în mașina SICMAT;
8. depunere piesă pe conveyiorul de ieșire de către robot;
9. dacă există cerere la control piesa atunci robotul va duce piesa la control și va aștepta validarea acesteia;
10. dacă piesa validată este OK robotul va continua ciclul de descărcare/ încărcare.

4.3.3. Validarea modelului matematic prin cercetări experimentale

Pentru a îndeplini toate condițiile de funcționare în bune condiții de calitate și securitate, au fost necesare simulări prin care au fost identificate toate modificările necesare pentru implementarea unui robot care să deservească cele 3 utilaje de prelucrare. Pentru implementarea robotului care să deservească cele 3 unități de prelucrare au fost necesare simulări prin care au fost stabilite toate condițiile de funcționare:

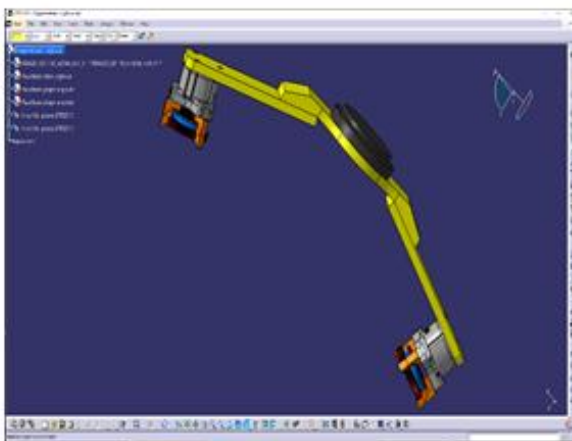


Fig. 4.4 – Reprezentare griper

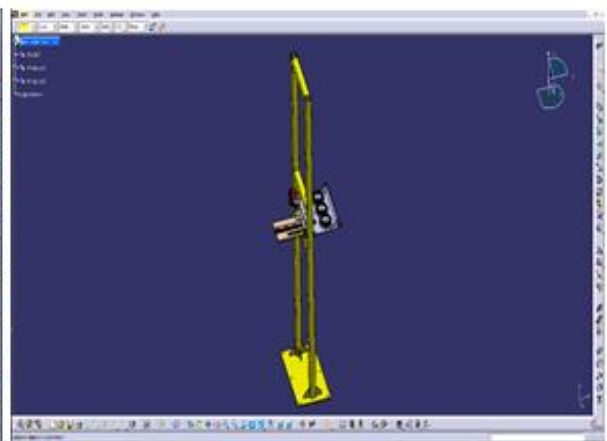


Fig. 4.5 – Reprezentare post

- pentru transferul pieselor, au fost proiectate 2 conveyioare;
- pentru prinderea pieselor a fost proiectat un ansamblu de prindere piesă;
- pentru montarea ansamblului de prindere piesa la brațul robotul, o placă de fixare.

De asemeni modelul ales este eficient și din punct de vedere al costurilor, generând timpi de funcționare ridicați și costuri de producție mici.

Investiția pentru robotizarea celulei de prelucrare se ridică la suma de 27k€ (18.5k€ robot IRB 6620; 8.5 k€ elemente de comerț necesare punerii în funcțiune. Costului unui operator este estimat la 17 k€/ an,

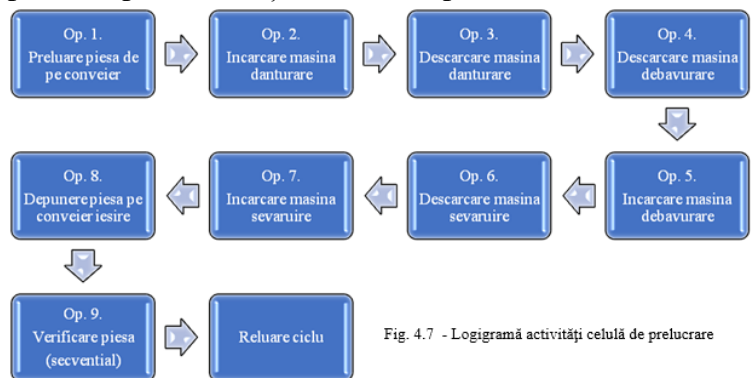


Fig. 4.7 - Logigramă activități celula de prelucrare

rezultând ca amortizarea investiției se va face doi ani – o investiție fezabilă (mod de funcționare celula prelucrare vezi Fig.4.7).

Simularea/ modelarea digitală este o metodă utilizată la scară largă, reprezentând un instrument important în analiză și soluționarea acțiunilor ce implică activitățile umane, fiind necesar totuși un studiu amănunțit, o planificare riguroasă și o proiectare detaliată, a tuturor acțiunilor ce vor fi făcute în realitate (vezi Fig.4.8).

Avantajele sistemelor utilizate în simulare/ modelare sunt viteza cu care rezolvă cerințele, flexibilitatea și capacitatea de reconfigurare; sistemele de fabricație pot fi definite ca sisteme automatizate complexe datorită utilizării software-urilor de monitorizare și control, eficiența lor putând fi observată de la începutul punerii în funcțiune.

Prin implementarea unei celule robotizate în postul de prelucrare Balador 1-2 PA, s-au evidențiat următoarele câștiguri semnificative:

- creșterea randamentului operațional - înainte de implementarea celulei robotizate, randamentul operațional era limitat de interacțiunea umană și timpii de deplasare ai operatorului;
- reducerea erorilor umane - operațiile manuale sunt susceptibile la erori umane, care pot avea un impact semnificativ asupra calității și eficienței proceselor de producție;
- optimizarea timpilor de producție - operațiile robotizate sunt caracterizate de consistență și precizie, ducând la o optimizare a timpilor de producție;
- flexibilitate sporită - celula robotizată permite adaptabilitatea la diferite operațiuni, ceea ce înseamnă că aceasta poate fi utilizată pentru o varietate de produse și operațiuni de prelucrare;
- reducerea costurilor operaționale - prin înlocuirea operațiilor manuale cu cele robotizate, s-au redus costurile operaționale legate de mână de lucru și erori;
- monitorizare și control îmbunătățit - prin intermediul celulei robotizate, monitorizarea și controlul proceselor de producție au devenit mai avansate și precise;
- reducerea timpilor morți - introducerea AGV-ului pentru aprovizionarea cu piese și actualizarea stocului tampon au dus la eliminarea timpilor morți între operațiuni și asigurarea unui flux de lucru continuu și eficient.

Astfel, prin optimizarea operațiilor de prelucrare prin intermediul tehnologiei robotizate, s-a demonstrat că implementarea noilor tehnologii din cadrul Industriei 4.0 poate aduce beneficii semnificative pentru performanța proceselor de producție.

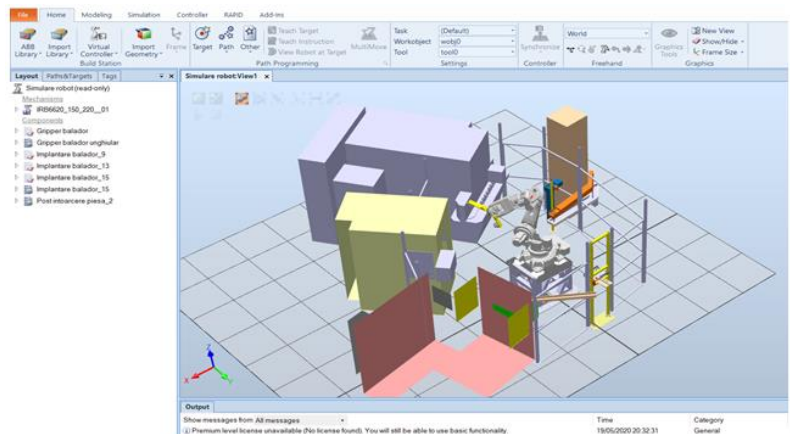


Fig. 4.8 – Simulare operații robotizate

CAPITOLUL 5 - CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND CREȘTEREA PERFORMANȚELOR FLUXULUI DE FABRICAȚIE PRIN ROBOTIZARE

Departamentul Caroserie face parte din Uzina Fabricație Vehicule, obiectivul fiind sudura prin puncte a subansamblelor din tablă, pentru realizarea caroseriilor de autovehicule.

5.1. Prezentare unitate elementară de lucru

Sudura prin puncte, specifică industriei de autovehicule, este un proces de sudare din care rezultă îmbinări solide și durabile, între componentele metalice. Cerințele pot varia în funcție de tipul de material, grosimea acestuia și cerințe de rezistență impuse de standardele în vigoare.

Unitatea elementară de lucru “Unitate spate Duster” (vezi Fig.5.6) face parte din departamentul Caroserie și este compusă dintr-un număr de 33 posturi manuale (operații de modelare/ sudare elemente din tablă) pentru autovehiculul Duster.

Înlocuirea operatorilor, pentru operațiile de sudură în industria auto, ar putea fi o strategie eficientă și ar putea crește semnificativ eficiența și consistența procesului de sudură.

Pentru acest lucru ar fi necesare următoarele strategii :

- utilizarea roboților sau mașinilor automatizate, în procesul de sudură, asigurându-se o precizie și o calitate ridicată ;
- sudura cu arc electric protejat (MIG/ MAG) – utilizarea, automatizată, a unui pistol de sudură care este alimentat cu sârmă de sudură și gaz de protecție ;
- sudura cu rezistență electrică – implică utilizarea unor echipamente speciale care aplică presiune și curent electric prin electrozi, rezultând o sudură de calitate ;
- utilizarea tehnologiei de sudură cu înregistrare – înregistrarea parametrilor și gestionarea eficientă a anomaliilor apărute în procesul de sudură.

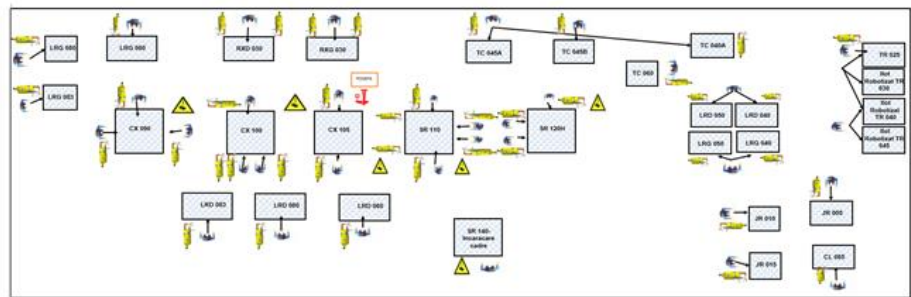


Fig. 5.6 – Cartografie Unitate spate Duster

5.2. Identificare modificări înlocuire operații manuale cu operații robotizate

Analiza productivității – trebuie comparată productivitatea operațiilor manuale cu cea a operațiilor robotizate; este necesară calcularea timpului necesar pentru finalizarea fiecărei operații de sudură și comparate rezultatele [3]. Pentru această analiză din start există un avantaj în cazul operațiilor robotizate datorită vitezei și consistenței operațiilor robotizate.

Timpul necesar pentru realizarea unei operații de sudură

- Capacitatea de lucru a posturilor robotizate ;
- Compararea capacității de producție;
- Evaluarea eficienței.

Analiza calității – trebuie evaluată

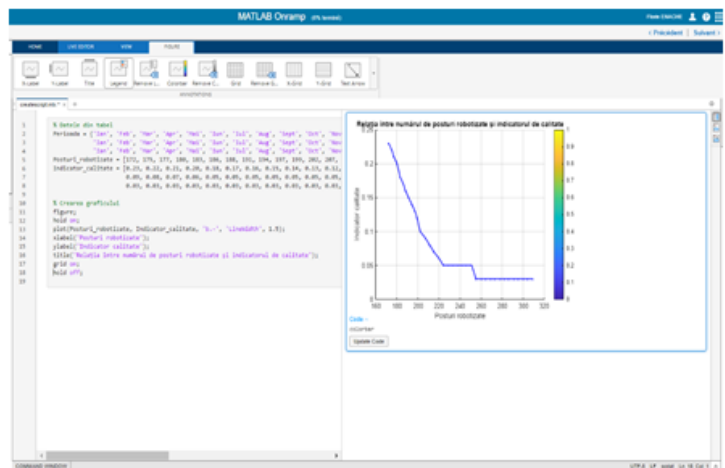


Fig. 5.7 – Reprezentare ecuație multicriterială indicator

calitatea produselor obținute în urma operațiilor manuale și a celor robotizate (verificarea uniformă și precizia sudurilor, reducerea defectelor și eliminarea erorilor umane).

- Conformitatea cu specificațiile de sudură ;
- Uniformitatea și consistența;
- Detectarea defectelor și avariilor;
- Reducerea erorilor ;
- Monitorizarea și controlul procesului de;
- Îmbunătățirea documentației și a înregistrărilor.

Pe axa verticală (vezi Fig.5.7) avem indicatorul de calitate (DPU OFF), care reflectă nivelul de calitate sau performanță în cadrul organizației. Indicatorul reprezintă o măsură a conformității cu standardele, a eficienței proceselor sau a satisfacției clienților, în funcție de contextul specific.

Linia formată de punctele de pe grafic indică tendința relației și oferă o vedere clară asupra influenței pozitive a robotizării asupra indicatorului de calitate.

Notă:

Tcy se reduce de la o medie de 56 sec/ post (cele 33 posturi manuale) la 42 sec/ post robotizat.

Analiza costurilor – trebuie calculate costurile pentru operațiile manuale și cele ale operațiilor robotizate (costurile cu forța de muncă, investiția inițială în roboți etc.).

Costuri salariale pentru 99 operatori (3 echipe):

17.000€/an x 99 operatori = 1.683.000 €/an

Costul de achiziție al roboților (15 buc) :

50.000 x 15 = 750.000 €

Costurile de întreținere pe an pentru roboți (cost de întreținere/ robot în primii 4 ani = 2.000€):

$$15 \times 2.000 = 30.000 \text{ €/an}$$

Economiile anuale: (Costurile salariale ale operatorilor – Costuri roboți și întreținere):

$$1.683.000 - (750.000 / 4) + 2000 = 1.497.500 \text{ €}$$

Graficul (vezi Fig.5.8) reprezintă relația între numărul de posturi robotizate și diminuarea HS (ore suplimentare necesare pentru realizarea cadenței, datorită anumitor erori umane sau a timpilor de ciclu mai mari, în cazul operațiilor manuale).

Pe axa orizontală avem numărul de posturi robotizate, pe axa verticală suma asigurată pentru plata orelor suplimentare necesare respectării programului de fabricație. Acest grafic ne permite să vizualizăm relația între numărul de posturi robotizate și diminuarea HS, arătând că o creștere a numărului de posturi robotizate duce la o diminuare a HS (oferă o vizualizare clară a influenței posturilor robotizate în analiza costurilor).

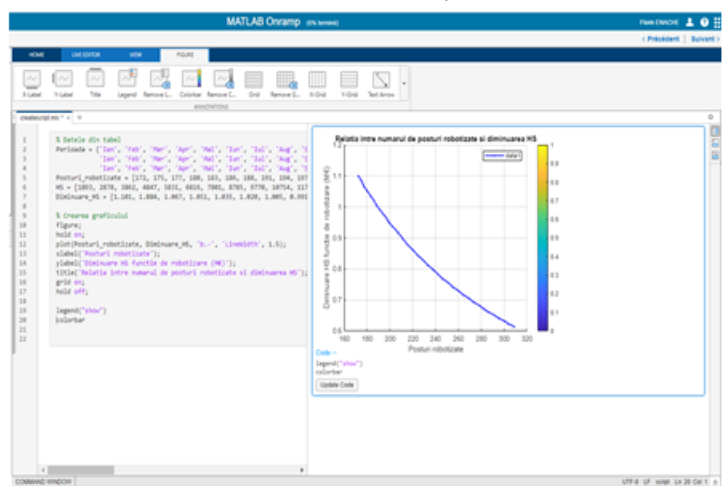


Fig. 5.8 – Reorientare ecuație multicriterială costuri

Analiza siguranței și sănătății în muncă – trebuie evaluate riscurile asociate operațiilor manuale și identificate avantajele în ceea ce privește securitatea și siguranța în munca prin utilizarea roboților, riscurile de accidentare, expunerea la substanțe periculoase sau diverse radiații, condițiile ergonomice.

În primul grafic este reprezentată scăderea numărului de posturi manuale, în funcție de perioada de referință (perioada este ianuarie 2021 - decembrie 2023); pe axa orizontală avem lunile, pe axa verticală avem diferența față de numărul inițial de posturi manuale.

Al doilea grafic reprezintă variația numărului de accidente minore în funcție de perioada de referință (ianuarie 2021 - decembrie 2023); pe axa X avem perioada de referință, pe axa Y avem numărul de accidente minore.

Cele două grafice (vezi Fig.5.9) ne permit să vizualizăm evoluția scăderii numărului de posturi manuale și variația numărului de accidente minore, oferindu-ne o perspectivă mai clară în legătură cu influența pozitivă a creșterii numărului de posturi robotizate.

Analiza flexibilității și adaptabilității – evaluarea capacității operațiilor robotizate de a se adapta la schimbări, în procesul de producție (cât durează și cât costă reprogramarea și reconfigurarea roboților pentru a lucra diferite modele sau pentru a răspunde unor cerințe nou apărute) [10].

Analiza impactului asupra forței de muncă – trebuie evaluat impactul înlocuirii operațiilor manuale cu operațiile robotizate asupra forței de muncă existente; posibilitatea reorientării personalului disponibilizat, necesarul de formare suplimentară și repercusiunile sociale.

5.3. Proiectarea fluxului de fabricație cu operații robotizate

Pentru orice modificare a fluxurilor de producție sunt necesare un număr semnificativ de analize prin care să fie eliminate toate riscurile identificate cât și eventuale situații necunoscute în momentul analizelor (metoda Monte Carlo) [1].

Astfel, au fost analizate următoarele [2]:

- durata fiecărei operații și ordinea de montare;
- complexitatea și cerințele specifice fiecărei operații;
- stabilirea ordinii corecte a operațiilor pentru minimizarea timpului de deplasare și asigurarea unui flux eficient;
- sincronizarea între roboți.

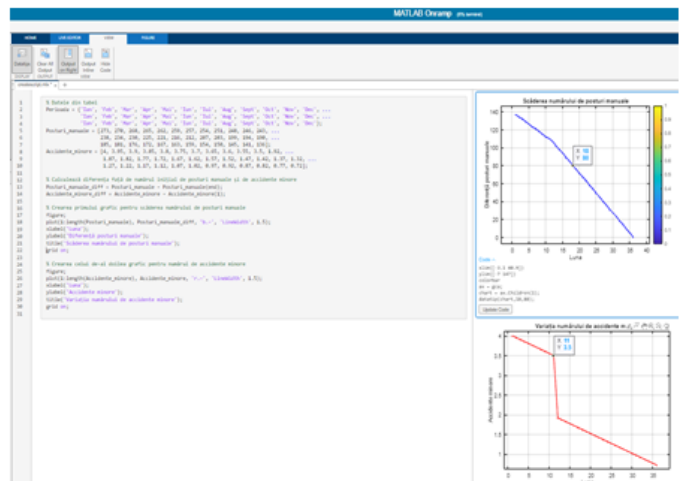


Fig. 5.9 – Reprezentare ecuație multicriterială pentru securitatea

5.4. Implementarea fluxului de fabricație cu operații robotizate

Implementarea operațiilor robotizate în fluxul liniei de fabricației conduce la o creștere a ratei de producție și a eficienței generale a departamentului Caroserie; adoptarea operațiilor robotizate este o soluție inovatoare și modernă care va îmbunătăți semnificativ procesul de fabricație și care va aduce rezultate competitive departamentului [6].

Soluția de implementare constă în utilizarea unui număr de 15 roboți specializați în operații de sudură caroseriei pentru autovehicule.

Configurarea sistemului robotizat este o componentă esențială a fluxului de fabricație cu operații robotizate, implicând o serie de aspecte și decizii ce trebuie luate pentru a asigura funcționarea optimă a sistemului robotizat [11].

Voi enumera câteva dintre etapele configurării sistemului robotizat:

- Amplasarea.
- Programarea și configurarea roboților.
- Integrarea sistemului.

Proiectarea celulelor robotizate – implică planificarea și configurarea spațiului de lucru pentru a asigura o interacțiune eficientă între roboți, piesele de lucru și operatorii umani.

- Evaluarea cerințelor și fluxului de lucru;
- Proiectarea layout-ului de lucru;
- Definierea locației și montajul echipamentelor auxiliare;
- Configurarea zonei de siguranță a sistemelor de protecție;
- Integrarea și proiectarea roboților.

Integrarea roboților în fluxul de fabricație - Etapele acestei secțiuni sunt :

- Secvența operațională;
- Interacțiunea cu operatorii umani;
- Integrarea cu echipamentele și sistemele;
- Sincronizarea și coordonarea mișcărilor;
- Testarea și validarea.

Parametrii operațiilor robotizate – sunt specificați parametrii operațiilor robotizate pentru fiecare post de sudură (timpul de ciclu, viteza de lucru a roboților și precizia obținută în procesul de sudură):

- Viteza de deplasare.
- Parametri de forță și presiune;
- Precizia și repetabilitatea;
- Timpul de ciclu (Tcy);
- Parametri de siguranță.

Programarea și controlul operațiilor robotizate reprezintă procesul de creare a instrucțiunilor și de gestionare a roboților în cadrul fluxului de fabricație și se concentrează pe modul în care operațiile robotizate sunt programate, controlate și monitorizate.

Ca și etape ale programării pot enumera :

- Programarea roboților;
- Interacțiunea cu operatorii umani;
- Controlul și sincronizarea roboților;
- Monitorizarea și înregistrarea datelor;
- Actualizarea și îmbunătățirea programelor robotizate.

Testarea și optimizarea sistemului (cele mai importante aspecte) :

- Testarea inițială a sistemului;
- Optimizarea parametrilor;
- Monitorizarea performanței sistemului.

Instruirea personalului:

- Identificarea nevoilor de instruire;
- Elaborarea programului de instruire;
- Instruirea teoretică;
- Instruirea practică;
- Evaluarea și certificarea competențelor.
- Actualizarea continuă a instruirii.

Integrarea sistemului în infrastructura existentă, reprezintă un pas important în implementarea cu succes a fluxului de fabricație robotizat, noile operații înlocuind un număr semnificativ de operații manuale (33 posturi deservite de operatori umani).

Etapele necesare implementării sistemului robotizat sunt :

- Evaluarea infrastructurii;
- Planificarea layout-ului;
- Instalarea infrastructurii de alimentare;.
- Integrarea sistemului de control;

- Asigurarea siguranței și securității;
- Testarea și verificarea integrării;
- Documentarea și întreținerea infrastructurii.

Evaluarea rezultatelor și beneficiilor oferă o analiză detaliată a rezultatelor obținute:

- Măsurarea eficienței;
- Calitatea;
- Reducerea erorilor și;
- Îmbunătățirea;
- Productivitatea și capacitatea de producție.

În urma parcurgerii tuturor etapelor descrise succint în etapa de “Implementarea fluxului de fabricație cu operații robotizate” a rezultat implantarea și punerea în funcțiune a celor 15 roboți, în cadrul atelierului.

Descrierea operațiilor:

- În postul CX05, robotul **A0** preia cadrul (format din lonjeroane, traversă centrală și paraclos) și îl depune în postul CX10 ;
- În postul CX10, roboții **D1** și **D2** sudează ;
- Robotul **E0** preia din post CX10 și sudează într-un clește la sol după care depune piesa în CX20 ;
- În postul CX20, roboții **F1** și **F2** sudează ;
- Robotul **G0** preia piesa și o depune în SR10 unde se realizează mariajul cu planșeele (planșeu spate parte spate/ planșeu spate parte față) care sunt încărcate în postul SR05 ;
- Robotul **M0** preia ansamblul sudat și îl transferă către robotul **L4** pentru operația de masticare ;
- După masticare, robotul M0 pune planșeele după care roboții **L1**, **L2**, **L5** și **L6** sudează ;
- La finalizarea operațiilor robotul M0 preia piesa, sudează la un clește la sol și o depune în SR20 unde este realizat mariajul cu jupa ;
- La finalul operației, jupa este adusă de robotul **Q0**, fiind încărcată de operator uman la SR20 ;
- Robotul **V0** preia piesa din SR20, o sudează la sol și o depune în SR30.

5.5. Monitorizarea și optimizarea fluxului de fabricație robotizat

După implementarea fluxului de producție robotizat (vezi Fig.5.10) este necesară monitorizarea continuă a fluxului robotizat pentru a identifica posibile îmbunătățiri și optimizări importante, ca de exemplu :

- Colectarea de date relevante.
- Analiza datelor colectate.
- Identificarea punctelor slabe și a oportunităților de îmbunătățire.
- Feedback –ul echipei de operare.
- Colaborarea între echipe.
- Reevaluarea periodică a procesului.

5.6. Evaluarea creșterii performanțelor fluxului de fabricație prin robotizare

Evaluarea nivelului de creștere a performanțelor fluxului de fabricație (în cazul prezentat), poate implica mai mulți indicatori și metode de evaluare, după cum urmează :

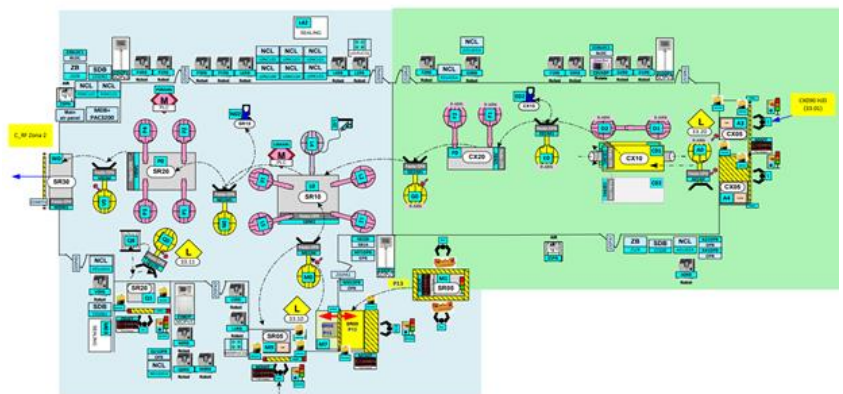


Fig. 5.10 – Implant flux robotizat

- Timpul de ciclu (Tcy) Dacă timpul de ciclu a scăzut, rezultă că investiția a fost benefică.
- Eficiența producției – se măsoară eficiența producției prin comparația volumului de producție înainte și după implementarea robotizării.
- Calitatea produsului – dacă există o reducere semnificativă a defectelor sau o îmbunătățire a uniformității și a consistenței produselor.
- Diminuarea erorilor umane – monitorizarea și compararea ratelor de erori înainte și după implementarea robotizării pentru a evalua îmbunătățirea.
- Costurile de operare – dacă acestea scad semnificativ sau dacă eficiența muncii crește în raport cu costurile implicate.
- Feedback-ul angajaților – dacă se observă o îmbunătățire a performanțelor (diminuarea efortului fizic, creșterea nivelului de satisfacție la locul de muncă).

Ecuatie multicriterială privind evaluarea nivelului de creștere a performanțelor:

$$\text{minimizează } f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \quad (23)$$

sau

$$\text{maximizează } f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \quad (24)$$

unde:

- $f(x)$ reprezintă vectorul obiectivelor sau criteriilor de performanță;
- x reprezintă variabilele de decizi sau parametrii sistemului sau procesului.

Revenind la cazul nostru, cu robotizarea celor 33 posturi manuale, am construit ecuația multicriterială:

- **criteriu 1** – reducerea cu 50% a numărului de posturi manuale (înlocuirea acestora cu posturi robotizate); măsoară beneficiul obținut prin înlocuirea posturilor manuale cu posturi robotizate, reprezentând o schimbare semnificativă în pregătirea forței de muncă și poate contribui la creșterea eficienței și productivității.
- **criteriu 2** - costurile de achiziție și implementare a posturilor robotizate. Acest criteriu reflectă costurile asociate cu achiziționarea și implementarea posturilor robotizate; cu cât costurile sunt mai mici, cu atât este mai favorabilă decizia de robotizare.
- **criteriu 3** – productivitatea rezultată în urma înlocuirii posturilor manuale cu cele robotizate. Măsoară creșterea productivității datorată utilizării posturilor robotizate în locul celor manuale.
- **criteriu 4** – calitatea produselor obținute în urma înlocuirii posturilor manuale cu cele robotizate.
- **criteriu 5** – impactul schimbării tehnologiei. Evaluează impactul schimbării tehnologiei prin creșterea gradului de automatizare .

Ponderile asociate fiecărei componente sunt:

- w1 – creșterea pregătirii forței de muncă ;
- w2 – înlocuirea utilajelor cu unele mai performante ;
- w3 – automatizarea ;
- w4 – robotizarea ;
- w5 – schimbarea tehnologiei.

După înlocuirea valorilor specifice :

$$f_1(x) = 50\% \text{ (reducerea cu 50\% a numărului de posturi manuale)} = \mathbf{0.5}$$

$$f_2(x) = \text{costurile de achiziție și implementare a 15 posturi robotizate} = 15 * (50 + 2k\text{€}/ \text{an}) = 15 * (0.052\text{M€}) = \mathbf{0.780 \text{ M€}}$$

$$f_3(x) = \text{productivitatea rezultată în urma înlocuirii posturilor manuale cu cele robotizate} = (56 \text{ sec/ post manual}) / (42 \text{ sec/ post robotizat}) = \mathbf{1.3333}$$

$$f_4(x) = \text{calitatea produselor obținute în urma utilizării posturilor robotizate (indicatorul DPU OFF, ce măsoară numărul de defecte retușate în afara fluxului de fabricație x 100/ numărul de}$$

caroserii asamblate, obiectivul fiind de scădere de la 0.25% la 0.15%, după introducerea operațiilor robotizate) = **0.99975** (valoarea inițială scalată invers).

F5(x) = impactul schimbării tehnologiei = **0.42** (valoarea inițială scalată direct)

După aplicarea ponderilor corespunzătoare rezultă:

$$f(x) = 1 * 0.05 + (2 * 0.780M\text{€} + (3 * 1.3333) + (4 * 0.99975) + (5 * 0.42)) \quad (25)$$

$$f(x) = 0.5 + 1.560M\text{€} + 3.9999 + 3.999 + 2.1 = 1.560M\text{€} + 10.5999 = 1.560M\text{€}$$

După aplicarea ecuației multicriteriale cu valorile specifice și ponderile alocate fiecărui criteriu, am obținut o valoare mare, rezultând că implementarea robotizării aduce beneficii semnificative în termeni de reducere a numărului de posturi manuale, costuri, creșterea productivității și a calității produselor, precum și impactul schimbării tehnologiei.

Pe axa orizontală a diagramei se găsesc etichetele criteriilor : “Creșterea pregătirii forței de muncă”, “Înlocuirea utilajelor”, “Automatizarea”, “Robotizarea”, și “Schimbarea tehnologiei” și reprezintă aspectele specifice luate în considerare în evaluarea performanței celulei robotizate.

Diagrama de bare (vezi Fig.5.11) ne oferă o perspectivă vizuală asupra importanței relative a fiecărui criteriu și ne ajută să înțelegem cum aceasta contribuie la evaluarea globală a performanței sistemului sau procesului analizat.

După cercetările experimentale privind procesul de robotizare a unei părți din posturile cu operații manuale pot menționa următoarele:

- Reducerea costurilor – automatizarea procesului de producție prin intermediul posturilor robotizate poate duce la o reducere semnificativă a costurilor de producție pe termen lung, eficiența datorându-se reducerii erorilor umane și diminuării costurilor cu forța de muncă;
- Creșterea eficienței și productivității muncii – utilizarea posturilor robotizate diminuează timpul de ciclu pentru aproape toate operațiile, realizându-se o producție mai mare cu maxim de eficiență; toate operațiile robotizate sunt executate cu o precizie mai ridicată decât cele manuale.
- Impactul asupra forței de muncă – robotizarea unor operații manuale poate avea un impact semnificativ asupra forței de muncă actuale necesitând un sprijin din partea angajatorului pentru ajutorul privind conversia profesională pentru posturile vizate.

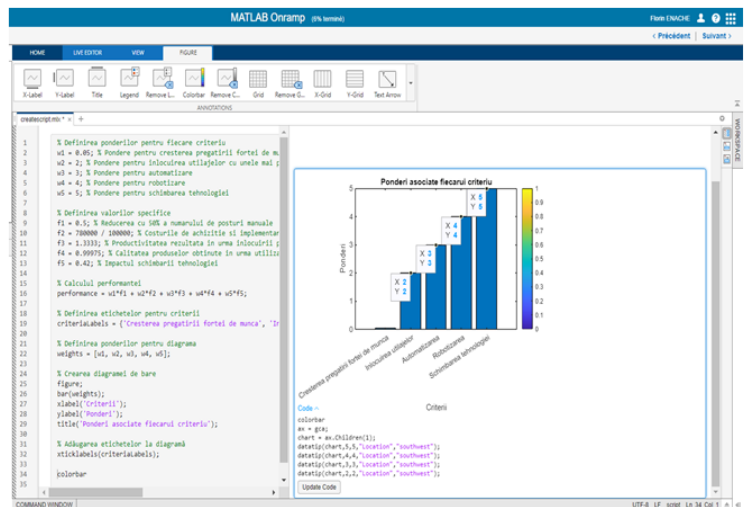


Fig. 5.11 – Reprezentare ecuație multicriterială evaluarea performanței

Automatizarea/ robotizarea unor operații manuale arată că există un câștig semnificativ din punct de vedere al calității și productivității muncii, dar aceasta se poate face doar în urma unor evaluări detaliate și a unei planificări corespunzătoare pentru a realiza cu succes tranziția și a maximiza beneficiile acestei schimbări.

CAPITOLUL 6 – CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

6.1. Concluzii generale

Lucrarea a abordat diverse aspecte legate de îmbunătățirea performanțelor în contextul proceselor de producție și a oferă o perspectivă cuprinzătoare asupra modului în care diferite tehnologii și metode pot contribui la creșterea eficienței și calității în industria manufacturieră.

În condițiile unui mediu de afaceri în continuă schimbare a fost prezentată metoda Agile ca o abordare esențială pentru gestionarea cerințelor din industria de prelucrare. A fost subliniat că flexibilitatea și adaptabilitatea oferite de metoda Agile sunt cruciale în procesul de dezvoltare și implementare a soluțiilor de digitalizare și automatizare. Această abordare permite organizațiilor să răspundă rapid schimbărilor pieței și să își optimizeze procesele pentru a obține performanțe superioare.

În ceea ce privește analiza și optimizarea proceselor de producție, lucrarea a evidențiat importanța diverselor metode și abordări precum Lean Manufacturing, Six Sigma, Kaizen, și altele. Aceste metode au ca scop identificarea și eliminarea activităților inutile, reducerea defectelor și optimizarea fluxului de lucru pentru a îmbunătăți eficiența și productivitatea. De asemenea, s-a subliniat importanța simulării flexibile și a analizei optimizării proceselor de fabricație celulară pentru obținerea unei producții mai eficiente și mai flexibile.

A fost scoasă în evidență, în mai multe capitole, importanța managementul producției, evidențierea rolului crucial al planificării și programării producției, controlului calității și gestionării lanțului de aprovizionare în obținerea performanțelor optime ale proceselor de producție. Implementarea metodelor precum Value Stream Mapping și Toyota Production System au adus în prim-plan eliminarea activităților inutile și îmbunătățirea fluxurilor de lucru.

De asemenea, a fost subliniată importanța monitorizării și controlului continuu al proceselor de producție prin utilizarea sistemelor SCADA, analiza Big Data și soluțiile IoT. Aceste tehnologii permit colectarea și analiza datelor în timp real, contribuind la identificarea tendințelor și abaterilor pentru a menține performanțele proceselor în condiții optime.

Una dintre concluziile majore ale lucrării este legată de impactul pozitiv al robotizării în procesele de producție. Prin implementarea celulelor robotizate, s-au obținut câștiguri semnificative în ceea ce privește randamentul operațional, reducerea erorilor umane, optimizarea timpilor de producție, creșterea calității produselor și flexibilitatea sporită. Această abordare a demonstrat că tehnologia robotizată poate aduce beneficii semnificative pentru eficiența și performanțele proceselor de producție.

În concluzie, lucrarea evidențiază că îmbunătățirea performanțelor proceselor de producție este esențială pentru succesul organizațiilor industriale. Prin aplicarea metodelor, tehnologiilor și abordărilor corecte, se poate obține eficiență, calitate și competitivitate sporite în mediul de producție. Este evident că abordarea integrată, deschiderea spre inovație și îmbunătățiri continue sunt esențiale pentru a răspunde cerințelor în continuă schimbare ale pieței și pentru a atinge performanțe superioare în procesele de producție.

Obiectivele reprezintă căile pe care cercetătorul urmează să le parcurgă în lucrare pentru a atinge rezultatele dorite. În cazul acestei lucrări, obiectivele au fost stabilite în conformitate cu necesitatea abordării și rezolvării problemelor din sfera optimizării proceselor de producție.

Aceste obiective reprezintă ghiduri solide pentru direcția și structura întregii lucrări:

- **identificarea problemelor actuale din domeniul optimizării proceselor de producție** - prima etapă esențială este analiza stadiului actual al cercetărilor și identificarea provocărilor și deficiențelor în optimizarea proceselor de producție. Acest obiectiv se concentrează pe evidențierea nevoii și importanței lucrării, motivând investigația viitoare;
- **explorarea tehnologiilor moderne de fabricație** - acest obiectiv vizează să ofere o înțelegere detaliată asupra tehnologiilor moderne, cu accent pe principiile Agile și Design Thinking. Se urmărește identificarea modului în care aceste tehnologii pot contribui la optimizarea proceselor de producție și la creșterea performanțelor;

- **analiza și modelarea proceselor cu ajutorul AGILE** - acest obiectiv își propune să exploreze metodele prin care conceptele Agile pot fi aplicate în identificarea, modelarea și optimizarea proceselor de producție. S-au examinat sistemele de producție, fluxurile de fabricație și conceptele cheie asociate, oferind o bază solidă pentru analiza ulterioară;
- **examinarea metodelor AGILE pentru îmbunătățirea performanțelor proceselor de producție** - acest obiectiv se concentrează pe evaluarea metodelor AGILE în contextul îmbunătățirii performanțelor proceselor de producție. S-au explorat avantajele și potențialele limitări ale aplicării acestor metode, aducând o perspectivă critică asupra eficacității lor;
- **crearea unei baze teoretice pentru analiza și optimizarea proceselor** – prin acest obiectiv am dezvoltat o bază teoretică solidă pentru analiza și optimizarea proceselor de producție. S-au examinat conceptele fundamentale, metodele de modelare matematică și aspectele legate de optimizare multicriterială, furnizând instrumentele necesare pentru cercetarea ulterioară;
- **investigarea impactului simulării asupra îmbunătățirii proceselor** - acest obiectiv a vizat analiza rolului simulării în îmbunătățirea proceselor de producție. Am studiat diverse modele și tehnici de simulare, concentrându-mă pe cazurile practice și studiile de caz legate de implementarea și optimizarea celulelor robotizate;
- **cercetarea experimentală privind automatizarea prin robotizare** - acest obiectiv s-a concentrat pe cercetările experimentale realizate în cadrul automatizării prin robotizare. Au fost explorate rezultatele și concluziile obținute din aplicarea robotizării în procesele de producție, furnizând date concrete și perspective relevante.

Într-un mod sintetic, formularea obiectivelor tezei indică că lucrarea are ca scop explorarea și analizarea metodologiilor și tehnicilor de optimizare a proceselor de producție, cu accent pe utilizarea tehnologiilor Agile, Design Thinking și robotizare. Aceste obiective reprezintă cărările de cercetare pe care le-am parcurs pentru a contribui la dezvoltarea cunoștințelor și practicilor în acest domeniu.

6.2. Contribuții personale

După ce am investigat ecuațiile multicriteriale sub diferite unghiuri și am identificat modalități inovatoare de a aborda complexitatea proceselor de producție am propus o nouă formulă fundamentată teoretic care constituie o contribuție semnificativă în domeniul ecuațiilor multicriteriale prin aceea că justifică teoretic orice modificare pe fluxul tehnologic dând o măsură a creșterii performanței proceselor de fabricație față de situația inițială. Aceasta constituie o componentă esențială a analizei complexe și optimizării proceselor de producție.

Contribuțiile personale în acest domeniu includ:

- dezvoltarea și adaptarea ecuațiilor multicriteriale – am dezvoltat și adaptat ecuații multicriteriale pentru a evalua eficiența, calitatea și performanța proceselor de producție din mai multe perspective. Această abordare a facilitat o înțelegere mai profundă a implicațiilor diferitelor criterii asupra performanțelor proceselor de producție
- analiza și compararea metodelor multicriteriale - am efectuat o analiză amănunțită și o comparație între diverse metode multicriteriale pentru a evalua care dintre acestea sunt cele mai adecvate pentru procesele de producție specificate în lucrare. Această evaluare a permis identificarea punctelor forte și limitărilor fiecărei metode;
- aplicarea ecuațiilor multicriteriale în contextul specific - am aplicat ecuațiile multicriteriale în contextul proceselor de producție prezentate în lucrare, contribuind la identificarea soluțiilor optime pentru probleme complexe, precum optimizarea resurselor, a costurilor și a calității;
- am conceput o nouă formă de ecuație multicriterială care constituie baza teoretică pentru deciziile de optimizare o fluxurilor de producție;
- analiza rezultatelor și interpretarea - am analizat rezultatele obținute prin aplicarea ecuațiilor multicriteriale și am interpretat implicațiile acestor rezultate asupra performanței proceselor de

producție. Această etapă a adăugat o dimensiune valoroasă în înțelegerea impactului ecuațiilor asupra deciziilor operaționale.

- validarea ipotezelor teoretice prin cercetările experimentale realizate în cadrul automatizării prin robotizare.

6.3. Direcții ulterioare de cercetare

Direcțiile de cercetare ulterioare în domeniul ecuațiilor multicriteriale includ:

- explorarea unor noi criterii - introducerea de noi criterii pentru evaluarea performanței proceselor de producție, astfel încât să se includă și aspecte legate de sustenabilitate, mediu sau impact social;
- adaptarea la industria 4.0 - investigarea modului în care ecuațiile multicriteriale pot fi adaptate pentru a aborda provocările și oportunitățile aduse de Industria 4.0;
- analiza robustă - explorarea metodelor de analiză robustă pentru a evalua sensibilitatea ecuațiilor multicriteriale la variațiile parametrilor de proces;
- dezvoltarea de modele hibride - investigarea posibilității de dezvoltare a modelelor hibride care combină mai multe metode multicriteriale pentru a obține rezultate mai cuprinzătoare și mai precise;
- extinderea la seturi de date mari - aplicarea ecuațiilor multicriteriale pe seturi de date mai mari și mai complexe pentru a evalua performanța și optimizarea în scenarii realiste;

Prin aceste contribuții personale și direcții de cercetare ulterioare, lucrarea oferă o bază solidă pentru dezvoltarea și îmbunătățirea continuă a ecuațiilor multicriteriale în domeniul proceselor de producție, contribuind la înțelegerea mai profundă a aspectelor complexe și interdependente ale acestei discipline.

6.4. Valorificarea rezultatelor cercetării

Cercetarea făcută privind realizarea unui model generalizat privind analiza fluxurilor de producție, cu aplicare în orice domeniu industrial a fost valorificată astfel:

Pe parcursul perioadei de pregătire, au fost realizate și susținute, în cadrul Scolii Doctorale de Inginerie și Managementul Sistemelor Tehnologice un număr de 5 rapoarte științifice, în legătură cu stadiul actual al cercetărilor în acest domeniu, analize privind identificarea și aplicarea unor câștiguri semnificative în liniile de fabricație (creșterea calității produselor, diminuarea costurilor de fabricație, îmbunătățirea ergonomiei și securității în posturile de lucru, reducerea costurilor cu mentenanța etc.) din punct de vedere teoretic și experimental.

În urma cercetărilor efectuate pe parcursul elaborării tezei am diseminat rezultatele publicând următoarele articole în reviste de specialitate:

1. Florin Enache, 2019, „Continuous growth of productivity- based performance of the organisation”/ Editura Academiei Oamenilor de Stiinta din Romania/ Proceedings/ Vol.11 no1/2019;
2. Florin Enache, Stefan Velicu, 2020, „Particularities of implementing industry 4.0 concept in the automotive industry”/ ICMAS/ Journal Proceeding in Manufacturing Systems/ Vol.15, Issue 4, 2020
3. Mihai Agud, Florin Enache, Ștefan Velicu, Mihai-Stelian Hagiescu, Cristian Paunescu/ 2023/ “Functional optimization of an air car by modeling and simulation” / SLS&OPTIROB2023 / International Journal of Modeling and Optimization (*IJMO*);
4. Florin Enache, Mihai AGUD, Stefan VELICU, Anisoara CORABIERU/ 2023/ Enhancing speed regulation in pneumatic systems with electric flow control valves/ Innovative Manufacturing Engineering & Energy

Aduc mulțumiri pe această cale conducerii și colegilor de la firma Automobile Dacia S.A. de unde am primit foarte multe documente, idei de ameliorare și feedback la multe întrebări ce au apărut pe parcursul anilor de studiu.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ahern, K. R., Harford, J. (2014), “The Importance of Industry Links in Merger Waves”, *Journal of Finance*, Vol. 69, No.2, pp. 527–576.
- [2] Ahuja, G. (2000), “Collaboration networks, structural holes, and innovation: a longitudinal study”, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 45, pp. 425–455.
- [3] Beck, Kent „Embracing Change with Extreme programming”. *Computer* (volume:32, Issue: 10, October 1999: 70–77).
- [4] Carol Schnakovszky, „Modelarea și monitorizarea activităților logistice în sistemele de producție”, *Editura Tehnică-Info, Chișinău*, 2000 (60,63).
- [5] Chopra, S., & Meindl, P. (2015), *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson. Coyle, J.J., Novack, R.A., Gibson, B., & Bardi, E.J. (2016). *Transportation: A Supply Chain Perspective*. Cengage Learning.
- [6]. James P. Womack , Daniel T. Jones - *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation (Gândirea lean: Elimină risipa și creează valoare în firma ta)*, FREE PRESS A Division of Simon&Schuster, First Free Press Edition 2003.
- [7] Kent M. Beck, Beedle, Mike; Bennekum, Arie van; Cockburn, Alistair; Cunningham, Ward; Fowler, Martin; Grenning, James; Highsmith, Jim; Hunt, Andy; Jeffries, Ron; Kern, Jon; Marick, Brian; Martin, R. C.; Mellor, Steve J.; Schwaber, Ken; Sutherland, Jeff; Thomas, Dave. „Manifesto for Agile Software Development (<https://agilemanifesto.org/principles.html>).
- [8] Krajewski, L.J., Ritzman, L.P., & Malhotra, M.K (2012) *Operations Management: Processes and Supply Chain*. Pearson, New York.
- [9] Liu, X., W. Zhang, R. Radhakrishnan, and Y. Tu. 2008. “Manufacturing Perspective of Enterprise Application Integration: The State of the Art Review.” *International Journal of Production Research* 46 (16): 4567–4596.
- [10] Maier C., Nicoai M., Banu M., Totolici S., Ghiță E., „Concepte modern de fabricație. Just in time”, *Editura Cartea Universitară*, 2006.
- [11] Nahmias, S. (2015). *Production and Operations Analysis*. McGraw-Hill Education, New York.
- [12] Parmenter, D. (2007). *Key performance indicators*. 1st. ed. New Jersey, United States: John Wiley & Sons.