

# TEZĂ DE DOCTORAT

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul Inginerie Industrială  
de către

**Șuta Alexandra-Ionela**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Slavici Titus  
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Drăghici George Emilian  
prof.univ.dr.ing. Balc Nicolae  
prof.univ.dr.ing. Bondrea Ioan

Ziua susținerii tezei:

03.11.2023

# **Optimizarea echipamentelor și proceselor tehnologice de tăiere și mărunțire a biomasei în vederea fabricării peleților și brichetelor**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul Inginerie Industrială  
de către

**Șuta Alexandra-Ionela**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Slavici Titus  
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Drăghici George Emilian  
prof.univ.dr.ing. Balc Nicolae  
prof.univ.dr.ing. Bondrea Ioan

Ziua susținerii tezei:

03.11.2023

## CUVÂNT ÎNAINTE

Această teză a fost elaborată în cadrul Departamentului de Mașini Mecanice, Utilaje și Transporturi al Universității Politehnica din Timișoara și reprezintă un efort intens de cercetare și dezvoltare, care a implicat ani de studiu, analiză și experimente.

Tema acestei teze, "Optimizarea echipamentelor și proceselor tehnologice de tăiere și mărunțire a biomasei în vederea fabricării peleților și brichetelor," se situează la intersecția dintre energie regenerabilă și protecția mediului, oferind soluții practice pentru utilizarea eficientă a biomasei în producerea de biocombustibili, contribuind astfel la reducerea emisiilor de carbon și la dezvoltarea durabilă.

Doresc să îmi exprim o recunoștință profundă coordonatorului meu profesorul universitar doctor inginer Titus Slavici pentru oportunitatea de a desfășura această cercetare în timpul studiilor doctorale, dar și pentru oportunitatea de a lucra cu o echipă competentă și dedicată. Sunt extrem de recunoscătoare pentru motivația, îndrumarea, sprijinul și aprecierea pe care le-am primit din partea dânsului în tot acest proces.

Pe parcursul acestei călătorii, am avut privilegiul de a lucra cu o echipă de cercetători dedicați și de a avea acces la resursele și infrastructura de cercetare de ultimă generație atât în cadrul Universității Politehnica Timișoara cât și la firmele colaboratoare. Fără sprijinul și îndrumarea lor, această teză nu ar fi fost posibilă.

Prezenta lucrare este rezultatul unui efort colectiv și al colaborării cu numeroși colegi și mentori, cărora le sunt profund recunoscătoare pentru ghidarea, sfaturile și sprijinul lor. De asemenea, doresc să mulțumesc pentru susținere și pentru toate discuțiile constructive membrilor comisiei de îndrumare, prof. univ. dr. ing. Dumitru Țucu, conf. univ. dr. ing. Mihaela Botiș - Nistoran și conf. univ. dr. ing. Ioan Groza.

Doresc să-mi exprim recunoștința pentru sprijinul oferit cadrelor didactice din Departamentul MMUT, colegilor din cadrul Centrului de Cercetare pentru Mașini și Echipamente Termice, Transporturi și Combaterea Poluării, din cadrul Facultății de Mecanică de la UPT și profesorii din cadrul departamentului de mecanizare de la USVT.

De asemenea, doresc să transmit mulțumiri colegilor de la locul de muncă pentru înțelegerea de care au dat dovadă în toată această perioadă și firmelor cu care am colaborat în procesul de documentare și cercetări experimentale în special echipei Eco Mihiș.

În plus, aș dori să mulțumesc familiei și prietenilor mei pentru susținerea constantă și încurajarea lor în timpul acestei călătorii academice.

Timișoara, 2023

Șuta Alexandra-Ionela

**Optimizarea echipamentelor și proceselor tehnologice de tăiere și mărunțire a biomasei în vederea fabricării peleților și brichetelor**

Teze de doctorat ale UPT, Seria X, Nr. YY, Editura Politehnica, 2023, pagini, figuri, tabele, formule și relații.

ISSN:

ISSN-L:

ISBN:

Cuvinte cheie: biomasă, biocombustibil, optimizare, tocător, putere calorică

## CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE.....	3
CUPRINS .....	5
LISTA TABELELOR.....	7
LISTA FIGURILOR .....	8
INTRODUCERE.....	11
Importanța temei .....	12
Obiectivele cercetării.....	14
Structura tezei .....	14
1. STADIUL ACTUAL AL TEMATICII TEZEI.....	16
1.1. Stadiul actual și tendințe în producția de peleți și brichete pentru încălzire .....	17
1.2. Stadiul actual și tendințe în domeniul utilajelor de tăiere și mărunțire utilizate în producția de biocombustibili regenerabili solizi .....	18
1.3. Stadiul actual și tendințe în digitalizarea proiectării și operării liniilor de producție fabricare peleți-brichete.....	21
1.3.1. Cloud manufacturing .....	21
1.3.2. Cyber-manufacturing .....	22
1.3.3. Reverse engineering .....	23
1.3.4. Industria 4.0 .....	25
1.4. Concluzii parțiale.....	25
2. POSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR.....	27
2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea peleților și brichetelor pentru încălzire .....	27
2.2. Posibilități de optimizare a unei arhitecturi specifice liniilor tehnologice pentru producția de peleți furajeri .....	44
2.3. Optimizarea arhitecturilor liniilor de fabricație peleți-brichete folosind elemente de teoria grafurilor .....	48
2.4. Concluzii parțiale .....	59
3. CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA ECHIPAMENTELOR ȘI PROCESELOR TEHNOLOGICE DE TĂIERE ȘI MĂRUNȚIRE .....	61
3.1. Modalități de optimizare prin inovarea subansamblelor.....	61
3.2. Tehnologii moderne în fabricarea subansamblelor inovative .....	62
3.2.1. Cloud manufacturing .....	62
3.2.2. Cyber-manufacturing .....	62
3.2.3. Reverse engineering .....	63
3.2.4. Industria 4.0 .....	63
3.3. Soluții constructive pentru tocătorul de baloți .....	64
3.4. Concluzii parțiale.....	69
4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE .....	71
4.1. Metodologia cercetărilor experimentale pentru evaluarea performanțelor tocătorului.....	71
4.2. Evaluarea performanțelor tocătorului .....	73
4.3. Metodologia cercetărilor experimentale pentru evaluarea puterii calorifice a biocombustibilului obținut din mixturi .....	93

## CUPRINS

4.4. Măsurători și rezultate privind performanțele biocombustibilului obișnuit .....	100
4.5. Concluzii parțiale.....	103
5. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ȘI OBȚINEREA DE REȚELE OPTIMIZATE FOLOSIND PLANIFICAREA ȘTIINȚIFICĂ A EXPERIMENTELOR .....	104
5.1. Prelucrarea datelor experimentale .....	104
5.1.1. Planificarea științifică a experimentului. Optimizare cu Statgraphics.....	105
5.1.2. Optimizare cu Maple .....	110
5.2. Alegerea rețetelor optimale .....	113
5.3. Concluzii parțiale.....	117
6. POSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE .....	118
6.1. Fundamente teoretice de inteligență artificială .....	119
6.2. Determinarea tipului de materie primă lemnoasă sau non-lemnoasă în funcție de cantitatea de noxe emisă .....	121
6.3. Determinarea proprietăților utilizând RNA în asistarea producției (Matlab).....	127
6.4. Concluzii parțiale.....	137
7. CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVELE CERCETĂRII .....	139
7.1. Concluzii .....	139
7.2. Contribuții personale .....	139
7.2.1. Contribuții personale la nivel teoretic.....	139
7.2.2. Contribuții personale la nivel experimental .....	140
7.2.3. Contribuții personale aplicabile la nivel industrial.....	140
7.3. Perspective de dezvoltare ulterioară .....	140
LISTA DE LUCRĂRI PROPRII .....	141
Conferințe indexate ISI .....	141
Lucrări și conferințe indexate BDI .....	141
BIBLIOGRAFIE .....	142
ANEXE .....	147
Anexa 1 Standarde pentru peleți și brichete din lemn.....	147
Anexa 2 Planșă proiectare ansamblu tăiere tocător .....	151
Anexa 3 Planșă cuțit ansamblu de tăiere tocător.....	152

## LISTA TABELELOR

Tabel 1.1 Definiții cloud manufacturing .....	22
Tabel 2.1 Nodurile grafului .....	53
Tabel 2.2 Matricea de adiacență a grafului orientat .....	54
Tabel 2.3 Lista nodurilor Proiect INOMAT .....	55
Tabel 2.4 Matricea de adiacență.....	56
Tabel 2.5 Sumarizare variante amplasament .....	57
Tabel 2.6 Lista nodurilor pentru linia de peleți furajeri .....	58
Tabel 2.7 Matricea de adiacență pentru linia de peleți furajeri.....	59
Tabel 4.1 Determinări experimentale.....	81
Tabel 4.2 Coeficienți de corelație și valorile P asociate .....	84
Tabel 4.3 Planificarea științifică a unui experiment pentru determinarea proprietăților peletilor din 2 componente.....	98
Tabel 4.4 Planificarea științifică a unui experiment pentru determinarea proprietăților peletilor din 3 componente.....	98
Tabel 4.5 Planificarea științifică a unui experiment pentru determinarea proprietăților peletilor din 4 componente.....	99
Tabel 4.6 Rețeta A .....	99
Tabel 4.7 Rețeta B .....	99
Tabel 4.8 Rețeta C .....	99
Tabel 4.9 Cantitățile (în kg) și procentul masic Rețeta A .....	100
Tabel 4.10 Cantitățile (în kg) și procentul masic Rețeta B.....	100
Tabel 4.11 Cantitățile (în kg) și procentul masic Rețeta C.....	101
Tabel 4.12 Puterea calorică și cenușa reziduală Rețeta A .....	101
Tabel 4.13 Puterea calorică și cenușa reziduală Rețeta B.....	102
Tabel 4.14 Puterea calorică și cenușa reziduală Rețeta C.....	102

## LISTA FIGURILOR

Figura 1.1 - Tocător modificat pentru teste [30] .....	19
Figura 1.2 - Ansamblu tocare materie primă [31].....	19
Figura 1.3 Ramă mecanism de tăiere Tomahawk 404 [31] .....	20
Figura 1.4 Mecanism de tăiere cu ciocane .....	20
Figura 1.5 Numărul de publicații indexate în 2010–2017 în bazele de date WoS, Scopus și IEEE [34] .....	21
Figura 1.6 Concept Cyber manufacturing [36] .....	23
Figura 1.7 Fluxul de bază al ingineriei inverse.....	24
Figura 2.1 Schema de amplasare a utilajelor în instalația inițială.....	28
Figura 2.2 Amplasamentul echipamentelor inițiale.....	28
Figura 2.3 Tocător crengi cu cardan .....	29
Figura 2.4 Tocător baloți linie inițială .....	30
Figura 2.5 Tocătoare baloți linie optimizată .....	30
Figura 2.6 Moară cu ciocane .....	31
Figura 2.7 Detaliu de funcționare a morii cu ciocănele .....	32
Figura 2.8 Ansamblu Tocător-moară cu ciocane și bandă transportoare ....	32
Figura 2.9 Bandă pentru transportul materiei prime .....	33
Figura 2.10 Instalație uscare .....	34
Figura 2.11 Instalație uscare .....	35
Figura 2.12 Siloz conic.....	36
Figura 2.13 Malaxor .....	37
Figura 2.14 Buncăr instalație de uscare .....	38
Figura 2.15 Presă peleți .....	39
Figura 2.16 Presă mică de peleți .....	40
Figura 2.17 Mostră de peleți .....	40
Figura 2.18 Presă brichetare .....	41
Figura 2.19 Mostre brichete.....	41
Figura 2.20 Presă și mostre brichete .....	42
Figura 2.21 Sită răcitor.....	42
Figura 2.22 Instalație ambalare .....	43
Figura 2.23 Schiță actualizată a liniei de producție .....	44
Figura 2.24 Tocător baloți dreptunghiulari.....	45
Figura 2.25 Moara cu ciocănele pentru linia de peleți furajeri.....	46
Figura 2.26 Linie producție peleți furajeri .....	47
Figura 2.27 Peleți furajeri.....	47
Figura 2.28 Certificat inspecție calitate peleți furajeri lucernă .....	48
Figura 2.29 Exemple de grafuri .....	49
Figura 2.30 Graf orientat asociat liniei tehnologice .....	50
Figura 2.31 Disponerea intermediară a liniei tehnologice.....	52
Figura 2.32 Disponerea finală a liniei tehnologice [52] .....	53
Figura 3.1 Ansamblu tăiere tocător V1 .....	65
Figura 3.2 Paie agățate tocător V1 .....	65
Figura 3.3 Ansamblu de tăiere V2 .....	66
Figura 3.4 Detaliu ansamblu de tăiere .....	67
Figura 3.5 Detaliu tocător V2.....	68



Figura 3.6 Cuțitele cu palete V2 .....	68
Figura 3.7 Teagle Tomahawk 5050 Bale Processor .....	69
Figura 4.1 Tocător folosit pentru măsurători V2 .....	73
Figura 4.2 IR 1 .....	74
Figura 4.3 IR 2 .....	74
Figura 4.4 IR 3 .....	74
Figura 4.5 IR4 .....	75
Figura 4.6 IR 5 .....	75
Figura 4.7 IR 6-11 .....	76
Figura 4.8 IR 12 – IR 17 .....	76
Figura 4.9 IR 18 – IR 23 .....	77
Figura 4.10 IR 24 – IR 28 .....	77
Figura 4.11 IR29 - IR 34.....	78
Figura 4.12 IR 35 - IR 36.....	78
Figura 4.13 IR 37 – IR 42 .....	79
Figura 4.14 Realizare măsurători temperatură .....	80
Figura 4.15 Măsurarea umidității materiei prime .....	81
Figura 4.16 Viteza de vibrație în funcție de turația nominală.....	82
Figura 4.17 Dimensiunea liniară medie în funcție de turația nominală .....	82
Figura 4.18 Densitatea materiei tocate în funcție de turația nominală .....	83
Figura 4.19 Consumul de energie în funcție de turația nominală .....	83
Figura 4.20 Matricea de dispersie.....	84
Figura 4.21 Turația în sarcină în funcție de turația nominală.....	86
Figura 4.22 Dimensiunea fibrei în funcție de turația nominală.....	87
Figura 4.23 Consumul de energie în funcție de turația nominală .....	88
Figura 4.24 Viteza de vibrație în funcție de umiditatea materialului .....	89
Figura 4.25 Consumul de energie în funcție de dimensiunea fibrei.....	90
Figura 4.26 Dimensiunea fibrei în funcție de turația nominală și umiditate.	91
Figura 4.27 Turația .....	92
Figura 4.28 Umiditatea (cu constrângerea de a avea valori între 1 și 20%)	92
Figura 4.29 Valori fezabile pentru dimensiunea fibrei și consum atunci când umiditatea se situează între 0 și 20% .....	93
Figura 4.30 Detaliu de lucru – Statgraphics Centurion, planificarea unui experiment cu 2 răspunsuri și 3 factori ai mixturii.....	94
Figura 4.31 Proiectarea experimentului - Definirea răspunsurilor așteptate	94
Figura 4.32 Proiectarea experimentului – Definirea unei mixturi cu 3 componente .....	95
Figura 4.33 Plan experimental generat pentru o mixtură cu 3 componente	95
Figura 4.34 Alegerea unui model pentru ecuația de regresie.....	96
Figura 4.35 Alegerea experimentelor.....	96
Figura 4.36 Foaie de calcul pentru înregistrarea experimentelor.....	97
Figura 4.37 Selectarea modalităților de evaluare a planului experimental..	97
Figura 5.1 Suprafața de răspuns pentru puterea calorifică în cazul acestor 3 factori .....	106
Figura 5.2 Suprafața de răspuns pentru cenușa reziduală corespunzătoare amestecului acestor 3 factori.....	106
Figura 5.3 Suprafața de răspuns pentru puterea calorifică corespunzătoare la 3 dintre factorii.....	107
Figura 5.4 Suprafața de răspuns pentru cenușa reziduală corespunzătoare la 3 .....	108
Figura 5.5 Detaliu al aplicației Excel .....	109

---

**LISTA FIGURILOR**

Figura 5.6 Detaliu de alegere al rețelei .....	109
Figura 5.7 Detalii foaie de calcul cu rețete.....	110
Figura 5.8 Detaliu prelucrare date experimentale cu Maple.....	111
Figura 5.9 Rezultate rețeta A.....	111
Figura 5.10 Rezultate rețeta B.....	112
Figura 5.11 Rezultate rețeta C.....	113
Figura 5.12 Mostră peletia A.....	114
Figura 5.13 Mostră peletii B.....	114
Figura 5.14 Mostră peletii C.....	115
Figura 5.15 Mostră peletii D.....	116
Figura 5.16 Mostră peletii E.....	116
Figura 5.17 Mostră peletii F.....	117
Figura 6.1 Neuron fără prag și cu prag.....	119
Figura 6.2 RNA cu propagare înainte.....	120
Figura 6.3 Structură bază de date.....	121
Figura 6.4 Relația dintre puterea calorifică a materialului și cenușa reziduală rezultată în urma arderii, în funcție de tipul de material.....	122
Figura 6.5 Arhitectura unei rețele neuronale care clasifică tipul de materie primă în funcție de puterea calorifică a materialului și de cantitatea de cenușă reziduală.....	123
Figura 6.6 Clasificarea materiei prime.....	123
Figura 6.7 Arhitectura unei rețele neuronale care clasifică tipul de materie primă în funcție de procente masice de N, S, Cl și de cantitatea de cenușă reziduală.....	124
Figura 6.8 Diagramă clasificare în funcție de noxe.....	124
Figura 6.9 Diagramă clasificare în funcție de cenușă.....	125
Figura 6.10 Diagramă clasificare în funcție de Cl.....	125
Figura 6.11 Diagramă clasificare în funcție de cenușă 2.....	126
Figura 6.12 Diagramă clasificare în funcție de Cl 2.....	126
Figura 6.13 Diagramă clasificare.....	127
Figura 6.14 Structura RNA cu 2 intrări și 6 ieșiri.....	128
Figura 6.15 Detalii despre procesul de antrenare a rețelei.....	129
Figura 6.16 Antrenarea rețelei cu algoritmul de regularizare bayesiană... ..	130
Figura 6.17 Precizia rețelei cu algoritmul Levenberg-Marquardt.....	131
Figura 6.18 Precizia rețelei cu algoritmul de regularizare bayesiană.....	132
Figura 6.19 Structura RNA cu 6 intrări și 2 ieșiri.....	133
Figura 6.20 Antrenarea rețelei cu algoritmul Levenberg-Marquardt.....	134
Figura 6.21 Antrenarea rețelei cu algoritmul de regularizare bayesiană... ..	135
Figura 6.22 Precizia RNA antrenată folosind Levenberg-Marquardt.....	136
Figura 6.23 Precizia RNA antrenată folosind algoritmul de regularizare bayesiană.....	137

## INTRODUCERE

Tema aleasă este una actuală și relevantă, mai ales în contextul preocupărilor legate de încălzirea globală, folosirea surselor de energie regenerabilă și reducerea utilizării combustibililor fosili, neregenerabili.

De asemenea, interesul pentru energii regenerabile a crescut și din cauza unor factori precum distribuția inegală a resurselor de combustibili fosili în lume, economia în majoritatea țărilor depinzând de resursele energetice importate [1].

Biomasa are un rol semnificativ în tranziția către surse de energie verzi, regenerabile și în reducerea emisiilor poluante. Peleții și brichetele obținuți prin tocarea, măcinarea și presarea biomasei, prin procesele de peletizare/brichetare sunt surse de energie eficiente și ecologice cu utilitate atât în gospodărie pentru încălzirea clădirilor cât și în procesele industriale.

Procesul de fabricație al peleților și brichetelor constă în presarea materiei prime tocate și mărunțite, la o anumită temperatură, în vederea utilizării sau a prelucrării ulterioare [2].

Tăierea și mărunțirea biomasei în vederea peletizării/brichetării reprezintă prima etapă de transformare a biomasei într-o formă adecvată pentru continuarea procesului de producție. Tăierea și mărunțirea corectă a biomasei poate crește eficiența energetică și reduce gazele cu efect de seră comparativ cu arderea acesteia în formă brută [3]. Alegerea corectă a utilajelor de tăiere și mărunțire este vitală pentru bunul mers al procesului de producție.

Calitatea tăierii și mărunțirii biomasei pentru peletizare are un impact semnificativ asupra calității peleților și brichetelor. O mărunțire inadecvată duce la o densitate scăzută a biocombustibililor și, astfel, la un randament energetic mai mic. Dacă dimensiunile materiei prime mărunțite sunt uniforme, atunci se asigură o ardere eficientă și sunt reduse cantitatea de cenușă și emisiile poluante.

Brichetele pentru încălzire sunt produse sub forme regulate: paralelipipedică, cilindrică sau ovoidală, având dimensiuni măsurate în centimetri. Peleții, în schimb, au o formă cilindrică și sunt caracterizați prin dimensiuni mult mai mici decât brichetele, măsurate în milimetri.

Peleții au o mai mare funcționalitate decât brichetele, aceștia putând fi alcătuiți din diverse materii prime și utilizați în diverse domenii, precum încălzire [4], furaje pentru animale [5] sau chiar așternut pentru animale.

În prezenta lucrare au fost realizate cercetări asupra utilajelor de tăiere și mărunțire utilizate pentru producerea de peleți și brichete, atât de încălzire cât și furajeri, exceptând tocătoarele de crengi. De asemenea, vor fi prezentate în lucrare o serie de rezultate obținute în urma analizei calitative a peleților de încălzire realizați.

Cercetările realizate în cadrul tezei sunt validate și de implementarea acestora într-un proiect finanțat cu fonduri europene nerambursabile, proiect în care am avut rolul de cercetător și asistent manager.

Proiectul cu titlul „INOMAT - Inovări și Optimizări Economice și Funcționale în Producția industrială de materiale pentru energia termică” a fost implementat în perioada 2020-2022, de către firma Titus Industries. Implicarea în acest proiect mi-a oferit posibilitatea de a studia implementarea ideilor în industrie, înțelegând mult mai bine legătura și importanța creării unor parteneriate între mediul privat, productiv și

mediul academic, datorită acestei experiențe profesionale foarte utile pentru cercetarea realizată în cadrul tezei.

Un alt proiect în care sunt implicată direct este proiectul „Performanță și excelență în domeniul mediului și energiei regenerabile prin entități moderne de tip cluster”, proiect implementat de firma Titus SRL, în numele și pentru organizația clusterului MERWT Timișoara, un cluster din domeniul energiilor regenerabile care are în prezent peste 20 membrii, dintre care peste 10 sunt IMM-uri, printre care se numără și producători de utilaje pentru fabricarea peleților și brichetelor, dar și producători locali de peleți și brichete. Participarea în cadrul proiectului mi-a permis acces la resursele clusterului și ale membrilor acestuia, o mare parte din măsurători fiind realizate cu ajutorul resurselor membrilor clusterului.

### Importanța temei

Tema aleasă este una actuală și foarte importantă pentru progresul energetic, în special în contextul actual în care conflictele armate și efectele pandemiei s-au răsfrânt asupra prețului energiei, mai ales a energiei provenite din surse neregenerabile.

Energia este o componentă esențială a progresului civilizației și mai ales a progresului tehnic, deoarece orice activitate sau proces tehnologic necesită un aport considerabil de energie pentru a funcționa. Având în vedere dezvoltarea rapidă a tehnologiilor, creșterea populației, dar și conștientizarea faptului că unele surse de energie sunt limitate, a început căutarea de noi surse de energie și noi metode de a o produce, chiar utilizând deșeurile ale altor sectoare de activitate sau industriei precum agricultura, silvicultura sau producția de mobilă.

Conform literaturii de specialitate, la ora actuală sursele de energie disponibile pe mapamond sunt de trei categorii: combustibili nucleari precum uraniu și plutoniu, combustibili fosili precum petrolul, cărbunele, gazul natural și energia regenerabilă precum energia solară, eoliană, geotermală, hidroelectrică, biomasă [6].

Potențialul surselor de energie regenerabilă este unul enorm și, în principiu, aceste surse de energie pot satisface în întregime nevoia de energie a lumii. O tranziție către această categorie de surse de energie este tot mai aproape, pe măsură ce costul de producție al acestora scade în timp ce prețul petrolului și al gazelor naturale continuă să crească [7] [8] [9].

Tranziția către sursele de energie regenerabilă este încurajată de Uniunea Europeană, în special prin fondurile nerambursabile oferite atât producătorilor cât și consumatorilor de energie.

Importanța utilizării surselor de energie regenerabilă este tot mai des evidențiată, iar una dintre cele mai accesibile surse este biomasă, deoarece reziduurile din agricultură și silvicultură sunt principalele surse de energie regenerabilă disponibile.

Biomasă este unică, deoarece este singura sursă de energie regenerabilă de carbon fix [10], avantajele fiind eficiența energetică prin densitatea energetică mai mare, stabilitatea termică, controlul emisiilor gazelor cu efect de seră, dar și capacitatea de stocare a energiei și durabilitatea.

Procesul de peletizare și/sau brichetare este printre cele mai populare și utilizate metode tehnologice de prelucrare a materiei prime vegetale (biomasă) în vederea producerii de energie. Un avantaj semnificativ al acestui tip de proces tehnologic constă în creșterea duratei de conservare a biomasei, reducerea

## **Importanța** temei

---

semnificativă în volum a biomasei utilizate, dar și sporirea confortului în ceea ce privește utilizarea acesteia ca sursă de energie regenerabilă.

De asemenea, un alt avantaj îl reprezintă și ușurința realizării transportului și depozitării materiei prime peletizate/brichetate.

Odată cu criza energetică ce afectează Europa, atât din cauza pandemiei cât și din cauza conflictelor armate, peleții de încălzire au devenit tot mai cunoscuți și mai utilizați ca sursă de încălzire pentru locuințe, dar și în industrie.

În țara noastră, biomasa reprezintă aproximativ 65% din potențialul de energie regenerabilă, fiind estimat la aproximativ 7,6 milioane de tone/an sau 318.000 TJ/an. Din totalul de consum din surse primare de energie în România, acesta reprezintă 19% [11].

Județul Timiș se află în topul celor mai bogate județe în biomasă din resurse agricole, cu aproximativ 1432 mii tone.

Ținând cont de faptul că în general combustibilii solizi obținuți din biomasă au devenit extrem de populari în ultima perioadă, mai ales datorită aportului lor energetic, domeniul de fabricație a peleților și brichetelor este sprijinit nu doar la nivel local, ci și european [12] [13].

Piața pentru combustibilii solizi obținuți din biomasă este în creștere, conform rapoartelor de specialitate România fiind pe locul 2 în Europa [14] [15].

În ultimii ani, industria de peleți și brichete a înregistrat o creștere semnificativă a numărului de producători. Cu toate acestea, potențialul maxim al acestei industrii nu a fost atins încă. Prin urmare, există un set de măsuri și strategii pe care producătorii le pot implementa pentru a îmbunătăți calitatea produselor lor și pentru a deveni mai competitivi pe piață.

Bineînțeles, principalul obiectiv al agenților economici este obținerea de profit, însă acest aspect este direct legat de calitatea produselor pe care le vinde. Astfel, este extrem de importantă realizarea unei planificări riguroase a procesului de producție, dar și realizarea de investiții în cercetare, dezvoltare și inovare industrială. Utilizând tehnici de design experimental, de modelare, precum și software-uri specializate pentru simulare numerică, se pot reduce costurile asociate cercetării experimentale [16] [17]. Aceste costuri pot fi reduse și prin accesarea de finanțări nerambursabile dedicate proiectelor și programelor de cercetare.

Titlul temei de cercetare este **"Optimizarea echipamentelor și proceselor tehnologice de tăiere și mărunțire a biomasei în vederea fabricării peleților și brichetelor"**.

În cadrul tezei, pentru îmbunătățirea proceselor de producție a peleților și brichetelor realizați din materiale reciclate, au fost aplicate și concepte din domeniul tehnologiei informației.

Pentru realizarea acestei teze am folosit date din următoarele surse:

- un set de date experimentale proprii a fost obținut în fabricile de peleți și brichete din Cenei, județ Timiș;
- un set de date experimentale proprii a fost obținut în fabrica Eco Mihiș, fabrică de utilaje pentru realizarea de peleți și brichete situată în județul Bihor;
- un set de date experimentale proprii a fost obținut în laboratoarele UPT;
- un set de date experimentale proprii a fost obținut din literatura de specialitate.

### Obiectivele cercetării

Cercetarea este o acțiune prin care se dorește dobândirea de noi cunoștințe științifice sau tehnologice. Ca antreprenor, realizarea acțiunilor de cercetare este indispensabilă pentru a crea produse competitive pe piață, dar și pentru a reduce costurile de producție în vederea obținerii de profit.

Conform DEX [18] „a optimiza”, sinonim al verbului „a îmbunătăți”, reprezintă „a alege și a aplica soluția cea mai bună dintre toate soluțiile posibile”.

Optimizarea poate fi realizată în funcție de anumite criterii, precum: criterii tehnologice, criterii economice, criterii ergonomice sau criterii ecologice.

Pentru a obține o eficiență economică sporită, este extrem de important ca procesul de optimizare să fie strâns legat de procesele de modelare și simulare. Dezvoltarea și utilizarea modelelor și simulărilor asistate de tehnologia informației aduce numeroase beneficii economice pentru producători [16] [19].

În procesul de fabricare al peleiților/brichetelor, optimizarea poate viza o serie de obiective, precum: maximizarea rentabilității, sporirea eficienței producției, reciclarea materialelor provenite din deșeuri agricole sau forestiere, mărirea puterii calorifice a produselor (valabil pentru peleții și brichetele pentru încălzire), conformarea la normele tehnice, dezvoltarea de rețete de fabricare adaptate fiecărui caz în parte, găsirea de soluții inovatoare pentru organizarea liniei de producție sau chiar optimizarea componentelor individuale ale procesului de producție [20] [21].

Aceste aspecte specifice vor fi detaliate pe parcursul tezei prezentate.

**Obiectivele primare** ale cercetării doctorale și care se reflectă în teză sunt:

- OP1** Optimizarea echipamentelor și proceselor tehnologice de tăiere și mărunțire a biomasei în vederea fabricării de peleți și brichete;
- OP2** Optimizarea producției, prin îmbunătățirea rețetelor de fabricație pentru peleți și brichete, cu ajutorul planificării și cercetării industriale științifice.

**Obiectivele secundare** sunt:

- OS1** Proiectarea de activități experimentale, prin elaborarea unei metodologii a cercetărilor experimentale;
- OS2** Propunerea de optimizări ale subsansamblelor liniei de producție;
- OS3** Propunerea de optimizări în cadrul procesului de producție;
- OS4** Propunerea de optimizări privind digitalizarea producției.

### Structura tezei

Structura tezei constă din 7 capitole precedate de introducere și urmate de bibliografie și anexe.

**În partea de introducere** am prezentat tema cercetării propuse, dar și importanța și necesitatea acestei teme în contextul economico-social al secolului 21.

**Capitolul unu** descrie stadiul actual al tematicii tezei, stabilirea unui cadru de referință pentru cercetare, dar și raportarea acesteia la cele mai noi cunoștințe.

**Capitolul doi** prezintă posibilități de optimizare ale procesului de fabricație pentru o linie de producție a peleiților furajeri și o linie de producție a peleiților și

## Structura tezei

---

brichetelor de încălzire optimizată. Ambele linii de producție sunt în funcțiune la fabricile din localitatea Cenei, județ Timiș. Ambele fabrici doresc să își extindă activitatea prin accesarea de fonduri nerambursabile. În acest capitol am prezentat și date relevante despre obținerea finanțării pentru achiziționarea și optimizarea liniei de fabricație pentru peleți și brichete de încălzire.

**Capitolul trei** prezintă contribuții aduse la optimizarea liniei de fabricație a peletilor – brichetelor folosind subansamble inovatoare, optimizări prin utilizarea tehnologiilor moderne în fabricarea subansamblelor și soluții constructive.

**Capitolul patru** prezintă cercetări experimentale privind calitatea produselor realizate pe liniile optimizate, metodologia cercetărilor experimentale pentru evaluarea performanțelor tocătorului, evaluarea performanțelor tocătorului, metodologia cercetărilor experimentale pentru evaluarea puterii calorifice a biocombustibilului obținut din mixturi dar și măsurători și rezultate privind performanțele biocombustibilului obișnuit.

**Capitolul cinci** prezintă modul de obținere de rețete optimizate de peleți din mixturi folosind metode specifice, metodologia cercetării, realizarea optimizării dar și alegerea rețetelor optime.

**Capitolul șase** prezintă posibilitatea de folosire a mijloacelor inteligenței artificiale în asistarea producției de peleți - brichete, determinarea diferitelor moduri de folosire a inteligenței artificiale, fundamente teoretice de inteligență artificială, posibilitatea folosirii rețelelor neuronale de clasificare în asistarea producției și posibilitatea folosirii rețelelor neuronale adaptative în asistarea producției.

**Capitolul șapte** prezintă concluziile generale ale tezei, contribuțiile personale aduse, dar și perspectivele de viitor ale cercetării realizate.

# 1. STADIUL ACTUAL AL TEMATICII TEZEI

## Obiectivele acestui capitol sunt:

- O1.1 Stabilirea unui cadru de referință pentru cercetare;
- O1.2 Raportarea la cele mai noi cunoștințe

Pentru îndeplinirea obiectivului O1.1 am studiat literatura de specialitate și am explorat conexiunile cu alte discipline relevante, am identificat aspectele cheie în ceea ce privește optimizarea echipamentelor de tăiere și mărunțire a biomasei, dar și a întregului proces de producție în vederea obținerii unor produse calitative.

Pentru îndeplinirea obiectivului O1.2 am studiat literatura de specialitate și am încadrat în contextul actual al cunoștințelor din domeniu. Am analizat evoluțiile recente, care sunt tendințele pe piața mondială pentru a demonstra relevanța temei și a cercetării realizate în teză.

## Rezultatele obținute în acest capitol sunt:

- R1.1 stabilirea unui context amplu și relevant pentru cercetarea realizată;
- R1.2 prezentarea relevanței temei și încadrarea acesteia în contextul actual;
- R1.3 prezentarea tendințelor din domeniu;
- R1.4 stabilirea direcției și contextului în care se încadrează cercetarea realizată în teză.

## Ipoteze de lucru:

Stadiul actual al tematicii tezei reprezintă fundamentul pe care se construiește cercetarea.

Deoarece tema este una complexă, am considerat că este necesară prezentarea stadiului actual din diverse perspective, precum:

- Stadiul actual și tendințe în producția de peleți și brichete pentru încălzire;
- Stadiul actual și tendințe în domeniul utilajelor de tăiere și mărunțire utilizate în producția de peleți și brichete;
- Stadiul actual și tendințe în digitalizarea proiectării și operării liniilor de producție fabricare peleți – brichete:
  - Cloud manufacturing;
  - Cyber manufacturing;
  - Reverse engineering;
  - Industry 4.0.

Am optat pentru această metodă de abordare pentru a furniza o perspectivă exhaustivă asupra stadiului actual al cercetărilor în cadrul domeniului în care se încadrează teza. Fiecare dintre aceste abordări este analizată și prezentată într-un mod detaliat, cu scopul de a asigura o înțelegere completă și profundă a temei. Prin explicarea amănunțită a fiecărei abordări, dorim să evidențiem complexitatea și diversitatea cercetărilor din acest domeniu și să furnizăm un cadru comprehensiv pentru dezvoltarea ulterioară a tezei.



## **1.1. Stadiul actual și tendințe în producția de peleți și brichete pentru încălzire**

În zilele noastre, la nivel global, există o tendință generală de utilizare a energiei regenerabile. Schimbările climatice, poluarea și alți factori relevanți necesită un interes mai mare pentru dezvoltarea durabilă a mediului [22].

În multe regiuni ale Uniunii Europene, inclusiv țara noastră, o cotă relevantă din cantitatea totală a aprovizionării cu energie poate fi acoperită de peleții și brichetele de încălzire [23].

Piața globală a peleților din lemn a crescut dramatic din 2011, iar rata medie de creștere a acestei a fost de aproximativ 14% pe an [24]. Așadar, peleții au devenit un instrument important de promovare a energiei regenerabile, în special în țările emergente [2] [25].

Producătorii de peleți de încălzire, care produc la scară mică, folosesc adesea abordarea de încercare și eroare pentru a determina amestecul adecvat a reziduurilor disponibile și a parametrilor de peletizare [26]. Tocmai de aceea, a apărut necesitatea creării unor instrumente care să ajute micii producători să obțină mixturi mai bune, cu investiții cât mai mici.

Posibilitatea utilizării deșeurilor din silvicultură și agricultură pentru a produce energie reprezintă o altă tendință de actualitate, benefică atât pentru consumatorii industriali cât și pentru consumatorii casnici.

Nunes et al. [27] susține în articolul său faptul că peleții realizați din deșeuri lemnoase sunt cea mai bună alternativă de înlocuire a combustibililor fosili, pentru consumatorii finali, aceasta reprezentând o variantă ieftină de sursă de energie regenerabilă. Lucrarea însă prezintă date din perspectiva producției peleților, nu a componenței acestora.

O lucrare în care sunt prezentate date atât despre caracteristicile fizice și chimice ale peleților cât și analize privind costul de producție și impactul asupra mediului este lucrarea a cărui prim autor este Ingwald Obernberger [28] cercetător la universitatea din Graz.

Despre importanța rumegușului ca tip de combustibil și implicit ca sursă de energie regenerabilă, mai ales în țara noastră, au scris și cercetători din România și Ungaria [29].

Optimizarea compoziției peleților sau brichetelor se poate face și prin adăugarea unor aditivi în procesul de peletizare/brichetare. Într-un articol publicat în anul 2016, Stahl et al. [30] a analizat și prezentat creșterea calitativă a peleților prin adăugarea de aditivi precum melasa.

În prezent, în producția de biocombustibil solizi, pe lângă variantele clasice se încearcă și alte tipuri de biomasă pentru a testa eficiența, biomasă precum tulpini ale plantelor, deșeuri agricole precum porumbul neconform sau alte tipuri de biomasă provenită din diverse industrii.

Progresul în acest sector de activitate a fost forțat și de standardele de calitate impuse la nivelul Uniunii Europene. Aceste standarde sunt mereu actualizate în funcție de rezultatele obținute în urma cercetărilor, cu scopul de a crea o resursă energetică regenerabilă, durabilă.

Principalele reglementări ale UE cu privire la biocombustibilii solizi sunt prezente în standardele:

- EN ISO 17225-1 [31] ;

- EN 17225-2 [32];
- EN 17225-6 [33];

Aceste reglementări sunt actualizări ale unor standarde mai vechi precum EN 14961 [34] sau precum EN 14961-4 [35].

Standardele de calitate acceptate la nivelul UE sunt:

- pentru biocombustibili solizi destinați consumului casnic: Enplus A1, Enplus A2, Enplus B [36];
- pentru biocombustibili solizi destinați consumului industrial: I1, I2, I3 [36];
- pentru biocombustibili solizi din biomasă nelemnoasă și amestecuri de biomasă: MBP A, MBP B [36];

Aceste standarde sunt prezentate în Anexa 1 [31].

## **1.2. Stadiul actual și tendințe în domeniul utilajelor de tăiere și mărunțire utilizate în producția de biocombustibili regenerabili solizi**

În urma cercetării realizate privind industria producătoare de peleți și brichete am constatat că echipamentele utilizate în tăierea și mărunțirea biomasei pentru producția de peleți și brichete au evoluat semnificativ în ultimele decenii, în special datorită progreselor realizate în domeniile agricol și silvicultură, cât și datorită cerințelor crescute de eficiență, durabilitate și sustenabilitate.

Încă din anii 1970, conform articolului publicat de Von Bergen [37], a apărut tendința de balotare cilindrică a fânului, deoarece deși este nevoie de utilaje specializate pentru realizarea baloților, principalul avantaj era automatizarea procesului, nemaifiind necesară atât de multă forță de muncă. În estul Europei însă, acest tip de proces de balotare a câștigat teren doar în anii 2000.

Odată cu apariția baloților cilindrici a apărut și necesitatea producerii unor utilaje specializate pentru tocarea acestor tipuri de baloți.

Cercetarea și dezvoltarea de noi tipuri de utilaje necesită cunoașterea fiecărui nod structural și fiecare parte a mașinii [38]. Acesta este motivul principal pentru care în domeniul ansamblurilor de tăiere și mărunțire este foarte puțin abordat în cercetarea științifică, în prezent procesul de proiectare al utilajelor noi bazându-se în principal pe experiență [38]. Proiectarea și producția de noi tipurile de dispozitive a fost amânată de lipsa cercetării în domeniu.

Majoritatea testelor realizate pe utilaje de tăiere și mărunțire au fost făcute pe prototipuri sau pe variante modificate ale tocătoarelor de pe piață, fiind destul de grea realizarea de teste și măsurători pe un tocător utilizat în linia de producție, risipa de material și consumul fiind extrem de mare.

Un set de teste realizat pe un echipament modificat este cel realizat de un grup de cercetători din Letonia [38].

Testele au fost făcute pe un model de tocător pentru baloți rotunzi Tomahawk 404, modificat pentru teste, prezentat în figura 1.1.

**Stadiul** actual și tendințe în domeniul utilajelor de tăiere și mărunțire utilizate în producția de biocombustibili regenerabili solizi

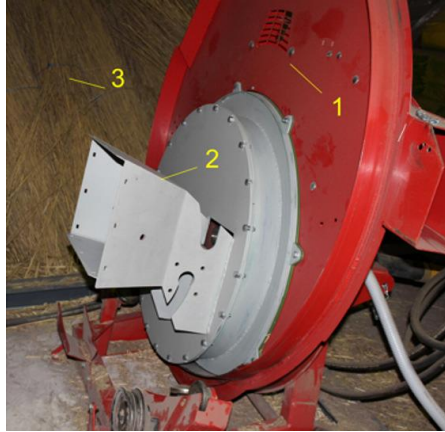


Figura 1.1 Tocător modificat pentru teste [30]

- 1 – Ramă tocător;
- 2 – Mecanism de alimentare cu materie primă;
- 3 – Materie primă.

Principali parametri obținuți în urma testării au fost:

Ansamblul carcasei rulmentului rotorului accelerația vibrațiilor (Acceleration);

- viteza de vibrație a ansamblului carcasei lagărului rotorului (Velocity);

- nodul de deplasare a vibrațiilor carcasei rulmentului rotorului (Displacement);

- viteza de rotație a arborelui de antrenare a rotorului (viteză) [38].

Același model de tocător de baloți a fost utilizat pentru teste de către același grup de cercetători letoni, însă în articolul [39] au testat tocătorul într-un ansamblu de transportor și ciclon prezentat în figura 1.2.

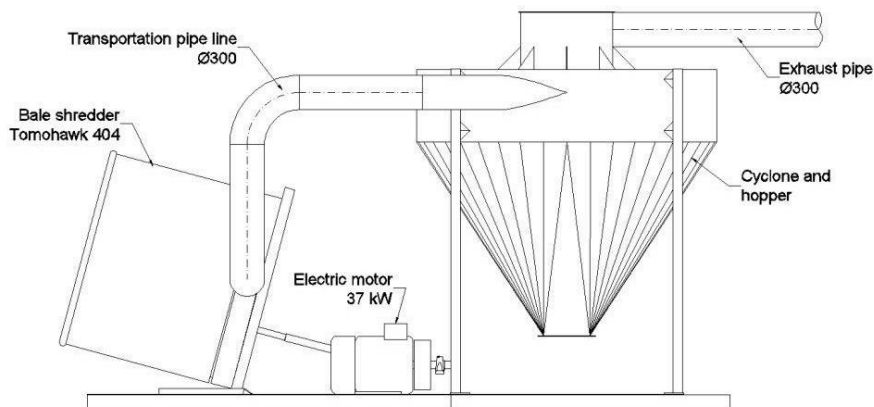


Figura 1.2 Ansamblu tocare materie primă [39]

Tocătorul a fost dotat cu trei tipuri distincte de site (figura 1.3), fiecare având dimensiuni diferite ale ochiului de plasă: 10 mm, 18 mm și 28 mm. Această variabilitate a sitelor permite adaptarea procesului de măcinare la diversele dimensiuni ale materialelor de intrare sau la cerințele specifice ale producției.

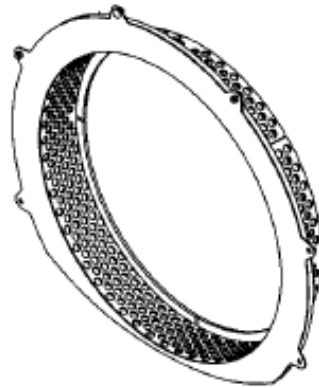


Figura 1.3 Ramă mecanism de tăiere Tomahawk 404 [39]

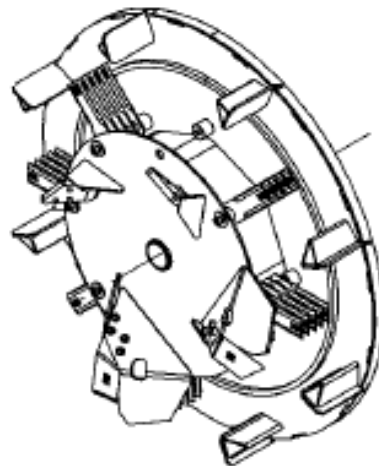


Figura 1.4 Mecanism de tăiere cu ciocane

Mecanismul de tăiere pentru tocătorul de baloți a fost echipat cu 4 cuțite de tăiere și 30 de batante, după cum se vede și în figura 1.4. Fiecare cuțit de tăiere a fost fixat pe rotor.

Pentru realizarea procesului de peletizare, materia primă trebuie tăiată și mărunțită. Deoarece etapa de tăiere și mărunțire reprezintă prima etapă a procesului de producție de peleți și brichete, rezultă că tăierea și mărunțirea este principala operațiune de condiționare înainte de prepararea biomasei pentru producerea de biocombustibili solizi [39].

**Stadiul actual și tendințe în digitalizarea proiectării și operării liniilor de producție fabricare peleți-brichete**

### 1.3. Stadiul actual și tendințe în digitalizarea proiectării și operării liniilor de producție fabricare peleți-brichete

Digitalizarea este un concept tot mai des întâlnit în producție, rolul acesteia fiind de a ușura munca oamenilor, de a reduce timpii de lucru, dar și de a realiza procesul cu o precizie cât mai mare.

Integrarea automatizării în procesele de producție de combustibili solizi îmbunătățește semnificativ eficiența operațională a liniilor de producție.

Utilizarea tehnologiilor moderne de analiză a datelor ajută la identificarea de modele și tendințe în producție și duce la îmbunătățiri semnificative în procesul de producție și în eficiența utilizării resurselor.

#### 1.3.1. Cloud manufacturing

Conform literaturii de specialitate, Cloud manufacturing este o nouă paradigmă de producție promițătoare, dar și un model de afaceri, care remodelează industria de producție orientată spre servicii, foarte colaborativă, intensivă în cunoștințe și eco-eficientă [40].

Trendul legat de această paradigmă este unul ascendent, având în vedere că în perioada 2012-2017 expresia cheie „cloud manufacturing” se regăsește tot mai des în bazele de date internaționale [41]. În această perioadă de referință, un număr impresionat de articole au fost indexate în bazele de date internaționale, toate referindu-se la conceptul de cloud manufacturing.

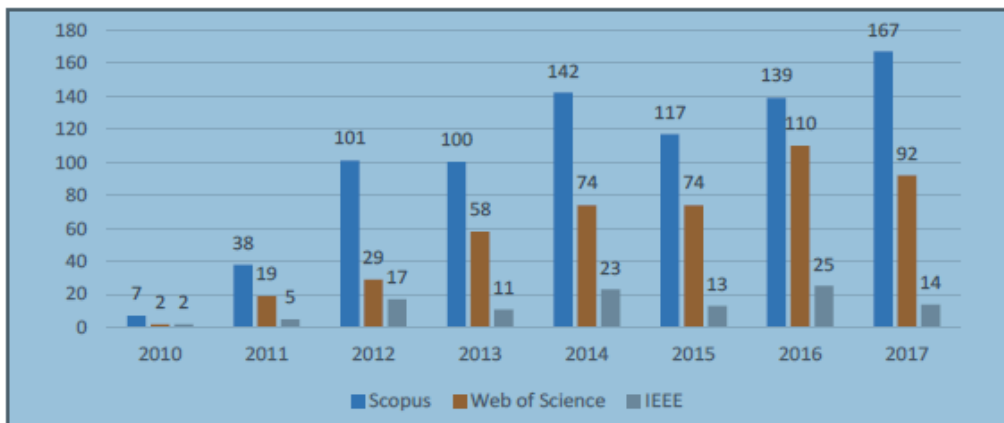


Figura 1.5 Numărul de publicații indexate în 2010–2017 în bazele de date WoS, Scopus și IEEE [34]

Pentru o mai bună înțelegere a conceptului în Tabelul 1.1 am realizat o centralizare a definițiilor conceptului de cloud manufacturing, conform literaturii de specialitate, în ordinea cronologică a apariției articolelor.

Tabel 1.1 Definiții cloud manufacturing

An	Autor(i)	Definiție
2010	Li et al.	O nouă paradigmă de fabricație în rețea care organizează resursele de fabricație pe rețele (norii de fabricație) conform nevoilor și cerințelor consumatorilor pentru a furniza o varietate de servicii de fabricație la cerere prin intermediul rețelelor (de exemplu, Internet) și platformelor de servicii de fabricație în nori.
2010	Wu & Yang	Un mediu de suport integrat atât pentru partajarea, cât și pentru integrarea resurselor în întreprinderi. Furnizează pool-uri virtuale de resurse de fabricație, care protejează heterogenitatea și distribuția regională a resurselor prin intermediul virtualizării. Fabricația în nori oferă un mediu de lucru cooperativ pentru întreprinderile și persoanele care produc și permite cooperarea întreprinderii.
2011	Tao et al.	Un nou model de fabricație orientat spre servicii, care integrează diferite tehnologii, cum ar fi fabricația în rețea, calculul în nor, Internetul lucrurilor (IoT), virtualizarea și tehnologiile orientate spre servicii pentru a sprijini colaborarea, partajarea și gestionarea resurselor de fabricație.
2012	Xu	Un model pentru furnizarea accesului la rețea la cerere, convenabil, la o bază comună de resurse de fabricație configurabile (de exemplu, echipamente de fabricație, capacități de fabricație și instrumente software de fabricație) care pot fi furnizate și eliberate rapid cu efort minim de gestionare sau interacțiune cu furnizorul de servicii.
2012	Macia-Perez et al.	Un nou model de servicii de fabricație, infrastructură și tehnologie care permite utilizatorilor accesul la un catalog de servicii standardizate și satisfacerea nevoilor afacerii într-o formă flexibilă și adaptabilă, în caz de cerere neașteptată sau sarcini de lucru la vârf, plătind doar pentru consumul efectuat.
2014	Wang et al.	Un sistem cibernetic fizic integrat, care poate furniza servicii de fabricație la cerere, atât digital, cât și fizic, în cea mai bună utilizare a resurselor de fabricație.
2017	Adamson et al.	Un model de fabricație în rețea în care resursele de fabricație distribuite local și global pentru întregul ciclu de viață al produsului sunt puse la dispoziție de furnizori pentru a satisface cerințele consumatorilor și sunt centralizate și controlate ca servicii de fabricație în nori. Modelul susține interacțiunea unificată între furnizorii de servicii și consumatori, pentru comerț și utilizarea resurselor/serviciilor configurabile, precum și cooperarea și colaborarea dinamice și flexibile în misiunile de fabricație cu mai mulți parteneri. Caracteristicile distincte sunt scalabilitatea, vânzarea la cerere și gestionarea completă de către furnizor.

### 1.3.2. Cyber-manufacturing

Cererea pentru produse personalizate, inteligente și durabile și creșterea rapidă a internetului industrial și a tehnologiilor cyber-fizice a condus la dezvoltarea mai multor paradigme noi pentru producție în ultimii ani [42].

Cyber manufacturing se referă la „un sistem transformator care traduce datele dintr-un sistem interconectat în operațiuni predictive și prescriptive pentru a obține performanțe rezistente. Paradigma implementează tehnologii digitale gemene pentru a sprijini ciclul de viață al produselor” [43].

## **Stadiul** actual și tendințe în digitalizarea proiectării și operării liniilor de producție fabricare peleți-brichete

Cyber manufacturing reprezintă un concept și o abordare inovatoare în domeniul industrial, concept transformator care implică traducerea datelor din sistemele interconectate în operațiuni predictive și prescriptive pentru a obține performanțe rezistente. Acest concept împletește big data din industrie cu analiza inteligentă pentru a descoperi și înțelege problemele invizibile pentru luarea deciziilor. Odată cu apariția Internet-of-Things (IoT) și a tehnologiilor inteligente, de analiză predictivă, companiile au construit un mediu de rețea bogat în date, care necesită o metodologie sistematică pentru a transforma datele brute în operațiuni semnificative și acționabile [43].

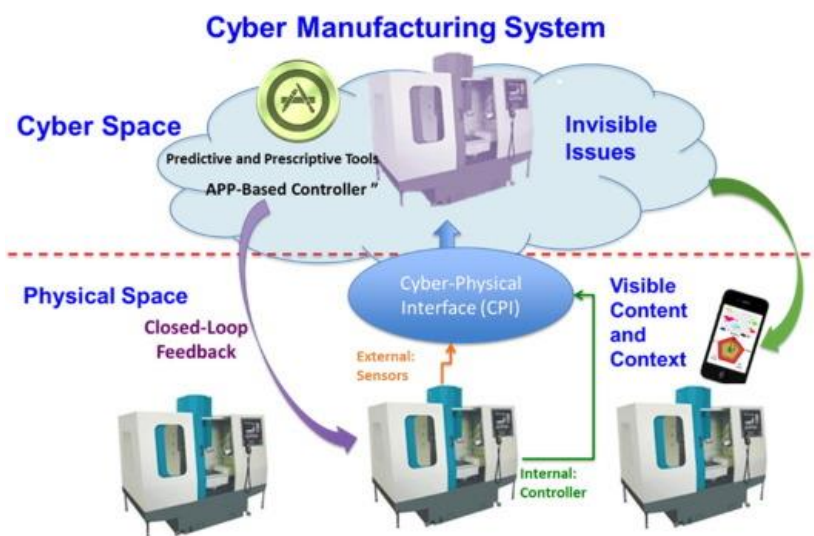


Figura 1.6 Concept Cyber manufacturing [43]

Conceptul de Cyber manufacturing are potențialul de revoluționare a modului în care sunt concepute, fabricate și chiar livrate produsele.

Prin digitalizarea și automatizarea procesului de producție, acesta este eficientizat și mai sustenabil.

### **1.3.3. Reverse engineering**

Reverse engineering sau, în traducere, ingineria inversă este considerată ca fiind procesul de dezvoltare a unui set de specificații pentru un sistem hardware complex printr-o examinare ordonată a speciimenelor aceluși sistem. Se presupune că specificațiile sunt dezvoltate în scopul realizării unei clone a sistemului hardware original, o circumstanță care necesită cea mai cuprinzătoare formă de specificații [44]. Această definiție a fost formulată în anii 80, articolul fiind citat de peste 200 ori ceea ce denotă relevanța și interesul subiectului.

Acest concept este în prezent larg utilizat într-o varietate de sectoare industriale, acoperind domenii diverse, de la industria bijuteriilor până la sectorul automotive și, implicit, în fabricarea echipamentelor destinate producției de peleți și brichete. Utilizarea acestui concept în industrie reprezintă un mod eficient de a obține

produse de calitate și performanță superioară prin intermediul tehnologiilor moderne și a proceselor inovatoare.

În anul 2013 autorii Kumar et al. [45] au realizat un capitol într-o carte unde prezintă importanța utilizării conceptului de reverse engineering în producție, etapele fiind prezentate în figura 1.7.

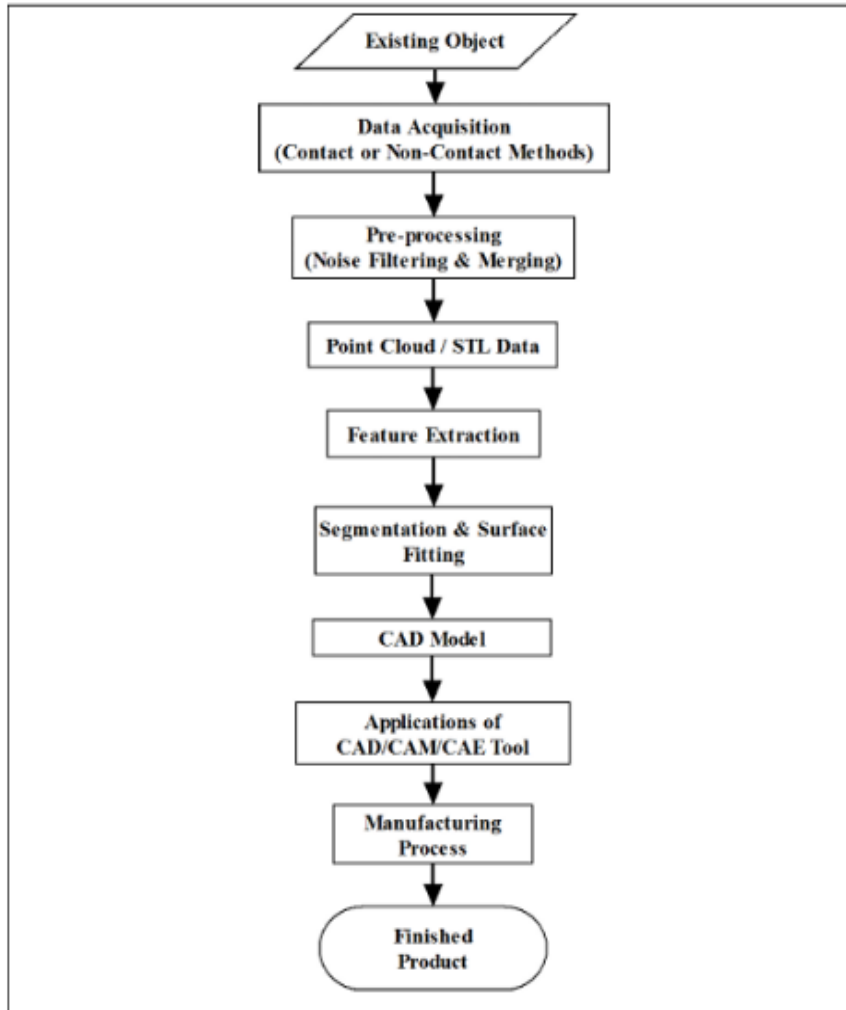


Figura 1.7 Fluxul de bază al ingineriei inverse [45]

Principiile fundamentale și constrângerile esențiale ale ingineriei inverse sunt, în mare parte, similare în majoritatea domeniilor industriale. Abordarea generală a ingineriei inverse, care include colectarea datelor, analiza detaliată la nivel microscopic, modelarea, prototiparea, evaluarea performanței și asigurarea conformității cu reglementările, rămân în esență aceleași pentru toate industriile. Reușita în acest proces este, în mod obișnuit, subiectul limitărilor generale ale tehnologiilor moderne disponibile [38].



## Concluzii parțiale

---

Totuși, este important de menționat că metodele specifice utilizate pot varia considerabil în funcție de domeniul specific de aplicare.

### 1.3.4. Industria 4.0

De la începutul primei revoluții industriale din secolul al 18-lea, una dintre cele mai mari provocări cu care a trebuit să se confrunte societatea a fost cum să realizeze o producție crescută de bunuri folosind resurse naturale limitate și epuizabile. Această problemă a fost pusă în lumină de cererea constantă în creștere pentru produse, iar găsirea soluțiilor pentru a satisface această cerință a reprezentat un aspect fundamental al dezvoltării industriale. Această provocare a impus necesitatea găsirii de soluții durabile pentru limitarea impactului negativ asupra mediului înconjurător și asupra societății [46].

Secolul 21 aduce cea de-a patra revoluție industrială și transformarea digitală a lumii afacerilor, care este denumită în mod obișnuit Industria 4.0 [47].

De la utilizarea pentru prima dată a termenului „Industry 4.0” în anul 2011, transformarea digitală a captat imediat atenția atât în sectorul industriilor cât și atenția guvernelor din întreaga lume [48].

Într-un articol publicat în anul 2016, Hermann et al. [49] definesc Industria 4.0 ca un termen colectiv pentru tehnologiile organizațiilor lanțului valoric, iar componentele Industriei 4.0 sunt clasificate ca Internet of the Things, Cyber-Physical Systems, Internet of Services și Smart Factory.

Toro et al. [50] prezintă în lucrarea lor o imagine de ansamblu cuprinzătoare asupra noilor tehnologii și descriu faptul că, calculul vizual ar putea fi văzut ca fiind componenta cheie a Industriei 4.0. Germanul Sommer, în articolul său publicat în anul 2015 [51], evidențiază că un aspect extrem de important este creșterea gradului de conștientizare a Industriei 4.0 și a dimensiunilor acesteia pentru a crește competitivitatea companiilor. Yin și Kaynak în lucrarea lor [52] au analizat și demonstrat faptul că sistemele inteligente și datele generate de acestea au un rol important asupra nivelurilor de performanță ale companiilor, eficiența costurilor, calitatea și procesele fără defecte. De asemenea, este necesară dezvoltarea capacității de date și statistici a țărilor pentru a se pregăti pentru evoluțiile tehnologice și Industria 4.0 [53].

În lucrarea publicată de Rüßmann et al. [54] aceștia modelează viziunea Industriei 4.0 privind definirea a nouă aspecte legate de concept; acestea sunt: Big Data, roboți autonomi, simulare, integrare orizontală și verticală, Internet of Things, cloud, fabricație aditivă, realitate augmentată și securitate cibernetică.

Din acest motiv, este crucial ca toate companiile să înțeleagă dimensiunile și noile modele de afaceri care sunt generate de Industria 4.0. Acest lucru le va permite să dezvolte strategii inovatoare pentru a se adapta și a beneficia de potențialul acestei revoluții industriale.

## 1.4. Concluzii parțiale

În cadrul acestui capitol am studiat contextul în care se situează cercetarea de față și care sunt tendințele în domeniul abordat.

## **STADIUL ACTUAL AL TEMATICII TEZEI**

---

O principală concluzie a acestui capitol este aceea că peleții și brichetele sunt o sursă de energie extrem de valoroasă în contextul actual și au un rol extrem de important în tranziția către un sistem energetic sustenabil.

Progresul tehnologic este unul extrem de rapid și de aceea este imperios necesară actualizarea și implementarea de soluții inovative în procesele de producție ale biocombustibililor solizi pentru a se păstra calitatea și competitivitatea produselor.

Pe parcursul evoluției, cerințele pieței au înregistrat o creștere semnificativă, iar în acest context, metode moderne precum reverse engineering sau Industria 4.0 pot reprezenta soluții viabile pentru antreprenorii care doresc să-și mențină relevanța și competitivitatea. Aceste abordări inovatoare oferă resurse și tehnologii necesare pentru a răspunde cerințelor în schimbare ale pieței și pentru a se adapta la evoluția constantă a mediului de afaceri.

Factorii cheie în transformarea proceselor de producție sunt reprezentați de digitalizare și paradigma Industry 4.0, care se îndreaptă rapid spre Industry 5.0. Acești factori sunt esențiali pentru analizele de date și pentru o eficiență sporită a procesului de producție.

## **2. POSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

### **Obiective le acestui capitol sunt:**

O2.1 analiza arhitecturilor liniilor de producție ale celor două fabrici de la Cenei;

O2.2 propunerea unor arhitecturi optimizate specifice unor nevoi exprimate de producătorii de peleți-brichete.

### **Rezultatele obținute în acest capitol sunt:**

R2.1 o linie optimizată de fabricație pentru peleții furajeri;

R2.2 o linie optimizată de fabricație pentru peleți-brichete de încălzire.

### **Ipoteze de lucru:**

Liniile de producție prezentate în acest capitol au foarte multe subansamble asemănătoare; deși forma utilajului este diferită, scopul este același, iar diferența dintre liniile de producție o face modul de proiectare al acestora și destinația lor.

Un utilaj esențial în procesul de producție al peleților și brichetelor în reprezintă tocătorul.

Ambele linii de producție sunt dotate cu tocătoare de paie de la producători diferiți și construcție diferită, însă o diferență semnificativă între cele două linii prezentate în acest capitol o reprezintă prezența tocătorului de crengi aferent liniei de producție a peleților de încălzire.

### **2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea peleților și brichetelor pentru încălzire**

Procesul de optimizare a unei arhitecturi specializate pentru producția de peleți și brichete destinate încălzirii implică o gamă variată de aspecte și abordări. Scopul principal este de a atinge o eficiență maximă și de a asigura calitatea superioară a producției.

Pentru a facilita înțelegerea procesului tehnologic, am decis să prezentăm fiecare element sau subansamblu al liniei de producție, oferind o descriere detaliată, urmată de propuneri specifice de optimizare pentru fiecare dintre acestea. Acest lucru va contribui la identificarea și implementarea unor îmbunătățiri semnificative în cadrul întregului proces de producție.

#### **Componente esențiale ale liniilor de producție**

## POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR

Linia de producție descrisă aparține firmei Titus Industries SRL, care are punctul de lucru în localitatea Cenei. Linia tehnologică de peleți și brichete analizată și propusă spre optimizare are o capacitate de 400 kg/h. Scopul cercetării nu este neapărat creșterea productivității aceasta fiind suficientă pentru un IMM, cât reducerea consumului de energie, reducerea risipei de materie primă, dar și realizarea unor produse de calitate superioară.

Firma a fost fondată în anul 2017 și, într-un timp relativ scurt, a reușit să implementeze cu succes două proiecte. Ambele proiecte și-au propus obiective legate de achiziționarea de echipamente destinate producției de peleți și brichete, precum și de optimizare a întregului proces de fabricație.

Linia de fabricație inițială, achiziționată în 2017 și prezentată în figura 2.1, cuprindea un tocător de paie pentru baloți rotunzi, o moară cu ciocănele, o instalație pentru uscarea materiei prime, un buncăr pentru presa de peleți, o presă de peleți industrială, o presă de brichete industrială, o sită pentru cernerea și răcirea peletilor.



Figura 2.1 Linia de fabricație inițială

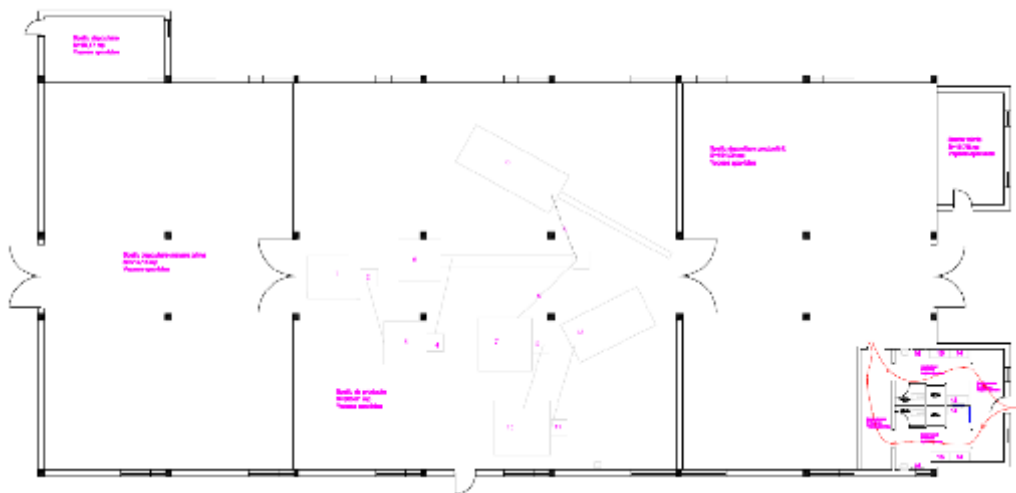


Figura 2.2 Amplasamentul echipamentelor inițiale

În prezent, linia de producție are 3 tocătoare (2 tocătoare baloți rotunzi și un tocător crengi mobil), 2 benzi transportoare, o moară cu ciocane, o instalație de uscarea materiei prime, 2 buncăre, un malaxor, o presă mare de peleți, o presă mică de peleți, o presă mare brichete, o sită pentru cernere și un dispozitiv de ambalare a produsului finit.

## 2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea peletilor și brichetelor pentru încălzire

---

O parte din noile echipamente au fost achiziționate în cadrul celui de-al doilea proiect cu finanțare nerambursabilă implementat de firma în cauză, proiect care implică atât activități de cercetare cât și achiziția de echipamente și materie primă.

Prima etapă a procesului de peletizare și/sau brichetare este tocarea materiei prime.

Un tocător de materie primă este o mașină sau un echipament specializat folosit pentru a mărunți materiile prime, cum ar fi lemnul, paie, coceni de porumb, plante, frunze sau alte materiale organice, în bucăți mai mici sau în fragmente mai gestionabile.

Tocătorul de crengi folosit în acest context nu este conectat sau fixat la linia de producție, fiind conceput ca un echipament mobil. Acesta este echipat cu un cardan, permițându-i să fie utilizat atât în interiorul halei de producție, cât și în spații deschise, în funcție de necesități. Această mobilitate îi conferă versatilitate, facilitând utilizarea sa în diverse medii și situații de lucru.

Tocătorul este ușor de manevrat și poate fi remorcat cu ușurință de către un tractor. Acesta este echipat cu o bandă transportoare pentru materialul destinat tăierii. Pentru a asigura independența de la alimentarea cu energie electrică, tocătorul este propulsat de un motor pe benzină cu o putere minimă de 15 CP. Acest echipament este proiectat pentru a efectua tăierea crengilor și lemnului cu un diametru de până la 60 mm.

Investiția în achiziționarea acestui tocător, ilustrat în figura 2.3, a reprezentat o strategie de optimizare a liniei de producție. Unul dintre principalele beneficii ale acestei achiziții a fost extinderea capacității de prelucrare a diferitelor tipuri de materii prime.



Figura 2.3 Tocător crengi cu cardan

Tocătoarele speciale pentru baloți sunt integrate direct în linia de producție și sunt echipate cu două tipuri de motoare: un motor principal cu o putere de 15 kW, la care se adaugă un motor auxiliar cu o putere de 1,1 kW. Această combinație de motoare asigură funcționarea eficientă și optimă a echipamentului în procesul de tocarea baloților.

Acest model de tocător de baloți are capacitatea de a prelucra un balot cu o greutate cuprinsă între 500 și 700 kg în aproximativ 8 minute.

## **POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

Caracteristicile fizico-mecanice ale materiei prime au un impact semnificativ asupra proceselor de tocare și mărunțire [36].

Diametrul interior al tamburului pentru modelul de tocător de baloți utilizat pentru linia inițială, prezentat în figura 2.4, este de 150 cm, iar lungimea materiei prime tocate este de 4-5 cm.

Prin includerea a două astfel de tocătoare în linia de producție se realizează o creștere semnificativă a capacității de producție.

Achiziționarea unui al doilea tocător reprezintă astfel o modalitate eficientă de a optimiza întregul proces de producție.



Figura 2.4 Tocător baloți linie inițială



Figura 2.5 Tocătoare baloți linie optimizată

Cele două tocătoare prezentate în figura 2.5 sunt variante de tocătoare produse de Eco Mihiș și reprezintă tocătoarele de baloți de tip Varianta 1. Aceste

## 2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea peleților și brichetelor pentru încălzire

---

tocătoare sunt parte integrantă a liniei de producție și contribuie la procesul de prelucrare a materiei prime pentru fabricarea peleților și brichetelor.

Cu ajutorul acestor tocătoare materialele pot fi eficient și rapid mărunțite, iar capacitatea lor de producție contribuie la optimizarea întregului flux de producție.

Moara cu ciocane, parte componentă a liniei de producție, dispune de o putere de 22 kW. Acest model este caracterizat de o cameră deschisă și se alimentează în mod radial-tangențial. Capacitatea sa de prelucrare atinge până la 500 kg de rumeguș pe oră.

Diametrul grosier maxim admis pentru materia primă destinată măcinării în această moară este de 70 mm. Procesul de măcinare se realizează prin ciocnirea rapidă a ciocanelor cu materia primă, cu eliberare redusă de praf în comparație cu alte tehnologii similare.

O sugestie de optimizare ar putea consta în integrarea sistemului de ciocane într-un ansamblu de tăiere al tocătorului, creând astfel un utilaj hibrid. Prin eliminarea morii cu ciocane, această abordare ar reduce numărul de utilaje necesare în proces și, implicit, consumul de energie electrică.

Figura 2.6 ilustrează integrarea morii cu ciocane în linia de producție, aceasta fiind conectată la tocător și la banda transportoare.



Figura 2.6 Moară cu ciocane



## **POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

---



Figura 2.7 Detaliu de funcționare a morii cu ciocane

Cele două benzi transportoare recent achiziționate în cadrul proiectului INOMAT au fost integrate în linia de producție, servind ca conexiune între moară, tocătoare și siloz. Această achiziție în sine a reprezentat o optimizare semnificativă a liniei de producție, deoarece a condus la o reducere semnificativă a timpului necesar pentru încărcarea materiei prime, începând cu momentul achiziționării și instalării benzilor transportoare.

Figura 2.8 prezintă ansamblul format din tocătorul de baloți, moara cu ciocane și banda transportoare care le conectează în cadrul liniei de producție.



Figura 2.8 Ansamblul tocător-moară cu ciocane și bandă transportoare



## 2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea peleților și brichetelor pentru încălzire

---

Acest ansamblu este esențial în procesul de prelucrare a materiei prime pentru fabricarea peleților și brichetelor.

Figura 2.9 ilustrează banda specializată utilizată pentru transportul materiei prime în cadrul procesului de producție.

Această bandă are rolul de a asigura transferul eficient și continuu al materiei prime de la un punct al liniei de producție la altul, contribuind astfel la fluxul optim al producției.



Figura 2.9 Bandă pentru transportul materiei prime

Linia de producție este echipată cu o instalație specială pentru uscarea materiei prime. Aceasta este esențială datorită faptului că umiditatea materiei prime este inegală la temperatura de lucru.

La introducerea în instalația de uscare, umiditatea inițială a materialului poate atinge maxim 50%, iar în urma procesului, materiile prime sunt aduse la un procent de umiditate de 12-15%.

Pentru a realiza acest proces, instalația utilizează un consum maxim de 30 kg de peleți pe oră pentru a alimenta soba uscătorului. Această etapă de uscare este esențială pentru asigurarea calității și eficienței producției ulterioare a peleților și brichetelor destinate încălzirii.

Figura 2.10 ilustrează instalația de uscare utilizată în cadrul liniei de producție.

**POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

---



Figura 2.10 Instalație uscare

Această instalație de uscare a materiei prime mărunțite (figura 2.11) este o optimizare a liniei, prin faptul că reduce timpul de uscare al materiei prime.

## 2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea pelei și brichetelor pentru încălzire

---



Figura 2.11 Instalație uscare

Obținerea unei umidități conforme este crucială pentru fabricarea unor produse de calitate superioară.

Uscarea materiei prime previne contaminarea acesteia cu bacterii sau microbi, pelei și brichetele devenind sigure pentru utilizare.

De asemenea, prin uscarea conformă a materiei prime înainte de peletizare se asigură și durabilitatea produselor.

Reglajul uscătorului este extrem de important deoarece, dacă umiditatea devine prea mică, există riscul de sfărâmare a produselor finite.

Achiziționarea unui siloz conic (figura 2.12) este de asemenea o optimizare a liniei de producție.



Figura 2.12 Siloz conic

Un transportor elicoidal transportă materia primă din instalația de uscare într-un buncăr.

Materia primă care ajunge în buncăr este omogenizată folosind un motor de 7 kW.

Gradul de uniformitate a amestecurilor utilizate este strâns corelat cu proprietățile fizico-mecanice ale componentelor, cum ar fi granulația și densitatea, precum și cu numărul componentelor și tipul de amestecător folosit, în cadrul procesului integrat în fluxul tehnologic. Între durata procesului de omogenizare și gradul de omogenitate al materialelor amestecate există o legătură de proporționalitate inversă [36].

Un aspect important de reținut care a rezultat din cercetările efectuate este acela că omogenizarea se realizează în condiții optime atunci când materiile prime sunt introduse în buncăr în ordinea în care le crește și densitatea.

Omogenizarea și amestecarea materiei prime diverse se realizează și într-un utilaj numit malaxor (figura 2.13), care poate amesteca până la 200 kg de materie primă în 10 minute.

## 2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea peletilor și brichetelor pentru încălzire

---



Figura 2.13 Malaxor

După omogenizare, materia primă este transportată tot printr-un transportor elicoidal către presele de peletizare sau brichetare, în funcție de produsul final dorit.

Pentru a obține produse de calitate superioară este important ca înainte de peletizare sau brichetare să se verifice din nou umiditatea materiei prime pentru a se evita consumul de energie, risipa de material dar și blocarea preselor.

Dacă materia primă are umiditate peste 15%, aceasta trebuie uscată din nou, într-un buncăr (figura 2.14), deoarece riscul ca materia primă să blocheze presa este unul foarte mare.



Figura 2.14 Buncăr de uscare

Ambele prese folosite (peletizare, brichetare) au matrițe inelare și separator magnetic. Separatorul magnetic are rolul de a elimina din produsul finit orice material feros care ar putea trece prin tocător și prin moara cu ciocane.

Din punct de vedere al calității lor, peleții sunt condiționați de temperatura și presiunea din prese.

Procesul tehnologic constă în:

- Trecerea prin matriță a materiei prime;
- Presarea materiei prime la 800-900 bar la o temperatură de 70-80 °C;
- Tăierea peleților la lungimea dorită cu un cuțit reglabil.

Pentru funcționarea optimă a presei de peleți (figura 2.15), umiditatea materiei prime trebuie să se regăsească în intervalul 10-14%, în timp ce granulația amestecului de materii prime trebuie să fie între 3-5 mm.

## 2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea pelei și brichetelor pentru încălzire

---



Figura 2.15 Presă de pelei

Randamentul presei este de 500 kg/h, dar pentru a atinge acest randament ideal ar fi ca aceasta să funcționeze pe perioade lungi de timp. Presa nu este ideală pentru realizarea cercetărilor experimentale, deoarece consumul de materie primă este unul foarte mare, între 500-1000 kg de amestec de materie primă pentru o singură încercare.

Pentru realizarea experimentelor și a mostrelor de pelei, a fost achiziționată o presă mică de pelei (figura 2.16), care are o matrită plană. Scopul acestei mini prese este de a permite realizarea de mostre, fără să fie necesară pornirea întregii instalații, astfel se economisește atât energie electrică, cât și materie primă.



## **POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

---

Presă mică are o putere de 7,7 kW și o capacitate de procesare între 100 și 120 kg materie primă/oră.



Figura 2.16 Presă mică de peleți

În figura 2.17 sunt prezentate mostre de peleți realizate cu presa de 7,7 kW, aceasta fiind recomandată pentru mostrele realizate pentru cercetare.



Figura 2.17 Mostră de peleți

Pentru presare, în vederea realizării de brichete, se utilizează o presă de brichete dotată cu piston acționat hidraulic.

Aceasta este echipată cu un motor cu o capacitate de 22 kW pentru pompa hidraulică, un motor de dozare cu o putere de 5,5 kW și un motor de alimentare de



## 2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea peleișilor și brichetelor pentru încălzire

---

1,35 kW. Această presă de brichete, prezentată în figura 2.18, poate produce o cantitate de 220 kg/h. Mostre de brichete obținute sunt prezentate în figura 2.19.



Figura 2.18 Presă brichetare



Figura 2.19 Mostre de brichete

O sugestie de optimizare a fost achiziționarea unei prese de brichetare pentru producerea de brichete paralelipedice.

Această decizie a fost luată în considerare datorită avantajelor asociate cu transportul și depozitarea mai ușoară a acestor produse finite.

Recent, o astfel de presă (figura 2.20) a fost achiziționată și introdusă în procesul de producție, permițând fabricii să producă și brichete paralelipedice.

## **POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

---

Această extindere a gamei de produse oferă o mai mare varietate de opțiuni pentru clienți și contribuie la optimizarea generală a procesului de producție.



Figura 2.20 Presă și mostre brichete

După procesul de presare, peleții sau brichetele sunt direcționați către un dispozitiv de răcire echipat cu o sită care este supusă vibrațiilor și un sistem de aspirație pentru captarea prafului generat în proces.

Figura 2.21 ilustrează sita de răcire utilizată în procesul de producție.



Figura 2.21 Sită răcitor

După etapa de cernere, produsele finite sunt transportate cu ajutorul unei benzi transportoare către utilajul de ambalare (figura 2.22).

Capacitatea acestui utilaj de ambalare variază între 120 și 150 de saci pe oră. Ambalarea produselor se realizează în saci de polietilenă cu o capacitate de până la 30 de kilograme fiecare.

## **2.1. Optimizarea unei arhitecturi specifice pentru fabricarea peletilor și brichetelor pentru încălzire**

---



Figura 2.22 Instalație ambalare

Linia de producție a fost optimizată cu propunerile rezultate în urma cercetărilor realizate în fabrică, schița acesteia fiind prezentată în figura 2.23.

## POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR

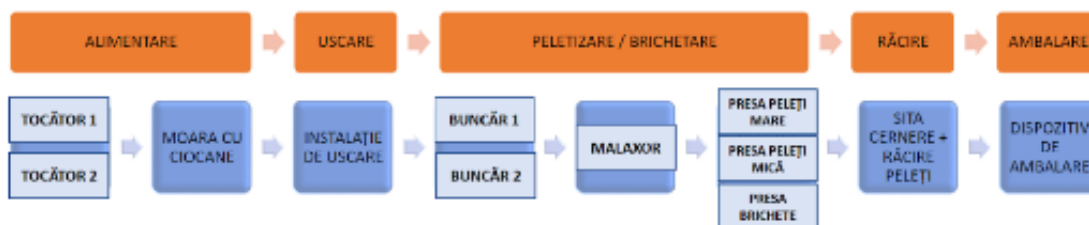


Figura 2.23 Schiță actualizată a liniei de producție

### 2.2. Posibilități de optimizare a unei arhitecturi specifice liniilor tehnologice pentru producția de peleți furajeri

Fabrica de peleți furajeri se află în localitatea Cenei, județ Timiș și produce în prezent peleți furajeri din lucernă, fără alte amestecuri.

Linia de producție este alcătuită din:

- Complex tocare pentru baloți de paie dreptunghiulari;
- Presă de peleți cu matrița plană rotativă de 8mm - GFD-0.7;
- Buncăr pentru omogenizarea materiei prime - volum 3.5 metri cubi;
- Uscător aerodinamic paie/rumeguș DAD-0.6-1.2 umiditate până la 35%/50% [55].

Complexul de tocare este format dintr-un tocător de baloți dreptunghiulari (figura 2.24), pentru baloți cu diametrul de maxim 1.8m și cu o productivitate între 600 și 1500kg/h, o moară cu ciocane (figura 2.25) care mărunțește materia primă până la 3-10 mm și un panou de comandă.

**2.2. Posibilități de optimizare a unei arhitecturi specifice liniilor tehnologice pentru producția de peleți furajeri**

---



Figura 2.24 Tocător baloți dreptunghiulari

**POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A  
PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

---



Figura 2.25 Moara cu ciocane pentru linia de peleți furajeri



## 2.2. Posibilități de optimizare a unei arhitecturi specifice liniilor tehnologice pentru producția de pelete furajeri

---



Figura 2.26 Linie producție pelete furajeri



Figura 2.27 Pelete furajeri

Peleteii au fost testați pentru determinarea calității.

## POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR



**ROMCONTROL S.A.**

INDEPENDENT SURVEYORS

**Certificat no. 887332**  
**CERTIFICAT DE INSPECȚIE DE CALITATE**  
**Nr. CI01-18-287746-23.06.15**

În urma solicitării primite de la Ordonatorul S.C. SALD AGRAR S.R.L., prin care se solicită efectuarea de încercări de laborator la o (1) probă de lucernă prelevată și pusă la dispoziție de Ordonator, s-a procedat la analizarea produsului în cadrul laboratorului Romcontrol S.A. și s-au constatat următoarele:

**Prezentarea probei:** peleti lucernă (produs declarat de Ordonator), ambalat în punga polietilena

**Cantitate de eșantion primită:** cca 2.5 kg  
**Număr eșantioane primite:** 1  
**Stare sigiliu:** probă nesigilată  
**Data primirii eșantionului:** 16.06.2023  
**Data finalizării încercărilor:** 19.06.2023  
**Încercări efectuate, metode utilizate, valori determinate:**

DENUMIREA ÎNCERCĂRII	METODA DE ÎNCERCARE	VALOAREA DETERMINATĂ
Conținutul de umiditate și de alte substanțe volatile, %	SR ISO 6496:2001	11,05
Conținut de proteină brută (N x 6,25), %	SR EN ISO 5983-1:2006 SR EN ISO 5983-1:2006/AC:2009	19,30
Conținut de proteină brută (N x 6,25), raportată la substanța uscată %		21,70

Rezultatele încercărilor se referă exclusiv la proba analizată.

Prezentul certificat cuprinde o (1) pagină și a fost emis în 2 exemplare originale, astfel: 1 exemplar pentru Ordonator (seria 887332) și un exemplar (seria 887333) pentru S.C. ROMCONTROL S.A.

Emis la București, 19/06/2023

S.C. ROMCONTROL S.A.  
Ciprian PLENOVICI

S.C. ROMCONTROL S.A.  
Adrian AXINTE



887332

Figura 2.28 Certificat inspecție calitate peleti furajeri lucernă

O propunere de optimizare pentru această linie de producție este de a achiziționa un malaxor și de a crea amestecuri și rețete noi ca hrană pentru animale.

### 2.3. Optimizarea arhitecturilor liniilor de fabricație peleti-brichete folosind elemente de teoria grafurilor

Teoria grafurilor este un domeniu al matematicii și informaticii teoretice care are ca obiect studiul grafurilor [56].



### 2.3. Optimizarea arhitecturilor liniilor de fabricație peleți-brichete folosind elemente de teoria grafurilor

Un graf este o structură matematică formată dintr-o mulțime finită de elemente, denumită "V" și o relație binară internă, notată "E", care descrie conexiunile sau relațiile dintre elementele din "V". Graful este convențional notat ca  $G = (V, E)$ .

În contextul unui graf, fiecare element distinct din mulțimea "V" este numit "vârf" sau "nod". Aceste vârfuri reprezintă punctele individuale ale grafului și pot reprezenta o varietate de entități sau elemente, inclusiv subansamble ale unei linii de producție. Fiecare vârf poate simboliza o componentă sau o parte specifică a sistemului, iar conexiunile (muchiiile sau arcele) dintre aceste vârfuri descriu relațiile sau legăturile dintre entități în cadrul grafului.

De asemenea, fiecare element din mulțimea "E" este denumit "arc" sau "muchie". Aceste arce reprezintă legăturile sau conexiunile dintre vârfuri și pot indica, faptul că există o cale sau o relație între cele două subansamble ale unei linii de producție.

Numărul de muchii conectate la un nod se numește gradul nodului respectiv.

Un graf orientat este o structură matematică care modelează relațiile direcționate între obiecte. Fiecare obiect este reprezentat printr-un vârf, iar fiecare relație este reprezentată printr-un arc. Arcul are două capete, fiecare dintre ele fiind un vârf. Un arc este orientat de la un capăt la celălalt, indicând direcția relației [56].

Un graf ponderat este un graf orientat în care fiecărui arc  $i$  se asociază o valoare asociată, cunoscută și ca pondere. Ponderea unui arc poate reprezenta costul, distanța, timpul, capacitatea de prelucrare a unei mașini sau orice altă măsură relevantă.

Graful orientate și ponderate sunt tipuri specifice de grafuri care se folosesc în special pentru abordarea problemelor de optimizare. Aceste probleme implică adesea găsirea soluțiilor care minimizează sau maximizează anumite criterii sau costuri.

Graful orientate și ponderate sunt instrumente puternice care pot fi utilizate pentru a modela și a rezolva o varietate de probleme din lumea reală [57].

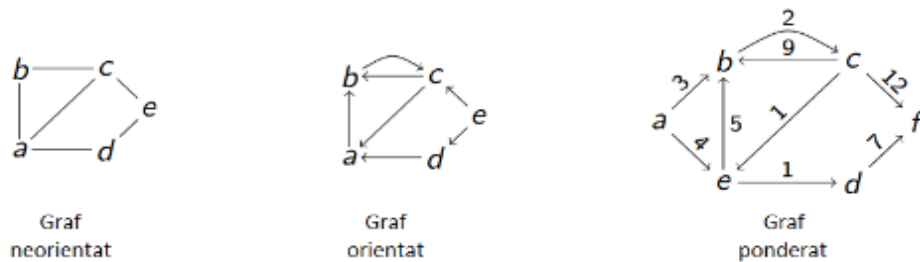


Figura 2.29 Exemple de grafuri

**O rețea de transport** este un graf orientat, fără bucle, cu următoarele proprietăți:

- Există un nod unic, numit originea rețelei, care nu are ascendenți;
- Există un nod unic, numit destinația rețelei, care nu are descendenți;
- Fiecare arc al grafului are asociată o capacitate (o pondere).

Un graf este denumit "conex" atunci când pentru oricare două vârfuri din acesta există un lanț sau o secvență de arce și vârfuri care îi conectează. Dacă un graf conex nu conține cicluri, este numit "arbore".

## POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR

Un graf poate fi conceptualizat ca o colecție de obiecte numite "noduri" sau "vârfuri", care sunt conectate între ele prin intermediul unor elemente numite "arce" sau "muchii". Aceste muchii pot avea direcții și pot avea, de asemenea, asociate ponderi sau costuri. În cadrul unui graf, se pot identifica diferite trasee, denumite "drumuri," care sunt compuse din succesiuni de noduri legate printr-un lanț de muchii, și pot exista și "cicluri," care sunt trasee închise [58].

W.R. Hamilton a propus conceptul de "drum hamiltonian," care presupune găsirea unui traseu care trece printr-un singur nod o singură dată și vizitează fiecare nod exact o dată.

În domeniul amplasării echipamentelor, o problemă specifică poate fi formulată folosind teoria grafurilor: "Dându-se un graf ponderat complet, să se găsească un ciclu hamiltonian cu cea mai mică sumă totală a ponderilor."

În contextul liniei tehnologice pentru producerea de peleți sau brichete, vârfurile grafului reprezintă echipamentele din structura liniei, în timp ce muchiile reprezintă conexiunile sau legăturile dintre aceste echipamente.

O clasă specială de grafuri care permit parcurgerea tuturor muchiilor o singură dată o constituie grafurile euleriene. Grafurile euleriene cu circuit presupun existența unui traseu care începe și se termină la același nod și care vizitează fiecare muchie o singură dată. Grafurile euleriene cu traseu presupun existența unui traseu care începe și se termină la două noduri diferite și care vizitează fiecare muchie o singură dată.

Un graf conex este eulerian dacă și numai dacă toate nodurile sale au grad par. Arborii sunt și ei grafuri euleriene.

O linie de producție poate fi reprezentată printr-un un graf eulerian cu traseu.

Există mai multe drumuri posibile în graf, corespunzând diverselor stadii ale procesului de fabricare a produsului finit (peleți / brichete).

Problema este modul de folosire a teoriei grafurilor pentru a optimiza traseul tehnologic conform celor 3 criterii de optimizare posibile.

În cazul liniei tehnologice, graful asociat este un graf de tipul:

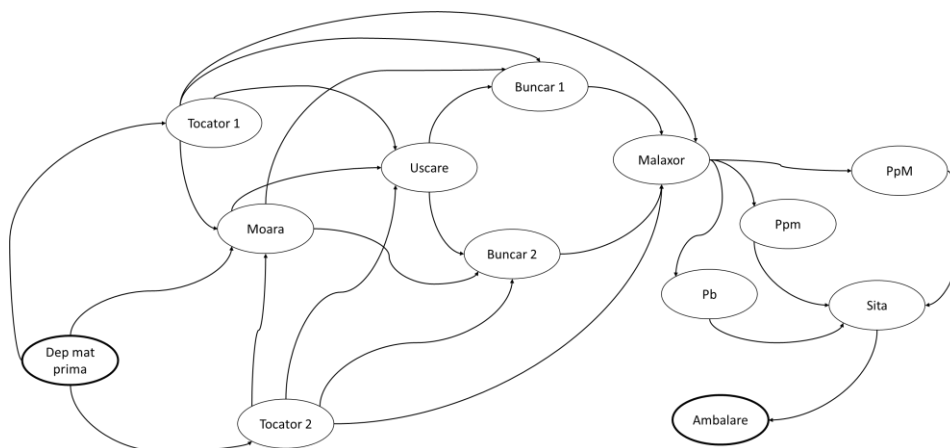


Figura 2.30 Graf orientat asociat liniei tehnologice

Se poate observa că, din malaxor materia primă nu poate să ajungă decât într-una din prese, apoi în sita de cernere și în instalația de ambalare. **Problema de optimizare se pune așadar la trecerea materiei prime din depozit la malaxor.**

### 2.3. Optimizarea arhitecturilor liniilor de fabricație peleți-brichete folosind elemente de teoria grafurilor

---

Dacă materia primă este suficient de uscată, atunci ea nu va mai trece prin faza de uscare, fiind transportată direct la buncăre. Dacă capacitatea de prelucrare a tocătoarelor este mai mică decât capacitatea de prelucrare a malaxorului, atunci nu este nevoie ca materia primă să fie stocată în buncăre.

Pentru rezolvarea acestei probleme, vom folosi algoritmul celui mai apropiat vecin.

Acesta presupune următorii pași:

1. Se inițializează drumul cu echipamentul 0 (depozitul de materie primă) și lungimea drumului cu 0
2. Repetă:
  - Elimină echipamentul curent din lista de echipamente;
  - Găsește cel mai apropiat vecin de echipamentul curent (în termeni de cost și reține condițiile de realizare a acestui drum);
  - Adaugă lungimea drumului dintre echipamentul curent și cel mai apropiat vecin la lungimea drumului total;
  - Noua valoare a echipamentului curent este cel mai apropiat vecin;Până când se ajunge la echipamentul final (echipamentul de asamblare).

În funcție de problema de optimizare care trebuie rezolvată, ponderile asociate arcelor de graf diferă.

În decursul desfășurării activității pot fi folosite următoarele criterii de optimizare:

- minimizarea drumului parcurs de semifabricate,
- minimizarea timpului de transfer între diferitele echipamente,
- maximizarea capacității de producție (în kg/h),
- minimizarea costurilor totale de producție.

Au existat mai multe variante de poziționare a utilajelor, urmărindu-se optimizarea prin reducerea timpilor de transfer, lungimii traseelor semifabricatelor, și realizarea funcțiilor intermediare.

De asemenea, am urmărit să realizăm o interschimbabilitate în sensul în care materia pregătită, tăiată, mărunțită să poată alimenta următoarele 4 tipuri de realizare a produselor finale:

- peleți standard cu productivitate mare,
- peleți obținuți pentru cercetare,
- peleți/ brichete standard,
- brichete paralelipipedice tip cărămidă.

Linia tehnologică inițială a furnizat un flux tehnologic cu o capacitate de producție de 380-400 kg/oră, menținând granulația și umiditatea în parametrii optimi pentru procesul de peletizare.

O primă variantă a dispunerii utilajelor din linia de producție este prezentată în figura 2.31.

## POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR

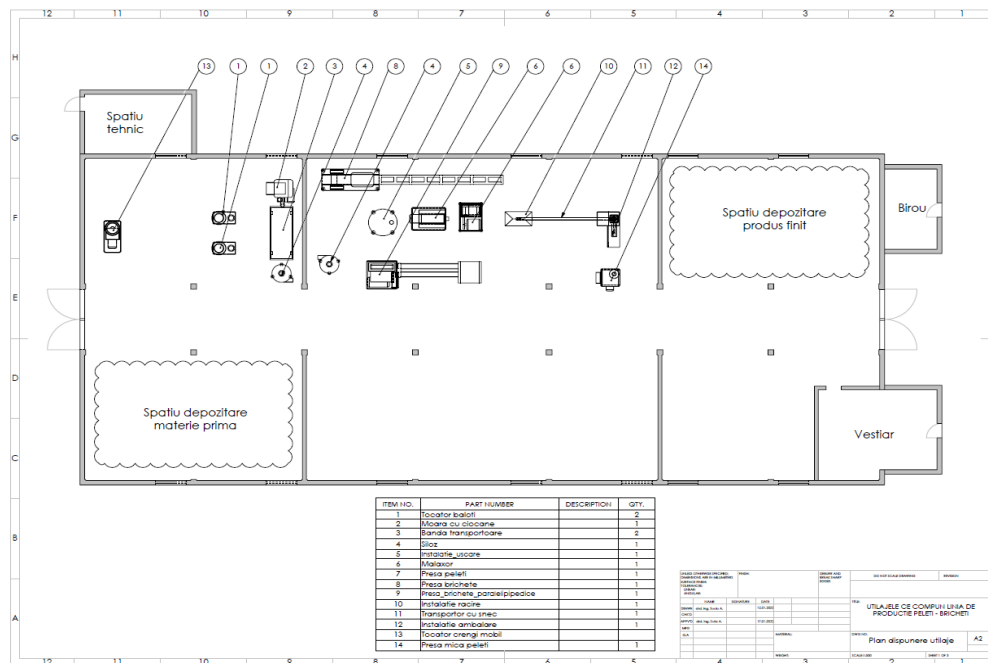


Figura 2.31 Dispunerea intermediară a liniei tehnologice

Pe schema prezentată, moara cu ciocane este adiacentă unui buncăr în care se pot stoca materiile prime prelucrate prin moară.

Deși această dispunere reprezintă un avantaj atunci când se prelucrează materie primă în moara cu ciocane, distanța dintre acest buncăr și malaxor este mare și în consecință pot exista pierderi pe traseu.

Configurația echipamentelor conform schemei prezentate în figura 2.32 a facilitat un flux tehnologic cu o capacitate de producție de 400-430 kg/oră, menținând umiditatea și granulația la nivelurile adecvate pentru procesul de peletizare.

Amplasarea finală a utilajelor, care ține cont de nevoia de îmbunătățire a liniei tehnologice, este prezentată în figura 2.32.

### 2.3. Optimizarea arhitecturilor liniilor de fabricație peleți-brichete folosind elemente de teoria grafurilor

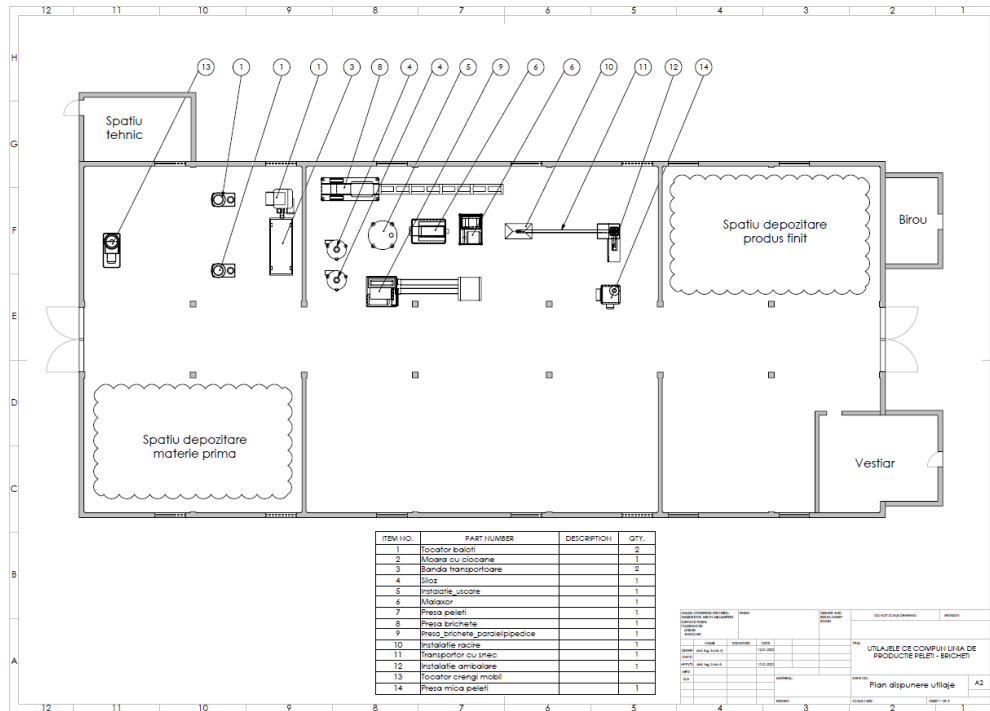


Figura 2.32 Dispunerea finală a liniei tehnologice [59]

Această amplasare asigură că pierderile pe traseu sunt minime, pentru că distanțele dintre echipamentele de alimentare (tocătoare, moară cu ciocane) sunt aproximativ egale. Materia primă care are o umiditate prea mare va trece prin silozul adiacent uscătorului, apoi în uscător și mai departe în malaxor. Materia primă care are umiditatea corespunzătoare va trece direct în malaxor. După procesul de amestecare, materia primă va ajunge pe linia de peleți și va fi peletizată.

Dispunerea finală a liniei tehnologice asigură, în condiții de umiditate și granulație corespunzătoare, un flux tehnologic de 500 kg/oră.

În plus, deoarece rețetele care urmează a fi realizate nu presupun combinarea a mai mult de 2 materii prime diferite, nu am considerat necesar adăugarea de noi silozuri sau buncăre pe traseul liniei de producție.

În configurația inițială, nodurile grafului care reprezintă linia tehnologică sunt prezentate în tabelul 2.1 astfel:

Tabel 2.1 Nodurile grafului

Indicativ	Denumire
O	Depozit materie primă
X1	bandă transportoare 1
X2	bandă transportoare 2

**POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

A1	Tocător 1
A2	Tocător 2
B	Moară cu ciocane
C	Instalație de uscare
D1	Buncăr 1
D2	Buncăr 2
E	Malaxor
F1	Presă mare de peleți
F2	Presă mică de peleți
F3	Presă de brichete
G	Sită de cernere
H	Dispozitiv de ambalare

Pentru aceste echipamente, matricea de adiacență a grafului orientat este:

Tabel 2.2 Matricea de adiacență a grafului orientat

	O	X1	X2	A1	A2	B	C	D1	D2	E	F1	F2	F3	G	H
O	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
A2	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

**2.3. Optimizarea arhitecturilor liniilor de fabricație peleți-brichete folosind elemente de teoria grafurilor**

F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

În această matrice am notat cu 1 pe poziția (i,j) existența unei muchii de la linia i la coloana j.

Optimizarea presupune identificarea unui subgraf hamiltonian al grafului inițial și identificarea condițiilor tehnologice pentru realizarea acestui subgraf.

Aceasta presupune evitarea parcurgerii nodurilor X2 și B, care din punct de vedere tehnic presupune că moara cu ciocane nu mai este folosită (și implicit nici transportorul care o deservește). Această situație este fezabilă în cazul în care tocătorul mărunțește materia primă la o granulație similară cu cea pe care o realizează moara cu ciocane.

Pentru linia tehnologică optimizată prin proiectul INOMAT, lista nodurilor este:

Tabel 2.3 Lista nodurilor Proiect INOMAT

Indicativ	Denumire
O	Depozit materie primă
A1	tocător baloți 1
A2	tocător baloți 2
A3	tocător crengi mobil
B	moară cu ciocane
C	instalație uscare
D1	siloz
E	malaxor
F1	presă peleți
F2	presă mică peleți
F3	presă brichete

**POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

F4	presă brichete paralelipedice
G	sită cernere + răcire
H	dispozitiv de ambalare
X1	bandă transportoare 1
X2	bandă transportoare 2
X3	transportor cu snec

Corespunzător acestei liste de noduri, matricea de adiacență este:

Tabel 2.4 Matricea de adiacență

	O	A1	A2	A3	B	C	D1	E	F1	F2	F3	F4	G	H	X1	X2	X3
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
A1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
A2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
A3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
F3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
F4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**2.3. Optimizarea arhitecturilor liniilor de fabricație peleți-brichete folosind elemente de teoria grafurilor**

X1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

În cazul în care se folosesc deșeuri forestiere ca materie primă, este obligatoriu traseul O-X3-A3-B (depozit de materie primă, transportor cu șnec, tocător de crengi mobil, moară cu ciocane).

În cazul în care materia primă este constituită din boabe (grâu neconform, porumb neconform etc.) este obligatorie folosirea morii cu ciocane.

În cazul în care materia primă este deja mărunțită sau provine din biomasă ierboasă (fân, paie, lucernă etc.) se pot controla parametrii tocătoarelor astfel încât să nu mai fie folosite moara cu ciocane și transportorul care o deservește.

Prin controlul umidității și al granulației materiei prime este posibil ca în continuare să se evite folosirea instalației de uscare (C).

Prin controlul timpilor de operare al subansamblelor este posibil evitarea folosirii silozului D1.

O comparație între dispunerea inițială a liniei tehnologice, dispunerea sa intermediară și dispunerea finală este sumarizată în următorul tabel:

Tabel 2.5 Sumarizare variante amplasament

Linia	Amplasare	Echipeamente	Număr materii prime prelucrate simultan	Productivitate
Inițială	Cf. figura 2.2	1 tocător de baloți 1 moară cu ciocănele 1 instalație de uscare 1 buncăr pentru presă 1 presă de peleți 1 presă de brichete 1 sită de cernere + răcire 1 dispozitiv de ambalare	1	380-400 kg/h
Intermediară	Cf. figura 2.29	2 tocător baloți 1 tocător crengi mobil 1 moară cu ciocane 2 bandă transportoare 1 siloz 1 instalație uscare	2	400-430 kg/h

**POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

		1 malaxor 1 presă peleți 1 presă brichete 1 presă brichete paralelipedice 1 presă mică peleți 1 sită cernere + răcire 1 transportor cu șnec 1 dispozitiv de ambalare		
Finală	Cf. figura 2.30	2 tocător baloți 1 tocător crengi mobil 1 moară cu ciocane 2 bandă transportoare 1 siloz 1 instalație uscare 1 malaxor 1 presă peleți 1 presă brichete 1 presă brichete paralelipedice 1 presă mică peleți 1 sită cernere + răcire 1 transportor cu șnec 1 dispozitiv de ambalare	2	500 kg/h

Pentru linia tehnologică care produce peleți furajeri, lista nodurilor este:

Tabel 2.6 Lista nodurilor pentru linia de peleți furajeri

<b>Indicativ</b>	<b>Denumire</b>
O	Depozit materie primă
X1	bandă transportoare 1
X2	bandă transportoare 2
A	Tocător baloți
B	Moaară cu ciocane

## 2.4. Concluzii parțiale

C	Instalație de uscare
D	Buncăr cu bandă transportoare la ieșire
E	Presă peleți mare
F	Sită cernere
G	Dispozitiv ambalare

Corespunzător acestei serii de noduri, matricea de adiacență este:

Tabel 2.7 Matricea de adiacență pentru linia de peleți furajeri

	O	X1	X2	A	B	C	D	E	F	G
O	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
X1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
X2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
A	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

În acest caz, optimizarea se poate realiza fie prin controlul proprietăților materiei prime, fie prin amplasarea în spațiu a echipamentelor.

Ambele variante de optimizare ar putea scurta timpul de producție. În cazul liniei de producție analizate, nu există variante de optimizare legate de proprietățile materiei prime prin care se poate elimina un echipament din fluxul tehnologic.

## 2.4. Concluzii parțiale

## **POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A ARHITECTURILOR LINIILOR DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR ȘI BRICHETELOR**

---

În acest capitol am studiat posibilitățile de optimizare ale liniilor de fabricație pentru peleți și brichete de la firma din Cenei. Aceste linii sunt într-un proces de optimizare continuu, fie prin completarea cu echipamente noi, fie prin reamplasarea echipamentelor existente în cadrul liniilor de producție.

Folosind teoria grafurilor, am propus o schemă de optimizare a liniei de producție pentru peleții și brichetele de încălzire.

Traseul optimal al materiei prime în cadrul liniei de producție depinde de modul de funcționare al subansamblelor (de designul liniei).

Traseul materiei prime poate fi optimizat ca timp și în cazul în care se elimină anumite subansamble ale liniei de producție, în cazuri particulare în care se îndeplinesc anumite condiții referitoare la proprietățile materiei prime.

### **3. CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA ECHIPAMENTELOR ȘI PROCESELOR TEHNOLOGICE DE TĂIERE ȘI MĂRUNȚIRE**

#### **Obiectivele prezentului capitol sunt:**

O3.1 identificarea modalităților de inovare a subansamblelor linii de producție de peleți și brichete;

O3.2 prezentarea unui tocător de baloți de paie îmbunătățit;

#### **Rezultate obținute în acest capitol sunt:**

R3.1 prezentarea unor soluții de optimizare;

R3.2 prezentarea unei variante îmbunătățite a tocătorului de baloți de paie;

#### **Ipoteze de lucru:**

Pentru început am evaluat starea echipamentelor utilizate în linia de producție.

Majoritatea echipamentelor au fost achiziționate în 2017, iar cele mai recente au fost achiziționate în 2022.

Toate echipamentele liniei inițiale au fost achiziționate de la producătorul Eco Mihiș pentru a se asigura o bună comunicare între aceste echipamente.

Doar tocătorul de crengi și presa de brichetare pentru brichete paralelipipedice au fost achiziționate de la alte firme.

În urma analizei am constatat că multe din echipamente/subansamble prezintă uzură atât din cauza folosirii cât și uzură morală cauzată de evoluția tehnologică.

#### **3.1. Modalități de optimizare prin inovarea subansamblelor**

O primă propunere de inovare pentru subansamblele liniei ar consta în dezvoltarea unui tocător hibrid capabil să efectueze atât operațiile de tocare, cât și cele de mărunțire a materiei prime. Aceasta ar duce la eliminarea necesității de a utiliza două subansamble distincte (un tocător și o moară cu ciocane), permițând astfel o simplificare semnificativă a procesului.

Avantajele acestui echipament ar fi reducerea costurilor prin simplul fapt că se cumpără un singur echipament și nu două, reducerea consumului de energie, economia de spațiu în hala de producție.

Subansamblele liniei de producție ar putea fi îmbunătățite și prin folosirea unor materiale inovative, mai rezistente, anticorozive, mai ieftine, dar care să nu afecteze calitatea echipamentului.

Folosirea unor tipuri speciale de vopsea ar putea fi o modalitate de optimizare a echipamentelor, vopsele precum cele anticorozive sau vopsele cu proprietăți hidrofobe.

## **CONTRIBUȚII** la Optimizarea echipamentelor și proceselor tehnologice de tăiere și mărunțire

---

Optimizarea poate fi realizată și pentru elemente precum motoarele echipamentelor. Utilizarea unor motoare mai eficiente ar reduce costurile echipamentelor dar și costul de producție, prin reducerea consumului de energie electrică.

Automatizarea și digitalizarea proceselor reprezintă soluții moderne care devin tot mai frecvent utilizate în liniile de producție. Aceste tehnologii permit optimizarea operațiunilor, creșterea eficienței și controlul mai precis al proceselor industriale.

### **3.2. Tehnologii moderne în fabricarea subansamblelor inovative**

#### **3.2.1. Cloud manufacturing**

Conceptul Cloud manufacturing (fabricație în cloud) poate fi utilizat pentru optimizarea producției de subansamble pentru liniile de fabricare a peleților și brichetelor în primul rând prin utilizarea acestuia pentru centralizarea și stocarea datelor și a documentelor legate de fabricație, de la documente legale până la proiecte tehnice, manuale de utilizare, informații despre proiectare și alte documente relevante pentru procesul de producție.

O altă metodă de optimizare cu ajutorul Cloud-ului este crearea unei platforme pentru facilitarea colaborării între echipele de proiectare, inginerie și producție. Informațiile se pot transmite în timp real între diferite departamente.

Monitorizarea în timp real cu ajutorul senzorilor și a sistemelor de urmărire permite colectarea de date în timp real și stocarea acestora pe cloud este un pas enorm în optimizarea proceselor de producție.

Utilizarea cloud manufacturing permite personalizarea rapidă a subansamblelor pentru a satisface cerințele specifice ale producției de peleți și brichete. Acest aspect este important în contextul în care producția poate varia în funcție de materiile prime disponibile [60].

În cazul liniei de fabricație pentru peleți de încălzire de la Cenei, tehnicianul responsabil de echipamente trebuie să fie obligatoriu aproape de dispozitive; prin aplicarea tehnicii de fabricație în cloud, se face un pas către automatizarea proceselor în viitor.

Aceasta va duce la economisirea resurselor, economisirea timpului și creșterea productivității.

Prin introducerea fabricației în cloud în procesul nostru, vom putea centraliza toate informațiile și vom face procesul scalabil, deoarece va reprezenta pilonul principal pentru creșterea producției, centralizând datele între mașini sau chiar între facilități pentru analize strategice pe termen lung.

De exemplu, dacă în situații normale procesul ar necesita 2 ore de muncă fizică, acum va dura 2 ore pentru întregul proces, fără nevoia de a fi acolo în persoană.

#### **3.2.2. Cyber-manufacturing**

## **Tehnologii moderne în fabricarea subansamblelor inovative**

---

Utilizarea Cyber manufacturing în procesul fabricării subansamblelor utilizate pentru producerea peleișilor și brichetelor se bazează adesea pe IoT, care implică conectarea subansamblelor și a echipamentelor la internet.

Prin conectarea la o rețea se permite colectarea și transmiterea de date în timp real despre starea și performanța subansamblelor în producție.

Acesta poate fi folosit și pentru dezvoltarea de modele de analiză care pot prevedea posibile defecțiuni în timp real. Astfel, producția poate fi optimizată iar costurile de întreținere ar fi reduse în timp ce disponibilitatea echipamentelor ar crește.

Cyber manufacturing permite și automatizarea procesului de fabricație, avantajul major al automatizării fiind controlarea în timp real a subansamblelor.

Alte optimizări utilizând Cyber manufacturing ar fi: asistența la asamblarea subansamblelor, gestionarea și aprovizionarea automatizată, securitate împotriva atacurilor cibernetice, flexibilitate în procesul de producție, interconectivitate, simulare avansată.

În această situație, procesul de producție are în vedere ideea unei copii virtuale a producției pentru a susține ciclul de viață al produselor. Acest lucru va permite sistemului de control să compenseze sau personalului responsabil să intervină la momentul potrivit asupra resurselor corecte. Va oferi o idee despre fluxul de timp, toate tipurile de costuri ale liniei de producție și cât consumă producția din produse finite, permițând astfel optimizarea permanentă a procesului de producție.

Un prim pas important va fi configurarea liniei de producție în fabrică, ceea ce va avea un impact semnificativ asupra scalabilității în fabrică, dar și asupra eficienței între cicluri.

### **3.2.3. Reverse engineering**

Reverse engineering (inginerie inversă) este o metodă, o abordare prin care se analizează un produs sau o componentă a unui produs pentru a înțelege în detaliu cum a fost proiectat, construit și cum funcționează.

Această metodă este extrem de importantă pentru optimizarea subansamblelor și a liniilor de producție de peleiși și brichete.

Prin realizarea unor procese de reverse engineering se pot analiza componente ale subansamblelor sau chiar echipamente întregi pentru a vedea componența materialelor.

După înțelegerea componentelor și a modului de proiectare, se poate recrea un utilaj îmbunătățit cu materiale mai eficiente, caracteristici noi care să se adapteze necesităților liniei de producție.

### **3.2.4. Industria 4.0**

Industria 4.0 se fundamentează pe digitalizarea și conectarea integrală a proceselor de producție. Aceasta implică utilizarea tehnologiilor avansate, cum ar fi Internetul Industrial al Lucrurilor (IIoT), inteligența artificială, analiza datelor și automatizarea pentru a optimiza și eficientiza producția și operațiunile în general.

Utilizarea senzorilor și a dispozitivelor conectate pentru a monitoriza în timp real performanța subansamblelor. Datele colectate se pot analiza pentru prevenirea defecțiunilor și pentru a optimiza acțiunile de mentenanță a echipamentelor.

Subansamblele pot fi produse în fabrici inteligente, unde roboții și mașinile autonome lucrează alături de oameni pentru a asambla și a testa componentele, aceasta ar putea optimiza procesul de producție prin creșterea eficienței și flexibilității producției.

Utilizarea software-urilor de simulare pentru a dezvolta și testa modele virtuale ale subansamblelor înainte de producția fizică. De asemenea, se poate gestiona ciclul de viață al produsului (PLM) pentru a urmări și a gestiona evoluția subansamblelor pe parcursul întregii vieți.

Datele colectate din producție pot fi analizate folosind analiza big data și machine learning pentru a identifica tendințe, pentru a îmbunătăți procesele și pentru a lua decizii bazate pe date.

La fabrica de peleți și brichete din Cenei, tehnicianul alimentează tocătorul cu materialul necesar pentru a produce granule și brichete, iar după aceasta, cu ajutorul senzorilor, în special a celor care monitorizează nivelul granulelor în siloz (atunci când acesta atinge o anumită capacitate prestabilită), moara este oprită automat prin intermediul unui microprocesor. Când există două silozuri cu materie A și materie B, acestea sunt amestecate în mixer, respectând rețeta specifică, iar apoi se permite eliberarea unei cantități prestabilite de material. Acest proces poate fi realizat automat, controlat de un senzor.

### **3.3. Soluții constructive pentru tocătorul de baloți**

Linia de producție a peletilor și brichetelor pentru încălzire din Cenei este alcătuită dintr-un total de trei tocătoare, dintre care unul este specializat în măcinarea crengilor, în timp ce celelalte două tocătoare sunt destinate baloților de paie.

Este esențial de subliniat că producătorul acestor tocătoare este Eco Mihiș, o companie cu sediul în județul Bihor, cunoscută pentru producția și comercializarea de linii de fabricație destinate producției de peleți și brichete.

Cele două tocătoare utilizate pentru măcinarea baloților de paie la Cenei sunt, de fapt, variantele de primă generație ale tocătoarelor proiectate, fabricate și vândute de Eco Mihiș.

În prezent, acest model de tocător nu mai este fabricat de către Eco Mihiș, deoarece între timp această firmă a dezvoltat și produs o variantă nouă și îmbunătățită.

Diferența majoră dintre Varianta 1 și Varianta 2 a acestui model de tocător de baloți este dată de reglarea unghiului și a înclinației cuțitelor care deservește procesului de tăiere și evacuare a materialului, dar și de numărul cuțitelor.

Varianta 1 a tocătorului a fost proiectată și produsă cu 4 cuțite de tăiere care s-a dovedit a nu fi foarte eficiente, ajungându-se chiar la blocarea ansamblului în timpul tăierii, astfel creându-se dificultăți întregului proces de producție.





Figura 3.1 Ansamblu tăiere tocător V1



Figura 3.2 Paie agățate tocător V1

În imaginea prezentată în figura 3.1 se poate observa ansamblul cu cele patru cuțite de tăiere dispuse pe rotorul principal, fiind vizibilă materia primă rămasă aderentă la aceste cuțite (figura 3.2).

## **CONTRIBUȚII** la Optimizarea echipamentelor și proceselor tehnologice de tăiere și mărunțire

În versiunea 2 a tocătorului (figura 3.3), riscul de blocare a ansamblului de tăiere a fost considerabil diminuat, prin introducerea unui număr mai mare de lame care asigură o tăiere mai eficientă. De asemenea, prin adăugarea acestor cuțite suplimentare, timpul necesar pentru procesul de tocare a fost redus, în comparație cu versiunea anterioară (V1).

O diferență semnificativă între cele două versiuni ale tocătoarelor constă în zona de evacuare a materialului măcinat. În Varianta 2 au fost implementate palete în zona tocătorului, având rolul de a facilita evacuarea mai eficientă a materialului din zona de tăiere.

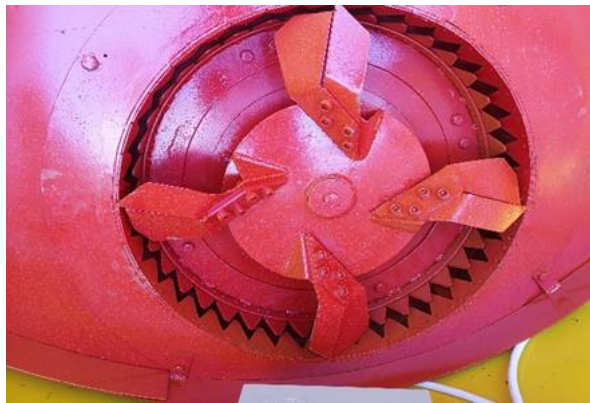


Figura 3.3 Ansamblu de tăiere V2

Tocătorul V2 este proiectat pentru a manipula baloți cu dimensiuni de până la 1,20 metri. Procesul său de lucru începe prin introducerea unui balot de material brut, cum ar fi fânul sau paie, în tamburul principal de culoare galbenă. Acest tambur are o înclinare de 20 de grade, ceea ce ajută la direcționarea balotului de paie către cuțitele interioare ale tocătorului. Tamburul are un profil interior special, cu corniere care au rolul de a ghida balotul pe traseul corect către cuțitele de tăiere din interiorul tocătorului.

În timp ce balotul este introdus în tambur, cuțitele din interiorul tocătorului sunt activate pentru a mărunți materialul brut. Cuțitele sunt dispuse strategic, pentru a realiza o tăiere eficientă și uniformă a paielor sau fânului. Ca rezultat, balotul este tăiat în bucăți mai mici, în timp ce trece prin interiorul tocătorului.

Procesul de tăiere și tocare realizat de Tocătorul V2 are ca rezultat obținerea unei granulații potrivite pentru etapele ulterioare ale producției de peleți sau brichete. Acest echipament optimizează procesul de tăiere, pregătind materialul brut pentru utilizare în linia de producție.

Rotația tamburului galben și cea a cuțitelor de tăiere sunt inversate, adică tamburul se rotește în sensul acelor de ceasornic, în timp ce cuțitele se rotesc în sens invers, astfel încât să poată agăța și tăia paie din rola balotului. Durata medie pentru tăierea și tocare a unui balot este de aproximativ 8-12 minute. Acest interval de timp se datorează acumulării de aproximativ 2,5 cm de material tăiat în fiecare rotație a tamburului. Tamburul înregistrează aproximativ 7-12 rotații pe minut, ceea ce înseamnă o viteză de aproximativ 15 cm pe minut.

## Soluții constructive pentru tocătorul de baloți

---

Trebuie remarcat faptul că timpul exact necesar pentru tăiere și tocare poate varia în funcție de tipul de material folosit, deoarece acesta poate să difere calitativ și să aibă proprietăți diferite.

De exemplu, în cazul paieilor, care sunt caracterizate de o textură elastică, procesul de tăiere al balotului durează mai mult, deoarece acestea sunt mai dificil de tăiat. În contrast, în cazul în care se lucrează cu lucernă, care are o textură mai rigidă, procesul de mărunțire este mult mai ușor.

Un alt aspect important este orientarea balotului în timpul strângerii și înfășurării, deoarece aceasta poate influența semnificativ procesul de prindere și tăiere a materiei prime. Dacă direcția de înfășurare a balotului coincide cu direcția cuțitelor de tăiere și mărunțire, atunci prinderea și tăierea pot fi mai dificile, deoarece balotul, având aceeași direcție, poate îngreuna procesul de agățare a materialului și efectuarea tăierii corespunzătoare.

După ce materialul este tăiat din balot, acesta mai trece printr-un procedeu de tăiere din interiorul cuțitului, unde la rândul lui mai este urmat de un alt set de cuțite ce au rolul de mărunțire, materialul neputând fi eliminat din acea zonă decât după ce acesta îndeplinește dimensiunea dorită de cuțite. Tot acest proces este facilitat de către un ansamblu format din palete ce au rolul să tragă materialul în interiorul cuțitelor (aspirație), pentru ca ulterior să poată fi eliminat prin partea din spate a mașinii.



Figura 3.4 Detaliu ansamblu de tăiere

Figura 3.4 prezintă un detaliu al ansamblului de tăiere al tocătorului versiunea 2. În această imagine se poate vedea mai în detaliu structura și componentele care alcătuiesc ansamblul de tăiere al acestui tocător. Acest ansamblu este esențial pentru procesul de mărunțire a materiei prime și contribuie la obținerea dimensiunilor și granulației dorite pentru producția de peleți și brichete.

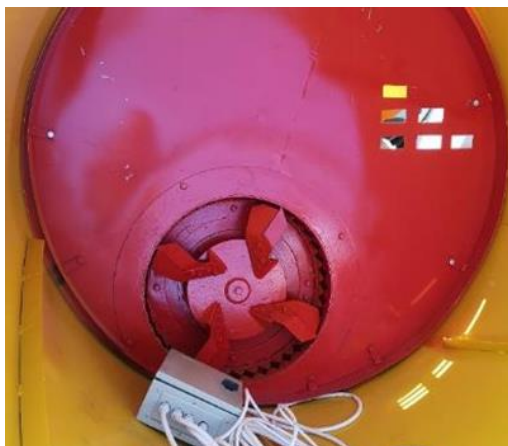


Figura 3.5 Detaliu tocător V2



Figura 3.6 Cuțitele cu palete V2

Rotația ansamblului format din cuțitele de tăiere, sistemul de mărunțire și palete are o viteză care atinge 1500 rot/min, ceea ce generează un curent de aer puternic. Acest curent de aer are rolul de a facilita procesul de aspirație, contribuind astfel la evacuarea eficientă a materialului procesat. Această eficiență este îmbunătățită și de prezența paletelor de pe cuțite și a sloturilor de pe peretele interior al tamburului, care optimizează direcția și fluxul de aer în proces.

După consultările cu echipa de proiectare de la compania Eco Mihiș și în urma analizelor efectuate, precum și a rezultatelor obținute, am luat decizia de a dezvolta, fabrica și comercializa o a treia versiune a tocătorului, cunoscută ca Varianta 3. Această variantă reprezintă o abordare hibridă în proiectare și a fost dezvoltată folosind conceptul de reverse engineering, pentru a aduce îmbunătățiri semnificative.

## Concluzii parțiale

---

Pentru a efectua această optimizare, am desfășurat un studiu detaliat al diferitelor tipuri de tocătoare disponibile pe piața din Europa de Vest. Am analizat și evaluat caracteristicile și performanțele acestor tocătoare existente, cu scopul de a extrage cunoștințe și informații relevante, care să ne ajute în procesul de îmbunătățire a designului. Unul dintre aceste modele este Teagle Tomahawk 5050 Bale Processor. Se remarcă din imagine diferența de proiectare a cuțitelor, a ansamblului, dar și a zonei rotorului, unde bridele au la capătul rotorului o porțiune de 10-15 cm de tip pieptăn, pentru a conduce balotul și pentru a îi oferi o direcție de rotație.



Figura 3.7 Teagle Tomahawk 5050 Bale Processor

### 3.4. Concluzii parțiale

Evoluția tehnologică continuă să exercite presiune asupra producătorilor, obligându-i să dezvolte și să implementeze idei inovative pentru a rămâne competitivi și relevanți pe piață.

Această evoluție continuă a tehnologiei implică schimbări rapide în cerințele și preferințele consumatorilor, precum și în modalitățile de producție și distribuție a produselor. În consecință, producătorii sunt nevoiți să exploreze și să adopte noi tehnologii, procese și abordări pentru a-și menține poziția pe piață și pentru a răspunde cerințelor în continuă schimbare ale consumatorilor. Aceasta înseamnă că inovația rămâne esențială pentru succesul pe termen lung al producătorilor într-un mediu economic dinamic și competitiv.

În acest capitol au fost studiate și prezentate o serie de tehnologii moderne ce pot fi aplicate în cercetare. Aceste tehnologii moderne sunt extrem de eficiente pentru optimizarea subansamblelor, dar și a liniilor de producție pentru peletizare și brichetare, iar în cadrul acestui capitol am arătat cum pot fi aplicate în cazul subansamblelor studiate.

Contribuim astfel la creșterea securității producției, care este un aspect extrem de important, chiar vital în momentul implementării tehnologiilor moderne de fabricație.

În capitolul 4 al acestei lucrări se va efectua o analiză a conformității produselor obținute în urma procesului de tocare. Vom investiga mixturile de peleți

**CONTRIBUȚII** la Optimizarea echipamentelor și proceselor tehnologice de tăiere și  
mărunțire

---

destinați încălzirii care conțin materie primă tăiată cu tocătorul pe care l-am studiat și analizat anterior. Această analiză va viza evaluarea calității și a caracteristicilor produselor finite pentru a se asigura că acestea îndeplinesc specificațiile și cerințele de calitate stabilite.

## 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE

### Obiectivele acestui capitol sunt:

O4.1 Obținerea unor rezultate care să stabilească proprietățile tocăturii în funcție de turația motorului echipamentelor de tăiere;

O4.2 Realizarea de peleți pentru încălzire din mixturi de biomasă, folosind linia optimizată.

### Rezultatele obținute în cadrul acestui capitol sunt:

R4.1 Proprietățile tocăturii în funcție de turația motorului echipamentelor de tăiere;

R4.2 Peleți de încălzire din diferite mixturi de biomasă, folosind linia optimizată.

### Ipoteze de lucru:

Pentru realizarea cercetărilor prezentate în acest capitol au fost realizate cercetări experimentale pe tocătorul de paie V2 produs de firma Eco Mihiș. Peleții obținuți folosind materie primă tocată cu acest tocător au fost analizați din punct de vedere al calității în laboratoarele UPT.

Analiza datelor experimentale s-a realizat folosind un software specializat (Statgraphics).

### 4.1. Metodologia cercetărilor experimentale pentru evaluarea performanțelor tocătorului

**Scopul** acestor determinări este de a evalua dacă pot fi reduse costurile de producție ale tocătorului, prin utilizarea unui motor mai mic, dar și găsirea de soluții de optimizare a acestui model de tocător, bazate pe date experimentale [61].

Pentru a realiza această analiză au fost supuse procesului de tocare trei tipuri de materie primă distincte: paie de orz, lucernă și fân obținut din fânețe. Aceste tipuri de materii prime au fost selectate pentru a acoperi o gamă diversificată de materiale și pentru a evalua performanța tocătorului în prelucrarea lor.

Evaluarea rezultatelor obținute în urma acestui proces de tocare va furniza date esențiale pentru a evalua eficiența și calitatea tocării pentru fiecare tip de materie primă în mod individual. Această analiză va ajuta la înțelegerea modului în care tocătorul se comportă în fața diferitelor tipuri de materii prime, cum ar fi paietele de orz, lucerna și fânul din fânețe.

Prin colectarea și analiza datelor referitoare la dimensiunea particulelor rezultate în urma procesului de tocare se va putea determina cât de eficient este tocătorul în reducerea dimensiunii materiilor prime la granulația dorită pentru



## CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE

producția ulterioară de peleți sau brichete. De asemenea, se va putea evalua uniformitatea și consistența procesului de tocare pentru fiecare tip de materie primă.

**Metodologia experimentului** constă în:

- Se pornește tocătorul în gol și se măsoară temperatura motorului, turația, viteza de vibrație, amperajul / consumul.
- Se adaugă balotul în tocător.
- Se reglează turația motorului la 500, 1000, 1500, 1800 rot/min.
- Se pornește tocătorul și se lasă să funcționeze 5 min.
- Se înregistrează turația în lucru, viteza de vibrație, amperajul / consumul.
- Se oprește tocătorul.
- Se determină umiditatea materiei prime tocate.
- Se colectează 2 probe de câte 1l din materia primă tocată.
- Aceste etape se repetă pentru fiecare turație și pentru fiecare tip de materie primă.

Pentru determinarea densității materiei prime tocate, au fost cântărite cele două probe de 1 litru recoltate la fiecare dintre măsurători. Masa materiei prime este egală cu diferența dintre masa recipientului plin și masa recipientului gol. Densitatea  $\rho_{tocatura}$  este calculată ca raportul dintre masa materiei prime și volum și exprimată în  $kg/m^3$ .

$$\rho_{tocatura} = \frac{m_{tocatura}}{V_{tocatura}} = \frac{m_{recipient\ plin} - m_{recipient\ gol}}{V_{tocatura}} \quad (4.1)$$

Tocătorul de paie (figura 4.1) este alcătuit din câteva componente principale esențiale, printre care se numără un motor electric puternic și un rotor echipat cu cuțite special concepute pentru mărunțirea paielor. Aceste elemente formează partea centrală a tocătorului și sunt strâns legate de funcționarea eficientă a acestuia. Motorul electric furnizează puterea necesară pentru a pune în mișcare rotorul, iar cuțitele de pe rotor îndeplinesc rolul de a toca și mărunți materialul, în acest caz, paie.

Caracteristicile tehnice ale motorului electric:

- Putere 30 kW
- Turație nominală 1490 rot/min
- Tensiune de alimentare 380 V
- Frecvență 50 Hz

Aparatura utilizată pentru realizarea măsurătorilor:

- Data collector BRUEL & KJAER tip 2526 ( SN 2252606 ) – ultima verificare în data de 08.04.2021
- Accelerometru BK 4391 (SN 1591481) – ultima calibrare în data de 22.04.2021
- Soft BK 7111 Balancing – ver 2.0
- Flir i50 – cameră în infraroșu – imagini în infraroșu
- LM 8000 - măsurări temperatură, umiditate, viteză vânt
- Ampermetru
- Convertizor





Figura 4.1 Tocător folosit pentru măsurători V2

Condiții atmosferice la realizarea determinărilor experimentale:

- temperatura exterioară: 6,2°C
- umiditatea relativă: 67,7 %
- viteza vânt: 0 m/s
- cer noros: 100 %
- intervalul orar: 12:00 – 14:15

### 4.2. Evaluarea performanțelor tocătorului

Au fost realizate numeroase experimente, în cadrul unor condiții reale, în care am folosit diferite varietăți de paie, alături de diverse turații ale motorului electric.

În cursul acestor teste am efectuat măsurători continue ale vibrațiilor motorului electric și am monitorizat temperatura acestuia prin intermediul scanării în infraroșu.

#### Funcționare în gol:

În faza inițială a experimentului, am inițiat funcționarea tocătorului de baloți fără a introduce materie primă, menținând turația la nivelul nominal.

În această fază, am efectuat măsurători ale vibrațiilor (viteza de vibrație) și am realizat o scanare termografică (IR 1).

Imaginile sunt realizate cu o cameră cu infraroșu.

$v=2,61 \text{ mm/s}$  ;  $n=1490 \text{ rot/min}$

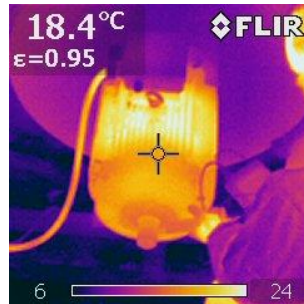


Figura 4.2 IR 1

**Funcționare cu balot de paie:**

$v= 2,02 \text{ mm/s}$  ;  $n=994 \text{ rot/min}$  (IR 2)

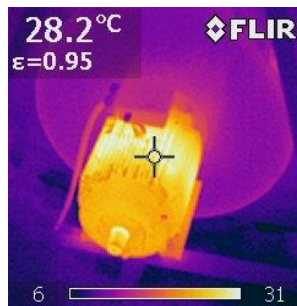


Figura 4.3 IR 2

$v=1,24 \text{ mm/s}$  ;  $n=1460 \text{ rot/min}$  (IR 3)

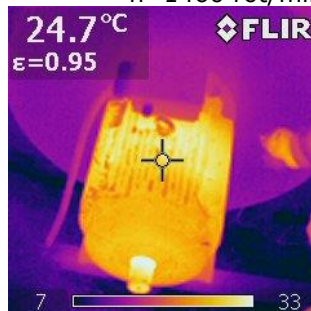


Figura 4.4 IR 3

$v= ?$  ;  $n=1770 \text{ rot/min}$  (IR 4,IR 5)  
(vibrația la  $n=1770 \text{ r/m}$  nu s-a măsurat din motive tehnice)

## Evaluarea performanțelor tocătorului

---



Figura 4.5 IR4

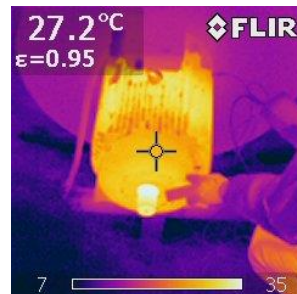


Figura 4.6 IR 5

### Funcționare cu balot de lucernă:

$v=3,91$  mm/s

$n=1780$  rot/min ( IR 6 - IR 11)

**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE**

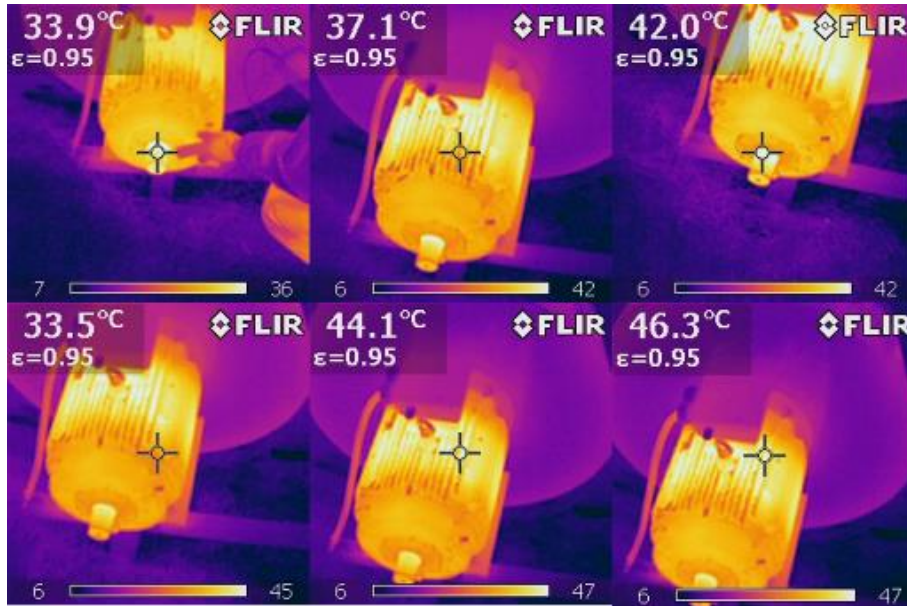


Figura 4.7 IR 6-11

$v=4,96$  mm/s

$n=1460$  rot/min (IR 12 - I R 17)

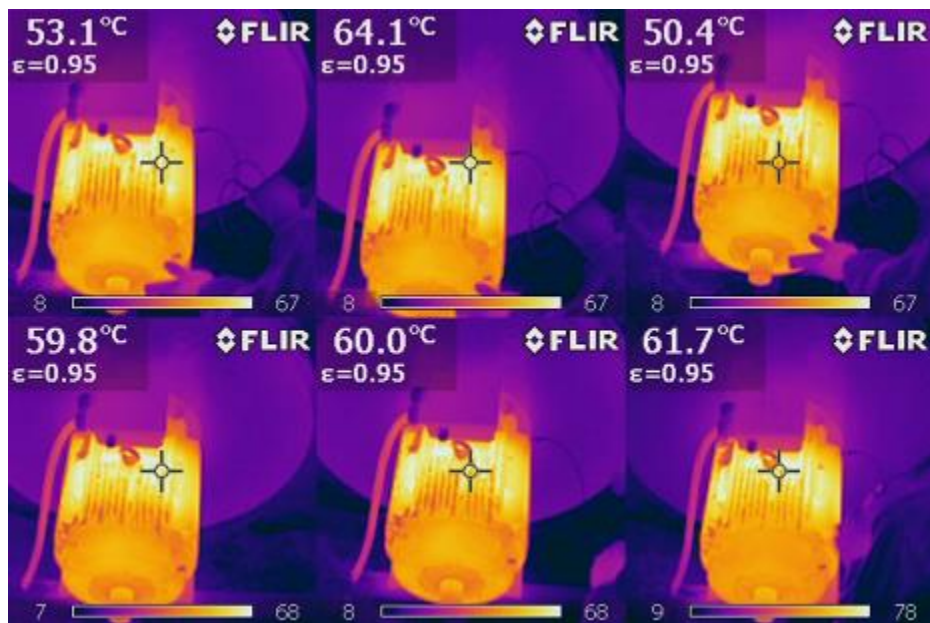


Figura 4.8 IR 12 - IR 17

$v=2,68$  mm/s

$n= 998$  rot/min (IR 18 - IR 23)

**Evaluarea** performanțelor tocătorului

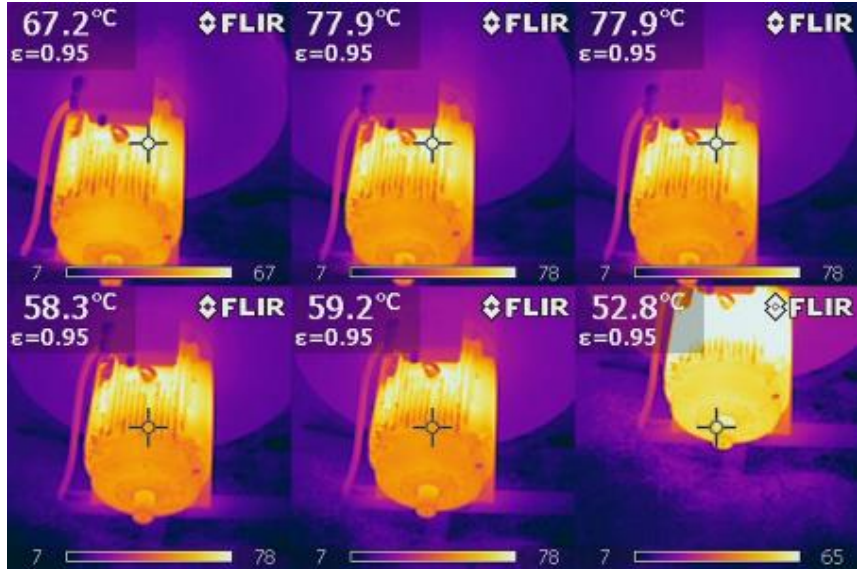


Figura 4.9 IR 18 – IR 23

**Funcționare cu balot de fân:**

$v=3,55$  mm/s

$n=1960$  rot/min ( IR 24 – IR 28 )

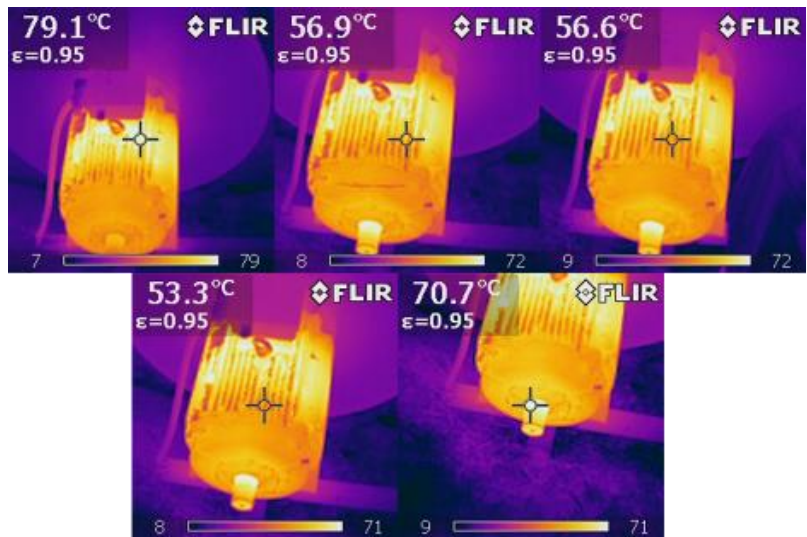


Figura 4.10 IR 24 – IR 28

$v=5,42$  mm/s

$n=1450$  rot min ( IR 29 – IR 36 )



**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE**

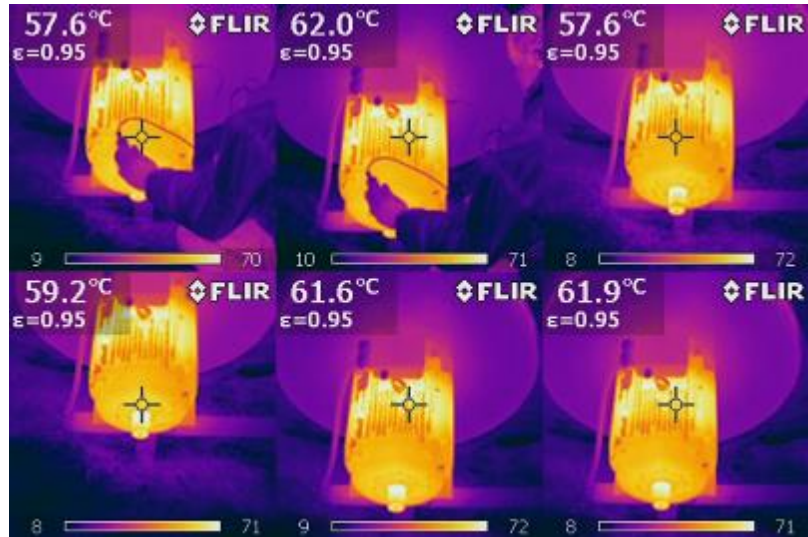


Figura 4.11 IR29 - IR 34

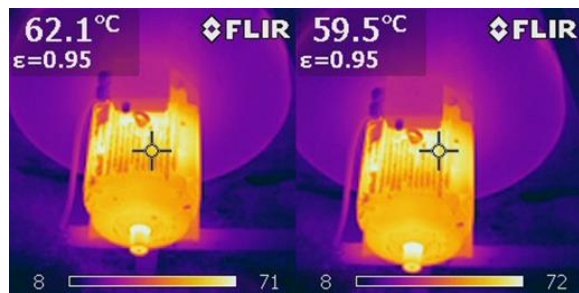


Figura 4.12 IR 35 - IR 36

$v=8,32$  mm/s

$n=1020$  rot/min ( IR 37 - IR 42 )

**Evaluarea** performanțelor tocătorului

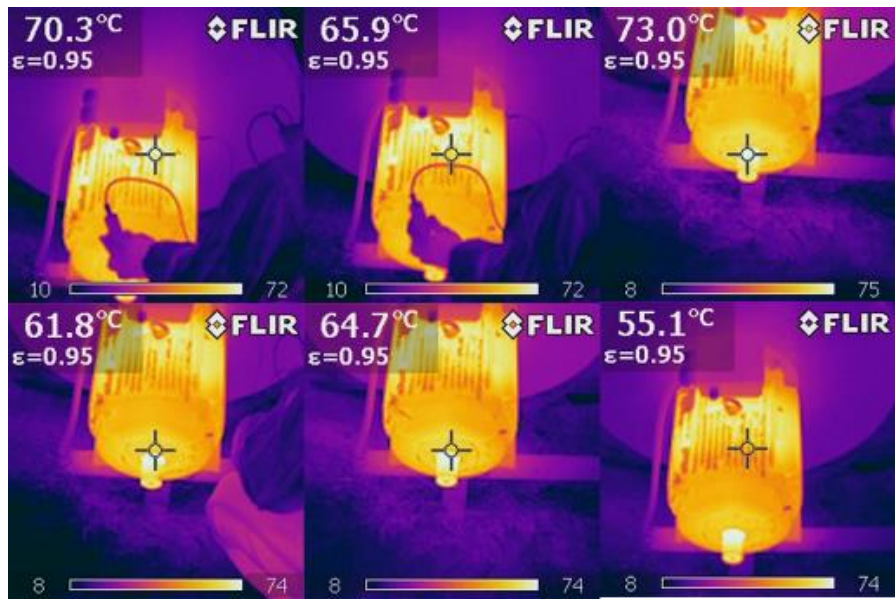


Figura 4.13 IR 37 – IR 42

**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE  
LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE**

---



Figura 4.14 Realizare măsurători temperatură

În conformitate cu ISO 10816-2001 privind vibrațiile mașinilor dinamice, Tocătorul se încadrează în clasa II (mașini între 15-75 kW).

Vibrațiile au fost determinate folosind viteza de vibrație, conform standardelor ISO.

Viteza de vibrație (notată în raport "v") este:

$$v = 0,707 v_{ef}$$

- valoarea medie pătratică a vibrației efective vârf la vârf (sau valoare RMS)  
Unitatea de măsură pentru vibrație = < mm/s >

Aparatul folosit pentru vibrații (Data Collector 2526) măsoară 10 valori ale vibrațiilor și calculează media aritmetică a lor și numai după aceea este afișată valoarea "v".



## Evaluarea performanțelor tocătorului



Figura 4.15 Măsurarea umidității materiei prime

După efectuarea experimentelor, datele din tabelul 4.1 au fost adunate și vor fi supuse analizei și discuției ulterioare.

Tabel 4.1 Determinări experimentale

X1 tip materie primă	X2 Turație nominală	X2 Turație în sarcină	X3 umiditate material	X4 Viteza de vibrație	Y1 Dimensiune fibra	Y2 densitate tocătură	Y3 Consum energie	Amperaj mediu în sarcină
	[rot/min]	[rot/min]	[% masic]	[mm/s]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kW]	[A]
Gol	1500	1490		2.61			0.494	1.3
Paie	500	500	0.123		100	16	1.482	3.9
Paie	1000	994	0.109	2.02	62	25	3.61	9.5
Paie	1500	1460	0.11	1.24	48	31	6.916	18.2
Paie	1800	1770	0.109	3.2	31	34	19.38	51
Lucerna	500							
Lucerna	1000	998	0.15	2.68	62	78	6.954	18.3
Lucerna	1500	1460	0.15	4.96	45	93	9.5	25
Lucerna	1800	1780	0.15	3.91	33	108	13.3	35
Fân	500							
Fân	1000	1020		8.32	63	20	5.852	15.4
Fân	1500	1450	0.15	5.42	46	26	6.536	17.2
Fân	1800	1960	0.15	3.55	31	32	10.64	28

**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE**

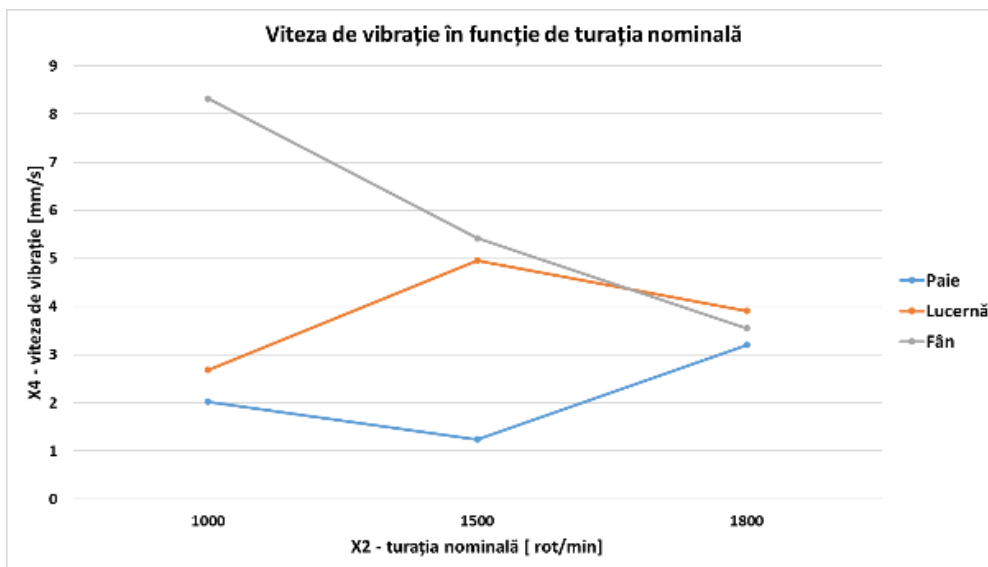


Figura 4.16 Viteza de vibrație în funcție de turația nominală

Pentru paiele utilizate, s-a constatat o relație inversă (negativă) între cele două variabile măsurate. În schimb, în cazul lucernei și a fânului, s-a observat o corelație directă (pozitivă) între aceste două variabile.

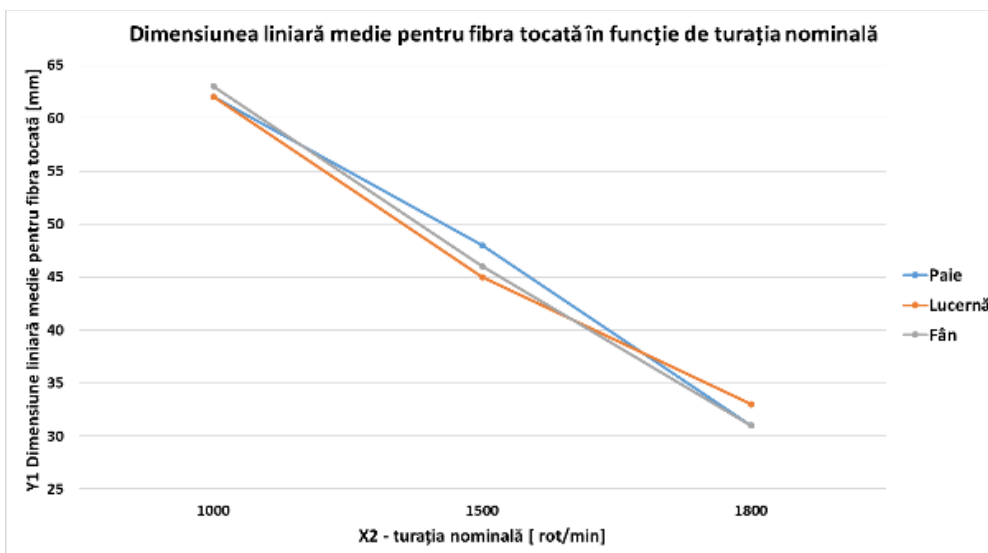


Figura 4.17 Dimensiunea liniară medie în funcție de turația nominală

Pentru toate cele trei tipurile de material, se remarcă scăderea dimensiunii liniare medii o dată cu creșterea turației nominale, dovedind astfel o corelație negativă între aceste două variabile.

## Evaluarea performanțelor tocătorului

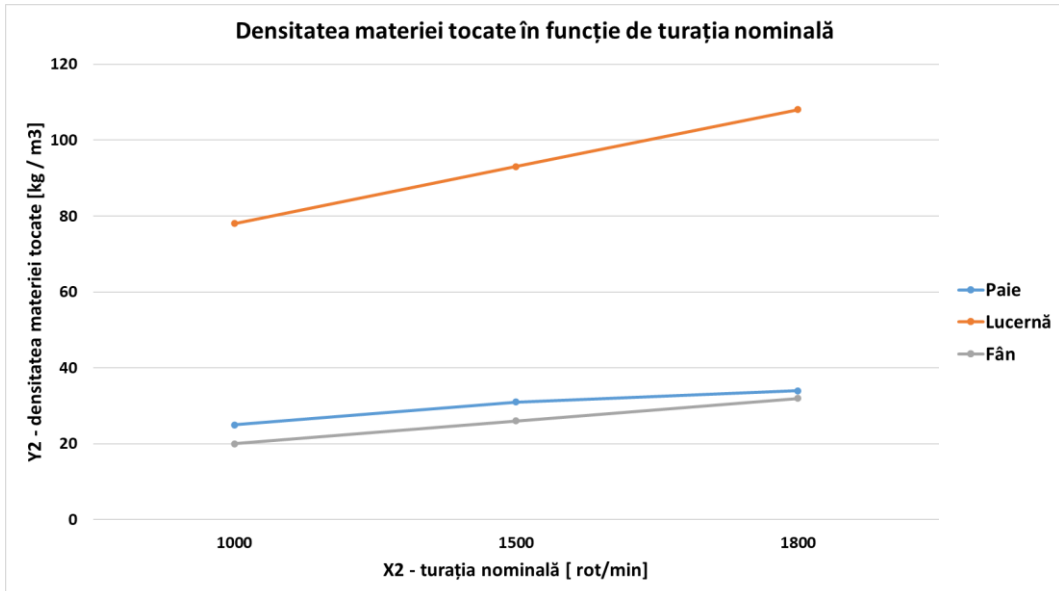


Figura 4.18 Densitatea materiei tocate în funcție de turația nominală

Pentru toate cele trei tipuri de material considerate, o creștere a turației nominale duce la o creștere a densității materiei tocate.

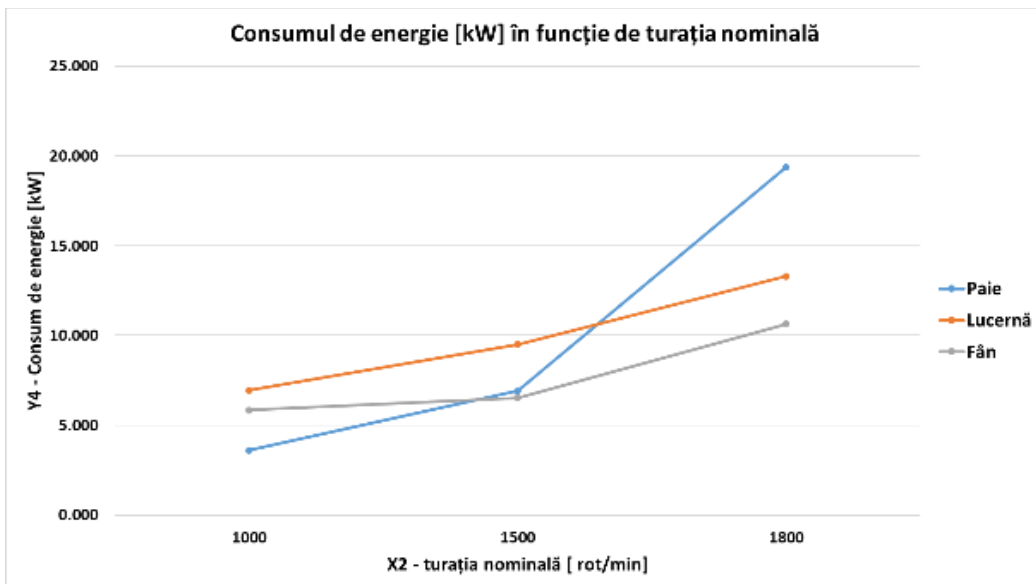


Figura 4.19 Consumul de energie în funcție de turația nominală

**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE**

Pentru toate cele trei tipuri de materii prime luate în considerare, se constată o relație pozitivă între consumul de energie și turația nominală a tocătorului.

În continuare, am analizat cu ajutorul Statgraphics posibilele corelații dintre următoarele variabile:

- X2 Turație [rot/min]
- X2 Turație în sarcină [rot/min]
- X3 umiditate material [% masic]
- X4 Viteza de vibrație [mm/s]
- Y1 Dimensiune fibră [mm]
- Y2 densitate tocătură [kg/m<sup>3</sup>]
- Y4 Consum energie [kW]

Matricea de dispersie asociată acestor variabile este prezentată în figura 4.20:

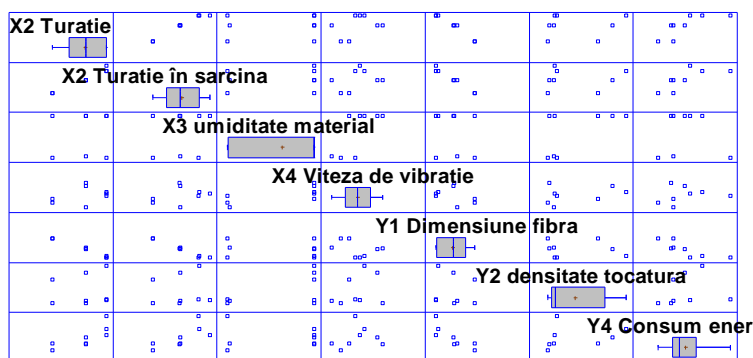


Figura 4.20 Matricea de dispersie

Coefficientul de corelație Pearson și valoarea P asociată acestuia pentru fiecare pereche de variabile considerate este prezentată în tabelul 4.2.

Tabel 4.2 Coeficienți de corelație și valorile P asociate

		X2 Turație	X2 Turație în sarcină	X3 umidita te materia l	X4 Viteza de vibrație	Y1 Dimensi une fibra	Y2 densita te tocătur a	Y4 Consum energie
<b>X2 Turație</b>	coeficien t de corelație		0.9822	0.1367	0.3623	-0.9876	0.0768	0.759
	P- valoare		0	0.7469	0.3777	0	0.8566	0.029
<b>X2 Turație în sarcina</b>	coeficien t de corelație	0.9822		0.179	0.3259	-0.9863	0.0346	0.7202
	P- valoare	0		0.6714	0.4309	0	0.9351	0.0439
<b>X3 umidita te</b>	coeficien t de corelație	0.1367	0.179		0.7115	-0.1465	0.571	-0.0654

## Evaluarea performanțelor tocătorului

<b>materia l</b>	P- valoare	0.7469	0.6714		0.0478	0.7292	0.1393	0.8777
<b>X4 Viteza de vibrație</b>	coeficien t de corelație	0.3623	0.3259	0.7115		-0.3649	0.3131	0.1997
	P- valoare	0.3777	0.4309	0.0478		0.3741	0.4501	0.6354
<b>Y1 Dimensi une fibră</b>	coeficien t de corelație	-0.9876	-0.9863	-0.1465	-0.3649		-0.0809	-0.8098
	P- valoare	0	0	0.7292	0.3741		0.849	0.0148
<b>Y2 densita te tocătur ă</b>	coeficien t de corelație	0.0768	0.0346	0.571	0.3131	-0.0809		0.2011
	P- valoare	0.8566	0.9351	0.1393	0.4501	0.849		0.633
<b>Y4 Consum energie</b>	coeficien t de corelație	0.759	0.7202	-0.0654	0.1997	-0.8098	0.2011	
	P- valoare	0.029	0.0439	0.8777	0.6354	0.0148	0.633	

Valorile coeficientului Pearson variază între -1 și +1 și măsoară puterea relației liniare dintre variabile. Valoarea P testează semnificația statistică a corelațiilor estimate. Valorile P sub 0,05 indică corelații statistice semnificative diferite de zero la nivelul de încredere de 95,0%.

Așadar, în urma analizei corelațiilor, se poate determina o relație între următoarele perechi de date:

- X2 Turație și X2 Turație în sarcină
- X2 Turație și Y1 Dimensiune fibră
- X2 Turație și Y4 Consum energie
- X2 Turație în sarcina și Y1 Dimensiune fibră
- X2 Turație în sarcina și Y4 Consum energie
- X3 umiditate material și X4 Viteza de vibrație
- Y1 Dimensiune fibră și Y4 Consum energie

Pe baza rezultatelor preliminare, în continuare vor fi analizate următoarele relații:

- Turația în sarcină în funcție de turația nominală
- Dimensiunea fibrei în funcție de turația nominală
- Consumul de energie în funcție de turația nominală
- viteza de vibrație în funcție de umiditatea materialului
- consumul de energie în funcție de dimensiunea fibrei

De asemenea, vor fi analizate

- consumul de energie în funcție de turația în sarcină și dimensiunea fibrei

g. dimensiunea fibrei și consumul de energie în funcție de turația nominală și umiditatea materialului

### a. Turația în sarcină în funcție de turația nominală

Pentru turația în sarcină, am obținut o ecuație de regresie de forma

$$Y = a + b \cdot X \quad (4.2)$$

care în acest caz se scrie:

$$X2 \text{ turatie in sarcina} = -20.115 + 1.01364 \cdot X2 \text{ Turatie nominala} \quad (4.3)$$

Această ecuație de regresie are coeficientul de corelație 0.991193, ceea ce indică o relație puternică între cele două variabile, iar valoarea P este 0. Modelul explică 98,2464% din variabilitatea în X2\_Turatie\_în\_sarcina. Eroarea standard a estimării este 60,3489.

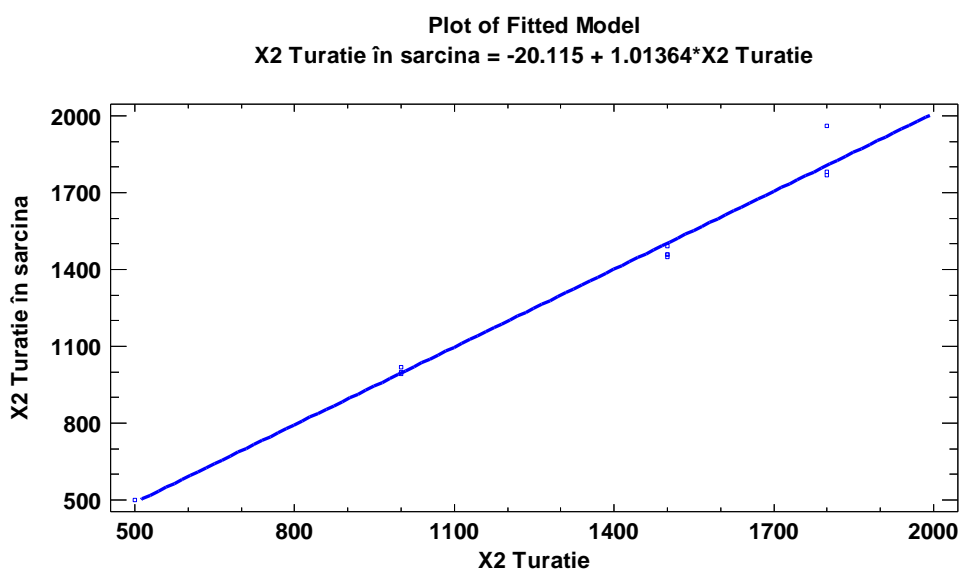


Figura 4.21 Turația în sarcină în funcție de turația nominală

#### **b. Dimensiunea fibrei în funcție de turația nominală**

Conform analizei realizate cu Statgraphics, cea mai bună relație între dimensiunea fibrei și turația nominală este o relație de forma

$$Y = \sqrt{a + \frac{b}{X}} \quad (4.4)$$

Această relație se scrie

$$Y1 \text{ dimensiune fibra} = \sqrt{-2174.44 + \frac{6.09894 \cdot 10^6}{X2 \text{ turatie nominala}}} \quad (4.5)$$

Coeficientul de corelație pentru această ecuație de regresie este de 0.996959, la o valoare P egală cu 0. Modelul explică 99.3927% din variația dimensiunii fibrei

## Evaluarea performanțelor tocătorului

tocate în funcție de turația motorului, iar eroarea standard a estimării este de 162.994.

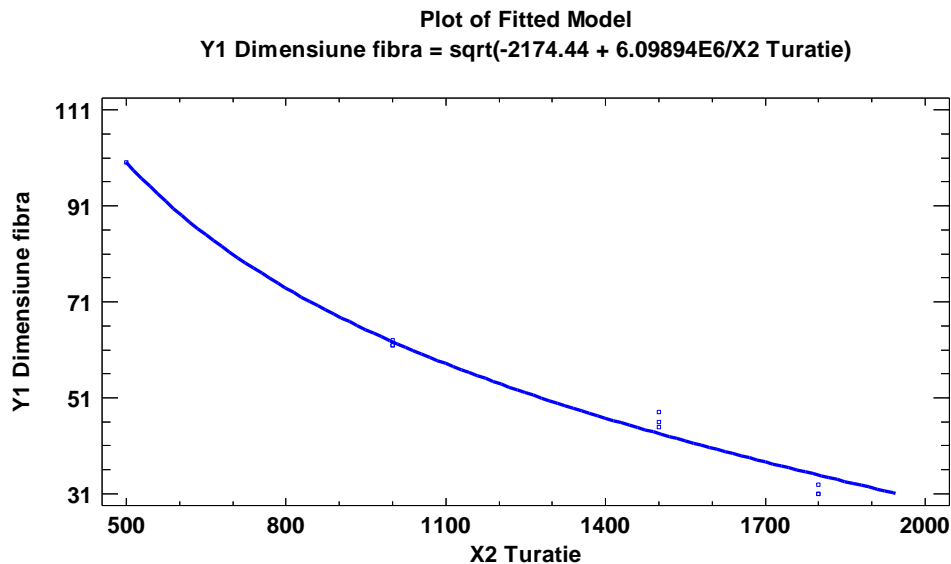


Figura 4.22 Dimensiunea fibrei în funcție de turația nominală

### c. Consumul de energie în funcție de turația nominală

Analiza realizată cu Statgraphics arată că ecuația de regresie care explică cel mai bine relația dintre consumul de energie și turația nominală are forma

$$Y = (b \cdot X)^2 \quad (4.6)$$

care în acest caz se scrie

$$Y4 \text{ Consum energie} = (0.00188357 \cdot X2 \text{ Turatie nominala})^2 \quad (4.7)$$

Modelul explică 92.0647% din variația consumului de energie. De asemenea, coeficientul de corelație este 0.959504, valoarea P este 0, iar eroarea standard a estimării este 0.819655.

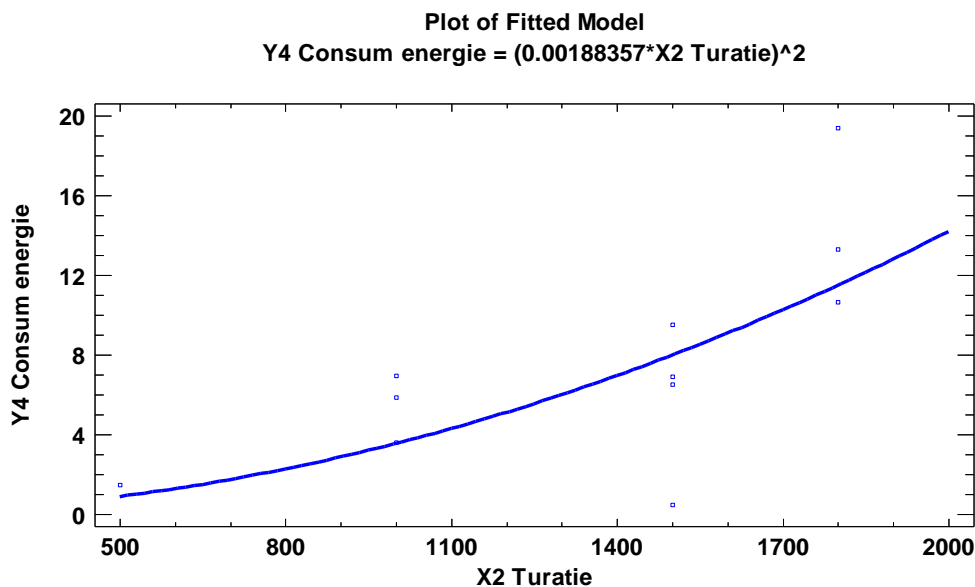


Figura 4.23 Consumul de energie în funcție de turația nominală

**d. Viteza de vibrație în funcție de umiditatea materialului**

O altă dependență este aceea a vitezei de vibrație în funcție de umiditatea materialului. Aceasta are forma

$$Y = b \cdot X \quad (4.8)$$

care în cazul de față devine:

$$X4 \text{ viteza de vibrație} = 25.501 \cdot X3 \text{ umiditate material} \quad (4.9)$$

Pentru această ecuație, coeficientul de corelație este de 0.958986, la o valoare P egală cu 0 și o eroare a estimării de 1.09734. Acest model explică 91.9654% din variația vitezei de vibrație.



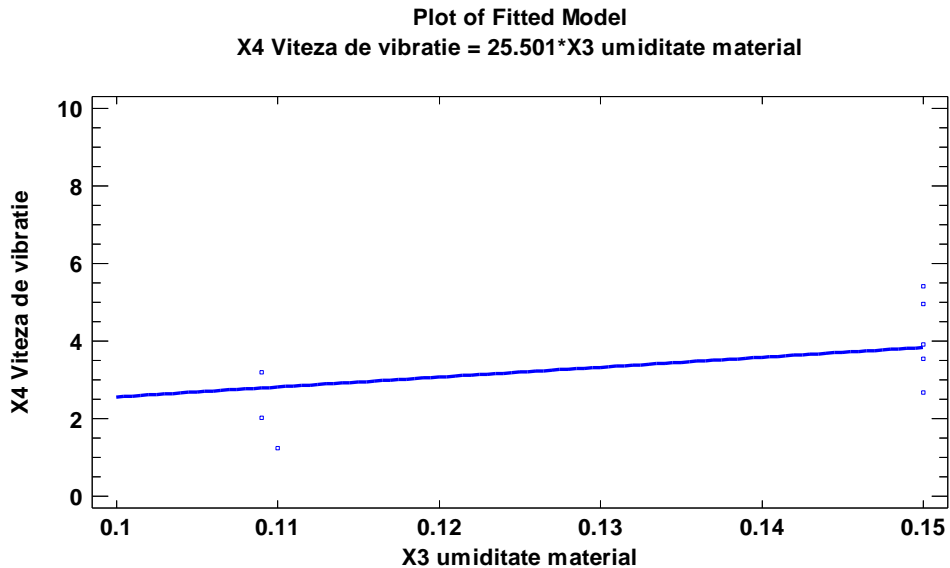


Figura 4.24 Viteza de vibrație în funcție de umiditatea materialului

#### e. Consumul de energie în funcție de dimensiunea fibrei

În acest caz, modelul care explică cel mai bine variația consumului de energie are forma

$$Y = \left(\frac{b}{X}\right)^2 \quad (4.10)$$

ceea ce în cazul nostru se scrie

$$Y4 \text{ Consum energie} = \left(\frac{125.254}{Y1 \text{ Dimensiune fibra}}\right)^2 \quad (4.11)$$

Acest model are coeficientul de corelație 0.991299, la o valoare P egală cu 0. Eroarea standard a estimării este de 0.402544, iar modelul explică 98.2673% din variația consumului de energie.

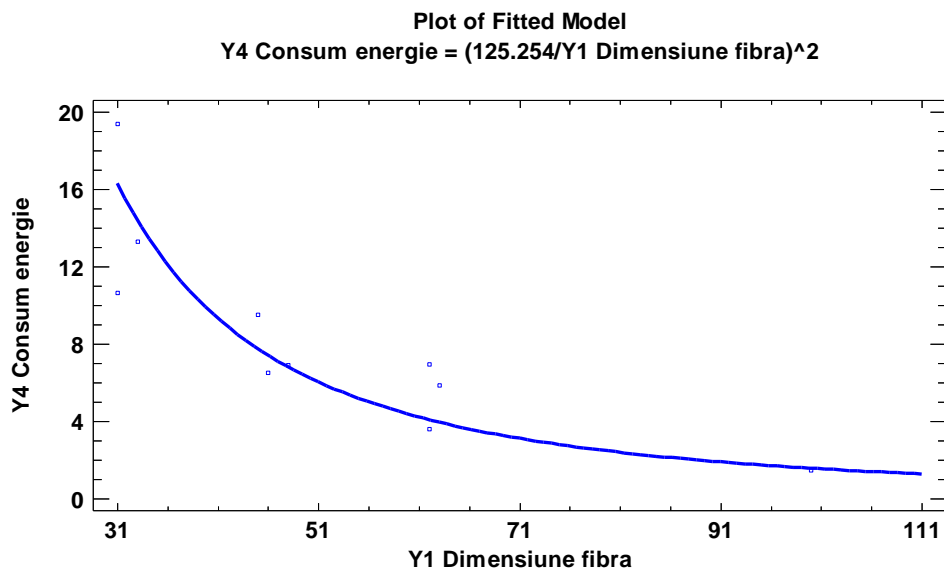


Figura 4.25 Consumul de energie în funcție de dimensiunea fibrei

**f. Consumul de energie în funcție de turația în sarcină, dimensiunea fibrei și umiditatea materialului.**

Relația liniară care modelează acest consum a fost identificată utilizând software-ul Statgraphics și este exprimată astfel:

$$\begin{aligned}
 Y4 \text{ Consum energie} &= 0.00991113 \cdot X2 \text{ Turație în sarcină} - 38.2657 \\
 &\quad \cdot X3 \text{ umiditate material} + \\
 &\quad + 0.00310728 \cdot Y1 \text{ Dimensiune fibra}
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Această ecuație explică 91.5497% din variația consumului de energie, la o valoare P de 0.0013.

**g. Dimensiunea fibrei și consumul de energie în funcție de turația nominală și umiditatea materialului**

Deoarece aceste două variabile de intrare pot fi controlate, am determinat dimensiunea fibrei și consumul de energie în funcție de acestea.

Astfel, cele două ecuații de regresie sunt:

$$Y1 \text{ Dimensiune fibra} = 117.964 - 0.0472437 \cdot X2 \text{ Turație} - 14.8682 \cdot X3 \text{ umiditate material} \tag{4.13}$$

$$Y4 \text{ Consum energie} = 0.0101205 \cdot X2 \text{ Turație} - 39.3293 \cdot X3 \text{ umiditate material} \tag{4.14}$$

## Evaluarea performanțelor tocătorului

Din punct de vedere grafic, dimensiunea fibrei este reprezentată în graficul de mai jos, în care X reprezintă turația, iar Y reprezintă umiditatea materialului:

$$117.964 - 0.0472437 * X - 14.8682 * Y$$

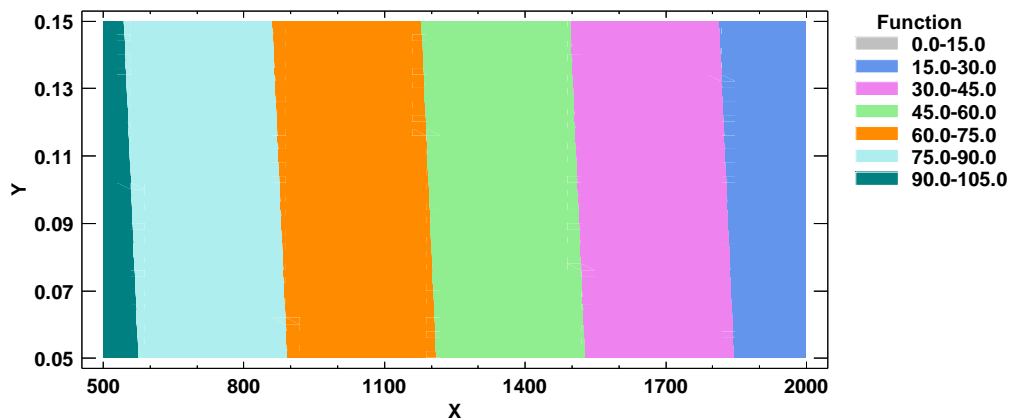


Figura 4.26 Dimensiunea fibrei în funcție de turația nominală și umiditate

Această reprezentare grafică permite identificarea intervalelor potrivite pentru reglarea turației nominale și umidității materiei prime, cu scopul de a obține o anumită dimensiune liniară a fibrei tocate. De exemplu, pentru o turație de 1700 rot/min și o umiditate de 10%, dimensiunea fibrei tocate se va situa între 30 și 45 mm. Acest lucru oferă informații valoroase pentru controlul procesului de tocare și obținerea dimensiunilor dorite ale fibrei.

Din punct de vedere matematic, cele două ecuații de regresie obținute la acest paragraf constituie un sistem liniar. Rezolvând acest sistem, se obține soluția

$$X = 2309.863122 - 19.58108509 * \text{Dimensiune fibra} + 7.402508800 * \text{Consum} \quad (4.15)$$

$$Y = 0.5943906889 - 0.005038746473 * \text{Dimensiune fibra} - 0.02352146897 * \text{Consum} \quad (4.16)$$

Aceasta semnifică faptul că, indiferent de valorile dorite pentru dimensiunea fibrei sau a consumului. În plus, pentru valorile uzuale ale dimensiunii fibrei (între 0 și 100 mm), și ale consumului (între 0 și 20 kW) se pot determina și valori fezabile pentru acest sistem (adică umiditatea să fie între 0 și 20%, iar turația motorului să fie pozitivă).

În situația în care turația motorului este menținută constant la o valoare pozitivă, apar constrângeri referitoare la valorile fezabile ale umidității, așa cum este ilustrat în figura 4.27.

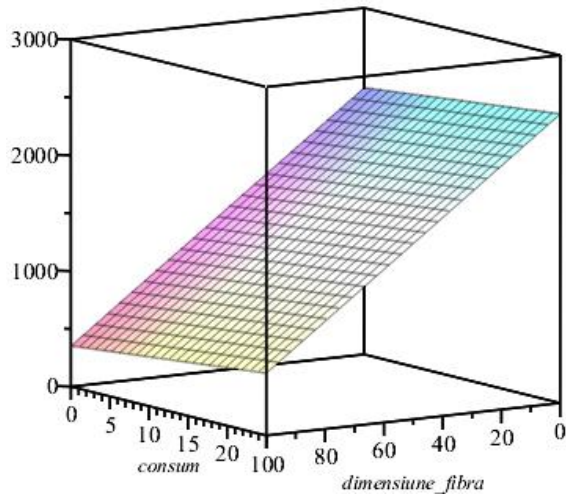


Figura 4.27 Turația

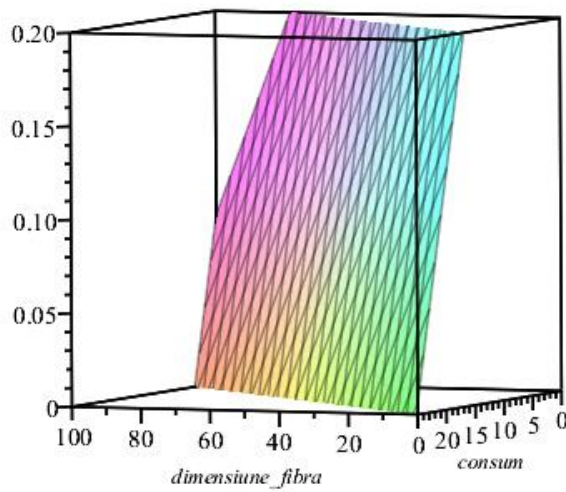


Figura 4.28 Umiditatea (cu constrângerea de a avea valori între 1 și 20%)

Figura 4.28 prezintă variația umidității, cu constrângerea de a se situa în intervalul cuprins între 1% și 20%.

Este evident că nu pentru toate combinațiile de dimensiune a fibrei și consum există o valoare fezabilă a umidității care să satisfacă aceste ecuații.

**Metodologia** cercetărilor experimentale pentru evaluarea puterii calorifice a biocombustibilului obținut din mixturi

---

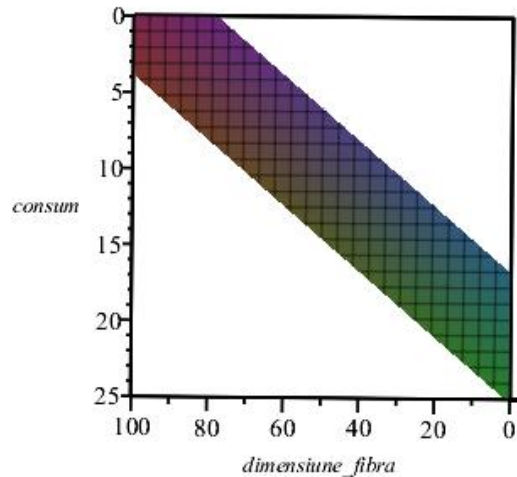


Figura 4.29 Valori fezabile pentru dimensiunea fibrei și consum atunci când umiditatea se situează între 0 și 20%

#### **4.3. Metodologia cercetărilor experimentale pentru evaluarea puterii calorifice a biocombustibilului obținut din mixturi**

Un alt aspect în realizarea activității a constat în realizarea unei metodologii a cercetărilor. Aceasta are la bază analiza critică a etapelor realizării unui experiment factorial în Statgraphics Centurion. Etapele realizării unui experiment factorial în Statgraphics Centurion presupun alegerea răspunsurilor așteptate, alegerea factorilor experimentali de care depind răspunsurile, alegerea unui plan experimental, alegerea unui model pentru răspunsuri (liniar, pătratic sau de altă natură). În cazul în care este vorba de o mixtură, fiecare factor reprezintă participația (masică sau volumetrică) unei componente la mixtură, iar suma acestor factori experimentali va fi  $1=100\%$  [62].

## CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE

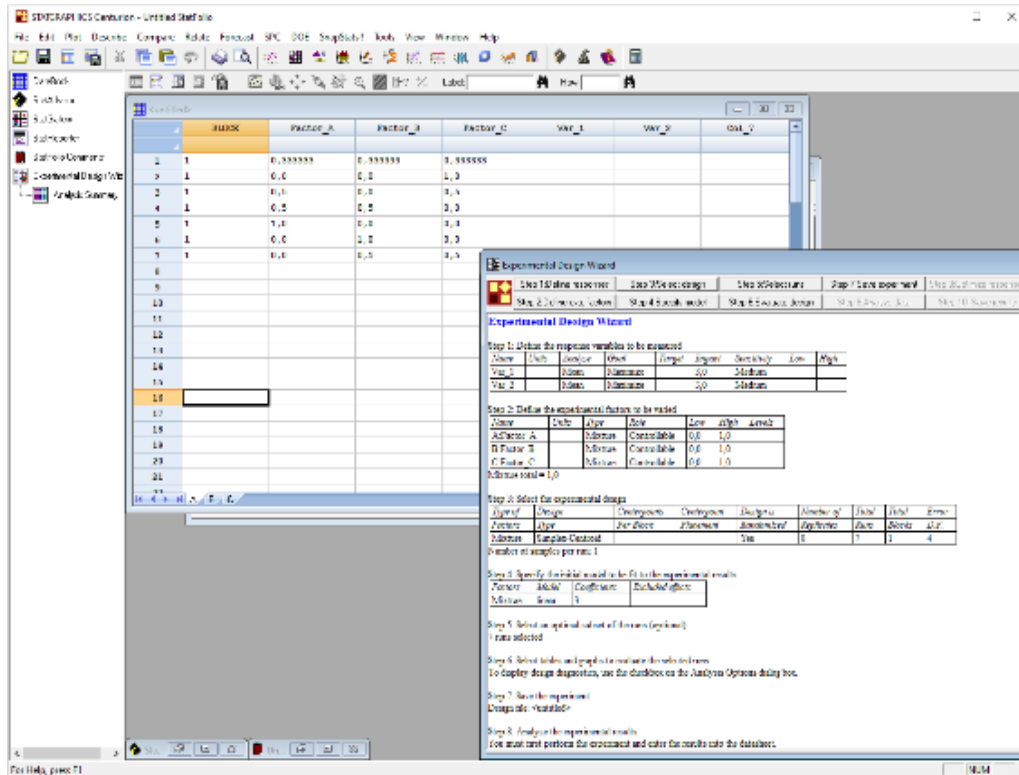


Figura 4.30 Detaliu de lucru – Statgraphics Centurion, planificarea unui experiment cu 2 răspunsuri și 3 factori ai mixturii

**Metoda de planificare a unui experiment factorial** cu ajutorul utilitarului Experimental Design Wizard din Statgraphics este redată în continuare.

Din meniul DOE (Design Of Experiments) se alege utilitarul Experimental Design Wizard. Acesta ghidează utilizatorul în crearea unui experiment.

Primul pas în crearea unui experiment este definirea răspunsurilor așteptate (figura 4.31).

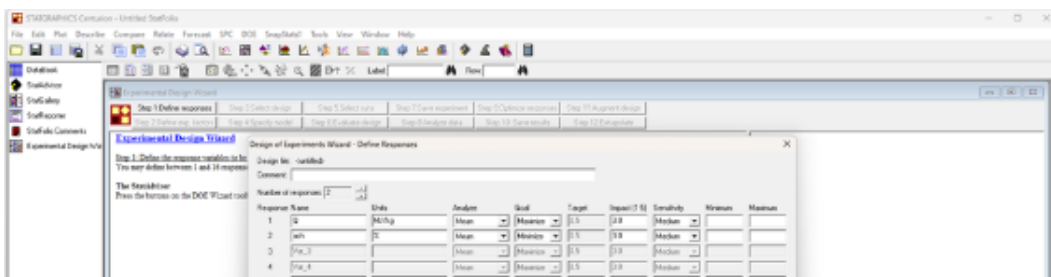


Figura 4.31 Proiectarea experimentului - Definirea răspunsurilor așteptate

Al doilea pas este de a defini factorii experimentului. Într-o primă fază, aceștia au fost notați cu FA, FB, FC, FD. Este important să se specifice că factorii

**Metodologia** cercetărilor experimentale pentru evaluarea puterii calorifice a biocombustibilului obținut din mixturi

experimentului sunt componente ale unei mixturi (procente masice ale unei mixturi, adică suma factorilor nu are voie să depășească 1 = 100%). Figura 4.32 prezintă modul în care se construiește un experiment cu 3 factori.

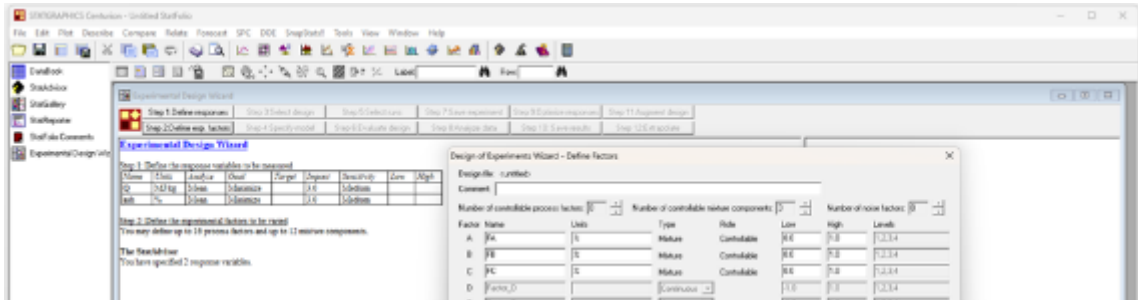


Figura 4.32 Proiectarea experimentului – Definirea unei mixturi cu 3 componente

Pasul 3 constă în alegerea unui plan experimental. Dintre planurile experimentale disponibile, am ales un plan experimental de tip simplex-centroid, care permite prelucrarea datelor și extragerea de ecuații de regresie liniare, pătratică sau cubică.

Pentru un plan experimental de tip simplex-centroid care să prelucreze  $N$  factori, este nevoie de  $2^N - 1$  experimente:  $3 = 2^2 - 1$  experimente pentru un plan cu 2 factori,  $7 = 2^3 - 1$  experimente pentru un plan cu 3 factori,  $15 = 2^4 - 1$  experimente pentru un plan cu 4 factori. figura 4.33 prezintă cele 7 experimente aferente unui plan experimental de analiză a unei mixturi cu 3 componente.

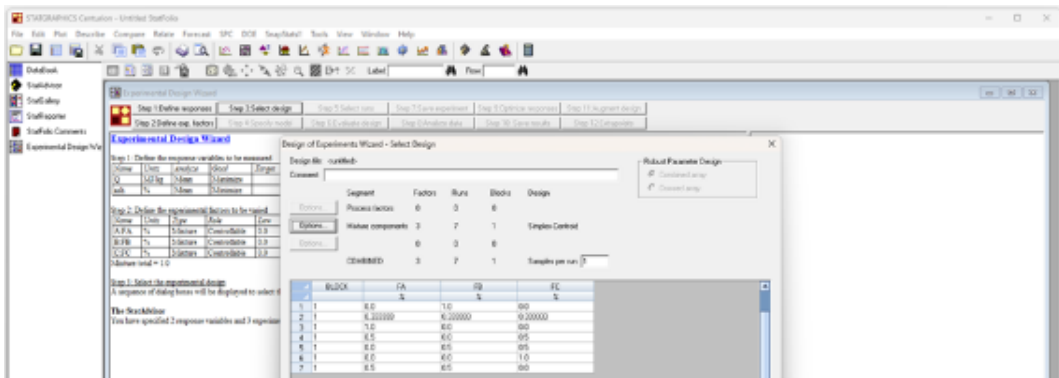


Figura 4.33 Plan experimental generat pentru o mixtură cu 3 componente

Pasul 4 presupune alegerea unui model pentru ecuația de regresie. În cazul nostru, am ales cel mai simplu model, și anume un model liniar care să includă toți cei 3 factori experimentali (figura 4.34).

## CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE

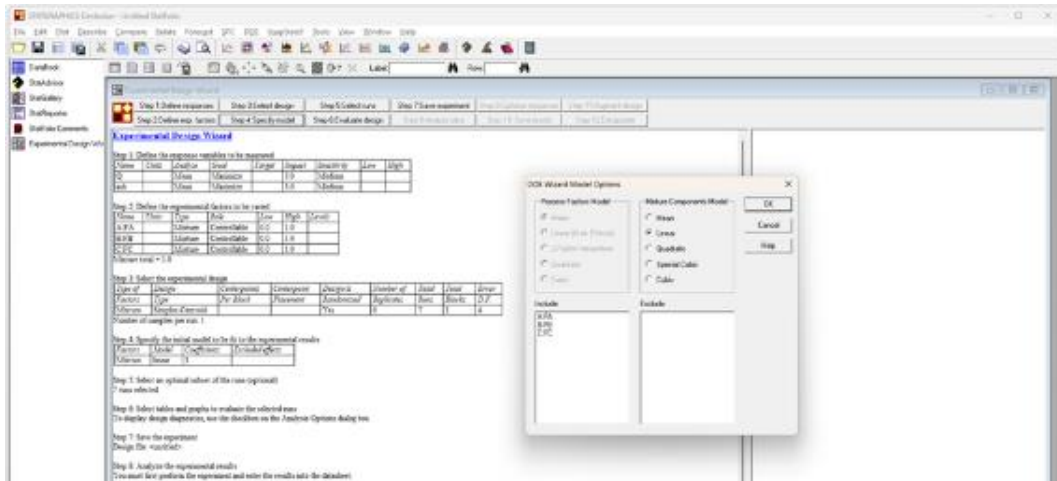


Figura 4.34 Alegerea unui model pentru ecuația de regresie

Pasul 5 presupune alegerea acelor experimente care vor fi realizate. Dat fiind numărul mic de factori experimentali, am ales să realizăm toate experimentele aferente unui plan experimental (3, 7 sau 15, în funcție de numărul de factori) – figura 4.35.

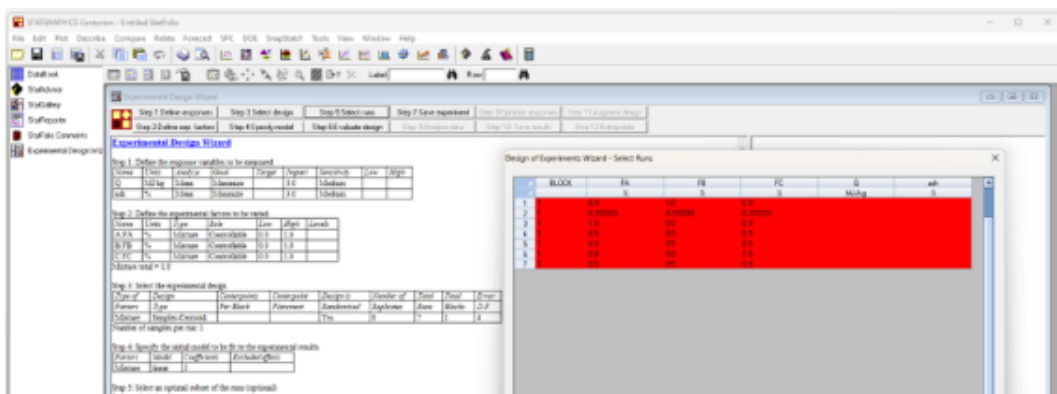


Figura 4.35 Alegerea experimentelor

În acest moment, este generată o foaie de calcul (databook) care conține toate datele necesare rulării experimentelor (figura 4.36). Aceasta este pre completată, urmând să fie introduse valorile pentru răspunsuri care au fost determinate experimental.



**Metodologia** cercetărilor experimentale pentru evaluarea puterii calorice a biocombustibilului obținut din mixturi

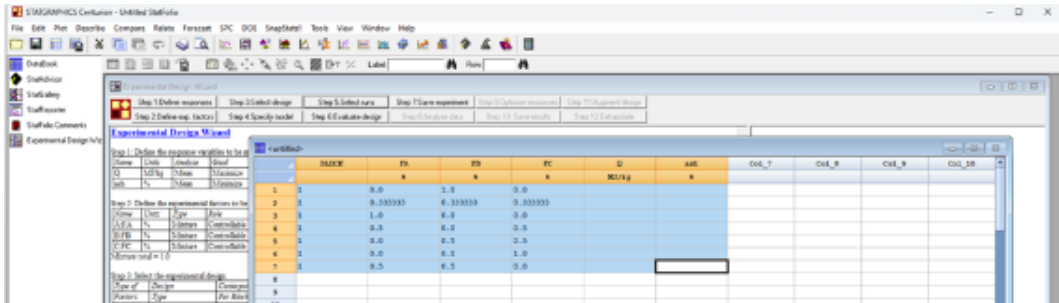


Figura 4.36 Foaie de calcul pentru înregistrarea experimentelor

Urmează selectarea modalităților de evaluare a planului experimental (figura 4.37), salvarea experimentului, analiza datelor, optimizarea răspunsurilor, extinderea și extrapolarea planului experimental.

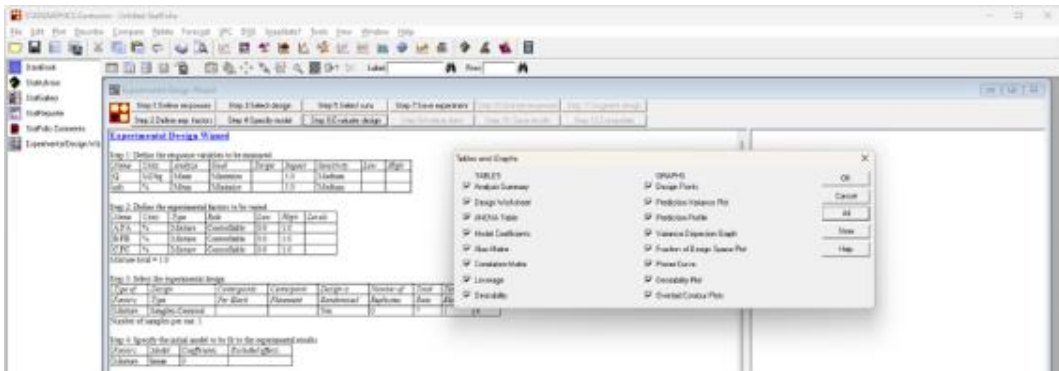


Figura 4.37 Selectarea modalităților de evaluare a planului experimental

Etapele de lucru în cazul analizei unor rețete sunt:

a. Stabilirea materiilor prime care se vor folosi în experiment. Am ales acele materii prime care pot fi tocate cu tocătorul analizat și materie primă lemnoasă (rumeguș)

b. Mărunțirea cât mai omogenă a materiilor prime, apoi determinarea granulației, umidității și a densității acestora [63].

Cunoașterea densității materiei prime este necesară pentru a stabili ordinea în care acestea sunt adăugate în mixtură (pentru reducerea timpului de omogenizare, este necesar ca materiile prime să fie adăugate în mixtură în ordine crescătoare a densității acestora). Înregistrarea granulației la care materiile prime au fost mărunțite permite stabilirea unor relații de cauzalitate între aceasta și eventualele situații în care peleții nu pot fi realizați.

c. Asigurarea unei cantități suficiente din fiecare materie primă pentru realizarea unui experiment. Având în vedere numărul de mostre care se preconizează a se recolta în cadrul fiecărui experiment, dar și particularitățile preseii hobby de peleți, estimăm nevoia unui minim de 5 kg mixtură pentru fiecare rețetă (procentele corespunzătoare participăției masice a fiecărui element din mixtură se vor înmulți cu 5).

**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE**

d. Realizarea unor amestecuri cât mai omogene a materiilor prime de peletizat.

Pentru a asigura un amestec omogen într-un timp redus, studiul literaturii de specialitate a arătat că materiile prime trebuie adăugate în ordine crescătoare a densității lor.

Conform literaturii de specialitate care a fost consultată, durata procesului de omogenizare este invers proporțională cu gradul de omogenitate al amestecului, iar acesta este dat de granulația fiecărei materii prime în parte.

e. Ulterior omogenizării amestecului, se înregistrează umiditatea amestecului și se colectează o mostră de 1 litru (1dm<sup>3</sup>) amestec omogen.

Pentru a asigura peletizarea, umiditatea amestecului final trebuie să fie de cel puțin 8-10% și nu trebuie să depășească 12-15%. În caz că umiditatea este mai mică decât limita inferioară, amestecului i se aduce un aport de umiditate (este stropit cu apă). În caz că umiditatea este mai mare decât limita superioară, amestecul este uscat în instalația de uscare.

f. Realizarea propriu-zisă a peleiților folosind presa hobby. Aceștia pot fi manipulați abia după ce temperatura lor devine mai mică de 25°C.

Temperatura peleiților se măsoară cu un termometru contactless.

g. Colectarea a două mostre de câte 1 litru de peleiți pentru determinări.

h. Realizarea analizelor necesare în laboratoare de specialitate.

i. Prelucrarea datelor obținute folosind modelarea statistică și numerică pentru a obține o rețetă cu proprietățile dorite.

Se realizează fișiere în Statgraphics în care se analizează datele obținute conform planului experimental și se extrag informațiile necesare.

j. Validarea experimentală a rezultatelor obținute folosind rețeta determinată la punctul i

În funcție de nevoie, se confruntă

Bazat pe modelele existente în Statgraphics Centurion, am propus următoarele blocuri de experimente cu 2, 3 sau 4 factori:

Tabel 4.3 Planificarea științifică a unui experiment pentru determinarea proprietăților peleiților din 2 componente

BLOCK	Componenta 1	Componenta 2
R01	0,000	1,000
R02	1,000	0,000
R03	0,500	0,500
Total	1,500	1,500

Tabel 4.4 Planificarea științifică a unui experiment pentru determinarea proprietăților peleiților din 3 componente

BLOCK	Componenta 1	Componenta 2	Componenta 3
R01	0,000	0,000	1,000
R02	0,000	1,000	0,000
R03	0,000	0,500	0,500
R04	1,000	0,000	0,000
R05	0,333	0,333	0,333
R06	0,500	0,000	0,500
R07	0,500	0,500	0,000
Total	2,333	2,333	2,333

**Metodologia** cercetărilor experimentale pentru evaluarea puterii calorifice a biocombustibilului obținut din mixturi

Tabel 4.5 Planificarea științifică a unui experiment pentru determinarea proprietăților peletilor din 4 componente

BLOCK	Componenta 1	Componenta 2	Componenta 3	Componenta 4
R01	0,000	0,000	1,000	0,000
R02	0,250	0,250	0,250	0,250
R03	0,000	1,000	0,000	0,000
R04	0,000	0,500	0,500	0,000
R05	1,000	0,000	0,000	0,000
R06	0,333	0,333	0,333	0,000
R07	0,500	0,000	0,500	0,000
R08	0,500	0,500	0,000	0,000
R09	0,000	0,000	0,500	0,500
R10	0,000	0,500	0,000	0,500
R11	0,333	0,333	0,000	0,333
R12	0,333	0,000	0,333	0,333
R13	0,000	0,000	0,000	1,000
R14	0,000	0,333	0,333	0,333
R15	0,500	0,000	0,000	0,500
Total	3,750	3,750	3,750	3,750

Pe baza analizei materiilor prime disponibile și a specificului cercetării de față, am ales să realizez și să analizez următoarele rețete:

Tabel 4.6 Rețeta A

Rețeta A	Rumeguș de fag	Paie de grâu
R01	0%	100%
R02	100%	0%
R03	50%	50%

Tabel 4.7 Rețeta B

Rețeta B	Rumeguș de fag	Salcie energetică	Șrot floarea soarelui
R01	0%	0%	100%
R02	0%	100%	0%
R03	0%	50%	50%
R04	100%	0%	0%
R05	33,33%	33,33%	33,33%
R06	50%	0%	50%
R07	50%	50%	0%

Tabel 4.8 Rețeta C

Rețeta C	Rumeguș de brad	Rumeguș de fag	Șrot de floarea soarelui	Salcie energetică
R01	0%	0%	100%	0%
R02	25%	25%	25%	25%
R03	0%	100%	0%	0%
R04	0%	50%	50%	0%
R05	100%	0%	0%	0%
R06	33,33%	33,33%	33,33%	0%
R07	50%	0%	50%	0%

**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE**

R08	50%	50%	0%	0%
R09	0%	0%	50%	50%
R10	0%	50%	0%	50%
R11	33,33%	33,33%	0%	33,33%
R12	33,33%	0%	33,33%	33,33%
R13	0%	0%	0%	100%
R14	0%	33,33%	33,33%	33,33%
R15	50%	0%	0%	50%

#### 4.4. Măsurători și rezultate privind performanțele biocombustibilului obișnuit

Pentru cele 3 rețete alese pentru analiză, au fost realizate mostre de peleți, ale căror proprietăți au fost analizate în laboratoarele UPT.

Cantitățile (în kg) și procentul masic cu care fiecare materie primă a contribuit la rețetă sunt detaliate în tabelele de mai jos.

Tabel 4.9 Cantitățile (în kg) și procentul masic Rețeta A

Rețeta A	Rumeguș de fag	Paie de grâu
R01	0%	100% 5 kg
R02	100% 5 kg	0%
R03	50% 2,5 kg	50% 2,5 kg
Total necesar (minim)	7,5 kg	7,5 kg

Tabel 4.10 Cantitățile (în kg) și procentul masic Rețeta B

Rețeta B	Rumeguș de fag	Salcie energetică	Șrot floarea soarelui
R01	0%	0%	100% 5 kg
R02	0%	100% 5 kg	0%
R03	0%	50% 2,5 kg	50% 2,5 kg
R04	100% 5 kg	0%	0%
R05	33,33% 1,66 kg	33,33% 1,66 kg	33,33% 1,66 kg
R06	50% 2,5 kg	0%	50% 2,5 kg
R07	50% 2,5 kg	50% 2,5 kg	0%
Total necesar (minim)	11,66 kg	11,66 kg	11,66 kg

**Măsurători** și rezultate privind performanțele biocombustibilului obișnuit

Tabel 4.11 Cantitățile (în kg) și procentul masic Rețeta C

Rețeta C	Rumeguș de brad	Rumeguș de fag	Șrot de floarea soarelui	Salcie energetică
R01	0%	0%	100% 5 kg	0%
R02	25% 1,25 kg	25% 1,25 kg	25% 1,25 kg	25% 1,25 kg
R03	0%	100% 5 kg	0%	0%
R04	0%	50% 2,5 kg	50% 2,5 kg	0%
R05	100% 5 kg	0%	0%	0%
R06	33,33% 1,66 kg	33,33% 1,66 kg	33,33% 1,66 kg	0%
R07	50% 2,5 kg	0%	50% 2,5 kg	0%
R08	50% 2,5 kg	50% 2,5 kg	0%	0%
R09	0%	0%	50% 2,5 kg	50% 2,5 kg
R10	0%	50% 2,5 kg	0%	50% 2,5 kg
R11	33,33% 1,66 kg	33,33% 1,66 kg	0%	33,33% 1,66 kg
R12	33,33% 1,66 kg	0%	33,33% 1,66 kg	33,33% 1,66 kg
R13	0%	0%	0%	100% 5 kg
R14	0%	33,33% 1,66 kg	33,33% 1,66 kg	33,33% 1,66 kg
R15	50% 2,5 kg	0%	0%	50% 2,5 kg
Total necesar (minim)	18,75 kg	18,75 kg	18,75 kg	18,75 kg

Puterea calorică și cenușa reziduală pentru fiecare dintre aceste serii de rețete a fost centralizată în tabelele de mai jos

Tabel 4.12 Puterea calorică și cenușa reziduală Rețeta A

Rețeta A	FA [%]	FB [%]	Q [MJ/kg]	Ash [%]
R01	0%	100%	15,9300	4,7500
R02	100%	0%	18,7660	2,1700
R03	50%	50%	17,3480	3,4600

unde

FA = Rumeguș de fag

FB = Paie de grâu

**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CALITATEA PRODUSELOR REALIZATE PE LINIILE TEHNOLOGICE OPTIMIZATE**

Tabel 4.13 Puterea calorică și cenușa reziduală Rețeta B

Rețeta B	FA [%]	FB [%]	FC [%]	Q [MJ/kg]	Ash [%]
R01	0,00%	0,00%	100,00%	17,9900	1,9000
R02	0,00%	100,00%	0,00%	18,4000	2,0000
R03	0,00%	50,00%	50,00%	18,1950	1,9500
R04	100,00%	0,00%	0,00%	18,7660	2,1700
R05	33,33%	33,33%	33,33%	18,3835	2,0231
R06	50,00%	0,00%	50,00%	18,3780	2,0350
R07	50,00%	50,00%	0,00%	18,5830	2,0850

unde

FA = Rumeș de fag

FB = Salcie energetică

FC = Șrot floarea soarelui

Tabel 4.14 Puterea calorică și cenușa reziduală Rețeta C

Rețeta C	FA [%]	FB [%]	FC [%]	FD [%]	Q [MJ/kg]	Ash [%]
R01	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	17,9900	1,9000
R02	25,00%	25,00%	25,00%	25,00%	18,2915	1,9175
R03	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	18,7660	2,1700
R04	0,00%	50,00%	50,00%	0,00%	18,3780	2,0350
R05	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	18,0100	1,6000
R06	33,33%	33,33%	33,33%	0,00%	18,2535	1,8898
R07	50,00%	0,00%	50,00%	0,00%	18,0000	1,7500
R08	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%	18,3880	1,8850
R09	0,00%	0,00%	50,00%	50,00%	18,1950	1,9500
R10	0,00%	50,00%	0,00%	50,00%	18,5830	2,0850
R11	33,33%	33,33%	0,00%	33,33%	18,3902	1,9231
R12	33,33%	0,00%	33,33%	33,33%	18,1315	1,8332
R13	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	18,4000	2,0000
R14	0,00%	33,33%	33,33%	33,33%	18,3835	2,0231
R15	50,00%	0,00%	0,00%	50,00%	18,2050	1,8000

## Concluzii parțiale

---

Unde  
FA = Rumeș de brad  
FB = Rumeș de fag  
FC = Șrot de floarea soarelui  
FD = Salcie energetică

$$Q = 18.104 - 0.0941805 \cdot FA + 0.662316 \cdot FB - 0.114201 \cdot FC + 0.296066 \cdot FD \quad (4.17)$$

$$ash = 1.895 - 0.295215 \cdot FA + 0.275174 \cdot FB + 0.00498974 \cdot FC + 0.105051 \cdot FD \quad (4.18)$$

Pentru realizarea celor 15 probe a câte 100 kg necesare pentru determinarea corectă a ecuațiilor de regresie, a fost estimat un cost de cercetare de 2341,23 lei (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al unui cercetător și al unui operator linie de producție). Prețul mediu al unui kg de peleți pentru acest experiment a fost calculat la 1,38 lei.

Aceste date vor fi prelucrate în capitolul următor și se vor extrage informații legate de puterea calorifică și cenușa reziduală aferente acestor tipuri de rețete.

## 4.5. Concluzii parțiale

În urma realizării măsurărilor și a analizei acestora am constatat că tocătorul analizat poate fi îmbunătățit deoarece chiar și la turația de 1500 rot/min consumul este foarte mare, motorul de 22 kW fiind la limită.

O propunere de optimizare care reiese ca urmare a măsurărilor este montarea unui reductor.

Există posibilitatea ca montarea convertizorului să influențeze puterea motorului.

Folosind tocătoarele, am tocat materie primă cu care am realizat amestecuri. Aceste amestecuri (rețete de peleți) au fost testate și s-au determinat cele optimizate.

Pentru mixturi au fost alese materii prime tocate cu tocătorul analizat și materii prime lemnoase.

## 5. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ȘI OBȚINEREA DE REȚELE OPTIMIZATE FOLOSIND PLANIFICAREA STIINȚIFICĂ A EXPERIMENTELOR

### Obiectivele acestui capitol sunt:

- O5.1 determinarea unor rețete optime din mixturi de biomasă, pe baza încercărilor realizate pe teren și prezentate în Capitolul 4
- O5.2 alegerea unor rețete optime pentru a fi produse în masă

### Rezultatele obținute în acest capitol sunt:

- R5.1 o metodologie a cercetărilor
- R5.2 o serie de ecuații de regresie optimizate cu Statgraphics
- R5.3 o serie de valori optimizate cu Maple

### Ipoteze de lucru:

Pentru realizarea cercetărilor din acest capitol s-au analizat probele de peleți produse în urma cercetărilor prezentate în capitolul anterior. Cercetarea s-a realizat ținând cont atât de costurile de producție ale materiei prime, cât și de calitatea dorită pentru peleții obținuți (putere calorifică, cenușă reziduală).

### 5.1. Prelucrarea datelor experimentale

Specificațiile biocombustibililor solizi de tip peleți și brichete fac obiectul unor standarde care sunt în continuă actualizare.

Reglementările UE pentru aceste tipuri de biocombustibil sunt incluse în standardele EN 17225-1, EN 17225-2 și EN 17225-6, care sunt actualizări ale standardelor EN 14961 și EN 14961-4.

Din acest punct de vedere au fost acceptate următoarele standarde:

- standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru consum casnic: Enplus A1, Enplus A2, Enplus B
- standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru consum industrial: I1, I2, I3
- standarde pentru peleți și brichete din biomasă non-lemnoasă și blenduri de biomasă: MBP A, MBP B [64].

Tabelele care conțin standardele se regăsesc în Anexa A.

Datele culese și prezentate în Capitolul 4 au fost prelucrate cu Statgraphics și Maple 19 pentru a obține ecuații de regresie care să exprime puterea calorifică și cenușa reziduală în funcție de contribuția procentuală a componentei respective la masa rețetei.



## Prelucrarea datelor experimentale

---

Pe baza ecuațiilor de regresie am realizat o soluție de calcul în Excel pentru a asista producătorii care doresc să realizeze peleți din amestecurile de materie primă considerate.

Ulterior, aceste date sunt prelucrate cu Maple 19, unde se pot determina valori concrete ale procentului masic din fiecare factor al experimentelor pentru care sunt îndeplinite anumite condiții ce țin de puterea calorifică (care trebuie să fie cât mai mare) și cenușa reziduală (care trebuie să fie cât mai mică).

### 5.1.1. Planificarea științifică a experimentului. Optimizare cu Statgraphics

Rețeta A este bazată pe un experiment factorial cu 2 factori. Acesta a fost analizat în Statgraphics așa cum a fost descris în metodologia prezentată în Capitolul 4.

Pentru rețeta A, avem ca factori experimentali

FA = Rumeguș de fag

FB = Paie de grâu

Pe baza acestor date a fost determinată o ecuație de regresie liniară pentru puterea calorifică

$$Q = 2.836 \cdot FA + 15.93 \quad (5.1)$$

și o ecuație de regresie liniară pentru cenușa reziduală

$$ash = -2.58 \cdot FA + 4.75 \quad (5.2)$$

Pentru realizarea celor 3 probe a câte 100 kg necesare pentru determinarea corectă a ecuațiilor de regresie, a fost estimat un cost de cercetare de 413,51 lei (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al unui cercetător și al unui operator linie de producție). Prețul mediu al unui kg de peleți pentru acest experiment a fost calculat la 1,38 lei.

Pentru rețeta B, avem ca factori experimentali

FA = Rumeguș de fag

FB = Salcie energetică

FC = Șrot floarea soarelui

Pe baza acestor date a fost determinată o ecuație de regresie liniară pentru puterea calorifică

$$Q = 18.202 - 0.564 \cdot FA + 0.198 \cdot FB - 0.212 \cdot FC \quad (5.3)$$

care explică 92,4411% din variația lui Q și o ecuație de regresie liniară pentru cenușa reziduală

$$ash = 2.0 + 0.17 \cdot FA + 2.32 \cdot FB + 0.1 \cdot FC \quad (5.4)$$

care explică 99,2619% din variația cenușii reziduale.

Pentru realizarea celor 7 probe a câte 100 kg necesare pentru determinarea corectă a ecuațiilor de regresie, a fost estimat un cost de cercetare de 1010,66 lei (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al

**PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ȘI OBTINEREA DE REȚELE OPTIMIZATE FOLOSIND PLANIFICAREA ȘTIINȚIFICĂ A EXPERIMENTELOR**

unui cercetător și al unui operator linie de producție). Prețul mediu al unui kg de pește pentru acest experiment a fost calculat la 1,44 lei.

Suprafața de răspuns pentru puterea calorică în cazul acestor 3 factori este:

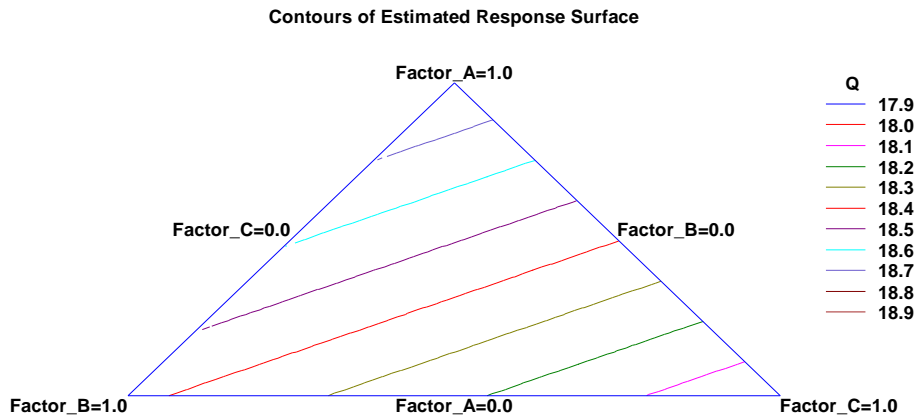


Figura 5.1 Suprafața de răspuns pentru puterea calorică în cazul acestor 3 factori ceea ce indică faptul că valoarea puterii calorifice obținută mixând componentele rețetei B ia valori cuprinse între 17,9 MJ/kg și 18,9 MJ/kg.

Suprafața de răspuns pentru cenușa reziduală corespunzătoare amestecului acestor 3 factori este:

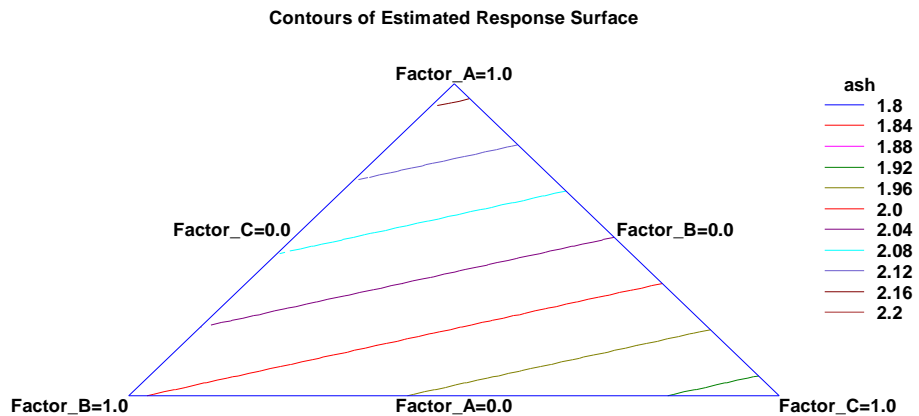


Figura 5.2 Suprafața de răspuns pentru cenușa reziduală corespunzătoare amestecului acestor 3 factori

ceea ce indică faptul că cenușa reziduală obținută mixând componentele rețetei B ia valori între 1,8% și 2,2%.

## Prelucrarea datelor experimentale

Pentru rețeta C am folosit următorii factori experimentali:

FA = Rumeguș de brad

FB = Rumeguș de fag

FC = Șrot de floarea soarelui

FD = Salcie energetică

Pe baza datelor culese experimental a fost determinată o ecuație de regresie liniară pentru puterea calorifică

$$Q = 18.104 - 0.0941805 \cdot FA + 0.662316 \cdot FB - 0.114201 \cdot FC + 0.296066 \cdot FD \quad (5.5)$$

care explică 85,2539% din variația puterii calorifice și o ecuație de regresie liniară pentru cenușa reziduală

$$ash = 1.895 - 0.295215 \cdot FA + 0.275174 \cdot FB + 0.00498974 \cdot FC + 0.105051 \cdot FD \quad (5.6)$$

care explică 99,6155% din variația cenușii reziduale.

Pentru realizarea celor 15 probe a câte 100 kg necesare pentru determinarea corectă a ecuațiilor de regresie, a fost estimat un cost de cercetare de 2341,23 lei (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al unui cercetător și al unui operator linie de producție). Prețul mediu al unui kg de peleți pentru acest experiment a fost calculat la 1,38 lei.

Suprafața de răspuns pentru puterea calorifică corespunzătoare la 3 dintre factorii acestui experiment este:

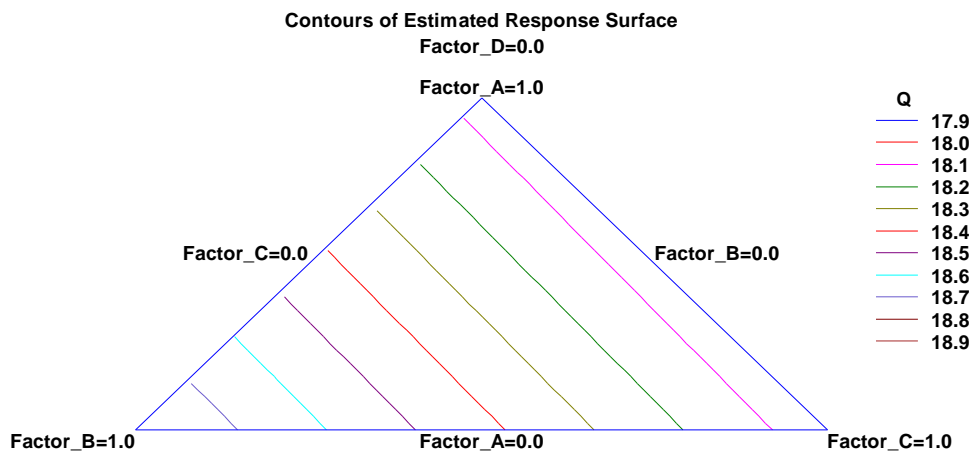


Figura 5.3 Suprafața de răspuns pentru puterea calorifică corespunzătoare la 3 dintre factorii ceea ce indică faptul că valoarea puterii calorifice obținută mixând componentele rețetei C ia valori cuprinse între 17,9 MJ/kg și 18,9 MJ/kg.

Suprafața de răspuns pentru cenușa reziduală corespunzătoare la 3 dintre factorii acestui experiment este:

**PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ȘI OBȚINEREA DE REȚELE OPTIMIZATE  
FOLOSIND PLANIFICAREA ȘTIINȚIFICĂ A EXPERIMENTELOR**

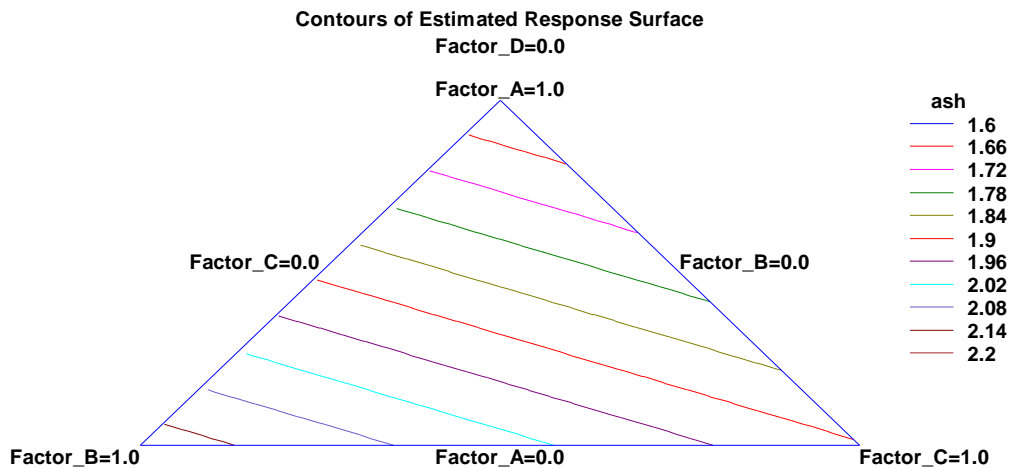


Figura 5.4 Suprafața de răspuns pentru cenușa reziduală corespunzătoare la 3 ceea ce indică faptul că cenușa reziduală obținută mixând componentele rețetei C ia valori între 1,6% și 2,2%

Situația reală, din teren, poate să difere de situația ideală pe care am considerat-o în prezenta cercetare prin faptul că, la un moment dat, există posibilitatea ca pe piața locală să nu existe disponibilă materie primă în cantitățile necesare pentru a realiza rețetele optimizate.

Mai mult decât atât, există posibilitatea de diversificare a producției prin a realiza peleți/brichete pentru încălzire cu materialul clientului, iar clientul – mic producător agricol din zonă – să nu dețină întreaga materie primă necesară pentru realizarea rețetelor optimizate.

Pentru a veni în întâmpinarea acestor probleme care ar putea să apară în viitor, am creat o aplicație simplă, în Excel, care să previzioneze puterea calorifică și cenușa reziduală obținute în cazul în care se folosesc rețetele folosite în acest proiect, dar cu compoziția rețetelor diferită (în funcție de cantitatea de materie primă a clientului, nu de rețetele optime determinate prin proiect).

Pe baza rețetelor încercate, am creat o foaie de calcul Excel care să asiste un producător în a previziona puterea calorifică și cenușa reziduală pe care le poate obține, atunci când alege să nu folosească rețetele optimizate calculate în acest paragraf, ci dispune de alte cantități de materie primă.

## Prelucrarea datelor experimentale

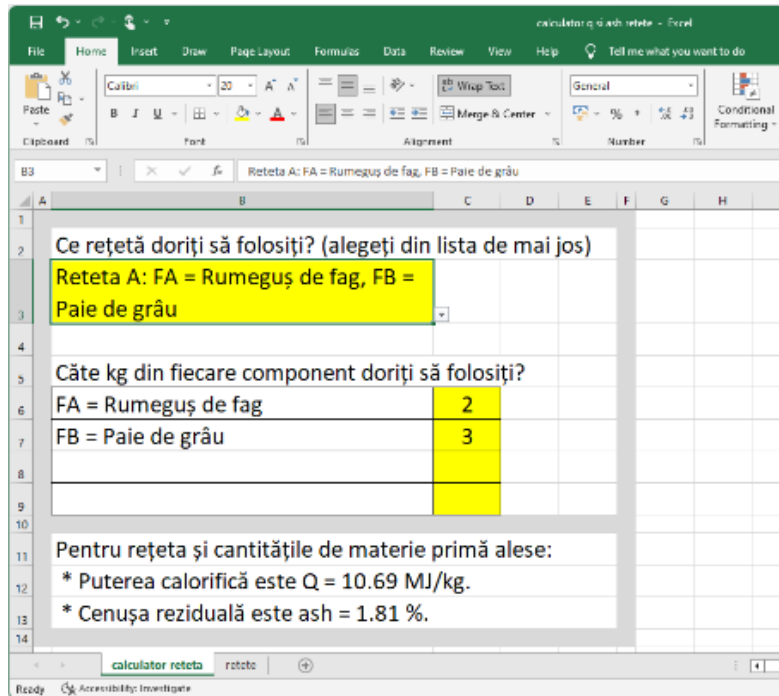


Figura 5.5 Detaliu al aplicației Excel

Concret, fișierul Excel constă în două foi de calcul: una (rețete) în care sunt introduse rețetele încercate și formulele de calcul ale puterii calorice și ale cenușii reziduale determinate în cadrul acestei activități, și o a doua (calculator rețeta) în care utilizatorul poate opera.

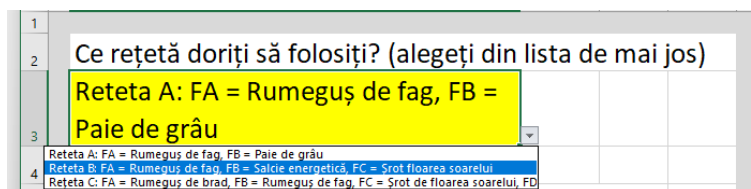


Figura 5.6 Detaliu de alegere al rețetei

La alegerea rețetei, câmpurile care conțin denumirea componentelor se actualizează singure. Utilizatorul nu trebuie decât să modifice numărul de kilograme din fiecare component afișat de calculatorul de rețete, iar programul face calculele.

Deși foaia de calcul care conține rețetele poate fi vizualizată de către utilizator, ea este protejată cu parolă și conținutul acesteia nu poate fi modificat.

## PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ȘI OBTINEREA DE REȚELE OPTIMIZATE FOLOSIND PLANIFICAREA ȘTIINȚIFICĂ A EXPERIMENTELOR

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
						CANTITATI (in kg)				PROCENTAJ				Buzunari				
						FA	FB	FC	FD	Exp	Inv	Gen	Del	Q1	Q2			
1		RE -																
2		Ramagiu	de fier															
3	Rețea A: FA - Ramagiu de fier, FB - Mășină de fier	de fier	de fier			2	3			0%	0%	0	0	100000	1000			
4	Rețea B: FA - Ramagiu de fier, FD - Săcie energetică, FC - Sursă hidroenergetică	Ramagiu de fier	Săcie energetică			2	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
5	Rețea C: FA - Ramagiu de fier, FB - Ramagiu de fier, FC - Sursă hidroenergetică, FD - Săcie energetică	Ramagiu de fier	Ramagiu de fier	Săcie energetică		2	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			

Figura 5.7 Detalii foaie de calcul cu rețete

Practic, pentru simplitatea utilizării și limitarea interacțiunilor potențial cauzatoare de erori, utilizatorul nu trebuie să modifice decât câmpurile colorate cu galben pentru a obține un rezultat.

### 5.1.2. Optimizare cu Maple

Rezultatele obținute în paragraful anterior au fost prelucrate cu modulul de optimizare al Maple și funcția LPSolve, care maximizează o funcție obiectiv cu respectarea unor constrângeri. Toate apelările funcției LPSolve au fost stocate în același fișier, optimizari.mw [65].

Folosind funcția de optimizare LPSolve disponibilă în Maple, se pot determina valorile parametrilor FA, FB, FC, FD, atunci când funcția obiectiv care se dorește a fi optimizată este puterea calorică, iar cenușa reziduală (cen) are o anumită valoare maximă admisă.

Apelarea acestei funcții matematice returnează valoarea puterii calorice în condițiile date, precum și procentajul pentru variabilele de care depinde funcția obiectiv.

## Prelucrarea datelor experimentale

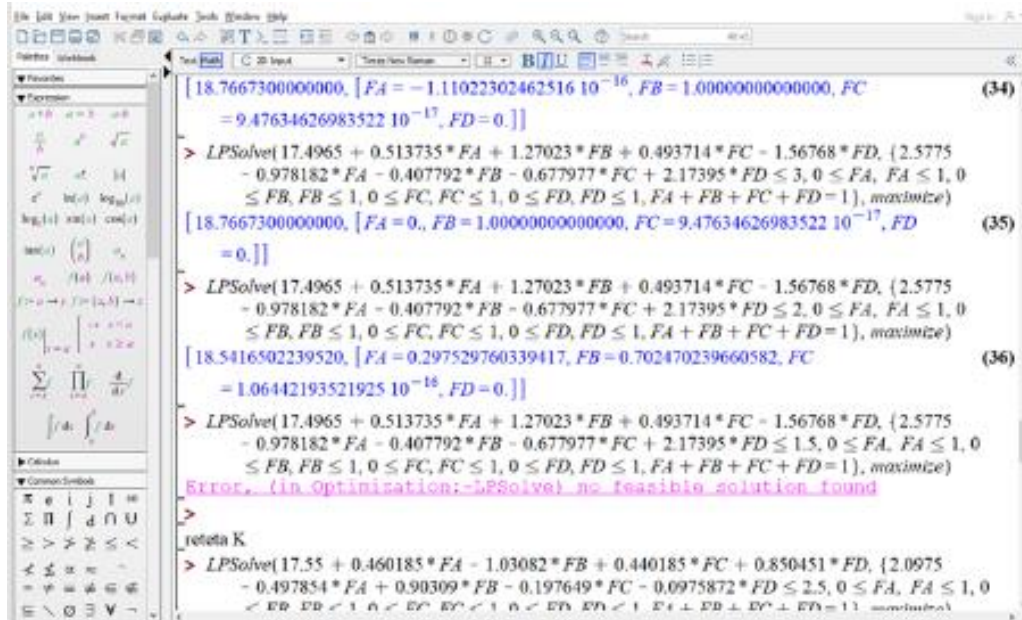


Figura 5.8 Detaliu prelucrare date experimentale cu Maple

În urma verificării standardelor internaționale, am ales să determin acele rețete pentru care cenușa reziduală se încadrează în standarde (și anume maxim 2 pentru standardul Enplus B, maxim 1.5 pentru standardul industrial I 2, maxim 3 pentru standardul industrial I 3, respectiv maxim 6 pentru standardul MBP A).

Pe lângă încadrarea în limitele impuse de standarde, din punct de vedere al confortului utilizatorului, un combustibil bun ar trebui să genereze o cantitate cât mai scăzută de cenușă reziduală.

Așadar, am ales să rulez funcția de optimizare pentru fiecare funcție obiectiv, în condițiile în care **funcția cenușă reziduală ar trebui să ia valorile discrete 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0.**

Rezultatele obținute pentru cele 3 rețete considerate sunt prezentate în continuare.

### Rețeta A

FA = Rumegeș de fag

FB = Paie de grâu

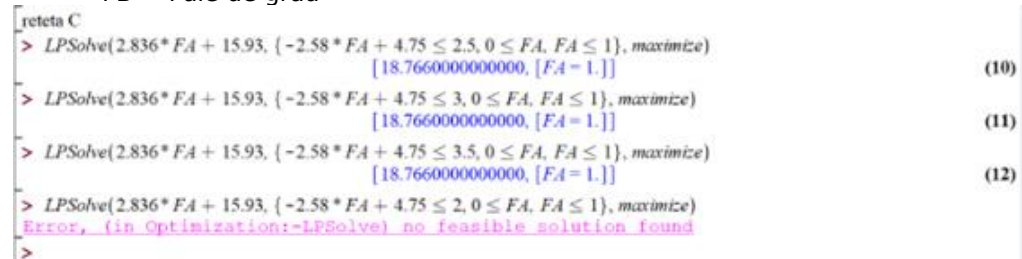


Figura 5.9 Rezultate rețeta A

**PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ȘI OBTINEREA DE REȚELE OPTIMIZATE  
FOLOSIND PLANIFICAREA STIINȚIFICĂ A EXPERIMENTELOR**

Q [MJ/KG] = (nu are solutie)    cen [%] = 2.0  
 Q [MJ/KG] = 18.76    cen [%] = 2.5    FA [%] = 1    FB [%] = 0  
 Q [MJ/KG] = 18.76    cen [%] = 3.0    FA [%] = 1    FB [%] = 0  
 Q [MJ/KG] = 18.76    cen [%] = 3.5    FA [%] = 1    FB [%] = 0

**Rețeta B**

FA = Rumeș de fag  
 FB = Salcie energetică  
 FC = Șrot floarea soarelui

```
reteta E
> LPSolve(18.202-0.564*FA + 0.198*FB - 0.212*FC, {2.0 + 0.17*FA + 2.32*FB + 0.1*FC ≤ 2.5, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0
≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, FA + FB + FC = 1}, maximize)
[18.0638738738739, [FA = -1.06875718977912 10-18, FB = 0.180180180180180, FC = 0.819819819819820]] (17)
> LPSolve(18.202-0.564*FA + 0.198*FB - 0.212*FC, {2.0 + 0.17*FA + 2.32*FB + 0.1*FC ≤ 3, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0
≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, FA + FB + FC = 1}, maximize)
[18.1562162162162, [FA = -7.17936427160753 10-17, FB = 0.405405405405405, FC = 0.594594594594595]] (18)
> LPSolve(18.202-0.564*FA + 0.198*FB - 0.212*FC, {2.0 + 0.17*FA + 2.32*FB + 0.1*FC ≤ 3.5, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0
≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, FA + FB + FC = 1}, maximize)
[18.2485585585586, [FA = -1.42518528242371 10-16, FB = 0.630630630630631, FC = 0.369369369369370]] (19)
> LPSolve(18.202-0.564*FA + 0.198*FB - 0.212*FC, {2.0 + 0.17*FA + 2.32*FB + 0.1*FC ≤ 4, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0
≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, FA + FB + FC = 1}, maximize)
[18.3409009009009, [FA = -2.13243413768668 10-16, FB = 0.855855855855856, FC = 0.144144144144144]] (20)
> LPSolve(18.202-0.564*FA + 0.198*FB - 0.212*FC, {2.0 + 0.17*FA + 2.32*FB + 0.1*FC ≤ 2, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0
≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, FA + FB + FC = 1}, maximize)
Error, (in Optimization:-LPSolve) no feasible solution found
>
```

Figura 5.10 Rezultate rețeta B

Q [MJ/KG] = (nu are soluții)    cen [%] = 2.0  
 = 0.82    Q [MJ/KG] = 18.06    cen [%] = 2.5    FA [%] = 0    FB [%] = 0.18    FC [%]  
 = 0.59    Q [MJ/KG] = 18.15    cen [%] = 3.0    FA [%] = 0    FB [%] = 0.41    FC [%]  
 = 0.37    Q [MJ/KG] = 18.24    cen [%] = 3.5    FA [%] = 0    FB [%] = 0.63    FC [%]  
 = 0.14    Q [MJ/KG] = 18.34    cen [%] = 4.0    FA [%] = 0    FB [%] = 0.86    FC [%]

**Rețeta C**

FA = Rumeș de brad  
 FB = Rumeș de fag  
 FC = Șrot de floarea soarelui  
 FD = Salcie energetică



## Alegerea rețetelor optimale

```

rețeta M
> LPSolve(18.104 - 0.0941805*FA + 0.662316*FB - 0.114201*FC + 0.296066*FD, {1.895 - 0.295215*FA + 0.275174
*FB + 0.00498974*FC + 0.105051*FD ≤ 2.5, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0 ≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, 0 ≤ FD, FD
≤ 1, FA + FB + FC + FD = 1}, maximize)
[18.7663160000000, [FA = -1.69531046499807 10-17, FB = 1.00000000000000, FC = 5.55111512312578 10-17, FD
= 0.]] (43)
> LPSolve(18.104 - 0.0941805*FA + 0.662316*FB - 0.114201*FC + 0.296066*FD, {1.895 - 0.295215*FA + 0.275174
*FB + 0.00498974*FC + 0.105051*FD ≤ 3, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0 ≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, 0 ≤ FD, FD ≤ 1,
FA + FB + FC + FD = 1}, maximize)
[18.7663160000000, [FA = -1.69531046499807 10-17, FB = 1.00000000000000, FC = 5.55111512312578 10-17, FD
= 0.]] (44)
> LPSolve(18.104 - 0.0941805*FA + 0.662316*FB - 0.114201*FC + 0.296066*FD, {1.895 - 0.295215*FA + 0.275174
*FB + 0.00498974*FC + 0.105051*FD ≤ 2, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0 ≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, 0 ≤ FD, FD ≤ 1,
FA + FB + FC + FD = 1}, maximize)
[18.5406173357709, [FA = 0.298347268267796, FB = 0.701652731732204, FC = 1.06474282597757 10-16, FD = 0.]] (45)
> LPSolve(18.104 - 0.0941805*FA + 0.662316*FB - 0.114201*FC + 0.296066*FD, {1.895 - 0.295215*FA + 0.275174
*FB + 0.00498974*FC + 0.105051*FD ≤ 1.5, 0 ≤ FA, FA ≤ 1, 0 ≤ FB, FB ≤ 1, 0 ≤ FC, FC ≤ 1, 0 ≤ FD, FD
≤ 1, FA + FB + FC + FD = 1}, maximize)
Error: (in Optimization:LPSolve) no feasible solution found
>

```

Figura 5.11 Rezultate rețeta C

Q [MJ/KG] = (nu are soluții)    cen [%] = 1.5  
 Q [MJ/KG] = 18.54    cen [%] = 2.0    FA [%] = 0.30    FB [%] = 0.70    FC  
 [%] = 0    FD [%] = 0  
 Q [MJ/KG] = 18.76    cen [%] = 2.5    FA [%] = 0    FB [%] = 1    FC [%] =  
 0    FD [%] = 0  
 Q [MJ/KG] = 18.76    cen [%] = 3.0    FA [%] = 0    FB [%] = 1    FC [%] =  
 0    FD [%] = 0

## 5.2. Alegerea rețetelor optimale

În urma rezultatelor obținute cu funcția LPSolve, am realizat o clasificare a rețetelor de încercat după următoarele criterii:

- să conțină minim 2 componente distincte
- procentajul de cenușă reziduală să fie minim
- puterea calorică să fie cât mai mare

**A. Salcie energetică [%] = 18%    Șrot floarea soarelui [%] = 82%  
 pentru care Q [MJ/KG] = 18.06    cen [%] = 2.5**

Costurile de producție pentru acest tip de peleți (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al unui cercetător și al unui operator linie de producție) se ridică la 1550 lei / 1000 kg (1,55 lei/kg) ceea ce, raportat la puterea calorică a peletilor produși, indică un preț de 0,086 lei/MJ (fără adaosuri comerciale și TVA).

**PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ȘI OBTINEREA DE REȚELE OPTIMIZATE  
FOLOSIND PLANIFICAREA ȘTIINȚIFICĂ A EXPERIMENTELOR**



Figura 5.12 Mostră peleți A

**B. Salcie energetică [%] = 41%    Șrot floarea soarelui [%] = 59%  
pentru care Q [MJ/KG] = 18.15    cen [%] = 3.0**

Costurile totale de producție pentru acest tip de peleți, care includ costul materiei prime cu TVA, costul energiei electrice și tariful orar pentru cercetător și operatorul de linie de producție, se ridică la 1404 lei pentru fiecare 1000 kg (1,40 lei/kg). Această cifră indică un cost de aproximativ 0,077 lei per MJ (megajoule), fără a include adaosuri comerciale și TVA.



Figura 5.13 Mostră peleți B

## Alegerea rețetelor optime

**C. Salcie energetică [%] = 63%    Șrot floarea soarelui [%] = 37%**  
**pentru care Q [MJ/KG] = 18.24    cen [%] = 3.5**

Costurile de producție pentru acest tip de peleți (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al unui cercetător și al unui operator linie de producție) se ridică la 1266 lei / 1000 kg (1,27 lei/kg) ceea ce, raportat la puterea calorică a peletilor produși, indică un preț de 0,069 lei/MJ (fără adaosuri comerciale și TVA).



Figura 5.14 Mostră peleți C

**D. Salcie energetică [%] = 86%    Șrot floarea soarelui [%] = 14%**  
**pentru care Q [MJ/KG] = 18.34    cen [%] = 4.0**

Costurile de producție pentru acest tip de peleți (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al unui cercetător și al unui operator linie de producție) se ridică la 1121 lei / 1000 kg (1,12 lei/kg) ceea ce, raportat la puterea calorică a peletilor produși, indică un preț de 0,061 lei/MJ (fără adaosuri comerciale și TVA).

**PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ȘI OBTINEREA DE REȚELE OPTIMIZATE  
FOLOSIND PLANIFICAREA ȘTIINȚIFICĂ A EXPERIMENTELOR**



Figura 5.15 Mostră peleți D

**E. Rumeguș de fag [%] = 37% Șrot de floarea soarelui [%] = 63%  
pentru care  $Q$  [MJ/KG] = 18.28 cen [%] = 2.0**

Costurile de producție pentru acest tip de peleți (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al unui cercetător și al unui operator linie de producție) se ridică la 1883 lei / 1000 kg (1,88 lei/kg) ceea ce, raportat la puterea calorică a peleiților produși, indică un preț de 0,0,103 lei/MJ (fără adaosuri comerciale și TVA).



Figura 5.16 Mostră peleți E



## Concluzii parțiale

**F. Rumeș de brad [%] = 30% Rumeș de fag [%] = 70% pentru care  $Q$  [MJ/KG] = 18.54 cen [%] = 2.0**

Costurile de producție pentru acest tip de peleți (incluzând costul cu TVA al materiei prime, costul energiei electrice și tariful orar al unui cercetător și al unui operator linie de producție) se ridică la 2258 lei / 1000 kg (2,26 lei/kg) ceea ce, raportat la puterea calorifică a peletilor produși, indică un preț de 0,122 lei/MJ (fără adaosuri comerciale și TVA).



Figura 5.17 Mostră peleți F

### 5.3. Concluzii parțiale

În cadrul acestui capitol au fost analizate rețetele obținute, modele statistice pentru peleți care să furnizeze o putere calorifică îmbunătățită pornind de la tipurile de rețete încercate.

S-au realizat fizic modelele de peleți obținute pe cale statistică și proprietățile acestora au fost analizate, apoi au fost analizate costurile de producție pentru astfel de peleți.

Principala concluzie a cercetării realizate este aceea că eficiența economică are o variație inversă față de eficiența în raport cu producerea de cenușă reziduală.

Rețetele pot fi realizate din una sau mai multe componente, în diferite procentaje, inclusiv aditivi dacă este necesar, însă în cadrul tezei nu am realizat mixturi de peleți care să conțină aditivi.

Rețetele pot fi optime chiar dacă nu includ materie primă tocată cu tocătorul analizat.

## 6. POSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE

### Obiectivele acestui capitol sunt:

O6.1 construirea de rețele neuronale artificiale pentru evaluarea performanțelor soluțiilor propuse folosind o bază de date cunoscută;

O6.2 determinarea tipului de materie primă lemnoasă sau nelemnoasă ideală în funcție de cantitatea de noxe emisă, cu ajutorul RNA;

### Rezultatele obținute în acest capitol sunt:

R6.1 o rețea neuronală de clasificare a materiei prime;

R6.2 rețele neuronale pentru determinarea proprietăților materialului combustibil.

### Ipoteze de lucru:

La baza utilizării rețelelor neuronale în asistarea producției de peleți-brichete stau următoarele raționamente și ipoteze de lucru:

- există o bază de date cu materiile prime disponibile în zonă și proprietățile acestora – compoziție elementală, putere calorifică, cenușă reziduală

- proprietățile materiilor prime pot fi împărțite în 2 categorii: A: compoziția elementală (6 proprietăți ale materiei prime, care nu implică arderea) și B: rezultatele arderii (2 proprietăți ale materiei prime care presupun arderea acestora în prealabil)

- teoretic, o rețea neuronală poate fi văzută fie ca o funcție definită pe A și cu valori în B, fie ca o funcție definită pe B și cu valori în A (atâta timp cât există una dintre aceste funcții, va exista și funcția sa inversă)

- există un soft de calcul pentru rețete optime de peleți în sensul maximizării puterii calorifice în timp ce noxele și cenușa reziduală rămân în anumite limite – acest soft a fost realizat de S. Mariș în cadrul cercetărilor pentru teza sa de doctorat [36])

- pentru un element din A (6 valori corespunzătoare compoziției elementale) putem găsi un element din B (cele 2 valori corespunzătoare puterii calorifice și cenușii reziduale). Acest fapt validează formulele de calcul tip Mendeleev folosite pentru calculul puterii calorifice și în plus duce la îmbogățirea bazei de date cu elemente peletizabile disponibile în zonă.

- pentru un element din B (2 valori corespunzătoare puterii calorifice și cenușii reziduale) putem găsi un element din A (cele 6 valori corespunzătoare compoziției elementale). Această abordare poate duce la îmbogățirea bazei de date cu elemente din zonă și implicit la posibilitatea determinării unor rețete optime noi, corespunzătoare mixturilor care conțin elementele nou adăugate în baza de date.

## 6.1. Fundamente teoretice de inteligență artificială

RNA au început să fie folosite în mod extensiv începând cu anii 1980. "Neuronii" RNA sunt elemente de software care simulează neuronii umani, procesând date de intrare și returnând o valoare în funcție de acestea. Actualmente, RNA sunt considerate unele dintre cele mai precise mijloace de a obține rezultate în procesul de decizie. Învățarea prin rețele neuronale poate fi comparată cu modelarea statistică, de multe ori cele două ramuri ale matematicii făcând apel la aceleași funcții și concepte [66].

Învățarea supervizată presupune antrenarea unei rețele să recunoască anumite structuri pe care apoi să le generalizeze pentru a recunoaște alte seturi de date. Antrenarea se face cu un set de date care conține atât datele de intrare cât și datele de ieșire. Exemple pentru învățarea supervizată pot fi recunoașterea obiectelor, traducerile automate sau determinarea unor răspunsuri (calitative sau cantitative) asociate unor date de intrare [67].

Toți algoritmi caracteristici unei rețele neuronale artificiale au câteva elemente comune: modul în care neuronii sunt modelați și regulile de învățare.

Un neuron este compus dintr-o intrare,  $p$ , transmisă printr-o conexiune care îi multiplică puterea cu ponderea  $w$ , o funcție de transfer (sau de activare)  $f(wp)$  și o ieșire  $a$ . În cazul în care există un prag (bias sau deplasare),  $b$ , acesta poate fi asimilat unui input egal cu unitatea și cu o pondere  $b$ . Ieșirea neuronului va deveni astfel  $a = f(wp + b)$ .

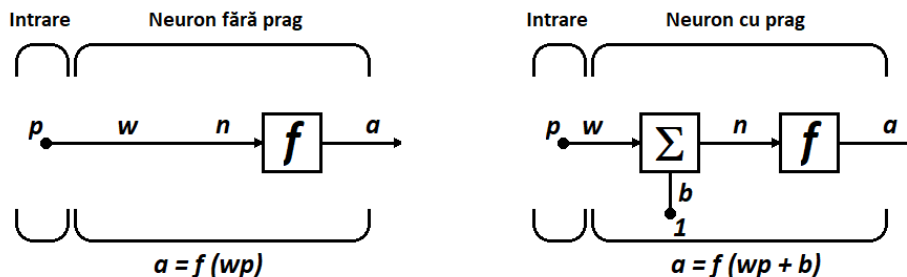


Figura 6.1 Neuron fără prag și cu prag

Funcția de transfer (sau funcția de activare)  $f$  este o funcție treaptă (prag), lineară sau o funcție sigmoidă. În cazul în care inputul este un vector  $\mathbf{p}$  cu  $R$  elemente, atunci fiecărei componente ale sale  $p_i$  îi va corespunde o pondere  $w_{i1}$  – componentă a matricei-pondere  $\mathbf{W}$ , ( $1 \leq i \leq R$ ), astfel încât ieșirea va fi de forma  $a = f(\mathbf{W}\mathbf{p} + b)$ .

O rețea neuronală constă dintr-o succesiune de straturi de neuroni, astfel încât ieșirile unui strat să facă parte din intrările stratului următor [68]. Rețelele neuronale pot fi cu propagare înainte a semnalului (rețele feedforward) – atunci când intrările unui neuron provin doar din straturile inferioare acestuia, sau recurente (feedback) – atunci când intrările unui neuron provin atât din straturile inferioare, cât și din cele superioare ale acestuia.

Structura unei RNA cu propagare înainte constă din figura 6.1.

- un strat de intrare (input layer) – I, conținând un anumit număr de neuroni,
- unul sau mai multe straturi intermediare, ascunse (hidden layers) – H (fiecare compus dintr-un anumit număr de neuroni)

## POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE

- un strat de ieșire (output layer) – O, compus, de obicei, dintr-un singur neuron ("răspunsul" rețelei).

Un algoritm de instruire, cunoscut și ca regulă de învățare, reprezintă un proces esențial în îmbunătățirea performanței unei rețele neuronale. În contextul învățării supervizate, rețeaua este alimentată cu un set de exemple, notat sub forma  $\{p_i, t_i\}$ , unde  $p_i$  reprezintă o intrare a rețelei și  $t_i$  ieșirea (răspunsul) asociat. După ce rețeaua compară răspunsurile sale cu cele așteptate, ponderile și pragurile sunt ajustate până când rețeaua produce răspunsuri care corespund mai mult sau mai puțin răspunsurilor așteptate. Fiecare trecere completă a rețelei prin setul de intrări este numită o epocă. În schimb, în învățarea nesupervizată, ponderile și pragurile rețelei sunt ajustate doar pe baza intrărilor, fără referințe externe pentru răspunsurile corecte.

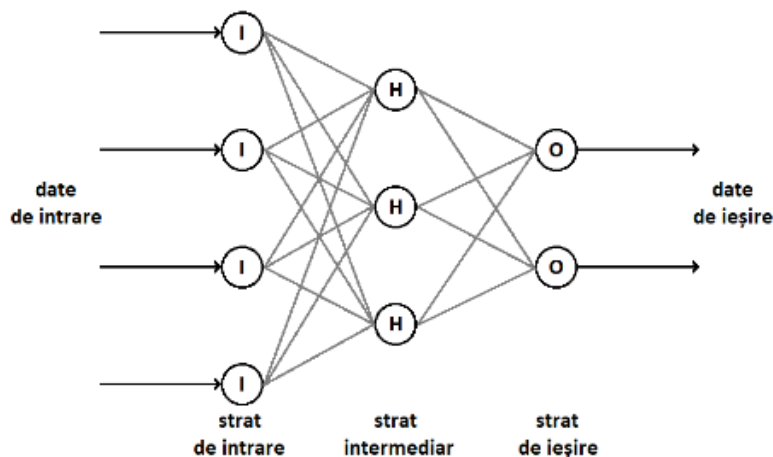


Figura 6.2 RNA cu propagare înainte

Rețelele neuronale artificiale sunt utile datorită capacității lor de a aproxima orice funcție reală continuă, un principiu cunoscut sub numele de "proprietatea de aproximare universală". Această proprietate afirmă că o rețea neuronală cu un singur strat ascuns, și cu un număr posibil infinit de neuroni în acel strat, poate modela și reproduce cu precizie diverse tipuri de funcții continue.

Pentru a utiliza o rețea neuronală artificială (RNA), este necesară parcurgerea următoarelor etape:

- Antrenarea, în care se introduc asocierile cunoscute între intrările și ieșirile rețelei.
- Validarea, care presupune verificarea rezultatelor generate de rețea prin compararea lor cu rezultatele cunoscute.
- Testarea, în care rețeaua neuronală prezice rezultatele asociate cu seturi de date de intrare.

Dintre cele trei etape consecutive, antrenarea rețelei se evidențiază ca fiind cea mai crucială. Un algoritm fundamental în procesul de antrenare al rețelelor cu propagare înainte este cunoscut sub numele de "retropropagare a erorii" (backpropagation). Acest algoritm utilizează o funcție de eroare cu scopul de a minimiza discrepanța. Cu alte cuvinte, funcția de eroare este indicatorul principal al performanței rețelei și este esențială în procesul de antrenare.

În cadrul procesului de retropropagare, două dintre problemele semnificative sunt ritmul redus de convergență și capacitatea limitată de generalizare.



**Determinarea** tipului de materie primă lemnoasă sau non-lemnoasă în funcție de cantitatea de noxe emisă

Pentru a rezolva problema vitezei mici de convergență, adică reducerea lentă a erorii, există soluții, cum ar fi utilizarea de algoritmi cu o viteză variabilă de învățare în cadrul retropropagării. De asemenea, se pot aplica tehnici de optimizare numerică, cum ar fi metoda gradientului conjugat, metodele quasistatistice sau metoda Levenberg-Marquardt.

Pentru a îmbunătăți abilitatea de generalizare, există două opțiuni: una este să se aplice metoda regularizării bayesiene, care lucrează asupra funcției de eroare, iar cealaltă este să se utilizeze criteriul de oprire timpurie, mai ales atunci când algoritmul de antrenare a rețelei nu prezintă o convergență rapidă.

Spre deosebire de algoritmi de retropropagare, regularizarea bayesiană nu depinde de un set separat de date de validare. Acest lucru se datorează faptului că funcția de eroare bayesiană conține informații atât despre eroarea de antrenare, cât și despre ponderile intrărilor. Condiția de oprire a algoritmului este definită astfel: algoritmul se încheie atunci când înregistrează un număr predefinit de creșteri consecutive ale erorii..

Procesul de construire a unei rețele neuronale urmează patru pași esențiali: generarea datelor de antrenare, elaborarea structurii rețelei, antrenarea acesteia și simularea răspunsurilor rețelei.

Metoda Levenberg-Marquardt se evidențiază ca fiind cea mai rapidă opțiune de antrenare a rețelelor neuronale care nu implică cicluri între neuroni. Pe de altă parte, regularizarea bayesiană este cea mai utilizată strategie pentru a îmbunătăți capacitatea de generalizare a rețelei.

**6.2. Determinarea tipului de materie primă lemnoasă sau non-lemnoasă în funcție de cantitatea de noxe emisă**

Rețelele neuronale dezvoltate cu Statgraphics [69] pot fi folosite la clasificarea materiei prime.

Baza de date folosită pentru construirea rețelelor neuronale cu Statgraphics are următoarea structură:

		C	H	O	N	S	Cl	Q <sub>net</sub>	Q <sub>rez</sub>	Tip	Clasificare
1	Aluviol	42.06	6.74	45.64	3.29	3.12	0.03	13.39	2.20	1 - Lemnoasă	10
2	Aluviol/leșez	45.14	6.29	45.71	3.96	3.2	0.03	12.99	6.00	2 - nonlemnoasă	8
3	Arțarid: can	44.33	5.31	41.89	3.72	3.57	0.03	14.76	3.99	1 - Lemnoasă	16
4	Duc	51.22	6.30	42.13	3.96	3.02	0.13	13.15	6.41	1 - Lemnoasă	20
5	Conesș (Alu)	45.17	6.91	43.63	3.74	3.47	0.23	12.96	4.99	2 - nonlemnoasă	7

Figura 6.3 Structură bază de date

Și conține 76 intrări. Pentru fiecare dintre aceste intrări s-a înregistrat compoziția elementală, puterea calorifică, cenușa reziduală, o rotunjire a puterii calorifice și clasificarea intrării ca tip (biomasă lemnoasă și biomasă nonlemnoasă).

Materiile prime pentru care se cunosc parametrii (puterea calorifică  $Q$ , cenușa  $ash$  și compoziția elementală – procente masice de  $C, H, O, N, S, Cl$ ) au fost clasificate

## POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE

în 1 – materiale de origine lemnoasă și 2 – materiale de origine nelemnoasă (paie, șroturi, boabe, etc).

Relația dintre puterea calorifică a materialului și cantitatea de cenușă reziduală generată în urma arderii, în funcție de tipul de material, este ilustrată în graficul 6.4.

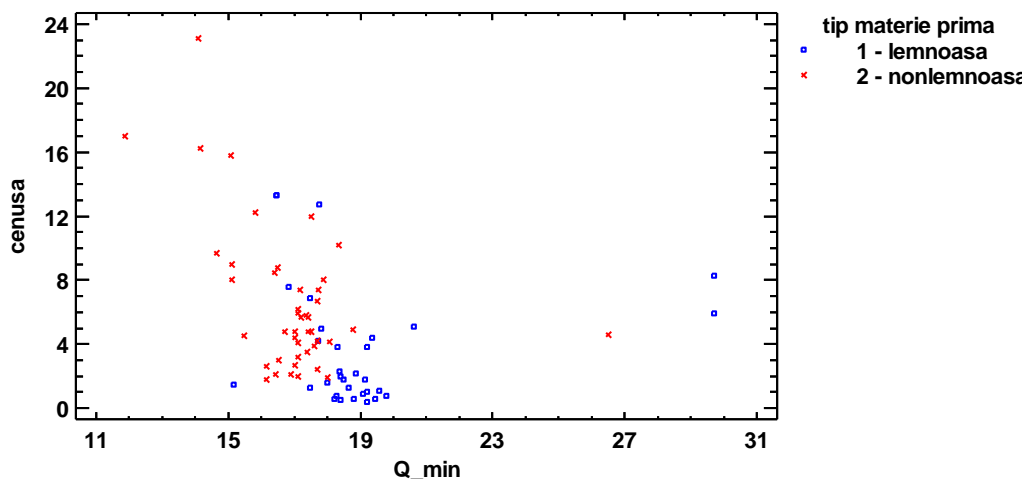


Figura 6.4 Relația dintre puterea calorifică a materialului și cenușa reziduală rezultată în urma arderii, în funcție de tipul de material

Conform acestei analize, materiile prime lemnoase au tendința de a avea o putere calorifică mai mare, în timp ce materiile prime nonlemnoase au tendința de a produce o cantitate mai mare de cenușă reziduală.

Am construit o rețea neuronală a cărei arhitectură este redată în figura 6.5.

Rețeaua neuronală a fost antrenată cu 60 intrări și testată cu 16, alese în mod aleator din baza de date existentă. Precizia acestei rețele la antrenare a fost de 80%, iar la testare de 93,75%.

Clasificarea materiei prime în cele două clase (lemnoasă și nonlemnoasă) în funcție de puterea calorifică a materialului și cenușa reziduală este prezentată în figura 6.6.

O altă rețea a fost construită, tot cu Statgraphics, pentru a determina o legătură între cantitatea de noxe emise la arderea peleților (cantitate influențată de procente masice de *N, S, Cl* și de cenușa reziduală) și tipul de materie primă utilizată.

Această rețea are 4 neuroni în stratul de intrare, 60 neuroni pentru antrenare, și 2 neuroni în stratul de ieșire (figura 6.7).

Rețeaua a fost antrenată cu 60 intrări și testată cu 16, alese în mod aleator din baza de date existentă. Precizia acestei rețele a fost pentru antrenare de 78,33%, iar pentru validare de 81,25%.

**Determinarea** tipului de materie primă lemnoasă sau non-lemnoasă în funcție de cantitatea de noxe emisă

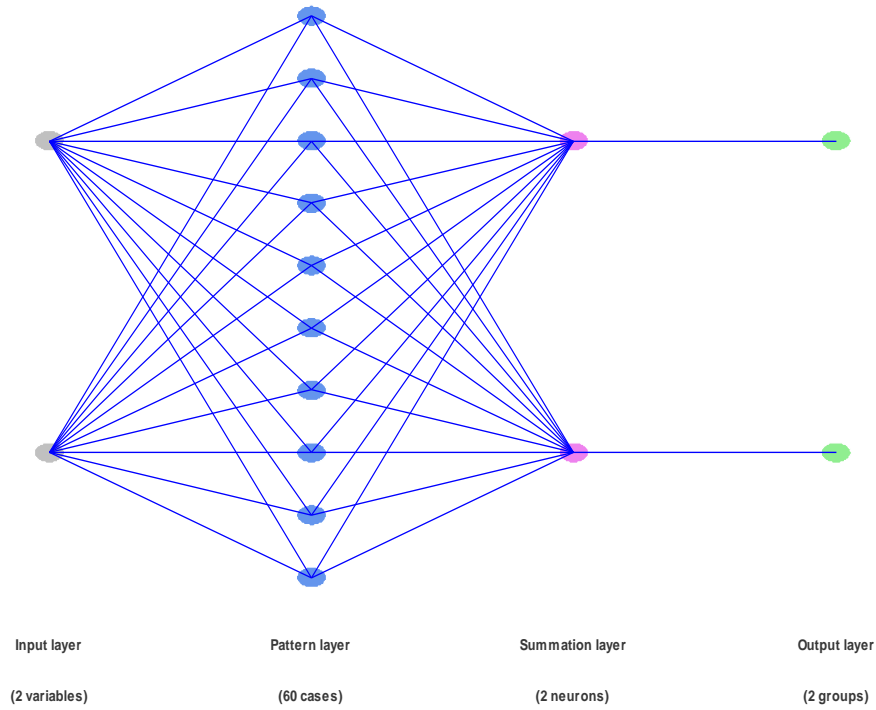


Figura 6.5 Arhitectura unei rețele neuronale care clasifică tipul de materie primă în funcție de puterea calorică a materialului și de cantitatea de cenușă reziduală

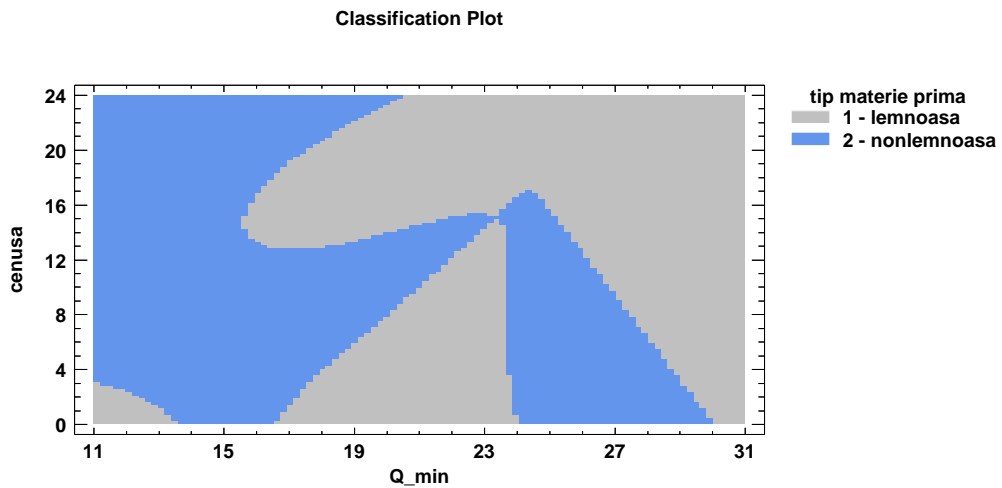


Figura 6.6 Clasificarea materiei prime

**POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE**

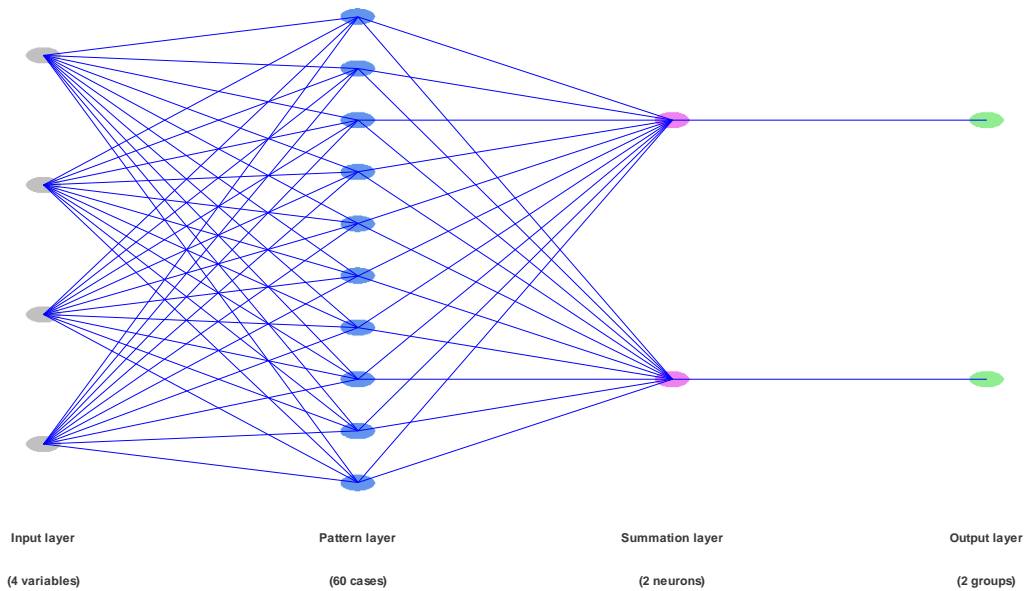


Figura 6.7 Arhitectura unei rețele neuronale care clasifică tipul de materie primă în funcție de procente masice de N, S, Cl și de cantitatea de cenușă reziduală

Figurile următoare reprezintă diagrame de clasificare a materiei prime în 2 clase (lemnoasă/nonlemnoasă) în funcție de noxe emise (N, S, Cl, cenușă reziduală).

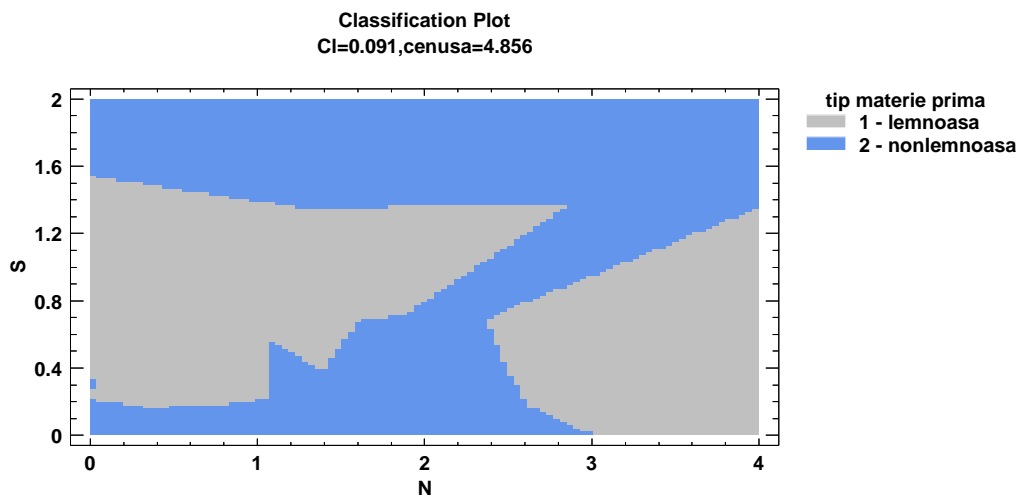


Figura 6.8 Diagramă clasificare în funcție de noxe

**Determinarea** tipului de materie primă lemnoasă sau non-lemnoasă în funcție de cantitatea de noxe emisă

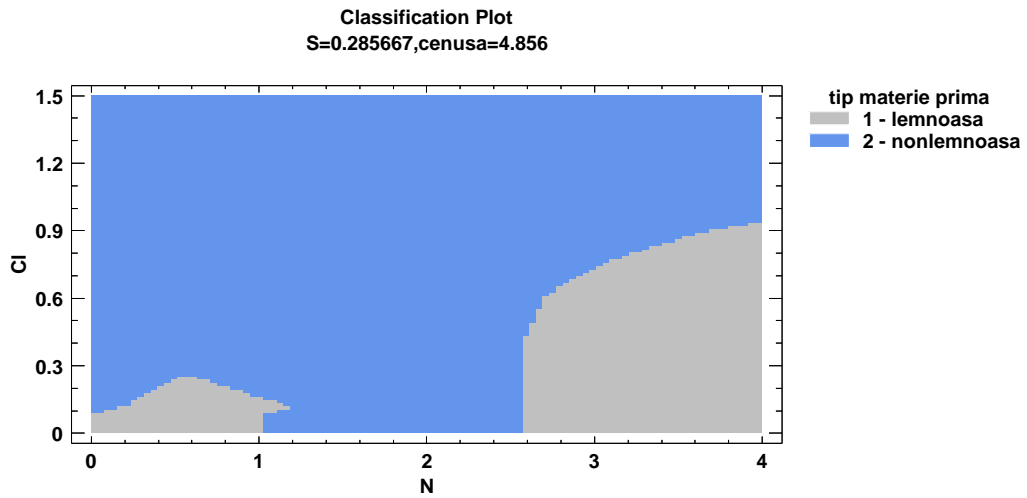


Figura 6.9 Diagramă clasificare în funcție de cenușă

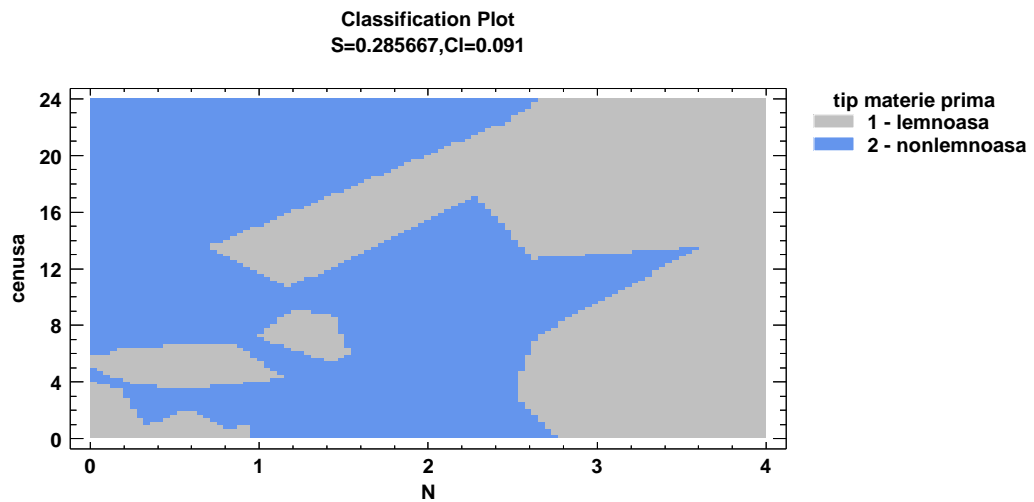


Figura 6.10 Diagramă clasificare în funcție de CI

**POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE**

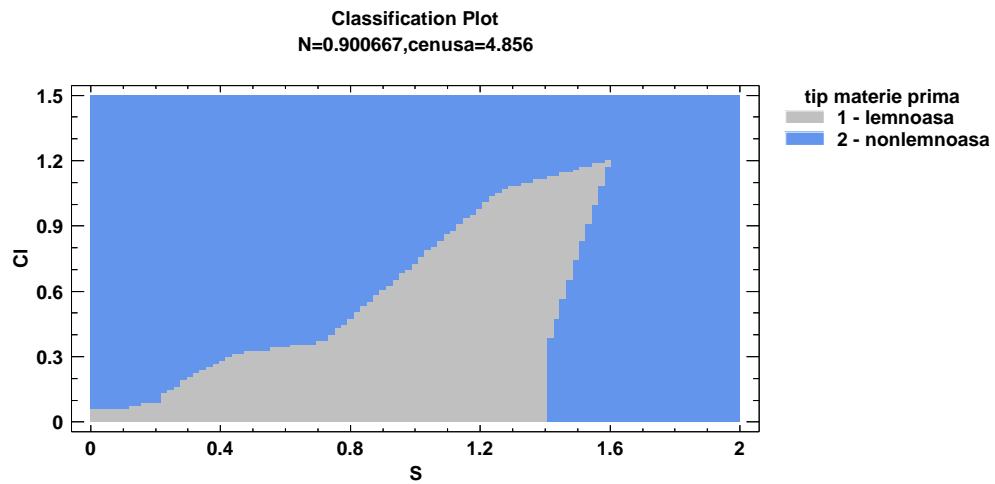


Figura 6.11 Diagramă clasificare în funcție de cenușă 2

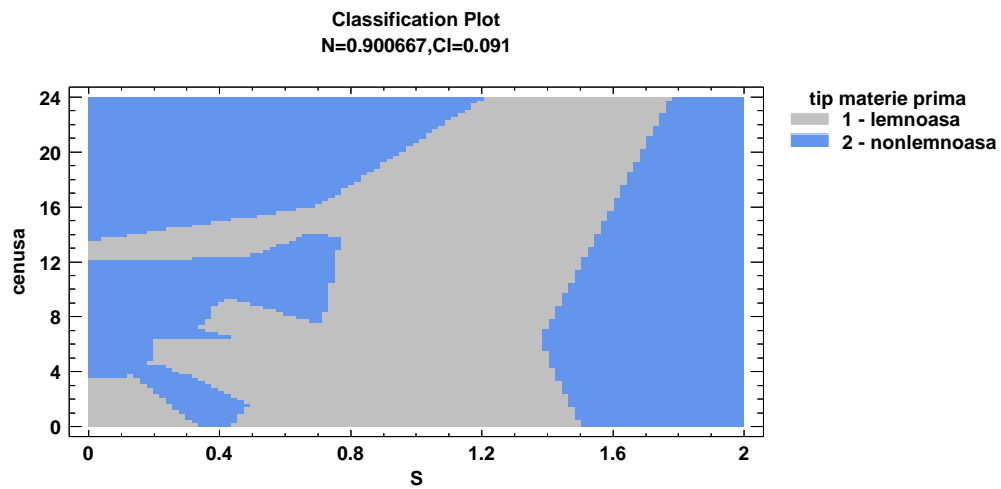


Figura 6.12 Diagramă clasificare în funcție de CI 2

**Determinarea** proprietăților utilizând RNA în asistarea producției (Matlab)

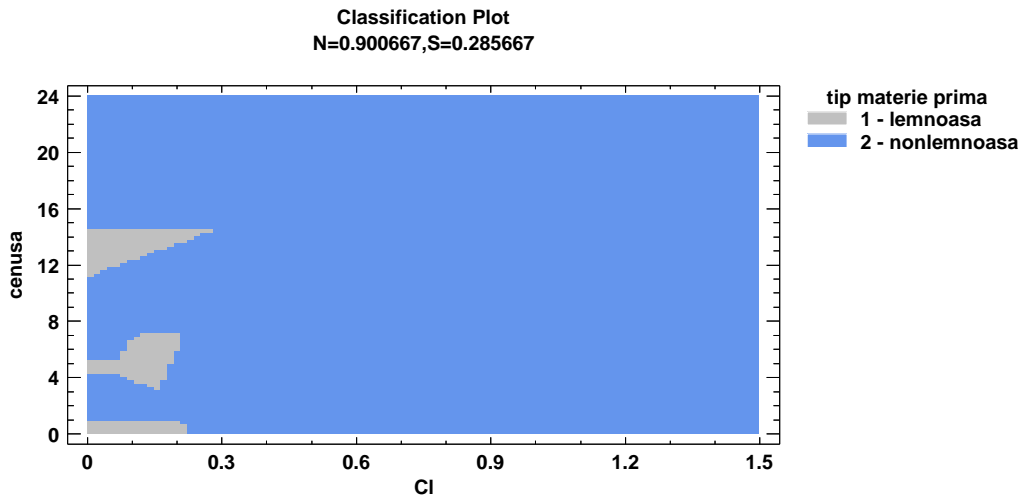


Figura 6.13 Diagramă clasificare

**6.3. Determinarea proprietăților utilizând RNA în asistarea producției (Matlab)**

Procesul de creare a unei rețele neuronale implică mai multe faze distincte, printre care inițializarea parametrilor rețelei, stabilirea conexiunilor între straturi și, în cele din urmă, antrenarea rețelei [70].

Inițializarea parametrilor rețelei presupune selecția datelor de intrare și ieșire dintr-o bază de date utilizată pentru construirea rețelei. Această bază de date este împărțită în trei seturi distincte: datele de antrenament (folosite pentru instruire), datele de validare (utilizate pentru testare) și datele de generalizare.

Setul de date de intrare a fost distribuit în mod aleatoriu în trei subgrupuri distincte: setul de testare, care a inclus 71,06% din intrări (adică 54 de intrări), setul de validare, care a cuprins 14,47% din intrări (adică 11 intrări), și setul de test, care a reprezentat tot 14,47% din intrări (adică 11 intrări).

Fiecare intrare este de tipul:

Q_inf	cenușa
-------	--------

iar fiecare ieșire va fi de tipul:

C	H	O	N	S	Cl
---	---	---	---	---	----

## POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE

O rețeaua neuronală este o funcție:

$$y = f(x)$$

unde  $y$  reprezintă un vector format din 6 elemente, corespunzătoare compoziției chimice elementale procentuale (C, H, O, N, S, Cl), în timp ce  $x$  este un vector compus din 2 elemente, reflectând valorile pentru puterea calorifică inferioară în MJ/kg și procentul de cenușă.

Arhitectura rețelei neuronale constă dintr-un strat de intrare cu 2 neuroni, două straturi ascunse cu 10, respectiv 6 neuroni, și un strat de ieșire cu 6 neuroni, conform ilustrației din figura 6.14.

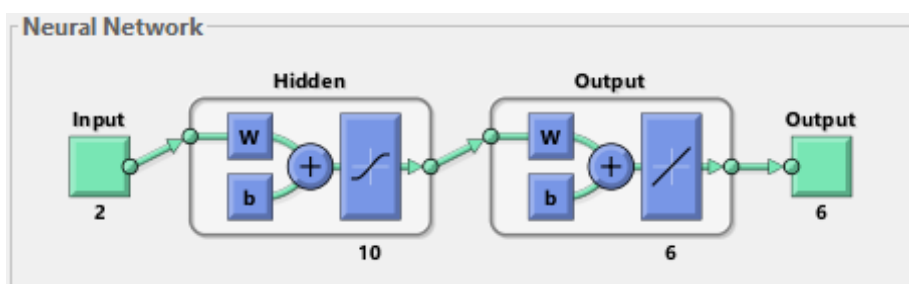


Figura 6.14 Structura RNA cu 2 intrări și 6 ieșiri

Cu această arhitectură am construit două rețele, una antrenată cu algoritmul Levenberg-Marquardt [71] (figura 6.15), iar cealaltă antrenată cu algoritmul de regularizare bayesiană [72] (figura 6.16). Detalii despre procesul de antrenare a rețelei corespunzătoare celor 2 algoritmi sunt sumarizate în figurile de mai jos.



**Determinarea** proprietăților utilizând RNA în asistarea producției (Matlab)

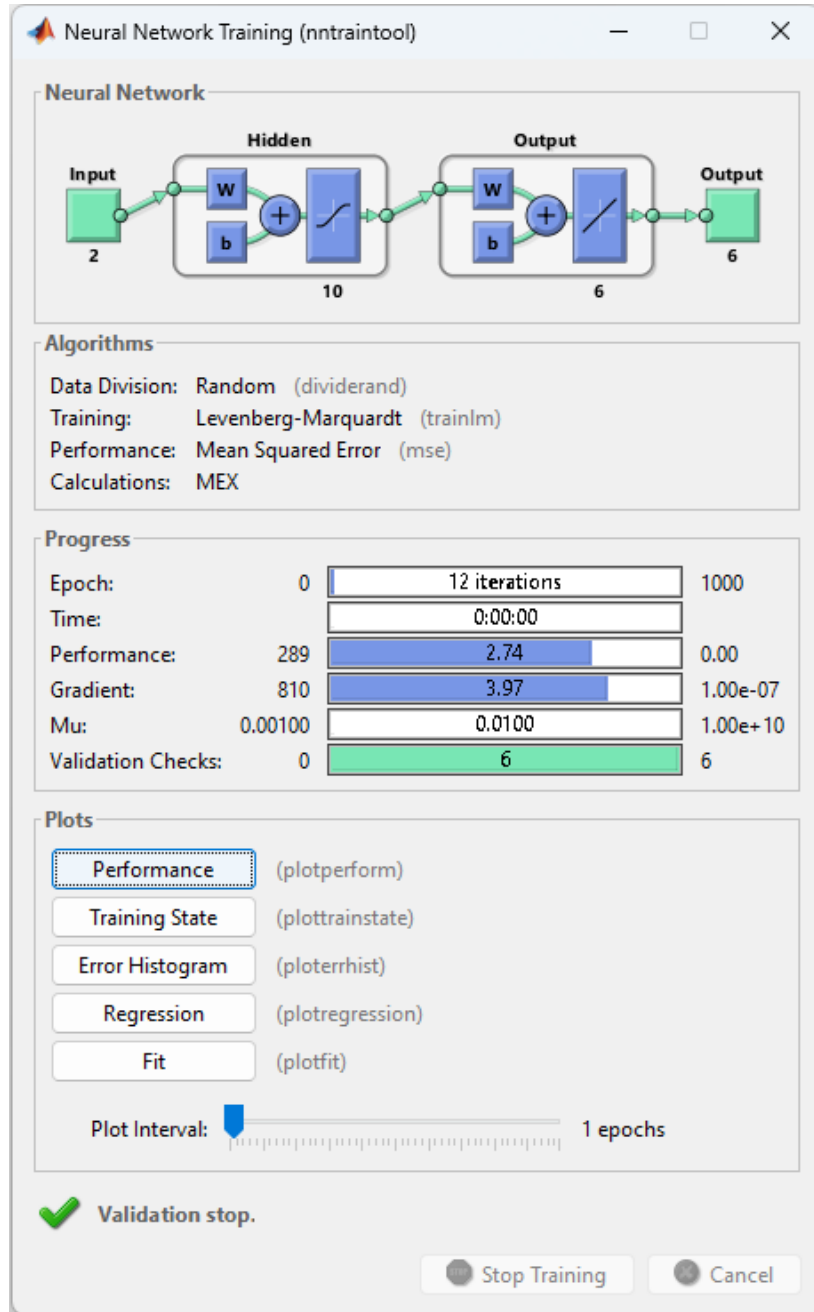


Figura 6.15 Detalii despre procesul de antrenare a rețelei

**POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE**



Figura 6.16 Antrenarea rețelei cu algoritmul de regularizare bayesiană

## Determinarea proprietăților utilizând RNA în asistarea producției (Matlab)

Corespunzător acestor metode de antrenare, a fost calculată de fiecare dată precizia rețelei.

Precizia rețelei folosind algoritmul Levenberg-Marquardt (figura 6.17) este de 99,581% (99,667% pentru faza de antrenare, 99,68% pentru faza de validare, 99,042% pentru faza de testare).

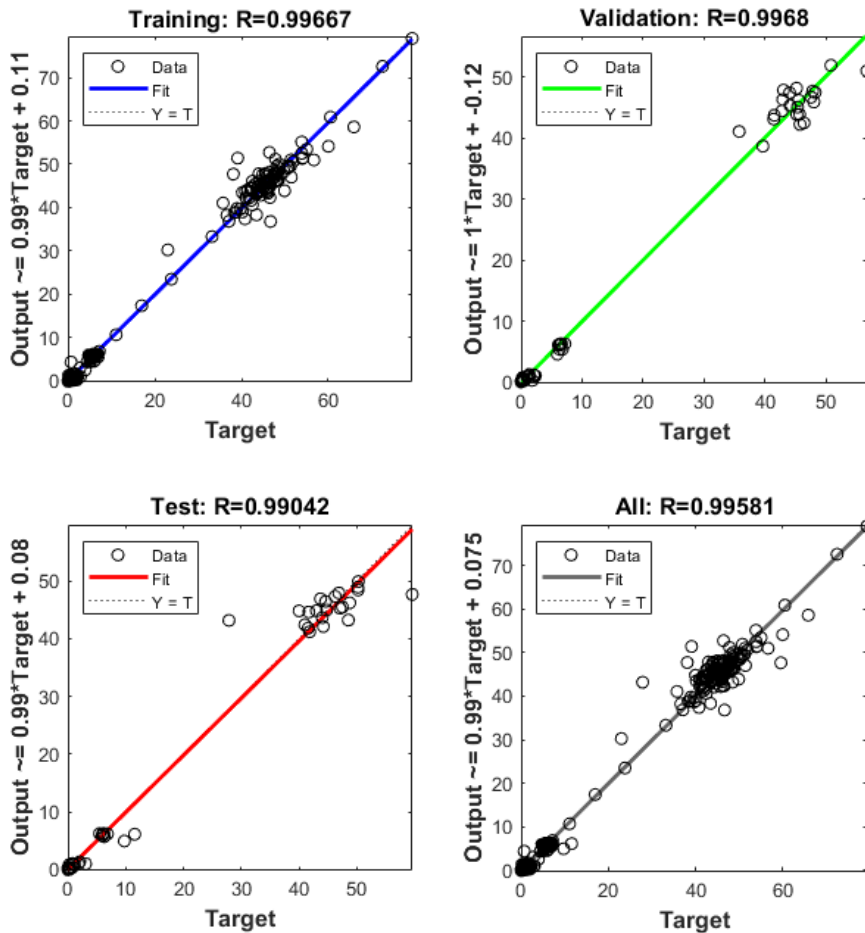


Figura 6.17 Precizia rețelei cu algoritmul Levenberg-Marquardt

Precizia rețelei folosind regularizarea bayesiană (figura 6.18) este de 97,878% (99,874% pentru antrenare, 90,393% pentru testare).

**POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE**

---

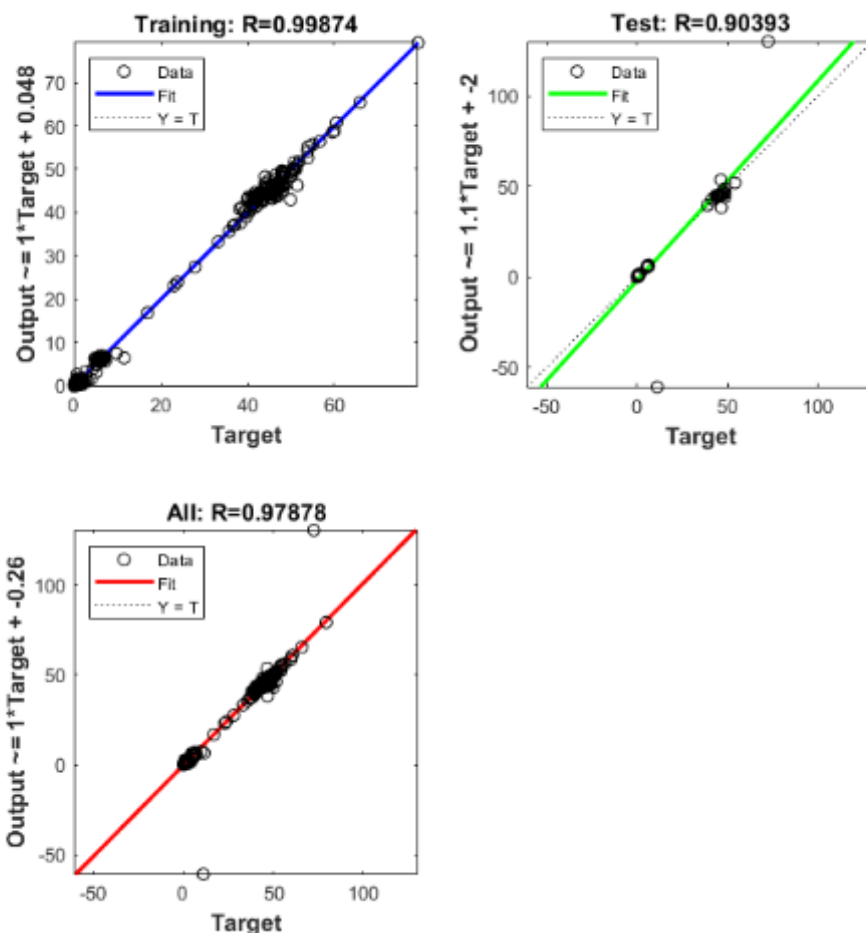


Figura 6.18 Precizia rețelei cu algoritmul de regularizare bayesiană

Astfel, cel mai precis mod de a determina compoziția elementală a unei materii prime cunoscând puterea sa calorică și cenușa reziduală este folosirea unei rețele neuronale antrenată cu algoritmul Levenberg-Marquardt. Aceasta are aplicații în determinarea noxelor emise de la arderea biomasei și încadrarea peleților din biomasă în clasele de calitate stabilite de standardele internaționale.

Există mai multe arhitecturi posibile care pot fi dezvoltate pe baza bazei de date cu tipuri de biomasă disponibile.

Baza de date conține seturi de date cu următoarea structură:

---

material	C	H	O	N	S	Cl	Preț	Q_inf	cenușă
----------	---	---	---	---	---	----	------	-------	--------

---

Folosind aceste date, este posibil să construim și să antrenăm alte tipuri de rețele neuronale care să poată extrage informații noi sau să completeze date

## Determinarea proprietăților utilizând RNA în asistarea producției (Matlab)

incomplete. În aceste rețele, ieșirile pot să reprezinte una sau mai multe caracteristici ale unui material, în timp ce intrările pot să includă, parțial sau integral, celelalte caracteristici.

Această rețea neuronală conectează puterea calorică și cenușa reziduală cu compoziția elementală a unui material. Desenul schematic al acestei structuri este ilustrat în figura 6.19.

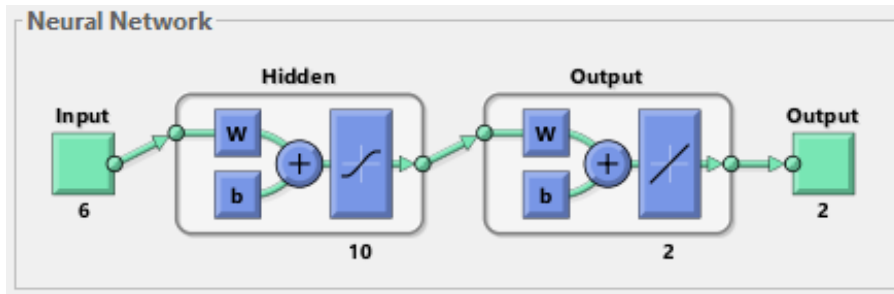


Figura 6.19 Structura RNA cu 6 intrări și 2 ieșiri

În cadrul acestei rețele neuronale, setul de date de intrare a fost împărțit aleatoriu în trei subgrupuri distincte: setul de testare (71,06% din intrări), setul de validare (14,47% din intrări) și setul de test (14,47% din intrări). Fiecare intrare din aceste seturi conține următoarele informații:

C	H	O	N	S	Cl
---	---	---	---	---	----

iar fiecare ieșire de tipul:

Q_min	cenușa
-------	--------

Cu această configurație, am dezvoltat două rețele neuronale diferite. Prima dintre ele a fost antrenată folosind algoritmul Levenberg-Marquardt (figura 6.20), în timp ce cea de-a doua a fost antrenată cu ajutorul tehnicii de regularizare bayesiană (figura 6.21).

**POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE**

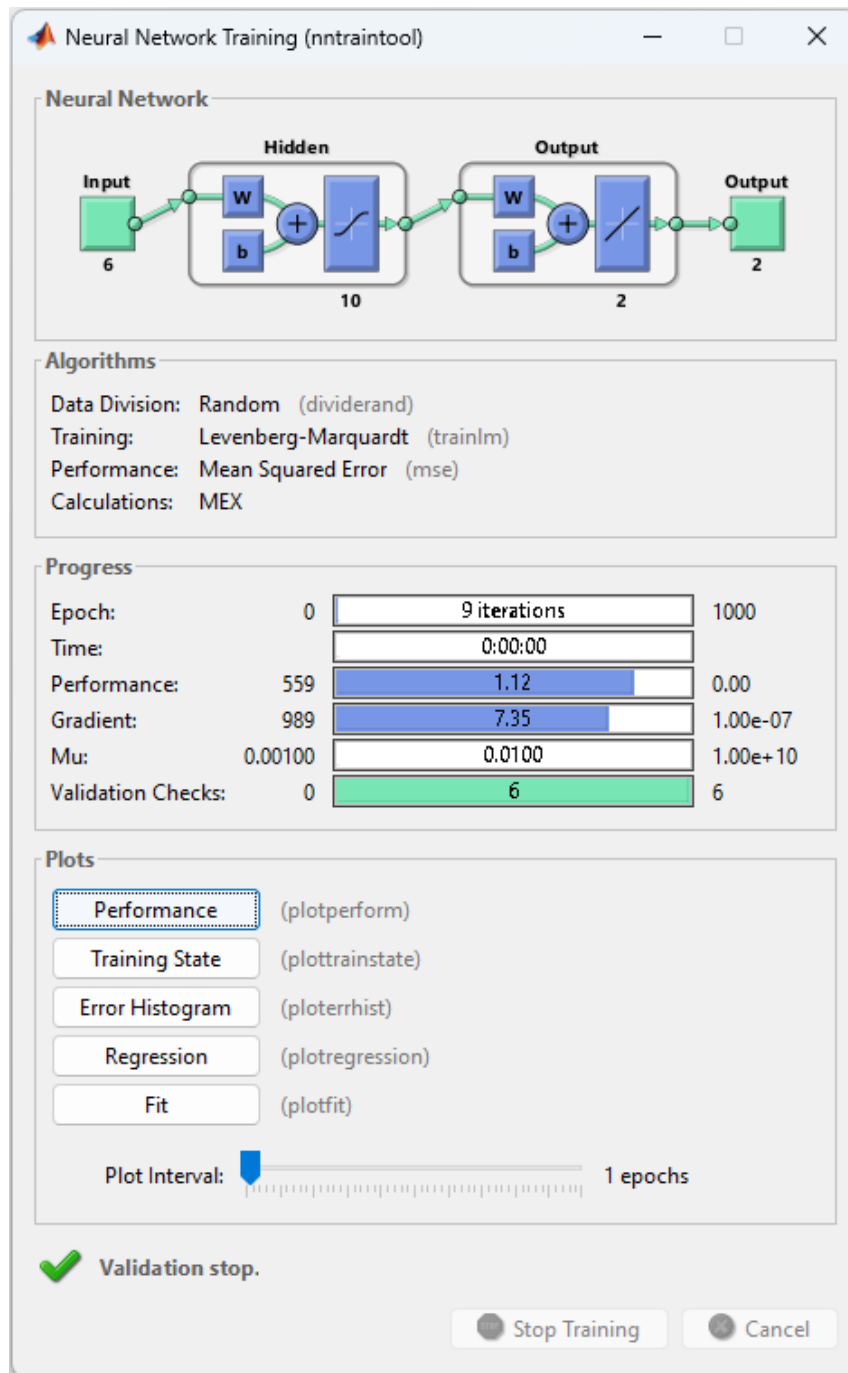


Figura 6.20 Antrenarea rețelei cu algoritmul Levenberg-Marquardt

**Determinarea** proprietăților utilizând RNA în asistarea producției (Matlab)

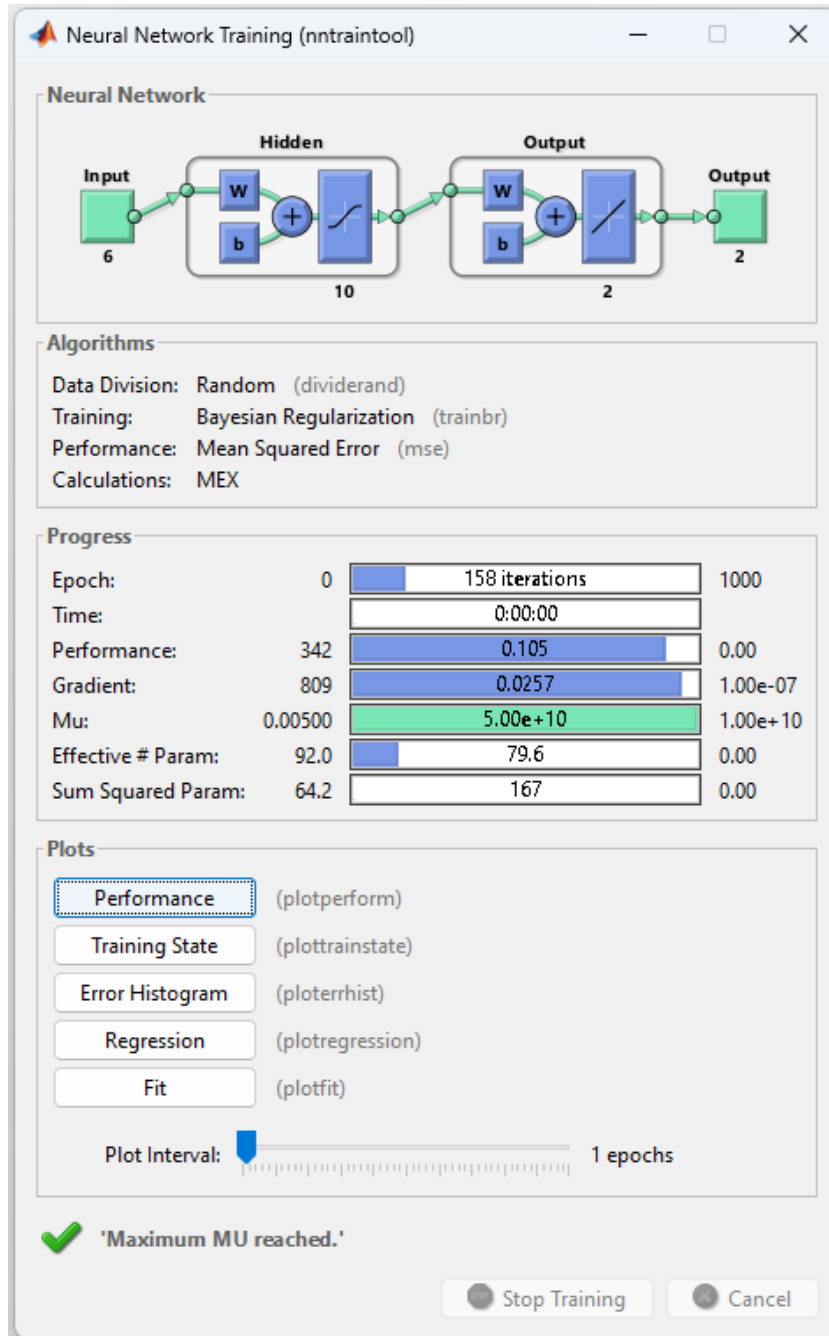


Figura 6.21 Antrenarea rețelei cu algoritmul de regularizare bayesiană

Corespunzător acestor metode de antrenare, a fost calculată de fiecare dată precizia rețelei.

**POSSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE**

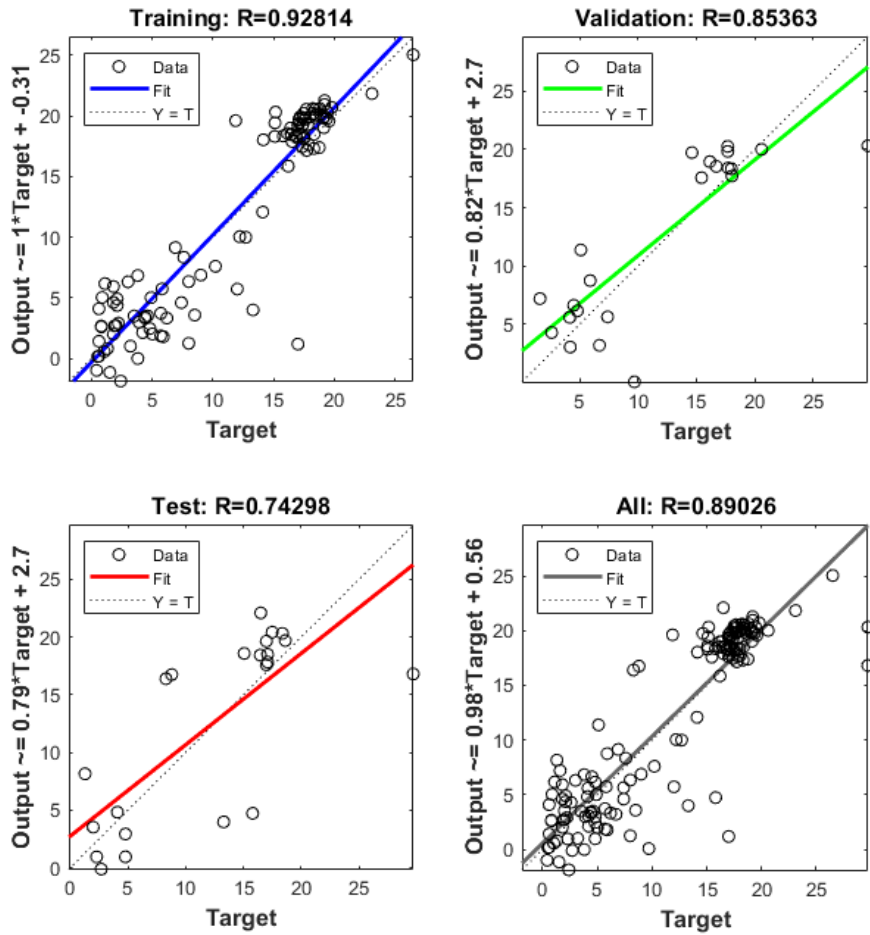


Figura 6.22 Precizia RNA antrenată folosind Levenberg-Marquardt

Precizia RNA antrenată folosind algoritmul Levenberg-Marquardt (figura 6.22) este de 89,026% (92,814% pentru faza de antrenare, 85363% pentru faza de validare, 74,298% pentru faza de testare).



## Concluzii parțiale

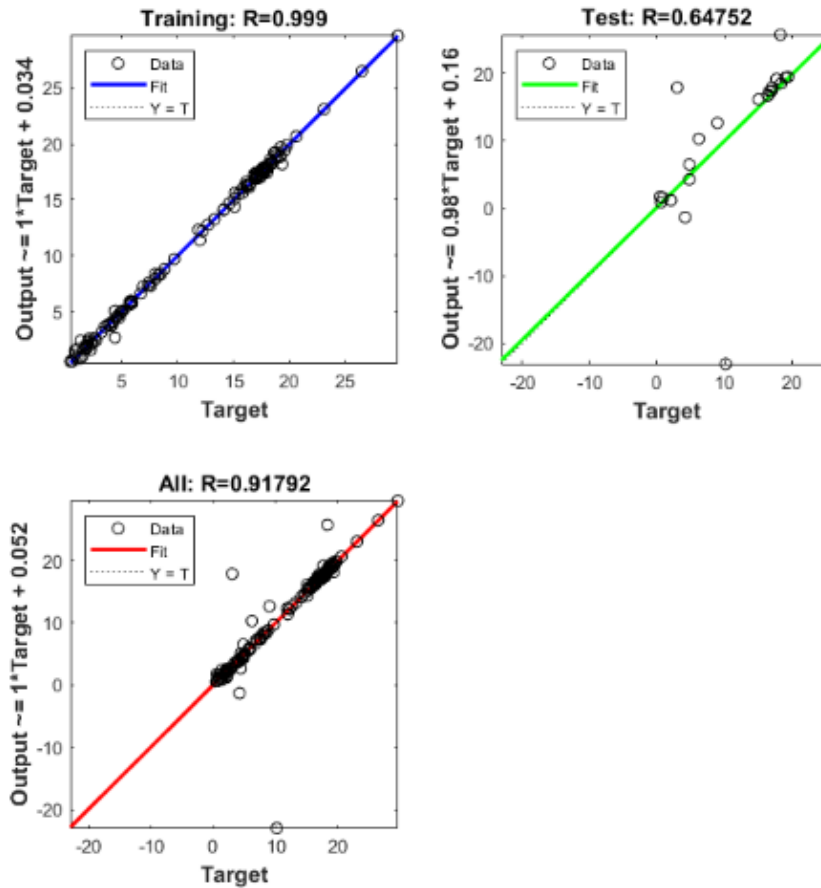


Figura 6.23 Precizia RNA antrenată folosind algoritmul de regularizare bayesiană

Precizia RNA antrenată folosind algoritmul de regularizare bayesiană este prezentată în figura 6.23 și este de 91,792% (99,9% pentru antrenare, 64,752% pentru testare).

Astfel, cel mai precis mod de a determina puterea calorifică și cenușa reziduală a unei materii prime pornind de la compoziția sa elementală este folosirea unei rețele neuronale antrenată cu un algoritm de regularizare bayesiană. Aceasta are aplicații în determinarea de formule mai precise pentru puterea calorifică decât formula lui Mendeleev sau formule derivate din aceasta.

## 6.4. Concluzii parțiale

În cadrul acestui capitol am folosit elemente de inteligență artificială pentru a asista producția de peleți-brichete.

## **POSIBILITATEA DE FOLOSIRE A MIJLOACELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN ASISTAREA PRODUCȚIEI DE PELEȚI-BRICHETE**

---

Puterea calorică și cenușa reziduală rezultată în urma arderii sunt printre cele mai la îndemână analize de efectuat pentru o anumită materie primă. Faptul că există o rețea neuronală care să clasifice materia primă ca lemnoasă sau nonlemnoasă în funcție de puterea calorică și cenușa reziduală care se doresc a fi obținute pentru produsele finite are un impact asupra configurării liniei de producție și a alegerii tocătoarelor adecvate tipului de materie primă de folosit.

De asemenea, au fost analizate rețele neuronale care să facă legătura dintre puterea calorică și cenușa reziduală pe de-o parte și compoziția elementală a materiei prime folosite pe de altă parte (atât legătura directă, cu 2 intrări și 6 ieșiri, cât și legătura inversă, cu 6 intrări și 2 ieșiri).

Aceste rețele neuronale cu precizie ridicată permit completarea datelor obținute experimental cu date obținute folosind simulări numerice cu metode ale inteligenței artificiale, în scopul determinării apriorice a proprietăților necesare șarjelor de peleți realizate.

Cunoașterea apriorică a proprietăților peleților și brichetelor permite adaptarea liniilor de producție în mod corespunzător, prin alegerea echipamentelor (tocătoarelor) adecvate pentru a optimiza producția.

## **7. CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVELE CERCETĂRII**

### **7.1. Concluzii**

Una din principalele concluzii ale tezei este că există numeroase modalități de optimizare a subsansamblelor unei linii de producție de peleți sau brichete, în special a ansamblelor de tăiere, cercetarea realizată demonstrând că se poate crea chiar și un utilaj hibrid care să taie și să mărunțească în același timp, reducând astfel numărul de subsansamble ce necesită să fie achiziționate, dar și consumuri semnificativ reduse de energie în procesul de producție.

De asemenea, există o serie de modalități de optimizare ale întregii linii de producție, aceste modalități au fost prezentate, dezvoltate și chiar implementate în fabricile de peleți de la Cenei. Prin utilizarea teoriei grafurilor pentru realizarea propunerilor de optimizare a fost redus semnificativ numărul de încercări necesar pentru a obține rezultate valide; astfel se demonstrează că utilizând modele matematice dar și soluții inovatoare se pot reduce semnificativ costurile de optimizare a producției și a produselor.

Procesele de simulare au un rol indispensabil în optimizarea producției, deoarece nu doar costurile sunt reduse, ci și timpul de implementare și înțelegere al optimizărilor.

În procesul de producție este mereu necesară găsirea de noi metode inovative de optimizare, pentru păstrarea competitivității pe piață, de aceea o deosebită importanță ar avea-o crearea de parteneriate solide între mediul academic și mediul productiv, o variantă de parteneriat fiind înființarea clusterelor de inovare.

Teza prezintă o serie de rezultate și opțiuni de optimizare care sunt deja implementate în fabricile unde au fost realizate testele, ceea ce denotă validarea acestor rezultate.

Validitatea cercetării și a rezultatelor tezei este confirmată și de implementarea ideilor în două proiecte finanțate cu finanțare nerambursabilă UE prin programul POC 2014-2021.

### **7.2. Contribuții personale**

#### **7.2.1. Contribuții personale la nivel teoretic**

Contribuțiile teoretice sunt:

- realizarea unor propuneri de optimizare a liniei de producție folosind teoria grafurilor;
- realizarea unei rețele neuronale;
- realizarea unor propuneri de optimizare a rețetelor folosind inteligența artificială.

### **7.2.2. Contribuții personale la nivel experimental**

Contribuțiile experimentale sunt:

- testarea versiunii numărul 2 a tocătorului de paie la fabrica de utilaje de producție peleți și brichete din județul Bihor;
- realizarea modificărilor asupra liniei de producție conform teoriei grafurilor;
- realizarea unor propuneri de optimizare a rețetelor folosind inteligența artificială;
- realizarea, testarea și verificarea a diverse rețete de peleți de încălzire atât în fabricile de la Cenei cât și în laboratoarele UPT.

### **7.2.3. Contribuții personale aplicabile la nivel industrial**

Contribuțiile aplicabile industrial sunt:

- posibilitatea de optimizare a ansamblului de tăiere al tocătorului prin accesarea de fonduri europene nerambursabile;
- posibilitatea de optimizare a liniei de producție prin accesarea de fonduri europene nerambursabile;
- posibilitatea de realizare a unor peleți din deșeuri lemnoase cu utilitate pentru animalele de companie.

## **7.3. Perspective de dezvoltare ulterioară**

Având în vedere experiența acumulată pe parcursul realizării cercetărilor pentru elaborarea tezei, dar și a experienței acumulate lucrând ca cercetător în implementarea unor proiecte finanțate cu fonduri nerambursabile UE, consider că pe baza datelor și a rezultatelor obținute în teză se poate elabora și transmite cel puțin o cerere de finanțare pentru obținerea de fonduri nerambursabile, fonduri care să permită aprofundarea cercetării.

Alte direcții identificate sunt:

- Optimizarea continuă a liniei de producție prin achiziționare de noi utilaje mai moderne;
- Optimizarea utilajelor pentru a reduce consumul de energie, dar în același timp pentru a crește productivitatea;
- Realizarea unor rețete de peleți create pentru nevoile animalelor de companie.

## LISTA DE LUCRĂRI PROPRII

### Conferințe indexate ISI

- **SUTA, A.**, TOMOIAGA, I., Dimcea, I., Maris, Ș. A., Balint, R., Evelyne, P. O. P., & Slavici, T. (2021). Innovative Results Concerning Optimized Recipes For Heat Pellets. *ACTUAL TASKS ON AGRICULTURAL ENGINEERING*, 513. WOS:000664133000054
- TOMOIAGA, I., **SUTA, A.**, DIMCEA, I., SLAVICI, T., BALINT, R., NEDELICU, F., ... & SIRBU, C. (2021). Artificial Intelligence Methods For Sustainable Agribusiness Involving Pellets. *ACTUAL TASKS ON AGRICULTURAL ENGINEERING*, 501. WOS:000664133000053

### Lucrări și conferințe indexate BDI

- BORDEASU, I., GHERA, C., ISTRATE, D., SĂLCIANU, L., GHIBAN, B., BĂZĂVAN, D.V., MICU, L.M., STROIȚĂ, D.C., **SUTA, A.**, TOMOIAGĂ, I. and LUCA, A.N., (2021). Resistance and Behavior to Cavitation Erosion of Semi-Finished Aluminum Alloy 5083. *Hidraulica*, (4), pp.17-24. - Ulrichsweb
- MARIS, Ș. A., SUTA, A., MUSCAI, C. M., & MARIS, S. (2022) Automatic detection of ripe fruits with Python—an interactive learning activity with cross-disciplinary approach. *International Conference on Virtual Learning*, ISSN 2971-9291, ISSN-L 1844-8933, vol. 17, pp. 155-165. - Scopus

## BIBLIOGRAFIE

- [1] A. Raila, V. Bartusevicius și H. Novosinskas, „Evaluation of straw pellet production process,” *Engineering for rural development*, pp. 290-294, 2012.
- [2] D. Nilsson, S. Bernesson și P. Hansson, „Pellet production from agricultural raw materials–A systems study.,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, pp. 679-689, 2011.
- [3] M. Căproiu, I. Chelemen, C. Ciubotaru, T. Ghinea și A. Iancu, *Mașini și instalații zootehnice*, București: Editura Didactică și Pedagogică, 1982.
- [4] E. Christoforou și P. Fokaidis, „Solid biofuels in trading form in global markets,” în *Advances in Solid Biofuels*, Springer, 2019, pp. 57-68.
- [5] K. Aarseth și E. Prestløyken, „Mechanical properties of feed pellets: Weibull analysis,” *Biosystems engineering*, vol. 84, nr. 3, pp. 349-361, 2003.
- [6] R. Ata, „Artificial neural networks applications in wind energy systems: a review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 534-562, 2015.
- [7] D. P. Kothari, R. Ranjan și K. C. Singal, *Renewable energy sources and emerging technologies*, 2021.
- [8] A. V. Herzog, T. E. Lipman și D. M. Kammen, „Renewable energy sources,” *Encyclopedia of life support systems (EOLSS). Forerunner Volume-Perspectives and overview of life support systems and sustainable development*, p. 76, 2001.
- [9] A. Qazi, F. Hussain, N. A. Rahim, G. Hardaker, D. Alghazzawi, K. Shaban și K. Haruna, „Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources, technologies, and public opinions,” *IEEE access*, vol. 7, pp. 63837-63851, 2019.
- [10] T. Bridgwater, „Biomass for energy,” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 86, nr. 12, pp. 1755-1768, 2006.
- [11] Ministerul Economiei, Energiei și Mediului de Afaceri, „Strategia energetică a României 2020-2030, cu perspectiva anului 2050,” 2020. [Interactiv]. Available: [http://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/Strategia%20Energetica%20a%20Romaniei\\_aug%202020.pdf](http://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/Strategia%20Energetica%20a%20Romaniei_aug%202020.pdf). [Accesat 22 septembrie 2022].
- [12] B. Flach, S. Lieberz și A. Rossetti, „EU Biofuels Annual 2017,” 2017.
- [13] R. Picchio, F. Latterini, R. Venanzi, W. Stefanoni, A. Suardi, D. Tocci și L. Pari, „Pellet production from woody and non-woody feedstocks: A review on biomass quality evaluation,” *Energies*, vol. 13, nr. 11, p. 2937, 2020.
- [14] D. Thrän, K. Schaubach, D. Peetz, M. Junginger, T. Mai-Moulin, F. Schipfer, O. Olsson și P. Lamers, „The dynamics of the global wood pellet markets and trade–key regions, developments and impact factors,” *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, vol. 13, nr. 2, pp. 267-280, 2019.
- [15] E. Wach și M. Bastian, „Final report on producers, traders and consumers of mixed biomass pellets,” Baltic Energy Conservation Agency, 2009.

- [16] G. Salvendy, Ed., *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*, John Wiley & Sons, 2001.
- [17] K. H. Grote și H. Hefazi, Ed., *Springer handbook of mechanical engineering.*, Springer Nature, 2021.
- [18] DEXONLINE, „optimizare - definiție și paradigmă,” 22 08 2020. [Interactiv]. Available: <https://dexonline.ro/definitie/%20optimizare>.
- [19] A. A. Rastegari, A. N. Yadav și A. Gupta, Ed., *Prospects of renewable bioprocessing in future energy systems*, Cham: Springer International Publishing, 2019.
- [20] D. Kour, K. Rana, N. Yadav, A. Yadav, A. Rastegari, C. Singh, P. Negi, K. Singh și A. Saxena, „Technologies for biofuel production: current development, challenges, and future prospects,” *Prospects of renewable bioprocessing in future energy systems*, pp. 1-50, 2019.
- [21] M. Rodionova, R. Poudyal, I. Tiwari, R. Voloshin, S. Zharmukhamedov, H. Nam, B. Zayadan, B. Bruce, H. Hou și S. Allakhverdiev, „Biofuel production: challenges and opportunities,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, nr. 12, pp. 8450-8461, 2017.
- [22] A. Suta, I. Tomoiaga, I. Dimcea, S.-A. Maris, R. Balint, E. Pop și T. Slavici, „INNOVATIVE RESULTS CONCERNING OPTIMIZED RECIPES FOR HEAT PELLETS,” în *48th Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering" Opatija, Croatia*, 2021.
- [23] P. S. Deora, Y. Verma, R. A. Muhal, C. Goswami și T. Singh, „Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 48, pp. 1178-1184, 2022.
- [24] D. Thrän, D. Peetz, K. Schaubach, S. Backéus, L. Benedetti și L. Bruce, *Global wood pellet industry and trade study*, IEA Bioenergy Task, 2017.
- [25] A. Pantaleo, M. Villarini, A. Colantoni, M. Carlini, F. Santoro și S. Rajabi Hamedani, „Techno-economic modeling of biomass pellet routes: Feasibility in Italy,” *Energies*, vol. 13, nr. 7, p. 1636, 2020.
- [26] E. Thiffault, J. Barrette, P. Blanchet, Q. Nguyen și K. Adjalle, „Optimizing quality of wood pellets made of hardwood processing residues,” *Forests*, vol. 7, 2019.
- [27] L. Nunes, J. Matias și J. Catalao, „Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal,” *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 1011-1016, 2016.
- [28] I. Obernberger și G. Thek, *The Pellet Handbook The Production and Thermal Utilisation of Pellets*, Earthscan, 2010.
- [29] I. Kiss, V. Alexa și J. Sárosi, „About the wood sawdust - one of the most important renewable energy sources,” *Annals Of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal Of Engineering*, vol. 14, nr. 1, 2016.
- [30] M. Ståhl, J. Berghel și K. Granström, „Improvement of wood fuel pellet quality using sustainable sugar additives,” *Bioresources*, vol. 11, nr. 2, 2016.
- [31] CEN (European Committee for Standardization), EN 17225-1. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 1 – General requirements, Mai 2014.
- [32] CEN (European Committee for Standardization), EN 17225-2. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 2 – Graded wood pellets, Mai 2014.

## BIBLIOGRAFIE

- [33] CEN (European Committee for Standardization), EN 17225-6. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 6 – Graded non-woody pellets, Mai 2014.
- [34] CEN (European Committee for Standardization), EN 14961. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 1 – General requirements, January 2010.
- [35] CEN (European Committee for Standardization), EN 14961-4 Solid Biofuels - Fuel Specifications And Classes - Part 4: Wood Chips For Non-Industrial Use, January 2010.
- [36] S.-Ș. Mariș, Contribuții la optimizarea proceselor de fabricare a peleișilor și brichetelor folosind elemente de inteligență artificială, statistică și cercetări operaționale., Universitatea Politehnica din Timișoara, Facultatea de Mecanică, 2022.
- [37] K. Von Bergen, „Maintaining forage quality in haying systems,” *roc. 27th Annu. South Carolina Cattlemen's Conf. and 1978 Am. Forage Grassl. Conf., Raleigh, NC. Am. Forage Grassl. Counc., Georgetown, TX,,* p. p 50, 1978.
- [38] J. Beniak, J. Ondruška și V. Čačko, „Design process of energy effective shredding machines for biomass treatment.,” *Acta Polytechnica 52.5*, 2012.
- [39] A. Kronbergs, E. Kronbergs, E. Repsa și M. Smits, „BALE SHREDDER EFFICIENCY DEPENDENCE ON SETTINGS,” *12th International Scientific Conference: Engineering for rural development*, pp. pp. 477-481, 2013.
- [40] O. Fisher, N. Watson, L. Porcu, D. Bacon, M. Rigley și R. L. Gomes, „Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route,” *Journal of manufacturing systems*, pp. 53-68, 2018.
- [41] J. Siderska și K. Jadaan, „Cloud manufacturing: a service-oriented manufacturing paradigm. A review paper.,” *Engineering Management in Production and Services 10*, nr. 1, pp. 22-31, 2018.
- [42] M. Moghaddam, M. N. Cadavid, C. R. Kenley și A. V. Deshmukh, „Reference architectures for smart manufacturing: A critical review,” *Journal of manufacturing systems*, vol. 49, pp. 215-225, 2018.
- [43] J. Lee, B. Bagheri și C. Jin, „Introduction to cyber manufacturing,” *Manufacturing Letters 8*, pp. 11-15, 2016.
- [44] M. G. Rekoﬀ, „On reverse engineering,” *Transactions on systems, man, and cybernetics 2*, pp. 244-252, 1985.
- [45] A. Kumar, P. Kumar Jain și P. Pathak, Reverse engineering in product manufacturing: an overview., 2013.
- [46] G. Beier, S. Niehoff și B. Xue, „More sustainability in industry through industrial internet of things?,” *Applied sciences, 8(2)*, 2018.
- [47] M. Ghobakhloo, „Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability,” *Journal of cleaner production*, p. 252, 2020.
- [48] M. Ghobakhloo, „The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0.,” *Journal of manufacturing technology management*, pp. 910-936, 2018.
- [49] M. Hermann, T. Pentek și B. Otto, „Design principles for industrie 4.0 scenarios,” *49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*, pp. pp. 3928-3937, 2016.



- [50] C. Toro, I. Barandiaran, D. Oyarzun, D. Stricker, R. De Amicis, ... și I. Vallarino, „Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet,” *IEEE computer graphics and applications* 35, no. 2, pp. 26-40, 2015.
- [51] L. Sommer, „Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?,” *Journal of Industrial Engineering and Management* 8, no. 5, pp. 1512-1532, 2015.
- [52] S. Yin și O. Kaynak, „Big data for modern industry: challenges and trends [point of view],” *Proceedings of the IEEE*, pp. 143-146, 2015.
- [53] N. Keijzer și S. Klingebiel, „Realising the data revolution for sustainable development: Towards capacity development 4.0.,” *Partnership in Statistics for Development in the 21st Century Discussion Paper*, 2017.
- [54] M. Rübmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus, P. Engel și M. Harnisch, „Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries,” *Boston consulting group* 9, no. 1, pp. 54-89, 2015.
- [55] „<https://agrobiobrichet.ro/linie-peletizare-biomasa/linie-productie-peleti-500-800-kg-ora-matrita-plana.html>,” [Interactiv].
- [56] D. Chen, R. Batson și Y. Dang, *Applied integer programming: modeling and solution*, John Wiley & Sons, 2011.
- [57] N. Deo, „Graph theory with applications to engineering and computer science,” *Courier Dover Publications*, 2017.
- [58] J. Evans, „Optimization algorithms for networks and graphs,” *Routledge*, 2017.
- [59] TITUS INDUSTRIES, *Proiectul "INOvări și optimizări economice și funcționale în producția industrială de MATeriale pentru energie termica" - INOMAT, finanțat prin Programul Operațional "Competitivitate", cod SMIS 119412 - cererea de finanțare*.
- [60] L. Ren, L. Zhang, L. Wang, F. Tao și X. Chai, „Cloud manufacturing: key characteristics and applications,” *International journal of computer integrated manufacturing*, pp. pp.501-515., 2017.
- [61] E.-F. Cicală, *Metode de prelucrare statistică a datelor experimentale*, Timișoara: Editura Politehnica, 1999.
- [62] I. Estiati, F. B. Freire, J. T. Freire, R. Aguado și M. Olazar, „Fitting performance of artificial neural networks and empirical correlations to estimate higher heating values of biomass,” *Fuel*, vol. 180, pp. 377-383, 2016.
- [63] S. Maris, P. Nenu, S. Maris și T. Slavici, „Estimating the calorific value of pellets from different blends of biomass,” în *Actual Tasks in Agricultural Engineering (Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering)*, Opatija, Croatia, 2017.
- [64] CEN (European Committee for Standardization), CEN (European Committee for Standardization). (2012). CSN EN 15234-2. Solid biofuels - Fuel quality assurance - Part 2: Wood pellets for non-industrial use, 2012.
- [65] Statgraphics, „Statgraphics Centurion Overview,” 2016. [Interactiv]. Available: [http://www.statlets.com/statgraphics\\_centurion.htm](http://www.statlets.com/statgraphics_centurion.htm). [Accesat 14 11 2020].

## BIBLIOGRAFIE

---

- [66] S. Maris, T. Slavici, P. Nenu și L. Baci, „Artificial intelligence as a decision-making tool in planning the research,” *Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, vol. 8, nr. 3, pp. 69-76, 2017.
- [67] G. A. M. Meiring și H. C. Myburgh, „A review of intelligent driving style analysis systems and related artificial intelligence algorithms,” *Sensors*, vol. 15, pp. 30653-82, 2015.
- [68] B. Müller, J. Reinhardt și M. Strickland, *Neural networks: an introduction.*, Springer Science & Business Media, 1995.
- [69] Statgraphics, „Design of Experiments,” 2009. [Interactiv]. Available: <https://www.statgraphics.com/design-of-experiments>.
- [70] MathWorks, „Matlab programming fundamentals,” 2017. [Interactiv]. Available: [https://in.mathworks.com/help/pdf\\_doc/matlab/matlab\\_prog.pdf](https://in.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/matlab_prog.pdf).
- [71] D. Baptista și M. Dias, „Comparing different implementations for the Levenberg-Marquardt algorithm,” *CONTROLO*, 2012.
- [72] R. van de Schoot, S. Depaoli, R. King, B. Kramer, K. Märtens, M. Tadesse, M. Vannucci, A. Gelman, D. Veen, J. Willemsen și C. Yau, „Bayesian statistics and modelling,” *Nature Reviews Methods Primers*, vol. 1, nr. 1, p. 1, 2021.

## ANEXE

### Anexa 1 Standarde pentru peleți și brichete din lemn

Tabel A1.1. Standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru uz non-industrial

Caracteristica	UM	Enplus A1	Enplus A2	Enplus B
Diametru minim	mm	6±1	6±1	6±1
Diametru maxim	mm	8±1	8±1	8±1
Lungime minimă	mm	3,15	3,15	3,15
Lungime maximă	mm	40	40	40
Umiditate maximă	% masic (baza umedă, la primire)	10	10	10
Putere calorifică netă, Q	MJ/kg	16,56	16,56	16,56
Densitate de vrac minimă	kg/m <sup>3</sup> (la primire)	600	600	600
Densitate de vrac maximă	kg/m <sup>3</sup> (la primire)	750	750	750
Aditivi maxim	% masic (baza uscată)	2	2	2
Azot maxim, N	% masic (baza uscată)	0,3	0,5	1
Sulf maxim, S	% masic (baza uscată)	0,04	0,05	0,05
Clor maxim, Cl	% masic (baza uscată)	0,02	0,02	0,03
Cenușa reziduală maximă	% masic (baza uscată)	0,7	1,2	2
Temperatura de topire a cenușii	°C	1200	1100	1100
Arsenic maxim, As	mg/kg (baza uscată)	1	1	1
Cadmiu maxim, Cd	mg/kg (baza uscată)	0,5	0,5	0,5
Crom maxim, Cr	mg/kg (baza uscată)	10	10	10
Cupru maxim, Cu	mg/kg (baza uscată)	10	10	10
Plumb maxim, Pb	mg/kg (baza uscată)	10	10	10
Mercur maxim, Hg	mg/kg (baza uscată)	0,1	0,1	0,1
Nichel maxim, Ni	mg/kg (baza uscată)	10	10	10

Zinc maxim, Zn	mg/kg (baza uscată)	100	100	100
Materie primă (origine)		Trunchiuri fără coajă  Reziduuri lemnoase netratate chimic	Copaci fără rădăcini  Trunchiuri fără coajă  Deșeuri din exploatații forestiere  Reziduuri lemnoase netratate chimic	Păduri, plantații și lemn neprelucrat  Produce secundare și reziduuri din industria de prelucrare a lemnului  Lemn folosit netratat chimic

**Tabel A1.2.** Standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru uz industrial

<b>Caracteristica</b>	<b>um</b>	<b>I 1</b>	<b>I 2</b>	<b>I 3</b>
Diametru minim	mm	6±1	6±1	6±1
Diametru maxim	mm	8±1	10±1	12±1
Lungime minimă	mm	3,15	3,15	3,15
Lungime maximă	mm	40	40	40
Umiditate maximă	% masic (baza umedă, la primire)	10	10	10
Putere calorică netă, Q	MJ/kg	16,50	16,50	16,50
Densitate de vrac minimă	kg/m <sup>3</sup> (la primire)	600	600	600
Densitate de vrac maximă	kg/m <sup>3</sup> (la primire)	-	-	-
Aditivi maxim	% masic (baza uscată)	3	3	3
Azot maxim, N	% masic (baza uscată)	0,3	0,3	0,6
Sulf maxim, S	% masic (baza uscată)	0,05	0,05	0,05
Clor maxim, Cl	% masic (baza uscată)	0,03	0,05	0,1
Cenușa reziduală maximă	% masic (baza uscată)	1	1,5	3
Temperatura de topire a cenușii	°C	-	-	-
Arsenic maxim, As	mg/kg (baza uscată)	2	2	2

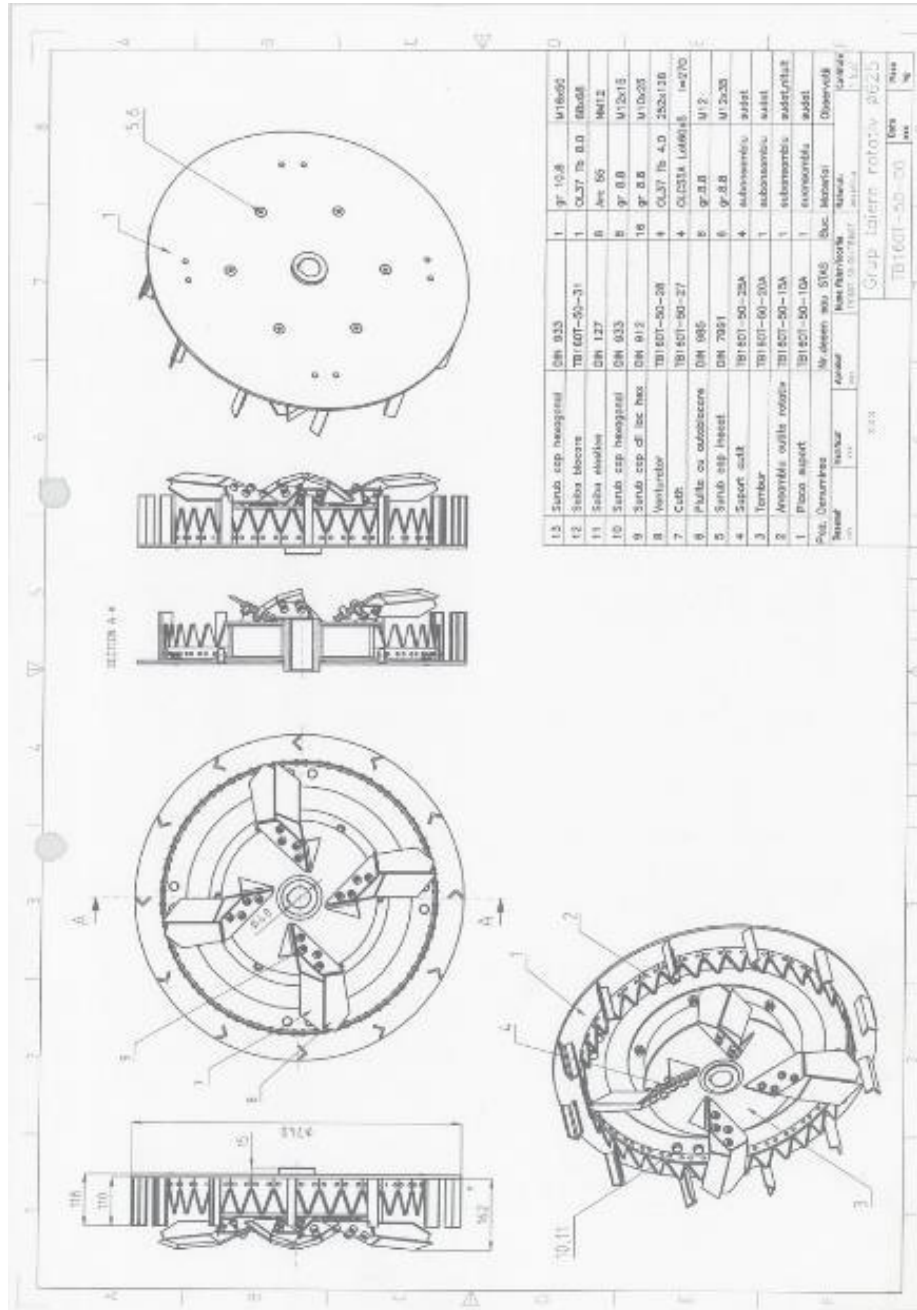
Cadmiu maxim, Cd	mg/kg (baza uscată)	1	1	1
Crom maxim, Cr	mg/kg (baza uscată)	15	15	15
Cupru maxim, Cu	mg/kg (baza uscată)	20	20	20
Plumb maxim, Pb	mg/kg (baza uscată)	20	20	20
Mercur maxim, Hg	mg/kg (baza uscată)	0,1	0,1	0,1
Nichel maxim, Ni	mg/kg (baza uscată)	-	-	-
Zinc maxim, Zn	mg/kg (baza uscată)	200	200	200
Materie primă (origine)		Păduri, plantații și lemn neprelucrat  Reziduuri lemnoase netratate chimic	Păduri, plantații și lemn neprelucrat  Reziduuri lemnoase netratate chimic	Păduri, plantații și lemn neprelucrat  Produce secundare și reziduuri din industria de prelucrare a lemnului  Lemn folosit netratat chimic

**Tabel A1.3.** Standarde pentru peleți și brichete din biomasă non-lemnoasă și blenduri de biomasă

<b>Caracteristica</b>	<b>um</b>	<b>MBP A</b>	<b>MBP B</b>
Diametru minim	mm	6±1	6±1
Diametru maxim	mm	25±1	25±1
Lungime minimă	mm	3,15	3,15
Lungime maximă	mm	40	40
Umiditate maximă	% masic (baza umedă, la primire)	12	15
Putere calorică netă, Q	MJ/kg	14,50	14,50
Densitate de vrac minimă	kg/m <sup>3</sup> (la primire)	600	600
Densitate de vrac maximă	kg/m <sup>3</sup> (la primire)	-	-
Aditivi maxim	% masic (baza uscată)	5	5
Azot maxim, N	% masic (baza uscată)	1,5	2

Sulf maxim, S	% masic (baza uscată)	0,2	0,3
Clor maxim, Cl	% masic (baza uscată)	0,1	0,3
Cenușa reziduală maximă	% masic (baza uscată)	6	10
Temperatura de topire a cenușii	°C	-	-
Arsenic maxim, As	mg/kg (baza uscată)	1	1
Cadmiu maxim, Cd	mg/kg (baza uscată)	0,5	0,5
Crom maxim, Cr	mg/kg (baza uscată)	50	50
Cupru maxim, Cu	mg/kg (baza uscată)	20	20
Plumb maxim, Pb	mg/kg (baza uscată)	10	10
Mercur maxim, Hg	mg/kg (baza uscată)	0,1	0,1
Nichel maxim, Ni	mg/kg (baza uscată)	10	10
Zinc maxim, Zn	mg/kg (baza uscată)	100	100
Materie primă (origine)		Biomasă ierboasă Fructe Biomasă acvatică Blenduri și mixturi	Biomasă ierboasă Fructe Biomasă acvatică Blenduri și mixturi

## Anexa 2 Planșă proiectare ansamblu tăiere tocător



### Anexa 3 Planșă cuțit ansamblu de tăiere tocător

