

# **Contribuții la optimizarea proceselor de fabricare a peleților și brichetelor folosind elemente de inteligență artificială, statistică și cercetări operaționale**

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

**Mariș Simina-Ștefania**

Conducător științific:	prof.univ.dr.ing. Titus Slavici
Referenți științifici:	prof.univ.dr. ....
	prof.univ.dr.ing. ....
	conf.univ.dr.ing. ....

Ziua susținerii tezei: .....



## **CUVÂNT ÎNAINTE**

Mariș Simina-Ștefania

**Contribuții la optimizarea proceselor de fabricare a peletilor și brichetelor folosind elemente de inteligență artificială, statistică și cercetări operaționale**

## CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE.....	3
CUPRINS .....	5
LISTA TABELELOR.....	8
LISTA FIGURILOR .....	10
INTRODUCERE.....	12
Importanța și necesitatea temei alese .....	12
Obiectivele cercetării.....	14
Structura lucrării .....	14
1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN TEMATICA TEZEI PROPUSE.....	17
1.1 Tendințe și date de referință în producția de biocombustibili regenerabili solizi .....	17
1.1.1 Tendințe actuale privind folosirea tehnicilor de programare liniară în producție .....	23
1.1.2 Tendințe actuale privind aplicațiile rețelelor neuronale.....	24
1.1.3 Tendințe actuale privind transferurile tehnologice și importanța acestora pentru inovare.....	25
1.2 Ancorarea cercetării în stadiul actual al cunoașterii .....	26
2 CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA ARHITECTURII UNEI LINII TEHNOLOGICE PENTRU PRODUCȚIA DE PELEȚI ȘI BRICHETE .....	29
2.1 Conceptul clasic al liniilor tehnologice pentru producția de peleți și brichete .....	29
2.2 Schemă de optimizare a liniei tehnologice pentru peleți .....	41
2.3 Soluții de finanțare a dezvoltării liniilor tehnologice .....	49
2.3.1 Finanțare prin proiecte de tip STARTUP NATION .....	49
2.3.2 Finanțare prin Programul Operațional Competitivitate .....	55
2.4 Concluzii parțiale .....	58
3 FUNDAMENTELE TEORETICE ALE CERCETĂRII .....	59
3.1 Viziune generală asupra organizării cercetărilor experimentale pe linia de peleți și brichete .....	59
3.2 Considerații privind planificarea științifică a experimentelor factoriale .....	61
3.3 Tehnici de prelucrare a datelor experimentale .....	63
3.3.1 Regresii liniare și regresii neliniare.....	64
3.3.2 Caracteristici ale ecuațiilor de regresie: coeficient de corelație, deviații și erori standard, coeficient de determinare .....	66
3.3.3 Determinarea valorilor aberante .....	67
3.4 Procesarea statistică a datelor folosind Statgraphics Centurion .....	68
3.5 Elemente de cercetări operaționale aplicabile în cercetare .....	70
3.5.1 Probleme de programare liniară .....	70
3.5.2 Algoritmul Simplex .....	72
3.6 Metode ale inteligenței artificiale în optimizarea și previziunea proceselor.....	72
3.7 Proiectarea rețelelor neuronale folosind Matlab.....	77
4 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE.....	80
4.1 Metodologia cercetărilor empirice experimentale prin descompunerea în elemente chimice primare.....	81
4.1.1 Concepte cheie.....	81
4.1.2 Metode și echipamente folosite în cercetările experimentale.....	83
4.2 Determinarea puterii calorifice și a cenușii reziduale pentru mixturi.....	88

4.2.1	Strategia experimentului .....	88
4.2.2	Realizarea efectivă a determinărilor experimentale .....	92
4.2.3	Evaluarea experimentului, analiza și interpretarea datelor obținute .....	95
4.3	Studiul influenței aditivului asupra calității peleților obținuți dintr-o mixtură de 2 tipuri de biomasă .....	100
4.3.1	Strategia experimentului .....	100
4.3.2	Evaluarea experimentului și analiza datelor obținute .....	104
4.4	Direcții de cercetare și activități conexe .....	112
4.4.1	Posibilitatea producerii de furaje pentru animale .....	112
4.4.2	Posibilitatea de producere a îngrășămintelor agricole din nămoluri de epurare.....	113
4.4.3	Posibilitatea de valorificare a scoarței de salcie ( <i>Salicis cortex</i> sp.) în scopuri fitoterapeutice.....	114
4.5	Studiul calitativ al extractului de scoarță de salcie.....	115
4.5.1	Strategia experimentului .....	115
4.5.2	Evaluarea datelor obținute.....	116
4.6	Concluzii parțiale .....	118
5	PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE FOLOSIND TEHNICI DE CERCETĂRI OPERAȚIONALE .....	119
5.1	Baze de date utilizate în procesul de decizie .....	120
5.1.1	Standarde internaționale aplicabile în producția de biomasă pentru combustibil .....	120
5.1.2	Baza de date cuprinzând biomasă tipică zonei .....	121
5.2	Proprietăți ale soluției problemei de optimizare liniară în cazul unei mixturi de două componente .....	123
5.2.1	Aspecte matematice .....	124
5.2.2	Cazul în care mixtura conține aditivi .....	128
5.2.3	Determinarea raportului de masă al componentelor unei rețete folosind un algoritm al forței brute .....	131
5.2.4	Determinarea raportului procentual al componentelor unei rețete, folosind un algoritm de tip simplex .....	135
5.3	Problema de optimizare liniară în cazul mixturilor de $n$ componente, $n \geq 2$ .....	142
5.3.1	Aspecte matematice .....	142
5.3.2	Implementare .....	145
5.4	Aplicația de determinare a unor rețete optime de peleți din perspectiva posibilității de transfer tehnologic.....	149
5.5	Concluzii parțiale .....	150
6	VALIDAREA, OPTIMIZAREA ȘI PREVIZIUNEA PROCESELOR FOLOSIND ELEMENTE DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ .....	152
6.1	Construirea unei rețele neuronale pentru determinarea compoziției elementare a combustibilului .....	152
6.1.1	Considerente generale .....	153
6.1.2	Arhitectura rețelei.....	153
6.1.3	Alte arhitecturi de rețele neuronale extrase din baza de date cu tipuri de biomasă.....	156
6.2	Algoritmi de antrenare și structura scriptului asociat rețelelor neuronale .....	157
6.2.1	Performanța rețelei antrenate cu algoritmul Levenberg- Marquardt.....	160

6.2.2	Performanța rețelei antrenate cu algoritmul de regularizare bayesiană.....	163
6.3	Utilizarea arhitecturilor de rețele proiectate pentru previzionarea proprietăților fizice ale diferitelor mixturi.....	166
6.4	Concluzii parțiale .....	170
7	CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE ALE CERCETĂRII.....	172
7.1	Concluzii generale.....	172
7.2	Contribuții personale .....	172
7.2.1	Contribuții teoretice .....	173
7.2.2	Contribuții experimentale .....	174
7.2.3	Contribuții aplicabile industrial .....	174
7.3	Perspectivă de dezvoltare ulterioară.....	175
	LISTA DE LUCRĂRI PROPRII .....	177
	Lucrări indexate ISI .....	177
	Conferințe indexate ISI .....	177
	Lucrări și conferințe indexate BDI .....	178
	Cursuri și cărți .....	178
	BIBLIOGRAFIE .....	180
	ANEXE .....	188
	Anexa 1 Codul C pentru implementarea problemei de optimizare pentru 2 componente cu sau fără aditiv .....	188
	Anexa 2 Codul C pentru implementarea problemei de optimizare pentru n componente .....	196
	Anexa 3 Baza de date folosită la calcule .....	203
	Anexa 4 Valorile limită ale standardelor în cazul folosirii de aditivi .....	205

## LISTA TABELELOR

Tabelul 1.1 Standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru uz non-industrial ([23],[26],[27],[143]) .....	18
Tabelul 1.2 Standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru uz industrial ([26],[27],[143]).....	20
Tabelul 1.3 Standarde pentru peleți și brichete din biomasă non-lemnoasă și blenduri de biomasă ([26],[28]) .....	21
Tabelul 2.1 Schiță de buget pentru obținerea unei finanțări prin programul Start-up Nation (la cursul valutar estimat de 1 € = 4,58 lei).....	54
Tabelul 4.1 Răspunsuri așteptate în cadrul experimentului .....	88
Tabelul 4.2 Factori implicați în experiment .....	89
Tabelul 4.3 Mixturi posibile în cadrul experimentului.....	89
Tabelul 4.4 Date experimentale culese pentru mixturi mono-component.....	92
Tabelul 4.5 Rezultate experimentale.....	93
Tabelul 4.6 Rezultate experimentale.....	94
Tabelul 4.7 Date prelucrate cu Statgraphics .....	95
Tabelul 4.8 Răspunsurile așteptate în urma experimentului .....	100
Tabelul 4.9 Factori experimentali și valorile lor limită.....	101
Tabelul 4.10 Variantele de rețete alese pentru a fi încercate.....	102
Tabelul 4.11 Parametri legați de arderea peleiților din diverse rețete.....	102
Tabelul 4.12 Parametri legați de geometria diverselor rețete de peleți .....	103
Tabelul 4.13 Valori ale puterii calorifice și rețetele corespunzătoare.....	106
Tabelul 4.14 Valori ale cenușii reziduale și rețetele corespunzătoare.....	107
Tabelul 4.15 Valori ale diametrului mediu și rețetele corespunzătoare .....	108
Tabelul 4.16 Valori ale lungimii medii și rețetele corespunzătoare .....	109
Tabelul 4.17 Valori ale densității de vrac și rețetele corespunzătoare.....	110
Tabelul 4.18 Valori ale densității particulelor și rețetele corespunzătoare .....	111
Tabelul 4.19 Caracteristici ale lemnului și scoarței de Salix alba ([72]) .....	114
Tabelul 4.20 Cantitatea de salicină pentru diverse specii de salcie ([142]) .....	116
Tabelul 5.1 Caracteristici standard pentru peleți și brichete din lemn pentru uz non-industrial.....	120
Tabelul 5.2 Caracteristici standard pentru peleți și brichete din lemn pentru uz industrial .....	121
Tabelul 5.3 Caracteristici standard pentru peleți și brichete din biomasă non-lemnoasă și blenduri de biomasă .....	121
Tabelul 5.4 Biomasă tipică zonei, puterea calorifică inferioară și cenușa rezultată în urma arderii .....	122
Tabelul 5.5 Modificarea limitelor în standardul EnPlus B pentru diferite tipuri de aditiv .....	128
Tabelul 5.6 Modificarea limitelor în standardul MBP A pentru diferite tipuri de aditiv .....	129
Tabelul 5.7 Mixturi cu 2% aditiv pleavă de floarea soarelui sau lignit și limite conforme cu standardul EnPlus B.....	130
Tabelul 5.8 Mixuri cu cea mai mare putere calorifică din categoria B1 și prețul lor (în EUR/kg).....	132
Tabelul 6.1 Parametrii funcției trainlm .....	157



## Importanța și necesitatea temei alese

---

Tabelul 6.2 Parametrii funcției trainbr.....	158
Tabelul 6.3 Rezultate obținute folosind algoritmul Levenberg-Marquardt.....	167
Tabelul 6.4 Rezultate obținute folosind algoritmul de regularizare bayesiană .....	167
Tabelul 6.5 Comparație între rezultatele experimentale și cele calculate cu rețele neuronale .....	168

## LISTA FIGURILOR

Figura 2.1 Schema instalației inițiale .....	31
Figura 2.2 Tocător .....	32
Figura 2.3 Moara cu ciocane – operare în timpul testelor.....	33
Figura 2.4 Instalația de uscare .....	33
Figura 2.5 Buncărul instalației de uscare.....	34
Figura 2.6 Dispozitiv de omogenizare în buncăr .....	35
Figura 2.7 Buncărul preseii de peleți .....	36
Figura 2.8 Presa de peleți .....	37
Figura 2.9 Detaliu al activității de peletizare .....	38
Figura 2.10 Mostră de peleți de paie obținută cu linia de peleți .....	38
Figura 2.11 Banda transportoare și instalație de ambalare .....	39
Figura 2.12 Presa de brichete .....	40
Figura 2.13 Mostră de brichetă de paie obținută cu linia de brichetat.....	40
Figura 2.14 Instalație de răcire și cernere .....	41
Figura 2.15 Instalația modificată (modificările sunt evidențiate în schemă) .....	42
Figura 2.16 Tocător 2 .....	44
Figura 2.17 Malaxor orizontal .....	45
Figura 2.18 Presă de peleți cu matriță plană – detaliu constructiv .....	46
Figura 2.19 Presă peleți cu matriță plană, de capacitate mică .....	47
Figura 2.20 Detaliu funcționare presă peleți de capacitate mică .....	48
Figura 2.21 Peleți obținuți cu presa de peleți de capacitate mică .....	49
Figura 3.1 Interfața Statgraphics Centurion XVI.....	68
Figura 3.2 Rezultatele unei analize de regresie multiplă .....	69
Figura 3.3 Neuron fără prag și cu prag (după [31]).....	73
Figura 3.4 Tipuri de funcții de transfer (activare) .....	74
Figura 3.5 Strat de $S$ neuroni cu $R$ intrări (după [31]).....	76
Figura 3.6 RNA cu propagare înainte (după [116],[50]) .....	76
Figura 4.1 Calorimetrul XRY-1B – detaliu de operare .....	84
Figura 4.2 Proba cu fir de nichelină (pe balanța analitică Ohaus).....	85
Figura 4.3 Determinarea dimensiunilor peletilor .....	87
Figura 4.4 Factorii experimentului și valorile lor posibile .....	90
Figura 4.5 Factorii experimentului (materie primă și peleți).....	91
Figura 4.6 Influența factorilor mixturii asupra puterii calorifice $Q$ .....	96
Figura 4.7 Influența factorilor mixturii asupra cenușii reziduale, ash.....	96
Figura 4.8 Variația puterii calorifice atunci când factorii $D$ și $E$ ai mixturii au valoarea 0 .....	97
Figura 4.9 Variația cenușii reziduale atunci când factorii $D$ și $E$ ai mixturii au valoarea 0 .....	98
Figura 4.10 Variația puterii calorifice atunci când factorii $A$ și $E$ ai mixturii au valoarea 0 .....	99
Figura 4.11 Variația cenușii reziduale atunci când factorii $A$ și $E$ ai mixturii au valoarea 0 .....	99
Figura 4.12 Valori posibile pentru puterea calorică și cenușa reziduală în funcție de valorile factorilor experimentali .....	100
Figura 4.13 Puncte ale planului experimental.....	101

## Importanța și necesitatea temei alese

---

Figura 4.14 Peleți obținuți cu rețeta v08 (40:60:5) .....	104
Figura 4.15 Efectele standardizate ale factorilor asupra puterii calorifice inferioare .....	105
Figura 4.16 Curbe de nivel pentru Qinf .....	105
Figura 4.17 Efectele standardizate ale factorilor asupra cenușii reziduale .....	106
Figura 4.18 Curbe de nivel pentru cenușa reziduală.....	107
Figura 4.19 Curbe de nivel pentru diametrul mediu .....	108
Figura 4.20 Curbe de nivel pentru lungimea medie.....	109
Figura 4.21 Curbe de nivel pentru densitatea de vrac .....	110
Figura 4.22 Curbe de nivel pentru densitatea particulelor.....	111
Figura 4.23 Comparatie între puterea calorifică, respectiv cenușă exclusiv în lemn și scoarță de salcie, în funcție de valorile globale (lemn+scoarță) .....	115
Figura 4.24 Analiza cromatografică a extractului din scoarță de salcie furnizat de Rebina SA.....	117
Figura 5.1 Interfața utilizator în cazul unui răspuns pozitiv .....	133
Figura 5.2 Interfața utilizator în cazul unui răspuns negativ.....	134
Figura 5.3 Meniul principal .....	135
Figura 5.4 Fișierul - bază de date (detaliu).....	136
Figura 5.5 Opțiunea de consultare standarde.....	136
Figura 5.6 Răspunsul sistemului pentru o mixtură de brad și boabe de grâu .....	137
Figura 5.7 Determinarea unei rețete – varianta fără aditiv .....	138
Figura 5.8 Determinarea unei rețete – varianta cu aditiv.....	139
Figura 5.9 Folosirea unui standard personalizat într-o rețetă .....	140
Figura 5.10 Adăugarea unui material nou la baza de date .....	140
Figura 5.11 Opțiunea de consultare standarde .....	145
Figura 5.12 Determinarea unei rețete .....	147
Figura 5.13 Adăugarea unui material nou la baza de date .....	148
Figura 6.1 Structura RNA care leagă compoziția elementară de puterea calorifică și cenușa reziduală ale unui material .....	155
Figura 6.2 Funcția de transfer utilizată în modelarea RNA .....	155
Figura 6.3 Structura RNA care leagă puterea calorifică și cenușa reziduală de compoziția elementară ale unui material.....	156
Figura 6.4 Algoritmii și progresul rețelei antrenate cu funcția trainlm.....	160
Figura 6.5 Precizia rețelei antrenate cu funcția trainlm.....	161
Figura 6.6 Parametrii de oprire pentru funcția trainlm.....	162
Figura 6.7 Valorile funcției de eroare pentru algoritmul Levenberg-Marquardt.....	162
Figura 6.8 Histograma erorilor pentru funcția trainlm .....	163
Figura 6.9 Algoritmii și progresul rețelei antrenate cu trainbr.....	163
Figura 6.10 Precizia rețelei antrenate cu funcția trainbr .....	164
Figura 6.11 Parametrii pentru funcția trainbr.....	165
Figura 6.12 Valorile funcției de eroare pentru regularizarea bayesiană .....	165
Figura 6.13 Histograma erorilor pentru funcția trainbr .....	166
Figura 6.14 Comparatie între rezultatele experimentale și cele calculate cu algoritmul Levenberg-Marquardt.....	169
Figura 6.15 Comparatie între rezultatele experimentale și cele calculate cu algoritmul de regularizare bayesiană .....	170

## INTRODUCERE

Peleții și brichetele sunt produse obținute prin aglomerarea mecanică sau presarea materiei prime, după ce aceasta a fost în prealabil mărunțită sau transformată în pulbere, în vederea transportului, a prelucrării lor ulterioare sau a folosirii [40].

Forma brichetelor este regulată, paralelipipedică, cilindrică sau ovoidală, iar dimensiunile lor sunt de ordinul centimetrilor. Forma peleților este cilindrică, iar dimensiunile de ordinul milimetrilor.

Forma și dimensiunile peleților și a brichetelor permite o folosire mai eficientă a materiilor prime care acestea sunt alcătuite, în diverse domenii, ca de exemplu pentru încălzire [34] sau ca furaje pentru animale [1].

În această lucrare, vor fi studiați peleții și brichetele pentru încălzire și vor fi prezentate principalele rezultate originale obținute în urma acestui studiu. În continuare vor fi detaliate importanța și necesitatea temei alese, obiectivele cercetării dar și structura lucrării.

### Importanța și necesitatea temei alese

Energia este o componentă cheie a progresului actual și a dezvoltării civilizației. Practic, orice activitate și orice proces tehnologic au nevoie de consum de energie pentru a se desfășura. Dezvoltarea industrială cere cantități din ce în ce mai mare de energie, ceea ce a dus la necesitatea dezvoltării unor noi resurse energetice, mai eficiente, mai puțin poluante și care să permită exploatarea pe termen lung.

În zilele noastre, distingem între două tipuri de energie: energie convențională și energie neconvențională [109]. Termenul de „energie convențională” se referă la energia obținută din surse convenționale, clasice – lemn, combustibili fosili (cărbune, petrol, gaze etc.), metale radioactive (uraniu) – și este în strânsă legătură cu caracterul consumabil, ne-regenerabil al surselor.

Prin contrast, termenul de „energie neconvențională”, este energia obținută din surse neconvenționale, alternative sau regenerabile – energie solară, energie eoliană, energia mareelor, hidroenergie, energie geotermică, energia provenită din biomasă (plante energetice). Dintre acestea, energia provenită din biomasă este similară ca mod de generare și ca produse secundare cu energia convențională a resurselor fosile [41]. Dacă mare parte din biomasă provine din culturi energetice (culturi ierboase anuale sau perene, culturi oleaginoase, culturi lignocelulozice), există și biomasă care provine din reziduuri și deșeuri (deșeuri biogene din zona urbană sau industrială, deșeuri agricole, reziduuri din deșeuri agroindustriale, deșeuri și reziduuri din zona forestieră).

Dintr-un alt punct de vedere, sursele de energie disponibile la ora actuală pot fi clasificate în: combustibili fosili, combustibili nucleari și surse de energie regenerabile. Spre deosebire de primele categorii, sursele regenerabile de energie au impact negativ asupra mediului și au o importanță crucială în dezvoltarea sustenabilă [87].

Dintre tehnologiile de prelucrare a biomasei în scopul obținerii de energie, o eficiență crescută o au peletizarea și brichetarea. Aceste tehnologii permit reducerea considerabilă a volumului de biomasă, o dată cu creșterea duratei de conservare și cu creșterea gradului de confort în utilizare [18]. Pe lângă proprietățile calorifice îmbunătățite, ușurința cu care peleții sunt transportați și manipulați, a făcut din acest tip de produs un produs popular pentru soluții de încălzire casnică, dar și industrială la nivel european [111]. În plus, prin amestecul a diverse tipuri de biomasă, se obțin produse noi, cu caracteristici îmbunătățite. Astfel, producția de peleți și/sau brichete pentru energie a cunoscut o dezvoltare rapidă în România începând cu 2004, potențialul biomasei fiind estimat la 318.033 TJ în 2008, din care peste 270.000 TJ provenind din biomasă lemnoasă, deșeuri lemnoase sau biomasă agricolă [130].

Având în vedere potențialul imens al combustibililor solizi obținuți din biomasă, atât din punct de vedere al aportului energetic, dar și din punct de vedere ecologic și al unei dezvoltări sustenabile, acest domeniu de producție este unul intens sprijinit la nivel european și regional [47]. România fiind pe locul 2 ca producție de biomasă agricolă, piața pentru peleți de încălzire provenind din biomasă este în continuă creștere [8]. Astfel, sunt disponibile o serie de măsuri pentru agenții economici producători care converg spre creșterea competitivității economice.

Dacă din punctul de vedere al agentului economic este importantă maximizarea profitului, acesta este condiționat de îmbunătățirea calității produselor oferite. Astfel, se impune o planificare științifică a producției, dar și activități de cercetare-dezvoltare industrială. Folosind tehnicile de planificare a experimentelor, tehnicile de modelare și softurile de simulare numerică, costurile activităților de cercetare experimentală pot fi reduse [115].

Începând cu a doua jumătate a secolului XX și o dată cu dezvoltarea și folosirea pe scară largă a computerelor și dezvoltarea tehnologiei informației procesele specifice ingineriei industriale au început să fie re-proiectate. Davenport și Short [36] au arătat că firmele care au folosit această oportunitate au avut beneficii foarte însemnate. Mai mult decât atât, modelarea proceselor care intervin într-o întreprindere constituie un ajutor în luarea de decizii la nivel organizațional.

Deoarece factorii care influențează calitatea produselor, producția în sine și distribuția produsului finit sunt atât de natură calitativă cât și de natură cantitativă, este dificil de construit un model care să decidă care dintre aceștia sunt semnificativi și în ce măsură influențează ei produsul finit și distribuția sa. O soluție pentru această problemă este folosirea rețelelor neuronale pentru modelarea și simularea activităților de producție.

Titlul prezentei teme de cercetare este **"Contribuții la optimizarea proceselor de fabricare a peleților și brichetelor folosind elemente de inteligență artificială, statistică și cercetări operaționale"**.

În această teză se vor folosi elemente de tehnologia informației (în particular elemente de programare și rețele neuronale artificiale) pentru previziunea și optimizarea proceselor care apar în cadrul unei întreprinderi care are ca principal obiect de activitate fabricarea de peleți și brichete din deșeuri lemnoase, folosite ca sursă alternativă de energie (cod CAEN 1629).

Datele folosite în cadrul acestei teze provin din mai multe surse:

- date experimentale proprii obținute în fabricile de la Cenei și a partenerilor de la Făget
- date primite de la partenerii producători din Făget și Șandra
- literatura de specialitate.

## Obiectivele cercetării

Conform Dicționarului Explicativ al Limbii Române [39], „a optimiza”, cu sinonimul „a îmbunătăți”, înseamnă „a alege și a aplica soluția cea mai bună (optimă) dintre toate soluțiile posibile”. Optimizarea se poate realiza după diverse criterii: economice, ecologice, ergonomice, tehnologice.

Din rațiuni de eficiență economică, orice proces de optimizare trebuie să fie în strânsă legătură cu procesele de modelare și simulare. Elaborarea de modele și simulări făcute folosind mijloace informatice conduce la multiple avantaje din punct de vedere economic [115],[135]: timpul de concepere a modelelor este redus comparativ cu timpul de realizare a experimentelor, privirea de ansamblu asupra modelului face ca realitatea să fie mai ușor de înțeles, iar eventualele modificări asupra modelelor se fac rapid și cu costuri minime.

În cazul fabricării peleților și brichetelor pentru încălzire, optimizarea procesului de fabricare se poate referi la maximizarea profitului, la creșterea productivității, la reciclarea deșeurilor de origine agricolă sau forestieră, la maximizarea puterii calorifice, de încadrarea în standardele tehnice, la determinarea de rețete de fabricare specifice fiecăreia dintre aceste cazuri, la soluții inovatoare pentru automatizarea liniei de producție etc. Aceste aspecte vor fi detaliate în cadrul prezentei teze.

**Obiectivele primare** care vor fi atinse în cadrul stagiului de cercetare doctorală sunt:

- OP1** obținerea de rezultate științifice și tehnologice privind utilizarea resurselor naturale regenerabile în vederea procesului de realizare a peleților și brichetelor
- OP2** optimizarea unor rețete de fabricație a peleților și brichetelor din diverse direcții de cercetare utilizând planificarea și cercetarea industrială științifică

Pentru atingerea obiectivelor primare, este necesară atingerea următoarelor **obiective secundare**, corespunzătoare activităților realizate în prezentul stagiul de cercetare:

- OS1** proiectarea de activități experimentale și elaborarea unei metodologii de realizare a cercetărilor experimentale
- OS2** propunerea de îmbunătățiri în cadrul procesului de producție
- OS3** realizarea unui sistem dinamic de know-how aplicabil în mai multe direcții
- OS4** realizarea unui soft pentru previzionarea puterii calorifice, noxelor și a costurilor în cazul diferitelor produse novative de tip materie energetică regenerabilă

## Structura lucrării

Lucrarea este structurată pe 7 capitole. Abordarea cercetărilor specifice acestei teze pornește cu prezentarea unei întreprinderi care produce peleți și brichete pentru încălzire. Sunt identificate soluții pentru re tehnologizarea acesteia și pentru

inovarea liniilor de producție. În cadrul liniilor de producție sunt realizate rețete de peleți realizate cu materiale din zonă și, prin analiza acestora, sunt determinate rețete îmbunătățite, caracterizate prin putere calorifică mare și procentaj scăzut de cenușă reziduală. De asemenea sunt identificate noi direcții de cercetare și de diversificare a producției. Deoarece determinarea unei rețete de peleți care să maximizeze puterea calorifică în timp ce cantitatea de cenușă reziduală și noxele se încadrează în anumite limite este o problemă de optimizare liniară, următorul pas logic a fost scrierea acestei probleme din punct de vedere matematic, studiarea existenței și a proprietăților soluției. A fost realizată o bază de date cu proprietăți ale principalelor materiale disponibile pentru realizarea de peleți și, asociat acesteia, o soluție software de determinare a unei rețete cu mai multe componente bazată pe soluția problemei de optimizare liniară. Baza de date existentă poate fi completată de către utilizator fie pe baza determinărilor experimentale directe, fie printr-o metodă hibridă (folosirea unei rețele neuronale care să suplinească datele necesare care nu pot fi determinate experimental).

**În introducere** se prezintă tema de cercetare propusă și necesitatea alegerii ei în contextul socio-economic actual.

**Primul capitol** prezintă stadiul actual al cunoștințelor în domeniu și ancorarea cercetării.

**Al doilea capitol** prezintă procesul tehnologic folosit pentru producerea de peleți și brichete. Este prezentată o linie de producție îmbunătățită, care să facă față cerințelor, linie construită deja la fabrica de la Cenei. Sunt prezentate două modalități de finanțare a dezvoltării liniilor tehnologice prin atragerea de fonduri europene – un proiect deja câștigat și unul aflat în faza de evaluare. De asemenea, sunt prezentate perspective de dezvoltare durabilă a firmei prin extinderea cercetării curente în domeniul producerii de nutrețuri, a producerii de îngrășăminte sau prin reciclarea inteligentă a deșeurilor de salcie energetică.

**Al treilea capitol** se referă la fundamentele teoretice ale cercetărilor experimentale și cuprinde o viziune asupra organizării cercetărilor experimentale, considerații privind planificarea științifică a experimentelor, tehnici de prelucrare a datelor experimentale, prezentarea software-ului folosit pentru procesarea statistică a datelor, elemente de cercetări operaționale și metode ale inteligenței artificiale folosite în decursul cercetării și considerații legate de proiectarea rețelelor neuronale în Matlab. Elementele teoretice prezentate sunt esențiale pentru cercetarea practică ulterioară, iar aplicarea lor se realizează în capitolele 4, 5 și 6.

**Capitolul 4** se referă la cercetări experimentale efectuate în fabrica de la Cenei. Sunt avute în vedere atât rețete empirice, cât și o planificare științifică a experimentelor. Tot în capitolul 4 este studiată influența adăugării unui aditiv în cursul procesului de peletizare asupra calității peletilor. De asemenea, este prezentată o rețetă optimală din punct de vedere al puterii calorifice obținută prin folosirea unei combinații de materiale avută la dispoziție.

**Capitolul 5** se referă la determinarea unei rețete optime pentru peleți și/sau brichete în cazul amestecurilor de 2 sau mai multe componente. Problema este formulată din punct de vedere matematic, iar apoi sunt deduse unele proprietăți matematice ale soluției, în caz că aceasta există. Sunt propuse două soluții software, creație proprie a autoarei, pentru determinarea rețetei optime în cazul a 2 sau mai multe elemente, ținând cont în același timp de constrângerile impuse de standardele internaționale.

**Capitolul 6** se referă la optimizarea și previziunea proceselor folosind elemente de inteligență artificială. Concret, este vorba de construirea unor rețele neuronale care să determine compoziția elementară a unui biocombustibil solid

pornind de la puterea sa calorifică și cantitatea de cenușă reziduală rezultate în urma arderii acestuia, de analiza acestor rețele și de validarea lor prin comparație cu rezultatele cunoscute din cercetările experimentale realizate în cursul cercetării doctorale.

**Capitolul 7** conține concluziile generale asupra cercetărilor. De asemenea sunt prezentate perspective de dezvoltare ulterioară care au fost identificate în cursul cercetării doctorale.



## **1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN TEMATICA TEZEI PROPUSE**

Având în vedere complexitatea temei, stadiul actual al cercetărilor poate fi considerat din mai multe puncte de vedere, astfel:

- din punct de vedere al producției de energie regenerabilă folosind biocombustibil solid și a datelor de referință aplicabile în mod curent în producția de peleți și brichete pentru încălzire
- din punct de vedere al folosirii tehnicilor de programare liniară în producție
- din punct de vedere al folosirii rețelelor neuronale și a algoritmilor specifici inteligenței artificiale pentru determinarea și completarea unor anumite date
- din punct de vedere al fezabilității unui transfer tehnologic

Toate aceste puncte de vedere vor fi detaliate în continuare, pentru a realiza o imagine cât mai fidelă pentru stadiul actual al cercetărilor în domeniu.

### **1.1 Tendențe și date de referință în producția de biocombustibili regenerabili solizi**

Posibilitatea de a folosi în mod eficient deșeurile lemnoase sau agricole pentru producerea de energie constituie o tendință actuală atât în industrie, cât și pentru consumul casnic. Deși biomasa lemnoasă este o sursă de energie tradițională, noile tehnologii permit folosirea acesteia într-un mod mai eficient, așa cum au specificat și Dercan et al. [38] pentru cazul Serbiei sau Nunes et al. [101] pentru Portugalia.

Dercan et al. [38] prezintă în mod detaliat tipuri de biomasă disponibile în zonă, materii prime și deșeuri de origine lemnoasă și calculează puterea calorifică a brichetelor de lemn, pe care o compară cu puterea calorifică a altor surse de energie. De asemenea, ei fac o trecere în revistă a pieței pentru brichete și a reglementărilor în vigoare la data scrierii articolului.

În mod similar, articolul lui Nunes et al. [101] se referă la peleții din biomasă lemnoasă, despre care susțin că sunt cea mai bună alternativă pentru consumatorul final, fiind o sursă de energie regenerabilă și ieftină. Lucrarea lor se concentrează mai degrabă asupra pieței pentru peleții de încălzire și a producției lor, fără a se detalia compoziția acestora.

Standardele, caracteristicile fizico-chimice, date despre producție și logistică, tehnologii de combustie, analiza costurilor atât pentru producția cât și pentru utilizarea de peleți pentru încălzire, o analiză a impactului de mediu dar și o analiză a pieței pentru peleți au fost colectate și prezentate în 2010 de Obernberger și Thek [103]. Lucrarea lor detaliază pe larg toate aspectele legate de peleții de încălzire, de la definiția conceptului, standardele aplicabile, proprietăți fizico-chimice ale materiei prime și a aditivilor folosiți, aspecte privind producția de peleți și logistica acesteia, tehnologii de combustie a peleților, analiza costurilor (atât cele asociate producției lor, cât și cele asociate utilizării lor în consumul casnic). De asemenea, mai sunt prezentate aspecte legate de impactul ecologic al utilizării peleților de încălzire

comparativ cu alți combustibili, o analiză a pieței mondiale de peleți, inclusiv studii de caz din mai multe țări, și posibilități de cercetare-dezvoltare legate de producerea de peleți din mixturi, proprietățile acestora și posibilitățile lor de utilizare.

Optimizarea parametrilor de producție pentru peleți obținuți din biomasă torefiată a fost tratată de Stelte în 2014 [131], într-un raport pentru Danish Technological Institute. În cadrul acestui raport au fost identificați parametrii de proces esențiali care afectează calitatea produsului final: materia primă folosită, aditivii folosiți în producție, dimensiunea particulelor, umiditatea, temperatura de prelucrare, temperatura în presa de peleți, geometria matriței folosite pentru peletizare și viteza de peletizare și gradul de torefiere al materiei prime. Stelte a evidențiat faptul că folosirea de materie primă torefiată implică o creștere atât puterea calorifică a produsului finit, dar și energia pentru peletizare și a sugerat brichetarea ca alternativă pentru peletizare.

În cursul procesului de peletizare/brichetare, este important aditivul folosit - de obicei amidon, lignosulfonat, dolomit, făină de porumb sau de cartofi, uleiuri vegetale. Stahl et al. [126] au analizat modul în care calitatea peletilor crește atunci când se utilizează aditivi pe bază de zaharuri (melasă - ca reziduu din prelucrarea zahărului alb, zahăr alb, reziduuri din procesarea de sulfat a lemnului). De asemenea, Stahl et al. detaliază rețetele folosite în experimente.

Nu în ultimul rând, Kiss et al. [70] au scris despre importanța rumegușului de lemn ca o sursă de energie regenerabilă în România și despre beneficiile folosirii acestui tip de combustibil.

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 [26], EN 17225-2 [27] și EN 17225-6 [28], care sunt actualizări ale standardelor EN 14961 [24] și EN 14961-4 [25].

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: I 1, I 2, I 3
- standarde pentru peleți și brichete din biomasă non-lemnoasă și blenduri de biomasă: MBP A, MBP B

În Tabelul 1.1 sunt prezentate principalele cerințe pe care trebuie să le îndeplinească peleții și brichetele din lemn pentru consum non-industrial (casnic) din punct de vedere al standardelor în vigoare.

**Tabelul 1.1 Standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru uz non-industrial ([23],[26],[27],[143])**

<b>Caracteristica</b>	<b>um</b>	<b>Enplus A1</b>	<b>Enplus A2</b>	<b>Enplus B</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

Tendențe și date de referință în producția de biocombustibili regenerabili solizi

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

Cerințele principale ale standardelor pentru peleți și brichete din lemn destinate uzului industrial sunt prezentate în Tabelul 1.2.

**Tabelul 1.2 Standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru uz industrial ([26],[27],[143])**

<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 calorifică 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
Cadmium 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)	-	-	-

Tendențe și date de referință în producția de biocombustibili regenerabili solizi

Zinc maxim, Zn	mg/kg (baza uscată)	200	200	200
Materie primă (origine)		Păduri, plantații și lemn neprelucrat	Păduri, plantații și lemn neprelucrat	Păduri, plantații și lemn neprelucrat
		Reziduuri lemnoase netratate chimic	Reziduuri lemnoase netratate chimic	Produce secundare și reziduuri din industria de prelucrare a lemnului
				Lemn folosit netratat chimic

Principalele cerințe ale standardelor în vigoare pentru peleții și brichetele realizate din biomasă non-lemnoasă sunt prezentate în Tabelul 1.3.

**Tabelul 1.3 Standarde pentru peleți și brichete din biomasă non-lemnoasă și blenduri de biomasă ([26],[28])**

Caracteristica	um	MBP A	MBP 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 calorifică 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	-	-

Stadiul actual al cercetării în tematica tezei propuse

Arsenic maxim, As	mg/kg (baza uscată)	1	1
Cadmium 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

Având în vedere necesitățile și problemele actuale la nivel global în domeniul energiei [119],[37],[47], la fel ca și noile oportunități de dezvoltare în domeniul energiilor regenerabile din România [41],[8], se conturează în mod logic o nouă direcție în domeniul cercetării-dezvoltării industriale. Aceasta se referă la determinarea unor tehnici de optimizare a proceselor asociate producției de biocombustibili.

Determinarea puterii calorifice a diversilor biocombustibili solizi a fost întotdeauna o provocare. Friedl et al. [49] au analizat 122 seturi de biomasă, corespunzătoare la 11 tipuri de materii prime, pentru care au determinat compoziția elementară (procentele masice de carbon, hidrogen, azot, sulf, clor, oxigen), puterea calorifică netă și cantitatea de cenușă reziduală și au determinat o formulă de regresie de ordinul 2 care leagă puterea calorifică netă de procentele masice de carbon, hidrogen și azot ale materiei prime. Ei nu au considerat mixturi de materii prime.

În 2015, Miranda et al. [92] au încercat să caracterizeze peleții obținuți din materii prime diverse: biomasă lemnoasă (deșeurii forestiere, deșeurii provenite din industria lemnului sau deșeurii lemnoase provenite din agricultură), ierburi și paie (deșeurii ierboase provenite din agricultură) și fructe (deșeurii provenite din prelucrarea agroindustrială a fructelor). În total au fost analizate 10 tipuri de materii prime (compoziția elementară, durabilitate, putere calorifică netă, cenușa reziduală) și s-a analizat posibilitatea folosirii lor în contextul noilor reglementări ale standardului EN ISO 17725.

Un studiu din 2017 [16] asupra formulelor de determinare a puterii calorifice nete pe baza compoziției elementare a materiei prime a identificat peste 150 de asemenea relații. Dintre acestea, au fost selectate 8. Au fost testate 27 tipuri de materii prime (eșantioane cu diverse concentrații de lignină, diverse tipuri de paie, pleavă, plante sălbatice de cultură sau deșeuri forestiere), pentru care s-au determinat compoziția elementară (în termeni de carbon, hidrogen, azot și sulf), cantitatea de cenușă reziduală, puterea calorifică netă și diferențele dintre aceasta din urmă și puterea calorifică calculată cu cele 8 formule. Astfel, au fost identificate 3 formule care aproximează cel mai bine puterea calorifică netă în cazul biomasei studiate.

Un studiu al unor mixturi de biomasă a fost realizat în 2017 de către Boumanchar et al. [13]. Ei s-au concentrat pe determinarea puterii calorifice pentru rețete predefinite de mixturi de 2 materiale (25%-75%, 50%-50%, 75%-25%), folosind 2 tipuri de cărbune vegetal și 3 tipuri de deșeuri solide din consumul urban (carton, plastic, cauciuc sintetic) în combinație cu 6 tipuri de biomasă (sâmburi de măsline, gunoi de grajd, trestie de zahăr, rumeguș de lemn, iarbă alfa, rumeguș de eucalipt). Deși indică o posibilitate de utilizare a deșeurilor provenite din consumul urban, totuși această cercetare nu furnizează suficiente date pentru a determina o rețetă optimă din punct de vedere al puterii calorifice.

Din punct de vedere al aditivilor, posibilitatea de a folosi amidon de porumb pentru a crește durabilitatea peleților din porumb cu umiditate mare a fost studiată de Tumuluru et al. [136]. Este studiat efectul aditivului asupra proprietăților fizice ale peleților obținuți (umiditate, diametru, densitate de vrac, durabilitate), dar și asupra cantității de energie necesară pentru a produce acești peleți. Studiul s-a realizat pentru 3 valori ale procentului de aditiv în peleții de : 0%, 2%, 4%. Tot ei au propus o metodă de a produce peleți durabili cu un consum de energie mai mic din această combinație de materie primă și aditiv.

### **1.1.1 Tendențe actuale privind folosirea tehnicilor de programare liniară în producție**

Determinarea unui amestec de două tipuri de biomasă care să maximizeze puterea calorifică în timp ce elementele generatoare de noxe din compoziția chimică rămân sub valori limită admise duce la determinarea soluției unei probleme de optimizare liniară.

Optimizarea liniară (sau programarea liniară) este o metodă matematică de determinare a unei valori optime în anumite condiții care se folosește la alegerea proiectelor, planificarea producției, mixturi de anumite produse [32] etc. Lucrarea lui Chen, Batson și Dang prezintă în amănunt procesul de programare liniară, determinarea funcției obiectiv, a constrângerilor, condiții care se impun asupra variabilelor, aplicațiile acestei metode, dar și fundamentele teoretice necesare pentru a rezolva probleme de optimizare liniară și metode de determinare a soluțiilor acestor probleme. În plus, sunt prezentate softuri comerciale cu care se poate face programare liniară.

Pornind de la nevoia unor rații de mâncare gata de a fi folosite de către copiii malnutriți, Ryan et al. [114] au folosit un instrument de programare liniară pentru a determina rețete noi pentru aceste rații alimentare. Dintre rețetele determinate folosind programarea liniară, 32 au fost catalogate ca fezabile și au fost realizate în laborator. Concluzia lor este că programarea liniară poate fi folosită cu succes pentru

a determina rețete îmbunătățite de rații alimentare cu ingrediente disponibile local, care să fie conforme cu standardele internaționale și să aibă un cost cât mai mic.

Și Quijano-Aviles et al. [107] au evidențiat rolul programării liniare în determinarea unor rețete de produse alimentare optimizate. Ei au folosit produse secundare din industria alimentară (în urma procesării de cacao, cafea și portocale) pentru a realiza o rețetă de băutură cu conținut ridicat de polifenoli, antioxidanți și cofeină. Tehnicile de programare liniară au fost aplicate acelor rețete care au trecut testele senzoriale (de gust, miros, culoare sau aspect) pentru a găsi amestecul optim al ingredientelor în producerea unei rețete care să respecte anumite cerințe de calitate.

Lee și Kim [74] au folosit o tehnică mixtă de programare liniară pentru a elabora un studiu de fezabilitate pentru producția de energie bazată pe biomasă. Ei au plecat de la potențialul de biomasă și de la consumul diferitelor forme de energie regenerabilă existente în zona de studiu. Modelul lor de optimizare își propunea să maximizeze funcția obiectiv a profitului anual total obținut din folosirea diverselor tipuri de biomasă ca surse de energie regenerabilă. Constrângerile reieșeau din cantitatea de biomasă disponibilă și energia pe care aceasta o putea furniza, precum și din alegerea diverselor tehnologii de prelucrare a biomasei în anumite faze ale producției de energie. Astfel, pe lângă faptul că au fost identificate strategii optime pentru producția de energie regenerabilă, a fost propusă și o metodologie de analiza fezabilitatea utilizării acestor strategii în producția de energie regenerabilă din biomasă.

### **1.1.2 Tendințe actuale privind aplicațiile rețelelor neuronale**

De referință pentru orice lucrare care abordează teme legate de inteligența artificială este lucrarea lui Russell și Norvig [113]. Această lucrare are avantajul că prezintă unitar domeniul inteligenței artificiale și a aplicațiilor acesteia, acoperind teme la zi și concentrându-se atât pe aspecte teoretice cât și pe aspecte practice. Un software consacrat pentru construirea și analiza rețelelor neuronale este Matlab. În [9] Demuth și Beale prezintă, pe lângă domeniile în care se pot aplica rețelele neuronale construite cu Matlab și modele neuronale, arhitecturi de rețele, funcții de antrenare, algoritmi de retropropagare, etc.

În mod special, așa cum se arată și în [15], rețelele neuronale care folosesc regularizarea bayesiană sunt mai fiabile decât cele bazate pe retropropagarea standard. Regularizarea bayesiană, ca o îmbunătățire a algoritmului Levenberg-Marquardt poate fi folosită cu succes în orice situații în care este necesară prognoza unor situații, așa cum au arătat recent și Setiaji et al. [121].

Puterea calorică netă poate fi determinată nu doar pe baza compoziției elementare a materiei prime, ci și pe baza proprietăților tehnice (fizico-chimice) ale acesteia: umiditatea, materiile volatile, carbonul fix și cenușa reziduală.

Estiati et al. [42] au antrenat o rețea neuronală cu Matlab pentru determinarea puterii calorifice a biomasei, pornind de la un set de 350 date. Rețeaua a fost validată folosind 12 date existente în literatura de specialitate, iar rezultatele au fost superioare rezultatelor obținute prin metode empirice (statistice).

Uzun et al. [141] au dezvoltat o rețea neuronală care să determine cu o precizie mai mare puterea calorică netă a combustibililor pornind de la proprietățile tehnice ale acestora. Setul de date folosit conține 131 date, iar rețeaua neuronală folosește o funcție de transfer tangențial-sigmoid, cu 3 neuroni pe stratul de intrare, 3 straturi ascunse și un neuron pe stratul de ieșire.



Într-un studiu din 2019, Xing et al. [144] au analizat diverși algoritmi de învățare automată în estimarea puterii calorifice. Datele de intrare au fost culese din literatură, ei determinând formule pentru puterea calorifică atât plecând de la compoziția elementară a materiei prime, cât și de la proprietățile tehnice ale acesteia. Au fost determinate rețelele neuronale și, pentru comparație, ecuații de regresie liniară și pătratică. Concluzia lor a fost că folosirea rețelelor neuronale conduce la o mai bună aproximare a puterii calorifice, atât în cazul în care se cunoaște compoziția elementară, cât și în cazul în care se cunosc proprietățile tehnice ale materiei prime.

Deși rețelele neuronale artificiale se folosesc pe scară largă în rezolvarea problemelor de clasificare, sau a probabilității unui eveniment, totuși în folosirea lor există riscul supra adaptării datelor [117]. Sariev și Germano au propus folosirea unei abordări care să folosească regularizarea bayesiană în combinație cu diferite versiuni ale arhitecturilor rețelelor neuronale. Concluzia lor a fost că regularizarea bayesiană are potențialul de a furniza estimări corecte ale ponderilor unei rețele neuronale, având drept consecință previziuni mai exacte ale fenomenelor modelate.

### **1.1.3 Tendențe actuale privind transferurile tehnologice și importanța acestora pentru inovare**

Există o legătură puternică între cercetare și cercetarea aplicată. Procesul linear care leagă cercetarea de cercetarea aplicată, dezvoltare, comercializare și consecințele lor este cunoscut în mod curent ca inovare și dezvoltare tehnologică [146].

În ultimul secol, inovarea a devenit, treptat, cel mai important factor al creșterii productivității. În consecință, nu se mai poate nega rolul cercetării academice și ale aplicațiilor sale în dezvoltarea socio-culturală și economică. O dată stabilit acest fapt, companiile pot apela la soluția la îndemână de a căuta în mediul academic soluții pentru a-și îmbunătăți producția. Astfel, procese și fenomene din viața reală sunt studiate prin modelele lor fizice, chimice sau matematice [86].

Conform cu Global Competitiveness Index 2014-2015 [118], România a ocupat locul 59 din 144 (iar la capitolul inovare era pe locul 66).

Același raport, pentru perioada 2015-2016 [119], evidențiază că România a fost pe locul 75 din 140 economii analizate la capitolul inovare (cu un scor de 53). În acea perioadă, România era considerată, împreună cu alte 19 țări, în tranziție de la o economie orientată spre eficiență către o economie orientată spre inovare. Din punct de vedere al capacității de inovare, România ocupa locul 63, din punct de vedere al inginerilor și a oamenilor de știință disponibili pentru a face cercetare țara noastră se situa pe locul 57, din punct de vedere al colaborărilor dintre universități și industrie – pe locul 71, dar din punct de vedere al cheltuielilor de cercetare-dezvoltare ale firmelor România ocupa locul 94.

În 2019, România era pe locul 51 din 141 [120], cu un scor general de 64.4, scorul maxim înregistrându-se pentru stabilitatea macroeconomică (90), iar scorul minim (42) la capacitatea de inovare. Deși ca proeminență a institutelor de cercetare România ocupă locul 36 din 141 țări analizate, iar ca număr al cererilor de brevet depuse, ocupă locul 49, bugetul alocat pentru cercetare plasează România pe locul 65.

Aceste scoruri reflectă o creștere a preocupării pentru cercetare-dezvoltare și inovare. Mai mult decât atât, capacitatea de inovare a României poate fi îmbunătățită printr-o colaborare dintre universități și mediul privat și prin creșterea numărului de transferuri tehnologice.

**Nivelul de maturitate tehnologică** (TRL – Technology Readiness Level) [137] al unei tehnologii a fost introdus pentru prima dată de NASA și se referă la etapa de dezvoltare a respectivei tehnologii: la nivel de idee, de cercetare teoretică, de cercetare experimentală, de implementare sau de aplicare a cercetării. Nivelul de maturitate crește de la 1 la 9, astfel:

- Nivelurile 1-3 (TRL 1 – TRL 3) constituie faza de cercetare, în care se pleacă de la conceptele de bază, se formulează conceptul tehnologic și se realizează cercetări de laborator inițiale.
- Nivelurile 4-6 (TRL 4 – TRL 6) constituie faza de dezvoltare, în care cercetările de laborator sunt extinse, treptat, pentru a fi validate și apoi demonstrate în medii relevante industrial.
- Nivelurile 7-9 (TRL 7 – TRL 9) constituie faza de implementare, în care tehnologiile devin utilizate și validate pe plan industrial.

Pe lângă cele 9 niveluri de maturitate tehnologică, se mai discută introducerea unui nivel suplimentar, TRL 10, în care tehnologia a fost deja folosită fără incidente majore pentru o perioadă suficient de mare de timp, a fost certificată și este folosită într-un mod recurent, demonstrat prin operațiuni extinse [133].

## 1.2 Ancorarea cercetării în stadiul actual al cunoașterii

Inovarea, ca orice altă activitate umană, necesită un aport de energie, care trebuie produsă folosind resursele existente (fie resurse convenționale, fie resurse neconvenționale). Preocuparea pentru o mai bună folosire a resurselor energetice este de foarte mare actualitate, atât la nivel european cât și la nivel național.

La nivelul României, conform recensământului din 2011, 13,77% dintre locuințele care aveau încălzire centrală foloseau combustibil solid, iar 89,21% dintre locuințele care nu aveau încălzire centrală, foloseau sobe cu combustibil solid pentru încălzire. Prin schemele de finanțare existente la acest moment în România (Programul Casa Verde) se urmărește încurajarea populației în folosirea de instalații de producerea energiei termice cu cazane pe bază de peleți și brichete.

De asemenea, la nivel internațional dar și național se urmăresc în mod constant promovarea și dezvoltarea producției de calitate [37], existând în acest sens o Asociație a Producătorilor de Peleți și Brichete [4], membră a European Biomass Association și European Pellet Council.

Industria biocombustibililor solizi are un caracter regional pronunțat, în principal datorită resurselor lemnoase existente într-un anumit spațiu geografic. Astfel, ceea ce este aplicabil în Danemarca, Suedia, Rusia sau în Serbia nu este în mod necesar aplicabil în cazul României [109].

Deși acest sector economic este emergent în România [8],[140], având o creștere economică semnificativă, din datele pe care culese până în prezent a fost identificată mai degrabă o preocupare pentru respectarea standardelor în vigoare decât pentru testarea de noi rețete, îmbunătățite, de producție.

Încadrându-se în tendința globală de a folosi energii neconvenționale, România a depășit deja cota de 22% de energii regenerabile folosite, pe care și-a asumat-o ca obiectiv pentru 2020 [109]. În acest sens, aspectele economice, politice și de mediu ale folosirii biomasei în energie sunt investigate la nivel mondial [37],[100], în special cele referitoare la folosirea peletilor de lemn ca biocombustibil solid [54].

UE rămâne în continuare principalul producător de peleți din biomasă și prețul energiei regenerabile obținute din peleți (EUR/MJ) este mai mic decât prețul energiei electrice (EUR/MJ). Astfel, la nivel european, cererea de peleți din biomasă lemnoasă este mai mare decât producția (și oferta) [132], [140].

La fel ca în [38] și [101], în lucrarea de față sunt analizate diverse tipuri de biomasă care pot fi folosite în producția de peleți și brichete pentru încălzire, fără însă a intra în detalii privind piețele de desfacere.

În schimb, în urma studiului lucrării lui Obernberger și Thek [103] se poate realiza o privire de ansamblu asupra direcțiilor de cercetare care pot fi asociate producției de peleți pentru încălzire. Desigur, valorile de referință ale standardelor folosite în lucrarea de față sunt cele valabile la momentul demarării cercetărilor ([26],[27],[28]). Dintre toate posibilitățile de cercetare-dezvoltare prezentate în [103], lucrarea de față se concentrează pe obținerea de peleți pentru încălzire cu putere calorică superioară, realizați din mixturi de biomasă.

Analizând cercetările din domeniu ([103],[131],[126],[136]) a reieșit importanța folosirii de aditiv în procesul de peletizare. Fără a folosi biomasă torefiată (ca în [131]), una dintre direcțiile de cercetare prezentate în lucrarea de față este studiul influenței unui aditiv asupra proprietăților peletilor (ca în [136]).

De asemenea, analiza diverselor surse referitoare la peleții și brichetele pentru încălzire ([103],[49],[92],[16],[13]) evidențiază legătura strânsă dintre puterea calorică a peletilor și cantitatea de cenușă reziduală, pe de-o parte, și compoziția elementară a materiei prime pe de altă parte. Majoritatea acestor studii se referă la peleți obținuți dintr-un singur tip de biomasă și nu iau în considerare folosirea mixturilor. Atunci când sunt considerate mixturi, ele sunt analizate din punct de vedere al participației masice a fiecărei materii prime, mai degrabă decât din punct de vedere al rezultatelor arderii (putere calorică, noxe, cenușă reziduală).

Puterea calorică a peletilor poate fi determinată atât din analiza compoziției elementare ([92],[16],[13]) cât și din analiza proprietăților tehnice [141]. Din punct de vedere al amestecurilor de mai multe tipuri de biomasă, compoziția elementară a amestecului nu este afectată de procesul de peletizare, ci doar de participația masică a unui tip de biomasă la compoziția mixturii. Din această cauză, în această lucrare se va folosi relația dintre compoziția elementară a materiei prime, puterea calorică a peletilor fabricați și cenușa reziduală rezultată în urma arderii acestora.

Similar cu cele prezentate în [32], se poate construi o problemă de optimizare liniară care să fie aplicabilă în producerea de peleți pentru încălzire. Spre deosebire de determinarea unor rețete pentru rații de mâncare [114] sau pentru produse alimentare optimizate [107], în producția de peleți și brichete aspectul senzorial al produsului finit (gust, miros, culoare, aspect) nu joacă un rol determinant.

Analizând posibilitățile de aplicare a tehnicilor de programare liniară la optimizarea procesului de fabricație al peletilor pentru încălzire, concomitent cu tendințele de cercetare în acest domeniu, au fost identificate ca funcție obiectiv de optimizat puterea calorică a unei mixturi de mai multe materii prime, iar ca și constrângeri noxele emise și cantitatea de cenușă reziduală rezultată în urma arderii. Valorile maxime pentru aceste constrângeri sunt determinate în principiu de valorile maxime admise în standarde.

Nu avem cunoștință ca această tehnică să fie aplicată în trecut pentru determinarea unei rețete optime de biomasă (pentru care se obține maximul puterii calorifice atunci când valoarea noxelor rămâne sub un anumit nivel).

Există posibilitatea de a construi o rețea neuronală artificială care să previzioneze puterea calorifică a diverselor tipuri de peleți pornind fie de la compoziția elementară a materiei prime (la fel ca în [144]), fie de la proprietățile tehnice ale acesteia (la fel ca în [42]).

Pentru coerența cercetărilor, însă, am preferat să studiem legătura dintre compoziția elementară a materiei prime, pe de-o parte și puterea calorifică și cantitatea de cenușă reziduală rezultată în urma arderii, pe de altă parte. Legătura dintre cele două seturi de caracteristici ale peleiților poate fi determinată fie acceptând ca vector de intrare compoziția elementară a materiei prime, fie acceptând ca intrare puterea calorifică și cantitatea de cenușă reziduală. În ambele cazuri se vor antrena rețele neuronale, urmând a fi folosită acea rețea care determină cea mai bună aproximare a rezultatelor. În condițiile în care precizia rețelei antrenate depășește 90%, alegerea unuia dintre cele două seturi de intrări (plus ieșirile aferente) disponibile depinde exclusiv de posibilitatea efectuării analizelor fizico-chimice asupra materiilor prime.

Parte integrantă demersurilor pentru îmbunătățirea capacității de inovare a României, prezenta cercetare își propune să contribuie la creșterea cooperării dintre mediul academic și sectorul industrial prin realizarea unui transfer tehnologic viabil. Elementele de cercetare teoretică în domeniul cercetărilor operaționale vor fi validate experimental întâi la nivel de laborator și apoi într-o întreținere, pentru a contribui la creșterea competitivității acesteia.

Elementele originale, de noutate, care fac obiectul acestei lucrări au ca efect scăderea costurilor de cercetare în cazul firmelor care produc peleți și/sau brichete din biomasă, concomitent cu creșterea calității producției.

## 2 CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA ARHITECTURII UNEI LINII TEHNOLOGICE PENTRU PRODUCȚIA DE PELEȚI ȘI BRICHETE

**Obiectivele** acestui capitol sunt:

- prezentarea unei linii tehnologice standard pentru producția de peleți și brichete, existente într-o micro-întreprindere de profil
- prezentarea unei soluții de optimizare a liniei tehnologice pentru producerea de peleți și brichete din mixturi de biomasă
- identificarea de soluții pentru finanțarea investițiilor într-o astfel de firmă

Pentru realizarea acestor obiective, au fost realizate vizite de documentare la mai multe micro-întreprinderi care realizează peleți și brichete pentru încălzire, a fost analizată situația existentă la fața locului, s-au discutat diferite soluții de optimizare a liniilor tehnologice și au fost identificate modalități de finanțare prin accesarea de fonduri europene.

**Rezultatele** acestui capitol de cercetare sunt:

- o schemă pentru o linie tehnologică optimizată pentru producerea de peleți din mixturi
- două schițe de proiecte pentru accesare de fonduri europene

### 2.1 Conceptul clasic al liniilor tehnologice pentru producția de peleți și brichete

Actualmente, printre activele companiei producătoare de peleți și brichete în care s-au desfășurat cercetările se află o linie de producție pentru peleți și brichete cu o capacitate de 400 kg/h.

Unul dintre obiectivele companiei este să producă peleți și brichete inovative, având o eficiență energetică superioară și care să răspundă cererii în continuă creștere de biocombustibili solizi neconvenționali.

Începând cu 2017, pe lângă întreprinderea existentă a mai fost înființată o firmă, în cadrul căreia s-au implementat proiectele de cercetare și de optimizare a liniei tehnologice de produs peleți.

Specificațiile biocombustibililor solizi de tip peleți și brichete fac obiectul unor standarde internaționale (CEN/TS 335, EN 14961-2, ISO 17225-2 - care este în vigoare etc.) care sunt în continuă actualizare. Standardele, caracteristicile fizico-chimice, date despre producția și logistica, tehnologii de combustie, analiza costurilor atât pentru producția cât și pentru utilizarea de peleți pentru încălzire, o analiză a impactului de mediu dar și o analiză a pieței pentru peleți au fost colectate și prezentate în 2010 de Obernberger și Thek [103].

Pentru a obține produse inovative care să răspundă cererii de pe piață, compania și-a asumat următoarele obiective:

## Contribuții la optimizarea arhitecturii unei linii tehnologice pentru producția de peleți și brichete

---

- inovarea liniei de producție
- optimizarea diferitelor tipuri de rețete de fabricație a peletilor și brichetelor
- intrarea pe piață și atingerea unei anumite cote de piață
- reciclarea reziduurilor forestiere și a nămolurilor
- obținerea de rezultate științifice și tehnologice referitoare la posibilitatea de a folosi resurse naturale regenerabile și la producerea de peleți și brichete

Atingerea acestor obiective constituie rezolvarea tot atâtor probleme.

După cum am mai menționat, peletii sunt aglomerări de particule de dimensiuni reduse (lungime și diametru de ordinul milimetrilor și zecilor de milimetri), care de obicei se obțin din comprimarea unui material inițial. În cazul în care dimensiunile materialului comprimat sunt mai mari (lungime și diametru de ordinul centimetrilor și zecilor de centimetri), este vorba despre brichete. Compresia (trecerea materiei prime în mod forțat prin matriță) are ca efect apariția unor forțe de coeziune pe fondul deformărilor plastice, formând astfel compuși aglomerați sub formă de peleți sau brichete.

Procesul de transformare a materiei prime în peleți sau brichete are mai multe etape:

- etapa de alimentare (include sortarea, tocarea și rafinarea materiei prime)
- etapa de uscare (în care materia primă este adusă la umiditatea necesară)
- etapa de peletizare sau de brichetare propriu-zisă
- etapa de răcire a produsului finit
- etapa de ambalare

Inițial, linia tehnologică a fost alcătuită din următoarele componente esențiale pentru funcționarea fabricii (Figura 2.1): tocător, moară cu ciocane, instalație de uscare, buncărul preseii, presă de peleți, presă de brichete, sită cernere și răcire peleți.

Tocătorul preia materie primă – paie sau deșeuri lemnoase și o prelucrează pentru a putea fi utilizată în fluxul tehnologic. În urma tocării, materia primă va avea dimensiuni reduse și uniforme. Tocătorul folosit este de tip tambur, care asigură o funcționare fără șocuri, având o capacitate de lucru ridicată și un consum redus de energie. Pentru funcționare, tocătorul folosește două motoare: motorul principal, de 15 kW și un motor auxiliar, de 1,1 kW. Capacitatea de prelucrare a acestui tocător este de 1 balot (500-700 kg) la 8 minute. Diametrul interior al tamburului este de 150 cm, iar lungimea de tocare de 4-5 cm.

De regulă, tocătoarele folosesc un sistem de alimentare hidraulic pe bază de discuri cu dinți de oțel (role de alimentare). Acestea asigură transportul dirijat al biomasei către cuțitele de tăiere, care au un unghi de tăiere de 90°. Rolele de alimentare pot fi pornite sau oprite în ambele sensuri, ceea ce permite uniformizarea fragmentelor de tocătură.

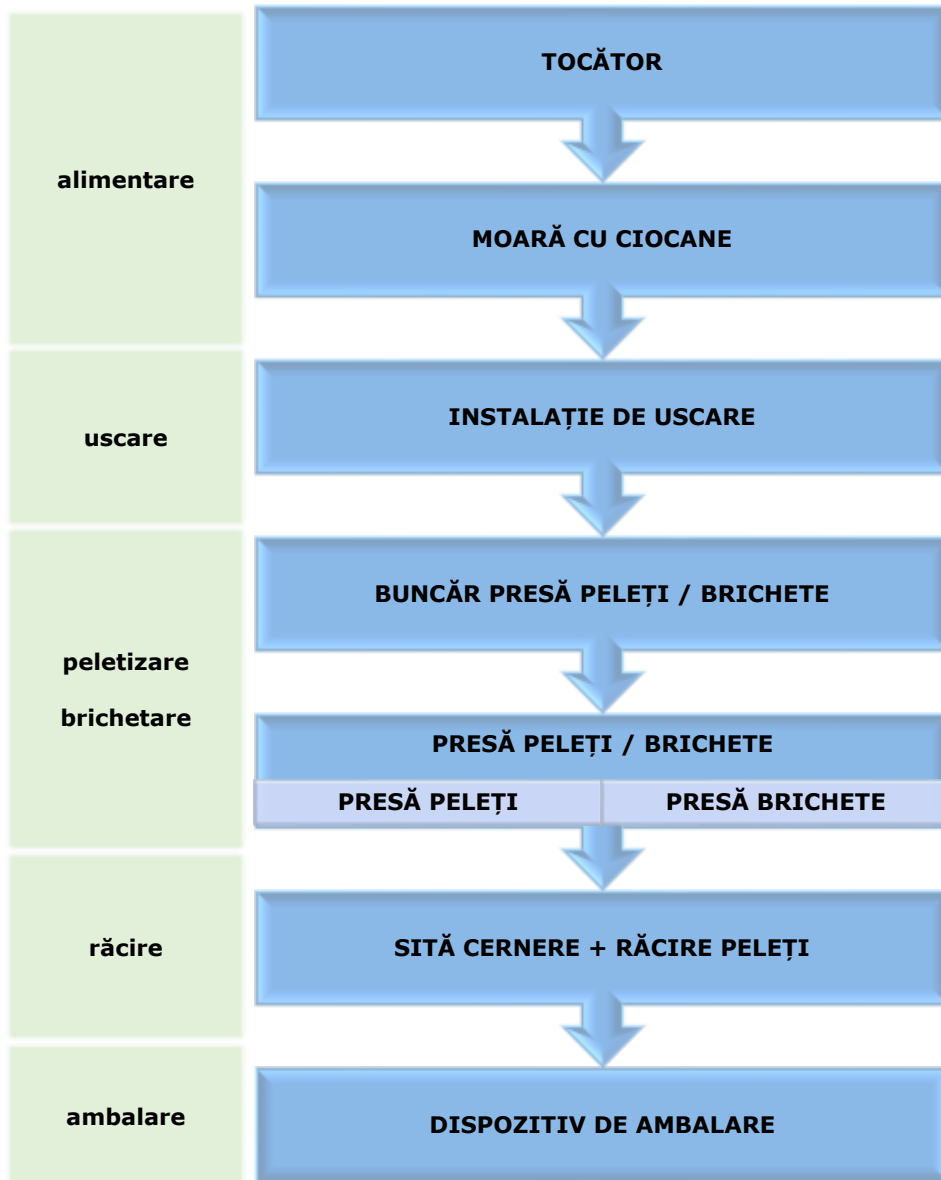


Figura 2.1 Schema instalației inițiale

Moara cu ciocane are o putere de 22 kW și poate prelucra 500 kg rumeguș pe oră. Moara cu ciocane este o moară cu cameră deschisă în care alimentarea se face radial-tangențial. Grosimea maxim admisă a materiei prime la intrarea în moara cu ciocane este de 70 mm. Mărunțirea se realizează datorită ciocnirii particulelor de materie primă cu ciocanele. Acest proces este rapid și cantitatea de praf degajată este mai mică decât în cazul altor tehnologii.

La ieșirea din moara cu ciocane, grosimea maximă a materialului măcinat este reglată de o sită, ale cărei muchii joacă rol de cuțite. Astfel, granulația materiei prime poate varia de la 5 mm la 70 mm, în funcție de destinația tocăturii. Inițial, moara a permis ieșirea de material măcinat cu diametru de maxim (granulație maximă) 6 mm. În timp ce pentru peleți grosimea maximă este 6 mm sau 3 mm, pentru brichete este suficientă o grosime maximă de 10 mm.



**Figura 2.2 Tocător**

Procesele de tocare și de măcinare sunt influențate în primul rând de caracteristicile fizico-mecanice ale materiei prime, parametrii constructivi și funcționali ai aparatului (forma ciocanelor și a rifturilor, jocul dintre ciocane și sită, metoda de alimentare cu materie primă și cea de evacuare a măcinișului, viteza periferică a rotorului cu ciocane etc.), dar și de regimul de lucru ales. Acești factori pot fi, în principiu, corelați, pentru a mări eficiența procesului de mărunțire omogenă prealabilă.





**Figura 2.3 Moara cu ciocane – operare în timpul testelor**

Tocătura (în special rumegușul rezultat din prelucrarea deșeurilor lemnoase) trece apoi printr-o instalație de uscare în flux acționată de o suflantă de 18 kW și un motor de 1,1 kW. Instalația este compusă dintr-o sobă pe lemn și un ciclon cu flux continuu și are o capacitate de uscare de maxim 500 kg/h, în funcție de umiditatea rumegușului. Conținutul de umiditate a materialului la ieșirea din uscător se poate regla prin controlul temperaturii din incinta de uscare și prin controlul debitului de materie primă la intrare.



**Figura 2.4 Instalația de uscare**

Deoarece până la atingerea temperaturii de lucru uscarea nu este uniformă, materialul obținut nu are o umiditate uniformă. Aceasta impune utilizarea uscătorului

Contribuții la optimizarea arhitecturii unei linii tehnologice pentru producția de peleți și brichete

---

Într-un regim de lucru constant, nefluctuant. Consumul sobei este de maxim 30 kg combustibil (peleți) pe oră. Umiditatea inițială a materialului poate fi de maxim 50%, iar în urma uscării, umiditatea sa finală ajunge între 12-15%.



**Figura 2.5 Buncărul instalației de uscare**

Cu ajutorul unui transportor elicoidal, materia primă ajunge ulterior într-un buncăr, în care este amestecată. Buncărul este alimentat de un motor de 0,5 kW, iar materialul este omogenizat cu ajutorul unui motor de 7 kW.

Gradul de omogenitate a amestecurilor folosite este strâns legat de proprietățile fizico-mecanice ale componentelor (granulație, densitate etc.), numărul componentelor, tipul amestecătorului, integrarea procesului în fluxul tehnologic. Durata procesului de omogenizare este invers proporțională cu gradul de omogenitate al materialelor care vor fi amestecate. În plus, omogenizarea se desfășoară optim atunci când diversele materii prime sunt introduse în buncărul amestecător în ordine crescătoare a densității lor.



**Figura 2.6 Dispozitiv de omogenizare în buncăr**

Materialul omogenizat este transportat din buncăr prin intermediul unui alt transportator elicoidal spre presa de peleți sau presa de brichete. De regulă, înainte de introducerea în prese, materialul se mai poate supune unui reglaj fin al umidității.

Presa de peleți este o presă cu matriță inelară și separator magnetic. La trecerea materialului prin separatorul magnetic sunt eliminate toate materialele feroase care ar fi putut să treacă prin tocător sau moara cu ciocane.

După parcurgerea tuturor acestor etape tehnologice (tocare, măcinare, uscare, reglarea umidității, extragerea eventualelor reziduuri feroase), urmează operația de pelletizare. Succesul și eficiența acestei operații depind în mare parte de parcurgerea corectă a etapelor tehnologice anterioare.

În presa de peleți, materialul este presat printr-o matriță specială, care poate fi inelară (cilindrică, cu ax orizontal) sau plană (de tip disc cu ax vertical). Datorită presiunii mari (800-900 bar) și a temperaturii ridicate rezultate în urma presării (70-80°C), lignina se topește și contribuie la formarea de peleți cu dimensiuni și formă identice, în secțiune transversală, cu cea a orificiilor din matrița de presare. La ieșirea din matriță, peleții sunt tăiați la lungimea dorită de un cuțit cu poziție reglabilă. (Figura 2.9)

Trebuie subliniat faptul că, deși temperatura din timpul presării este ridicată, totuși nu se realizează o torefiere a biomasei. Torefieră este un proces termochimic ce presupune încălzirea în absența oxigenului la temperaturi cuprinse între 200 °C - 280 °C. Prin contrast, procesul de pelletizare presupune doar compresia mecanică a biomasei, fără a-i altera proprietățile chimice.

Calitatea peletilor este condiționată de presiunea și temperatura din timpul presării, care trebuie să se încadreze în parametri. Din această cauză, este de dorit ca presele de peleți să funcționeze continuu pe durată mai lungă, direct proporțional cu puterea lor.



**Figura 2.7 Buncărul preseii de peleți**

În cazul în care presa de peletizat este oprită brusc, materialul este gripat în interiorul matriței.

Linia tehnologică dispune de o presă de peleți profesională (industrială) cu o putere de 30 kW. Presa este alimentată de un motor de 2,2 kW, motorul de dozare a rumegușului la intrare are puterea de 1,1 kW, iar matrița este inelară.

Materia primă cu o granulație uniformă (4-5 mm) este dozată la partea superioară a preseii și este distribuită uniform pe suprafața matriței. Matrița este de forma unui cilindru cu multe perforații, numite canale de presare. Materialul este presat prin canale cu ajutorul unor role canelate, al căror număr depinde de diametrul matriței și de capacitatea preseii. Peleții extrudați sunt în final tăiați de un cuțit aflat

## Conceptul clasic al liniilor tehnologice pentru producția de peleți și brichete

---

sub matrița de presare, lungimea lor fiind reglată de turația matriței. Cuțitul este dispus sub un unghi de  $30^\circ$  față de planul tangent la rolă.



**Figura 2.8 Presa de peleți**

O astfel de presă de peleți poate prelucra următoarele tipuri de materie primă: rumeguș de lemn, paie, cereale sau deșeuri de biomasă. Diametrul peletilor rezultați variază între 6-14 mm, iar lungimea lor între 15-60 mm. Pentru o funcționare optimă, conținutul de umiditate a materiei prime trebuie să fie 10-14%, iar granulația materiei prime tocate 3-5 mm. Densitatea de vrac a peletilor obținuți este de cel puțin  $650 \text{ kg/m}^3$ .

Capacitatea de lucru a unei astfel de prese este de 500 kg/h, iar pentru rezultate optime ea trebuie să funcționeze continuu un timp mai îndelungat. Din această cauză, această presă este destul de dificil de folosit pentru crearea și studierea de noi rețete de fabricație, fiind necesari între 500-1000 kg amestec pentru realizarea unei încercări.



**Figura 2.9 Detaliu al activității de peletizare**

Din presă, peleții ajung într-un răcitor cu sită vibratoare și aspirator pentru praf apoi, prin banda transportoare, la instalația de ambalare.



**Figura 2.10 Mostră de peleți de paie obținută cu linia de peleți**

Răcitorul are o capacitate de 200-350 kg/h. Instalația de ambalare are o putere de 4 kW și realizează ambalarea peletilor la saci de polietilenă. Instalația dispune de o balanță electronică reglabilă între 0 și 30 kg pentru ambalarea semi-automată, iar capacitatea de ambalare este de 120-150 saci/h.



**Figura 2.11 Banda transportoare și instalație de ambalare**

Pentru linia de brichetare, etapele de alimentare și uscare recurg la aceleași utilaje. Pentru presare, se folosește o presă de brichete cu piston hidraulic. Aceasta are un motor cu o putere de 22 kW la pompa hidraulică, un motor de alimentare de 1,35 kW și un motor de dozare de 5,5 kW. Productivitatea pentru presa de brichete este de 220 kg/h.



**Figura 2.12 Presa de brichete**

Figura 2.13 prezintă o mostră de brichetă realizată din paie. Pentru comparație, s-a folosit o foaie cu marcaje pătrate de 5 mm x 5 mm ca fundal.



**Figura 2.13 Mostră de brichetă de paie obținută cu linia de brichetat**





Figura 2.14 Instalație de răcire și cernere

## 2.2 Schemă de optimizare a liniei tehnologice pentru peleți

Linia tehnologică deținută de firmă este o linie tehnologică de dimensiuni medii, care poate prelucra 500 kg peleți/oră sau 220 kg brichete/oră. Așa cum am mai arătat, cele două prese funcționează optim abia după ce au atins un anumit regim de temperatură și presiune, ceea ce se realizează gradual. În plus, cele două prese sunt dotate, la fel ca și celelalte echipamente, cu accesorii standard și nu cu toate accesoriile necesare pentru a realiza încercări experimentale.

Analizând procesele tehnologice necesare producerii de peleți, ca și posibilitățile de utilizare a materiei prime disponibile, s-a evidențiat nevoia de a completa linia tehnologică cu elemente care să permită prelucrarea simultană a mai multor materii prime în vederea peletizării, dar și elemente care să permită producția în serie mică, pentru testarea experimentală și validarea rezultatelor cercetării.

În cazul a două materii prime, este nevoie de două tocătoare și două buncăre de stocare a celor două tipuri de particule rezultate. Pentru o mai bună calitate a peletilor, este necesar ca materiile prime să fie apoi amestecate cât mai omogen, într-un malaxor, înainte de a trece prin presa de peleți.

Un alt factor care influențează omogenitatea amestecurilor și în consecință calitatea peletilor obținuți este gradul de mărunțire al materiilor prime. Acesta poate fi controlat prin folosirea de site și matrițe care să asigure că materia primă este mărunțită la dimensiuni similare.

De asemenea, pentru cercetările experimentale nu este rentabil să se folosească presa mare de peleți (pentru care ar trebui prelucrată cel puțin 200 kg materie primă la un experiment). Devine astfel necesară o presă de peleți de capacitate mică, care pentru realizarea rețetelor experimentale folosește maxim 10 kg materie primă la un experiment.

Pentru realizarea experimentelor, sunt necesare cel puțin următoarele echipamente suplimentare:

## Contribuții la optimizarea arhitecturii unei linii tehnologice pentru producția de peleți și brichete

- site și matrițe de diverse dimensiuni pentru moara cu ciocane și presa de peleți
- un al doilea tocător, pentru a putea prelucra simultan două tipuri de biomasă
- un al doilea buncăr pentru a stoca simultan două tipuri de biomasă
- un malaxor pentru realizarea de mixturi de cel puțin două componente
- presă de peleți de capacitate mică (presă-hobby) pentru a testa rețetele obținute

În urma achiziționării acestor elemente suplimentare, schema de principiu a liniei tehnologice modificate va avea structura din Figura 2.15.

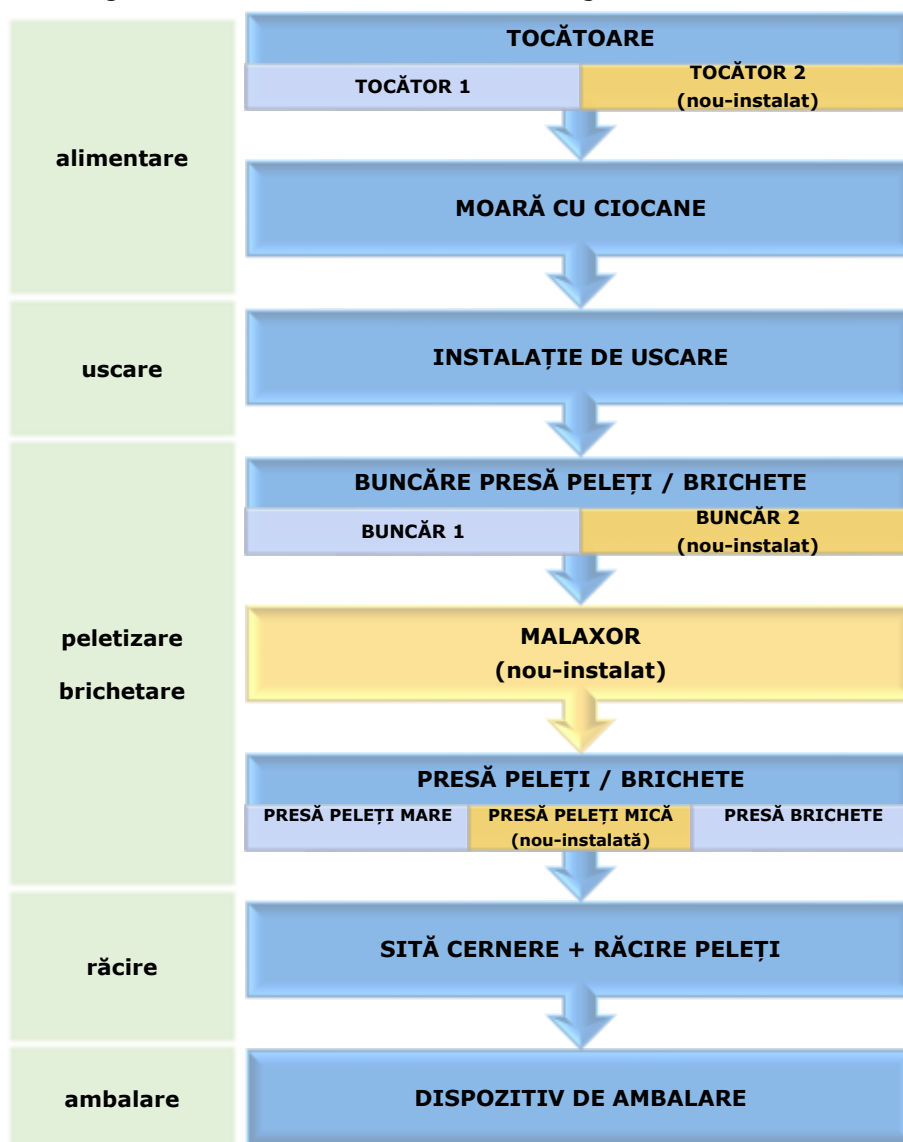


Figura 2.15 Instalația modificată (modificările sunt evidențiate în schemă)

## Schemă de optimizare a liniei tehnologice pentru peleți

---

Pentru moara cu ciocănele s-au achiziționat site de 10 mm (pentru producția de rumeguș pentru brichete) și de 3 mm (pentru producerea de materie primă cu granulație foarte fină).

Al doilea tocător achiziționat are caracteristici similare cu primul: de tip tambur, având o capacitate de lucru de de 1 balot (500-700 kg) la 8 minute și o putere de 15 kW, diametru interior al tamburului de 150 cm și lungimea de tocare de 4-5 cm. Materia primă provenind de la al doilea tocător este stocată în al doilea buncăr, suplimentar.

O importanță deosebită în succesul experimentelor o au dozarea și omogenizarea materiei prime. Acestea se realizează cu dozatoare gravimetrice. Precizia dozării este invers proporțională cu procentajul de participare în rețetă a diverselor componente. Granulația este cu atât mai fină, cu cât procentajul de participare la rețetă este mai mic și cu cât puterea calorică (sau valoarea biologică, după caz) este mai mare.



**Figura 2.16 Tocător 2**

Omogenizarea materiei prime pentru producția de peleți depinde în principal de proprietățile fizico-mecanice ale componentelor (granulație, densitate, formă, coeficient de frecare), numărul componentelor, raportul masic al materiilor prime folosite, geometria malaxorului și integrarea acestui utilaj în fluxul tehnologic.

Amestecarea diverselor rețete se realizează într-un nou utilaj, un malaxor orizontal. Acesta are o putere de 3 kW și poate amesteca 200 kg materie primă în 10 minute. Malaxorul are spire elicoidale, iar omogenizarea are loc datorită deplasării straturilor interioare de materie primă în sens contrar straturilor exterioare. Astfel, gradul de omogenitate al amestecului este crescut.



**Figura 2.17 Malaxor orizontal**

Presa de peleți tip hobby, cu matriță plană, permite producția de peleți la scară mică în scopul realizării experimentale și a testării practice a rețetelor. Presa are o putere de 7,5 kW și poate procesa 100-120 kg/h. La această presă, un sistem de două role presează materia primă printr-o matriță plană. Diametrul găurilor pe matriță poate varia, în funcție de construcție, de la 2,5 la 10 mm.



**Figura 2.18 Presă de peleți cu matriță plană – detaliu constructiv**

În partea inferioară a preseii, sub matriță, se află un cuțit cu poziție reglabilă. Acesta taie peletii comprimați prin matriță la lungimea dorită.

Cu această presă au fost realizate rețetele de peleți studiate în teză.



**Figura 2.19 Presă peleți cu matriță plană, de capacitate mică**



**Figura 2.20** Detaliu funcționare presă peleți de capacitate mică





**Figura 2.21 Peleți obținuți cu presa de peleți de capacitate mică**

## **2.3 Soluții de finanțare a dezvoltării liniilor tehnologice**

Pentru dezvoltarea liniilor tehnologice, cea mai bună opțiune este folosirea fondurilor europene. Fără a intra în detalii, în continuare va fi ilustrat modul în care se pot folosi aceste finanțări pentru îmbunătățirea liniilor de producție.

### **2.3.1 Finanțare prin proiecte de tip STARTUP NATION**

Programul Start-up Nation este un program destinat a încuraja și stimula înființarea și dezvoltarea întreprinderilor mici și mijlocii. Acest program al Ministerului pentru Mediul de Afaceri, Comerț și Antreprenariat (MMACA) a fost valabil până la 31.12.2020, iar plățile au fost efectuate până la 31.12.2021. La nivelul anului 2017, bugetul aprobat a fost de 1.713.798.000 lei, fonduri suficiente ca minim 8560 firme să beneficieze de finanțare de minimis (maxim 200.000 lei în 2 ani) prin această schemă.

Beneficiază de acest program firme (SRL, SRL-D), care au domeniu de activitate eligibil, au mai puțin de 2 ani vechime, care crează prin acest program un minim de locuri de muncă (3 în 2017, 5 în 2018) și le mențin cel puțin 2 ani după finalizarea finanțării, nu au mai desfășurat activitatea pentru care cer finanțare și care achiziționează utilaje în valoare de minim 60% din proiect.

Prin această schemă sunt eligibile, printre altele, următoarele investiții: pentru echipamente tehnologice și software-ul aferent (exceptând jocurile de noroc,

mecanice, mese de biliard, automate muzicale), pentru achiziționarea de spații de lucru, producție și prestări servicii, chiar dacă sunt din elemente prefabricate, pentru aparate și instrumente de măsură și control, pentru mijloace de transport, pentru echipamente IT și tehnică de calcul, pentru mobilier, pentru instalații specifice necesare obținerii unei economii de energie, pentru mijloace de transport, pentru active necorporale, pentru prezentarea și promovarea online (pagini web).

Pentru a beneficia de acest program, un start-up trebuie să se înscrie pe site-ul dedicat apoi, după obținerea acordului de principiu, să completeze planul de afaceri. Acesta va fi evaluat și punctat, rezultând un punctaj între 0 și 100. Proiectele al căror punctaj depășește 50 sunt verificate mai apoi administrativ și din punct de vedere al eligibilității. Un proiect câștigător trebuie să își mențină activitatea și investițiile făcute cel puțin 3 ani de zile de la data primirii finanțării, iar numărul de angajați (inclusiv cel din categorii defavorizate) cel puțin 2 ani de zile de la acea dată.

În cele ce urmează, se va considera planul de afaceri agreeat pentru anul 2017 și vor fi detaliate obiectivele, punctele tari, oportunitățile, activitățile proiectului, echipamentele necesare acestor activități, analiza pieței produsului și schița bugetului.

Prin acest proiect, start-up-ul, având codul CAEN 1629 (fabricarea altor produse din lemn; fabricarea articolelor din plută, paie și din alte materiale vegetale împletite) dorește să achiziționeze o linie tehnologică de prelucrat peleți și brichete.

**Obiectivele** pe termen lung asumate de start-up sunt corelate cu investiția dorită, după cum urmează:

- O1. obținerea unei linii de producție a peleiților pentru energie termică
- O2. obținerea unei linii de producție a peleiților pentru furajarea animalelor și a păsărilor (peleți proveniți din deșeuri agrare, paie, coceni, coji de oleaginoase, frunze, litieră forestieră)
- O3. penetrarea pieței și atingerea unei anumite cote de piață în producția de peleți pentru energia termică
- O4. penetrarea pieței și atingerea unei anumite cote de piață în producția de peleți pentru furaje

Ca rezultat al implementării acestui proiect este obținerea unei tehnologii optimizate de producere a celor 2 tipuri de produse, atât din punct de vedere al compoziției amestecurilor de biomasă folosite, cât și din punct de vedere al regimurilor de lucru ale utilajelor. Cele două tipuri de produse se vor regăsi sub diverse geometrii și dimensiuni, conform standardelor dimensionale în vigoare existente la nivel internațional.

Start-up-ul își propune realizarea unei linii de peleți cu o capacitate de 200-250 kg/h, compusă din: tocător de paie sau resturi agricole (prin care se pot prelucra baloți rotunzi mari), linie de uscare a măcinăturii, buncăr, presă de peleți profesională, răcitor și separator de pulberi, instalație de ambalat peleți în saci. De asemenea, se dorește achiziționarea unei prese de peleți de capacitate mică (50-80 kg/h), care să permită producerea de peleți în mod experimental, la un cost mai mic.

Noutatea adusă prin proiect este legată de producerea de rețete optimizate, care includ plante energetice (salcie energetică, triticele etc.), reziduuri agricole și lemnoase din zonă (bețe de rapiță, floarea soarelui, paie, fân, frunze etc.) sau reziduuri provenite din exploatarea industrială (sâmburi de fructe etc.).

Se contribuie și la dinamizarea sectorului economic, prin producerea de combustibili cu zero emisii poluante, mai ieftini decât produsele petroliere clasice, în

condițiile aceluiași randament termic și oferind suplimentar posibilitatea de a automatiza procesul de ardere. Se realizează astfel un beneficiu social, care poate fi cuantificat în continuare prin analize economice și cost-beneficiu.

Pe termen lung, efectele soluțiilor dezvoltate prin proiect pot avea ca rezultat schimbarea în bine a regiunii, prin folosirea de resurse energetice nepoluante, prin scăderea costurilor pentru consumatorii de resurse energetice. Luăm în considerare aici și posibilitatea consumatorilor de a renunța la încălzirea cu gaz în favoarea centralelor termice pe peleți automatizate.

Firma își propune de asemenea formarea continuă și perfecționarea personalului angajat, în scopul creșterii performanței și a competitivității acestora.

Profitul obținut va fi reinvestit, iar pe termen mediu și lung se are în vedere extinderea ofertei spre alte regiuni geografice.

**Punctele tari** ale proiectului sunt legate de inovarea de proces, localizarea firmei și participarea la alte activități de cercetare-inovare specifice. Inovarea produselor se referă la crearea și utilizarea de noi rețete de producție pentru fabricarea de peleți – atât pentru peleții de încălzire cât și pentru cei de furajare. Inovarea de proces duce inclusiv la optimizarea costului produselor oferite. Alte activități de cercetare-inovare specifice se realizează prin legătura start-up-ului cu mediul universitar.

Un aspect important îl reprezintă materia primă utilizată, care poate proveni din reziduuri lemnoase forestiere din Regiunea de Vest, deșeuri agricole și industriale (paie, fân, tulpini de plante, sămburi lemnoși de fructe, deșeuri viticole etc). Se are de asemenea în vedere existența unor suprafețe întinse de terenuri agricole care nu sunt utilizate în acest moment (care pot sau nu să fie degradate) pentru culturile clasice și pe care se pot înființa culturi energetice.

Localizarea afacerii este într-o regiune în care există zone fără rețele de gaz natural și unde se utilizează preponderent sisteme învechite și cu randament scăzut de producere a căldurii, cu lemne. În acest sens, soluțiile dezvoltate prin proiect răspund cu precădere nevoilor utilizatorilor casnici și industriali din Regiunea de Vest. Acest aspect este cu atât mai important cu cât, din punct de vedere al unui utilizator industrial, cererea de energie termică este strâns corelată cu necesitatea de a reduce nivelul de emisii poluante.

În plus, însuși domeniul în care activează firma, cel de producere a energiei din surse regenerabile – cu consecințe în creșterea eficienței energetice – este considerat un domeniu de viitor și promovat prin toate strategiile naționale și europene.

**Oportunități** ale proiectului provin din creșterea cererii pentru produsele dezvoltate, din varii motive. Se estimează că prețul gazelor naturale, în creștere, va determina orientarea consumatorilor către alternative energetice. Concomitent, o creștere a puterii de cumpărare a utilizatorilor casnici va avea ca efect creșterea cererii de sisteme de producere a energiei ieftine, din surse regenerabile și a materialelor energetice inovative.

Investitorii autohtoni și străini sunt de asemenea interesați de producerea și utilizarea materialelor energetice inovative (biocombustibili în special) și de scăderea dependenței de combustibilii fosili clasici. Dezvoltarea mediului economic are și ea ca efect creșterea cererii de energie termică provenită din surse regenerabile produsă în scop industrial.

În marile orașe este posibil să apară micro-sisteme de producere a energiei termice la nivel de cartier sau grup de blocuri, sisteme pe bază de materiale energetice inovative.

O oportunitate pentru start-up este reprezentată de înființarea de culturi energetice pe terenurile neutilizate în agricultură sau degradate (neutilizabile pentru culturi clasice).

Concomitent cu creșterea consumatorilor de produse pentru încălzire, va avea loc o creștere a utilizatorilor de furaje pentru animale sub formă de peleți, atât persoane fizice cât și juridice din regiune.

O altă oportunitate de dezvoltare rezultă din contribuția populației la ecologizarea și estetizarea pădurilor și a mediului, ca și din posibilitatea de a valorifica reziduuri lemnoase din activitățile curente.

În timpul derulării proiectului, sunt previzionate următoarele categorii de activități:

**A1. Obținerea avizelor de funcționare**

**A2. Activități de procurare a materiilor prime și materialelor necesare realizării proiectului.** Aceste materii prime sunt: rumeguș, deșeuri lemnoase forestiere (stejar, fag, salcâm), deșeuri lemnoase din prelucrarea lemnului, deșeuri agricole (paie sau bețe de plante), plante energetice (sorg, salcie energetică), resturi rezultate în urma prelucrării produselor agricole primare (pleavă, tărațe, șroturi etc.). Acestea vor fi achiziționate de la furnizori de materie primă locali, Romsilva, mori de cereale, firme care produc deșeuri industriale lemnoase nepoluante.

**A3. Activități legate de achiziția de utilaje și echipamente.** În cadrul acestei activități se vor achiziționa o presă de peleți de 22kW și capacitate de 200-250 kg/h, un tocător universal pentru lemn și resturi, o presă de peleți cu matrița plană pentru producția de peleți din rumeguș de lemn, un malaxor orizontal pentru furaje de 3 kW și capacitate 200 kg/10 min, o moară cu ciocănele cu suflantă pentru paie, rumeguș, lemn de diametru maxim 20-50 mm, cu o capacitate de 500-700 kg/h și o putere de 22 kW, un stivuitor manual pietonal cu sarcină maximă de 2000 kg, 2 convertizoare de frecvență 380 V, 11 kW, o presă cu matrița inelară de 30 kW și capacitate 300-400 kg/h, un laptop și un autoturism tip pick-up.

**A4. Activități legate de angajarea și instruirea personalului.** Vor fi angajate 3 persoane: un muncitor necalificat, un operator întreținere utilaje și un operator pentru manipularea utilajelor.

**A5. Activități de determinare a parametrilor caracteristici ai materialelor produse.** Pentru materialele energetice inovative se va determina puterea calorică, noxele și compoziția deșeurilor. Pentru materialele cu destinație furajeră se vor determina caloriiile, cenușa brută, compoziția de proteine, grăsimi, substanță uscată etc. Pentru ambele tipuri de materiale se vor estima costurile de producție.

**A6. Activitatea de punere în fabricație a seriei 0.** Ca rezultat al acestei activități se preconizează darea în folosință a celor două linii de producție și execuția seriei 0 a produselor obținute după noile rețete.

**A7. Activități de ambalare și etichetare a produselor.** Rezultatul acestei activități constă în etichete și ambalaje ale produselor, în conformitate cu normele în vigoare. Etichetele vor conține detalii despre rețetele utilizate și certificatele de calitate obținute în urma testărilor.

**A8. Activități de promovare a produselor.** Promovarea produselor se va face online și offline. Online, promovarea se va realiza pe pagina web a firmei și prin

intermediul rețelelor de socializare. Offline, se preconizează participarea la târguri și expoziții. De asemenea, firma va colabora activ cu instituții partenere din domeniul energiilor regenerabile, pentru a promova valoarea adăugată a unei implicări comune în chestiuni legate de resursele regenerabile de energie, promovându-se astfel schimbul de bune practici și dezvoltarea de sinergii.

**A9. Activități de comercializare.** Ca rezultat al acestei activități, se preconizează vânzarea unei cantități minime de 10 t produse (peleți și/sau brichete).

**A10. Activități dedicate managementului de proiect.**

Pentru linia de fabricare a peletilor pentru energia termice este necesară parcurgerea următoarelor etape: mărunțirea (tocarea), măcinarea, uscarea, separarea, presarea, răcirea, ambalarea. În acest scop, este nevoie de următoarele echipamente:

- tocător universal pentru lemn și resturi agricole
- presă de peleți de 7,5 kW, cu o capacitate de 100-120 kg/h
- moară cu ciocănele cu suflantă pentru paie, rumeguș, lemn (cu diametru maxim de 20-50mm)
- stivuator manual pietonal cu capacitate maximă de 2000 kg
- laptop
- 2 convertizoare de frecvență, pentru comanda și controlul vitezei de rotație a motoarelor de curent alternativ prin reglarea frecvenței și a tensiunii de alimentare a motorului
- presă profesională de peleți de 30 kW, cu o capacitate de 300-400 kg/h
- autoturism tip pick-up, pentru transportul produsului finit.

**Analiza pieței** pentru peleții de încălzire a identificat următoarele avantaje ale acestora:

- costul redus de producție
- eficiența energetică superioară
- puterea calorifică unitară crescută
- cantitatea redusă de noxe
- posibilitatea de a folosi cenușa rezultată ca îngrășământ
- autonomia (nu necesită infrastructură tehnică prea vastă și pot fi utilizați și în zone izolate)
- costul redus și siguranța transportului, în comparație cu combustibilii fosili
- capacitatea de a înlocui cu succes gazele naturale (peleții se utilizează cu același confort ca și gazele naturale, dar sunt cu 20-25% mai ieftini și nu prezintă pericol de explozie)
- caracterul alcalin al prafului din gazele de ardere
- conținutul scăzut de metale
- conținutul practic inexistent de sulfuri
- atributul de „combustibil curat” (spre deosebire de cărbune), solid, ecologic, provenit din surse regenerabile și sustenabile

Peleții sunt mai eficienți decât lemnul de foc sau gazele naturale din punct de vedere al emisiilor de gaze de ardere și, mai mult decât atât, sunt neutri din punct de vedere al emisiilor de carbon.

În plus, peletizarea garantează un maxim de omogenitate fizică a combustibilului solid, rezultând o energie de intensitate mare și ușor de manipulat și dozat. Costurile de stocare, ardere și mentenanță sunt mai mici decât în cazul așchiilor de lemn. Umiditatea și granulația materiei prime sunt esențiale, o granulație uniformă

Contribuții la optimizarea arhitecturii unei linii tehnologice pentru producția de peleți și brichete

a materiei prime și o umiditate optimă (sub 10%) fiind necesare pentru asigurarea unei productivități crescute.

Din punct de vedere al puterii calorifice, 1 kg peleți din paie (care au cea mai mică putere calorifică) este echivalent cu 2,07 kg chereștea, sau 1,7 kg lemn de fag, sau 0,65 kg cărbune sau 0,5 m<sup>3</sup> gaze naturale.

Dezavantajele utilizării peleților pentru încălzire provin din:

- costul ridicat al centralei termice pe peleți comparativ cu cel al unei centrale termice pe gaz
- mentenanța centralei termice: centrala fiind sensibilă la calitatea peleților, trebuie curățată periodic
- necesitatea amenajării unei camere tehnice pentru centrala termică și a unui coș de fum
- dependența funcționării de alimentarea cu curent electric, fiind necesare surse neîntrerupte de curent (tip UPS sau generator de curent) pentru protecție în cazul întreruperilor de energie electrică

Caracteristicile peleților de încălzire produși, la fel ca și utilitatea acestora sunt în strânsă legătură cu avantajele folosirii acestora.

Segmentul de piață țintă este din zona de vest, fiind identificați atât beneficiarii direcți, cât și nevoile lor:

- consumatorii casnici și industriali de produse și soluții de încălzire
- agricultorii care au astfel posibilitatea de a valorifica reziduuri lemnoase și agricole rezultate din activități curente

**Tabelul 2.1 Schiță de buget pentru obținerea unei finanțări prin programul Start-up Nation (la cursul valutar estimat de 1 € = 4,58 lei)**

Nr. crt.	Investiție	Valoare totală (lei)
1	Presă HaBa300B, 380V, 22 kW, cap. 200-250kg/h (Preț estimat = 4300 €)	23435,86
2	Tocător universal pentru lemn și resturi agricole tractat de tractor, HaBa8TH, tractat de tractor 30 - 130 CP (Preț estimat = 3000 €)	16350,60
3	Presă peleți specială pentru producția de peleți HaBa225L, 380V, 7,5 kW, cap. 100-120kg/h (Preț estimat = 2400 €)	13080,48
4	Malaxor orizontal pentru furaj HaBa Mix 200; 380V; 3 kW; capacitate 200kg/10min (Preț estimat = 2100 €)	11445,42
5	Moara cu ciocănele, cu suflantă, pentru paie, rumeguș, lemn HaBa500, Capacitate 0.5—0,7t/h, 22kW (Preț estimat = 3500 €)	19075,70
6	Stivuitor manual pietonal HaBa20HH16, 2000kg (Preț estimat = 900 €)	4905,18
7	2 x Convertizor de frecvență HaBa11, 380V, 11 kW (Preț estimat = 720€)	7848,29
8	Presă Ring HaBaR300, 30kW, cap. 300-400kg/h	40876,50

## Soluții de finanțare a dezvoltării liniilor tehnologice

	(Preț estimat = 7500 €)	
9	Laptop (Preț estimat = 645 €)	3499,79
10	Autoturism tip pick -up (Preț estimat = 6235 €)	33983,60
	<b>TOTAL</b>	<b>174501,50</b>

Acest proiect a fost depus, câștigat și implementat în 2017.

### 2.3.2 Finanțare prin Programul Operațional Competitivitate

O altă modalitate de a finanța un start-up în domeniul producerii de resurse energetice regenerabile, este prin Programul Operațional Competitivitate, acțiunea 1.2.1, prin proiecte de tip „Întreprinderi inovatoare tip start-up și spin-off”.

Acest tip de proiecte se adresează întreprinderilor inovatoare de tip start-up sau spin-off și au ca principal realizarea și comercializarea de produse sau tehnologii semnificativ îmbunătățite. Prin acest program se acordă o asistență financiară nerambursabilă de maxim 840.000 lei (echivalent a 200.000 Euro), reprezentând 90% din costurile eligibile totale ale proiectului, restul de 10% din aceste costuri fiind suportate de către beneficiar. Un proiect poate să dureze maxim 2 ani.

Solicitanții eligibili sunt start-up-uri sau spin-off-uri, care funcționează pe teritoriul României, au o vechime de maxim 3 ani la depunerea proiectului, și fac dovada că dețin un rezultat (brevet cu o vechime maximă de 5 ani, cerere de brevet, teză de doctorat susținută în ultimii 5 ani, drepturi de utilizare a rezultatelor cercetării) pe care îl vor aplica apoi în timpul proiectului.

Activitățile eligibile în cadrul unor astfel de proiecte sunt activități de cercetare-dezvoltare, achiziția de servicii pentru cercetare-dezvoltare, achiziția de servicii de consultanță pentru inovare (asistență tehnologică, transfer tehnologic, drepturi de proprietate) achiziția de servicii suport pentru inovare (testări specializate, marcarea calității, certificări, studii de piață), activități pentru introducerea în producție și realizare a produsului, procesului sau serviciului oferit, activități pentru procurarea de materii prime și materiale necesare realizării proiectului, activități de informare și publicitate și activități pentru înființarea și înregistrarea spin-off-urilor.

Printre condițiile de eligibilitate, se impune ca minim 30% din totalul cheltuielilor eligibile să fie cheltuieli pentru activități de cercetare-dezvoltare și minim 40% din totalul cheltuielilor eligibile să fie cheltuieli pentru introducerea în producție a rezultatelor cercetării.

În continuare se va detalia, pentru un proiect de acest tip, obiectivele specifice, activitățile proiectului, rezultatele previzionate și bugetul alocat pentru fiecare activitate.

Condiția de eligibilitate referitoare la existența unui rezultat al cercetării este îndeplinită prin existența unei teze de doctorat în domeniu [59], care a fost susținută în anul 2012.

**Obiectivele specifice** ale proiectului de finanțare sunt:

- O1. realizarea unei rețete inovatoare pentru fabricarea peleştilor și/sau brichetelor, din diverse direcții de cercetare prin valorificarea reziduurilor forestiere și agricole

- O2. realizarea unei centrale termice de încălzire inovatoare pentru peleți și/sau brichete

**Activitățile** propuse pentru a se realiza în cadrul proiectului sunt:

- **A1. Activități de cercetare-dezvoltare (cercetare industrială și/sau dezvoltare experimentală)**, cu subactivitățile:
  - **A1.1. Proiectarea și optimizarea arhitecturii instalației pilot de producere peleți/brichete** Această activitate se va realiza pe parcursul lunilor 1-6 de implementare a proiectului, va contribui la realizarea obiectivului O1 și va avea ca rezultat 1 linie tehnologică optimizată de producere a peletilor/brichetelor.
  - **A1.2. Realizarea și planificarea modelului științific pentru produsele noi** Această activitate va contribui la atingerea obiectivelor specifice O1 și O2 și va avea ca rezultate 1 metodologie și 1 planificare de realizare a cercetării științifice.
  - **A1.3. Realizarea fizică a eșantioanelor de peleți/brichete** Această activitate se va realiza pe parcursul lunilor 5-12 de implementare a proiectului, va contribui la realizarea obiectivului O1 și va avea ca rezultat minim 1 eșantion de peleți/brichete.
  - **A1.4. Experimentarea modelului preluat din teza de doctorat pe care se bazează proiectul (evaluarea industrială și testarea indicatorilor tehnici a produselor obținute)** Această activitate se va realiza pe parcursul lunilor 9- 18 de implementare a proiectului, va contribui la realizarea obiectivelor O1, O2 și va avea ca rezultat 1 raport.
  - **A1.5. Conceperea și depunerea documentației pentru obținerea unui brevet** Această activitate se va realiza pe parcursul lunilor 10-24 de implementare a proiectului, va contribui la realizarea obiectivului specific O1 și va avea ca rezultat o cerere de brevet.
- **A2. Achiziția de servicii pentru cercetare-dezvoltare**, cu subactivitățile:
  - **A2.1. Proiectarea și experimentarea unei soluții inovative pentru o centrală termică pilot**, care va avea ca rezultat un proiect tehnic pentru o centrală pilot.
  - **A2.2. Experimentarea prin măsurarea performanțelor peletilor/brichetelor realizate din mixturi de materiale regenerabile ca parte a experimentării modelelor** Această activitate va contribui la realizarea obiectivelor O1 și O2 și va avea ca rezultate un raport și un studiu comparativ referitor la comportarea mai multor centrale.
- **A3. Activități pentru introducerea în producție și realizare produs/proces/ tehnologie**, cu subactivitățile:
  - **A3.1. Achiziția de echipamente necesare punerii în funcțiune a liniei de fabricație** Această activitate se va desfășura pe parcursul lunilor 1-3 de implementare a proiectului, va contribui la realizarea obiectivelor O1 și O2 și va avea ca rezultat dosarele de achiziții de echipamente: instalațiile necesare pentru alimentarea liniei de producție cu energie electrică, achiziționarea liniei de producție a peletilor, echipamente de depozitare a materiei prime, bandă transportoare a peletilor, echipamente de protecție de-a lungul liniei de peleți/brichete, tocător de crengi.



- **A3.2. Pregătirea pentru introducerea în fabricație** Această activitate se va desfășura pe parcursul lunilor 12-14 de implementare a proiectului, va contribui la realizarea obiectivelor O1 și O2 și va avea ca rezultat 1 procedură de utilizare a liniei de producție și a procesului de producție și un 1 rețetar cu rețete de produs optimizate.
- **A3.3. Punerea în fabricație a seriei 0** Această activitate se va desfășura de-a lungul lunilor 15-24 de implementare a proiectului și va contribui la realizarea obiectivului O1, având ca rezultat seria 0 de peleți/brichete.
- **A3.4. Realizarea fizică a centralei termice pilot** Această activitate va contribui la realizarea obiectivului O2, având ca rezultat 1 centrală pilot realizată. Pentru această activitate se prevăd cheltuieli pentru achiziția de scule electrice (polizor unghiular mare, polizor unghiular mic, bormașină cu percuție, bormașină cu acumulator, fierăstrău electric pendular, fierăstrău circular, mașină de găurit cu coloană, aparat sudură, fierăstrău circular de banc, set filetat manual, cărucior complet dotat cu scule și chei, menghină, polizor de banc, transpalet cu ridicare manuală) cheltuieli cu achiziția de materiale pentru realizarea unor prototipuri de centrale (conectori cupru, robineti, tub flexibil coș, tablă neagră, cărămizi refractare, electrozi supertit, discuri debitare metal, discuri polizare, disc cu lamele, grătare fontă, supape siguranță, vas expansiune, pompă recirculare).
- **A4. Activități de procurare de materii prime și materiale necesare realizării proiectului**, cu subactivitățile:
  - **A4.1. Achiziția de materie primă și materiale** Această activitate se va desfășura în lunile 1-3 de implementare a proiectului și va contribui la realizarea obiectivelor O1, O2, având ca rezultat un dosar de achiziție pentru materia primă și materiale.
  - **A4.2. Achiziția de ambalaje corespunzătoare (saci, pungi etc.)** Această activitate se va desfășura de-a lungul lunilor 9-24 de implementare a proiectului, va contribui la realizarea obiectivelor O1 și are ca rezultat un contract de achiziție a ambalajelor.
- **A5. Activități de informare și publicitate privind proiectul**, cu subactivitățile:
  - **A5.1. Asigurarea vizibilității** Activitatea se va desfășura pe parcursul lunilor 1-24 de implementare a proiectului și va contribui la realizarea obiectivelor O1, O2, având ca rezultate previzionate un website, o pagină pe o rețea de socializare, pliante, flyere, un ghid, o broșură, organizarea a trei workshopuri și a două conferințe de presă.
- **A6. Activități pentru management de proiect și audit** Aceste activități sunt obligatorii și neeligibile și constau în următoarele subactivități:
  - **A6.1. Management tehnico-financiar și monitorizare proiect** Această activitate se va desfășura de-a lungul lunilor 1-24 de implementare a proiectului și va avea ca rezultate 24 întâlniri de lucru și 5 rapoarte de progres.
  - **A6.2. Audit final** Această activitate se va desfășura de-a lungul lunilor 20-24 de implementare a proiectului și va avea ca rezultat 1 raport de audit financiar.

Cheltuielile totale ale acestui proiect sunt în valoare de 814.124,05 lei, din care 704.974,05 lei eligibili și 109.150 lei neeligibili. Dintre cheltuielile eligibile,

## Contribuții la optimizarea arhitecturii unei linii tehnologice pentru producția de peleți și brichete

---

621.926,98 lei reprezintă ajutor de stat, iar 83.047,07 lei reprezintă contribuția proprie a solicitantului.

Acest proiect a fost depus în 2017, a fost câștigat și se află în curs de implementare.

### **2.4 Concluzii parțiale**

Pornind de la definiția termenului de optimizare, în acest capitol a fost prezentată o propunere de optimizare a unei linii tehnologice pentru producerea de peleți, existente la fabrica din Cenei. Pentru a ajunge la această propunere, a fost analizat procesul tehnologic dintr-o fabrică de peleți și au fost purtate discuții cu mai mulți producători, pentru a identifica nevoile producătorilor și cererea de pe piață. Apoi, într-un colectiv de proiecte, au fost schițate și depuse două proiecte europene pentru finanțarea schimbărilor necesare îmbunătățirii producției prin producerea de peleți de încălzire din mixturi de biomasă solidă. Aceste proiecte au fost câștigate și implementate, rezultând o linie tehnologică îmbunătățită.

Proprietățile peletilor realizați cu linia tehnologică îmbunătățită și condiții necesare pentru obținerea de peleți de încălzire din mixturi de biomasă care să îndeplinească anumite standarde de calitate vor fi prezentate în capitolele ce urmează.

### 3 FUNDAMENTELE TEORETICE ALE CERCETĂRII

**Obiectivele** acestui capitol sunt:

- fundamentarea teoretică a cercetării
- trecerea în revistă a diverselor metode de cercetare fundamentală [105],[145],[116], care vor fi utilizate în capitolele următoare

Vor fi trecute în revistă generalități privind organizarea cercetărilor experimentale și planificarea științifică a experimentelor factoriale, tehnici de prelucrare a datelor experimentale, elemente de cercetări operaționale și inteligență artificială, precum și softurile dedicate Statgraphics Centurion și Matlab, utilizate pentru obținerea unor rezultate specifice în această teză.

#### 3.1 Viziune generală asupra organizării cercetărilor experimentale pe linia de peleți și brichete

Fiecare activitate de cercetare se bazează pe date colectate anterior. Datele pot fi [79],[139]:

- proprietăți fizice sau chimice (densitate, conductivitate termică, temperatură de topire etc.)
- modele biologice (neuroni "artificiali" care modelează neuroni "reali")
- valori inițiale pentru un proces, în cazul modelelor care includ o dependență de timp a proprietăților (temperatură inițială, concentrație inițială etc.)
- valori limită sau de frontieră (temperatura pe muchiile și fețele unui obiect studiat, viteza pe frontieră etc.)
- informații economice (prețuri, productivitate, cerere și ofertă etc.)
- diverse (starea economiei, cantitatea de precipitații, gradul de satisfacere a clientului, proveniența unui obiect, gradul de disponibilitate a unui obiect într-o anumită zonă etc.)

Mărimile fizice sunt acele proprietăți ale sistemelor care pot fi diferențiate calitativ sau determinate cantitativ. Oricărui obiect, fenomen sau proces analizat i se pot asocia factori de influență și funcții obiectiv. Toți factorii de influență, la fel ca și unele dintre funcțiile obiectiv, sunt mărimi fizice.

Măsurarea unei mărimi fizice înseamnă a o compara cu altă mărime fizică, numită etalon sau unitate de măsură, folosind un anumit principiu (sau metodă) de măsurare. Orice măsurători sunt afectate de erori – întâmplătoare, sistematice sau greșeli.

Punctul de plecare al oricărui proces de prelucrare a datelor experimentale se bazează pe ipoteza că datele respective reprezintă un eșantion de valori afectat de erori.

Estimarea unui parametru necunoscut cu ajutorul rezultatelor măsurărilor este o problemă fundamentală a teoriei estimației. Astfel, teoria estimației își propune să determine metode de a estima parametri care să implice forme convenabile de

calcul și un număr cât mai mic de rezultate experimentale, dar în același timp să nu se îndepărteze prea mult de valoarea reală a parametrului estimat.

O metodă statistică de a analiza datele de măsurare ce depind de unul sau mai mulți factori cu acțiuni simultane, în scopul de a stabili semnificația acestora asupra funcției obiectiv este analiza dispersională (sau analiza varianței). Pentru analiza dispersională, toți factorii de influență au valori discrete, chiar dacă nu sunt numerice.

În efectuarea experimentelor de analiză dispersională este esențială structurarea acestora, sau planificarea schemei după care se vor realiza măsurătorile. Scopul cercetărilor este modelarea matematică a acțiunii factorilor de influență asupra funcției obiectiv. Această modelare poate fi:

- analitică, atunci când dependența funcției obiectiv de factorii de influență se bazează pe ipoteze simplificatoare [134];
- experimentală, atunci când dependența funcției obiectiv de factorii de influență se bazează pe date experimentale [123];
- analitico-experimentală, atunci când dependența funcției obiectiv de factorii de influență se determină prin metode mixte [94].

După determinarea unui model teoretic pentru un proces sau un fenomen, urmează simularea acestuia. Simularea se face folosind tehnici de programare și urmărește studiarea procesului sau a fenomenului analizat în anumite circumstanțe, care pot fi controlate de către utilizator. Prin variația parametrilor, utilizatorul își poate forma o privire de ansamblu asupra fenomenului studiat, poate să îl înțeleagă, poate să îl studieze folosind resurse aflate la îndemână [83]. Astfel, atât eficiența cercetării cât și eficiența procesului educațional cresc, în special atunci când resursele care țin de tehnologia informației și a comunicațiilor (resursele TIC) sunt folosite în mod intensiv [82].

Referitor la cercetările experimentale pe linia de peleți și brichete, scopul este de a determina mixturi eficiente de materii prime disponibile în zonă: orz (paie), cânepă (tulpini), rapiță (paie), porumb (boabe), brad (rumeguș), salcie, salcâm, cărbune de lemn (vegetal).

Desigur, și materialele combustibile trebuie să respecte anumite standarde. Între 2011 și 2013, UE a conceput și impus o serie de politici referitoare la calitatea aerului în Europa [43]. Cea mai mare sursă de poluare identificată a fost sectorul energetic, ceea ce a condus la adoptarea de noi reglementări care să limiteze efectele întreprinderilor industriale asupra atmosferei. Astfel, fiecare stat UE trebuie să implementeze un program național de control al poluării atmosferice, pentru a atinge țintele propuse pentru anii 2020 și 2030. Aceste ținte au în vedere reducerea dioxidului de sulf, oxizilor de azot, a prafului și a altor compuși volatili toxici, cum ar fi clorul și compușii acestuia. Deoarece atât reducerea poluării cât și alinierea la standardele UE sunt esențiale, biocombustibilii folosiți pentru producerea de energie ar trebui să conțină materiale pentru care cantitatea de noxe să nu depășească valorile maxim admise.

### 3.2 Considerații privind planificarea științifică a experimentelor factoriale

Abordarea științifică a unei probleme constă în parcurgerea următorului set de pași [99], [95]:

1. definirea problemei de analizat
2. observarea comportamentului sistemului care conține problema în diverse condiții
3. elaborarea unei ipoteze pe baza observațiilor
4. testarea ipotezei și experimentarea modelului
5. înregistrarea măsurătorilor în timpul efectuării experimentului
6. analiza datelor obținute și validarea sau invalidarea ipotezelor.

Proiectarea experimentală (planificarea științifică a experimentelor) reprezintă o abordare riguroasă și sistematică a procesului de rezolvare de probleme [35]. Prin aceasta, în stadiul culegerii datelor experimentale se aplică diverse principii și tehnici de natură a asigura concluzii valide și consistente cu un consum cât mai mic de resurse. Proiectarea experimentală se aplică de obicei, în următoarele cazuri:

- comparare – pentru a analiza dacă modificarea unui factor aduce sau nu o îmbunătățire a procesului (sistemului) analizat
- evaluare (caracterizare) – pentru a ierarhiza lista factorilor de influență asociați unui proces (sistem)
- modelare – pentru a modela cu acuratețe procesul
- optimizare – pentru a configura factorii de proces în mod optim.

O proiectare efectuată corect evită erorile sistematice, este precisă, permite estimarea erorii și poate fi validată pe scară largă. O proiectare cu blocuri menține condiții comune (omogene) de-a lungul experimentelor.

Factorii de care depinde un model pot fi cantitativi (măsurabili) sau calitativi (nemăsurabili, de tip atribut). Dacă sunt  $k$  factori (intrări) de care depinde răspunsul, fiecare intrare având  $n$  nivele, este nevoie de  $n^k$  experimente pentru a descrie complet un proces (sistem). Pentru a realiza aceste experimente este nevoie de consum ridicat de resurse (timp, bani, materiale etc.). O proiectare a experimentului făcută corect asigură că rezultatele pot fi analizate și validate cu un număr cât mai mic de încercări practice.

Din punct de vedere matematic, proiectarea experimentelor presupune determinarea unei funcții polinomiale  $P(x_1, x_2, \dots, x_k)$  care să estimeze cât mai exact variabila de răspuns a procesului, unde  $x_i$  sunt factorii de care depinde răspunsul. Polinomul de estimare poate fi un polinom de gradul I sau poate conține și termeni de grad superior sau produse de termeni (care corespund la interacțiuni de factori).

**Matricea unui experiment** [95] este o matrice ale cărei linii sunt nivelurile factorilor, iar coloanele sunt nivelurile aceluiași factor, codificate după cum urmează:

$$z_j = \frac{x_j - x_{j \min}}{x_{j \max} - x_{j \min}} \quad (3.1)$$

unde  $x_j$  este valoarea reală a factorului  $j$ ,  $x_{j \min}$  este valoarea reală a nivelului minim al factorului, iar  $x_{j \max}$  este valoarea reală a nivelului maxim al factorului. Valorile lui  $z_j$  sunt numere reale între 0 și +1.

**Efectul principal al unui factor** se definește ca diferența dintre răspunsul mediu înregistrat în cazul nivelului superior al factorului și răspunsul mediu înregistrat în cazul nivelului inferior al factorului.

**Rezoluția unui experiment** descrie măsura în care efectele principale sunt confundate cu interacțiuni de ordin superior (II, III etc). O rezoluție de nivel mai ridicat implică utilizarea unor termeni cu un grad mai mare în polinomul de aproximare asociat răspunsului.

După numărul de încercări, se pot distinge mai multe scheme (planuri) factoriale [95],[128], dintre care sunt amintite în continuare, pe scurt, cele mai frecvent întâlnite.

**Experimentul factorial complet**, care pentru  $k$  factori cu 2 nivele fiecare presupune efectuarea a  $2^k$  încercări, iar pentru  $k$  factori cu 3 nivele fiecare presupune  $3^k$  încercări. Fiecare factor cu  $n$  nivele are  $n - 1$  grade de libertate.

**Experimentul factorial compus central** consideră, pe lângă cei  $k$  factori cu 2 nivele fiecare, un punct central al experimentului (în care fiecare factor are nivelul egal cu media aritmetică a nivelelor sale minim, respectiv maxim), respectiv  $2k$  puncte stea, aflate la distanță  $\alpha$  de centru. Astfel, un experiment factorial compus central va consta în  $2^k + 2k + 1$  încercări.

**Experimentul factorial fracționat**, rezultat prin divizarea unui plan de tip  $2^k$  în două semiplane, fiecare de tip  $2^{k-1}$  sau în patru sferturi de tip  $2^{k-2}$ . Selecțiile pentru aceste tipuri de experimente trebuie să fie echilibrate (i.e., orice factor trebuie să aibă același număr de selecții asociate fiecăruia dintre nivelurile sale) și ortogonale.

**Experimentul Box-Behnken** este un experiment factorial incomplet cu 3 niveluri pentru fiecare factor, introdus în anii 1960. Acest experiment presupune repetarea unui bloc de selecții care corespund unui experiment factorial pe 2 niveluri, pentru care factorii neincluși bloc rămân la un nivel mediu pe tot blocul respectiv.

**Experimentul Plackett-Burman** este un experiment factorial fracționat pe 2 niveluri care include interacțiunea factorilor. Numărul de încercări este o putere a lui 2. Acest tip de experiment nu este recomandat atunci când există o interacțiune a factorilor. Prin acest experiment se pot studia până la  $n - 1$  factori folosind  $n$  încercări.

**Experimentul de screening** identifică o submulțime a factorilor pentru a fi studiată ulterior. Acest experiment se bazează pe experimentul Plackett-Burman. Prin acest experiment se pot studia până la  $4n - 1$  factori folosind  $4n$  încercări. Dezavantajul acestui tip de experiment este că numărul mic de încercări poate duce la confundarea efectelor unor interacțiuni dintre factori.

**Experimentul de tip pătrat latin** este un experiment cu  $k$  factori, fiecare având  $L$  niveluri și în care numărul total al experimentelor este  $L^2$ . Pentru  $k = 3$  este vorba de pătratul latin, pentru  $k = 4$ , de pătratul greco-latin, iar pentru  $k = 5$  de pătratul hiper-greco-latin.

**Experimentul (metoda) Taguchi** este un experiment factorial fracțional cu niveluri mixte și selecții ortogonale. În acest model se face distincție între variabile controlabile și variabile-zgomot (care nu pot fi controlabile). Pentru aceste două tipuri de variabile se aleg două experimente ortogonale, iar lista încercărilor este o combinație a celor două liste de încercări.

### 3.3 Tehnici de prelucrare a datelor experimentale

Metodele statistice tradiționale folosite pentru a lega date de intrare cu date de ieșire sunt numite, în general, "curve fitting" (fie că e vorba de interpolare sau regresie). Printre ele, una dintre cele mai des folosite metode este metoda celor mai mici pătrate.

Fie o mulțime discretă finită de puncte (noduri)

$$\{(x_i, y_i) | x_i, y_i \in \mathbb{R}, 1 \leq i \leq n\} \quad (3.2)$$

Această mulțime poate fi asociată unei funcții tabelate, dată prin lista ordonată a variabilelor,  $x = [x_1 = \min, x_2, \dots, x_n = \max]$  și prin lista valorilor sale,  $[y_1, y_2, \dots, y_n]$ . O interpolare a acestor puncte este o funcție continuă  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  pentru care  $f(x_i) = y_i$ . Practic, a interpola o serie de puncte înseamnă a trasa o linie prin acestea.

Există diverse modalități de a interpola un set de puncte [71]: metoda celui mai apropiat vecin, metode de interpolare liniară (care au nevoie de cel puțin 2 puncte cunoscute), metode de interpolare polinomială (care determină o relație polinomială de grad  $n-1$  pentru  $n$  puncte, cum sunt polinoamele de interpolare Lagrange sau Newton) sau metode de interpolare polinomială pe porțiuni (spline liniar, spline cubic etc).

Totuși, interpolarea unui set de date are următoarele neajunsuri:

- Polinoamele de interpolare au rezultate apropiate de valorile funcției doar în intervalul  $[x_1, x_n]$ .
- În cazul în care funcția tabelată conține înregistrări afectate de erori (bias, zgomot), polinoamele de interpolare vor integra aceste erori, ceea ce poate duce la determinarea eronată a expresiei analitice pentru funcția tabelată dată.
- Eroarea polinoamelor de interpolare nu poate fi determinată (și minimizată) dacă nu există nici o altă informație despre funcția tabelată în afara informațiilor din punctele  $x_i$ .

Analiza de regresie [58], introdusă pentru prima dată de Pearson, în 1908, se referă la determinarea unei relații între un răspuns  $Y$  (variabila dependentă sau endogenă) în funcție de valorile uneia sau mai multor variabile independente (exogene)  $X$ . Spre deosebire de interpolare, unde variabilele  $X$  și  $Y$  sunt presupuse a priori ca neafectate de erori, în cazul analizei de regresie se presupune că răspunsurile  $Y$  pot fi afectate de erori, iar variabilele independente sunt exacte (nu sunt afectate de erori). Astfel, analiza de regresie devine unul dintre cele mai puternice instrumente de modelare statistică.

Cele mai frecvent utilizate regresii sunt regresia liniară (prin care se determină o dreaptă ca fiind cea mai bună aproximație dintr-o diagramă de dispersie), regresia nonliniară (prin care se determină o curbă ca fiind cea mai bună aproximație a unei digrame de dispersie) și regresia multiplă (caz în care variabila dependentă depinde de mai multe variabile independente).

Forma diagramei de împrăștiere (forma norului de puncte asociat mulțimii  $\{(x_i, y_i) | x_i, y_i \in \mathbb{R}, 1 \leq i \leq n\}$ ) sugerează dependența sau independența variabilelor și deci tipul de regresie care se poate folosi.

Relația dintre o variabilă dependentă  $y$  și o funcție de regresie  $f(x)$  este

$$y = f(x) + \varepsilon \quad (3.3)$$

unde  $\varepsilon$  reprezintă eroarea de aproximare. Pentru această eroare de aproximare, se pun următoarele probleme:

- Care trebuie să fie ordinul de mărime a erorii de aproximare pentru ca modelul de regresie să fie acceptabil în practică?
- Care este valoarea minimă a erorii de aproximare și pentru ce parametri ai funcției de regresie se obține aceasta?
- Care este semnificația practică a erorii standard de estimare?
- Care este intervalul de predicție asociat regresiei?

Eroarea de aproximare depinde de o serie de factori mai mult sau mai puțin controlabili în practică, cum ar fi gradul de omogenitate a eșantionului analizat sau exactitatea măsurătorilor [35]. Asupra sa se fac următoarele presupuneri apriorice:

- Eroarea de aproximare este o variabilă aleatoare cu distribuție normală, cu valori atât pozitive cât și negative și care nu depinde de variabilele independente  $X$ .
- Eroarea de aproximare are media 0 ( $M(\varepsilon) = 0$ ) și dispersia constantă ( $D^2(\varepsilon) = \sigma^2$ ).
- Valorile erorii de aproximare sunt liniar independente (eroarea de aproximare nu este autocorelată).
- Variabilele independente,  $X$ , sunt liniar independente (i.e., nu sunt corelate).

Deoarece eroarea de aproximare poate lua atât valori pozitive cât și negative, se consideră că eroarea totală a unui model este abaterea medie pătratică a erorii de aproximare, adică suma pătratelor erorilor individuale de aproximare:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y - f(x))^2 \quad (3.4)$$

Una din cele mai folosite metode de determinare a ecuațiilor de regresie este metoda celor mai mici pătrate. Aceasta presupune determinarea coeficienților funcției  $f(x)$  pentru care eroarea totală a modelului este minimă, adică

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y - f(x))^2 = \text{minim} \quad (3.5)$$

ceea ce implică faptul că derivatele parțiale ale erorii  $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$  în raport cu coeficienții modelului sunt nule.

### 3.3.1 Regresii liniare și regresii neliniare

Cea mai simplă formă de regresie este regresia liniară [127],[93]. Aceasta presupune determinarea unei drepte care să aproximeze (ajusteze) cel mai bine un set de date. Ecuația modelului de regresie liniară este

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3.6)$$

unde  $y$  este variabila dependentă,  $x$  este variabila independentă,  $\beta_0$  (interceptorul sau intersecția dreptei  $y = \beta_0 + \beta_1 x$  cu axa  $Oy$ ) și  $\beta_1$  (coeficientul de regresie sau panta dreptei de ecuație  $y = \beta_0 + \beta_1 x$ ) sunt parametrii modelului, iar  $\varepsilon$  este eroarea de aproximare.

Eroarea de aproximare,  $\varepsilon$ , reprezintă diferența dintre valoarea reală a variabilei dependente și valoarea aproximată a sa de relația  $y = \beta_0 + \beta_1 x$ .



Determinarea unui model de regresie care să respecte condițiile apriorice impuse asupra erorii de aproximare conduce la rezolvarea unui sistem de ecuații, în care necunoscutele sunt  $\beta_0$  și  $\beta_1$ :

$$\begin{cases} -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 = 0 \\ -2 x_i \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 = 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

Soluția acestui sistem este scrisă sub forma:

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\ \beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \end{cases} \quad (3.8)$$

unde  $\bar{x}$  și  $\bar{y}$  sunt mediile variabilelor aleatoare  $x$ , respectiv  $y$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.9)$$

Deși poate părea restrictiv din punct de vedere al numărului de cazuri reale vizate, modelul de regresie liniară nu se aplică doar la determinarea unei corespondențe liniare între variabilele dependente și independente. Orice model pentru care coeficienții se pot transforma în coeficienți liniari poate fi redus la un model liniar:

- modelul exponențial  $y = \beta_0 a^{\beta_1 x} \cdot \varepsilon$  se transformă prin logaritmare într-un model liniar
- modelul hiperbolic  $y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{x} + \varepsilon$  se transformă prin schimbarea de variabilă  $x' = \frac{1}{x}$  într-un model liniar

Într-un mod similar regresiei liniare, se poate defini o ecuație de regresie multiliniară (un model multifactorial liniar de regresie) ca

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_M x_M + \varepsilon \quad (3.10)$$

unde  $y$  este variabila dependentă,  $x_1, x_2, \dots, x_M$  sunt variabile independente,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_M$  sunt parametrii modelului, iar  $\varepsilon$  este eroarea de aproximare.

În cazul în care relația dintre valorile variabilei dependente și valorile variabilelor independente poate fi modelată ca un polinom de gradul  $n$ , vorbim de regresie polinomială sau ecuații de regresie de ordin superior [14].

Similar cu ecuațiile de regresie liniară, variabila dependentă poate fi determinată de o variabilă independentă sau de mai multe.

În acest caz, ecuația de regresie se poate scrie sub forma generală ca

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{i,j,k=1}^n \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \dots + \varepsilon \quad (3.11)$$

Atunci când este vorba de o dependență de o singură variabilă, este vorba despre regresie polinomială de ordin  $n$ :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n + \varepsilon \quad (3.12)$$

De cele mai multe ori, pentru a simplifica modelul, nu se folosesc combinații de variabile independente, ci doar puterile acestora.

### 3.3.2 Caracteristici ale ecuațiilor de regresie: coeficient de corelație, deviații și erori standard, coeficient de determinare

În principiu, pentru orice set de puncte se poate determina o ecuație de regresie liniară sau de ordin superior care să explice variația variabilei dependente de una sau mai multe variabile independente. Totuși, pentru a putea folosi acea ecuație de regresie în practică, este nevoie de îndeplinirea simultană a mai multor condiții.

O măsură a gradului de asociere dintre două variabile statistice este coeficientul de corelație [58]. Coeficientul de corelație al lui Pearson este definit ca mărimea

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.13)$$

în care notațiile sunt cele prezentate anterior.

Valorile coeficientului  $r$  sunt cuprinse între  $-1$  și  $1$ . Valoarea  $r = 1$  denotă o dependență liniară directă între variabilele  $x$  și  $y$ , valoarea  $r = -1$  denotă o dependență liniară inversă, iar valoarea  $r = 0$  denotă lipsa unei dependențe liniare între cele două variabile. Faptul că  $r = 0$  nu înseamnă că cele două variabile sunt necorelate, ci este posibil ca ele să fie corelate printr-o relație de regresie de ordin superior.

Pentru a stabili dacă cele două variabile sunt cu adevărat corelate, se introduce un prag de la care se poate considera că legătura dintre cele două variabile este semnificativă. Acesta poate fi ales din inegalitatea

$$|r| \cdot \sqrt{n-1} \geq 3 \quad (3.14)$$

fie de utilizarea nivelului de semnificație  $p$  asociat calcului coeficientului  $r$ , ca de exemplu „dacă  $p \leq 0,05$  atunci legătura este semnificativă cu un nivel de probabilitate (interval de încredere) de 95%”.

O măsură a gradului de împrăștiere a valorilor reale față de valorile determinate prin regresie (multi)liniară cu  $M$  variabile este eroarea standard a estimării, adică

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{n - M - 1}} \quad (3.15)$$

în care cantitatea  $n - M - 1$  reprezintă numărul de grade de libertate al modelului.

Pentru interpretarea erorii standard a estimării, se fac în plus două presupuneri [35]:

- Valorile observate  $y_i$  sunt distribuite normal în jurul valorilor estimate  $f(x_i)$ , ceea ce implică faptul că valorile estimate reprezintă medii de variabile aleatoare normale.
- Dispersia distribuțiilor în jurul valorilor estimate  $f(x_i)$  este aceeași, ceea ce implică faptul că abaterile standard ale distribuțiilor de probabilitate  $y_i$  sunt egale cu  $s_e$ .

În aceste condiții, punctele  $\{(x_i, y_i) | x_i, y_i \in \mathbb{R}, 1 \leq i \leq n\}$  sunt dispuse astfel:

- 68% dintre ele la distanța  $\pm s_e$  față de dreapta de regresie
- 95,5% la distanța  $\pm 2s_e$  față de dreapta de regresie
- 99,7% la distanța  $\pm 3s_e$  față de dreapta de regresie

În plus, se poate construi intervalul de predicție asociat ecuației de regresie, și anume: cu o probabilitate egală cu  $1 - \alpha$ , valorile observate  $y_i$  se află situate în intervalul

$$\left( f(x_i) - t_{\frac{\alpha}{2}} \cdot s_e; f(x_i) + t_{\frac{\alpha}{2}} \cdot s_e \right) \quad (3.16)$$

în care  $t_{\frac{\alpha}{2}}$  reprezintă distribuția Student asociată nivelului de probabilitate  $\alpha$  pentru numărul de grade de libertate ale modelului.

Gradul în care ecuația estimată a regresiei poate fi folosită în prognoze este dat de coeficientul de determinare,  $r^2$ . Acesta se calculează ca

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (f(x_i) - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.17)$$

notațiile fiind cele cunoscute, și exprimă o măsură a intensității relației de regresie. Practic, valoarea lui  $r^2$  arată în ce măsură variația lui  $y$  este dată de modelul de regresie ales.

### 3.3.3 Determinarea valorilor aberante

Valorile aberante sunt acele valori care nu se încadrează în modelul general al celorlalte valori. În cazul unei distribuții normale, regula empirică este că valoarea depărtată de medie cu mai mult de 3 abateri standard este o valoare aberantă. Valorile aberante pot influența major coeficienții de regresie, de aceea este important ca ele să fie identificate [35],[14].

Pentru identificarea valorilor aberante se analizează reziduurile standardizate, identificându-se astfel valorile extreme ale lui  $y$ . O metodă de a identifica punctele care influențează semnificativ regresia este distanța Cook (Cook's D, introdusă de R. Dennis Cook în 1977). Pentru a  $i$ -a valoare a variabilei  $x$ , se definește distanța Cook ca fiind

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^n (f(x_j) - f_i(x_j))^2}{(k+1)s^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3.18)$$

unde  $f(x_j)$  este valoarea estimată pentru a  $j$ -a observație,  $f_i(x_j)$  este valoarea estimată după omiterea celei de-a  $i$ -a observații,  $s$  - eroarea standard a estimației și  $k+1$  este numărul de coeficienți ai modelului de regresie. Se consideră că o variabilă  $x_i$  este aberantă dacă

$$D_i \geq \frac{4}{n - (k + 1)}. \quad (3.19)$$

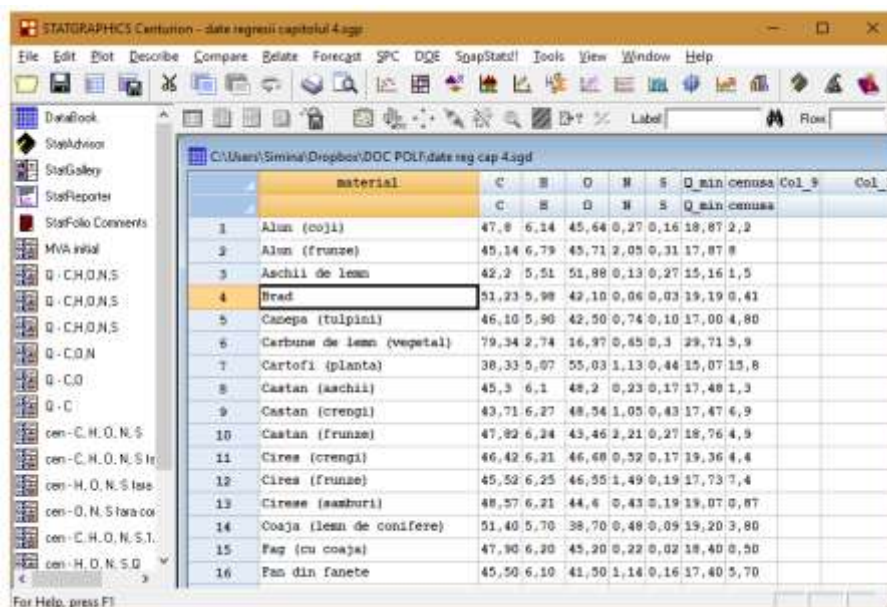
După ce au fost identificate, valorile aberante sunt eliminate, împreună cu observațiile care le conțin, iar regresia este refăcută. Totuși, este posibil ca tocmai valorile identificate ca aberante să fie cu adevărat importante în procesul studiat, drept pentru care înainte de a le elimina, trebuie identificat dacă valorile au apărut în urma unor erori de măsurare, dacă reprezintă cazuri neimportante pentru procesul studiat sau dacă au influențe majore asupra coeficienților modelului.

### 3.4 Procesarea statistică a datelor folosind Statgraphics Centurion

Prelucrarea statistică a datelor obținute în cursul unui experiment se poate realiza folosind o mare diversitate de soluții software sau de calcul tabelar. Dintre acestea, se pot aminti: Microsoft Excel, Matlab, SPSS, Statistix, SAS Business Intelligence, Statgraphics Centurion etc. Pentru prelucrarea statistică a datelor obținute în cadrul acestei teze, am folosit Statgraphics Centurion.

Statgraphics Centurion XVI este un software dedicat pentru prelucrarea statistică a datelor, dezvoltat de firma StatPoint Technologies [129]. Conform prezentării proprii, Statgraphics a fost primul software dedicat analizei statistice adaptat pentru folosirea pe calculatoare personale, primul software care a folosit metode grafice de ilustrare a datelor statistice. De asemenea, firma producătoare s-a aflat printre pionierii care au creat agenți de asistență a utilizatorilor – StatWizard și StatAdvisor.

Pentru a putea analiza datele, ele trebuie introduse într-un așa-numit Data Book, organizat similar unei foi de lucru din Excel, în care fiecare coloană corespunde unei anumite informații de analizat. Informațiile introduse pe coloană pot fi de tip numeric, de tip caracter, întreg, formule de calcul, data calendaristică etc. Datele introduse sunt salvate într-un fișier dedicat, ele putând fi apoi prelucrate și analizate. Unui anumit fișier cu date de intrare i se pot aplica, în cadrul aceluiași program Statgraphics, mai multe tipuri de analize.



	material	C	B	D	N	S	Q_min	cenusa	Col_9	Col_10
1	Alun (coji)	47,8	6,14	45,64	0,27	0,16	18,87	2,2		
2	Alun (frunze)	45,14	6,79	45,71	2,05	0,31	17,87	8		
3	Aschii de lemn	42,2	5,51	51,98	0,13	0,27	15,16	1,5		
4	Brad	51,23	5,98	42,10	0,06	0,03	19,19	0,41		
5	Cabeze (tulpini)	46,10	5,90	42,50	0,74	0,10	17,00	4,80		
6	Carbuni de lemn (vegetal)	79,34	2,74	16,97	0,65	0,3	29,71	5,9		
7	Cartofi (planta)	38,33	5,07	55,03	1,13	0,44	15,07	15,8		
8	Castan (aschii)	45,3	6,1	48,2	0,23	0,17	17,48	1,3		
9	Castan (crengi)	43,71	6,27	48,54	1,05	0,43	17,47	6,9		
10	Castan (frunze)	47,82	6,24	43,46	2,21	0,27	16,76	4,9		
11	Cires (crengi)	46,42	6,21	46,68	0,52	0,17	19,36	4,4		
12	Cires (frunze)	45,52	6,25	46,55	1,49	0,19	17,73	7,4		
13	Cires (samhuri)	48,57	6,21	44,6	0,43	0,19	19,07	0,87		
14	Coaja (lemn de conifere)	51,40	5,70	38,70	0,48	0,09	19,20	3,80		
15	Fag (cu coaja)	47,90	6,30	45,20	0,22	0,02	18,40	0,50		
16	Fan din fanete	45,50	6,10	41,50	1,14	0,16	17,40	5,70		

Figura 3.1 Interfața Statgraphics Centurion XVI

Pentru a analiza datele, se poate alege procedura dorită din meniul principal sau din bara de meniuri sau se poate folosi asistentul incorporat, StatWizard.

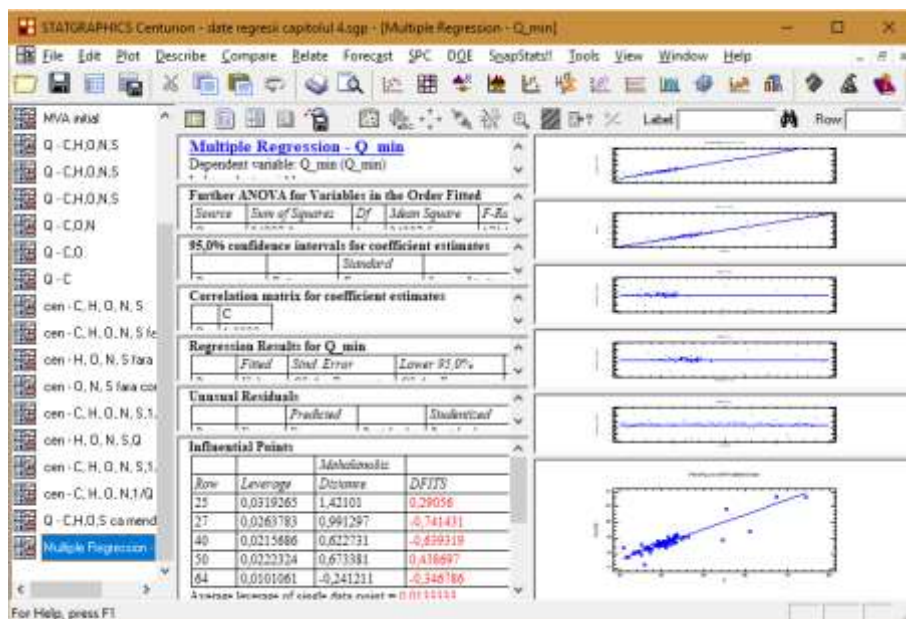
## Procesarea statistică a datelor folosind Statgraphics Centurion

Cele mai importante facilități oferite de Statgraphics sunt:

- vizualizarea și reprezentarea grafică a datelor statistice
- descrierea unei relații între mai multe date (fie ele numerice sau categorice)
- compararea mai multor seturi de date categorice
- analiza corelațiilor dintre mai multe date numerice și analiza de regresie
- previziuni și analize ale seriilor temporale
- metode de control statistic al proceselor, inclusiv diagrame cauză-efect, și Pareto
- planificarea științifică a experimentelor și analiza datelor
- clasificarea datelor folosind rețele neuronale artificiale
- alte instrumente statistice, inclusiv un instrument de simulare Monte Carlo.

Datele teoretice referitoare la analiza corelațiilor și analiza de regresie au fost discutate într-un paragraf anterior.

Rezultatele fiecărei analize sunt grupate în două mari categorii: rezultate text și rezultate grafice (ca în Figura 3.2).



**Figura 3.2 Rezultatele unei analize de regresie multiplă**

Chiar dacă Statgraphics Centurion XVI poate realiza o regresie pas cu pas inversă în mod automat, acest lucru nu este recomandabil deoarece pot fi eliminate prea multe variabile din model.

### 3.5 Elemente de cercetări operaționale aplicabile în cercetare

Cercetările operaționale reprezintă o ramură a matematicii aplicate care se ocupă cu crearea și aplicarea de metode analitice ce permit o îmbunătățire a procesului decizional. În acest mod, sunt găsite soluții optime pentru probleme complexe care implică luarea de decizii.

Originile cercetărilor operaționale se găsesc în secolul XVII, când Huygens și Pascal s-au ocupat de teoria jocurilor și a posibilității de a câștiga un joc. În secolul XIX, Babbage se ocupa de probleme de transport și de optimizarea costurilor de transport, iar la începutul secolului XX, cercetările operaționale erau strâns legate de probleme de management și logistică.

Actualmente, problemele care pot fi rezolvate cu ajutorul cercetărilor operaționale se referă la: identificare drumului optim (care are asociat un cost minim), optimizarea rețelelor de comunicare, planificarea unui proiect, căutare optimală, determinarea prețului minim, determinarea de rețete optime. Toate aceste probleme conțin, pe lângă un **obiectiv de optimizare** (să se maximizeze sau să se minimizeze o anumită cantitate) și **restricții** (constrângeri) legate de variabilele obiectivului.

Etapele caracteristice rezolvării unei probleme cu ajutorul cercetărilor operaționale sunt [12]:

1. definirea problemei
2. clasificarea și conceptualizarea problemei
3. formularea și construirea modelului matematic
4. soluția modelului, care oferă un feedback asupra procesului de conceptualizare
5. validarea, analiza sensibilității și recomandări
6. dacă soluția este aplicabilă, ea va fi implementată.

#### 3.5.1 Probleme de programare liniară

O problemă de programare liniară (sau un program liniar) are, de obicei, următoarea formă [46]:

găsiți maximul (sau minimul) unei funcții

$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (3.20)$$

date fiind restricțiile

$$\sum_{i=1}^n a_{ji} x_i \leq b_j, \quad 1 \leq j \leq m \quad (3.21)$$

O soluție a problemei de programare liniară constă în acele valori  $x_i$  care verifică restricțiile. Dacă toți  $x_i$  sunt nenegativi, atunci soluția se numește soluție admisibilă. O soluție optimă pentru problema de programare liniară este o soluție care minimizează (sau maximizează, după caz) funcția obiectiv.

În cele ce urmează vor fi prezentate câteva rezultate din literatura de specialitate care permit rezolvarea problemei de optimizare liniară asociate determinării unei mixturi de materii prime de putere calorifică maximă, în timp ce noxele și cenușa se mențin în limite dinainte precizate (standarde internaționale).

Fie problema de optimizare liniară scrisă în formă canonică

$$\begin{cases} \max f = cx \\ Ax \leq b \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (3.22)$$

în care

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}, \quad c = (c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n). \quad (3.23)$$

Introducând un vector al variabilelor de abatere,  $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_m \end{pmatrix}$  sistemul se poate

scrie în forma sa standard

$$\begin{cases} \max f = cx \\ Ax + y = b \\ x \geq 0 \\ y \geq 0 \end{cases} \quad (3.24)$$

Fără a pierde din generalitate, presupunem că  $\text{rang } A = m < n$ . În consecință, matricea  $A$  va conține cel puțin un grup de  $m$  coloane linear independente (o bază a programului). Considerând o bază  $B$  asociată matricei  $A$ ,  $I$  mulțimea indicilor coloanelor din  $B$  și  $J$  mulțimea indicilor coloanelor din  $A$  care nu sunt în  $B$ , putem scrie

$$A = (B \ S), \quad \text{cu } B = (A^i)_{i \in I} \text{ și } S = (A^j)_{j \in J} \quad (3.25)$$

$$x = \begin{pmatrix} x^B \\ x^S \end{pmatrix}, \quad \text{cu } x^B = (x_i)_{i \in I} \text{ și } x^S = (x_j)_{j \in J} \quad (3.26)$$

$$c = (c^B \ c^S), \quad \text{cu } c^B = (c_i)_{i \in I} \text{ și } c^S = (c_j)_{j \in J} \quad (3.27)$$

Variabilele  $x_i, i \in I$  vor fi numite variabile bazice, iar celelalte variabile vor fi numite variabile nebazice sau secundare. Cu aceste notații, funcția obiectiv se va rescrie

$$f = cx \Leftrightarrow f = (c^B \ c^S) \cdot \begin{pmatrix} x^B \\ x^S \end{pmatrix} \Leftrightarrow f = c^B \cdot x^B + c^S \cdot x^S \quad (3.28)$$

iar sistemul de restricții se va rescrie astfel:

$$Ax = b \Leftrightarrow (B \ S) \cdot \begin{pmatrix} x^B \\ x^S \end{pmatrix} = b \Leftrightarrow B \cdot x^B + S \cdot x^S = b \quad (3.29)$$

Notăm în plus vectorii obținuți prin înmulțire la stânga cu  $B^{-1}$ :

$$\bar{b} = B^{-1}b, \quad \bar{S} = B^{-1}S, \quad \bar{f} = c^B \cdot \bar{b}, \quad \bar{c}^S = c^B \cdot \bar{S} - c^S \quad (3.30)$$

Problema de optimizare liniară se va scrie atunci în forma explicită ca:

$$\begin{cases} \max f = \bar{f} - \bar{c}^S \cdot x^S \\ x^B + \bar{S} \cdot x^S = \bar{b} \\ x^B \geq 0 \\ x^S \geq 0 \end{cases} \quad (3.31)$$

În plus, dacă considerăm că  $x^S = 0$ , atunci obținem soluția problemei (P) asociată bazei  $B$

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} x^B \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{b} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.32)$$

care este o soluție de bază (i.e., mulțimea coloanelor din  $A$  corespunzătoare componentelor nenule ale lui  $x$  este linear independentă).

### 3.5.2 Algoritmul Simplex

Forma standard a unei probleme de optimizare liniară se rezolvă cu ajutorul algoritmului simplex [46]. Pașii algoritmului simplex sunt următorii:

**Pasul 1.** Dacă toate componentele vectorului  $\bar{c}^S$  sunt nenegative, atunci soluția de bază curentă este soluția optimă, iar algoritmul se oprește.

**Pasul 2.** Se alege indicele nebazic  $k \in J$  pentru care

$$\bar{c}_k = \min_{j \in J} \bar{c}_j \quad (3.33)$$

**Pasul 3.** Dacă  $\bar{a}_{ik} \leq 0, \forall i \in I$  (adică nici un element de pe coloana  $\bar{A}^k$  nu e pozitiv), atunci problema (P) are un optim infinit, iar algoritmul se oprește.

**Pasul 4.** Se determină indicele bazic  $r \in I$  pentru care

$$\frac{\bar{b}_r}{\bar{a}_{rk}} = \min \left\{ \frac{\bar{b}_i}{\bar{a}_{ik}} \mid i \in I, \bar{a}_{ik} > 0 \right\} \quad (3.34)$$

**Pasul 5.** Se înlocuiește în baza  $B$  coloana  $A^r$  cu coloana  $A^k$ . Se obține baza  $B'$  (coloana  $A^r$  părăsește baza curentă, în timp ce coloana  $A^k$  intră în baza curentă). Se construiește forma explicită a problemei inițiale (P) în raport cu baza  $B'$  și se reia algoritmul de la pasul 1.

**Teoremă** [145] Dacă programul în formă standard (P) este compatibil și toate soluțiile sale admisibile de bază sunt nedegenerate atunci aplicarea algoritmului simplex se termină într-un număr finit de iterații, fie cu găsirea soluției optime, fie cu concluzia că programul are optim infinit.

### 3.6 Metode ale inteligenței artificiale în optimizarea și previziunea proceselor

Inteligența artificială (IA) este inteligența demonstrată de mașini, în contrast cu inteligența naturală, care apare în natură. Abordarea structurată a acestei ramuri a informaticii datează din 1956, când McCarthy a pus bazele disciplinei de studiu „Inteligență artificială”. De-a lungul timpului, IA a cunoscut două mari abordări: o abordare clasică (sau simbolică), din care au evoluat mai apoi sistemele expert și o abordare conexiționistă, din care au evoluat ulterior rețelele neuronale artificiale (RNA). Elementele IA dezvoltate de-a lungul timpului conțin, printre altele: sisteme expert, logică fuzzy, algoritmi genetici, rețele neuronale, agenți inteligenți, sisteme hibride inteligente, recunoașterea formelor (inclusiv recunoașterea scrisului și a vorbirii) etc.

Sistemele expert simulează experți reali, iar rezultatele obținute de sisteme expert sunt comparabile cu rezultatele obținute consultând experți reali [45]. Cu toate acestea, nici o decizie nu poate fi luată în lipsa unei baze de cunoștințe. De obicei, baza de cunoștințe este o colecție de reguli de tip **“DACĂ condiție ATUNCI rezultat”**. Procesul de decizie se bazează pe aceste reguli și duce la un răspuns la problema inițială.



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 [90].

Deși neuronii unei rețele sunt simplificați la maximum, principiul de bază este același: învățarea prin reconectare. Învățarea poate fi supervizată sau nesupervizată.

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.

Învățarea nesupervizată este caracterizată de absența unui set de date de antrenare. În schimb, rețeaua decide care dintre categoriile de date de intrare pot fi analizate și corelate. Algoritmii de învățare nesupervizată sunt eficienți în special atunci când există un volum foarte mare de date de analizat, care poate conține date redundante.

În cazul în care datele sunt incomplete, algoritmii conțin atât elemente de învățare supervizată cât și elemente de învățare nesupervizată.

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

În principiu, 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  $a = f(wp + b)$ .

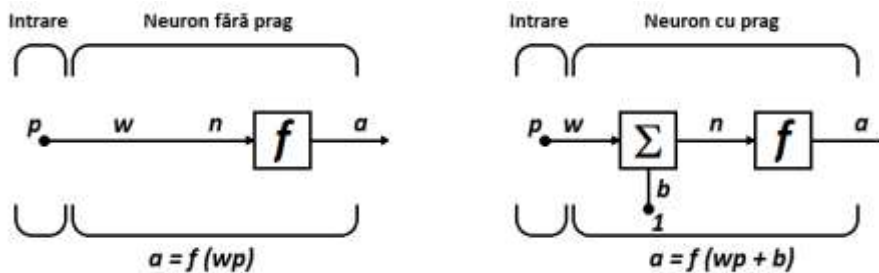


Figura 3.3 Neuron fără prag și cu prag (după [31])

Funcția de transfer (sau funcția de activare)  $f$  este o funcție treaptă (prag), lineară sau o funcție sigmoidă (Figura 3.4).

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  $w_{1i}$  – componentă a matricei-pondere  $\mathbf{W}$ , ( $1 \leq i \leq R$ ), astfel încât ieșirea va fi de forma  $a = f(\mathbf{W}\mathbf{p} + b)$ .

Cele mai comune funcții de transfer sunt prezentate în Figura 3.4.

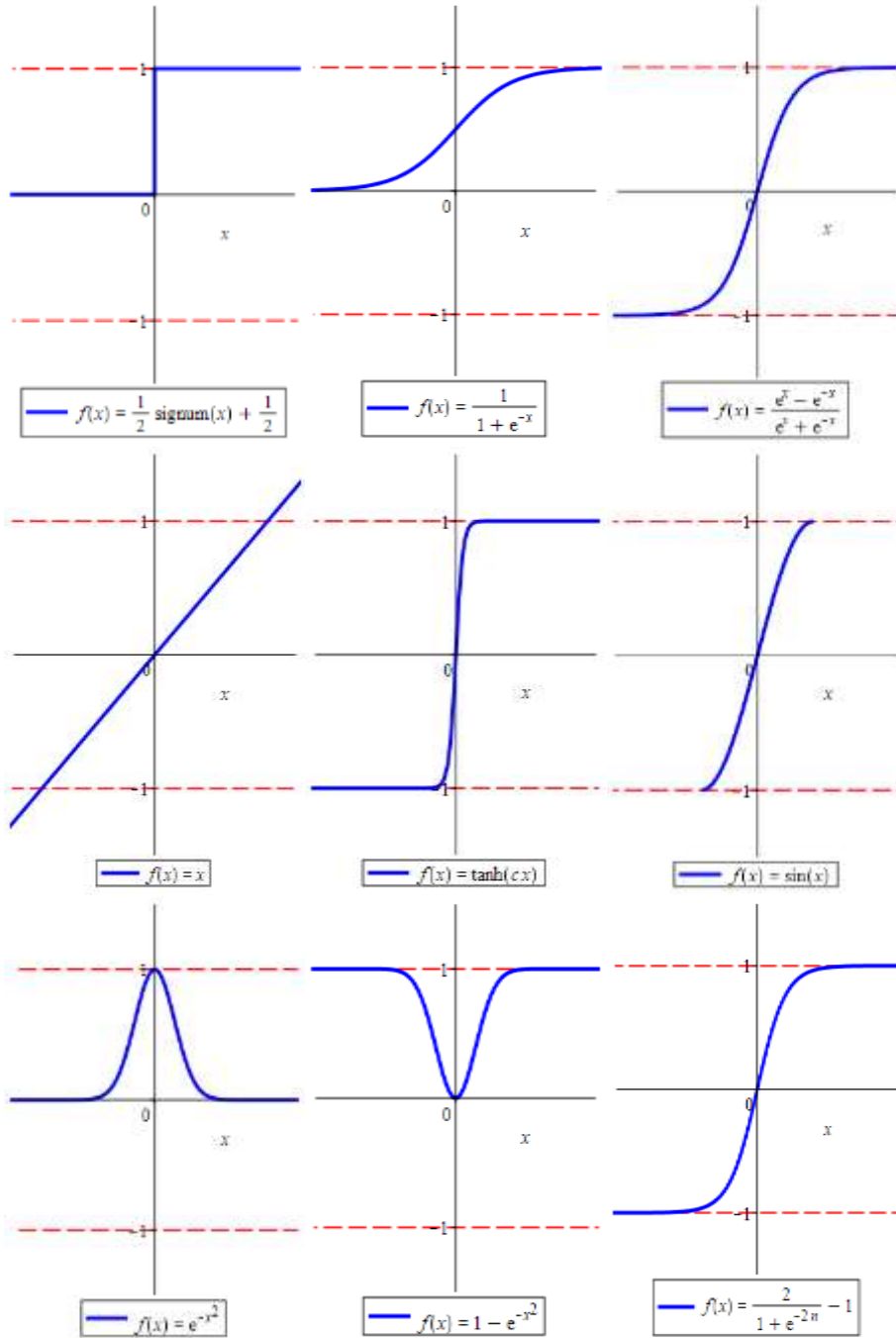


Figura 3.4 Tipuri de funcții de transfer (activare)

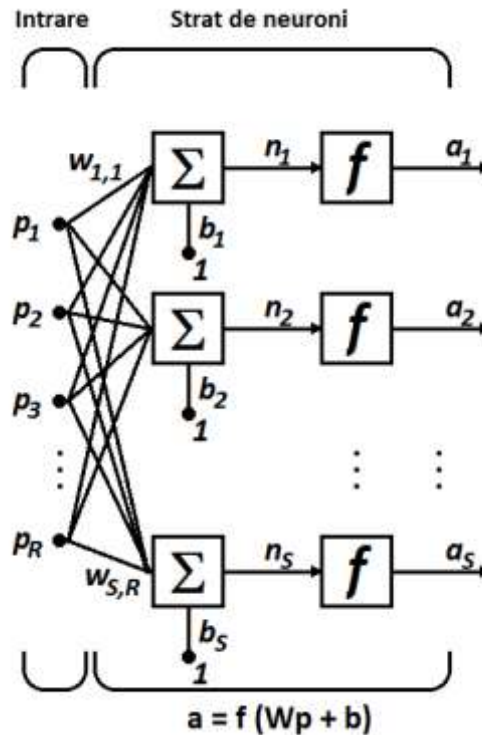
Neuronii pot fi combinați în straturi de cel puțin 2 neuroni. Un strat de  $S$  neuroni cu  $R$  inputuri poate fi reprezentat schematic ca în Figura 3.5. Fiecărui input îi corespund  $S$  ponderi, asociate fiecărui neuron din strat și  $S$  praguri. Rezultă o matrice a ponderilor de  $R \times S$  elemente. Unui strat cu  $S$  neuroni îi corespunde un vector de ieșire cu  $S$  componente.

O rețea neuronală constă dintr-o succesiune de straturi de neuroni, astfel încât ieșirile unui strat să facă parte din intrările stratului următor. 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 (Figura 3.6) constă, așadar, din:

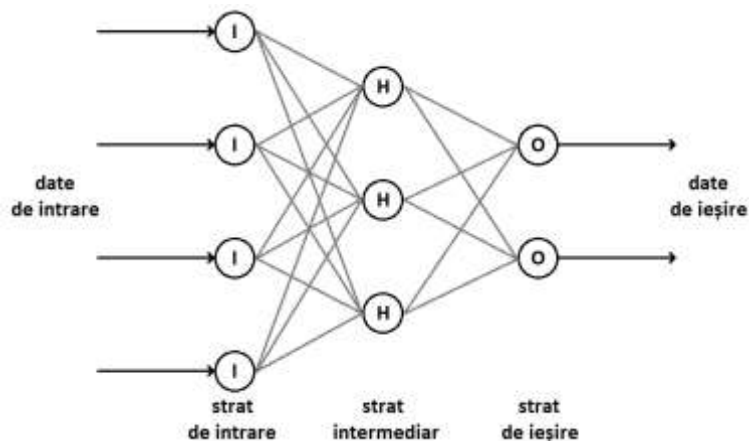
- un strat de intrare (input layer) –  $I$ , conținând un anumit număr de neuroni,
- unul sau mai multe straturi intermediare, ascunse (hidden layers) –  $H$  (fiecare compus dintr-un anumit număr de neuroni)
- un strat de ieșire (output layer) –  $O$ , compus, de obicei, dintr-un singur neuron ("răspunsul" rețelei).

O regulă de învățare (sau algoritm de antrenare) este un proces prin care ponderile și pragurile corespunzătoare intrărilor unei rețele neuronale se modifică, în scopul îmbunătățirii performanțelor RNA. În învățarea supervizată, rețeaua este alimentată cu un set de exemple (setul de antrenare) de forma  $\{\mathbf{p}_i, \mathbf{t}_i\}$ , unde  $\mathbf{p}_i$  reprezintă o intrare a rețelei și  $\mathbf{t}_i$  ieșirea (răspunsul) asociat. După compararea răspunsurilor rețelei cu răspunsurile așteptate, se ajustează ponderile și pragurile până când răspunsurile rețelei coincid mai mult sau mai puțin cu răspunsurile așteptate. Fiecare trecere completă a rețelei prin vectorii de intrare este numită epocă. În învățarea nesupervizată, ponderile și pragurile sunt ajustate doar în funcție de intrările rețelei.



**Figura 3.5 Strat de  $S$  neuroni cu  $R$  intrări (după [31])**

Aplicabilitatea rețelelor neuronale artificiale se bazează pe proprietatea de aproximare universală, conform căreia „o rețea neuronală cu un singur strat ascuns și un număr posibil infinit de neuroni poate aproxima orice funcție reală continuă”.



**Figura 3.6 RNA cu propagare înainte (după [116],[50])**

RNA își găsesc aplicații în toate domeniile: financiar-bancar, asigurări, aerospațial, automotive, apărare, electronică, divertisment, industrie, producție,

medicină, robotică, recunoașterea vorbirii și a scrisului, securitate, telecomunicații etc. Depășind restricțiile metodelor clasice, ele se folosesc actualmente pentru rezolvarea de probleme complexe ca previziunea consumului de electricitate [67], previziuni economice și financiare [124], pentru a previziona puterea vântului și a controla parametrii turbinelor eoliene [5], analiza preferințelor clienților [68] și chiar estimarea puterii calorifice brute [42].

### 3.7 Proiectarea rețelelor neuronale folosind Matlab

Una dintre cele mai utilizate soluții software pentru implementarea rețelelor neuronale este Matlab. Matlab [55]. Matlab este o soluție dezvoltată de MathWorks, care permite efectuarea cu precădere de calcule numerice, manipularea de matrice, reprezentări grafice, implementarea de algoritmi, crearea de interfețe utilizator, dar și interferența cu alte limbaje de programare (C, C++, Java, Python etc.) [88].

Pentru a folosi RNA, trebuie să fie urmate esențialmente următoarele etape [113]:

- etapa de antrenare (în care sunt introduce în rețea asocierile cunoscute dintre inputuri și outputuri);
- etapa de validare (în care rezultatele RNA sunt verificate prin comparare cu rezultate cunoscute);
- etapa de testare (în care RNA prezice rezultate asociate unor seturi de date de intrare).

Dintre cele trei etape de parcurs, cea mai importantă etapă este antrenarea rețelei. Antrenarea poate fi făcută în bloc (atunci când ponderile și pragurile corespunzătoare vectorilor de intrare se schimbă o singură dată în decursul unei epoci), sau adaptiv (atunci când ponderile și pragurile se schimbă o dată cu considerarea fiecărui neuron, în decursul unei epoci).

Algoritmul standard de antrenare al unei rețele cu propagare înainte este **algoritmul de retropropagare a erorii** (backpropagation). Acest algoritm folosește o **funcție de eroare**, scopul fiind acela de a o minimiza. Practic, funcția de eroare măsoară performanța rețelei.

Două dintre cele mai importante probleme ale retropropagării sunt viteza mică de convergență și capacitatea limitată de generalizare.

Viteza mică de convergență (faptul că eroare descrește prea lent) se poate remedia folosind algoritmi rapizi, bazați pe tehnici euristice (ca retropropagarea cu viteză variabilă de învățare), sau tehnici de optimizare numerică (ca metoda gradientului conjugat, metode cvasi-Newton, metoda Levenberg-Marquardt).

O îmbunătățire a capacității de generalizare se poate obține folosind fie metoda regularizării bayesiene (care operează la nivelul funcției de eroare), fie criteriul de oprire timpurie (atunci când algoritmul de antrenare a rețelei nu este unul care să converge rapid).

În mod clasic, retropropagarea (sau algoritmul propagării inverse) este un algoritm stabil, dar care converge încet. Pentru calcule folosește doar gradientul erorii,  $\mathbf{g} = \frac{\partial E(\mathbf{x}, \mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}}$ , iar regula de actualizare a ponderilor la pasul  $k + 1$  este:

$$\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{w}_k - \alpha \mathbf{g}_k \quad (3.35)$$

unde  $\alpha$  este rata de învățare. În ciuda convergenței lente, algoritmul propagării inverse este unul dintre cei mai frecvent utilizați algoritmi în antrenarea rețelelor neuronale, începând cu 1986, când metoda a fost elaborată și popularizată de către Rumelhart, Hinton și Williams.

Algoritmul lui Newton este un algoritm rapid, dar instabil. Pentru calcule folosește atât gradientul  $\mathbf{g}$ , cât și hessianul  $\mathbf{H} = \frac{\partial^2 E(\mathbf{x}, \mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}^2}$  asociat erorii, iar regula de actualizare a ponderilor la pasul  $k + 1$  este

$$\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{w}_k - \mathbf{H}_k^{-1} \mathbf{g}_k \quad (3.36)$$

Algoritmul lui Gauss-Newton este un algoritm rapid, despre care Osborne a arătat în 1992 că poate îmbunătăți semnificativ convergența algoritmului propagării inverse. Totuși, nici algoritmul Gauss-Newton nu este stabil. Pentru calcule exprimă gradientul  $\mathbf{g}$  în termeni de iacobianul erorii,  $\mathbf{J} = \left( \frac{\partial e_{i,j}}{\partial w_k} \right)_{i,j,k}$  astfel:  $\mathbf{g} = \mathbf{J} \mathbf{e}$ , iar regula de actualizare la pasul  $k + 1$  este

$$\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{w}_k - (\mathbf{J}_k^T \mathbf{J}_k)^{-1} \mathbf{J}_k \mathbf{e}_k \quad (3.37)$$

Algoritmul Levenberg-Marquardt este un algoritm cu rată de învățare variabilă,  $\mu$ , care combină avantajele algoritmilor de propagare inversă și Gauss-Newton. Rezultă un algoritm rapid și stabil, care folosește iacobianul erorii pentru calcule. Acesta a fost creat, în mod independent, de către Levenberg (1944) și Marquardt (1963). Regula de actualizare a ponderilor la pasul  $k + 1$  este

$$\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{w}_k - (\mathbf{J}_k^T \mathbf{J}_k + \mu \mathbf{I})^{-1} \mathbf{J}_k \mathbf{e}_k \quad (3.38)$$

Practic, pentru o rată de învățare  $\mu$  este apropiată de 0,  $\mathbf{J}_k^T \mathbf{J}_k + \mu \mathbf{I} \approx \mathbf{J}_k^T \mathbf{J}_k$  și algoritmul devine algoritmul Gauss-Newton. Pentru o rată de învățare  $\mu$  foarte mare,  $\mathbf{J}_k^T \mathbf{J}_k + \mu \mathbf{I} \approx \mu \mathbf{I}$  și algoritmul devine algoritmul propagării inverse în care  $\alpha = \frac{1}{\mu}$ .

De obicei, funcția de eroare este abaterea medie pătratică a răspunsurilor generate de rețea în raport cu răspunsurile așteptate. În acest sens, o rețea este cu atât mai bună, cu cât funcția de eroare are valori mai mici. Rețeaua poate fi antrenată să învețe relații neliniare și liniare între intrări și ieșiri, folosind mai multe straturi de neuroni cu funcții de transfer neliniare. Astfel, eroarea va avea forma:

$$E = E_{mse} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - o_i)^2 \quad (3.39)$$

unde  $N$  este numărul de seturi folosite pentru antrenarea rețelei,  $d_i$  este răspunsul dorit pentru elementul  $i$ , iar  $o_i$  este răspunsul obținut pentru elementul  $i$ . Algoritmul Levenberg-Marquardt, cel mai rapid și mai stabil dintre algoritmii de retropropagare, se oprește atunci când eroarea depășește un anumit nivel prestabilit.

O altă modalitate de a estima eroarea este de a considera ca funcție de eroare o sumă ponderată dintre abaterea medie pătratică și suma ponderilor inputurilor. Această funcție de eroare este caracteristică algoritmului de regularizare bayesiană și a fost propusă de MacKay [77],[76]:

$$E = \gamma E_{mse} + (1 - \gamma) E_{msw} \quad (3.40)$$

unde  $\gamma$  este factorul de performanță (inițializat cu 1, dar care va fi determinat în procesul de antrenare a rețelei), iar  $E_{msw}$  este termenul provenit din suma pătratelor ponderilor  $w_i$  [9]:

$$E_{msw} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i^2 \quad (3.41)$$

Acest algoritm are cele mai bune rezultate atunci când intrările rețelei sunt scalate astfel încât să aparțină, pe cât posibil, intervalului  $[-1, 1]$ .

Spre deosebire de algoritmi de retropropagare (în special de algoritmul Levenberg-Marquardt), regularizarea bayesiană nu necesită un set de date de validare. Aceasta se datorează faptului că funcția de eroare bayesiană conține atât date despre eroarea de antrenare, cât și date despre ponderile inputurilor [15]. Cu cât aceste ponderi sunt mai mari, cu atât eroarea bayesiană va crește, ceea ce poate duce la o depășire accidentală a nivelului maxim admis pentru eroare. Așadar, se impune o nouă condiție de oprire a algoritmului, și anume: algoritmul se oprește atunci când se înregistrează un număr prestabilit de creșteri consecutive ale erorii.

Toți algoritmi descriși anterior se realizează în 4 pași: generarea datelor de antrenare, crearea rețelei, antrenarea rețelei și simularea răspunsurilor rețelei.

Metoda Levenberg-Marquardt este cea mai rapidă metodă de a antrena rețele neuronale care nu conțin cicluri între neuroni. Regularizarea bayesiană este cea mai folosită metodă pentru a îmbunătăți capacitatea de generalizare a rețelei. O modalitate de utilizare combinată a algoritmului de regularizare bayesiană cu algoritmul Levenberg-Marquardt a fost propusă și discutată în [48].

Totuși, există un algoritm de principiu după care se face antrenarea și care este întotdeauna convergent. Funcția de transfer se aplică fiecărui vector din setul de intrare, se calculează ponderile și pragurile tuturor intrărilor, apoi rețeaua se ajustează cu aceste corecții. Noua rețea se folosește pentru a calcula ieșirile pe baza intrărilor rețelei. Aceste ieșiri sunt apoi comparate cu rezultatele așteptate. Dacă eroarea este mai mică decât abaterea medie pătratică sau numărul maxim de epoci de antrenare a fost atins, antrenarea se oprește și se returnează rețeaua curentă. Dacă nu, se reia antrenarea cu o nouă epocă.

## 4 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBȚINUTE

**Obiectivele acestui capitol** sunt:

- stabilirea unei metodologii pentru cercetarea experimentală referitoare la peleți pentru încălzire
- realizarea unor experimente pe teren în scopul determinării proprietăților peleiilor pentru încălzire și analiza acestora
- determinarea unei rețete de peleți care să maximizeze puterea calorifică (în MJ/kg) atunci când se folosesc principalele materii prime disponibile în zonă, atunci când cenușa reziduală se încadrează în limitele unui anumit standard sau este minimizată
- studiul influenței unui aditiv asupra calității produsului final (putere calorifică, cenușă, omogenitate, densitate)
- identificarea de direcții de cercetare conexe pentru diversificarea producției
- studiul calitativ preliminar al potențialului scoarței de salcie

Pentru realizarea acestor obiective s-au efectuat vizite de studiu la firme producătoare de peleți de la Cenei, unde s-au pus în practică diverse rețete pentru obținerea peleiilor de încălzire. Ulterior, a fost stabilită o metodologie de lucru specifică datelor inițiale identificate pe teren (materii prime, condiții de lucru etc.) și au fost realizate experimentele fizice în funcție de aceste date. Pentru analiza puterii calorifice și a cenușii reziduale s-au folosit echipamentele de laborator de la UPT. Datele culese au fost mai apoi prelucrate folosind Statgraphics Centurion, interpretate și s-au obținut răspunsuri pentru obiectivele stabilite.

Pentru studiul calitativ al potențialului scoarței de salcie, s-au efectuat vizite de lucru la punctele de lucru din Făget ale grupului Rebina, specializat în producerea de peleți din salcie energetică (*Salix* spp.) În cursul acestor vizite s-au discutat diverse rețete de a produce peleți din salcie energetică și influența scoarței de salcie (*Salix cortex* spp) asupra calității produsului final. Tot aici s-a conturat și ideea de a valorifica scoarța de salcie separat, pentru extragerea de salicină – idee a cărei viabilitate urmează să fie testată. Au fost obținute mostre de salcie energetică și de scoarță de salcie, care au fost analizate ulterior în laboratoarele INCEMC pentru determinarea conținutului de salicină.

Din punct de vedere economic, atunci când s-au folosit cereale, au fost folosit cereale neviabile pentru uz uman sau furajer (cereale neconforme).

**Rezultatele obținute** sunt:

- o metodologie a cercetărilor
- o serie de rețete de peleți pentru materiile prime din zonă, cu sau fără aditiv
- probe de peleți realizate cu rețetele propuse



- o estimare a proprietăților peleților obținuți din materii prime din zonă (în termeni de putere calorifică și cenușă reziduală, încadrarea în standarde) în funcție de rețeta de fabricare utilizată
- o serie de formule care previzionează calitatea peleților din rumeguș de brad și boabe de grâu în funcție de cantitatea de aditiv (boabe de porumb) adăugată
- un studiu calitativ inițial al posibilităților de diversificare a producției
- o estimare preliminară a cantității de salicină care se poate obține prin prelucrarea separată a scoarței de salcie

#### 4.1 Metodologia cercetărilor empirice experimentale prin descompunerea în elemente chimice primare

În continuare vor fi prezentate conceptele cheie folosite în acest capitol în cadrul cercetărilor empirice experimentale, precum și principalele metode și echipamente folosite în cadrul cercetărilor (o metodologie a cercetărilor, metode de analiză a rezultatelor).

##### 4.1.1 Concepte cheie

În urma arderii combustibilului rezultă gaze de ardere ( $\text{CO}_2$ , vapori de apă,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  etc.), o cenușă reziduală (zgură) și căldura provenită din transformarea energiei chimice a combustibilului [7],[56].

Eficiența unui combustibil se apreciază în funcție de rezultatele arderii, dintre care cele mai ușor de observat sunt cenușa reziduală și puterea calorifică. Acestea depind la rândul lor de masa organică și umiditatea caracteristice combustibilului [89].

**Umiditatea** este definită ca și cantitatea totală de apă, în procente, prezentă în combustibil. Masa organică a combustibilului este reprezentată de conținutul (procentual) de C, H, N, O, S organic, materii volatile. Materiile volatile sunt substanțe în stare gazoasă care se degajă și se oxidează atunci când combustibilul este încălzit peste anumite limite, facilitând astfel arderea [65].

**Cenușa** este reziduul solid care rămâne în urma arderii combustibilului până la masă constantă, la temperaturi de  $815^\circ \pm 25^\circ$  [138]. Cantitatea de cenușă rezultată din ardere se exprimă ca fracție masică (procent masic) astfel:

$$\text{cenușa} = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100 [\%] \quad (4.1)$$

unde  $m_1$  este masa combustibilului înainte de ardere, iar  $m_2$  este masa cenușei rezultate după ardere. Prin extensie, folosim termenul de „cenușă” sau „cenușă reziduală” pentru „fracția masică de cenușă”.

**Puterea calorifică superioară** se definește ca și cantitatea de căldură degajată prin arderea „perfectă și completă” a unei unități de masă dintr-un anumit combustibil, în condiții standard, atunci când vaporii de apă rezultați din ardere sunt condensați și căldura latentă de vaporizare se recuperează.

**Puterea calorifică inferioară** (cunoscută și sub denumirea de putere calorifică utilă sau putere calorifică industrială) se definește ca și cantitatea de căldură degajată prin arderea „perfectă și completă” a unei unități de masă dintr-un anumit combustibil, atunci când vaporii de apă rezultați din ardere nu sunt condensați și căldura latentă de vaporizare nu se recuperează [62].

## CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBȚINUTE

---

Unitatea de masă a combustibilului poate fi kilogramul (atunci când se operează cu combustibili solizi sau lichizi) sau „metrul cub în condiții normale” ( $m^3_N$  - pentru combustibili gazoși).

Puterea calorifică a unui combustibil solid sau lichid,  $Q$  se poate exprima în funcție de cele  $n$  elemente componente ale sale astfel [7]:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i Q_i \left[ \frac{J}{kg} \right] \quad (4.2)$$

unde  $m_i$  este participația masică (fracția masică) a componentului  $i$ , iar  $Q_i$  este puterea calorifică a elementului  $i$ .

În instalațiile industriale din practică, apa se elimină sub formă de vapori împreună cu celelalte produse de ardere, așadar nu se ia în considerare puterea calorifică superioară. În plus, normativele internaționale [26] se referă tot la puterea calorifică inferioară și impun specificarea acesteia pe ambalajele combustibililor solizi.

În condițiile în care, actualmente, se caută surse regenerabile de energie, o soluție viabilă ar putea fi utilizarea boabelor neconforme de cereale pe post de combustibil solid. Această tendință este destul de răspândită în Europa [66], dar nu foarte cunoscută în România. Deși boabele de cereale care se folosesc pot să creeze probleme legate de cenușa reziduală sau de depunerile de zgură care înfundă coșurile de ardere, aceste probleme au fost parțial depășite prin construcția unor arzătoare speciale [69]. Cenușa reziduală a boabelor de cereale este mai mică, în general, decât cenușa reziduală a paielor aceluiași cereale. Prețul cerealelor boabe este mai mic decât prețul peleților sau al lemnului, iar puterea calorifică este comparabilă. De asemenea, folosirea boabelor de cereale pe post de combustibil solid poate rezolva problemele legate de lipsa unei piețe de desfacere pentru acestea sau de lipsa unor spații de depozitare. Calitatea cerealelor este strâns legată de destinația acestora și este determinată atât de proprietăți observabile cu ochiul liber (de exemplu culoare) cât și de proprietăți interne (compoziție chimică, valoare nutrițională etc.) [17].

O neconformitate presupune neîndeplinirea unor cerințe de calitate specificate apriori, fie prin abatere de la acestea, fie prin absența caracteristicilor respective. Conform ISO9001 [63], un produs neconform este un produs ale cărui caracteristici nu reușesc să îndeplinească în totalitate cerințele specifice. Pentru cereale și furaje, conformitatea sau neconformitatea acestora se referă la caracteristicile fizice, chimice sau microbiologice relevante pentru siguranța lor, condiții de ambalare, depozitare, valabilitate, utilizare [3]. Așadar, cerealele neconforme sunt acele cereale care conțin urme de pesticide interzise pentru consumul animal, al căror conținut de nutrienți este mai mic decât conținutul necesar consumului sau pentru care reziduurile depășesc limitele maxim admise.

Datele existente în prezent ([28],[78]) impun pentru peleții din amestecuri de biomasă o putere calorifică minimă de 14,5 MJ/kg și o cantitate de cenușă reziduală de maxim 10%.

Densitatea particulelor este un factor care influențează calitatea peleților – deoarece peleții cu o densitate mai mare a particulelor au un timp de ardere mai mare [147],[102].

Strâns legată de densitatea particulelor este densitatea de vrac a peleților [78]. Standardele internaționale de calitate impun ca densitatea de vrac a peleților

Metodologia cercetărilor empirice experimentale prin descompunerea în elemente chimice primare

---

din biomasă lemnoasă să fie de minim 600 kg/m<sup>3</sup> [27]. De asemenea, este de interes ca raportul dintre lungimea peleților și diametrul acestora să corespundă normelor europene [53].

#### 4.1.2 Metode și echipamente folosite în cercetările experimentale

##### A. Stabilirea unei metodologii de lucru

Pentru obținerea de date cât mai concludente referitoare la proprietățile peleților, este nevoie de o planificare a cercetării. Un experiment planificat științific privind proprietățile peleților realizați din  $N$  componente necesită analiza a  $2^{N-1}$  rețete, în care se specifică pentru fiecare rețetă cantitatea de materie primă dintr-o componentă necesară pentru realizarea unui kilogram de peleți.

Pentru un experiment privind proprietățile peleților din  $N$  componente, se vor realiza și analiza rețetele mono-componentă, o rețetă care cuprinde toate componentele și rețetele bi-componentă care se pot deriva din materiile prime considerate, în total  $N + 1 + \frac{N \cdot (N-1)}{2}$  rețete.

Etapile de lucru în acest caz vor fi:

- identificarea materiilor prime care se vor folosi (minim 2, maxim 5)
- tocarea cât mai omogenă a materiilor prime
- realizarea de amestecuri cât mai omogene posibil din materiile prime, conform unui tabel de planificare științifică a experimentului
- colectarea unei mostre de 1 litru (1 dm<sup>3</sup>) amestec omogen
- realizarea peleților propriu-ziși
- colectarea pentru determinări a două mostre de câte 1 litru de peleți după ce aceștia ating o temperatură mai mică de 25 °C
- realizarea analizelor necesare
- prelucrarea datelor obținute folosind modelarea statistică și numerică pentru a obține o rețetă cu proprietățile dorite

Peleții au fost produși cu presa de peleți cu matriță plană, cu diametrul găurilor din matriță de 6 mm.

Pentru peleții obținuți am măsurat puterea calorifică minimă, cantitatea de cenușă reziduală, parametrii geometrici (lungime, diametru) și am determinat apoi densitatea, densitatea de vrac.

##### B. Determinarea puterii calorifice inferioare

Pentru determinarea puterii calorifice inferioare, s-au folosit un calorimetru cu ardere explozivă XRY-1B și o balanță analitică Ohaus cu precizie de 0,0002g. Aceste echipamente există în Centrul de Cercetare pentru Mașini și Echipamente Termice, Transporturi și Combaterea Poluării, din cadrul Departamentul de Mașini Mecanice, Utilaje și Transporturi al Facultății de Mecanică a UPT.

Calorimetrul constă dintr-o bombă calorimetrică, un vas calorimetric, un reostat cu întrerupător pentru reglarea turației motorului care manipulează agitatorul, o presă pentru pastilarea probei și o butelie de oxigen cu reductor de presiune. Proba

## CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE

de analizat se introduce în bomba calorimetrică, unde se leagă cu ajutorul unei sârme de nichelină de bornele sale interioare.

Inițial, bomba calorimetrică a fost etalonată și s-a obținut coeficientul calorimetric  $k$  (în  $\text{kJ/grad}$ ) al instalației calorimetrice.

Pregătirea instalației presupune introducerea de apă în cuva calorimetrului până când nivelul acesteia depășește cu 1-2 mm capacul bombei calorimetrice și se realizează echilibrul termic al apei cu mediul ambiant.



**Figura 4.1 Calorimetrul XRY-1B – detaliu de operare**

Pregătirea probei se face în două etape. Într-o primă etapă, o cantitate de 0,6-0,8 g din materialul de analizat se usucă într-o etuvă, la  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , până când diferența dintre două cântăriri succesive ale probei este mai mică decât dublul preciziei de cântărire. După uscare, probele anhidre sunt păstrate în exicator până la prepararea pastilei care se introduce în bomba calorimetrică. A doua etapă presupune realizarea unei pastile din proba de analizat. Pentru aceasta, se cântăresc aproximativ 10 cm nichelină cu balanța Ohaus, apoi se pastilează împreună cu proba și se cântăresc din nou. Se obține astfel masa probei de combustibil.

Capetele libere ale sârmei de nichelină se înfășoară pe cele două tije ale capacului bombei calorimetrice. Capacul este apoi închis etanș. Se conectează butelia de oxigen și se introduce încet oxigen în bombă, până la presiunea de 2,5-3 MPa. Apoi, bomba calorimetrică se introduce în vasul calorimetric, împreună cu 2,02 kg apă la temperatura camerei. Se montează agitatorul astfel încât acesta să nu atingă nici vasul calorimetric și nici bomba, apoi se introduce termometrul de precizie.



**Figura 4.2 Proba cu fir de nichelină (pe balanța analitică Ohaus)**

Citirea temperaturilor se desfășoară pe 3 perioade:

- Perioada inițială: După 10 minute de la punerea în funcțiune a agitatorului, se citește temperatura apei din vasul calorimetric cu o precizie de  $10^{-3}$  °C, din minut în minut, timp de 5 minute sau până când temperatura apei din instalație crește uniform datorită energiei disipate de agitator. În momentul în care se realizează o creștere uniformă, se închide circuitul electric de aprindere a probei.
- Perioada principală durează din momentul aprinderii probei de combustibil și până când nu se mai realizează schimb de căldură între bomba calorimetrică și apa din vasul calorimetric. Citirile se fac din minut în minut, cu o precizie de  $10^{-3}$  °C, până când se atinge o valoare maximă.
- Perioada finală constă într-un număr de citiri ale temperaturii cu o precizie de  $10^{-3}$  °C, din minut în minut, cel puțin egal cu numărul de citiri din perioada principală, până la realizarea echilibrului termodinamic.

La finalizarea procesului, se scot agitatorul și termometrul de precizie din vasul calorimetric, apoi se scoate și se deschide bomba calorimetrică, iar nichelina rămasă se cântărește cu balanța analitică.

Pentru determinarea puterii calorifice superioare,  $Q_s$ , se scrie ecuația schimbului de căldură din interiorul calorimetrului:

$$m \cdot Q_s = k \cdot (t_f - t_i + \Delta t_r) - (Q_1 + Q_2 + Q_3) \quad (4.3)$$

unde  $m$  este masa combustibilului (în kg),  $k$  este factorul calorimetric (în J/°C),  $t_f$  este temperatura maximă din perioada principală (în °C),  $t_i$  este temperatura ultimă din perioada inițială (în °C),  $\Delta t_r$  este corecția de temperatură datorată schimbului de căldură cu mediul exterior (în °C), iar  $Q_1$  este corecția de căldură datorată arderii firului de nichelină (în J),  $Q_2$  și  $Q_3$  sunt corecțiile de căldură datorate formării de  $H_2SO_4$  și  $HNO_3$  (în J).

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA  
ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE

---

Considerând cantitatea de apă din vasul calorimetric ca fiind  $m_a = 2,02$  kg, echivalentul în apă al calorimetrului  $m_e = 0,425$  kg și capacitatea termică masică a apei  $c_a = 4,1855 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ , factorul calorimetric va fi

$$k = (m_a + m_e) \cdot c_a = 10,233 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right] \quad (4.4)$$

Corecția de căldură datorată schimbului de căldură prin radiație este dată de relația

$$\Delta t_r = n \cdot v_f - \frac{v_i + v_f}{2} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.5)$$

unde  $n$  este numărul de minute din perioada principală,  $v_i$  este variația medie de temperatură din perioada inițială, în  $^\circ\text{C}/\text{min}$ , iar  $v_f$  este variația medie de temperatură în perioada finală, în  $^\circ\text{C}/\text{min}$ .

Corecția de căldură datorată arderii firului de nichelină este

$$Q_1 = (m_{si} - m_{sf}) \cdot q_s \text{ [J]} \quad (4.6)$$

unde  $m_{si}$  este masa de sârmă inițială (în kg),  $m_{sf}$  este masa de sârmă finală (în kg), iar  $q_s = 275 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  este căldura de combustie a sârmei de nichelină.

Relația dintre puterea calorifică inferioară  $Q_i$  și puterea calorifică superioară  $Q_s$  exprimate în MJ/kg este

$$Q_i = Q_s - \lambda(9H + W)$$

unde  $\lambda$  este căldura latentă de vaporizare a apei (măsurată în  $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ ), iar  $9H + W$  reprezintă cantitatea de apă rezultată prin oxidarea hidrogenului ( $H$ ) plus cantitatea de apă ( $W$ ) conținută de combustibil [112].

### C. Determinarea cantității de cenușă reziduale

Determinarea cenușii reziduale se poate face în două moduri.

În primul caz, se poate folosi un cuptor electric orizontal cu închidere etanșă și în care se menține temperatura de  $850 \pm 20$   $^\circ\text{C}$ , un exicator cu silicagel în care au fost păstrate probele până la răcirea lor completă și o balanță analitică cu sensibilitatea de  $10^{-4}$   $^\circ\text{C}$  [65].

O cantitate de aproximativ 1g din proba de analizat se cântărește într-un creuzet, care apoi se introduce în cuptor. Temperatura cuptorului se ridică treptat (în minim 60 minute) până la 800-850  $^\circ\text{C}$ , apoi se menține această temperatură 2 ore. După acest timp, probele se lasă 5 minute să se răcească în aer, apoi se introduc în exicator până la răcirea completă și se cântăresc. Operația se repetă ținând creuzetul în cuptor câte o jumătate de oră, până când se ajunge la o masă practic constantă.

Al doilea mod de a determina cenușa reziduală este corelat cu determinarea puterii calorifice. Concret, imediat după realizarea arderii, se măsoară masa creuzetului (cu tot cu resturile de combustibil).

Și într-un caz, și în celălalt, procentajul de cenușă reziduală din proba de analizat va fi

$$\text{cenușa} = \frac{m_{cc} - m_c}{m_{cp} - m_c} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.7)$$

unde  $m_c$  este masa creuzetului gol (în g),  $m_{cp}$  este masa creuzetului cu proba (în g), iar  $m_{cc}$  este masa creuzetului cu cenușa (în g).

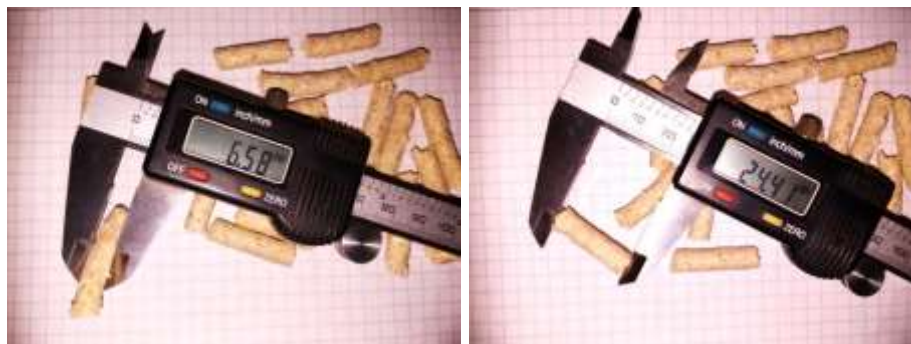
#### D. Determinarea parametrilor geometrici ai peleiților

Dacă lungimea și diametrul peleiților nu mai necesită explicații, există o diferență între densitate și densitate de vrac. Densitatea peleiților este definită ca raportul dintre masa și volumul peleiților, fiind o măsură exclusiv legată de aceștia. Densitatea de vrac a peleiților este definită ca masa de peleiți conținută într-un anumit volum.

Deși există mai multe modalități de a determina densitatea particulelor [108], am preferat să utilizăm metoda stereometrică descrisă în standardele internaționale [21],[22].

Pentru calculul volumului, se determină lungimea și diametrul peleiților cu un șubler digital, iar pentru determinarea masei lor se folosește o balanță de precizie cu precizia de  $10^{-4}$  g.

Din proba de peleiți au fost aleși 50 peleiți, a căror formă este aproximativ cilindrică. Pentru fiecare dintre acești peleiți au fost măsurate, cu ajutorul unui șubler digital, lungimea și diametrul. Pentru determinarea lungimii au fost efectuate câte 2 măsurători, după două direcții axiale perpendiculare, iar lungimea finală a fiecărui pelet,  $l_i$  a fost media aritmetică a celor două valori ale lungimilor. Pentru determinarea diametrului, au fost făcute câte 3 seturi de câte 2 măsurători după direcții radiale perpendiculare: 2 seturi la capetele peleiților și 1 set la mijloc, iar diametrul final al fiecărui pelet,  $d_i$  a fost considerat media aritmetică a măsurătorilor. Între două măsurători succesive, peleiții au fost roțiți cu  $90^\circ$ .



**Figura 4.3 Determinarea dimensiunilor peleiților**

Pentru densitatea particulelor, s-a calculat volumul total al peleiților cilindrici și masa lor totală. Astfel, densitatea este de

$$\rho = \frac{m_{tot}}{V_{tot}} = \frac{m_{tot}}{\sum_{i=1}^{50} \pi \frac{d_i^2}{4} l_i} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (4.8)$$

Densitatea de vrac a fost determinată prin determinarea masei de peleiți conținută într-un recipient cu volumul de 500 ml, umplut cu peleiți.

Teoretic, lungimea peleiților și diametrul acestora depind de caracteristicile constructive ale preseii: diametrul peleiților este egal cu diametrul găurilor din matriță,

iar lungimea este dată de distanța la care cuțitul se află față de matriță. În realitate, acest lucru nu este în totalitate adevărat.

Diametrul peleților poate varia în funcție de gradul de compactare a amestecului, care este strâns legat de granulația particulelor componente și de rețeta folosită. Un diametru al peletului mai mare decât diametrul matriței semnifică faptul că ulterior ieșirii din presă peletele expandează – deci gradul de compactare scade. În ultimă instanță, acest fenomen influențează direct calitatea peleților. Peleții mai puțin compacți, atunci când sunt folosiți pentru ardere, tind să se descompună, iar în acest fel este împiedicată alimentarea cu oxigen și, deci, arderea. Practic, un diametru mai mare al peleților decât diametrul matriței semnifică faptul că peleții, în loc să întrețină arderea, mai degrabă o împiedică, o opresc (sting focul).

Lungimea unui pelete poate de asemenea varia în funcție de maleabilitatea peleților, de rezistența lor la rupere – caracteristici care sunt direct dependente de umiditatea amestecului, de granulația componentelor și în ultimă instanță de rețeta folosită.

Din acest punct de vedere, o rețetă este cu atât mai bună cu cât produce peleți cât mai uniformi, cu defecte cât mai puține.

## 4.2 Determinarea puterii calorifice și a cenușii reziduale pentru mixturi

Pentru determinarea puterii calorifice și a cenușii reziduale, un prim pas este definirea unei strategii experimentale. După realizarea efectivă a determinărilor experimentale, datele colectate sunt analizate și interpretate.

### 4.2.1 Strategia experimentului

Scopul experimentului este de a determina influența compoziției peleților asupra puterii calorifice și a cenușii reziduale, în cazul unor mixturi de maxim 5 componente, printre cele mai des întâlnite materii prime din zona de câmpie est-europeană.

#### A. definirea răspunsurilor

Pentru acest experiment, răspunsurile sunt Q (puterea calorifică, exprimată în MJ/kg) și cantitatea de cenușă (ash, exprimată ca procent masic).

**Tabelul 4.1 Răspunsuri așteptate în cadrul experimentului**

Răspuns	Unitate de măsură	Scop	min	max
Q <sub>inf</sub>	MJ/kg	Maximizare	14,50	-
cenușa / ash	% masic	Minimizare	-	10,00



### B. definirea factorilor experimentului

Factorii de care depind răspunsurile corespund compoziției unei mixturi alcătuite din mai multe componente prezente în zona de vest a României: paie, rumeguș de fag, resturi (tocătură) de crengi, porumb neconform, grâu neconform. Fiind vorba despre o mixtură, se impune suplimentar condiția ca suma componentelor să fie egală cu 100%. Tabelul 4.2 sumarizează factorii experimentului, tipul lor, unitatea de măsură, precum și valorile minime și maxime pe care aceștia pot să le ia.

**Tabelul 4.2 Factori implicați în experiment**

Nume	Unitate de măsură	Tipul factorului	Valoare minimă	Valoare maximă
A:Factor_A Paie	% masic	Componentă a mixturii	0,0	1,0
B:Factor_B Fag Rumeguș	% masic	Componentă a mixturii	0,0	1,0
C:Factor_C Resturi_crengi	% masic	Componentă a mixturii	0,0	1,0
D:Factor_D Porumb_neconf	% masic	Componentă a mixturii	0,0	1,0
E:Factor_E Grâu_neconf	% masic	Componentă a mixturii	0,0	1,0

### C. alegerea planului experimental

Pentru acest model am ales un model simplex-centroid, randomizat, cu un bloc de  $2^5 - 1 = 31$  încercări. Cele 31 încercări corespunzătoare planificării științifice a experimentului sunt sintetizate în Tabelul 4.3.

**Tabelul 4.3 Mixturi posibile în cadrul experimentului**

Rețeta	A: Factor_A	B: Factor_B	C: Factor_C	D: Factor_D	E: Factor_E
	Paie	Fag_rumeguș	Resturi_crengi	Porumb_neconf	Grâu_neconf
<b>Amestecuri de 1 componentă</b>					
R01	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R02	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
R04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
R05	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
<b>Amestecuri de 2 componente</b>					
R06	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R07	50,0%	0,0%	50,0%	0,0%	0,0%
R08	50,0%	0,0%	0,0%	50,0%	0,0%
R09	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA  
ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE

R10	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%
R11	0,0%	50,0%	0,0%	50,0%	0,0%
R12	0,0%	50,0%	0,0%	0,0%	50,0%
R13	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%
R14	0,0%	0,0%	50,0%	0,0%	50,0%
R15	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%
<b>Amestecuri de 3 componente</b>					
R16	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%	0,0%
R17	33,3%	33,3%	0,0%	33,3%	0,0%
R18	33,3%	33,3%	0,0%	0,0%	33,3%
R19	33,3%	0,0%	33,3%	33,3%	0,0%
R20	33,3%	0,0%	33,3%	0,0%	33,3%
R21	33,3%	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%
R22	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%
R23	0,0%	33,3%	33,3%	0,0%	33,3%
R24	0,0%	33,3%	0,0%	33,3%	33,3%
R25	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%
<b>Amestecuri de 4 componente</b>					
R26	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	0,0%
R27	25,0%	25,0%	25,0%	0,0%	25,0%
R28	25,0%	25,0%	0,0%	25,0%	25,0%
R29	25,0%	0,0%	25,0%	25,0%	25,0%
R30	0,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
<b>Amestecuri de 5 componente</b>					
R31	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%

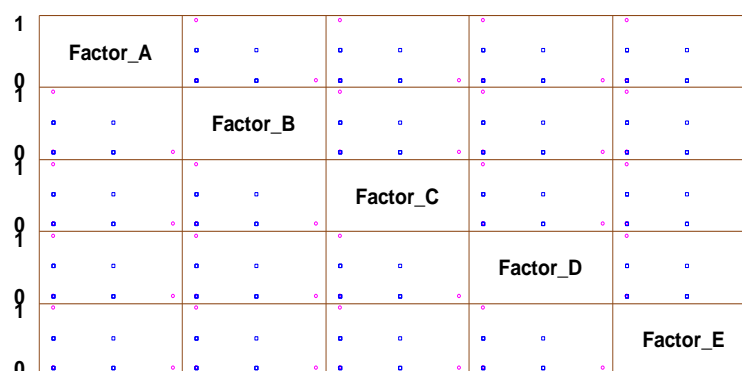


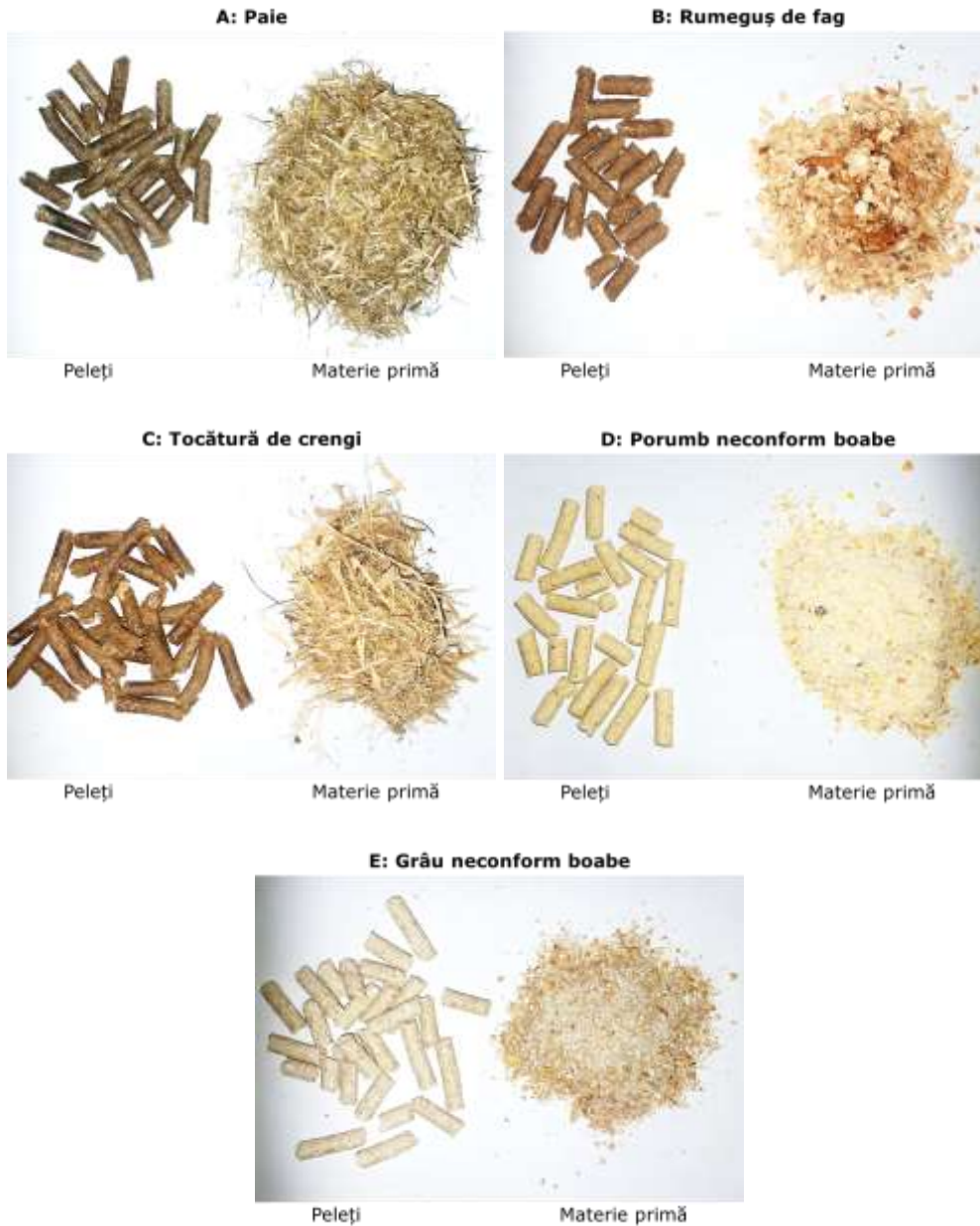
Figura 4.4 Factorii experimentului și valorile lor posibile

#### D. specificarea modelului

Pentru compoziția mixturii a fost ales un model liniar, factorii experimentului fiind A (paie), B (rumeguș fag), C (tocătură / resturi crengi), D (boabe de porumb

Determinarea puterii calorifice și a cenușii reziduale pentru mixturi

neconform), E (boabe de grâu neconform). Cele 5 tipuri de materie primă și peleții obținuți din acestea sunt prezentate în Figura 4.5.



**Figura 4.5 Factorii experimentului (materie primă și peleți)**

**E. selectarea unui subset optim de determinări (rulări ale experimentului)**

Pentru rularea experimentului am ales să analizăm 15 din cele 31 cazuri, și anume toate acele cazuri în care amestecul de materii prime conține 1 sau 2 componente ( $C_5^1 + C_5^2 = 5 + 10 = 15$ ).

**4.2.2 Realizarea efectivă a determinărilor experimentale**

Pentru fiecare amestec din cele 15 propuse pentru analiză, au fost realizate probe de peleți la fabrica de la Cenei, care au fost apoi analizate în Centrul de Cercetare pentru Mașini și Echipamente Termice, Transporturi și Combaterea Poluării de la Universitatea Politehnică din Timișoara.

Pentru fiecare probă s-au realizat câte 5 determinări.

În continuare, sunt detaliate datele colectate și rezultatele obținute pentru rețetele R01-R05 (amestecuri de 1 componentă).

**Tabelul 4.4 Date experimentale culese pentru mixturi mono-component**

Proba	Înainte de ardere			La finalul arderii		
	Masa creuzet	Masa nichelină	Masa nichelină și probă	Q returnat de bomba calorimetrică	Masa creuzet	Masa resturi de nichelină
	[g]	[g]	[g]	[J/g]	[g]	[g]
<b>Grâu neconform</b>						
1	12,53577	0,02105	1,98482	16212	12,58073	0,01763
2	12,53472	0,04105	2,00476	16212	12,58187	0,03763
3	12,53546	0,03605	1,99988	16211	12,58160	0,03263
4	12,53693	0,02603	1,98969	16210	12,58147	0,02262
5	12,53453	0,05107	2,01465	16212	12,58045	0,04762
<b>Porumb neconform</b>						
1	12,54350	0,02194	2,01792	16903	12,56393	0,01779
2	12,54423	0,04194	2,03777	16903	12,56367	0,03780
3	12,54235	0,03692	2,03288	16902	12,56346	0,03280
4	12,54423	0,02696	2,02286	16903	12,56367	0,02279
5	12,54384	0,05195	2,04775	16902	12,56411	0,04778
<b>Paie</b>						
1	12,54090	0,02389	0,64443	15930	12,57058	0,02007
2	12,54200	0,04387	0,66445	15929	12,57007	0,04007
3	12,54160	0,03888	0,65946	15930	12,57071	0,03505
4	12,54001	0,02891	0,64945	15930	12,57115	0,02505
5	12,54064	0,05388	0,67440	15929	12,57018	0,05005
<b>Resturi crengi</b>						
1	12,54258	0,02175	1,02696	18375	12,56310	0,01285
2	12,54283	0,04174	1,04696	18375	12,56284	0,03284
3	12,54153	0,03673	1,04195	18376	12,56226	0,02786

Determinarea puterii calorifice și a cenușii reziduale pentru mixturi

4	12,54347	0,02674	1,03191	18375	12,56397	0,01785
5	12,54383	0,05176	1,05697	18375	12,56402	0,04286
<b>Fag</b>						
1	12,54093	0,02456	0,87561	18766	12,55945	0,02064
2	12,54186	0,04455	0,89565	18767	12,55949	0,04065
3	12,54208	0,03956	0,89066	18767	12,56036	0,03562
4	12,54185	0,02957	0,88069	18765	12,56035	0,02562
5	12,54029	0,05458	0,90553	18766	12,55971	0,05064

În urma prelucrării datelor experimentale, au reieșit valori concrete pentru puterea calorifică și pentru cantitatea de cenușă. Acestea sunt detaliate pentru rețetele R01-R05 (amestecuri de 1 componentă) în Tabelul 4.5.

**Tabelul 4.5 Rezultate experimentale**

Proba	Q calculat	Q raportat	Q – valoare medie	Abaterea standard pentru Q	Cenușa	Cenușa – valoare medie	Abaterea standard pentru cenușă
	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[% masic]	[% masic]	[% masic]
<b>Grâu neconform</b>							
1	16211,86	16,21	<b>16,211</b>	0,8944	2,29%	2,33%	0,05
2	16211,86	16,21			2,40%		
3	16210,86	16,21			2,35%		
4	16209,86	16,20			2,27%		
5	16211,86	16,21			2,34%		
<b>Porumb neconform</b>							
1	16902,83	16,90	<b>16,903</b>	0,5477	1,02%	1,01%	0,04
2	16902,83	16,90			0,97%		
3	16901,84	16,90			1,06%		
4	16902,83	16,90			0,97%		
5	16901,83	16,90			1,02%		
<b>Paie</b>							
1	15929,85	15,92	<b>15,930</b>	0,5477	4,78%	4,76%	0,18
2	15928,85	15,92			4,52%		
3	15929,85	15,92			4,69%		
4	15929,85	15,92			5,02%		
5	15928,85	15,92			4,76%		
<b>Resturi crengi</b>							
1	18374,64	18,37	<b>18,375</b>	0,4472	2,04%	2,03%	0,03
2	18374,64	18,37			1,99%		
3	18375,65	18,37			2,06%		
4	18374,64	18,37			2,04%		
5	18374,64	18,37			2,01%		
<b>Fag</b>							
1	18765,84	18,76	<b>18,766</b>	0,8366	2,18%	2,17%	0,08
2	18766,84	18,76			2,07%		
3	18766,84	18,76			2,15%		
4	18764,84	18,76			2,17%		
5	18765,84	18,76			2,28%		

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA  
ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE

Pentru cele 15 rețete considerate, rezultatele în urma prelucrării datelor experimentale sunt detaliate în Tabelul 4.6.

**Tabelul 4.6 Rezultate experimentale**

Rețeta	Q – valoare medie	Abaterea standard pentru Q	Cenușa – valoare medie	Abaterea standard pentru cenușă	Q	Cenușa
	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[% masic]	[% masic]	[MJ/kg]	[% masic]
R01	<b>15,930</b>	0,548	<b>4,755</b>	0,178	15,930 ± 0,548	4,755 ± 0,178
R02	<b>18,766</b>	0,837	<b>2,170</b>	0,075	18,766 ± 0,837	2,170 ± 0,075
R03	<b>18,375</b>	0,447	<b>2,028</b>	0,028	18,375 ± 0,447	2,028 ± 0,028
R04	<b>16,903</b>	0,548	<b>1,008</b>	0,035	16,903 ± 0,548	1,008 ± 0,035
R05	<b>16,211</b>	0,894	<b>2,329</b>	0,052	16,211 ± 0,894	2,329 ± 0,052
R06	<b>17,348</b>	0,418	<b>3,260</b>	0,103	17,348 ± 0,418	3,260 ± 0,103
R07	<b>17,152</b>	0,418	<b>3,069</b>	0,078	17,152 ± 0,418	3,069 ± 0,078
R08	<b>16,416</b>	0,418	<b>1,897</b>	0,046	16,416 ± 0,418	1,897 ± 0,046
R09	<b>16,071</b>	0,354	<b>2,911</b>	0,015	16,071 ± 0,354	2,911 ± 0,015
R10	<b>18,571</b>	0,570	<b>2,093</b>	0,039	18,571 ± 0,570	2,093 ± 0,039
R11	<b>17,834</b>	0,418	<b>1,356</b>	0,038	17,834 ± 0,418	1,356 ± 0,038
R12	<b>17,489</b>	0,758	<b>2,281</b>	0,033	17,489 ± 0,758	2,281 ± 0,033
R13	<b>17,639</b>	0,224	<b>1,350</b>	0,030	17,639 ± 0,224	1,350 ± 0,030
R14	<b>17,293</b>	0,447	<b>2,227</b>	0,030	17,293 ± 0,447	2,227 ± 0,030
R15	<b>16,557</b>	0,500	<b>1,663</b>	0,031	16,557 ± 0,500	1,663 ± 0,031

Valorile medii pentru puterea calorică (Q) și pentru cantitatea de cenușă (ash) au fost introduse apoi în Statgraphics și analizate.

### 4.2.3 Evaluarea experimentului, analiza și interpretarea datelor obținute

Tabelul 4.7 prezintă rezultatele experimentale care au fost prelucrate cu ajutorul Statgraphics Centurion.

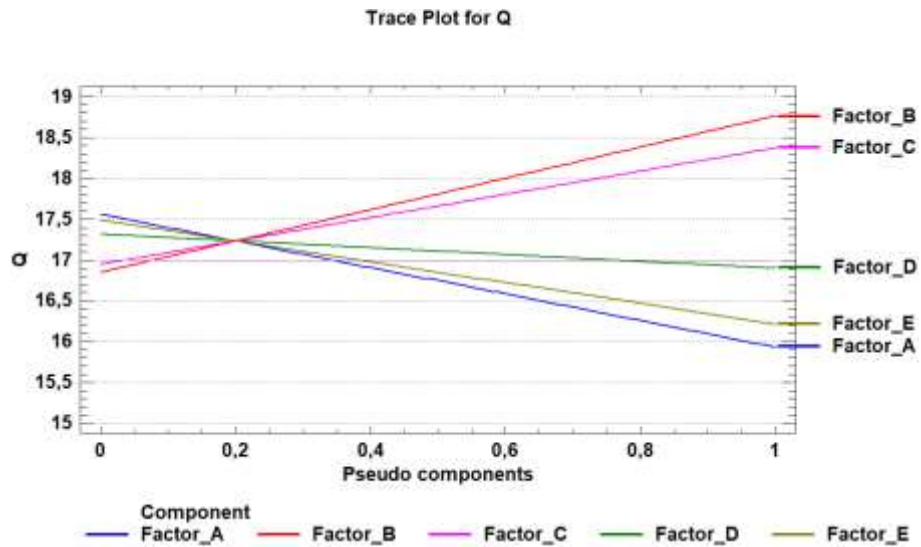
**Tabelul 4.7 Date prelucrate cu Statgraphics**

run	Factor_A	Factor_B	Factor_C	Factor_D	Factor_E	Q	ash
	Paie	Fag_rumeguș	Resturi_crenți	Porumb_neconform	Grâu_neconform		
1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,930	4,755
2	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	18,766	2,170
3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	18,375	2,028
4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	16,903	1,009
5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	16,211	2,329
6	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	17,348	3,260
7	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	17,152	3,069
8	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	16,416	1,897
9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	16,071	2,912
10	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	18,571	2,093
11	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	17,834	1,356
12	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	17,489	2,281
13	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	17,639	1,350
14	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	17,293	2,227
15	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	16,557	1,664

Coeficientul de corelație, cu valoare între -1 și +1 și care măsoară intensitatea legăturii liniare dintre variabile, indică o legătură puternică directă între valoarea Q și factorul B (fag) și o legătură inversă, de intensitate mai mică, între valoarea Q și factorul A (paie). Cu alte cuvinte, valoarea puterii calorifice crește cu creșterea cantității de fag din amestec și scade cu creșterea cantității de paie adăugate în amestec.

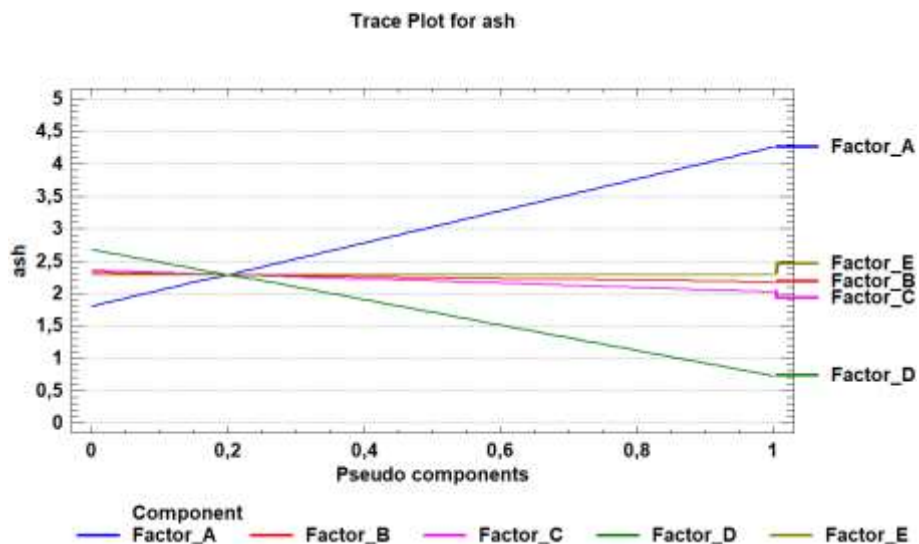
În general, amestecul va avea o putere calorifică cuprinsă între 16,5 MJ/kg și 18 MJ/kg. O putere calorifică peste 18 MJ/kg se poate obține dacă amestecul are în compoziție doar fag și tocătură de crenți, iar o putere calorifică peste 18,50 MJ/kg este specifică unui amestec care are în compoziție doar fag. Amestecurile care au în compoziție peste 80% porumb și peste 65% paie au o putere calorifică sub 16,50 MJ/kg (Figura 4.6).

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE



**Figura 4.6** Influența factorilor mixturii asupra puterii calorifice Q

Referitor la cantitatea de cenușă reziduală, există o legătură puternică directă între aceasta și factorul A (paie) și una inversă, de intensitate mai mică, între aceasta și factorul D (porumb neconform). Cu alte cuvinte, o creștere a cantității de paie din amestec duce la creșterea cantității de cenușă, pe când creșterea cantității de porumb neconform din amestec are ca efect o scădere a cantității de cenușă reziduale.



**Figura 4.7** Influența factorilor mixturii asupra cenușii reziduale, ash

În general, amestecul va avea o cenușă reziduală cuprinsă între 2 % și 3 %. Valori peste 3 % sunt posibile pentru un procent de mai mult de 45 % paie în



## Determinarea puterii calorifice și a cenușii reziduale pentru mixturi

componența amestecului. Valori sub 2 % sunt posibile pentru mai mult de 40 % porumb și mai puțin de 7 % paie, iar o valoare a cenușii reziduale apropiată de 1 % este posibilă pentru amestecuri alcătuite doar din porumb neconform (Figura 4.7).

În plus, analiza mixturii indică faptul că modelul care descrie cel mai bine atât puterea calorifică a amestecului cât și procentul de cenușă reziduală este un model liniar.

Modelul de regresie pentru puterea calorifică este

$$Q = 15,9299 \cdot Factor_A + 18,7661 \cdot Factor_B + 18,375 \cdot Factor_C + 16,9027 \cdot Factor_D + 16,2113 \cdot Factor_E \quad (4.9)$$

cu constrângerea că suma factorilor trebuie să fie egală cu 1 (100%). Acest model explică 100% din variația puterii calorifice. Eroarea standard a estimării este de 0,000338062, iar abaterea medie pătratică de 0,000228571.

Valoarea maximă pentru Q este de 18,77 (corespunzătoare cazului în care mixtura este alcătuită în totalitate din fag), iar cea minimă este de 15,93 (corespunzătoare situației în care mixtura este alcătuită în întregime din paie).

Figura 4.8 ilustrează cum variază puterea calorifică, Q, atunci când factorii D și E sunt considerați cunoscuți (în acest caz cu valoarea 0) și se modifică factorii A, B, C.

În acest caz, puterea calorifică va avea expresia

$$Q = 15,9299 \cdot Factor_A + 18,7661 \cdot Factor_B + 18,375 \cdot Factor_C \quad (4.10)$$

cu restricția că suma celor 3 factori implicați să fie 1.

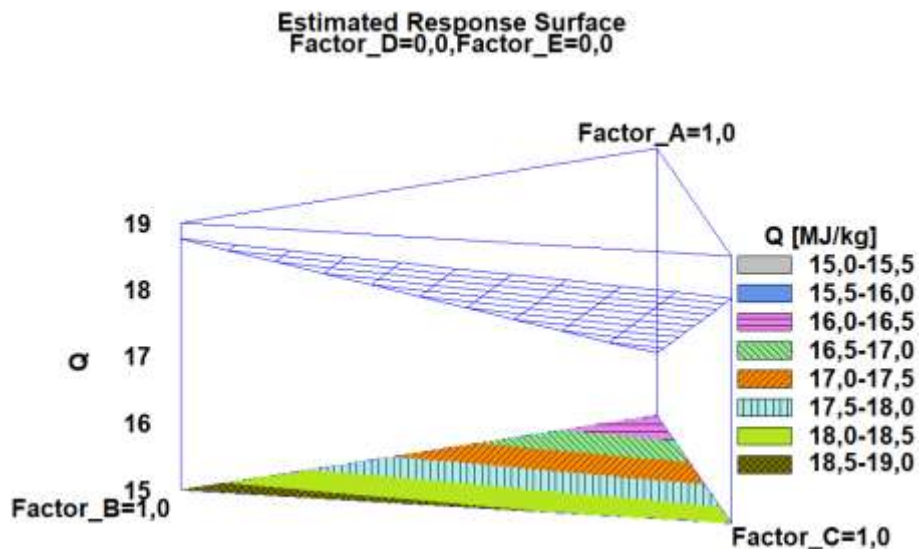


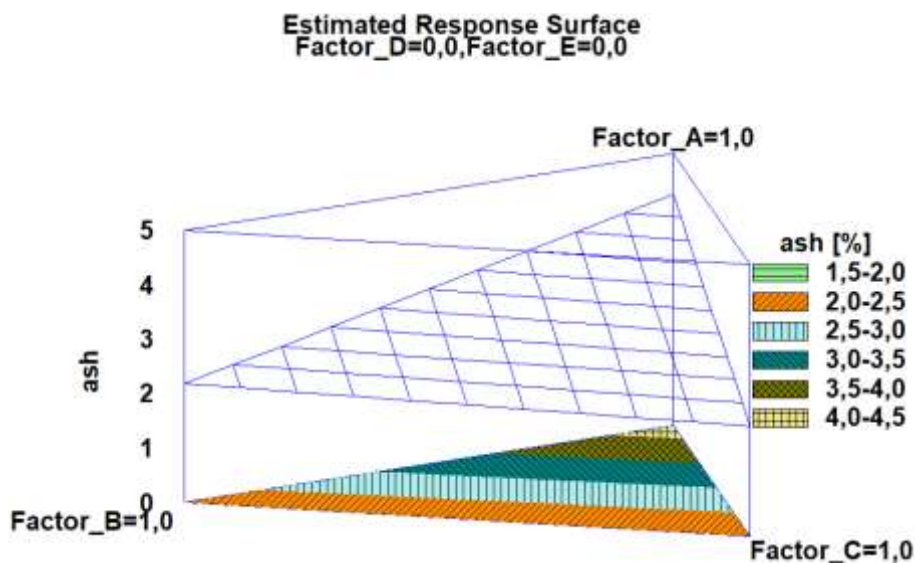
Figura 4.8 Variația puterii calorifice atunci când factorii D și E ai mixturii au valoarea 0

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE

Modelul de regresie pentru cenușa reziduală este

$$\text{ash} = 4,26133 \cdot \text{Factor}_A + 2,17048 \cdot \text{Factor}_B + 2,01762 \cdot \text{Factor}_C + 0,729048 \cdot \text{Factor}_D + 2,28819 \cdot \text{Factor}_E \quad (4.11)$$

cu restricția că suma factorilor trebuie să fie egală cu 1 (100%). Acest model explică 92,8664% din variația cantității de cenușă reziduală. Eroarea standard a estimării este de 0,29357, iar abaterea medie pătratică este de 0,15334. Variația cenușii reziduale atunci când factorii D și E au valoarea 0 este ilustrată în Figura 4.9.



**Figura 4.9** Variația cenușii reziduale atunci când factorii D și E ai mixturii au valoarea 0

Valoarea minimă pentru cenușa reziduală este de 0,73 (corespunzătoare unei mixturi alcătuite în totalitate din porumb neconform), iar valoarea maximă este de 4,26 (corespunzătoare unei mixturi alcătuite în totalitate din paie).

Analizând valorile coeficienților pentru Q și cenușă, se observă că cele mai bune opțiuni sunt cele pentru care factorii E (grâu neconform) și A (paie) sunt nuli. Așadar, aceste dependențe vor fi reprezentate grafic (în Figura 4.10 și Figura 4.11).

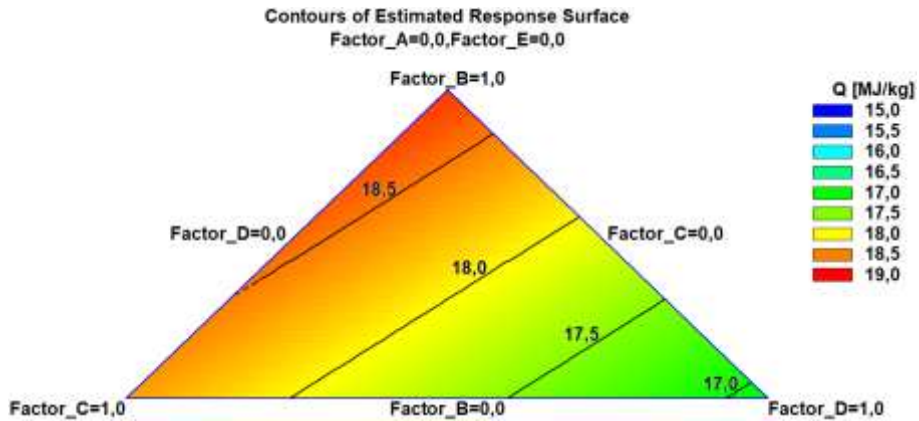


Figura 4.10 Variația puterii calorifice atunci când factorii A și E ai mixturii au valoarea 0

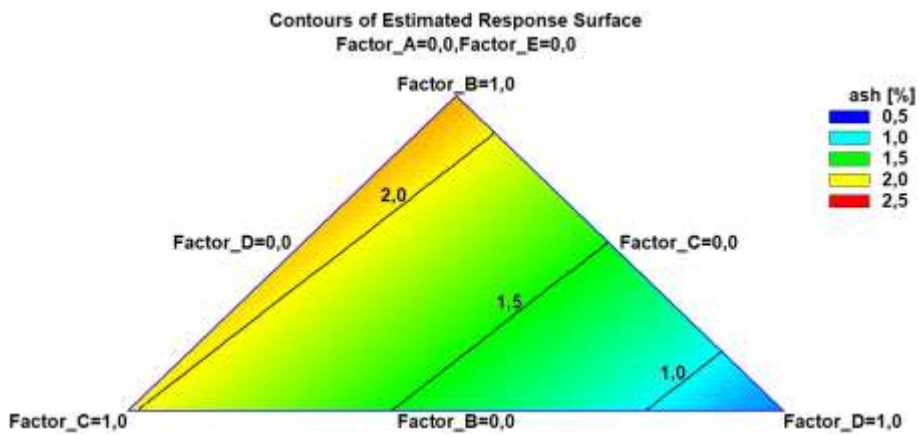
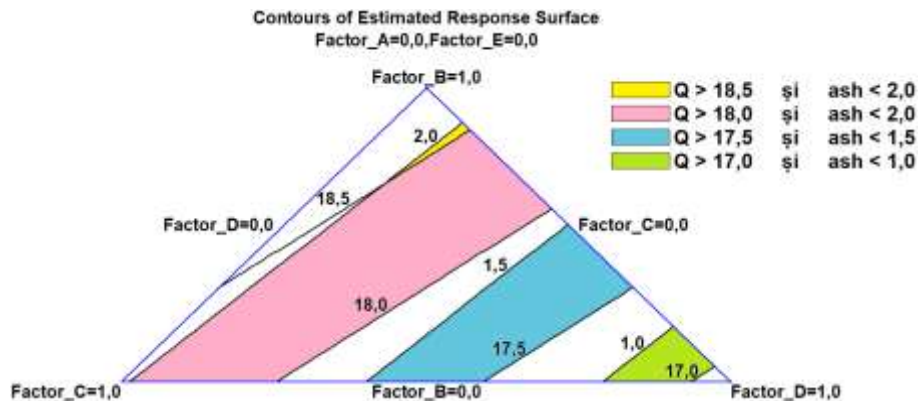


Figura 4.11 Variația cenușii reziduale atunci când factorii A și E ai mixturii au valoarea 0

Suprapuse, aceste grafice indică valori posibile pentru factorii B, C, D astfel încât puterea calorifică și cenușa reziduală să se încadreze între anumite valori (Figura 4.12).

Analizând Figura 4.12, rezultă că este posibil să determinăm mixturi de 3 componente pentru care puterea calorifică să fie mai mare de 18,5 MJ/kg, în același timp în care cenușa reziduală este sub 2%. De asemenea, sunt fezabile rețete cu puterea calorifică 18,0 MJ/kg și cenușa reziduală sub 2%. Mai puțin eficiente din punct de vedere ale puterii calorifice, dar dezirabile din punct de vedere al cantității de cenușă reziduală sunt și cazurile  $Q > 17,5$  MJ/kg și  $ash < 1,5\%$  și  $Q > 17,0$  MJ/kg și  $ash < 1,0\%$ .

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE



**Figura 4.12** Valori posibile pentru puterea calorică și cenușa reziduală în funcție de valorile factorilor experimentali

Aceste rețete vor fi determinate folosind elemente de cercetări operaționale în capitolul următor.

### 4.3 Studiul influenței aditivului asupra calității peleților obținuți dintr-o mixtură de 2 tipuri de biomasă

Pentru studiul influenței aditivului asupra calității peleților, în primul rând s-a definit strategia experimentală, apoi, în urma realizării efective a rețetelor și a măsurărilor experimentale, datele colectate au fost analizate și interpretate.

#### 4.3.1 Strategia experimentului

În cadrul acestui experiment s-a urmărit studiul influenței aditivului (în acest caz, porumb boabe) asupra calității peleților obținuți dintr-o mixtură de două tipuri de biomasă: rumeguș de brad și grâu boabe.

#### A. Definirea răspunsurilor

În cadrul acestui experiment, răspunsurile sunt diametrul (în mm), lungimea (în mm) și densitatea de vrac (în kg/m<sup>3</sup>).

**Tabelul 4.8** Răspunsurile așteptate în urma experimentului

Răspuns	Unitate de măsură	min	max
diametru	mm	6,00	25,00
lungime	mm	3,15	40,00
densitate de vrac	kg/m <sup>3</sup>	600,00	-
densitate	kg/m <sup>3</sup>	1000,00	-
Q_inf	MJ/kg	14,50	-
cenușa / ash	% masic	-	10,00

Studiul influenței aditivului asupra calității peleților obținuți dintr-o mixtură de 2 tipuri de biomasă

Aceste răspunsuri se referă la valorile extreme cuprinse în standarde.

## B. Definirea factorilor experimentali

Factorii de care depind răspunsurile sunt compozițiile (în kg) de brad (rumeguș), grâu (boabe), respectiv aditiv (porumb). Cei 3 factori sunt controlabili, cu variație continuă între valoarea minimă și maximă, așa cum reiese din Tabelul 4.9.

Tabelul 4.9 Factori experimentali și valorile lor limită

Factor	Min	Max
A:Brad	38,0	42,0
B:Grâu	57,0	63,0
C:Aditiv	0,0	5,0

## C. Alegerea planului experimental

În această fază, a fost ales un experiment compus central ( $2^3 +$  puncte stea), randomizat, cu 1 bloc de 16 încercări. Experimentul se efectuează pentru punctele din Figura 4.13.

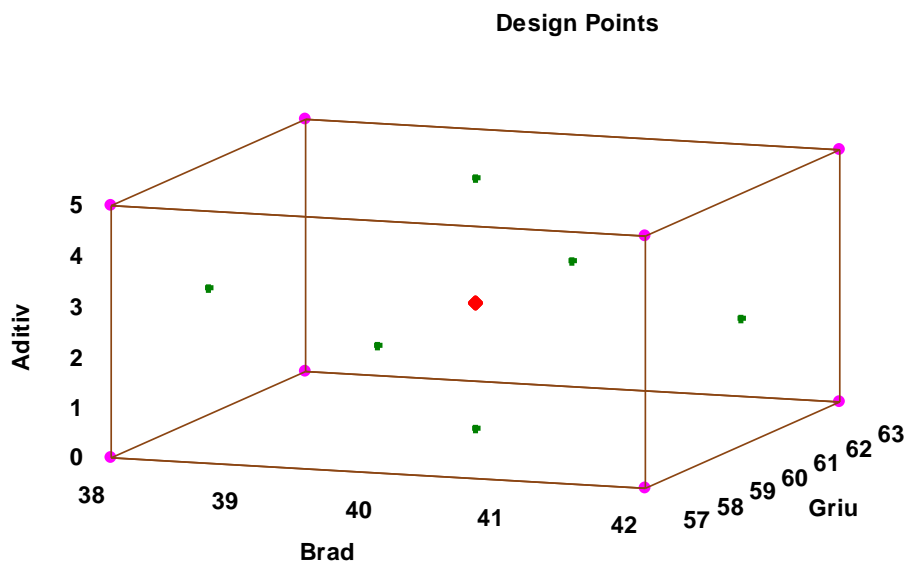


Figura 4.13 Puncte ale planului experimental

## D. Specificarea modelului

A fost ales un model de ordinul 2, în care să fie considerate pe lângă factorii A, B, C și interacțiunile tip AA, AB, AC, BB, BC, CC.

### E. Selectarea unui subset optim de determinări

Pentru realizarea experimentului, au fost selectate 16 determinări, pentru care compozițiile diverselor componente (în kg) care sunt detaliate în Tabelul 4.10. Valorile celor 3 factori ai experimentului nu reprezintă în acest caz compoziții procentuale.

**Tabelul 4.10 Variantele de rețete alese pentru a fi încercate**

Rețeta	A:Brad	B:Grâu	C:Aditiv
	[kg]	[kg]	[kg]
v01	40,0	60,0	2,5
v02	42,0	57,0	5,0
v03	42,0	60,0	2,5
v04	38,0	63,0	5,0
v05	38,0	60,0	2,5
v06	42,0	63,0	5,0
v07	42,0	63,0	0,0
v08	40,0	57,0	2,5
v09	38,0	57,0	5,0
v10	40,0	60,0	0,0
v11	38,0	57,0	0,0
v12	42,0	57,0	0,0
v13	38,0	63,0	0,0
v14	40,0	60,0	5,0
v15	40,0	63,0	2,5
v16	40,0	60,0	2,5

În urma realizării în fabrică a celor 16 rețete, probele de peleți au fost analizate conform metodologiei cercetărilor experimentale. Au fost colectate date referitoare la lungimea medie, diametrul mediu, densitatea de vrac și densitatea particulelor, raportul dintre lungime și densitate, puterea calorică și conținutul de cenușă ale probelor.

Tabelul 4.11 prezintă parametri legați de ardere măsurați în urma analizării rețetelor prezentate în Tabelul 4.10: puterea calorică, Q și cenușa reziduală.

**Tabelul 4.11 Parametri legați de arderea peleților din diverse rețete**

Rețeta	Brad	Grâu	Aditiv porumb	Q	cenușa
	[kg]	[kg]	[kg]	[MJ/kg]	[% masic]
v01	40,0	60,0	2,5	18,724±0,163	1,377±0,016

Studiul influenței aditivului asupra calității peleiților obținuți dintr-o mixtură de 2 tipuri de biomasă

v02	42,0	57,0	5,0	18,943±0,165	1,466±0,009
v03	42,0	60,0	2,5	19,157±0,130	1,430±0,012
v04	38,0	63,0	5,0	19,413±0,196	1,384±0,015
v05	38,0	60,0	2,5	18,280±0,113	1,318±0,009
v06	42,0	63,0	5,0	20,152±0,146	1,490±0,015
v07	42,0	63,0	0,0	19,192±0,188	1,383±0,007
v08	40,0	57,0	2,5	18,179±0,173	1,366±0,015
v09	38,0	57,0	5,0	18,193±0,162	1,360±0,014
v10	40,0	60,0	0,0	18,311±0,182	1,327±0,012
v11	38,0	57,0	0,0	17,406±0,198	1,257±0,013
v12	42,0	57,0	0,0	17,987±0,198	1,371±0,009
v13	38,0	63,0	0,0	18,638±0,205	1,289±0,013
v14	40,0	60,0	5,0	19,138±0,182	1,427±0,009
v15	40,0	63,0	2,5	19,418±0,173	1,390±0,010
v16	40,0	60,0	2,5	18,692±0,176	1,373±0,015

Tabelul 4.12 prezintă parametri legați de geometria diverselor rețete de peleiți propuse în Tabelul 4.10: diametrul D, lungimea L, densitatea de vrac, densitatea particulelor, dar și raportul lungime:diametru (L/D). Conform standardelor, acest raport trebuie să aibe valoarea maximă 5.

**Tabelul 4.12 Parametri legați de geometria diverselor rețete de peleiți**

Rețeta	Diametru	Lungime	Densitate de vrac	Densitate	L/D
	[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	(<5)
v01	7,24±0,073	28,91±0,259	0,746±0,003	0,958±0,002	3,97
v02	6,96±0,058	28,71±0,290	0,734±0,015	0,934±0,017	4,10
v03	6,60±0,058	26,47±0,141	0,690±0,025	0,879±0,026	3,99
v04	6,87±0,056	27,26±0,246	0,717±0,025	0,908±0,025	3,95
v05	6,42±0,065	23,78±0,139	0,691±0,021	0,881±0,028	3,67
v06	6,89±0,069	27,52±0,336	0,693±0,006	0,890±0,010	3,97
v07	6,77±0,048	25,81±0,221	0,721±0,018	0,922±0,019	3,80
v08	6,95±0,076	27,72±0,162	0,713±0,007	0,916±0,017	3,98
v09	6,57±0,043	26,08±0,220	0,697±0,008	0,892±0,016	3,96
v10	6,47±0,050	24,58±0,178	0,695±0,007	0,878±0,007	3,80
v11	6,93±0,066	26,71±0,313	0,707±0,007	0,890±0,011	3,86

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA  
ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBȚINUTE

v12	6,50±0,070	25,56±0,154	0,707±0,005	0,900±0,007	3,93
v13	6,83±0,078	26,17±0,189	0,718±0,005	0,914±0,008	3,83
v14	6,71±0,047	26,10±0,126	0,705±0,008	0,893±0,009	3,89
v15	6,69±0,012	26,24±0,178	0,702±0,008	0,897±0,008	3,89
v16	6,53±0,061	25,06±0,057	0,691±0,015	0,872±0,013	3,83

Peleții obținuți au forma din Figura 4.14 în care, pentru referință, am folosit un marcaj de 5 mm x 5 mm ca fundal.



**Figura 4.14** Peleți obținuți cu rețeta v08 (40:60:5)

#### 4.3.2 Evaluarea experimentului și analiza datelor obținute

##### A. Analiza influenței compoziției asupra puterii calorifice a peleților

În urma analizei efectelor standardizate ale factorilor asupra puterii calorifice inferioare, a rezultat că aceasta este influențată direct și semnificativ, în ordine descrescătoare, de cantitatea de brad, de aditiv și de grâu folosită în rețetă. (Figura 4.15)

Ecuția de regresie care leagă puterea calorifică inferioară de factorii experimentului este

$$\begin{aligned}
 Q = & 9,95867 + 0,712252 \cdot \text{Grâu} - 0,503132 \cdot \text{Brad} - 0,159012 \cdot \text{Aditiv} - \\
 & - 0,00638362 \cdot \text{Grâu}^2 - 0,0008125 \cdot \text{Grâu} \cdot \text{Brad} + 0,008875 \cdot \text{Grâu} \cdot \text{Aditiv} + \\
 & + 0,00616284 \cdot \text{Brad}^2 - 0,00015 \cdot \text{Brad} \cdot \text{Aditiv} - 0,00296552 \cdot \text{Aditiv}^2
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$



Studiul influenței aditivului asupra calității peleților obținuți dintr-o mixtură de 2 tipuri de biomasă

Această ecuație are  $r^2 = 99,6628$ , deci explică 99,66% din variabilitatea puterii calorifice inferioare în funcție de factorii experimentului. Abaterea standard a estimării este 0,0620586, iar eroarea medie absolută este 0,0286793.

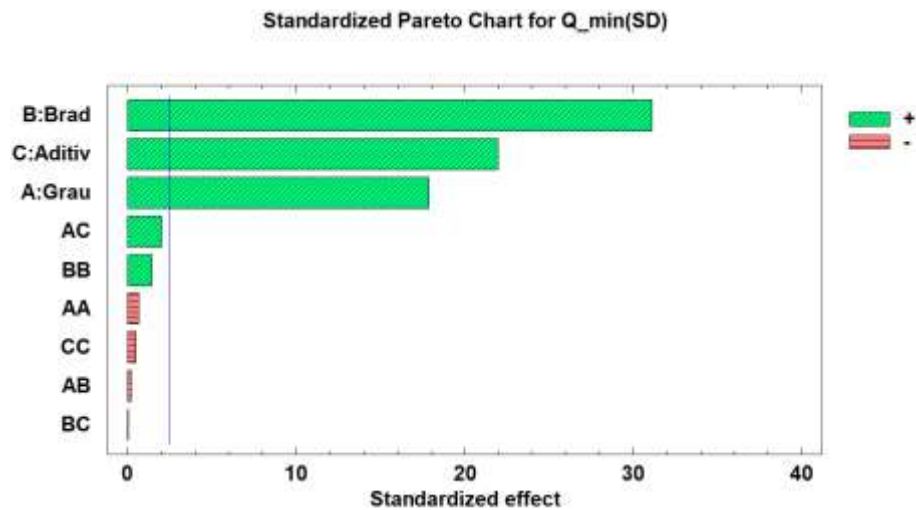


Figura 4.15 Efectele standardizate ale factorilor asupra puterii calorifice inferioare

Impunând condiția Grâu + Brad + Aditiv = 100(%) și ținând seama că valorile pentru procentajul de grâu variază între 38% și 42%, iar aditivul – porumb boabe – se adaugă într-un procentaj de maxim 5% se obține diagrama din Figura 4.16.

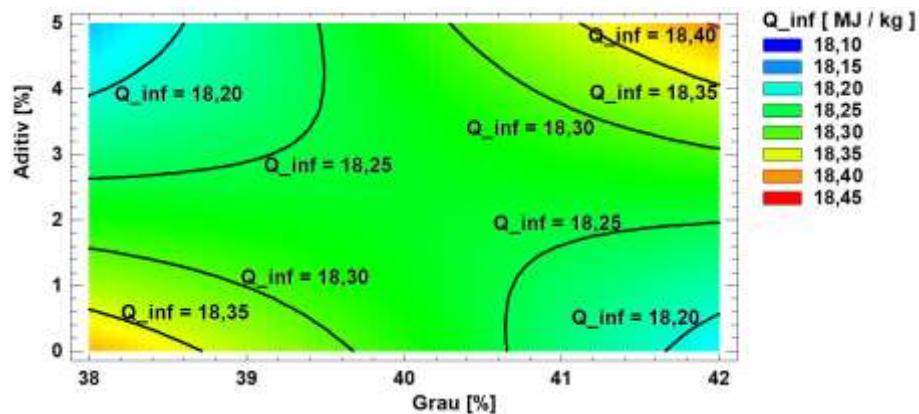


Figura 4.16 Curbe de nivel pentru  $Q_{inf}$

Pe baza formulei deduse pentru  $Q$  se poate calcula un punct de extrem local al funcției  $Q$  în intervalul  $[38,42] \times [58,62] \times [0,5]$ . Se obține astfel o valoare minimă pentru  $Q$  de 18,262 MJ/kg pentru rețeta Grâu:Brad:Aditiv=40,068:57,901:2,031.

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA  
ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBȚINUTE

Valoarea maximă pentru  $Q$  în aceste condiții este de 18,404 MJ/kg, corespunzătoare rețetei Grâu:Brad:Aditiv=42:53:5.

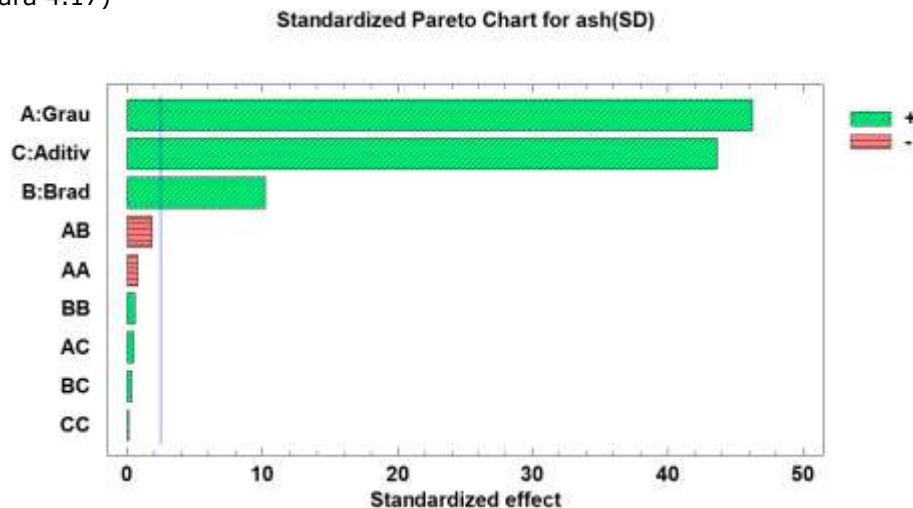
Variația puterii calorifice pentru 3 nivele ale aditivului este prezentată în Tabelul 4.13.

**Tabelul 4.13 Valori ale puterii calorifice și rețetele corespunzătoare**

Nivel aditiv [%]	Q [MJ/kg]	
	Valoare minimă (Grâu:Brad:Aditiv)	Valoare maximă (Grâu:Brad:Aditiv)
0	18,183 42:58:0	18,387 38:62:0
2,5	18,255 38:59,5:2,5	18,272 42:55,5:2,5
5	18,165 38:57:5	18,404 42:53:5

### B. Analiza influenței compoziției asupra cenușii reziduale

În urma analizei efectelor standardizate ale factorilor asupra cantității de cenușă reziduală (ash), a rezultat că aceasta este influențată direct și semnificativ, în ordine descrescătoare, de cantitatea de grâu, de aditiv și de brad folosită în rețetă. (Figura 4.17)



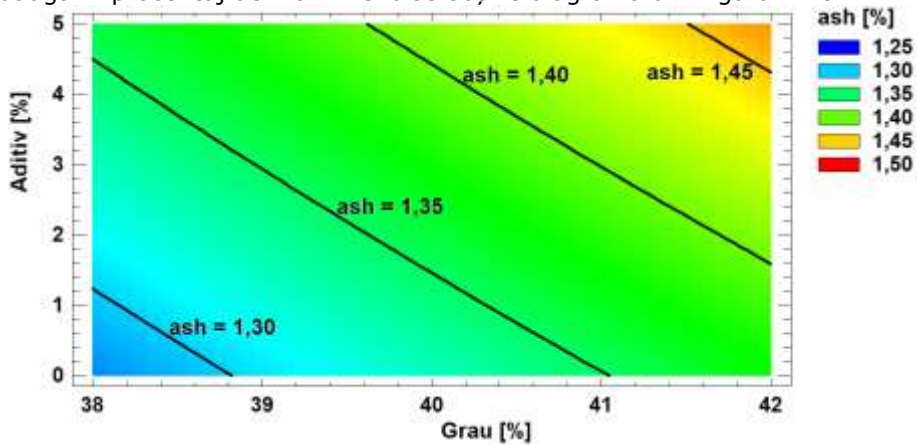
**Figura 4.17 Efectele standardizate ale factorilor asupra cenușii reziduale**

$$\begin{aligned} \text{ash} = & -1,06519 + 0,0841254 \cdot \text{Grâu} + 0,00236695 \cdot \text{Brad} + 0,0118055 \cdot \text{Aditiv} - \\ & - 0,000426724 \cdot \text{Grâu}^2 - 0,000395833 \cdot \text{Grâu} \cdot \text{Brad} + 0,000125 \cdot \text{Grâu} \cdot \text{Aditiv} + \\ & + 0,000143678 \cdot \text{Brad}^2 + 0,00005 \cdot \text{Brad} \cdot \text{Aditiv} + 0,0000468966 \cdot \text{Aditiv}^2 \end{aligned} \quad (4.13)$$

Studiul influenței aditivului asupra calității peleților obținuți dintr-o mixtură de 2 tipuri de biomasă

Pentru această ecuație valoarea coeficientului de corelație este  $r^2 = 99,8557\%$ , cea ce semnifică faptul că explică 99,85% din variabilitatea procentului de cenușă reziduală în funcție de factorii experimentului. Abaterea standard a estimării este de 0,00363075 iar eroarea medie absolută este de 0,00194224.

Impunând condiția Grâu + Brad + Aditiv = 100(%) și ținând seama că valorile pentru procentajul de grâu variază între 38% și 42%, iar aditivul – porumb boabe – se adaugă în procentaj de maxim 5% se obține diagrama din Figura 4.18.



**Figura 4.18** Curbe de nivel pentru cenușa reziduală

Pe baza formulei deduse pentru cenușa reziduală se poate calcula un punct de extrem local al funcției *ash* în intervalul  $[38,42] \times [58,62] \times [0,5]$ . Se obține astfel o valoare minimă pentru cenușa reziduală de 1,281 % pentru rețeta Grâu:Brad:Aditiv=38:62:0. Valoarea maximă pentru cenușa reziduală în aceste condiții este de 1,463 %, corespunzătoare rețetei Grâu:Brad:Aditiv=42:53:5.

Variația procentajului de cenușă reziduală pentru 3 nivele ale aditivului este prezentată în Tabelul 4.14.

**Tabelul 4.14** Valori ale cenușii reziduale și rețetele corespunzătoare

Nivel aditiv [%]	Cenușa reziduală [% masic]	
	Valoare minimă (Grâu:Brad:Aditiv)	Valoare maximă (Grâu:Brad:Aditiv)
0	1,281 38:62:0	1,371 42:58:0
2,5	1,319 38:59,5:2,5	1,416 42:55,5:2,5
5	1,358 38:57:5	1,463 42:53:5

**C. Analiza influenței compoziției asupra calității fizice a peleților (lungime, diametru, densitate de vrac, densitatea particulelor)**

Au fost calculate efectele diversilor factori sau combinații de factori asupra proprietăților intrinsece ale peleților (lungime, diametru, densitate de vrac, densitatea

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA  
ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBTINUTE

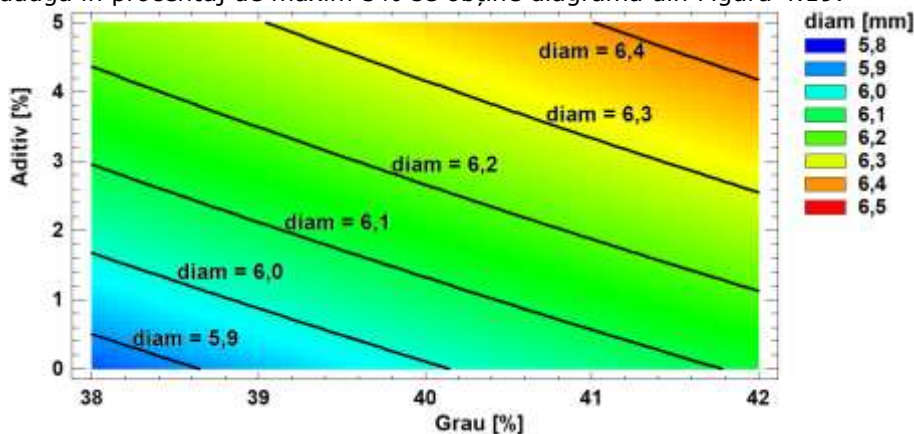
particulelor). Pentru toate aceste calcule, valoarea pragului de semnificație a fost considerată  $\alpha = 0,05$ .

Pentru diametrul mediu al peleților se obține următoarea ecuație de regresie:

$$\begin{aligned} \text{diam} = & 77,8767 - 1,77076 \cdot \text{Brad} - 1,18831 \cdot \text{Grâu} - 1,51822 \cdot \text{Aditiv} + \\ & + 0,00997241 \cdot \text{Brad}^2 + 0,0162083 \cdot \text{Brad} \cdot \text{Grâu} + 0,01937 \cdot \text{Brad} \cdot \text{Aditiv} + \\ & + 0,00443218 \cdot \text{Grâu}^2 + 0,0129133 \cdot \text{Grâu} \cdot \text{Aditiv} + 0,00652634 \cdot \text{Aditiv}^2 \end{aligned} \quad (4.14)$$

Această ecuație are  $r^2 = 0,842534$ , deci explică doar 84% din variabilitatea diametrului în funcție de factorii considerați.

Impunând condiția  $\text{Grâu} + \text{Brad} + \text{Aditiv} = 100(\%)$  și ținând seama că valorile pentru procentajul de grâu variază între 38% și 42%, iar aditivul – porumb boabe – se adaugă în procentaj de maxim 5% se obține diagrama din Figura 4.19.



**Figura 4.19 Curbe de nivel pentru diametrul mediu**

Pe baza formulei deduse pentru diametrul mediu se poate calcula un punct de extrem local al funcției  $\text{diam}$  în intervalul  $[38,42] \times [58,62] \times [0,5]$ . Se obține astfel o valoare minimă pentru diametrul mediu de 5,854 mm pentru rețeta Grâu:Brad:Aditiv=38:62:0. Valoarea maximă pentru diametrul mediu în aceste condiții este de 6,444 mm, corespunzătoare rețetei Grâu:Brad:Aditiv=42:53:5.

Variația diametrului mediu pentru 3 nivele ale aditivului este prezentată în Tabelul 4.15.

**Tabelul 4.15 Valori ale diametrului mediu și rețetele corespunzătoare**

Nivel aditiv [%]	Diametrul mediu [mm]	
	Valoare minimă (Grâu:Brad:Aditiv)	Valoare maximă (Grâu:Brad:Aditiv)
0	5,854 38:62:0	6,112 42:58:0
2,5	6,066 38:59,5:2,5	6,296 42:55,5:2,5
5	6,241 38:57:5	6,444 42:53:5

Studiul influenței aditivului asupra calității peleților obținuți dintr-o mixtură de 2 tipuri de biomasă

Similar, se obține o ecuație de regresie care estimează lungimea medie a peleților:

$$\begin{aligned} \text{lung} = & 417,152 - 9,40941 \cdot \text{Brad} - 6,58311 \cdot \text{Grâu} - 8,02349 \cdot \text{Aditiv} + \\ & + 0,0536897 \cdot \text{Brad}^2 + 0,0864583 \cdot \text{Brad} \cdot \text{Grâu} + 0,103775 \cdot \text{Brad} \cdot \text{Aditiv} + \\ & + 0,0238621 \cdot \text{Grâu}^2 + 0,0691833 \cdot \text{Grâu} \cdot \text{Aditiv} + 0,0343134 \cdot \text{Aditiv}^2 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Această ecuație de regresie are coeficientul de corelație  $r^2 = 0,877703$ , deci explică doar 87,77% din variația lungimii peleților în funcție de rețetă. Impunând condiția  $\text{Grâu} + \text{Brad} + \text{Aditiv} = 100(\%)$  și ținând seama că valorile pentru procentajul de grâu variază între 38% și 42%, iar aditivul – porumb boabe – se adaugă într-un procentaj de maxim 5% se obține următoarea diagramă:

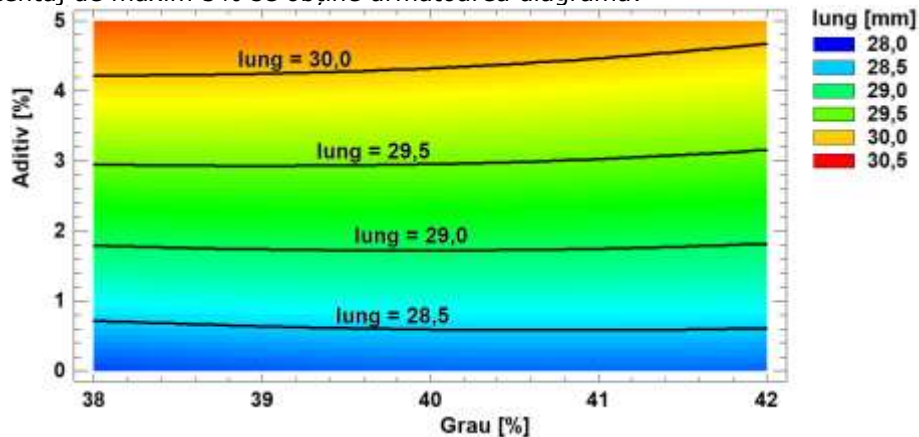


Figura 4.20 Curbe de nivel pentru lungimea medie

Pe baza formulei deduse pentru lungimea medie, se poate calcula un punct de extrem local al funcției  $lung$  în intervalul  $[38,42] \times [58,62] \times [0,5]$ . Se obține astfel o valoare minimă pentru lungimea medie de 28,146 mm pentru rețeta  $\text{Grâu}:\text{Brad}:\text{Aditiv}=38:62:0$ . Valoarea maximă pentru lungimea medie în aceste condiții este de 30,282 mm, corespunzătoare rețetei  $\text{Grâu}:\text{Brad}:\text{Aditiv}=38:57:5$ .

Variația lungimii medii pentru 3 nivele ale aditivului este prezentată în Tabelul 4.16.

Tabelul 4.16 Valori ale lungimii medii și rețetele corespunzătoare

Nivel aditiv [%]	Lungimea medie [mm]	
	Valoare minimă (Grâu:Brad:Aditiv)	Valoare maximă (Grâu:Brad:Aditiv)
0	28,146 38:62:0	28,233 42:58:0
2,5	29,312 38:59,5:2,5	29,262 42:55,5:2,5
5	30,095 42:53:5	30,282 38:57:5

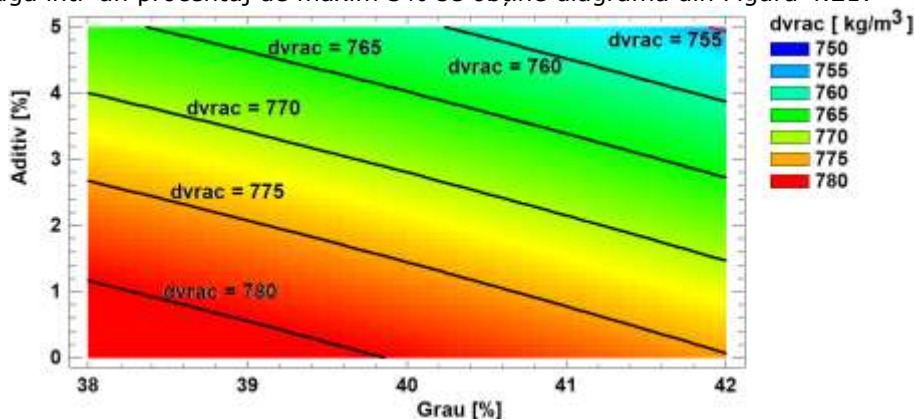
**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBȚINUTE**

Pentru raportul lungime/diametru, valori extreme pentru parametrii din intervalul  $[38,42] \times [58,62] \times [0,5]$  se obțin pentru rețeta Grâu:Brad:Aditiv=42:58:0 (4,619, valoare minimă), respectiv Grâu:Brad:Aditiv=38:57:5 (4,852, valoare maximă).

Pentru densitatea de vrac s-a obținut următoarea ecuație de regresie:

$$\begin{aligned} dvrac = & 4091,12 - 86,1331 \cdot Brad - 61,1404 \cdot Grâu - 80,5717 \cdot Aditiv + \\ & + 0,522414 \cdot Brad^2 + 0,854167 \cdot Brad \cdot Grâu + 1,02 \cdot Brad \cdot Aditiv + \\ & + 0,232184 \cdot Grâu^2 + 0,676667 \cdot Grâu \cdot Aditiv + 0,342345 \cdot Aditiv^2 \end{aligned} \quad (4.16)$$

care explică 93,9065% din variația acesteia în funcție de variația factorilor modelului. Impunând condiția Grâu + Brad + Aditiv = 100(%) și ținând seama că valorile pentru procentajul de grâu variază între 38% și 42%, iar aditivul – porumb boabe – se adaugă într-un procentaj de maxim 5% se obține diagrama din Figura 4.21:



**Figura 4.21 Curbe de nivel pentru densitatea de vrac**

Pe baza formulei deduse pentru densitatea de vrac se poate calcula un punct de extrem local al funcției *dvrac* în intervalul  $[38,42] \times [58,62] \times [0,5]$ . Se obține astfel o valoare minimă pentru densitatea de vrac de 754,68 kg/m<sup>3</sup> pentru rețeta Grâu:Brad:Aditiv=42:53:5. Valoarea maximă pentru densitatea de vrac în aceste condiții este de 783,38 kg/m<sup>3</sup>, corespunzătoare rețetei Grâu:Brad:Aditiv=38:62:0.

Variația densității de vrac pentru 3 nivele ale aditivului este prezentată în Tabelul 4.17.

**Tabelul 4.17 Valori ale densității de vrac și rețetele corespunzătoare**

Nivel aditiv [%]	Densitate de vrac [kg/m <sup>3</sup> ]	
	Valoare minimă (Grâu:Brad:Aditiv)	Valoare maximă (Grâu:Brad:Aditiv)
0	775,22 42:58:0	783,38 38:62:0
2,5	765,92 42:55,5:2,5	775,60 38:59,5:2,5
5	754,68 42:53:5	765,89 38:57:5

Studiul influenței aditivului asupra calității peleiților obținuți dintr-o mixtură de 2 tipuri de biomasă

Pentru densitatea particulelor s-a obținut ecuația:

$$d_{part} = 5199,23 - 109,41 \cdot \text{Brad} - 77,6735 \cdot \text{Grâu} - 102,339 \cdot \text{Aditiv} + 0,663362 \cdot \text{Brad}^2 + 1,08542 \cdot \text{Brad} \cdot \text{Grâu} + 1,2925 \cdot \text{Brad} \cdot \text{Aditiv} + 0,294828 \cdot \text{Grâu}^2 + 0,861667 \cdot \text{Grâu} \cdot \text{Aditiv} + 0,432552 \cdot \text{Aditiv}^2 \quad (4.17)$$

care explică 93,9141% din variația acesteia în funcție de variația factorilor modelului. Impunând condiția  $\text{Grâu} + \text{Brad} + \text{Aditiv} = 100(\%)$  și ținând seama că valorile pentru procentajul de grâu variază între 38% și 42%, iar aditivul – porumb boabe – se adaugă într-un procentaj de maxim 5% se obține diagrama din Figura 4.22:

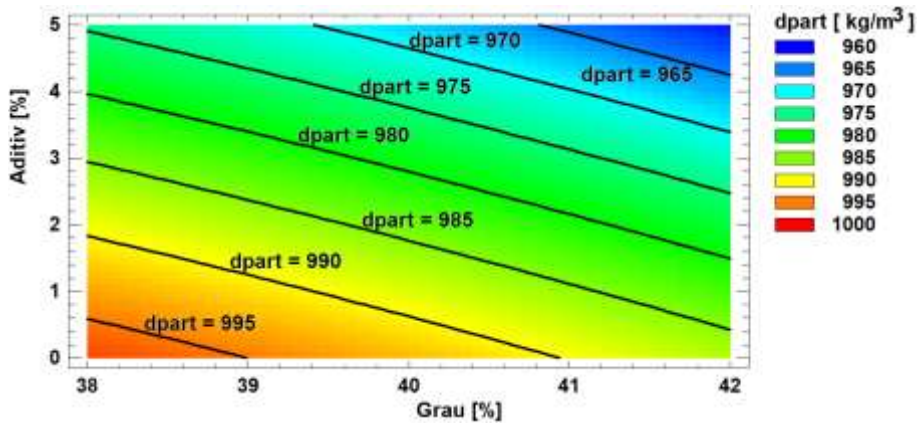


Figura 4.22 Curbe de nivel pentru densitatea particulelor

Pe baza formulei deduse pentru densitatea particulelor se poate calcula un punct de extrem local al funcției  $d_{part}$  în intervalul  $[38,42] \times [58,62] \times [0,5]$ . Se obține astfel o valoare minimă pentru densitatea particulelor de  $960,40 \text{ kg/m}^3$  pentru rețeta  $\text{Grâu}:\text{Brad}:\text{Aditiv}=42:53:5$ . Valoarea maximă pentru densitatea particulelor în aceste condiții este de  $997,16 \text{ kg/m}^3$ , corespunzătoare rețetei  $\text{Grâu}:\text{Brad}:\text{Aditiv}=38:62:0$ .

Variația densității particulelor pentru 3 nivele ale aditivului este prezentată în Tabelul 4.18.

Tabelul 4.18 Valori ale densității particulelor și rețetele corespunzătoare

Nivel aditiv [%]	Densitatea particulelor [ $\text{kg/m}^3$ ]	
	Valoare minimă (Grâu:Brad:Aditiv)	Valoare maximă (Grâu:Brad:Aditiv)
0	986,87 42:58:0	997,16 38:62:0
2,5	974,86 42:55,5:2,5	987,04 38:59,5:2,5
5	960,40 42:53:5	974,48 38:57:5

#### 4.4 Direcții de cercetare și activități conexe

În afară de peleți și brichete pentru încălzire, firma își poate diversifica activitatea cu investiții minime prin:

- includerea în producție a furajelor pentru animale
- includerea în producție a îngrășămintelor provenite din nămoluri din stațiile de epurare
- valorificarea scoarței de salcie în scopuri fitoterapeutice

##### 4.4.1 Posibilitatea producerii de furaje pentru animale

Similar cu producerea de peleți pentru încălzire, se pot produce furaje granulate pentru animale.

Ca materii prime pentru furaje se pot folosi cereale (ca atare, expandate, sub formă de fulgi sau fibre, sau pleavă), pulberi fine de cereale sau turtă de cereale, semințe și fructe oleaginoase și derivatele lor, semințe de leguminoase și derivate, alte semințe sau fructe, alge și produse derivate, melasă, frunze uscate, lignoceluloză, scoarță curățată de arbori și arbuști, produse lactate și derivate, subproduse de origine animală (făină de oase, grăsimi, subproduse apicole, gelatină, produse din ouă etc.), pești, crustacee și produse derivate, minerale și produse derivate, drojdii, aditivi etc. Toate aceste ingrediente sunt listate în Regulamentul UE nr. 68/2013 privind catalogul cu materii prime pentru furaje [20].

Pentru toate aceste tipuri de furaje sunt de interes, după caz [20]: conținuturile de proteină brută, amidon, fibră brută, umiditate, cenușă brută, cenușă insolubilă în HCl, substanță uscată, grăsimi brute, oligoelemente (calciu, magneziu, sulf, fosfor, clor, azot, sodiu, potasiu), activitate ureazică, zaharoză, zaharuri totale, lactoză, glicerol, aditivi etc.

Procesul tehnologic de producție a furajelor granulate (peletizate) este descris pe larg în [18].

Furajele pentru animale trebuie să satisfacă anumite cerințe compoziționale, în funcție de destinația lor. În funcție de vârsta și greutatea animalelor pentru care se folosesc, există cerințe legate de rația zilnică, adică de cantitatea de energie, proteine, aminoacizi, vitamine și minerale necesare pentru o creștere optimă, la fel ca și aditivii folosiți (antibiotice, antioxidanți etc.) [33].

Conform [19], se pot defini mai multe tipuri de furaje. Furajele de tip combinat sunt furaje compuse din cel puțin două materii prime, cu sau fără aditiv. Furajele de tip complet sunt acele furaje combinate care sunt suficiente pentru rația zilnică. Furajele de tip complementar sunt furaje combinate care nu sunt suficiente pentru rația zilnică și trebuie folosite împreună cu alte furaje. Furajele minerale au o cenușă brută de cel puțin 40%.

Similar cu subiectul tratat în această teză, se poate construi o bază de date cu caracteristicile biomasei agricole și lemnoase din zonă, de interes furajer. Problema de maximizare a puterii calorifice se va transforma într-o problemă de determinare a concentrației optime a amestecurilor dintr-o mixtură de două sau mai multe



componente astfel încât, de exemplu, proteina amestecului să se încadreze între o valoare minimă și una maximă – valori corespunzătoare tipului de furaj dorit. Problema de determinare a unei rețete optime de peleți folosind materialele avute la dispoziție se va transforma într-o problemă de determinare a unui furaj granulat universal.

#### **4.4.2 Posibilitatea de producere a îngrășămintelor agricole din nămoluri de epurare**

O altă direcție de viitor poate fi legată de valorificare nămolurilor din stațiile de epurare în scopul obținerii de îngrășăminte. Această utilizare este făcută posibilă de similitudinea compoziției chimice a nămolurilor din stațiile de epurare cu gunoii de grajd.

Conform legislației în vigoare din România, există mai multe tipuri de nămoluri [98]:

- nămoluri de la stații de epurare ale apelor uzate din localități sau alte stații similare,
- nămoluri de la fose septice sau alte instalații similare,
- nămoluri de la alte tipuri de stații de epurare (ca de exemplu stații de epurare industriale),
- nămoluri tratate (biologic, chimic sau termic)

Ordinul 344/2004 [91] stabilește normele pentru valorificarea potențialului agrochimic al nămolurilor din stațiile de epurare: valori și concentrații pentru metale grele, cazurile în care folosirea nămolurilor este interzisă, obligativitatea tratării prealabile a nămolurilor astfel încât acumularea de metale grele în sol să nu depășească anumite limite și să nu compromită calitatea solurilor și a apelor de suprafață și subterane etc.

O dată tratate (prin deshidratare, uscare, tratare cu var, compostare, fermentare), nămolurile pot fi depozitate, folosite pentru producerea de energie sau utilizate în agricultură.

Deși, la nivel mondial, practica folosirii de nămoluri din stațiile de epurare în agricultură este una larg întâlnită [29], la nivelul României aceasta este destul de puțin folosită, la nivelul anului 2011 doar 2 stații de epurare din 114 valorificând nămolul în agricultură, majoritatea fiind depozitat sau valorificat în scopul de a produce energie prin cogenerare [96].

Similar cu subiectul tratat în această teză, se poate construi o bază de date cu tipurile de nămol și limitele de substanțe nutritive pentru sol din ele. Se poate construi o rețea neuronală artificială care să indice oportunitatea folosirii de îngrășăminte din nămoluri și cantitatea necesară, în funcție de proveniența nămolului și de proprietățile terenului pe care acesta urmează a fi folosit.

#### 4.4.3 Posibilitatea de valorificare a scoarței de salcie (*Salicis cortex sp.*) în scopuri fitoterapeutice

Una din materiile prime folosite este salcia energetică (*Salix spp.*). Într-adevăr, la nivelul lui 2014, România se situa pe locul 2 mondial, după Argentina, la producția de salcie energetică, cu 24000 ha [37], iar recolta medie la hectar este de 7 tone anual (urcând și spre 10-14 tone/ha, la speciile îmbunătățite).

Coaja de salcie, ca orice coajă de material lemnos, influențează proprietățile lemnului și deci și proprietățile peleților sau a brichetelor care se pot obține din acesta. În plus, datorită siliciului care se depune pe pereții cazanului, arderea salciei presupune folosirea de sobe speciale și/sau mentenanță suplimentară.

În cazul lemnului și al scoarței de *Salix alba* au fost obținute următoarele date [72]:

**Tabelul 4.19 Caracteristici ale lemnului și scoarței de *Salix alba* ([72])**

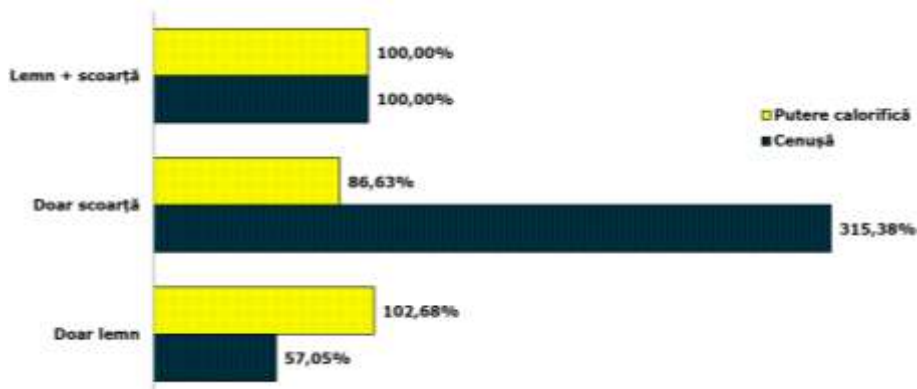
Caracteristică	[um]	Vârstă		
		1 an	2 ani	14 ani
Cantitatea de scoarță	[% masic]	26,7	16,7	15,2
Umiditatea lemnului	[% masic]	8,74	12,18	8,75
Conținutul de cenușă în lemn	[% masic]	0,67	0,89	0,52
Umiditatea scoarței	[% masic]	9,69	9,23	11,35
Conținutul de cenușă în scoarță	[% masic]	4,77	4,92	5,94
Putere calorifică superioară a lemnului	[KJ/kg]	-	23177	-
Putere calorifică superioară a scoarței	[KJ/kg]	-	19554	-
Putere calorifică superioară a totală (lemn+scoarță)	[KJ/kg]	-	22572	-

În acest caz, se poate determina o îmbunătățire, atât a puterii calorifice, cât și a cantității de cenușă rămasă în urma arderii, atunci când se prelucrează lemnul de salcie fără coajă. Astfel, raportat la 100 kg de *Salix alba* recoltată la 2 ani, 16,7 kg scoarță produc 0,82164 kg cenușă, în timp ce 83,3 kg lemn curat produc 0,74137 kg cenușă.

Se poate observa din Figura 4.23 faptul că puterea calorifică a scoarței este 86,63% din puterea calorifică lemnului nedecojit, iar puterea calorifică a lemnului fără scoarță este 102,68% din puterea calorifică a lemnului nedecojit. Dacă puterea calorifică a lemnului decojit nu este semnificativ mai mare decât puterea calorifică a lemnului nedecojit, nu același lucru este valabil pentru cenușa reziduală. În timp ce doar scoarța produce de peste 3 ori mai multă cenușă decât lemnul nedecojit, cantitatea de cenușă produsă de lemnul decojit este aproape jumătate din cantitatea de cenușă produsă de lemnul nedecojit. Așadar, o soluție de îmbunătățire a calității peleților presupune decojirea lemnului de salcie. Această soluție însă produce un

deșeu industrial: scoarța. Pentru o dezvoltare sustenabilă, această scoarță ar trebui valorificată într-un fel sau în altul.

Scoarța de salcie este utilizată ca atare sau ca extract încă din antichitate în scopuri analgezice. Substanța activă este salicina, conținută în diverse procente. Pentru a putea fi folosită, coaja de salcie uscată trebuie să conțină minim 1,5% derivați salicilici, exprimați ca și conținut de salicină [44].



**Figura 4.23** Comparație între puterea calorifică, respectiv cenușă exclusiv în lemn și scoarță de salcie, în funcție de valorile globale (lemn+scoarță)

Chiar dacă în mod tradițional salicina se extrage din *Salix alba*, în mod curent și pentru scopuri comerciale se folosește și scoarța de *Salix nigra*, *Salix daphnoides*, *Salix purpurea*, *Salix fragilis*, dar și frunze de *Salix repens* și *Salix rosmarinifolia* [60]. Conform raportului realizat de Highfield și Kemper [60], o doză de aspirină de 500mg este echivalentul a 794 mg salicină, care se poate extrage din 80-150 g scoarță, însă doza uzuală de scoarță de salcie este de 1-3 g la o cană de apă.

Similar cu subiectul tratat în această teză, se poate realiza o bază de date cu tipurile de salcie prezente în zonă și cantitatea de scoarță și salicină aferente fiecăreia, plus analiza elementară (C, H, N, O, S, Cl), cenușa și puterea calorifică în fiecare caz (lemn sau scoarță). Cu aceste date pot fi determinate strategiile și rețetele care să maximizeze fie cantitatea de salicină extrasă, fie puterea calorifică rezultată în urma extragerii scoarței. Astfel, se va ajunge la rețete îmbunătățite în condițiile în care se poate folosi maxim posibil din salcie.

## 4.5 Studiul calitativ al extractului de scoarță de salcie

În acest studiu preliminar, este definită mai întâi o strategie a experimentului, apoi datele obținute au fost evaluate.

### 4.5.1 Strategia experimentului

Salcia energetică folosită în cadrul acestui experiment a fost furnizată de Rebina SA din Făget. Este vorba de bețe de salcie recoltate la vârsta de 2 ani.

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PELEȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE. PRELUCRAREA  
ȘI INTERPRETAREA DATELOR OBȚINUTE

---

Salcia energetică are un ciclu de rotație scurt, creștere rapidă și o durată de viață de minim 25 ani.

Pentru aceasta au fost efectuate calcule similare. Astfel, pentru o producție de 10 tone/ha de salcie energetică, cu o cantitate de scoarță de 18,6%, și 0,82% salicină în scoarță, se pot obține 15,252 kg salicină. Această cantitate este comparabilă cu cea obținută prin prelucrarea de *Salix alba*, în mare parte deoarece producția la hectar de salcie energetică este mai mare.

Pentru a putea valorifica acest potențial, o firmă trebuie să urmeze procedurile din Ordinul comun al MADR și MS 244/2005 [10].

#### 4.5.2 Evaluarea datelor obținute

O sinteză a cantității de salicină obținute din scoarța provenită de la diverse tipuri de salcie a fost realizată în 2008, în Lituania [142]. Rezultatele acestei cercetări au arătat că salicina are o concentrație maximă în plantele recoltate toamna, în al doilea an de vegetație. Tot rezultatele acestei cercetări, efectuate pe 32 soiuri de salcie, arată care dintre aceste soiuri au scoarță care poate fi folosită imediat în scopuri fitoterapeutice, și care dintre aceste soiuri au scoarță care nu poate fi folosită imediat, dar poate fi folosită pentru extragerea de salicină. Pentru aceste soiuri, recoltarea scoarței s-a făcut în toamna celui de-al doilea an de vegetație.

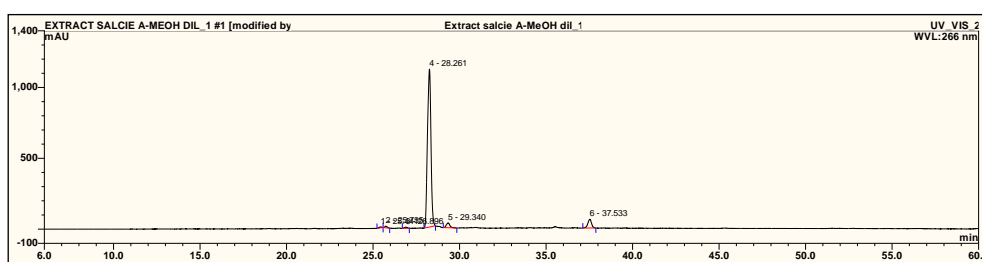
**Tabelul 4.20 Cantitatea de salicină pentru diverse specii de salcie ([142])**

Nr. Crt.	Denumire științifică	Cantitate de salicină (%)
1	<i>Salix purpurea</i> clona 04132	10,05450
2	<i>Salix purpurea</i> x <i>Salix triandra</i> ssp. <i>amygdalina</i> clona 04131	8,35459
3	<i>Salix purpurea</i> x <i>Salix viminalis</i> clona 04141	7,26769
4	<i>Salix purpurea</i> "Lutea" clona 9731	6,53091
5	<i>Salix purpurea</i> "Lutea" clona 9727	5,95857
6	<i>Salix purpurea</i> x <i>Salix viminalis</i> clona 9714	4,61521
7	<i>Salix caspica</i>	3,87305
8	<i>Salix purpurea</i> "Rubra" clona 04130	2,58514
9	<i>Salix daphnoides</i> f. <i>latifolia</i> clona 9904	2,56015
10	<i>Salix fragilis</i> x <i>Salix alba</i>	2,06709
11	<i>Salix triandra</i> x <i>Salix purpurea</i> clona 04134	1,66764
12	<i>Salix tenuifolia</i> ( <i>rubra</i> ) clona 04133	1,58693
13	<i>Salix alba</i> forma dreapta	1,37310
14	<i>Salix alba</i> ssp. <i>alba</i> clona 04115	1,21680
15	<i>Salix schwerinii</i> "Tora" clona 04137	1,10900

### Studiul calitativ al extractului de scoarță de salcie

16	Salix viminalis clona 9817	0,83770
17	Salix schwerinii x Salix dasyclados	0,65067
18	Salix dasyclados "Gudrun" clona 04135	0,54189
19	Salix desylados clona 099	0,49788
20	Salix dasyclados clona 04124	0,36989
21	Salix viminalis clona 04116	0,31419
22	Salix dasyclados x S. viminalis clona 04120	0,26436
23	Salix mollissima	0,25584
24	Salix viminalis "Americana"	0,19693
25	Salix dasyclados clona 04122	0,16962
26	Salix dasyclados clona 9977	0,14988
27	Salix viminalis clona 9822	0,13351
28	Salix viminalis "Americana" clona 9976	0,10439
29	Salix mollissima clona 9868	0,07651
30	Salix viminalis "Tordis" clona 04136	0,05892
31	Salix viminalis clona 0109	0,05716
32	Salix viminalis "Americana" forma neprelucrata	0,03817

Un extract în metanol al cojii de salcie furnizată de partenerii de la Rebina SA a fost analizat în laboratoarele INCCEM, iar rezultatele analizei cromatografice arată, calitativ, prezența semnificativă a unui compus salicilic în scoarța analizată (Figura 4.24). Analiza cantitativă a compușilor salicilici și metode de izolare a lor pot face obiectul altei direcții de cercetare.



**Figura 4.24 Analiza cromatografică a extractului din scoarță de salcie furnizat de Rebina SA**

Considerând datele de mai sus, se poate estima îmbunătățirea calității peletilor obținuți din salcie prin separarea prealabilă a scoarței. O dată cu îmbunătățirea puterii calorifice și cu scăderea cenușei reziduale, scoarța se poate valorifica în mod sustenabil.

Astfel, pentru *Salix alba*, după separarea scoarței se obține o creștere a puterii calorifice superioare cu 2,68%. Pe de altă parte, la o producție de salcie de 7 tone/ha, se obțin 1169 kg scoarță, care conțin 16,0153 kg salicină (la un procentaj de 1,37% salicină în scoarță).

#### 4.6 Concluzii parțiale

Pe lângă îmbunătățirea liniei de producție, detaliată în capitolul anterior, a fost nevoie și de estimarea proprietăților peleților realizați și de identificarea de rețete care să corespundă standardelor internaționale.

Toate aceste cercetări s-au realizat cu presa de peleți de capacitate mică de la firma producătoare de peleți de la Cenei.

S-a realizat o metodologie a cercetărilor, pe baza căreia a fost construit un plan experimental pentru analiza peleților. S-au realizat fizic probe de peleți, care au fost ulterior analizate în cadrul laboratoarelor de la Universitatea Politehnica.

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul experimentelor, au fost concepute o serie de formule care previzionează calitatea peleților (în termeni de putere calorifică și cenușă reziduală) în funcție de materia primă care intră în compoziția acestora.

A mai fost elaborată o serie de formule care să previzioneze calitatea fizică a peleților dintr-o mixtură de două componente (rumeguș de brad și grâu neconform) în funcție de cantitatea de aditiv folosită în procesul de fabricare.

În fine, a fost realizat un studiu preliminar al posibilităților de diversificare a producției și o estimare preliminară a cantității de salicină care se poate obține prin prelucrarea separată a scoarței de salcie.

Rămâne deschisă problema îmbunătățirii rezultatelor prin determinarea de rețete optime – care să maximizeze puterea calorifică, în timp ce cantitatea de cenușă reziduală, dar și noxele emise se încadrează în standardele internaționale.

Această problemă face obiectul capitolului următor.

## 5 PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE FOLOSIND TEHNICI DE CERCETĂRI OPERAȚIONALE

**Obiectivele acestui capitol** sunt:

- alcătuirea unei baze de date care să conțină informații despre materia primă existentă în regiunea climatică specifică vestului României (compoziție elementară, putere calorică, cenușa reziduală, preț)
- sintetizarea standardelor actuale pentru calitatea peleților pentru încălzire
- stabilirea unui model de optimizare liniară pentru rețetele de peleți
- stabilirea unor proprietăți matematice ale modelului de optimizare liniară în cazul mixturilor de două componente, cu sau fără aditiv
- realizarea unei soluții software preliminare care să determine un raport de masă optimal în cazul mixturilor de două componente fără aditiv
- realizarea unei soluții software care să implementeze modelul de optimizare liniară pentru baza de date construită și mixturi de două componente, cu sau fără aditiv
- stabilirea unor proprietăți matematice ale modelului de optimizare liniară în cazul mixturilor de  $n \geq 2$  componente, cu sau fără aditiv
- realizarea unei soluții software care să implementeze modelul de optimizare liniară pentru baza de date construită și mixturi de  $n \geq 2$  componente, cu sau fără aditiv

Pentru realizarea bazei de date s-au folosit rezultatele obținute prin prelucrarea datelor experimentale, au fost consultat standardele existente, s-a efectuat o cercetare a pieței (pentru date despre prețurile materiei prime), iar acolo unde nu a existat posibilitatea de a efectua cercetări au fost folosite date din literatura de specialitate. Pentru realizarea soluției software s-a folosit într-o primă fază programare VBA în Excel. Apoi baza de date cu materii prime a fost integrată într-un program realizat în C, care permite consultarea standardelor, stabilirea unei rețete pe baza opțiunilor utilizatorului (ca standard, număr de componente, folosirea aditivilor etc.) sau adăugarea unor noi materiale în baza de date.

S-a ales soluția realizării unei aplicații în C pentru că aceasta este relativ ușor de întreținut, dezvoltat și depanat. Mai mult decât atât, o dată compilată, pentru folosirea aplicației nu trebuie achiziționate softuri speciale.

**Rezultatele obținute sunt:**

- o bază de date cu proprietățile diverselor materii prime disponibile pentru peletizare
- o problemă de optimizare (în 2 sau mai multe dimensiuni),
- condiții necesare din punct de vedere matematic pentru existența soluției problemei de optimizare,
- algoritmi de determinare a soluției problemei de optimizare,
- soluție software de determinare a rețetei optime în funcție de opțiunile utilizatorului.

## 5.1 Baze de date utilizate în procesul de decizie

Pentru realizarea unui proces de decizie cât mai eficient, este necesar să se realizeze următoarele baze de date: o bază de date cu standardele internaționale aplicabile în producția de biomasă și o bază de date cu caracteristici pentru principalele tipuri de biomasă care pot fi prelucrate pe linia tehnologică. Dacă baza de date conținând standardele internaționale nu poate fi modificată la nivel de utilizator, la baza de date conținând tipuri de biomasă un utilizator poate să adauge oricând informații relevante despre noi materiale care se folosesc la un moment dat.

### 5.1.1 Standarde internaționale aplicabile în producția de biomasă pentru combustibil

Eficiența unui combustibil este apreciată în funcție de compoziția acestuia, adică de masa organică și umiditatea caracteristice combustibilului, și de puterea calorifică și cenușa reziduală rezultate în urma arderii [89].

Standardele sunt preluate din ISO17225 și ENPlus și se referă la cerințele asupra originii biomasei, puterii calorifice inferioare, concentrației de cenușă, și concentrației de noxe (N, S, Cl) în gazele de ardere. Mai jos sunt redată cele mai importante caracteristici în contextul tezei actuale, pentru standardele în vigoare.

Tabelul 5.1 prezintă principalele standarde aplicabile în producția de peleți și brichete pentru uz casnic (non-industrial).

**Tabelul 5.1 Caracteristici standard pentru peleți și brichete din lemn pentru uz non-industrial**

Caracteristica	um	Enplus A1	Enplus A2	Enplus B
Putere calorifică inferioară (netă) minimă	MJ/kg	16,560	16,560	16,560
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 (ash)	% masic (baza uscată)	0,7	1,2	2

Principalele standarde pentru peleți și brichete folosite industrial sunt prezentate în Tabelul 5.2.



**Tabelul 5.2 Caracteristici standard 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>
Putere calorifică inferioară (netă) minimă	MJ/kg	16,500	16,500	16,500
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 (ash)	% masic (baza uscată)	1	1,5	3

Tabelul 5.3 conține principalele standarde care se aplică în producția de peleți și brichete din biomasă non-lemnă sau din blenduri de biomasă.

**Tabelul 5.3 Caracteristici standard pentru peleți și brichete din biomasă non-lemnă și blenduri de biomasă**

<b>Caracteristica</b>	<b>um</b>	<b>MBP A</b>	<b>MBP B</b>
Putere calorifică inferioară (netă) minimă	MJ/kg	14,500	14,500
Aditivi maxim	% masic (baza uscată)	5,000	5,000
Azot maxim (N)	% masic (baza uscată)	1,500	2,000
Sulf maxim (S)	% masic (baza uscată)	0,200	0,300
Clor maxim (Cl)	% masic (baza uscată)	0,100	0,300
Cenușa reziduală maximă (ash)	% masic (baza uscată)	6,000	10,000

### 5.1.2 Baza de date cuprinzând biomasă tipică zonei

Pentru implementarea rezultatelor de cercetări operaționale enunțate anterior, a fost construită o bază de date cu informații despre standardele UE pentru peleți, compoziția chimică a diverselor tipuri de biomasă și prețul materiei prime (în lei/kg).

Prețul materiei prime a fost calculat în lei și apoi convertit în euro, pe baza ratei de schimb de 1 EUR = 4,59 ROL. Prețul materiei prime se bazează pe prețurile

PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE FOLOSIND TEHNICI  
DE CERCETĂRI OPERAȚIONALE

---

listate de Romsilva pentru lemn [110], ANAF pentru cereale [2] și SNC Pitești pentru cărbune [125].

Acolo unde nu au putut fi determinate prin analiză chimică directă, compozițiile chimice elementare ale materiei prime au fost luate din literatura de specialitate ([51],[52],[57],[104]).

**Tabelul 5.4 Biomasă tipică zonei, puterea calorifică inferioară și cenușa rezultată în urma arderii**

Materie primă	Putere calorifică inferioară (netă)	Cenușa reziduală maximă
	[MJ/kg]	[% masic] (baza uscată)
Brad	19,19	0,41
Câneapă (tulpini)	17,00	4,80
Coajă (lemn de conifer)	19,20	3,80
Fag (cu coajă)	18,40	0,50
Fân din fânețe	17,40	5,70
Fân din parcuri	14,10	23,10
Floarea-soarelui (tulpini)	15,80	12,20
Grâu (boabe)	17,00	2,70
Grâu (paie)	17,20	5,70
Grâu (plantă întreagă)	17,10	4,10
Huilă	29,70	8,30
Lignit	20,60	5,10
Miscanthus	17,60	3,90
Molid (cu coajă)	18,80	0,60
Orz (paie)	17,50	4,80
Păiuș	16,40	8,50
Plop	18,50	1,80
Porumb (tulpini)	17,70	6,70
Raigras (iarba de secară)	16,50	8,80
Rapiță (boabe/turtă)	26,50	4,60
Rapiță (paie)	17,10	6,20
Salcâm	19,20	1,03
Salcie	18,40	2,00
Secară (boabe/turtă)	17,10	2,00

Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

Secară (paie)	17,40	4,80
Secară (plantă întreagă)	17,70	4,20
Soia (pleavă)	16,82	5,10
Triticale (boabe)	16,90	2,10
Triticale (paie)	17,10	5,90
Triticale (plantă întreagă)	17,00	4,40

La aceste tipuri de biomasă se adaugă deșeuri forestiere (frunze), deșeuri provenite din prelucrarea industrială a fructelor (sâmburi de cireșe, coji de nuci, coji de fasole, deșeuri viticole etc).

Desigur, pentru a determina puterea calorifică în funcție de compoziția elementară, se poate folosi formula lui Mendeleev [106] care dă puterea calorifică în MJ/kg în funcție de cantitatea procentuală de C, H, O, S din materialul comustibil:

$$Q = 0,339 \cdot C + 1,029 \cdot H + 0,109 \cdot S - 0,109 \cdot O \quad (5.1)$$

Pentru un rezultat mai precis, aplicabil la datele din baza de date, am determinat cu ajutorul Statgraphics o ecuație de regresie pentru puterea calorifică, prin care este calculată puterea calorifică (în MJ/kg) în funcție de cantitățile procentuale de C, H, N, O, S, Cl din materialul combustibil:

$$Q = 0,363504 \cdot C - 0,872841 \cdot Cl - 0,00671136 \cdot H + 0,316865 \cdot N + 0,0207733 \cdot O - 0,305485 \cdot S \quad (5.2)$$

Pentru această ecuație, precizia este de 99,6018%.

Diferența de semn dintre valorile coeficienților în cazul celor două formule provine din considerarea a mai multor tipuri de materiale și a mai multor variabile independente în determinarea ecuației (5.2). Dacă în formula lui Mendeleev se consideră că puterea calorifică este influențată în mod direct de cantitatea de carbon, hidrogen și sulf din materialul combustibil, ecuația (5.2) stabilește ca factori care influențează puterea calorifică în mod direct carbonul, oxigenul și azotul.

O comparație între rezultatele obținute cu ecuația (5.1) și ecuația (5.2) va fi realizată în capitolul următor.

## 5.2 Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

În ceea ce urmează se va enunța problema de optimizare liniară aferentă determinării puterii calorifice maxime a unui amestec de două materii prime, atunci când cantitatea de noxe emise și cenușa reziduală rezultate în urma arderii se păstrează în anumite limite.

### 5.2.1 Aspecte matematice

Din punct de vedere matematic, pentru orice două tipuri de biomasă, 1 și 2, problema de programare liniară este următoarea:

$$\left. \begin{aligned}
 \max c &= 0.339 C + 1.029 H + 0.109 S - 0.109 O \\
 &\text{dacă} \\
 C &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} C_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} C_2 \\
 H &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} H_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} H_2 \\
 S &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} S_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} S_2 \\
 O &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} O_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} O_2 \\
 N &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} N_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} N_2 \\
 Cl &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} Cl_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} Cl_2 \\
 ash &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} ash_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} ash_2 \\
 &0 \leq N \leq N_{max} \\
 &0 \leq S \leq S_{max} \\
 &0 \leq l \leq Cl_{max} \\
 &0 \leq ash \leq ash_{max} \\
 &0 \leq m_1, m_2
 \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

unde indicii 1 și 2 se referă la cele două tipuri de biomasă considerate,  $C, H, S, O, N, Cl$  se referă la concentrația masică a elementului chimic respectiv în tipul de biomasă considerat,  $ash$  se referă la cantitatea procentuală de cenușă a tipului de biomasă considerat, iar  $m_1$  și  $m_2$  sunt masele cu care cele două materii prime contribuie la amestecul final. Indicele  $max$  se referă la valoarea maximă admisă pentru respectiva componentă.

O dată găsită soluția  $(m_1, m_2)$  a problemei de programare liniară, prețul de producție  $p$  va fi calculat în funcție de prețurile celor două materii prime ( $p_1$  și  $p_2$ ), costurile cu utilitățile ( $p_{utilități}$ ) și costurile cu forța de muncă ( $p_{salarii}$ ) astfel:

$$p = \frac{m_1}{m_1 + m_2} p_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} p_2 + p_{utilități} + p_{salarii} \quad (5.4)$$

în care costul utilităților și costurile cu forța de muncă se calculează separat și nu depind de  $m_1$  și  $m_2$ .

Înlocuind condițiile în problema de maximizare, se obține următoarea formă standard:

Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

$$\left\{ \begin{array}{l} \max c = x_1 c_1 + x_2 c_2 \\ \text{dacă} \\ c_1 = 0.339 C_1 + 1.029 H_1 + 0.109 S_1 - 0.109 O_1 \\ c_2 = 0.339 C_2 + 1.029 H_2 + 0.109 S_2 - 0.109 O_2 \\ x_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \\ x_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \\ S = x_1 S_1 + x_2 S_2 \leq S_{max} \\ N = x_1 N_1 + x_2 N_2 \leq N_{max} \\ Cl = x_1 Cl_1 + x_2 Cl_2 \leq Cl_{max} \\ ash = x_1 ash_1 + x_2 ash_2 \leq ash_{max} \\ 0 \leq m_1, m_2 \end{array} \right. \quad (5.5)$$

**Propoziția 1** Condiția necesară pentru ca problema să aibă o soluție este ca

$$x_1 + x_2 = 1. \quad (5.6)$$

Demonstrație

Pentru ca problema să aibă soluție, nu e suficient să găsim  $x_1$  și  $x_2$ , ci trebuie găsite masele  $m_1$  și  $m_2$  care verifică sistemul.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \\ x_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \end{array} \right. \quad (5.7)$$

De aici rezultă că

$$x_1 + x_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 1.$$

Presupunem fără a restrânge generalitatea că  $c_1 > c_2$ .

**Propoziția 2** Dacă problema are soluție, atunci

$$0 \leq x_1 \leq \min \left\{ \frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2}, \frac{S_{max} - S_2}{S_1 - S_2}, \frac{Cl_{max} - Cl_2}{Cl_1 - Cl_2}, \frac{ash_{max} - ash_2}{ash_1 - ash_2} \right\}. \quad (5.8)$$

Demonstrație

Dacă problema are soluție, atunci  $x_2 = 1 - x_1$ . Înlocuind aceasta în setul de constrângeri, obținem un sistem de 4 inecuații a cărei soluție este

$$0 \leq x_1 \leq \min \left\{ \frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2}, \frac{S_{max} - S_2}{S_1 - S_2}, \frac{Cl_{max} - Cl_2}{Cl_1 - Cl_2}, \frac{ash_{max} - ash_2}{ash_1 - ash_2} \right\}.$$

**Propoziția 3** Problema are soluție dacă și numai dacă

$$\min \left\{ \frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2}, \frac{S_{max} - S_2}{S_1 - S_2}, \frac{Cl_{max} - Cl_2}{Cl_1 - Cl_2}, \frac{ash_{max} - ash_2}{ash_1 - ash_2} \right\} \geq 0. \quad (5.9)$$

Demonstrație

Acesta rezultă din propoziția anterioară.

**Cazuri particulare** Fără a restrânge generalitatea, se consideră în cele ce urmează doar la inecuația corespunzătoare concentrației de  $N$ , pentru celelalte inecuații raționamentul fiind similar și rezultatele similare. Este studiat semnul

raportului  $R_N = \frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2}$  și soluția inecuației  $x_1 N_1 + (1 - x_1) N_2 \leq N_{max}$ . Se disting următoarele cazuri particulare:

1.  $N_1 \leq N_2 < N_{max}$  Atunci raportul  $R_N$  este negativ, iar problema nu are soluție.
2.  $N_2 \leq N_1 \leq N_{max}$  Atunci raportul  $R_N$  este pozitiv, iar problema poate avea soluție dacă și celelalte rapoarte sunt pozitive.
3.  $N_1, N_2 \geq N_{max}$  problema nu are soluții.
4.  $N_2 = N_{max}$  Atunci inecuația se reduce la  $x_1(N_1 - N_{max}) \leq 0$ , care are soluții doar dacă  $N_1 \leq N_{max}$ .
5.  $N_1 = N_{max}$  Atunci inecuația se reduce la  $x_1(N_{max} - N_2) \leq N_{max} - N_2$ , care are soluții doar dacă  $N_2 < N_{max}$ .
6.  $N_1 = N_2 \leq N_{max}$  Atunci raportul  $R_N$  este pozitiv, iar problema poate avea soluție dacă și celelalte rapoarte sunt pozitive.
7.  $N_2 \geq N_{max}$  Atunci raportul  $R_N$  este pozitiv doar dacă  $N_1 \leq N_2$ . În plus, deoarece  $N_1$  și  $N_2$  nu pot fi simultan mai mari decât  $N_{max}$ , este necesar ca  $N_1 \leq N_{max}$ .

**Propoziția 4** În condițiile enunțate anterior în acest paragraf, puterea calorifică maximă a unui amestec de 2 componente este

$$c_{max} = c_2 + (c_1 - c_2) \cdot \min \left\{ \frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2}, \frac{S_{max} - S_2}{S_1 - S_2}, \frac{Cl_{max} - Cl_2}{Cl_1 - Cl_2}, \frac{ash_{max} - ash_2}{ash_1 - ash_2} \right\}. \quad (5.10)$$

Demonstrație Aceasta rezultă prin înlocuirea lui  $x_1$  în formula de calcul a puterii calorifice din problema dată.

Ținând cont de constrângerile enunțate mai sus și prin efectuarea substituției  $x_2 = 1 - x_1$ , problema de optimizare liniară se transformă într-un sistem:

$$\begin{cases} \max c = (c_1 - c_2)x_1 + c_2 \\ \text{dacă} \\ (N_1 - N_2)x_1 \leq N_{max} - N_2 \\ (S_1 - S_2)x_1 \leq S_{max} - S_2 \\ (Cl_1 - Cl_2)x_1 \leq Cl_{max} - Cl_2 \\ (ash_1 - ash_2)x_1 \leq ash_{max} - ash_2 \\ 0 \leq x_1 \leq 1 \end{cases} \quad (5.11)$$

Această din urmă problemă este o problemă de determinare a maximumului unei funcții liniare de o singură variabilă, ceea ce se reduce la studiul monotoniei funcției obiectiv.

**Propoziția 5** Fie constantele reale  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  și problema de determinare a maximumului unei funcții liniare de o singură variabilă

$$\max_{\gamma \leq x_1 \leq \delta} (\alpha x_1 + \beta) \quad (5.12)$$

Atunci următoarele afirmații sunt adevărate:

- a. Dacă  $\gamma > \delta$  atunci problema nu are soluții.
- b. Dacă  $\gamma = \delta$  atunci problema are o unică soluție admisibilă,  $x_1 = \gamma$ , ceea ce corespunde la  $x_2 = 1 - \gamma$ . Această soluție este optimă, iar valoarea funcției obiectiv este  $c = \alpha x_1 + \beta$ .
- c. Dacă  $\gamma < \delta$ , problema are următoarele soluții, în funcție de parametrul  $\alpha$ :
  - i. Dacă  $\alpha > 0$  (cazul în care funcția obiectiv este strict crescătoare), valoarea optimă se obține pentru  $x_1 = \delta$  (care corespunde situației  $x_2 = 1 - \delta$ ) și este  $c = \alpha \delta + \beta$ .

Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

- ii. Dacă  $\alpha < 0$  (cazul în care funcția obiectiv este strict descrescătoare), valoarea optimă se obține pentru  $x_1 = \gamma$  (corespunzând la  $x_2 = 1 - \gamma$ ) și este  $c = \alpha\gamma + \beta$ .
- iii. Dacă  $\alpha = 0$  (dacă funcția obiectiv este constantă), există o infinitate de soluții optime, corespunzătoare valorilor  $x_1 \in [\gamma, \delta]$ , iar valoarea optimă este  $c = \beta$ .

Demonstrația acestei propoziții este imediată.

**Observație** În cazul de față,  $\alpha = c_1 - c_2$ , iar  $\beta = c_2$ .

Propoziția anterioară ne permite să dezvoltăm următorul algoritm de rezolvare a problemei de optimizare liniară pentru determinarea puterii calorifice a unui amestec de două componente.

**Algoritm tip simplex de determinare a puterii calorifice pentru amestecuri de 2 componente**

- A. Se inițializează  $\gamma = 0$ ,  $\delta = 1$ .
- B. Se studiază soluția sistemului de inecuații

$$\begin{cases} (N_1 - N_2)x_1 \leq N_{max} - N_2 \\ (S_1 - S_2)x_1 \leq S_{max} - S_2 \\ (Cl_1 - Cl_2)x_1 \leq Cl_{max} - Cl_2 \\ (ash_1 - ash_2)x_1 \leq ash_{max} - ash_2 \end{cases} \quad (5.13)$$

iar pentru aceasta se consideră prima inecuație din set:  $(N_1 - N_2)x_1 \leq N_{max} - N_2$ .

1. Dacă  $N_1 = N_2 \leq N_{max}$ , atunci inecuația este redundantă, fiind satisfăcută pentru orice valoare a lui  $x_1 \in [\gamma, \delta]$  și se reia pasul B cu inecuația următoare.
  2. Dacă  $N_1 = N_2 > N_{max}$ , atunci inecuația nu are soluții și deci nici problema de optimizare nu are soluții.
  3. Dacă  $N_1 > N_2 > N_{max}$ , atunci inecuația nu are soluții și deci nici problema de optimizare nu are soluții.
  4. Dacă  $N_1 > N_2 = N_{max}$ , atunci inecuația are o soluție unică,  $x_1 = 0$ . Se actualizează  $\delta = 0$  și se reia pasul B cu inecuația următoare.
  5. Dacă  $N_1 > N_2$  și  $N_2 < N_{max}$ , și  $\frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2} \geq \delta$ , atunci inecuația este redundantă, fiind satisfăcută pentru orice valoare a lui  $x_1 \in [\gamma, \delta]$  și se reia pasul B cu inecuația următoare.
  6. Dacă  $N_1 > N_2$  și  $N_2 < N_{max}$ , și  $\frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2} < \delta$ , atunci se actualizează  $\delta = \frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2}$  și se reia pasul B cu inecuația următoare.
  7. Dacă  $N_1 < N_2 \leq N_{max}$ , atunci inecuația este redundantă, fiind satisfăcută pentru orice valoare a lui  $x_1 \in [\gamma, \delta]$  și se reia pasul B cu inecuația următoare.
  8. Dacă  $N_1 < N_2$  și  $N_2 > N_{max}$ , și  $\frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2} \leq \gamma$ , atunci inecuația este redundantă, fiind satisfăcută pentru orice valoare a lui  $x_1 \in [\gamma, \delta]$  și se reia pasul B cu inecuația următoare.
  9. Dacă  $N_1 < N_2$  și  $N_2 > N_{max}$ , și  $\frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2} > \gamma$ , atunci se actualizează  $\gamma = \frac{N_{max} - N_2}{N_1 - N_2}$  și se reia pasul B cu inecuația următoare.
- C. Soluția problemei de optimizare este cea identificată în Propoziția 5.

### 5.2.2 Cazul în care mixtura conține aditivi

Un caz particular este cazul în care mixtura conține aditivi, așadar pe lângă componenta  $x_1$  și componenta  $x_2$  apare și componenta  $x_a$ . Problema devine:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max c = x_1 c_1 + x_2 c_2 + x_a c_a \\ \text{dacă} \\ c_1 = 0.339 C_1 + 1.029 H_1 + 0.109 S_1 - 0.109 O_1 \\ c_2 = 0.339 C_2 + 1.029 H_2 + 0.109 S_2 - 0.109 O_2 \\ x_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m_a} \\ x_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2 + m_a} \\ x_a = \frac{m_a}{m_1 + m_2 + m_a} \\ S = x_1 S_1 + x_2 S_2 + x_a S_a \leq S_{max} \\ N = x_1 N_1 + x_2 N_2 + x_a N_a \leq N_{max} \\ Cl = x_1 Cl_1 + x_2 Cl_2 + x_a Cl_a \leq Cl_{max} \\ ash = x_1 ash_1 + x_2 ash_2 + x_a ash_a \leq ash_{max} \\ 0 \leq m_1, m_2 \end{array} \right. \quad (5.14)$$

Cunoscând însă natura aditivului (compoziția chimică elementară, puterea calorică și cenușa) precum și cantitatea de aditiv adăugată, se pot calcula valorile standard maximale pentru N, S, Cl și cenușă

$$\left\{ \begin{array}{l} S'_{max} = S_{max} - x_a S_a \\ N'_{max} = N_{max} - x_a N_a \\ Cl'_{max} = Cl_{max} - x_a Cl_a \\ ash'_{max} = ash_{max} - x_a ash_a \end{array} \right. \quad (5.15)$$

Cu aceste valori maximale, problema de optimizare se reduce la problema din paragraful anterior.

De exemplu, pentru standardele EnPlus B și MBP A, limitele pentru N, S, Cl, cenușă și putere calorică inferioară se modifică pentru diferite tipuri de aditiv și sunt prezentate în Tabelul 5.5 și Tabelul 5.6.

**Tabelul 5.5 Modificarea limitelor în standardul EnPlus B pentru diferite tipuri de aditiv**

Aditiv	Limitele standardului corespunzător aditivului				
	Q_inf	N	S	Cl	cenușa
	MJ / kg	% masic (baza uscată)	% masic (baza uscată)	% masic (baza uscată)	% masic (baza uscată)
Brad	16,51	0,51	0,05	0,02	1,22
Cărbune de lemn (vegetal)	16,29	0,50	0,04	0,02	1,10



Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

Grâu (boabe)	16,55	0,46	0,05	0,02	1,17
Grâu (tărâțe)	16,54	0,46	0,04	0,02	1,15
Huilă	16,29	0,48	0,03	0,02	1,06
Lignit	16,48	0,50	0,04	0,02	1,12
Porumb (boabe)	16,56	0,49	0,05	0,02	1,18
Rapiță (boabe/turtă)	16,36	0,43	0,05	0,02	1,13
Rumeguș de lemn	16,53	0,51	0,05	0,02	1,21
Salcâm	16,51	0,51	0,05	0,02	1,20
Salcie	16,52	0,50	0,05	0,02	1,18
Secară (boabe)	16,57	0,49	0,05	0,02	1,19
Soia (boabe)	16,56	0,49	0,05	0,02	1,13
Struguri (comină)	16,55	0,48	0,05	0,02	1,18
<b>Limitele standardului fără aditiv</b>	<b>16,56</b>	<b>0,50</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>1,20</b>

**Tabelul 5.6 Modificarea limitelor în standardul MBP A pentru diferite tipuri de aditiv**

Aditiv	Limitele standardului corespunzător aditivului				
	Q_inf	N	S	Cl	cenușa
	MJ / kg	% masic (baza uscată)	% masic (baza uscată)	% masic (baza uscată)	% masic (baza uscată)
Brad	14,25	1,58	0,21	0,10	6,29
Cărbune de lemn (vegetal)	13,70	1,54	0,19	0,11	6,01
Grâu (boabe)	14,37	1,46	0,20	0,10	6,17
Grâu (tărâțe)	14,35	1,46	0,19	0,11	6,13
Huilă	13,70	1,51	0,16	0,10	5,88
Lignit	14,18	1,54	0,19	0,10	6,05
Porumb (boabe)	14,40	1,52	0,20	0,11	6,21
Rapiță (boabe/turtă)	13,87	1,37	0,21	0,11	6,07
Rumeguș de lemn	14,30	1,57	0,20	0,11	6,28
Salcâm	14,25	1,58	0,21	0,11	6,26
Salcie	14,29	1,55	0,21	0,11	6,21
Secară (boabe)	14,41	1,52	0,20	0,11	6,22
Soia (boabe)	14,38	1,52	0,20	0,11	6,06

PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE FOLOSIND TEHNICI  
DE CERCETĂRI OPERAȚIONALE

Struguri (comină)	14,37	1,49	0,20	0,11	6,21
<b>Limitele standardului fără aditiv</b>	<b>14,50</b>	<b>1,50</b>	<b>0,20</b>	<b>0,10</b>	<b>6,00s</b>

În continuare sunt date exemple de mixturi de 2 tipuri de biomasă lemnoasă, în care se folosește aditiv lignit sau pleavă de floarea soarelui, care se încadrează în standardul EnPlus B. Aceste rapoarte de masă au fost determinate în urma aplicării algoritmului forței brute, care va fi prezentat în paragraful următor.

**Tabelul 5.7 Mixturi cu 2% aditiv pleavă de floarea soarelui sau lignit și limite conforme cu standardul EnPlus B**

Raport de masă [kg : kg]	Mixtură	Aditiv	Putere calorifică
		2%	(MJ/kg)
1:28	Coajă de conifere + Salcâm	Floarea soarelui (pleavă)	18,816
1:28	Coajă de conifere + Salcâm	Lignit	18,816
1:28	<i>Coajă de conifere + Salcâm</i>	-	19,200
1:1	Coajă de conifere + Molid (cu coaja)	Floarea soarelui (pleavă)	18,620
5:9	Coajă de conifere + Molid (cu coaja)	Lignit	18,564
1:1	<i>Coajă de conifere + Molid (cu coaja)</i>	-	19,000
1:1	Coajă de conifere + Fag (cu coaja)	Floarea soarelui (pleavă)	18,424
5:9	Coajă de conifere + Fag (cu coaja)	Lignit	18,312
1:1	<i>Coajă de conifere + Fag (cu coaja)</i>	-	18,800
19:35	Coajă de conifere + Plop	Floarea soarelui (pleavă)	18,371
1:5	Coajă de conifere + Plop	Lignit	18,245
19:35	<i>Coajă de conifere + Plop</i>	-	18,746
1:7	Coajă de conifere + Salcie	Floarea soarelui (pleavă)	18,130
1:7	<i>Coajă de conifere + Salcie</i>	-	18,500
1:5	Fag (cu coaja) + Salcie	Floarea soarelui (pleavă)	18,032
1:5	<i>Fag (cu coaja) + Salcie</i>	-	18,400

Se poate observa faptul că, în acest caz, nu putem încadra o mixtură în standardul EnPlus B1 dacă nu conține cel puțin un component de origine lemnoasă. De asemenea, se poate observa că, în acest caz, pentru orice mixtură care conține aditiv, se poate determina o mixtură (cu același raport de masă sau nu) care are o putere calorifică superioară.

Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

---

### 5.2.3 Determinarea raportului de masă al componentelor unei rețete folosind un algoritm al forței brute

În continuare, se vor considera doar peletii care satisfac standardele impuse de clasa B1, iar calculele se vor face respectând constrângerile impuse de aceasta: maxim 1% conținut de N, 0,1% conținut de S și 0,05% conținut de Cl.

Algoritmul este prezentat mai jos.

#### INTRĂRI

- două tipuri de biomasă, 1 și 2

#### IEȘIRI

- Dacă există o mixtură pentru care cantitatea de noxe se încadrează în limite
  - raportul de masă al mixturii cu cea mai bună putere calorifică
  - puterea calorifică a mixturii rezultate
  - prețul pe kg pentru materialul folosit
  - compoziția chimică a mixturii
- Altfel
  - un mesaj de eroare.

#### IMPLEMENTARE

- Excel + VBA

#### ALGORITM

1. Caută în baza de date valorile maxim admise pentru N,S,Cl
2. Caută în baza de date valoarea maximă a masei de mixtură, Mmax.
3. Valoarea inițială a puterii calorifice calculate se consideră zero
4. Pentru masa primului tip de biomasă m1 variind de la 1 la Mmax
5. Și pentru masa celui de-al doilea tip de biomasă m2 variind de la m1 la Mmax
6. Calculează concentrație pentru fiecare element chimic din mixtură
7. Dacă concentrația de N, S sau Cl depășește limitele, atunci du-te la pasul 9
8. Dacă puterea calorifică a mixturii este mai mare decât puterea calorifică a mixturii reținute actual, atunci reține valorile m1 și m2 și parametrii calculați (i.e., compoziția chimică, puterea calorifică, prețul pe kg al materialului)
9. Crește cu 1 valoarea lui m1 și reia de la pasul 4
10. Dacă puterea calorifică este 0, returnează un mesaj de eroare (e.g., "Nivelul de noxe pentru mixul considerat este mai mare decât standardele admise")
11. Altfel, returnează raportul de masă m1:m2 al mixturii, prețul pe kg, puterea calorifică și compoziția chimică

Cantitatea de biomasă considerată este aleasă ținând cont că masa amestecului să nu depășească o anumită valoare maximă, care în cazul nostru a fost stabilită la  $M_{max}=500$  kg.

Pentru evaluarea costurilor de operare, s-a folosit ca model linia existentă la Cenei – care procesează minim 900 kg/h, consumă 300kW/h și pentru care sunt responsabili 2 muncitori și 2 angajați din personal administrativ.

Alte costuri, ca de exemplu transport, publicitate etc. nu au fost luate în considerare.

Algoritmul a fost implementat în Visual Basic pentru Excel, o componentă a Microsoft Office. Microsoft Excel este un software folosit în mod curent pe scară largă. Astfel, folosirea soluției soft pe care o propun nu implică alte costuri suplimentare pentru un utilizator care folosește deja Microsoft Excel.

PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE FOLOSIND TEHNICI  
DE CERCETĂRI OPERAȚIONALE

Algoritmul forței brute a fost testat pentru normele specifice clasei Enplus B și tipurile de biomasă disponibile vor fi catalogate în primul rând în funcție de încadrarea în aceste norme.

Cele mai mari puteri calorifice sunt caracteristice pentru cărbune și rapiță. Câtă vreme conținutul de N, S și Cl pentru cereale și cărbune sunt mai mari decât normele admise pentru clasa B1, lemnul se încadrează în aceste limite.

Astfel, un mix care să se încadreze în limitele impuse de clasa B1 va folosi cel puțin un tip de biomasă care se încadrează în standardele clasei.

Mixurile pentru care concentrațiile de N, S și Cl nu depășesc standardele B1 sunt în diferite rapoarte de masă. Un caz particular este acela în care acest raport este fie 1:499, fie 499:1. Dacă din punct de vedere matematic aceste mixturi sunt corect calculate, materialul corespunzător unei mase de 1 are o influență foarte mică asupra puterii calorifice a mixului, de ordinul a  $10^{-3}$ . Drept consecință, aceste mixuri nu prezintă un interes din punct de vedere practic.

Tabelul 5.8 prezintă cele mai mari puteri calorifice ale unor mixuri care se încadrează în standardele Enplus B și pentru care rapoartele de masă sunt  $m_1:m_2$ , cu  $m_1$  și  $m_2$  diferite de 1 și 499.

**Tabelul 5.8 Mixuri cu cea mai mare putere calorifică din categoria B1 și prețul lor (în EUR/kg)**

<b>Raport de masă</b> [kg : kg]	<b>Mix</b>	<b>Putere calorifică</b> (MJ/kg)	<b>Preț maxim</b> (EUR/kg)
98:29	Molid (cu coajă) + Rapiță (boabe/turtă)	20,182	0,06
17:58	Lignit + Molid (cu coajă)	20,077	0,02
147:26	Coajă (conifere) + Rapiță (boabe/turtă)	20,021	0,04
17:168	Huilă + Molid (cu coajă)	19,629	0,02
58:3	Coajă (conifere) + Lignit	19,368	0,01
58:17	Fag (cu coajă) + Lignit	19,330	0,04
49:13	Fag (cu coajă) + Rapiță (boabe/turtă)	19,295	0,07
56:1	Coajă (conifere) + Huilă	19,259	0,01
69:290	Lignit + Plop	19,070	0,02
147:29	Plop + Rapiță (boabe/turtă)	18,940	0,05
168:17	Fag (cu coajă) + Huilă	18,753	0,03
11:58	Lignit + Salcie	18,615	0,02
23:280	Huilă + Plop	18,556	0,02
23:147	Rapiță (boabe/turtă) + Salcie	18,491	0,04
11:168	Huilă + Salcie	18,146	0,01
85:22	Fag (cu coajă) + Miscanthus	17,746	0,03
23:85	Miscanthus + Plop	17,737	0,02
145:22	Fag (cu coajă) + Secară (plantă întreagă)	17,706	0,03
145:23	Plop + Secară (plantă întreagă)	17,695	0,01
105:11	Fag (cu coajă) + Rapiță (paie)	17,694	0,03
210:23	Plop + Rapiță (paie)	17,682	0,01
23:85	Miscanthus + Salcie	17,534	0,01

Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

145:23	Salcie + Secară (plantă întreagă)	17,471	0,01
23:210	Rapiță (paie) + Salcie	17,448	0,01
23:175	Orz (paie) + Salcie	17,437	0,01

Se poate observa din Tabelul 5.8 că amestecul 58:3 de coajă de conifere și lignit, respectiv amestecul 56:1 de coajă de conifere și huiă au cel mai mic preț pe kilogramul de materie primă, mai puțin de 0,01 EUR/kg. Cel mai mare preț este cel al amestecului 98:29 de molid cu coajă și rapiță (boabe/turtă), respectiv al amestecului 49:13 fag cu coajă și rapiță (boabe/turtă), de 0,06 EUR/kg, respectiv 0,07 EUR/kg. La aceste prețuri se adaugă costul utilităților (curent electric și apă și salariile personalului, în valoare medie de 0,08 EUR/kg).

Astfel, prețul de producție variază între 0,08 EUR/kg (pentru amestecuri cu huiă) și 0,15 EUR/kg (pentru amestecuri cu rapiță boabe/turtă).

Figura 5.1 prezintă interfața utilizator pentru implementarea algoritmului. Utilizatorul alege un material din prima listă ("Materialul 1") și unul din a doua listă ("Materialul 2") apăsând butonul din dreapta ("Găsește rețeta!"). Software-ul calculează mixul cu cea mai mare putere calorifică și, în cazul unui răspuns pozitiv, returnează raportul de masă, puterea calorifică, compoziția chimică și prețul pe kg.

În cazul unui răspuns negativ (Figura 5.2), softul returnează un mesaj de eroare, "NU EXISTĂ SOLUȚIE VALIDĂ (care să respecte normele)" și nu returnează puterea calorifică, compoziția chimică sau prețul pe kg.

C	H	O	N	K
54,960	5,836	36,221	0,277	0,000
Ca	Mg	P	S	Cl
0,000	0,000	0,000	0,200	0,028
Q in huiă (MJ)	Q min	Q max	cenusa	compuș vol
5,753	21,434	6,319	2,577	7,383

Figura 5.1 Interfața utilizator în cazul unui răspuns pozitiv

Pentru implementare a fost folosit un algoritm al forței brute, acesta fiind viabil datorită faptului că masa amestecului nu depășește 500 kg și masele celor două componente sunt numere întregi nenegative. Astfel, pentru fiecare set de 2 materiale alese ca intrări, sunt verificate 499 cazuri (corespunzătoare rapoartelor de masă de la 1:499 la 499:1).

Această abordare este ușor diferită de exemplele clasice de programare liniară. Principala diferență constă în aceea că, în loc să se introducă manual cele două seturi de date corespunzătoare celor două materii prime, intrările pot fi alese dintr-o bază de date în care sunt stocate un număr finit de materii prime (în cazul nostru, 27 tipuri de biomasă), iar numărul variantelor de verificat este limitat (în cazul nostru, 499 posibilități).

Calcul reteta

Materialul 1 Orz (paie)

Materialul 2 huila

Gaseste reteta!

Amestecul pentru care noxele se incadreaza in limitele impuse de EU este:

**NU EXISTA SOLUTIE VALIDA (care sa respecte normele de r**

pentru care:

Q = -

pret/kg = -

Compozitie chimica

C	H	O	N	K
-	-	-	-	-

Ca	Mg	P	S	Cl
-	-	-	-	-

**Figura 5.2 Interfața utilizator în cazul unui răspuns negativ**

Chiar dacă această problemă ar putea fi rezolvată relativ simplu folosind add-in-ul Solver din Excel [30],[6], acest add-in cere ca utilizatorul să introducă manual coeficienții numerici ai problemei, împreună cu constrângerile. Aceasta conduce la riscul unor erori de bias care ar putea influența negativ rezultatele. Interfața utilizator care a fost construită în această secțiune, împreună cu baza de date, permite utilizatorului să aleagă inputurile în mod prietenos, după numele lor, minimizând astfel riscul erorilor de bias.

Principala limitare a acestui algoritm ține de valoarea maximă admisă pentru suma componentelor (500 kg). Eroarea de calcul pentru determinarea unei rețete optime cu acest algoritm este de 0,2% (1 kg din 500kg).

În plus, complexitatea acestui algoritm crește foarte mult dacă dorim să determinăm o rețetă cu mai mult de două componente.

Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

---

Aceste probleme pot fi rezolvate dacă se folosește un algoritm de tip simplex pentru determinarea rețetei optime.

### 5.2.4 Determinarea raportului procentual al componentelor unei rețete, folosind un algoritm de tip simplex

Față de algoritmul implementat în secțiunea precedentă, acest algoritm este mai complex, permițând atât calculul unei rețete optime fără aditivi, cât și a uneia cu aditivi.

Algoritmul este prezentat în continuare.

#### INTRĂRI

- două tipuri de biomasă, 1 și 2
- opțional, un aditiv
- standardul care se dorește respectat

#### IEȘIRI

- Dacă există o mixtură pentru care cantitatea de noxe se încadrează în limite
  - procentul din fiecare tip de componentă a mixturii
  - puterea calorică a mixturii rezultate
  - prețul pe kg pentru materialul folosit
- Altfel
  - un mesaj de eroare.

#### IMPLEMENTARE

- C

#### ALGORITM

1. Alege din baza de date intrările, 1 și 2
2. Alege din baza de date aditivul, add
3. Alege din baza de date standardul de respectat (sau alege un standard propriu)
4. Se construiește soluția sistemului de inecuații asociat cu constrângerile, ca în paragraful 5.2.1
5. Se construiește soluția problemei de optimizare ca în Propoziția 5.

Programul permite mai multe opțiuni: consultarea standardelor internaționale, determinarea unei rețete optime pe baza datelor aflate într-un fișier adiacent, adăugarea unui material nou în fișierul adiacent.



```
Alegeți o opțiune:  
1 - Consulta standarde  
2 - Determina o reteta  
3 - Adauga un material  
0 - Iesi din program  
-
```

Figura 5.3 Meniul principal

Fișierul adiacent, care conține materiile prime, este structurat pe linii, fiecare linie fiind de tipul

PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE FOLOSIND TEHNICI  
DE CERCETĂRI OPERAȚIONALE

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

material	C	H	O	N	S	Cl	Preț	Q_min	cenușă
1 Brad	51.23	5.98	42.10	0.06	0.03	0.19	0.003	19.19	0.41
2 Cenușa_rulpelui	46.10	5.90	42.50	0.74	0.10	0.20		17.00	4.80
3 Coala_lemn_conifere	51.40	5.70	39.70	0.48	0.09	0.02	0.003	19.20	3.80
4 Fag_cu_coala	47.90	6.20	49.20	0.22	0.02	0.01	0.108	18.40	0.90
5 Fan_din_faneta	45.50	6.10	41.50	1.14	0.16	0.31	0.045	17.40	5.70
6 Fan_din_parcurs	37.10	5.10	33.20	1.45	0.19	0.88	0.045	14.10	23.10
7 Floarea-scarelui_pais	42.50	5.10	39.10	1.11	0.15	0.81	0.045	15.00	12.20

Figura 5.4 Fișierul - bază de date (detaliu)

Opțiunea 1, de consultare a standardelor, are ca efect afișarea limitărilor (asupra  $N_{max}$ ,  $S_{max}$ ,  $Cl_{max}$ ,  $cenușa_{max}$ ,  $aditiv_{max}$ ) impuse de cele 8 standarde predefinite:

```
Alegeti o optiune:
1 - Consulta standarde
2 - Determina o reteta
3 - Adauga un material
0 - Iesi din program
1
Standardul Enplus A1
are limitările
N_max=0.3 S_max=0.04 Cl_max=0.02 cenușa_max=0.7 aditiv_max=2
Standardul Enplus A2
are limitările
N_max=0.5 S_max=0.05 Cl_max=0.02 cenușa_max=1.2 aditiv_max=2
Standardul Enplus B
are limitările
N_max=1 S_max=0.05 Cl_max=0.03 cenușa_max=2 aditiv_max=2
Standardul I1
are limitările
N_max=0.3 S_max=0.05 Cl_max=0.03 cenușa_max=1 aditiv_max=3
Standardul I2
are limitările
N_max=0.3 S_max=0.05 Cl_max=0.05 cenușa_max=1.5 aditiv_max=3
Standardul I3
are limitările
N_max=0.6 S_max=0.05 Cl_max=1 cenușa_max=3 aditiv_max=3
Standardul Mixed biomass pellets A
are limitările
N_max=1.5 S_max=0.2 Cl_max=0.1 cenușa_max=6 aditiv_max=5
Standardul Mixed biomass pellets B
are limitările
N_max=2 S_max=0.3 Cl_max=0.3 cenușa_max=10 aditiv_max=5
Alegeti o optiune:
```

Figura 5.5 Opțiunea de consultare standarde

Pentru opțiunea 2, de a determina o rețetă, fișierul care conține baza de date este parcurs, iar utilizatorul trebuie să aleagă numele materialului care ar putea să facă parte din rețeta cea nouă. Apoi, utilizatorul poate alege unul dintre standardele predefinite sau poate să impună propriile valori maxime care vor fi considerate pentru N, S, Cl, cenușă, aditiv.



## Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

---

De exemplu, pentru o mixtură care să conțină brad și grâu boabe și care să se încadreze în standardul MBP A, răspunsul programului este identic cu cel oferit de interfața construită în Excel, în paragraful anterior, pentru mixturi de 2 componente.

```
ati ales standardul 7 - Mixed biomass pellets A
cu limitarile
  N_max = 1.50%
  S_max = 0.20%
  Cl_max = 0.10%
  cenusa_max = 6.00%
  aditiv_max = 5.00%
In conditiile standardului ales reteta perfecta are compozitia procentuala:
  40.00% Brad
  60.00% Grau_boabe
  0.00% aditiv
  Q_min=17.88 MJ
  pret=0.26 lei/100kg
Alegeti o optiune:
  1 - Consulta standarde
  2 - Retornați la reteta
```

**Figura 5.6 Răspunsul sistemului pentru o mixtură de brad și boabe de grâu**

Este interesant de comparat răspunsul sistemului pentru diverse modalități de a prelucra aceeași materie primă. În continuare este exemplificat acest fapt prin rețetele obținute pentru o mixtură de brad și boabe de orz, calculate fără aditiv și standardul MBP A, cu aditiv pleavă de floarea soarelui și standardul MBP A și cu un standard personalizat, dar fără aditiv.

```
Introduceți numărul de ordine al celor doua componente alese
(intre 1 si 76, cu enter dupa fiecare).
intrare=4
intrare=36
Ati ales 2 componente pentru reteta:
material_1= Brad
material_2= Orz_boabe
Alegeti un aditiv? Daca da, scrieti numărul de ordine. Daca nu, scrieti 0.
0

Alegeti standardul! Raspundeti:
0 pentru a introduce standardul propriu
1 pentru Enplus A1
2 pentru Enplus A2
3 pentru Enplus B
4 pentru I1
5 pentru I2
6 pentru I3
7 pentru Mixed biomass pellets A
8 pentru Mixed biomass pellets B
7
ati ales standardul 7 - Mixed biomass pellets A
cu limitarile
    N_max = 1.50%
    S_max = 0.20%
    Cl_max = 0.10%
    cenusa_max = 6.00%
    aditiv_max = 5.00%
In conditiile standardului ales reteta perfecta are compozitia procentuala:
    52.63% Brad
    47.37% Orz_boabe
    0.00% aditiv
    Q_min=17.93 MJ
    pret=0.00 lei/100kg
Alegeti o optiune:
1 - Consulta standarde
2 - Determina o reteta
3 - Aadauga un material
0 - Iesi din program
```

**Figura 5.7 Determinarea unei rețete – varianta fără aditiv**

În cazul în care se dorește introducerea unui aditiv în compoziție, calculele sunt efectuate pentru valoarea maxim admisă a acestui aditiv. Alegerea unui aditiv influențează de asemenea limitările impuse de standarde, iar noile valori sunt afișate.

## Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

```
Introduceti numarul de ordine al celor doua componente alese
(intre 1 si 76, cu enter dupa fiecare).
intrare=4
intrare=36
Ati ales 2 componente pentru reteta:
material_1= Brad
material_2= Orz_boabe
Alegeti un aditiv? Daca da, scrieti numarul de ordine. Daca nu, scrieti 0.
19
Ati ales aditivul Floarea-soarelui_pleava, pentru care
N=0.38% S=0.24% Cl=0.00% cenusa=1.90%

Alegeti standardul! Raspundeti:
0 pentru a introduce standardul propriu
1 pentru Enplus A1
2 pentru Enplus A2
3 pentru Enplus B
4 pentru I1
5 pentru I2
6 pentru I3
7 pentru Mixed biomass pellets A
8 pentru Mixed biomass pellets B
7
Ati ales standardul 7 - Mixed biomass pellets A
cu limitarile
N_max = 1.50%
S_max = 0.20%
Cl_max = 0.10%
cenusa_max = 6.00%
aditiv_max = 5.00%
Aditivul ales, Floarea-soarelui_pleava, adaugat in cantitatea de 5.00%, modifica lim
itarile standardelor astfel:
N_max = 1.48%
S_max = 0.19%
Cl_max = 0.10%
cenusa_max = 5.91%
In conditiile standardului ales reteta perfecta are compositia procentuala:
52.63% Brad
42.37% Orz_boabe
5.00% aditiv
Q_min=18.82 MJ
pret=0.00 lei/100kg
Alegeti o optiune:
1 - Consulta standarde
2 - Determina o reteta
```

**Figura 5.8 Determinarea unei rețete – varianta cu aditiv**

Dacă se dorește un standard personalizat, acesta poate fi introdus de către utilizator. Se prezintă în continuare răspunsul programului în cazul în care s-a ales o rețetă pe bază de brad și boabe de orz, fără aditiv și cu valori maxime admise de 1,5% pentru N, 0,5% pentru S, 0,2% pentru Cl, 10% pentru cenușă și 10% pentru aditiv.

```
6 pentru I3
7 pentru Mixed biomass pellets A
8 pentru Mixed biomass pellets B
0
N_max=1.5
S_max=0.5
Cl_max=0.2
cenusa_max=10
aditiv_max=10
ati ales standardul 0 - Personalizat
cu limitările
    N_max = 1.50%
    S_max = 0.50%
    Cl_max = 0.20%
    cenusa_max = 10.00%
    aditiv_max = 10.00%
In condițiile standardului ales rețeta perfectă are compoziția procentuală:
100.00% Brad
    0.00% Orz_boabe
    0.00% aditiv
    Q_min=19.19 MJ
    pret=0.00 lei/100kg
Alegeți o opțiune:
1 - Consulta standarde
2 - Determina o rețeta
```

Figura 5.9 Folosirea unui standard personalizat într-o rețetă

În cazul în care se dorește adăugarea unui nou material în baza de date, utilizatorul este atenționat că este imperativă cunoașterea valorilor procentuale pentru N, S, Cl, cenușă și puterea calorică Q în MJ/kg.

```
2 - Determina o rețeta
3 - Adauga un material
0 - Iesi din program
0
Pentru a introduce un nou material, este esențial să cunoașteți valorile procentuale pentru
N, S, Cl, cenușă, precum și Q în MJ.
Doriți să continuați (y/n)?y
Introduceți numele materiei prime (fără spații)
material_nou
Introduceți valorile pentru compoziția chimică (0 dacă nu le cunoașteți).
C=50
H=20
O=10
N=6
S=5
Cl=2
Pret=0.75
Q_min=19.4
cenusa=6
Alegeți o opțiune:
1 - Consulta standarde
2 - Determina o rețeta
3 - Adauga un material
0 - Iesi din program
```

Figura 5.10 Adăugarea unui material nou la baza de date

În continuare se va prezenta o schiță a funcțiilor pe care implementate și folosite în acest program.

#### Funcția `Intrari ()`

- deschide baza de date, structurată ca o succesiune de linii de forma material C H O N S Cl Pret Q\_inf cenușă

## Proprietăți ale soluției problemei de optimizare lineară în cazul unei mixturi de două componente

---

- parcurge baza de date linie cu linie
- dacă utilizatorul alege să folosească materialul de la linia  $i$  atunci memorează valorile pentru C, H, O, N, S, Cl, preț, putere calorifică  $q_{min}$  și cenușă prezente pe linia  $i$ , în caz contrar trece la linia următoare
- utilizatorul nu poate alege mai mult de 2 componente
- afișează componentele alese pentru rețetă și valorile citite din baza de date
- dacă utilizatorul alege să folosească materialul de la linia  $i$  ca aditiv, memorează valorile pentru C, H, O, N, S, Cl, preț, putere calorifică  $q_{min}$  și cenușă prezente pe linia  $i$
- închide baza de date

### Funcția **Standarde()**

- interoghează utilizatorul asupra standardului pe care acesta dorește să îl folosească atunci când determină o rețetă
- utilizatorul poate folosi standardele predefinite, sau poate să își aleagă propriul standard
- în funcție de răspunsul utilizatorului, sunt alese valorile maxime pentru N, S, Cl, cenușă, aditiv care vor fi apoi folosite în determinarea rețetei optimale
- în cazul în care utilizatorul a ales să folosească un aditiv, standardul ales este recalculat în funcție de valorile parametrilor pentru aditivul ales

### Funcția **Consultstd()**

- afișează valorile limită pentru N, S, Cl, cenușă, aditiv pentru fiecare dintre standardele în vigoare

### Funcția **Adaugamat()**

- permite utilizatorului să adauge un nou material, pentru care să cunoască valorile limită ale N, S, Cl, cenușa sau să renunțe
- utilizatorul introduce în fișierul bază de date numele materialului și valorile pentru C, H, O, N, S, Cl, preț, putere calorifică  $q_{min}$  și cenușă

### Funcția **Solutie()**

- implementează soluția sistemului, pe baza Propoziției 5

### Funcția **Optim2()**

- implementează soluția sistemului liniar de constrângeri, pe baza algoritmului
- apelează funcția **solutie()**

### Funcția **Results()**

- afișează rezultatul calculului, astfel:
- în caz că soluția nu este optimală sau nu reprezintă o compoziție procentuală (pentru care suma variabilelor să fie 1), se afișează un răspuns negativ

- în caz contrar, se afișează compoziția procentuală a mixturii, prețul fiecărui material și puterea calorifică  $Q_{\text{inf}}$  în MJ/kg

Funcția `main()`

- reprezintă programul principal
- conține un meniu principal, care permite utilizatorului să aleagă dintre opțiunile de a consulta standardele, de a determina o rețetă, de a adăuga un material nou la baza de date sau de a ieși din program
- opțiunea de consultare standarde este implementată de funcția `Consultastd()`, apoi utilizatorul este întors la meniul principal
- opțiunea de adăugare a unui nou material este implementată de funcția `Adaugamat()` care apoi întoarce utilizatorul la meniul principal
- opțiunea de determinare a unei rețete lansează în ordine funcțiile: `Intrari()`, `Standarde()`, `Optim2()` apoi întorc utilizatorul la meniul principal

### 5.3 Problema de optimizare liniară în cazul mixturilor de $n$ componente, $n \geq 2$

Date fiind  $n$  materii prime pentru care se cunosc concentrațiile elementare C, H, S, O, N, Cl, concentrația de cenușă și puterea calorifică (în MJ/kg), se pune problema determinării compoziției acelei mixturi pentru care concentrațiile de N, S, Cl și cenușă rămân sub anumite limite și în plus puterea calorifică a mixturii este maximă.

În cazul în care  $n = 2$ , problema a fost discutată într-un paragraf anterior și a fost găsită și o soluție.

În cazul în care  $n > 2$ , soluția problemei nu poate fi determinată imediat. În schimb, existența soluției și, în caz afirmativ, valoarea maselor celor  $n$  componente ale mixturii pot fi stabilite folosind algoritmul simplex.

#### 5.3.1 Aspecte matematice

##### A. Datele problemei

Din punct de vedere matematic, problema este următoarea

Problema de optimizare liniară în cazul mixturilor de  $n$  componente,  $n \geq 2$

$$\left\{ \begin{array}{l} \max c = 0.339 C + 1.029 H + 0.109 S - 0.109 O \\ \text{dacă} \\ C = \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} C_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} C_n \\ H = \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} H_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} H_n \\ S = \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} S_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} S_n \\ O = \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} O_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} O_n \\ N = \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} N_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} N_n \\ Cl = \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} Cl_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} Cl_n \\ ash = \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} ash_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} ash_n \leq ash_{max} \\ 0 \leq N \leq N_{max} \\ 0 \leq S \leq S_{max} \\ 0 \leq Cl \leq Cl_{max} \\ 0 \leq m_1, \dots, m_n \end{array} \right. \quad (5.16)$$

unde indicii 1, 2, ...,  $n$  se referă la toate tipurile de biomasă considerate,  $C, H, S, O, N, Cl$  se referă la concentrația masică a elementului chimic respectiv în tipul de biomasă considerat, iar  $m_1, m_2, \dots, m_n$  sunt masele materiilor prime. Indicele  $max$  se referă la valoarea maximă admisă pentru respectiva componentă.

O dată găsită soluția ( $m_1, m_2, \dots, m_n$ ) a problemei de programare liniară, prețul de producție  $p$  va fi calculat în funcție de prețurile materiilor prime ( $p_1, p_2, \dots, p_n$ ), costurile cu utilitățile ( $p_{utilități}$ ) și costurile cu forța de muncă ( $p_{salarii}$ ) astfel:

$$p = \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} p_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} p_n + p_{utilități} + p_{salarii} \quad (5.17)$$

în care costul utilităților și costurile cu forța de muncă se calculează separat și nu depind de  $m_1, m_2, \dots, m_n$ .

**B. Obiectivul** este de a maximiza puterea calorifică a unei mixturi, folosind formula de calcul a lui Mendeleev:

$$c = 0.339 C + 1.029 H + 0.109 S - 0.109 O \quad (5.18)$$

unde  $C, H, N, O$  reprezintă concentrațiile de carbon, hidrogen, sulf și oxigen din mixtură.

Chiar dacă în acest caz am considerat funcția obiectiv ca fiind formula lui Mendeleev de determinare a puterii calorifice, este posibil să considerăm și alte funcții obiectiv care calculează puterea calorifică în funcție de compoziția elementară a materialului combustibil, atâta timp cât aceste funcții sunt liniare.

**C. Variabilele** din funcția obiectiv sunt reprezentate de concentrațiile din mixtură ale elementelor chimice menționate anterior. Aceste concentrații sunt dependente de concentrațiile elementelor chimice ale materialelor componente astfel:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} C_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} C_n \\
 H &= \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} H_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} H_n \\
 S &= \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} S_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} S_n \\
 O &= \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} O_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} O_n
 \end{aligned} \tag{5.19}$$

iar în cazul restricțiilor

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} N_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} N_n \\
 S &= \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} S_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} S_n \\
 Cl &= \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} Cl_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} Cl_n \\
 ash &= \frac{m_1}{m_1 + \dots + m_n} ash_1 + \dots + \frac{m_n}{m_1 + \dots + m_n} ash_n
 \end{aligned} \tag{5.20}$$

**D. Prin înlocuirea restricțiilor** în formula de calcul pentru puterea calorifică, se obține

$$c = x_1 c_1 + \dots + x_n c_n \tag{5.21}$$

în care

$$\begin{aligned}
 c_i &= 0.339 C_i + 1.029 H_i + 0.109 S_i - 0.109 O_i, \quad 1 \leq i \leq n \\
 x_i &= \frac{m_i}{m_1 + \dots + m_n}, \quad 1 \leq i \leq n
 \end{aligned} \tag{5.22}$$

E. În fine, restricțiile asociate problemei de optimizare vor deveni

$$\begin{cases}
 x_1 N_1 + \dots + x_n N_n \leq N_{max} \\
 x_1 S_1 + \dots + x_n S_n \leq S_{max} \\
 x_1 Cl_1 + \dots + x_n Cl_n \leq Cl_{max} \\
 x_1 ash_1 + \dots + x_n ash_n \leq ash_{max} \\
 0 \leq x_i \leq 1, \quad 1 \leq i \leq n
 \end{cases} \tag{5.23}$$

Problema se transformă astfel în

$$\begin{cases}
 \max c = x_1 c_1 + \dots + x_n c_n \\
 \text{dacă} \\
 x_i = \frac{m_i}{m_1 + \dots + m_n}, \quad 1 \leq i \leq n \\
 x_1 S_1 + \dots + x_n S_n \leq S_{max} \\
 x_1 N_1 + \dots + x_n N_n \leq N_{max} \\
 x_1 Cl_1 + \dots + x_n Cl_n \leq Cl_{max} \\
 x_1 ash_1 + \dots + x_n ash_n \leq ash_{max} \\
 0 \leq x_i \leq 1, \quad 1 \leq i \leq n
 \end{cases} \tag{5.24}$$

În acest caz, variabilele  $x_i$  reprezintă procentul din materialul  $i$  care se regăsește în mixtura finală.

**Propoziția 6.** Problema de optimizare generală are soluție dacă și numai dacă

$$x_1 + \dots + x_n = 1. \tag{5.25}$$



**Observație** În cazul determinării unei soluții optime, numărul de componente va fi mai mic decât numărul de restricții.

În cazul prezenței aditivilor, valorile limită din standarde se modifică la fel ca și în cazul mixturilor de două componente. Valorile limită ale standardelor în cazul folosirii de aditivi vor fi prezentate în Anexa 4.

### 5.3.2 Implementare

Implementarea acestui program s-a făcut în C.

Pornind de la nevoia de a determina o soluție optimă în cazul mixturilor de  $n$  componente, a fost implementat algoritmul Simplex în C, rezultând o aplicație care determină, dacă aceasta există, acea soluție optimă.

Programul permite mai multe opțiuni: consultarea standardelor internaționale, determinarea unei rețete optime pe baza datelor aflate într-un fișier adiacent, adăugarea unui material nou în fișierul adiacent.

Meniul principal, ca și baza de date folosită, a fost prezentat detaliat în paragraful anterior.

Opțiunea 1, de consultare a standardelor, a fost și ea prezentată în detaliu, anterior. Accesând această opțiune, se afișează limitările (referitoare la  $N_{\max}$ ,  $S_{\max}$ ,  $Cl_{\max}$ ,  $cenușa_{\max}$ ,  $aditiv_{\max}$ ).

```
1
Standardul Enplus A1
  are limitările
    N_max=0.3      S_max=0.04      Cl_max=0.02      cenusa_max=0.7
Standardul Enplus A2
  are limitările
    N_max=0.5      S_max=0.05      Cl_max=0.02      cenusa_max=1.2
Standardul Enplus B
  are limitările
    N_max=1        S_max=0.05      Cl_max=0.03      cenusa_max=2
Standardul I1
  are limitările
    N_max=0.3      S_max=0.05      Cl_max=0.03      cenusa_max=1
Standardul I2
  are limitările
    N_max=0.3      S_max=0.05      Cl_max=0.05      cenusa_max=1.5
Standardul I3
  are limitările
    N_max=0.6      S_max=0.05      Cl_max=1         cenusa_max=3
Standardul Mixed biomass pellets A
  are limitările
    N_max=1.5      S_max=0.2      Cl_max=0.1      cenusa_max=6
Standardul Mixed biomass pellets B
  are limitările
    N_max=2        S_max=0.3      Cl_max=0.3      cenusa_max=10
Alegeți o opțiune:
1 - Consulta standarde
2 - Determina o rețeta
3 - Adauga un material
0 - Iesi din program
```

Figura 5.11 Opțiunea de consultare standarde

Pentru opțiunea 2, de a determina o rețetă, fișierul care conține baza de date este parcurs, iar utilizatorul trebuie să aleagă numele materialului care ar putea să

PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE FOLOSIND TEHNICI  
DE CERCETĂRI OPERAȚIONALE

---

facă parte din rețeta cea nouă. Apoi, utilizatorul poate alege unul dintre standardele predefinite sau poate să impună propriile valori maxime care vor fi considerate pentru N, S, Cl, cenușă.

De exemplu, pentru o mixtură care să conțină brad și grâu boabe și care să se încadreze în standardul MBP A, răspunsul programului este identic cu cel oferit de interfața construită în Excel, în paragraful anterior, pentru mixturi de 2 componente.

Problema de optimizare liniară în cazul mixturilor de  $n \geq 2$

```
Introduceti numarul de ordine al componentelor alese
(intre 1 si 76, cu enter dupa fiecare).
Daca nu mai doriti nici o componenta, scrieti 0.
intrare=66
intrare=75
intrare=3
intrare=0
Ati ales 3 componente pentru reteta:
material_1= Aschii_de_lemn
material_2= Stejar_aschii_din_crengi
material_3= Vita_de_vie_crengi
Alegeti un aditiv? Daca da, scrieti numarul de ordine. Daca nu, scrieti 0.
0

Alegeti standardul! Raspundeti:
0 pentru a introduce standardul propriu
1 pentru Enplus A1
2 pentru Enplus A2
3 pentru Enplus B
4 pentru I1
5 pentru I2
6 pentru I3
7 pentru Mixed biomass pellets A
8 pentru Mixed biomass pellets B
8
ati ales standardul 8 - Mixed biomass pellets B
cu limitarile
    N_max = 2.00%
    S_max = 0.30%
    Cl_max = 0.30%
    cenusa_max = 10.00%
    aditiv_max = 5.00%

RESULTS:

Reteta perfecta in conditiile date are compozitia procentuala:
15.79 % Aschii_de_lemn la pretul de 0.00 eur/100kg
15.79 % Stejar_aschii_din_crengi la pretul de 0.00 eur/100kg
68.42 % Vita_de_vie_crengi la pretul de 0.00 eur/100kg
0.00 % aditiv la pretul de 0.00 eur/100kg

Pentru care:
Q_max= 16.46 (MJ)
pret_min=0.0000 (eur/100 kg)

Alegeti o optiune:
1 - Consulta standarde
2 - Determina o reteta
3 - Adauga un material
0 - Iesi din program
```

Figura 5.12 Determinarea unei rețete

Adăugarea unui nou material în baza de date necesită cunoașterea prealabilă a valorilor procentuale pentru N, S, Cl, cenușă și puterea calorică Q în MJ/kg. Acest

fapt este adus la cunoștința utilizatorului în cazul în care acesta dorește să folosească un nou material.

```
2 - Determina o rețeta
3 - Adauga un material
0 - Iesi din program
3
Pentru a introduce un nou material, este esential sa cunoasteti valorile procentuale pentru
N, S, Cl, cenusa, precum si Q in MJ.
Doriti sa continuati (y/n)?y
Introduceti numele materiei prime (fara spatii)
material_nou
Introduceti valorile pentru compozitia chimica (0 daca nu le cunoasteti).
C=50
H=20
O=10
N=6
S=5
Cl=2
Pret=0.75
Q_min=19.4
cenusa=6
Alegeti o optiune:
1 - Consulta standarde
2 - Determina o rețeta
3 - Adauga un material
0 - Iesi din program
```

Figura 5.13 Adăugarea unui material nou la baza de date

Actualmente, baza de date cuprinde peste 70 intrări cu cele mai uzuale tipuri de biomasă disponibile în zonă.

O schiță a programului construit pentru cazul general al mixturilor cu  $n$  componente este prezentată în continuare.

#### Funcția **Intrari** ()

- deschide baza de date, structurată ca o succesiune de linii de forma material C H O N S Cl Pret Q\_inf cenusa
- parcurge baza de date linie cu linie
- dacă utilizatorul alege să folosească materialul de la linia  $i$  atunci memorează valorile pentru C, H, O, N, S, Cl, preț, putere calorifică  $q_{min}$  și cenușă prezente pe linia  $i$ , în caz contrar trece la linia următoare
- afișează componentele alese pentru rețetă și valorile citite din baza de date
- închide baza de date

#### Funcția **Standarde** ()

- interoghează utilizatorul asupra standardului pe care acesta dorește să îl folosească atunci când determină o rețetă
- utilizatorul poate folosi standardele predefinite, sau poate să își aleagă propriul standard
- în funcție de răspunsul utilizatorului, sunt alese valorile maxime pentru N, S, Cl, cenușă, care vor fi apoi folosite în determinarea rețetei optime

#### Funcția **Data** ()

## Aplicația de determinare a unor rețete optime de peleți din perspectiva posibilității de transfer tehnologic

---

- construiește programul liniar pe baza datelor selectate de utilizator prin funcțiile `Intrari()` și `Standarde()`

### Funcția `Simplex()`

- aplică algoritmul simplex la programul liniar construit prin funcția `Data()`
- face apel, în ordine, la funcțiile `Pivot()`, `Formula()` și `Optimize()`

### Funcția `Pivot()`

- determină pivotul `a_rk` din Pasul 4 al algoritmului simplex

### Funcția `Formula()`

- calculează baza nouă din algoritmul simplex

### Funcția `Optimize()`

- determină dacă soluția obținută cu funcția `Formula()` este optimală sau nu
- în caz că soluția nu este optimală, reia calculele din funcția `Simplex()` începând cu funcția `Pivot()`

### Funcția `Results()`

- afișează rezultatul calculului, astfel:
- în caz că soluția nu este optimală sau nu reprezintă o compoziție procentuală (pentru care suma variabilelor să fie 1), se afișează un răspuns negativ
- în caz contrar, se afișează compoziția procentuală a mixturii, prețul fiecărui material și puterea calorifică  $Q_{inf}$  în MJ/kg

### Funcția `main()`

- reprezintă programul principal
- conține un meniu principal, care permite utilizatorului să aleagă dintre opțiunile de a consulta standardele, de a determina o rețetă, de a adăuga un material nou la baza de date sau de a ieși din program
- opțiunile de consultare standarde și de adăugare a unui nou material întorc utilizatorul la meniul principal
- opțiunea de determinare a unei rețete lansează în ordine funcțiile: `Intrari()`; `Standarde()`; `Data()`; `Simplex()`; `Results()` după care utilizatorul este întors la meniul principal.

## 5.4 Aplicația de determinare a unor rețete optime de peleți din perspectiva posibilității de transfer tehnologic

Din punct de vedere al maturității tehnologice, sistemul dezvoltat și prezentat în acest capitol atinge nivelul 6.

Principiile de bază (TRL1) au fost observate și publicate în [86], [85] și [97] și se referă la posibilitatea de a determina apriori, folosind algoritmi de optimizare

liniară, rețete ale unor mixturi de materiale de încălzire (peleți, brichete) care să respecte anumite cerințe.

Pe baza principiilor de bază, a fost formulat conceptul tehnologic (TRL2) de algoritm pentru determinarea unor mixturi de materiale de putere calorifică maximă, atunci când nivelul noxelor emise nu depășește anumite valori prag stabilite prin standarde, iar rezultatele au apărut în [80] și [64].

Funcționalitățile și caracteristicile conceptului tehnologic (TRL3) au fost demonstrate la nivel analitic sau experimental prin realizarea unui software specializat care să calculeze raportul masic a 2 sau mai multe componente ale unei mixturi de realizare a peletilor/brichetelor, având ca punct de plecare o bază de date cu materiale combustibile disponibile în zonă și compoziția lor elementară. Baza de date folosită inițial a fost concepută pe baza materialelor existente în zonă.

Componentele au fost validate în condiții de laborator (TRL4) începând cu 2018, prin realizarea de rețete pe baza ieșirilor din software și analiza proprietăților acestora în condiții de laborator, pentru mixturi de 2 componente cu sau fără aditiv. Au fost adăugate noi funcționalități: posibilitatea de a adăuga un material în baza de date, posibilitatea de a adăuga un aditiv la rețetă, posibilitatea de a folosi valori limită personalizate pentru noxe. A fost extinsă baza de date la materiale disponibile într-o zonă geografică extinsă, Europa de Sud-Est. Proprietățile peletilor realizați după rețete determinate de software au fost determinate în condiții de laborator la Universitatea Politehnica din Timișoara.

Componentele au fost validate în condiții relevante de funcționare în mediul industrial (TRL5) prin folosirea software-ului pentru a determina mixturi de mai multe componente cu sau fără aditiv adăugat și folosirea acestor rețete în producție, la nivelul unei firme. De asemenea, au fost verificate celelalte funcționalități ale software-ului în aceste noi condiții. Proprietățile peletilor realizați după rețete determinate de software au fost analizate într-o centrală de ardere.

Prototipul este în curs de validare la scară reală (TRL6) într-o fabrică specializată pentru producția de peleți și brichete pentru încălzire.

Faza de maturitate a tehnologiei propuse în prezenta cercetare (i.e., funcționalitatea produsului în condiții relevante de funcționare (TRL 7), sistemul finalizat și calificat (TRL 8) și demonstrarea în medii operaționale a funcționalității produsului (TRL 9)) urmează să fie atinsă într-un viitor apropiat.

## 5.5 Concluzii parțiale

Pornind de la nevoia de a determina o rețetă optimă, s-a urmărit modelarea din punct de vedere matematic a unei probleme reale și să studiul existenței soluției acesteia, precum și condițiile necesare pentru existența unei soluții.

Așadar a fost studiată literatura de specialitate, pe baza căreia s-a construit o bază de date cu proprietăți ale materialelor peletizabile și s-a extras lista de standarde aplicabile în domeniu. Ulterior, folosind Statgraphics, a fost determinată o formulă similară cu formula lui Mendeleev care, aplicată la materiile prime din baza

## Concluzii parțiale

---

de date realizată, să calculeze puterea calorifică în funcție de compoziția elementară extinsă (C,H,O,N,S,Cl) a fiecărui material.

Problema determinării unei rețete care să maximizeze puterea calorifică în timp ce cantitatea de cenușă reziduală și noxele rămân în limitele unor standarde prestabilite este o problemă de optimizare liniară. Aceasta a fost formulată pentru cazul unei mixturi de două componente, dar și pentru cazul mai general al unei mixturi de  $n \geq 2$  componente. În cazul cel mai simplu al unei mixturi de două componente, soluția exactă a putut fi determinată din punct de vedere matematic. În cazul mixturilor complexe, au fost determinate proprietăți ale soluției.

Pentru problema de optimizare cu două componente, s-a realizat și implementat un algoritm al forței brute care să determine o rețetă cât mai apropiată de rețeta optimă. Acest algoritm are însă unele limitări și nu este rentabil să fie extins pentru mixturi de mai multe componente.

Un algoritm de tip simplex poate fi aplicat cu succes la determinarea unei rețetei optime atât în cazul mixturilor de două componente, cât și în cazul mixturilor de mai multe componente. Acești algoritmi au fost detaliați, apoi implementați în C, rezultând o soluție software care poate fi folosită într-o întreprindere care produce peleți de încălzire. Această soluție pleacă de la baza de date construită, permite adăugarea unui noi material la baza de date, permite vizualizarea standardelor, permite alegerea de componente ale mixturii, permite folosirea unui aditiv în rețetă, permite alegerea unui standard anume (care poate fi unul din standardele prestabilite, sau un standard propriu al utilizatorului).

Implementarea soluției software s-a făcut în C, astfel depanarea și întreținerea ei fiind mai ușor de realizat. Este de menționat și faptul că în această fază s-a validat conceptul de soluție software, care începe să fie testat și folosit în cadrul unor firme care produc peleți. Există posibilitatea de a transforma această soluție într-una mai prietenoasă cu utilizatorul, dar nu acest rezultat a fost urmărit și forma programului nu este esențială în această etapă.

Chiar dacă algoritmul simplex permite determinarea unor soluții exacte pentru problema de optimizare, atunci când acestea există, pentru utilizarea acestuia trebuie cunoscută compoziția elementară, puterea calorifică și a cantitatea de cenușă reziduală caracteristice materialelor folosite. Dacă puterea calorifică și cantitatea de cenușă reziduală pot fi determinate relativ ușor, folosind o bombă calorimetrică, determinarea compoziției elementare a unor materiale necesită analize mai complexe și nu este întotdeauna o soluție la îndemână. Din aceste rațiuni, am încercat să folosesc inteligența artificială pentru a determina compoziția elementară a unui material (6 ieșiri) în funcție de puterea calorifică și cantitatea de cenușă reziduală ale acestuia, considerate cunoscute. Discuția acestei metode face obiectul capitoului următor.

## 6 VALIDAREA, OPTIMIZAREA ȘI PREVIZIUNEA PROCESELOR FOLOSIND ELEMENTE DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ

**Obiectivele** acestui capitol sunt:

- construirea unei rețele neuronale artificiale care să determine compoziția elementară a unui combustibil solid, dacă se cunosc puterea calorifică a acestuia și cenușa reziduală rezultată în urma arderii acestuia.
- utilizarea ieșirilor rețelei pentru determinarea puterii calorifice, folosind o formulă de regresie determinată special.
- compararea rezultatelor obținute cu datele experimentale și determinarea condițiilor în care soluția teoretică (rețea neuronală + regresie) se poate aplica în practică.

Rețeaua neuronală care va fi construită are drept intrări puterea calorifică și cenușa reziduală. Acestea pot fi determinate cu ușurință experimental, după cum s-a arătat în capitolul 4, subcapitolul 4.2. Ieșirile rețelei sunt procentele masice de C, H, O, N, S, Cl corespunzătoare materiei prime analizate. Aceste ieșiri, împreună cu intrările pot fi adăugate la baza de date folosită în capitolul anterior și folosite pentru determinarea unor rețete optime corespunzătoare materiilor prime disponibile în zonă.

Pe lângă rezultatele obținute în capitolul 4, s-a folosit baza de date construită în capitolul 5, paragraful 5.1.2 și formula de regresie pe care am determinat-o pentru calculul puterii calorifice în funcție de cantitatea procentuală de C, H, O, N, S, Cl din materialul combustibil.

Vor fi antrenate 2 rețele neuronale, folosind pentru una algoritmul Levenberg-Marquardt, iar pentru cealaltă regularizarea bayesiană, iar ieșirile vor fi folosite pentru a calcula puterea calorifică cu formula determinată în capitolul 5. Rezultatele vor fi analizate, iar rețeaua care oferă cele mai bune rezultate, va fi păstrată și folosită pentru determinări ulterioare.

**Rezultatele** obținute în acest capitol sunt:

- o rețea neuronală pentru determinarea compoziției elementare a unui material, pornind de la puterea calorifică a acestuia și cenușa reziduală rezultată în urma arderii
- o evaluare a posibilității de a aplica această metodă în combinație cu soluția software detaliată în capitolul precedent pentru a determina rețete optime de producere a peleților

### 6.1 Construirea unei rețele neuronale pentru determinarea compoziției elementare a combustibilului

Pentru construirea unei rețele neuronale, este nevoie în primul rând să fie enunțate o serie de considerente generale legate de parametri de proces și tehnica de lucru, apoi să fie detaliată arhitectura rețelei neuronale care va fi construită.



### 6.1.1 Considerente generale

Parametrii de proces ai peletizării au fost descriși de Stelte [131]: specia de lemn utilizată (compoziția chimică), granulația particulelor, umiditatea, temperatura de prelucrare, temperatura de peletizare, lungimea și diametrul preseii, viteza de rotație a preseii și, în cazul în care se folosește biomasă torefiată, gradul de torefiere. Alte aspecte importante se referă la compoziția chimică a cenușii [11], pentru că poate deteriora cuptoarele de ardere, temperatura de topire a cenușii, o temperatură mai mare corespunzând unei combustii mai eficiente [61]. În plus față de aceste aspecte, nu trebuie neglijat nici prețul materiei prime, care afectează prețul produsului finit și, deci, și gradul său de atractivitate pentru clienți. Prețul materiei prime depinde de raportul cerere/ofertă, starea economiei, existența dezastrelor naturale etc. [139]

Calcululele au fost realizate folosind Neural Networks toolbox din Matlab [31].

De-a lungul timpului, numeroși autori au calculat puterea calorică superioară a unor tipuri de biomasă, folosind formule empirice cu precizii mai mici sau mai mari. În plus, se poate observa ([122],[73]) că formulele bazate pe analiza elementară sunt printre cele mai precise. Totuși, lipsește o formulă cât mai completă, care să lege compoziția elementară a unui biocombustibil de puterea calorică a acestuia.

Inițial, am folosit 76 seturi de date, fiecare conținând 8 elemente diferite (2 intrări și 6 ieșiri), care corespund la varietăți pure de biomasă. Cele 76 intrări corespund tipurilor de biomasă pură lemnoasă și agricolă cele mai frecvente în zonă. Setul a fost divizat aleator în setul de testare (70% din intrări, adică 54 intrări), setul de validare (15% din intrări, adică 11 intrări) și setul de test (15% din intrări, adică 11 intrări).

### 6.1.2 Arhitectura rețelei

Construcția unei rețele neuronale presupune parcurgerea mai multor etape: inițializarea parametrilor rețelei, realizarea conexiunilor dintre straturi, antrenarea rețelei.

Inițializarea parametrilor rețelei se referă la modul în care sunt alese datele de intrare și de ieșire dintr-o bază de date pe care va fi construită rețeaua. Baza de date este divizată în datele de antrenament (training), cele de validare (testare) și generalizare. Deși nu există reguli universale pentru divizarea datelor de intrare, se adoptă o divizare tip 60:20:20, 60:30:10 sau 70:15:15. Un singur strat ascuns este suficient pentru aproximarea funcțiilor neliniare cu o acuratețe superioară, dar aceasta presupune folosirea unui număr mare de neuroni, astfel încetinind procesul de învățare. Câteodată, rețele cu două straturi ascunse sunt mai eficiente, dar o creștere a numărului de straturi nu duce la creșterea semnificativă a acurateței rețelei.

În cazul de față, diviziunea datelor de intrare a fost făcută aleator.

Diversele straturi de neuroni pot fi conectate în diferite moduri. Conexiuni standard, directe și fără feedback dintre intrări și ieșiri; conexiuni de salt (jump connection) prin care se pot atribui ponderi conexiunilor dintre neuroni de pe straturi

neadiacente; conexiuni multiple în cazul în care neuronii de pe straturile ascunse modifică variabilele de intrare pentru a determina ponderea conexiunii.

Funcțiile de transfer (sau de activare) pot fi de mai multe tipuri, caracteristica lor comună fiind aceea că, aplicate intrărilor, conduc la alegerea unui răspuns specific rețelei.

Performanța rețelei poate fi măsurată prin eroarea sa, adică prin diferența dintre rezultatele previzionate prin rețea și rezultatele exacte, cunoscute.

Antrenarea rețelei presupune determinarea acelor ponderi pentru care eroarea rețelei devine minimă.

Eroarea este indicată de: eroare medie, eroare maximă, numărul de epoci pentru care eroarea nu s-a îmbunătățit. Rețeaua se va opri atunci când se vor atinge valorile prestabilite pentru indicatorii asociați erorilor.

Cei mai eficienți algoritmi pentru antrenarea rețelei sunt algoritmul Levenberg-Marquardt (cu precizie globală de 99,581%) și algoritmul de regularizare bayesiană (cu precizie globală de 99,784%).

O altă măsură a preciziei este dreapta de regresie care leagă ieșirile rețelei (outputs) de ieșirile așteptate (targets). Această dreaptă de regresie ar trebui să aibe o pantă cât mai aproape de 1 (sau chiar 1).

Pentru a îmbunătăți performanțele RNA, a fost considerată baza de date extinsă, care pe lângă tipurile frecvente de biomasă pură forestieră și agricolă (lemn, respectiv paie/tulpini și boabe/semințe plus huiță și lignit) include și reziduuri din activități curente (frunze, șroturi, sâmburi, reziduuri viticole, plus cărbune de lemn). Setul de date de intrare a fost divizat în mod aleator în setul de testare (71,06% din intrări, adică 54 intrări), setul de validare (14,47% din intrări, adică 11 intrări) și setul de test (14,47% din intrări, adică 11 intrări). Fiecare intrare este de tipul

Q_inf	cenușa
-------	--------

iar fiecare ieșire de tipul

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

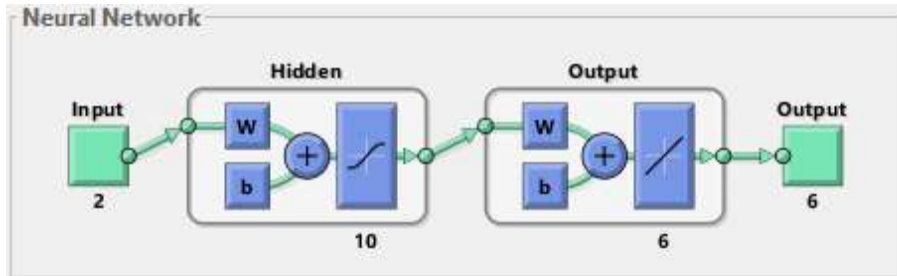
Așadar, rețeaua neuronală este o funcție

$$y = f(x) \quad (6.1)$$

unde  $y$  este un vector cu 6 elemente corespunzător compoziției chimice elementare procentuale (C, H, O, N, S, Cl), iar  $x$  este un vector cu 2 elemente, corespunzător valorilor pentru puterea calorică inferioară în MJ/kg și cantitatea de cenușă în %.

Rețeaua neuronală are un strat de intrare, cu 2 neuroni, două straturi ascunse cu 10, respectiv 6 neuroni și un strat de ieșire cu 6 neuroni (Figura 6.1).

Construirea unei rețele neuronale pentru determinarea compoziției elementare a combustibilului

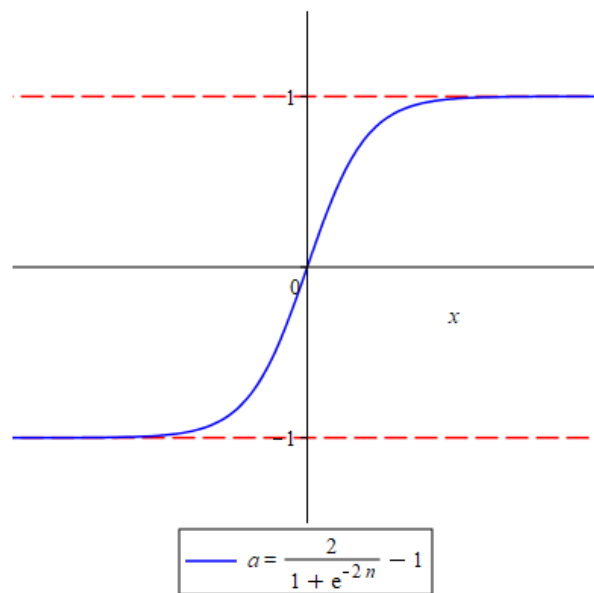


**Figura 6.1** Structura RNA care leagă compoziția elementară de puterea calorifică și cenușa reziduală ale unui material

Funcția de transfer pentru stratul ascuns este o funcție de tip sigmoid:

$$a = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \quad (6.2)$$

și ia valori între -1 și 1. Funcția de transfer pentru stratul de ieșire este o funcție liniară.



**Figura 6.2** Funcția de transfer utilizată în modelarea RNA

### 6.1.3 Alte arhitecturi de rețele neuronale extrase din baza de date cu tipuri de biomasă

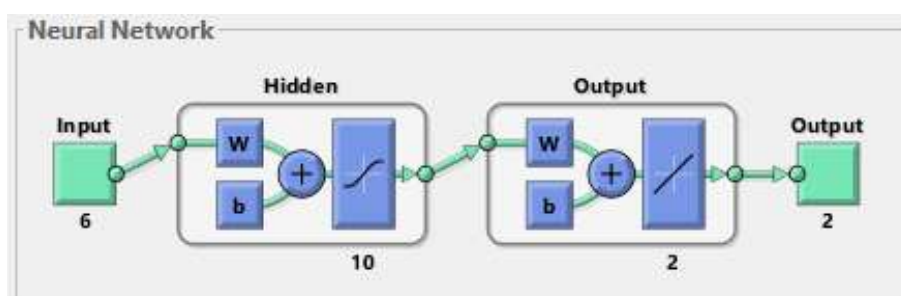
Deși în lucrarea de față este folosită o rețea neuronală care leagă 2 intrări (puterea calorică inferioară și cantitatea de cenușă reziduală) care pot fi determinate experimental cu ușurință de 6 ieșiri (cantitățile procentuale de C,H,O,N,S,Cl corespunzătoare intrărilor), aceasta nu este singura arhitectură care poate fi construită pornind de la baza de date cu tipuri de biomasă existentă.

Având în vedere că baza de date conține seturi de date de tipul

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

pornind de la aceste date se pot construi și antrena și alte tipuri de RNA care să extragă date noi sau să suplinească date incomplete, în care ieșirile (variabilele dependente) pot fi una sau mai multe caracteristici ale unui material, iar intrările (variabilele independente) sunt (parțial sau total) celelalte caracteristici.

O astfel de RNA leagă puterea calorică și cenușa reziduală de compoziția elementară a unui material. Structura acesteia este prezentată în Figura 6.3.



**Figura 6.3 Structura RNA care leagă puterea calorică și cenușa reziduală de compoziția elementară ale unui material**

Pentru această RNA, setul de date de intrare a fost divizat în mod aleator în setul de testare (71,06% din intrări), setul de validare (14,47% din intrări) și setul de test (14,47% din intrări), fiecare intrare fiind de tipul

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

iar fiecare ieșire de tipul

Q_min	cenușă
-------	--------

Precizia rețelei astfel construite este de 98,155% (98,174% pentru faza de antrenare, 96,620% pentru validare și 99,557% pentru testare).

Este de subliniat că RNA prezentată în acest paragraf poate fi aplicată atunci când este cunoscută (determinată experimental) compoziția elementară a unei materii prime, dar puterea sa calorifică și cantitatea de cenușă reziduală sunt mai greu sau chiar imposibil de determinat. Ulterior, această RNA ar putea fi folosită pentru calculul puterii calorifice și a cantității de cenușă reziduală, într-un mod similar cu formulele (5.1) și (5.2).

## 6.2 Algoritmi de antrenare și structura scriptului asociat rețelelor neuronale

Au fost create două rețele: o rețea antrenată cu algoritmul Levenberg-Marquardt (implementat cu funcția Matlab `trainlm`) și una antrenată folosind regularizarea bayesiană (implementată cu funcția Matlab `trainbr`).

În ambele cazuri menționate anterior, algoritmul de antrenare al rețelei presupune parcurgerea următoarelor etape:

Inițializarea ponderilor cu valori aleatoare

Repetă epoca de antrenament:

Pentru fiecare set de date de intrare:

Realizează etapa forward, aplicând funcția de transfer neuronilor de pe stratul de intrare

Realizează etapa backward

Ajustează ponderile

Recalculează funcția de eroare

Până când se îndeplinește condiția de oprire

În cazul algoritmului Levenberg-Marquardt funcția de eroare este abaterea medie pătratică. Algoritmul se oprește în unul dintre următoarele cazuri:

- A fost atins numărul maxim de epoci de antrenare.
- A fost atins timpul maxim de antrenare (în secunde).
- Funcția de eroare a rețelei (performanța) a atins obiectivul de minimizare.
- Gradientul funcției de eroare scade sub o valoare `min_grad`.
- Rata de învățare `mu` depășește o valoare `mu_max`.
- Funcția de eroare la validare a crescut de mai mult de `max_fail` ori consecutiv.

Parametrii funcției `trainlm` folosiți sunt:

**Tabelul 6.1 Parametrii funcției `trainlm`**

Nume parametru	Valoare	Descriere
<code>net.trainParam.epochs</code>	1000	numărul maxim de epoci de antrenare
<code>net.trainParam.goal</code>	0	obiectivul funcției de eroare
<code>net.trainParam.max_fail</code>	6	numărul maxim de epoci consecutive pentru care funcția de eroare crește

VALIDAREA, OPTIMIZAREA ȘI PREVIZIUNEA PROCESELOR FOLOSIND ELEMENTE DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ

net.trainParam.min_grad	$10^{-7}$	gradientul minim al funcției de eroare
net.trainParam.mu	0.001	rata de învățare inițială $\mu$ . Aceasta este modificată ori de câte ori funcția de eroare crește (se înmulțește cu factorul de creștere) sau descrește (se înmulțește cu factorul de descreștere). Dacă valoare depășește valoarea maximă admisă, antrenarea se oprește.
net.trainParam.mu_dec	0.1	factorul de descreștere al $\mu$
net.trainParam.mu_inc	10	factorul de creștere al $\mu$
net.trainParam.mu_max	$10^{10}$	valoarea maximă pentru mu
net.trainParam.time	$\infty$	timpul maxim de antrenare în secunde

În cazul algoritmului de regularizare bayesiană (trainbr), funcția de eroare este o combinație liniară între abaterea medie pătratică și ponderile fiecărei intrări. Regularizarea este realizată în cadrul algoritmului Levenberg-Marquardt, astfel încât parametrii funcției trainbr sunt similari cu parametrii funcției trainlm. Algoritmul se oprește într-unul dintre următoarele cazuri:

- A fost atins numărul maxim de epoci de antrenare.
- A fost atins timpul maxim de antrenare (în secunde).
- Funcția de eroare a rețelei (performanța) a atins obiectivul de minimizare.
- Gradientul funcției de eroare scade sub o valoare min\_grad.
- Rata de învățare mu depășește o valoare prestabilită, mu\_max.

Caracteristic regularizării bayesiene este faptul că nu se impune o limitare a numărului de epoci consecutive în care funcția de eroare să crească. Astfel, antrenarea rețelei continuă până când este găsită combinația optimă dintre erori și ponderi.

Parametrii funcției trainbr folosiți sunt:

**Tabelul 6.2 Parametrii funcției trainbr**

Nume parametru	Valoare	Descriere
net.trainParam.epochs	1000	numărul maxim de epoci de antrenare
net.trainParam.goal	0	obiectivul funcției de eroare
net.trainParam.mu	0.005	rata de învățare inițială $\mu$ . Aceasta este modificată ori de câte ori funcția de eroare crește (se înmulțește cu factorul de creștere) sau descrește (se înmulțește cu factorul de descreștere). Dacă valoare depășește valoarea maximă admisă, antrenarea se oprește.

## Algoritmi de antrenare și structura scriptului asociat rețelelor neuronale

net.trainParam.mu_dec	0.1	factorul de descreștere al $\mu$
net.trainParam.mu_inc	10	factorul de creștere al $\mu$
net.trainParam.mu_max	$10^{10}$	valoarea maximă pentru $\mu$
net.trainParam.max_fail	0	numărul maxim de epoci consecutive pentru care funcția de eroare crește (acest parametru este dezactivat)
net.trainParam.min_grad	$10^{-7}$	gradientul minim al funcției de eroare
net.trainParam.time	$\infty$	timpul maxim de antrenare în secunde

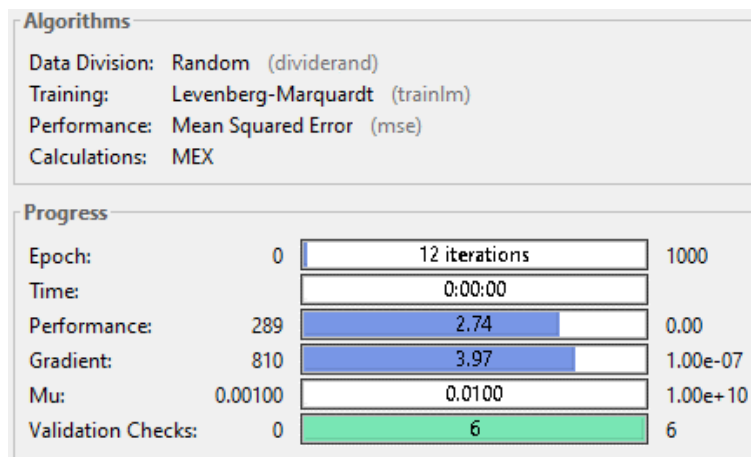
Scriptul Matlab asociat acestei RNA are următoarea structură:

1. Introducerea datelor de intrare și de ieșire:
  - x = datain';
  - t = dataout';
2. Algoritmul de antrenare (se alege una dintre cele două variante):
  - trainFcn = 'trainlm'; % retropropagare Levenberg-Marquardt
  - trainFcn = 'trainbr'; % retropropagare cu regularizare bayesiană
3. Inițializarea RNA-ului  
se specifică numărul de neuroni de pe stratul ascuns și se creează rețeaua
  - hiddenLayerSize = 10;
  - net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);
 tot în etapa de inițializare se specifică funcțiile de preprocesare și postprocesare ale rețelei:
  - net.input.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
  - net.output.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
4. Diviziunea datelor pentru antrenare, validare, testare
  - net.divideFcn = 'dividerand';
  - net.divideMode = 'sample';
  - net.divideParam.trainRatio = 70/100;
  - net.divideParam.valRatio = 15/100;
  - net.divideParam.testRatio = 15/100;
5. Specificarea funcției de eroare
  - net.performFcn = 'mse';
6. Specificarea funcțiilor care vor fi reprezentate grafic
  - net.plotFcns = {'plotperform','plottrainstate','ploterrhist', ...  
'plotregression', 'plotfit'};
7. Antrenarea rețelei
  - [net,tr] = train(net,x,t);
8. Testarea rețelei
  - y = net(x);
  - e = gsubtract(t,y);
  - performance = perform(net,t,y)
9. Actualizarea funcției de eroare a rețelei (actualizarea performanței rețelei)
  - trainTargets = t .\* tr.trainMask{1};
  - valTargets = t .\* tr.valMask{1};
  - testTargets = t .\* tr.testMask{1};
  - trainPerformance = perform(net,trainTargets,y)

- valPerformance = perform(net,valTargets,y)
  - testPerformance = perform(net,testTargets,y)
10. Vizualizarea rețelei
- view(net)
11. Reprezentări grafice
- figure, plotperform(tr)
  - figure, plottrainstate(tr)
  - figure, ploterrhist(e)
  - figure, plotregression(t,y)
12. Generarea funcției Matlab de antrenare a rețelei
- genFunction(net,'myNeuralNetworkFunction');
  - y = myNeuralNetworkFunction(x);

### 6.2.1 Performanța rețelei antrenate cu algoritmul Levenberg-Marquardt

Datele de progres pentru rețeaua antrenată cu algoritmul Levenberg-Marquardt sunt prezentate în figura de mai jos.



**Figura 6.4 Algoritmii și progresul rețelei antrenate cu funcția trainlm**

Algoritmul Levenberg-Marquardt folosește atât setul de antrenare, cât și cele de validare și testare pentru construcția rețelei. Precizia rețelei pentru etapa de antrenare este de 0,99667, pentru etapa de validare este de 0,9968, iar pentru testare este de 0,99042. În total, rețeaua construită are o precizie de 0,99581 (Figura 6.5).



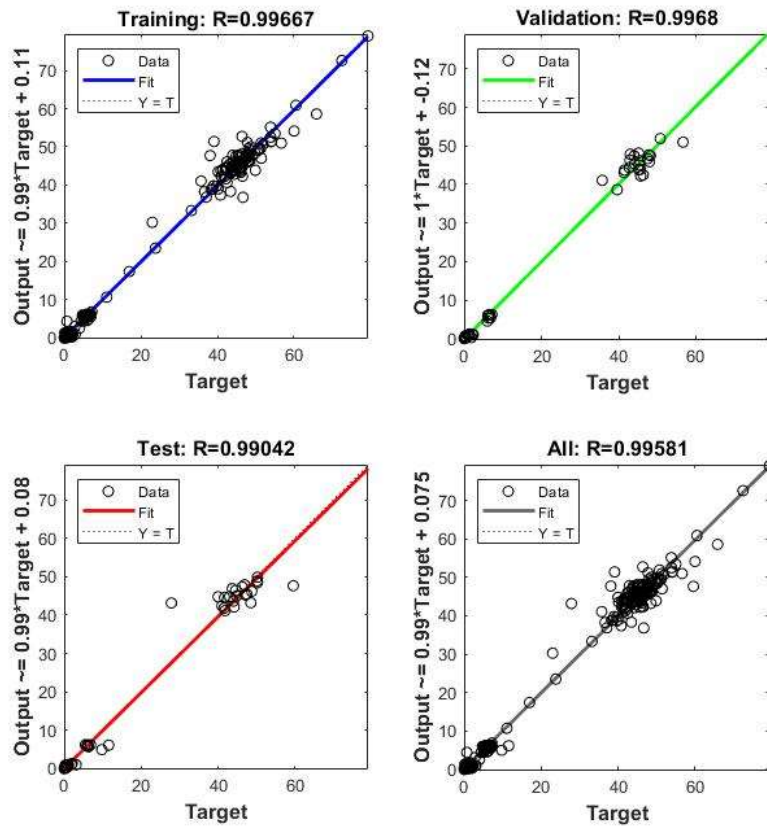


Figura 6.5 Precizia rețelei antrenate cu funcția trainIm

Algoritmul s-a oprit după 12 epoci, atunci când valoarea funcției de eroare a crescut de 6 ori consecutiv. La ieșirea din algoritm, rata de învățare a fost de  $10^{-2}$ , după ce pe parcursul calculelor a variat între  $10^{-2}$  și  $10^{-3}$ , iar gradientul funcției de eroare a fost de 3,9653 la epoca 12.

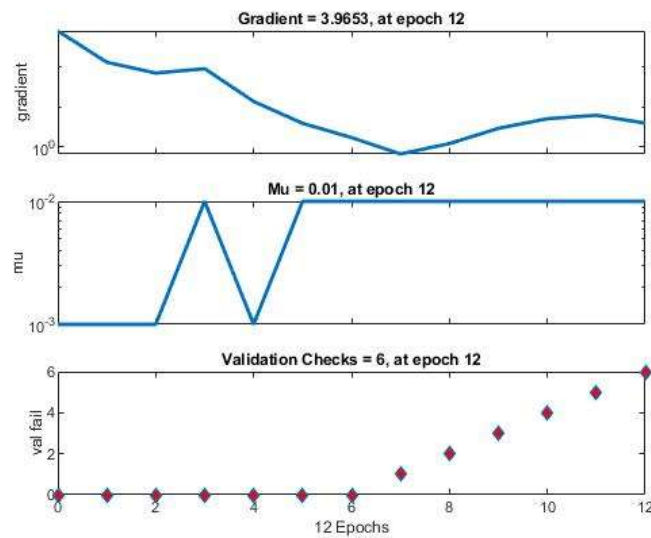


Figura 6.6 Parametrii de oprire pentru funcția trainlm

Cea mai bună performanță la validare (i.e., valoarea ca mai mică a funcției de eroare) a fost de 2,7633 și s-a înregistrat la epoca 6. Cu toate acestea, eroarea aferentă etapei de testare a fost în general mai mare decât eroarea la antrenare / validare.

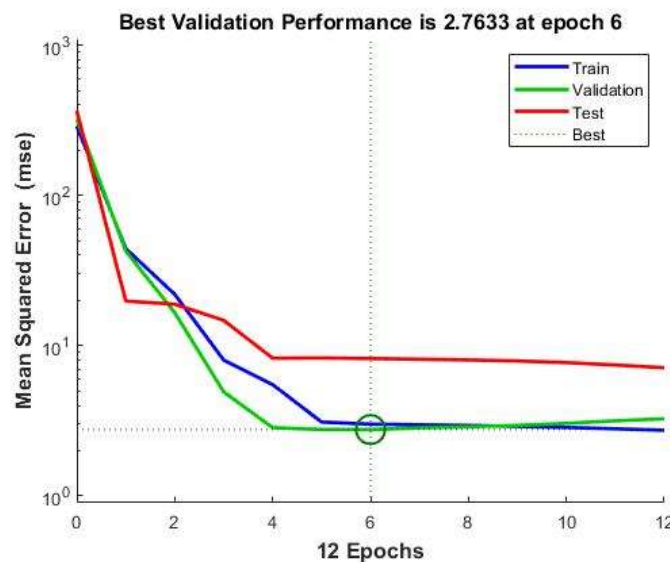


Figura 6.7 Valorile funcției de eroare pentru algoritmul Levenberg-Marquardt

O altă măsură a preciziei rețelei este dată de histograma erorilor, unde eroarea este dată de diferența dintre răspunsul rețelei și răspunsul dorit. În acest caz,

marea majoritate a erorilor, atât în etapele de antrenare, validare și testare, dar și per ansamblu, se încadrează în jurul erorii nule.

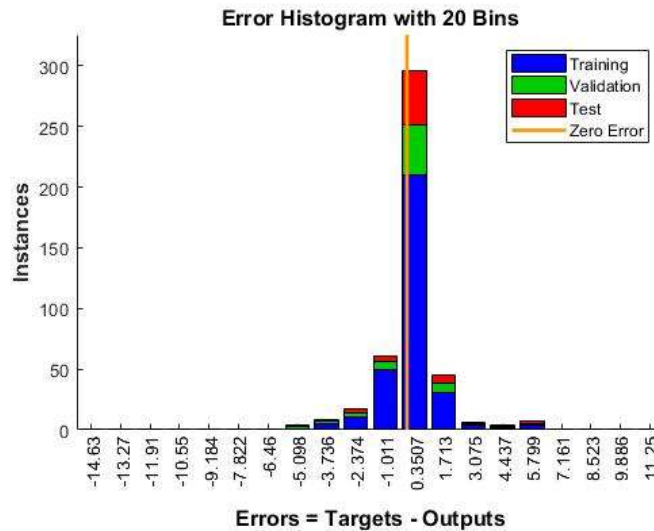


Figura 6.8 Histograma erorilor pentru funcția trainlm

## 6.2.2 Performanța rețelei antrenate cu algoritmul de regularizare bayesiană

Datele de progres ale rețelei antrenate folosind regularizarea bayesiană sunt prezentate mai jos.

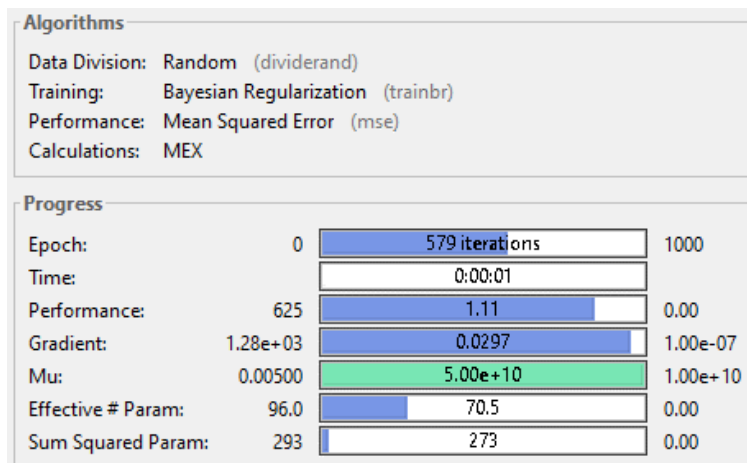
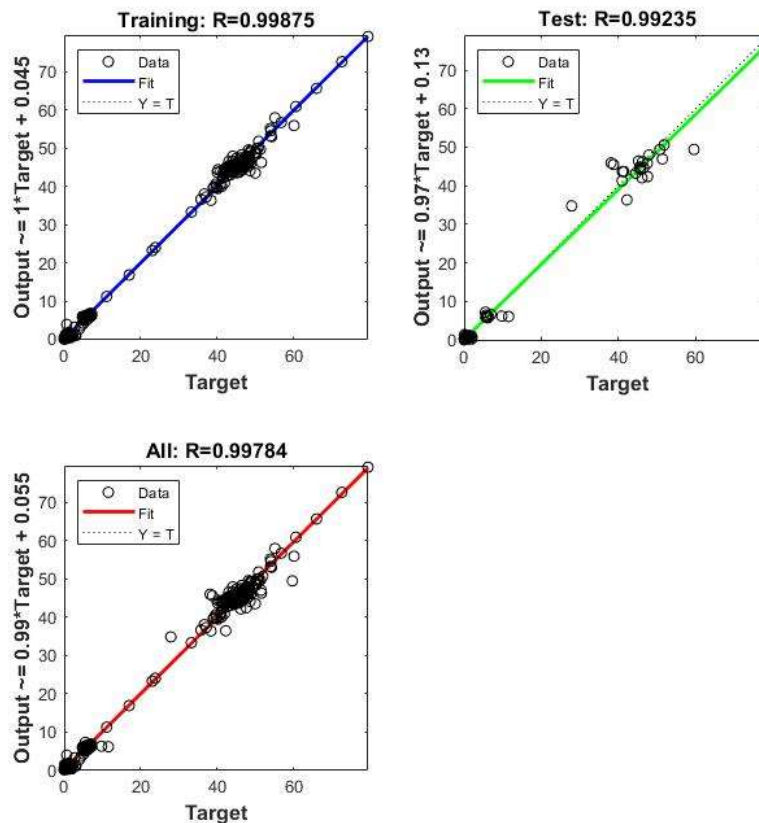


Figura 6.9 Algoritmii și progresul rețelei antrenate cu trainbr

## VALIDAREA, OPTIMIZAREA ȘI PREVIZIUNEA PROCESELOR FOLOSIND ELEMENTE DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ

Algoritmul de regularizare bayesiană folosește doar setul de antrenare și cel de testare. Validarea propriu-zisă este inclusă în algoritm. Precizia rețelei pentru etapa de antrenare este de 0,99875, iar pentru etapa de testare este de 0,99235. În ansamblu, precizia rețelei este de 0,99784.



**Figura 6.10** Precizia rețelei antrenate cu funcția trainbr

Algoritmul s-a oprit atunci când rata de învățare a devenit foarte mare,  $\mu = 5 \cdot 10^{10}$ , după 579 de epoci (iterații). În acel moment, gradientul funcției de eroare era de 0,029694, iar suma pătratelor ponderilor asociate celor 70 parametri a fost de 273,1542. Rata de învățare foarte mare corespunde situației în care nici numărul de parametri ai rețelei și nici suma pătratelor ponderilor acestora nu se mai modifică semnificativ – ajungându-se la o situație de convergență a algoritmului.

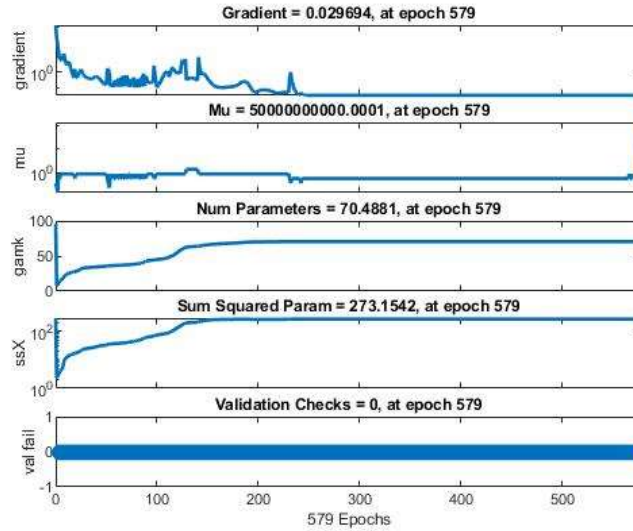


Figura 6.11 Parametrii pentru funcția trainbr

Cea mai bună performanță în antrenarea rețelei a fost de 1,1122, la epoca 243. Totuși, în etapa de testare, funcția de eroare a avut valori mai mari, care au oscilat de la valoarea 625 și s-au stabilizat în jurul valorii de 10.

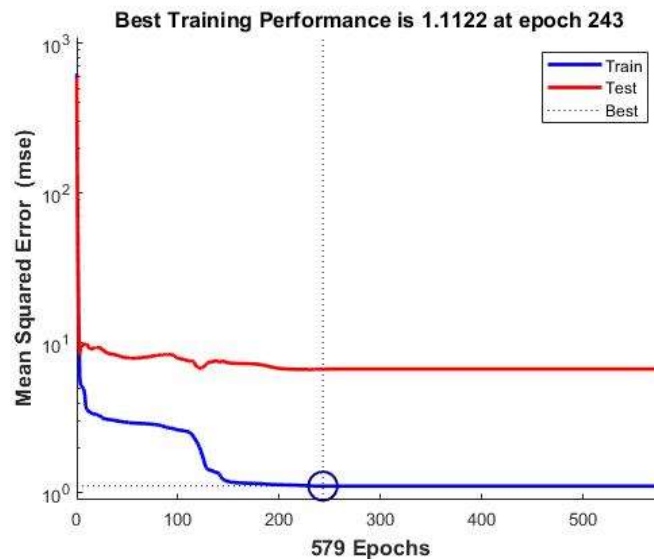


Figura 6.12 Valorile funcției de eroare pentru regularizarea bayesiană

Histograma erorilor arată că marea majoritate a erorilor, atât în etapele de antrenare și testare, cât și per ansamblu, se încadrează în jurul erorii nule, aceasta fiind o altă măsură a preciziei rețelei.

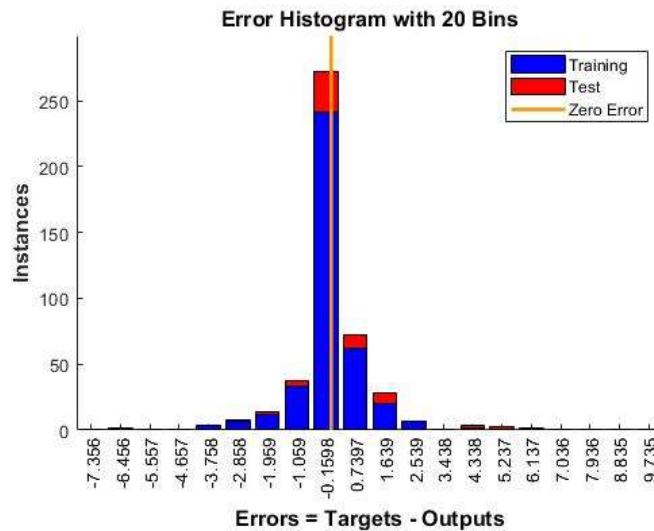


Figura 6.13 Histograma erorilor pentru funcția trainbr

### 6.3 Utilizarea arhitecturilor de rețele proiectate pentru previzionarea proprietăților fizice ale diferitelor mixturi

Cele două rețele neuronale create în paragraful anterior au fost folosite pentru a determina compoziția elementară a componentelor. Apoi, pe baza valorilor returnate de cele două rețele neuronale, a fost reconstituită puterea calorifică și a fost comparată cu cea determinată experimental. Puterea calorifică a fost calculată în două moduri:

a. folosind formula lui Mendeleev:

$$Q = 0,339 \cdot C + 1,029 \cdot H + 0,109 \cdot S - 0,109 \cdot O \quad (6.3)$$

b. folosind o ecuație de regresie pe care am determinat-o în capitolul 5, paragraful 5.1, cu ajutorul Statgraphics și pentru care precizia este de 99,6018%:

$$Q = 0,363504 \cdot C - 0,872841 \cdot Cl - 0,00671136 \cdot H + 0,316865 \cdot N + 0,0207733 \cdot O - 0,305485 \cdot S \quad (6.4)$$

Câtă vreme precizia rețelei construite cu algoritmul Levenberg-Marquardt este una bună, de 99,581%, datele returnate de rețea nu au corespondent în practică. Astfel, la un număr de 9 rețele din cele 15 pentru care am testat algoritmul, valoarea

Utilizarea arhitecturilor de rețele proiectate pentru previzionarea proprietăților fizice ale diferitelor mixturi

CI are valori negative – ceea ce este imposibil, atâta timp cât valoarea CI reprezintă în realitate cantitatea procentuală de clor din materia primă dată.

**Tabelul 6.3 Rezultate obținute folosind algoritmul Levenberg-Marquardt**

	Rețeta		Intrări			Ieșiri		
	Q	ash	C	H	O	N	S	CI
R01	15,930	0,8367	44,191	5,910	48,901	1,167	0,335	0,000
R02	18,765	0,8367	47,835	5,876	45,613	0,358	0,212	-0,024
R03	18,374	2,0736	46,479	6,130	45,150	0,692	0,216	0,036
R04	16,903	0,8944	44,933	5,929	48,122	0,859	0,291	-0,004
R05	16,211	0,8944	44,252	5,928	48,756	1,077	0,321	0,001
R06	17,347	0,5701	46,169	5,844	47,459	0,698	0,275	-0,024
R07	17,152	1,0368	44,961	5,962	47,902	0,797	0,278	0,000
R08	16,416	0,7583	44,775	5,895	48,457	1,007	0,314	-0,007
R09	16,070	0,5701	45,057	5,843	48,464	1,122	0,333	-0,015
R10	18,569	1,1511	47,077	5,949	45,866	0,447	0,218	-0,010
R11	17,834	0,5701	46,801	5,838	46,891	0,555	0,253	-0,028
R12	17,488	0,7583	45,924	5,890	47,419	0,670	0,266	-0,016
R13	17,638	1,3874	45,216	6,032	47,198	0,712	0,252	0,012
R14	17,292	1,3874	44,650	6,039	47,714	0,801	0,267	0,016
R15	16,557	0,7416	44,939	5,891	48,328	0,961	0,308	-0,009

Rețeaua construită folosind regularizarea bayesiană nu pune probleme practice, cel puțin nu pentru setul de date experimentale folosit pentru testare. În plus precizia acestei rețele (de 99,784%) este mai mare decât precizia rețelei antrenate cu algoritmul Levenberg-Marquardt. Așadar, folosirea rețelei antrenate cu algoritmul de regularizare bayesiană este de preferat.

**Tabelul 6.4 Rezultate obținute folosind algoritmul de regularizare bayesiană**

Rețeta	Intrări		Ieșiri					
	Q	ash	C	H	O	N	S	CI
R01	15,930	0,8367	38,512	7,038	49,266	1,159	0,467	0,030
R02	18,765	0,8367	48,472	5,895	45,428	0,393	0,195	0,019
R03	18,374	2,0736	47,036	6,131	45,297	0,719	0,207	0,043

VALIDAREA, OPTIMIZAREA ȘI PREVIZIUNEA PROCESELOR FOLOSIND ELEMENTE DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ

R04	16,903	0,8944	42,486	6,596	48,866	0,872	0,384	0,021
R05	16,211	0,8944	39,651	6,907	49,331	1,081	0,446	0,027
R06	17,347	0,5701	44,301	6,399	48,374	0,686	0,346	0,012
R07	17,152	1,0368	43,513	6,477	48,491	0,820	0,358	0,022
R08	16,416	0,7583	40,431	6,833	49,152	1,004	0,429	0,023
R09	16,070	0,5701	38,941	7,015	48,894	1,093	0,457	0,024
R10	18,569	1,1511	47,851	6,000	45,618	0,500	0,207	0,024
R11	17,834	0,5701	46,172	6,173	47,562	0,544	0,296	0,011
R12	17,488	0,7583	44,828	6,336	48,079	0,677	0,328	0,015
R13	17,638	1,3874	45,317	6,277	47,283	0,748	0,300	0,028
R14	17,292	1,3874	44,104	6,401	48,006	0,836	0,337	0,029
R15	16,557	0,7416	41,013	6,769	49,091	0,958	0,418	0,021

Pentru datele din Tabelul 6.3 și Tabelul 6.4 s-au aplicat formulele (6.1) și (6.2) pentru a determina o putere calorifică estimativă. Deoarece în Tabelul 6.3 există ieșiri negative corespunzătoare unor concentrații de CI din mixturi (ceea ce este imposibil din punct de vedere practic), la aplicarea formulei (6.2) valorile negative ale parametrului CI au fost înlocuite cu valoarea zero. Rezultatele sunt sintetizate în Tabelul 6.5.

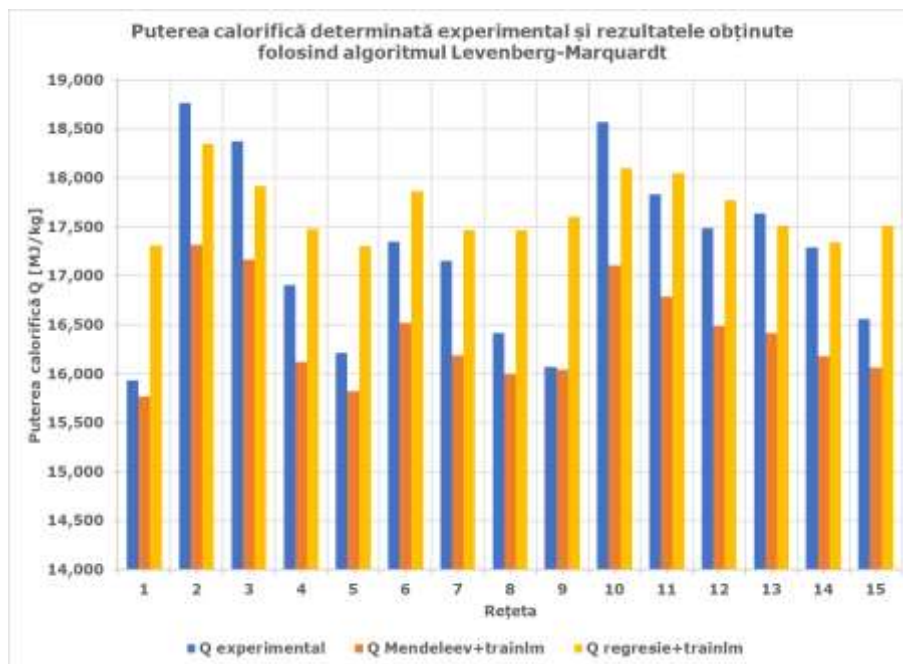
**Tabelul 6.5 Comparăție între rezultatele experimentale și cele calculate cu rețele neuronale**

Rețeta	Q experimen tal	Abaterea standard pentru Q	Q Mendelee v + trainlm	Q regresie + trainlm	Q Mendelee v + trainbr	Q regresie + trainbr
R01	15,930	0,837	15,768	17,307	14,978	15,174
R02	18,765	0,837	17,313	18,345	17,568	18,572
R03	18,374	2,074	17,166	17,914	17,339	18,124
R04	16,903	0,894	16,120	17,477	15,906	16,555
R05	16,211	0,894	15,821	17,301	15,221	15,574
R06	17,347	0,570	16,521	17,867	16,367	17,167
R07	17,152	1,037	16,185	17,466	16,170	16,912
R08	16,416	0,758	15,997	17,466	15,426	15,839
R09	16,070	0,570	16,040	17,600	15,140	15,309
R10	18,569	1,151	17,105	18,101	17,445	18,375
R11	17,834	0,570	16,790	18,046	16,852	17,803



Utilizarea arhitecturilor de rețele proiectate pentru previzionarea proprietăților fizice ale diferitelor mixturi

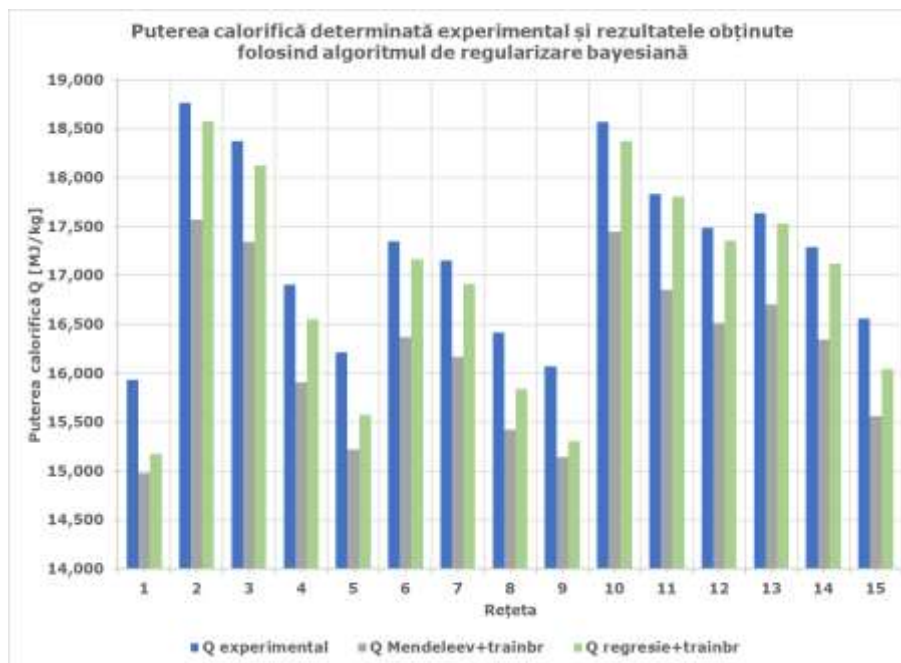
R12	17,488	0,758	16,489	17,770	16,511	17,353
R13	17,638	1,387	16,418	17,514	16,700	17,534
R14	17,292	1,387	16,179	17,339	16,342	17,123
R15	16,557	0,742	16,062	17,510	15,563	16,040



**Figura 6.14** Comparație între rezultatele experimentale și cele calculate cu algoritmul Levenberg-Marquardt

Se poate observa că, prin aplicarea formulei lui Mendeleev asupra ieșirilor rețelelor neuronale, atât în cazul funcției trainlm cât și în cazul funcției trainbr, valorile pentru puterea calorică sunt mai mici decât valorile experimentale. Mai mult, în general valorile corespunzătoare rețelei antrenate cu trainbr sunt, în general, mai mici decât cele corespunzătoare rețelei antrenate cu trainlm.

Se mai poate remarca faptul că, folosind combinația dintre rețeaua antrenată cu trainbr și regresia determinată pe baza ieșirilor rețelei, rezultatele sunt mai apropiate de rezultatele experimentale – așadar eroarea este mai mică.



**Figura 6.15** Comparație între rezultatele experimentale și cele calculate cu algoritmul de regularizare bayesiană

După cum se arată și în literatura de specialitate [75], torefierea și utilizarea de aditivi conduc la creșterea puterii calorifice a combustibilului obținut din biomasă. Deoarece această creștere încă depinde de puterea calorică inițială a biomasei, determinarea puterii calorifice a unui tip de biomasă în absența torefierii este încă o problemă interesantă. Astfel, se pot alege mixturile care dau cele mai mari puteri calorifice, iar apoi acestora să li se aplice torefierea și, eventual, să li se adauge aditivi pentru a obține biocombustibili cu o putere calorică superioară.

Inteligența artificială furnizează cercetătorului unelte versatile, care pot fi folosite cu succes în planificarea cercetării.

RNA pot fi utilizate cu succes pentru a estima rezultatul unei anumite combinații de date de intrare într-o anumită situație, în ciuda unor probleme care intervin în practică de tipul unei complexități prea mari a modelului matematic, a unei precizii prea mici a acestui model sau seturi de date incomplete, afectate de zgomot sau bias, sau prea multe restricții impuse modelului. Cel mai important este faptul că RNA permit procesarea simultană, atât a datelor cantitative, cât și a celor calitative.

## 6.4 Concluzii parțiale

În acest capitol a fost construită o rețea neuronală artificială care să determine, cu o precizie cât mai mare, compoziția elementară a unui material, atunci când se cunoaște puterea calorică a acestuia și cenușa reziduală rezultată în urma arderii sale.

## Concluzii parțiale

---

Au fost antrenate două rețele, una cu algoritmul Levenberg-Marquardt și una cu algoritmul de regularizare bayesiană. Rețeaua cea mai precisă este cea pentru care se folosește regularizarea bayesiană. În plus, rețeaua neuronală antrenată cu algoritmul Levenberg-Marquardt furnizează răspunsuri negative – ceea ce nu are sens, pentru că semnificația răspunsurilor este o concentrație, care trebuie să fie un număr pozitiv.

Folosind o formulă determinată în capitolul 5, a fost calculată, pornind de la compozițiile elementare furnizate de către cele două rețele neuronale valoarea pentru puterea calorifică corespunzătoare rețetelor din planul experimental analizat în capitolul 4.

Rezultatele care au aproximat cel mai bine datele experimentale sunt cele obținute cu algoritmul de regularizare bayesiană și formula de calcul a puterii calorifice determinată în capitolul 5, chiar dacă acestea sunt mai mici decât valorile determinate experimental.

În concluzie, rețeaua neuronală antrenată cu algoritmul de regularizare bayesiană poate fi folosită pentru a completa informațiile care lipsesc referitoare la proprietățile chimice ale unei materii prime. Aceasta permite, mai apoi, adăugarea materiei prime în baza de date și folosirea soluției software descrisă în capitolul 5 pentru a determina o rețetă performantă de pește.

## **7 CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE ALE CERCETĂRII**

### **7.1 Concluzii generale**

Pornind de la nevoia de inovare în producția de peleți și brichete pentru încălzire, exprimată de o firmă care activează în domeniu, cercetarea de față a oferit o serie de răspunsuri legate de inovarea liniei de producție, de posibilitatea de diversificare a producției și de determinare de rețete optime date fiind materiile prime disponibile pentru a fi prelucrate.

Într-o primă fază, a fost descrisă linia de producție și contribuția la inovarea liniei de producție prin atragerea de fonduri europene. Apoi au fost discutate posibilități de dezvoltare ulterioară și diversificare a producției, bazate pe rezultatele din această teză sau pe rezultate obținute cu metode similare.

Au fost studiate apoi caracteristici ale unor rețete empirice (putere calorifică inferioară, cenușă, noxe) și, pentru o rețetă, influența aditivilor asupra calității peletilor obținuți fizic.

În paralel au fost dezvoltate două soluții software de sine stătătoare pentru determinarea unei rețete optime de peleți (pentru care puterea calorifică să fie maximă, atunci când cenușa și noxele se încadrează în limitele unui anumit standard) și o rețea neuronală artificială pentru previzionarea puterii calorifice obținute în cazul în care este cunoscută compoziția elementară a componentelor.

Prima soluție se referă la amestecuri de 2 componente (la care se poate adăuga, eventual, aditiv), iar a doua soluție se referă la amestecuri de minim 2 componente (la care se poate adăuga, eventual, aditiv). Rețeaua neuronală a furnizat rezultate apropiate de cele obținute experimental, fiind utilizabilă cu succes chiar dacă inputurile sunt incomplete (compoziția elementară a componentelor rețetei nu este cunoscută în totalitate).

### **7.2 Contribuții personale**

Prezenta lucrare aduce o serie de contribuții personale de natură teoretică, experimentală sau aplicabilă industrial, bazate pe studii documentare, modelare teoretică și cercetări experimentale realizate pe durata stagiului de pregătire doctorală. Acestea vor fi sumarizate în continuare, împreună cu importanța lor și domeniile de aplicabilitate.

Rezultatele originale obținute în urma studiului liniei tehnologice și a posibilităților de optimizare a acesteia (dintre care o parte au fost publicate în [84]) sunt constituite din cele două propuneri de dezvoltare durabilă a unei firme care produce peleți sau brichete pentru încălzire.

Ca rezultate originale obținute în urma cercetărilor experimentale sunt de menționat: o metodologie a cercetărilor, o serie de rețete de peleți realizate cu materii prime din zonă din a căror analiză au rezultat formule pentru puterea calorifică și cantitatea de cenușă reziduală a peletilor realizați din mixturi de materie primă, o analiză a modului în care un anumit aditiv influențează calitățile peletilor realizați din

două materiale, o analiză a posibilităților de diversificare a producției și identificarea de direcții conexe de cercetare. O parte a rezultatelor originale obținute în acest capitol au fost publicate în [85],[86].

Cele mai importante rezultate originale din punct de vedere al aplicării conceptelor de cercetări operaționale la determinarea unor rețete optime de peleți de încălzire sunt: formularea din punct de vedere matematic a problemei de optimizare în cazul amestecurilor de 2 sau mai multe componente, stabilirea de condiții necesare pentru existența soluției și scrierea soluției pentru problema de optimizare asociată amestecurilor de 2 componente, o soluție software bazată pe forța brută pentru determinarea unei rețete de peleți din 2 componente și o soluție software bazată pe algoritmul simplex pentru determinarea unei rețete de peleți din mai multe componente, cu sau fără aditiv. O parte din aceste rezultate au fost publicate în [80],[64],[81].

Rezultatele originale referitoare la tehnicile de inteligență artificială aplicabile în determinarea rețetelor de peleți de încălzire (dintre care o parte au fost publicate în [86]) sunt: o rețea neuronală care să determine compoziția elementară a biocombustibilului pornind de la puterea calorifică și cantitatea de cenușă reziduală și de o evaluare a posibilității de a aplica această metodă în combinație cu soluția software identificată în capitolul 5 pentru a determina noi rețete de peleți care să maximizeze puterea calorifică în timp ce țin cont de constrângerile impuse de standardele internaționale în vigoare.

Astfel, obiectivele primare și cele secundare asumate pentru prezenta cercetare doctorală au fost atinse. Principalele contribuții și rezultate, precum și obiectivele cărora acestea le corespund, vor fi sumarizate în continuare.

### 7.2.1 Contribuții teoretice

Principalele contribuții de natură teoretică sunt:

- **construirea unei baze de date cu biomasa care poate fi prelucrată în zonă.** Această bază de date a fost realizată în urma cercetărilor din teren și a discuțiilor cu firme producătoare de peleți și brichete pentru încălzire. Datele introduse au fost obținute fie experimental fie, acolo unde nu a existat posibilitatea determinării lor experimentale, ele au fost obținute din literatura de specialitate. Această bază de date are o importanță deosebită pentru determinarea apriori a rețetelor de fabricație de peleți care să se încadreze în limitele unor standarde internaționale. Astfel, un producător care folosește această bază de date economisește timp, efort și resurse materiale atunci când își propune să realizeze o nouă rețetă de peleți. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și la realizarea obiectivelor secundare OS3 și OS4.
- **construirea unei rețele neuronale care să previzioneze compoziția elementară a unui material pornind de la puterea calorifică și cantitatea de cenușă reziduală ale acestui material.** Această rețea neuronală permite adăugarea de intrări în baza de date cu materiale disponibile în zonă, atunci când pentru materialele analizate nu se cunosc decât puterea calorifică și cantitatea de cenușă reziduală rezultată în urma arderii. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și la obiectivele secundare OS3 și OS4.
- **determinarea unui model pentru puterea calorifică și cenușa reziduală a peletilor pe baza compoziției rețetei din care au fost produși.** Acest model permite unui utilizator selectarea apriorică de rețete pentru care puterea calorifică și cenușa să se încadreze în anumite limite, reducând astfel costurile de cercetare

industrială. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivelor primare OP1 și OP2, dar și a obiectivelor secundare OS3 și OS4.

- **scrierea problemei de optimizare liniară asociată producției de peleți pentru încălzire în cazul amestecurilor de două sau mai multe componente.** Aceasta constituie primul pas pentru determinarea teoretică a condițiilor în care există rețete de peleți care să maximizeze puterea calorifică în timp ce cantitatea de cenușă reziduală și noxele rezultate în urma arderii se încadrează în anumite limite. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivelor primare OP1 și OP2 și a obiectivelor secundare OS2, OS3, OS4.
- **determinarea unor proprietăți matematice ale problemei de optimizare liniară** în cazul amestecurilor de două componente și în cazul amestecurilor de mai multe componente. Aceste proprietăți permit determinarea apriorică a unei rețete de peleți formată din 2 componente (sau 2 componente + aditiv), reducând astfel semnificativ timpii necesari pentru identificarea și realizarea unor noi rețete optime de peleți. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivelor primare OP1 și OP2 și a obiectivelor secundare OS2, OS3, OS4.

### 7.2.2 Contribuții experimentale

Principalele contribuții de natură experimentală sunt:

- **verificarea în fabrică a fezabilității diverselor tipuri de peleți ale căror rețete au fost obținute teoretic.** Astfel s-au validat rezultatele teoretice obținute și s-au creat premisele utilizării acestora pe scară mai largă, pentru obținerea de noi tipuri de biocombustibili solizi. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și a obiectivului secundar OS1.
- **verificarea proprietăților unor amestecuri empirice de peleți.** Pe baza acestor proprietăți au fost construite modele și au putut fi determinate contribuțiile procentuale ale unor tipuri de biomasă într-o rețetă de peleți atunci când puterea calorifică a acestora și cantitatea de cenușă reziduală rezultată în urma arderii se încadrează în anumite limite. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și a obiectivelor secundare OS1, OS3.
- **verificarea influenței aditivului asupra calității peleiților.** Pe baza acestor rezultate experimentale au fost construite modele și au fost determinate valori minime și maxime pentru puterea calorifică, cenușa reziduală, pentru dimensiunile peleiților, pentru densitatea particulelor și densitatea de vrac. Aceste valori se încadrează în standardele internaționale și permit o previziune a calităților peleiților în funcție de nivelul aditivului din rețetă. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și a obiectivelor secundare OS1, OS3.

### 7.2.3 Contribuții aplicabile industrial

Principalele contribuții aplicabile industrial sunt:

- **premisele de optimizare a liniei tehnologice prin atragerea de fonduri europene.** Deși finanțarea prin fonduri europene constituie un ajutor important pentru orice firmă care dorește să se dezvolte, o importanță majoră o au proiectele care se adresează cercetării și dezvoltării industriale. Din acest punct de vedere, cele două proiecte prezentate în această lucrare se constituie în modele

de finanțare a inovării tehnologice. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivelor primare OP1 și OP2 și a obiectivelor secundare OS2, OS3.

- **posibilitatea de optimizare a rețetelor de peleți pentru încălzire folosind soluțiile software dezvoltate.** Cele două soluții software fiind deja validate la nivelul unor întreprinderi care produc peleți pentru încălzire, apreciem că ele au atins un nivel de maturitate tehnologică (TRL) de 6 (pe o scară de la 1 la 9). Astfel se pun bazele transfer tehnologic de la cercetarea teoretică spre mediul industrial, cu rezultate în creșterea competitivității firmelor. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivelor primare OP1 și OP2 și a obiectivelor secundare OS3, OS4.
- **premisele producerii de furaje pentru animale.** În mod similar cu standardele pentru biocombustibili solizi există standarde aplicabile în producția de furaje pentru animale. Acestea se realizează tot prin peletizare, așadar conceptele prezentate în această teză (de la soluțiile de optimizare a liniilor de producție și până la soluțiile de optimizare a rețetelor de producție) pot fi aplicate cu succes și pentru producerea de furaje pentru animale, iar astfel o firmă producătoare de peleți își poate diversifica domeniul de activitate. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP2 și a obiectivului secundar OS3.
- **premisele producerii de îngrășăminte agricole.** La nivel conceptual și cu costuri minime, atât soluțiile de optimizare a liniilor tehnologice cât și cele de determinare a unor rețete de peleți de încălzire pot fi transferate în producția de îngrășăminte agricole complexe, constituind astfel o nouă direcție de dezvoltare în cadrul unei firme producătoare de peleți. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP2 și a obiectivului secundar OS3.
- **premisele îmbunătățirii calității peletilor de salcie și a dezvoltării durabile a firmei** prin valorificarea scoarței de salcie în scopuri fitoterapeutice. În cazul unor firme care realizează peleți din salcie, separarea lemnului de scoarță poate aduce beneficii importante: crește puterea calorică a peletilor, scade cantitatea de cenușă reziduală și în plus, din scoarța de salcie se poate extrage o anumită cantitate de salicină care mai apoi ar putea fi folosită în scop fitoterapeutic. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP2 și a obiectivului secundar OS3.

### 7.3 Perspectivă de dezvoltare ulterioară

În urma experienței acumulate de-a lungul stagiului de cercetare doctoral, au fost identificate următoarele direcții de dezvoltare ulterioară:

- îmbunătățirea în continuare a liniei de producție prin adăugarea de noi utilaje și tehnici de automatizare
- posibilitatea de a produce nutrețuri care să răspundă cerințelor nutriționale a anumitor categorii de animale sau producerea unui nutreț "universal" care să corespundă cerințelor nutriționale ale cât mai multor categorii de animale
- posibilitatea de a folosi nămoluri din stațiile de epurare pentru producerea de îngrășăminte, concomitent cu dezvoltarea unei baze de date cu acestea care să permită consilierea agricultorilor în privința folosirii în condiții sigure și legale a acestora
- separarea scoarței de salcie în scopul îmbunătățirii calității peletilor pentru încălzire, concomitent cu determinarea de rețete optimizate de mixturi pentru peleți și valorificarea scoarței în scopuri fitoterapeutice
- oferirea de soluții optime, personalizate, plecând de la bazele de date și modelele construite în domeniile menționate anterior

- transformarea soluției software dezvoltată în teză într-una mai prietenoasă cu utilizatorul și folosirea ei pe scară mai largă în producția de peleți și brichete pentru încălzire

Prezenta lucrare conține atât rezultate teoretice, cât și experimentale și aplicabile industrial care pot să constituie un transfer de tehnologie de la mediul de cercetare academică și industrială la mediul de afaceri. Aceasta constituie premisa creșterii competitivității atât pentru firmele din diverse domenii care realizează peleți.

Rezultatele cercetărilor doctorale prezentate în această lucrare s-au concretizat într-un software pentru optimizarea compoziției peletilor și brichetelor utilizați la încălzire. Marele avantaj al soluției software pe care am validat-o și o propunem este că reduce semnificativ resursele alocate cercetării experimentale, furnizând rețete de fabricare gata de a fi folosite, pe baza materiilor prime disponibile la un moment dat și într-o anumită zonă. Această soluție software reprezintă un transfer tehnologic care se adresează în primul rând firmelor mici care produc biocombustibili solizi și care nu își permit să investească multe resurse materiale și de timp în cercetare-dezvoltare, concomitent cu posibilitatea de a păstra producția flexibilă, în funcție de materialele din zonă. Nivelul actual de maturitate tehnologică al soluției propuse este TRL 6 - fiind în prezent testată la scară reală în cadrul unei firme producătoare de peleți de la Cenei. Urmează ca în viitor rezultatele cercetării să fie implementate în medii funcționale pe scară mai largă, atingând astfel toate etapele de dezvoltare ale unui proiect de transfer tehnologic.



## LISTA DE LUCRĂRI PROPRII

### Lucrări indexate ISI

- Slavici, T., **Maris, S.**, & Pirtea, M. (2016). Usage of artificial neural networks for optimal bankruptcy forecasting. Case study: Eastern European small manufacturing enterprises. *Quality & Quantity*, 50(1), 385-398.
- Szuhaneck, R., Fleser, T., **Maris, S.**, & Szuhaneck, C. (2016). Risk Modeling in Plastics Processing for the Health System. *MATERIALE PLASTICE*, 53(1), 73-75.
- **Maris, S.**, Slavici, T., Nenu, P., & Baci, L. (2017). Artificial Intelligence as a Decision-making Tool in Planning the Research. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 8(3), 69-76.
- **Maris, S.**, Maris, S. A., Dungan, L., & Slavici, T. (2018). Re-shaping Education: Role of Internet Resources in Increasing the Efficiency of the Educational Process. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 9(1), 132-137.
- Ionica, D. A., Maris, S. A., Dicu, R., & **Maris, S.** (2019). Linear Programming Tool for the Optimization of Mixed Biomass Fuel Recipes. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 10(3), 139-149.
- Patrut, B., Maris, S. A., & **Maris, S.** (2020). Coding with Patience (Programare cu Rabdare)—a Non-Formal Educational Initiative to Increase the ICT Skills. *Postmodern Openings*, 11(3), 290-302.

### Conferințe indexate ISI

- **Maris, S.** (2009, December). Some properties of the stationary solution in the case of solidification using Bridgman technique. In *Proceedings of the 14th WSEAS International Conference on Applied mathematics* (pp. 42-46).
- **Maris, S.**, & Braescu, L. (2010, November). Effect of the temperature profile on the fluid flow and interface deflection in the case of crystals grown by Bridgman technique. In *Proceedings of the 12th WSEAS international conference on Mathematical and computational methods in science and engineering* (pp. 187-191).
- Molnar-Matei, F., Iovan, M., & **Maris, S.** (2013, April). Mathematical Function of a Signal Generator for Voltage Dips Analysis. In *2013 UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation* (pp. 569-574). IEEE.
- Filipovici, A., Mnerie, A. V., Bădescu, D., Bota, M., **Maris, S.**, Baesu, V., ... & Ungureanu, D. (2014). Agribusiness projects assessment using cost-benefit analyses. In *Proceedings of the 42nd International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 25-28 February, 2014* (pp. 439-445). University of Zagreb Faculty of Agriculture.
- **Maris, S.**, Nenu, P. F., Maris, S. A., & Slavici, T. (2017). Estimating the calorific value of pellets from different blends of biomass. In *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, 21-24 February 2017, Opatija, Croatia* (pp. 459-464). University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- Nenu, P. F., Maris, S. A., Forgacs, L., & **Maris, S.** (2017). Use of biomass in coal steam boilers. In *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, 21-24 February 2017, Opatija, Croatia* (pp. 473-479). University of Zagreb, Faculty of Agriculture.

- Maris, S. A., Tucu, D., Banabatsas, T., Nagy, V., **Maris, S.**, & Nenu, P. F. (2017). Possibilities of using the robots in greenhouses. In *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, 21-24 February 2017, Opatija, Croatia* (pp. 531-537). University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- **Maris, S.**, Cernescu, L. M., Maris, S. A., Darvasi, D., & Slavici, T. (2018). Determining efficient mixtures of biomass for pellet production. In *Proceedings 46th International Symposium: Actual tasks on agricultural engineering, Opatija, Croatia, 27th February-1st March, 2018* (pp. 359-368). University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- **Maris, S.**, Mariș, Ș. A., Cojocariu, N., & Humița, M. (2018, November). Using ICT support for STEM education in disadvantaged youth learning. In *2018 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)* (pp. 1-4). IEEE.

### Lucrări și conferințe indexate BDI

- **Maris, S.**, Balint, A.M., Balint, St. (2005). A theorem of existence and uniqueness of a stationary solution in the case of unidirectional solidification. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Nonlinear Problems in Aviation and Aerospace Sciences (Timisoara, Romania)* (pp.443-450). Cambridge Scientific Publishers, Cambridge.
- **Maris, S.**, Neculae, A., Balint, A.M. (2005). Numerical simulation of the solidification process for a binary alloy in a Bridgman-Stockbarger installation. In *Proceedings of 9th National Conference of the Romanian Mathematical Society, (Lugoj, Romania)*. West University Press.
- **Maris, S.**, Neculae, A., Balint, St. (2007). Determination of the thermal field, flow and concentration fields in a directional solidification system. *Analele Universitatii de Vest din Timisoara, Seria Matematica-Informatica*, XLV/2, 33-47.
- **Maris, S.** (2010). Determination of the stationary solution in the case of solidification using Bridgman technique. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 4/1, 58-65.
- **Maris, S.**, Braescu, L. (2011). Numerical study on the fluid flow and interface deflection in the case of crystals grown by Bridgman technique. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 5/1, 142-149.
- **Mariș, S.**, Cernescu, L., Mnerie, G.V., Dungan, L. (2015). Managerial considerations on nonconventional technologies to capitalization of the energy resources. *Nonconventional Technologies Review* XIX(1), 35-40
- **Maris, S.**, Nenu, P., Maris, St., Cernescu, L. (2016). Financing Methods For Innovative Start-Ups In The Domain Of Nonconventional Energies. *Nonconventional Technologies Review* XX(3), 65-70
- Cojocariu, N., Humița, M., **Maris, S.**, Jădăneanț, M. (2018). Management of heating systems using medium power boilers. *Nonconventional Technologies Review* XXII(3), 45-49

### Cursuri și cărți

- **Mariș, S.**, & Brăescu, L. (2008). *Metode numerice: probleme de seminar și lucrări de laborator*. Editura Universității de Vest.
- Mnerie, G.V., Dorneanu, L., Mnerie, D., Nani, V., **Maris, S.**, Saizescu, C., Ularu, N. (2012). *Elemente de matematici aplicate, statistică și econometrie*. Editura Fundației pentru Cultură și Învățământ „Ioan Slavici”, Editura Eurostampa.

- Ularu, N., Mnerie, G.V., Dorneanu, L., Mnerie, D., **Maris, S.**, Saizescu, C., Slavici, T. (2015). *Elemente de algebră, analiză matematică și matematici discrete*. Editura Fundației pentru Cultură și Învățământ „Ioan Slavici”, Editura Eurostampa.
- **Maris, S.**, Pataki, I., Staicu, R. (coordinators) (2017). *Incubator de inovare in educatie, „The Safe Spot”*. Editura Fundației pentru Cultură și Învățământ „Ioan Slavici”, Editura Eurostampa.
- **Maris, S.**, Ghergan, O., Slavici, T. (2018). *Limbaje de programare. Suport de curs. Tehnici de laborator si proiect*. Editura Fundației pentru Cultură și Învățământ „Ioan Slavici”.
- **Maris, S.**, Slavici, T. (2019). *Inteligență artificială*. Editura Fundației pentru Cultură și Învățământ „Ioan Slavici”.
- **Maris, S.**, Ghergan, O., Slavici, T. (2019). *Limbajul C. Suport de curs. Tehnici de laborator si proiect*. Editura Fundației pentru Cultură și Învățământ „Ioan Slavici”.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Aarseth, K., & Prestløkken, E. (2003). Mechanical properties of feed pellets: Weibull analysis. *Biosystems engineering*, 84(3), 349-361.
- [2] ANAF. (2017). *Medium prices for different types of crops*. Preluat pe 10 02, 2017, de pe <https://static.anaf.ro>: [https://static.anaf.ro/static/10/Anaf/AsistentContribuabili\\_r/Judete\\_Preturi\\_Agricole\\_2017.htm](https://static.anaf.ro/static/10/Anaf/AsistentContribuabili_r/Judete_Preturi_Agricole_2017.htm)
- [3] ANSVSA. (2014). *Ghid european de bune practici pentru fabricarea industrială de materii prime furajere sigure, versiunea 3.1*.
- [4] Asociația Producătorilor de Peleți și Brichete din România. (2016). Preluat pe 11 12, 2016, de pe Asociația Producătorilor de Peleți și Brichete din România: <http://peletibrichete.ro/>
- [5] Ata, R. (2015). Artificial neural networks applications in wind energy systems: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 534-562.
- [6] Ayo, A., & Ehiabhi, T. (2014). Modeling Linear Programming Problem Using Microsoft Excel Solver. *Nigeria Journal of Business Administration*, 12(1&2), 163-79.
- [7] Balan, M., & Mădărășan, T. (fără an). *Arderea Combustibililor*. Preluat pe 06 11, 2017, de pe <http://www.termo.utcluj.ro/termo/06ardere.pdf>
- [8] Baltic Energy Conservation Agency. (2009). *Final report on producers, traders and consumers of mixed biomass pellets*.
- [9] Beale, M., Hagan, M., & Demuth, H. (2012). *Neural Networks Toolbox-User's Guide*. The MathWorks, Inc.
- [10] Belc, N., & Onisei, T. (2018). *Ghidul suplimentelor alimentare pe bază de plante medicinale aromatice și produse ale stupului*. (I. N.-D. București, Ed.) București: Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale.
- [11] Biedermann, F., & Obernberger, I. (2005). *Ash-related problems during biomass combustion and possibilities for a sustainable ash utilisation*. Preluat pe 06 15, 2016, de pe <http://www.biosbioenergy.at>: <https://www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Biedermann-AshRelated-2005-10-11.pdf>
- [12] Big, R. (2004). *Cercetări Operaționale pentru Facultăți Tehnice - note de curs*. Baia Mare: Editura Fundației CDIMM Baia Mare.
- [13] Boumanchar, I., Chhiti, Y., Alaoui, F. E., El Ouinani, A., Sahibed-Dine, A., Bentiss, F., . . . Bensitel, M. (2017). Effect of materials mixture on the higher heating value: Case of biomass, biochar and municipal solid waste. *Waste management*, 61(7).
- [14] Breaz, N., Căbulea, L., Pitea, A., Zbăganu, G., Tudorache, R., & Rasa, I. (2013). *Probabilități și statistică*. Editura StudIS.
- [15] Burden, F., & Winkler, D. (2008). Bayesian regularization of neural networks. *Artificial neural networks*, 23-42.
- [16] Bychkov, A. L., Denkin, A. I., Tikhova, V. D., & Lomovsky, O. I. (2017). Prediction of higher heating values of plant biomass from ultimate analysis data. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 130(3), 1399-1405.
- [17] Caicedo, M., Barros, J., & Ordás, B. (2016). Redefining Agricultural Residues as Bioenergy Feedstocks. *Materials*, 9.

- [18] Căproiu, M., Chelemen, I., Ciubotaru, C., Ghinea, T., & Iancu, A. (1982). *Mașini și instalații zootehnice*. București: Editura Didactică și Pedagogică.
- [19] CE. (2009). *Regulamentul (CE) nr. 767/2009 al Parlamentului European*. Consiliul European.
- [20] CE. (2013). *Regulamentul (CE) nr. 68/2013 din 16 ianuarie 2013 privind Catalogul cu materii prime pentru furaje*. Consiliul European.
- [21] CEN (European Committee for Standardization). (2011). *BS EN 15150 Solid biofuels. Determination of particle density*.
- [22] CEN (European Committee for Standardization). (2012). *CEN (European Committee for Standardization). (2012). CSN EN 15234-2. Solid biofuels - Fuel quality assurance - Part 2: Wood pellets for non-industrial use*.
- [23] CEN (European Committee for Standardization). (2016). *BS EN ISO 18847 - Solid biofuels. Determination of particle density of pellets and briquettes*.
- [24] CEN (European Committee for Standardization). (January 2010). *EN 14961. Solid biofuels - Fuel Specification and classes, Part 1 - General requirements*.
- [25] CEN (European Committee for Standardization). (January 2010). *EN 14961-4 Solid Biofuels - Fuel Specifications And Classes - Part 4: Wood Chips For Non-Industrial Use*.
- [26] CEN (European Committee for Standardization). (Mai 2014). *EN 17225-1. Solid biofuels - Fuel Specification and classes, Part 1 - General requirements*.
- [27] CEN (European Committee for Standardization). (Mai 2014). *EN 17225-2. Solid biofuels - Fuel Specification and classes, Part 2 - Graded wood pellets*.
- [28] CEN (European Committee for Standardization). (Mai 2014). *EN 17225-6. Solid biofuels - Fuel Specification and classes, Part 6 - Graded non-woody pellets*.
- [29] Cernii, O. (2016). *Tratarea nămolurilor de la stația de epurare a apelor uzate din or. Chișinău*. teză de masterat, Universitatea Tehnică a Moldovei.
- [30] Chandrakantha, L. (2011). Using Excel Solver in optimization problems. *Electronic Proceedings of the Twenty-third Annual International Conference on Technology in Collegiate Mathematics*, (p. 42). Denver, Colorado.
- [31] Chapman, S. J. (2015). *MATLAB programming for engineers*. Nelson Education.
- [32] Chen, D., Batson, R., & Dang, Y. (2011, 09 20). *Applied integer programming: modeling and solution*. John Wiley & Sons.
- [33] Chiba, L. I. (2009). *Animal Nutrition Handbook, Second Revision*.
- [34] Christoforou, E., & Fokaidis, P. (2019). Solid biofuels in trading form in global markets. În *Advances in Solid Biofuels* (pg. 57-68). Springer.
- [35] Cicală, E.-F. (1999). *Metode de prelucrare statistică a datelor experimentale*. Timișoara: Editura Politehnica.
- [36] Davenport, T., & Short, J. (1990). The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign. *Sloan Management Review*, 31(4).
- [37] Davis, S. C., Hay, W., & Pierce, J. (2014). *Biomass in the energy industry: an introduction*. London, United Kingdom: BP plc.
- [38] Đerčan, B., Lukić, T., Bubalo-Živković, M., Đurđev, B., Stojavljević, R., & Pantelić, M. (2012). Possibility of efficient utilization of wood waste as a renewable energy resource in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3).
- [39] DEXONLINE. (2017, 08 20). *optimizare - definiție și paradigmă*. Preluat de pe <https://dexonline.ro/definitie/%20optimizare>

- 
- [40] DEXONLINE. (2021, 10 15). *brichete - definiție și paradigmă*. Preluat de pe <https://dexonline.ro/definitie/brichete>
- [41] ENER-SUPPLY. (2012). *Manual - surse regenerabile de energie*. Preluat de pe [http://www.ener-supply.eu/downloads/ENER\\_handbook\\_ro.pdf](http://www.ener-supply.eu/downloads/ENER_handbook_ro.pdf)
- [42] Estiati, I., Freire, F. B., Freire, J. T., Aguado, R., & Olazar, M. (2016). Fitting performance of artificial neural networks and empirical correlations to estimate higher heating values of biomass. *Fuel*, *180*, 377-383.
- [43] European Comission. (2013). *A Clean Air Programme for Europe*. Preluat pe 10 4, 2017, de pe <http://eur-lex.europa.eu>: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0918&from=EN>
- [44] European Medicines Agency. (2017). *Assessment report on Salix [various species including S. purpurea L., S. daphnoides Vill., S. fragilis L.], cortex*. European Medicines Agency.
- [45] Exsys. (2015). *Corvid Exsys webpage*. Preluat pe 10 2, 2015, de pe <http://www.exsys.com/exsyscorvid.html>
- [46] Ferguson, T. (2000). Preluat de pe Linear programming: A concise introduction.: <http://www.math.ucla.edu/~tom/LP.pdf>
- [47] Flach, B., Lieberz, S., & Rossetti, A. (2017). *EU Biofuels Annual 2017*.
- [48] Foresee, F., & Hagan, M. (1997). Gauss-Newton approximation to Bayesian learning. În IEEE (Ed.), *Proceedings of international conference on neural networks (ICNN'97)*, *3*, pg. 1930-1935.
- [49] Friedl, A., Padouvas, E., Rotter, H., & Varmuza, K. (2005). Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Analytica chimica acta*, *544*(1-2), 191-198.
- [50] Gallo, C. (2014). Artificial neural networks: tutorial. În M. Khosrow-Pour (Ed.), *Encyclopedia of Information Science and Technology, 3rd Ed.(10 Volumes)* (Vol. 10, pg. 179-189). Hershey, PA, USA: IGI Global.
- [51] García, R., Pizarro, C., Lavín, A., & Bueno, J. (2014). Spanish biofuels heating value estimation. Part I: Ultimate analysis data. *Fuel*, *117*, 1130-1138.
- [52] García, R., Pizarro, C., Lavín, A., & Bueno, J. (2014). Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data. *Fuel*, *117*, 1139-1147.
- [53] García-Maraver, A., Popov, V., & Zamorano, M. (2011). A review of European standards for pellet quality. *Renewable Energy*, *36*(12), 3537-3540.
- [54] Grammelis, P. (2010). *Solid Biofuels for Energy: A Lower Greenhouse Gas Alternative*. Springer Science & Business Media.
- [55] Hahn, B., & Valentine, D. (2016). *Essential MATLAB for engineers and scientists*. Academic Press.
- [56] Hardy, T. (2011). *Combustion and fuels – tutorial*. Preluat pe 09 10, 2017, de pe [http://fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/combustion\\_mpe/combustion\\_mpe\\_tutorials.pdf](http://fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/combustion_mpe/combustion_mpe_tutorials.pdf)
- [57] Hartmann, H. (Ed.). (2013). *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen 2013 (3rd edition)*. Gülzow (DE): Sonderpublikation des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.
- [58] Hayslett, H. T. (2014). *Statistics*. Elsevier.
- [59] Herman, L. (2012). *The optimization of the technological systems for using the renewable sources of energies for heating up a building (PhD thesis)*. Timisoara: Politehnica University of Timisoara.
- [60] Highfield, E., & Kempfer, K. (1999). *White Willow Bark*. Longwood Herbal Task Force.

- [61] Holubcik, M., Jandacka, J., & Malcho, M. (2015). Ash melting temperature prediction from chemical composition of biomass ash. *The Holistic Approach to Environment*, 5(3), 119-125.
- [62] Horbaniuc, B., & Dumitrașcu, G. (2008). *Procese de ardere*. Iași: Editura POLITEHNIUM.
- [63] International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9000:2015 - Quality management systems - Fundamentals and vocabulary*.
- [64] Ionica, D., Maris, S., Dicu, R., & Maris, S. (2019). Linear Programming Tool for the Optimization of Mixed Biomass Fuel Recipes. *BRAIN – Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 10(3), 139-149.
- [65] Jădăneanț, M., Ionel, I., Stoian, F., Pop, G., Lelea, D., Stoica, V., & Negoiteșcu, A. (2001). *Termotehnică și mașini termice în experimente*. Timișoara: Editura Politehnica.
- [66] Kaķitis, A., Šmits, M., & Belicka, I. (2009, May 28). Suitability of crop varieties for energy production. *Engineering for Rural Development-International Scientific Conference*, 188-193.
- [67] Kaytez, F., Taplamacioglu, M. C., Cam, E., & Hardalac, F. (2015). Forecasting electricity consumption: a comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67, 431-438.
- [68] Kennedy, M., Dinh, V. N., & Basu, B. (2016). Analysis of consumer choice for low-carbon technologies by using neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3402-3412.
- [69] Keppel, A., Finnan, J., Rice, B., Owende, P., & MacDonnell, K. (2013). Cereal grain combustion in domestic boilers. *Biosystems Engineering*, 115(2), 136-143.
- [70] Kiss, I., Alexa, V., & Sárosi, J. (2016). About the wood sawdust - one of the most important renewable energy sources. *Annals Of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal Of Engineering*, 14(1).
- [71] Kiusalaas, J. (2005). *Numerical methods in engineering with MATLAB®*. Cambridge University Press.
- [72] Klasnja, B., Kopitovic, S., & Orlovic, S. (2002). Wood and bark of some poplar and willow clones as fuelwood. *Biomass and Bioenergy*, 23, 427-432.
- [73] Krajnc, N. (2015). *Wood Fuels Handbook*. Pristina: Food and Agriculture Organization of United Nations.
- [74] Lee, M., & Kim, J. (2017, 05 13). Feasibility study and benefit analysis of biomass-derived energy production strategies with a MILP (mixed-integer linear programming) model: Application to Jeju Island, Korea. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 1-5.
- [75] Lunguleasa, A., Spirchez, C., & Griu, T. (2015). Effects and Modeling of Sawdust Torrefaction for Beech Pellets. *BioResources*, 10(3), 4726-4739.
- [76] MacKay, D. (1992). A practical Bayesian framework for backpropagation networks. *Neural computation*, 4(3), 448-472.
- [77] MacKay, D. (1992). Bayesian interpolation. *Neural computation*, 4(3), 415-447.
- [78] Marian, G., Gudîma, A., & Pavlenco, A. (2017). Influența parametrilor densificării asupra calității peleților produși din reziduuri agricole. *Stiinta agricola*, 1, 82-87.
- [79] Maris, S. (2013). Numerical characterization of the computational domains for crystals grown by Bridgman technique. *Recent Advances in Low-temperature*

- 
- Processes for the Development of RF, EO, Magnetic and Electronic Bulk and Thin Film Crystals*, (pg. 2768-2773). Montreal, Quebec, Canada.
- [80] Maris, S., Cernescu, L., Maris, S., Darvasi, D., & Slavici, T. (2018). Determining efficient mixtures of biomass for pellet production. *Actual Tasks in Agricultural Engineering (Proceedings of the 46th International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 27 February – 1 March 2018)*, (pg. 359-368). Opatija, Croatia.
- [81] Maris, S., Maris, S., & Tucu, D. (2018). An Investigation On The Influence Of Additives On The Properties Of Pellets Made From Blends Of Two Biomass Types. *XIX. Risk Factors and Food Chain Conference, Hungary, Mátrafüred, 26-28, of September, 2018*.
- [82] Maris, S., Maris, S., Dungan, L., & Slavici, T. (2018). Re-shaping Education: Role of Internet Resources in Increasing the Efficiency of the Educational Process. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 9(1), 132-137.
- [83] Maris, S., Mariş, Ş., Cojocariu, N., & Humiţa, M. (2018). Using ICT support for STEM education in disadvantaged youth learning. *2018 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC). IEEE.*, (pg. 1-4).
- [84] Maris, S., Nenu, P., Maris, S., & Cernescu, L. (2016). Financing Methods For Innovative Start-Ups In The Domain Of Nonconventional Energies. *Nonconventional Technologies Review*, XX(3), 65-70.
- [85] Maris, S., Nenu, P., Maris, S., & Slavici, T. (2017). Estimating the calorific value of pellets from different blends of biomass. *Actual Tasks in Agricultural Engineering (Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering)*, (pg. 459-464). Opatija, Croatia.
- [86] Maris, S., Slavici, T., Nenu, P., & Baciu, L. (2017). Artificial intelligence as a decision-making tool in planning the research. *Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 8(3), 69-76.
- [87] Mariş, S., Cernescu, L., Mnerie, G., & Dungan, L. (2015). Managerial considerations on nonconventional technologies to capitalization of the energy resources. *Nonconventional Technologies Review*, 19(1), 35-40.
- [88] MathWorks. (2017). Preluat de pe Matlab Programming: [https://in.mathworks.com/help/pdf\\_doc/matlab/matlab\\_prog.pdf](https://in.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/matlab_prog.pdf)
- [89] Mădărăşan, T. (2001). *Termodinamica Tehnică*. UTPress .
- [90] Mehlig, B. (2019). Artificial Neural Networks. *arXiv e-prints*, arXiv:1901.05639.
- [91] Ministerul Mediului și Gospodăririi Apelor. (2004). *Ordinul nr 344/2004 pentru aprobarea normelor tehnice privind protectia mediului si in special a solurilor cand se utilizeaza namolurile de epurare in agricultura*. Preluat de pe <https://lege5.ro/Gratuit/guztqobs/ordinul-nr-344-2004-pentru-aprobarea-normelor-tehnice-privind-protectia-mediului-si-in-special-a-solurilor-cand-se-utilizeaza-namolurile-de-epurare-in-agricultura>
- [92] Miranda, T., Montero, I., Sepúlveda, F. J., Arranz, J. I., Rojas, C. V., & Nogales, S. (2015). A review of pellets from different sources. *Materials*, 8(4), 1413-1427.
- [93] Mnerie, G., Dorneanu, L., Mnerie, D., Nani, V., Maris, S., Saizescu, C., & Ularu, N. (2012). *Elemente de matematici aplicate, statistică și econometrie*. Timișoara: Editura Fundației pentru Cultură și Învățământ „Ioan Slavici”, Editura Eurostampa.



- [94] Molnar-Matei, F., Iovan, M., & Maris, S. (2013). Mathematical Function of a Signal Generator for Voltage Dips Analysis. *UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE*, (pg. 569-574).
- [95] Montgomery, D. C. (2020). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons.
- [96] Neamț, I., Ionel, I., & Vlaicu, I. (2013). Valorificarea energetică a nămolului în stațiile de epurare municipale din România . *Buletinul AGIR, , Supliment 1*.
- [97] Nenu, P., Maris, S., Forgacs, L., & Maris, S. (2017). Use of biomass in coal steam boilers. *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, 21-24 February 2017* (pg. 473-479). Opatija, Croatia: University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- [98] Neș, A., Crișan, O., Orban, M., & Lakatos, E. (2017). Valorificarea nămolurilor provenite de la stațiile de tratare a apelor uzate din perspectiva economiei circulare. *A XVIII-a Conferință internațională - multidisciplinară „Profesorul Dorin Pavel - fondatorul hidroenergeticii românești”*. Sebeș.
- [99] Neumaier, A. (2004). Mathematical model building. În *Modeling Languages in Mathematical Optimization* (pg. 37-43). Boston, MA: Springer.
- [100] Nishiguchi, S., & Tabata, T. (2016). Assessment of social, economic, and environmental aspects of woody biomass energy utilization: Direct burning and wood pellets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57*, 1279-1286.
- [101] Nunes, L., Matias, J., & Catalao, J. (2016). Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal. *Renewable Energy, 85*, 1011-1016.
- [102] Obernberger, I., & Thek, G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and bioenergy, 27*(6), 653-669.
- [103] Obernberger, I., & Thek, G. (2010). *The Pellet Handbook The Production and Thermal Utilisation of Pellets*. Earthscan.
- [104] Parikh, J., Channiwala, S., & Ghosal, G. (2007). A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials. *Fuel, 86*, 1710-1719.
- [105] Petrișor, A. (2012). *Abordare și metode de cercetare. Note de curs*. București, România: Editura Universitară „Ion Mincu”.
- [106] Ponomarev, D., Mettee, H., & Miller, J. (2015). Empirically estimated heats of combustion of oxygenated hydrocarbon bio-type oils. *BioResources, 10*(2), 3638-3656.
- [107] Quijano-Aviles, M., Franco-Agurto, G., Suárez-Quirumbay, K., Barragán-Lucas, A., & Manzano-Santana, P. (2016, 08 01). Linear programming formulation of a dairy drink made of cocoa, coffee and orange by-products. *Emirates Journal of Food and Agriculture, 28*(8).
- [108] Rabier, F., Temmerman, M., Böhm, T., & al. (2006). Particle density determination of pellets and briquettes. *Biomass and Bioenergy, 30*(11), 954-963.
- [109] REN P.S. (2015). *Renewables 2015 global status report*. REN21 Secretariat, Paris, France .
- [110] Romsilva. (2018). *Prețuri de referință 2018*. Preluat pe 05 02, 2018, de pe <http://www.rosilva.ro/files/content/bucuresti/Preturidereferinta2018.pdf>
- [111] Rosillo-Calle, F., de Goot, P., Hemstock, S., & Woods, J. (Ed.). (2007). *The Biomass Assessment Handbook*. TJ International Ltd, Padstow.

- 
- [112] Roșca, M., & Blaga, A. C. (2008). *Termotehnica*. Oradea: Editura Universității din Oradea.
- [113] Russell, S., & Norvig, P. (2002). *Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2nd Edition*. Fort Collins, CO: Prentice Hall Series in Artificial Intelligence.
- [114] Ryan, K., Adams, K., Vosti, S., Ordiz, M., Cimo, E., & Manary, M. (2014). A comprehensive linear programming tool to optimize formulations of ready-to-use therapeutic foods: an application to Ethiopia. *The American journal of clinical nutrition*, 100(6).
- [115] Salvendy, G. (Ed.). (2001). *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*. John Wiley & Sons.
- [116] Samarasinghe, S. (2016). *Neural networks for applied sciences and engineering: from fundamentals to complex pattern recognition*. CRC Press.
- [117] Sariev, E., & Germano, G. (2020). Bayesian regularized artificial neural networks for the estimation of the probability of default. *Quantitative Finance*, 20(2), 311-328.
- [118] Schwab, K. (Ed.). (2014). *The Global Competitiveness Report 2014-2015*. World Economic Forum 2014.
- [119] Schwab, K. (Ed.). (2015). *The Global Competitiveness Report 2015-2016*. World Economic Forum 2015.
- [120] Schwab, K. (Ed.). (2019). *The Global Competitiveness Report 2015-2016*. World Economic Forum 2019.
- [121] Setiaji, P., Widjanarko, B., Syahidin, Y., Himawan, H., Siregar, N. A., Samboteng, L., & Kartikaningsih, R. (2021). Best Model and Performance of Bayesian Regularization Method for Data Prediction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1933(1).
- [122] Sheng, C., & Azevedo, J. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and Bioenergy*, 28, 499-507.
- [123] Slavici, T., Avram, C., Mnerie, G. V., Badescu, A., Darvasi, D., Molnar-Matei, F., & Ungureanu, M. A. (2013). Economic efficiency of primary care for CVD prevention and treatment in Eastern European countries. *BMC health services research*, 13(1).
- [124] Slavici, T., Maris, S., & Pirtea, M. (2016). Usage of artificial neural networks for optimal bankruptcy forecasting. Case study: Eastern European small manufacturing enterprises. *Quality & Quantity*, 50(1), 385-398.
- [125] SNC Pitesti. (2017). *Pitesti National Coal Company*. Preluat pe 10 01, 2017, de pe <http://snc-pitesti.ro/>.
- [126] Stahl, & al. (2016). Improvement of wood fuel pellet quality using sustainable sugar additives. *Bioresources*, 11(2).
- [127] Statgraphics. (2009). Preluat de pe Regression analysis: <https://www.statgraphics.com/regression-analysis>
- [128] Statgraphics. (2009). *Design of Experiments*. Preluat de pe Statgraphics: <https://www.statgraphics.com/design-of-experiments>
- [129] Statgraphics. (2016). *Statgraphics Centurion Overview*. Preluat pe 10 09, 2016, de pe [http://www.statlets.com/statgraphics\\_centurion.htm](http://www.statlets.com/statgraphics_centurion.htm)
- [130] Steiner, M., Pichler, W., & Golser, M. (2009). *Pellet market country report Romania*. Holzforschung Austria.
- [131] Stelte, W. (2014). *Optimization of product specific processing parameters for the production of fuel pellets from torrefied biomass*. Taastrup, Denmark: Center for Biomass and Biorefinery, Danish Technological Institute.

- [132] Stolarski, M., Krzyżaniak, M., Warmiński, K., & Niksa, D. (2016). Energy consumption and costs of heating a detached house with wood briquettes in comparison to other fuels. *Energy Conversion and Management*, 121, 71–83.
- [133] Straub, J. (2015). In search of technology readiness level (TRL) 10. *Aerospace Science and Technology*, 46, 312–320.
- [134] Szuhaneck, R., Fleser, T., Maris, S., & Szuhaneck, C. (2016). Risk Modeling in Plastics Processing for the Health System. *MATERIALE PLASTICE*, 53(1), 73–75.
- [135] Trandafir, R. (2004). *Modele și algoritmi de optimizare*. București: Editura AGIR.
- [136] Tumuluru, J. S., Conner, C. C., & Hoover, A. N. (2016). Method to produce durable pellets at lower energy consumption using high moisture corn stover and a corn starch binder in a flat die pellet mill. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 112.
- [137] UEFISCDI. (2020). TRL. Preluat pe 06 10, 2020, de pe [https://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PNCIDI%20III/P2\\_Cresterea%20competitivitatii%20economiei%20romaneesti/TRL.pdf](https://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PNCIDI%20III/P2_Cresterea%20competitivitatii%20economiei%20romaneesti/TRL.pdf)
- [138] Ungureanu, C., Pănoiu, N., Zubcu, V., & Ionel, I. (1998). *Combustibili. Instalații de ardere. Cazane*. Timisoara: Editura Politehnica.
- [139] Untaru, M., Rotarescu, V., & Dorneanu, L. (2012). Artificial Neural Networks for Sustainable Agribusiness: A Case Study of Five Energetic Crops. *Revista Agrociencia*, 46(5), 507–518.
- [140] USDA Foreign Agricultural Service. (2017). *EU biofuels annual 2017. Gain report no. NL7015*. Preluat pe 10 3, 2017, de pe [https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual\\_The%20Hague\\_EU-28\\_6-19-2017.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_6-19-2017.pdf)
- [141] Uzun, H., Yıldız, Z., Goldfarb, J. L., & Ceylan, S. (2017). Improved prediction of higher heating value of biomass using an artificial neural network model based on proximate analysis. *Bioresource technology*, 234, 122–130.
- [142] Viltrakytė, E. (2008). *Salicylates amount variation in diferent species of lithuanian willow*. master thesis, KAUNAS UNIVERSITY OF MEDICINE FACULTY OF PHARMACY.
- [143] Vis, M., Raa, R., van den Berg, D., & al. (2015). *D2. 1 A method for standardized biomass characterization and minimal biomass quality requirements for each biomass conversion technology*. S2Biom.
- [144] Xing, J., Luo, K., Wang, H., Gao, Z., & Fan, J. (2019). A comprehensive study on estimating higher heating value of biomass from proximate and ultimate analysis with machine learning approaches. *Energy*, 188.
- [145] Zaharia, M., & Despa, R. (2008). *Cercetări operaționale*. Editura Universitară.
- [146] Zahra, S., Van de Velde, E., & Larraneta, B. (2007). Knowledge conversion capability and the performance of corporate and university spinoffs. *Industrial and Corporate Change*, 16(4), 569–608.
- [147] Zamorano, M., Popov, V., Rodríguez, M., & García-Maraver, A. (2011). A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues. *Renewable Energy*, 36(11), 3133–3140.

## ANEXE

### Anexa 1 Codul C pentru implementarea problemei de optimizare pentru 2 componente cu sau fără aditiv

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

int i=0, nrcomp=0, NRMAX=200;
float CC, C[20], HH, H[20], OO, O[20], NN, N[20], SS, S[20], CCl, Cl[20], ppret,
pret[20], qqmin, qmin[20], ccenusa, cenusa[20];
float Nmax, Smax, Clmax, cenmax, addmax;
FILE *fp;
char *material[20];

float mat[2][5];
float aa, bb, cc, dd;
float valaditiv[9];
char numeaditiv[20];
char** c1;
int aditiv;

void Intrari()
{
    printf("Alege reteta!\n");

    char RR;
    c1=malloc(NRMAX * sizeof(char*));
    char str[100];
    fp = fopen("bazaa.txt", "r");
    printf("Aveti la dispozitie urmatoarele optiuni:\n");
    while (!feof(fp))
    {
        c1[i]=malloc(20 * sizeof(char));
        fscanf(fp, "%s %[^\\n]", c1[i], &str);
        printf("%d %s \\n", i+1, c1[i]);
        i++;
    }
    int intrarimax=i-1;
    printf("\n\nIntroduceti numarul de ordine al celor doua componente alese \\n(intre
1 si %d, cu enter dupa fiecare). \\n", intrarimax);
    int* poz=malloc(NRMAX*sizeof(int));
    for(i=0;i<NRMAX;i++) poz[i]=0;
    int intrare=1, ii=0;
    while(intrare != 0)
```

```

{
    printf("intrare=");scanf("%d", &intrare);
    poz[intrare]=1;ii++;
    if(ii==2) break;
}
poz[0]=0;
fseek( fp, 0, SEEK_SET );i=0;ii=0;
for(i=1;i<=intrarimax;i++)
{
    c1[i]=malloc(20 * sizeof(char));
    fscanf(fp, "%s",c1[i]);
    if(poz[i]==1)
    {
        material[ii]=c1[i];
        fscanf(fp,"%f", &CC); C[ii]=CC;
        fscanf(fp,"%f", &HH); H[ii]=HH;
        fscanf(fp,"%f", &OO); O[ii]=OO;
        fscanf(fp,"%f", &NN); N[ii]=NN;
        fscanf(fp,"%f", &SS); S[ii]=SS;
        fscanf(fp,"%f", &CCI); Cl[ii]=CCI;
        fscanf(fp,"%f", &ppret); pret[ii]=ppret;
        fscanf(fp,"%f", &qqmin); qmin[ii]=qqmin;
        fscanf(fp,"%f", &ccenusa); cenusa[ii]=ccenusa;
        fscanf(fp,"%[^\\n]", &str);
        ii++;
    }
    else
    {
        fscanf(fp,"%[^\\n]", str);
    }
    if (ii==2) break;
}
nrcomp=ii;
printf("Ati ales %d componente pentru reteta:", nrcomp);
for(i=0;i<nrcomp;i++)
{
    printf("\nmaterial_%d= %s", i+1, material[i]);
    mat[i][0]=N[i]; mat[i][1]=S[i]; mat[i][2]=Cl[i]; mat[i][3]=cenusa[i];
mat[i][4]=pret[i];
}

for(i=0;i<9;i++) valaditiv[i]=0;
printf("\nAlegeti un aditiv? Daca da, scrieti numarul de ordine. Daca nu, scrieti
0.\n");scanf("%d", &aditiv);
if(aditiv>0)
{
    fseek( fp, 0, SEEK_SET );
    for(i=1;i<=intrarimax;i++)
    {
        fscanf(fp, "%s",c1[i]);
        if(i==aditiv)

```

```

        {
            fscanf(fp,"%f", &CC); valaditiv[0]=CC;
            fscanf(fp,"%f", &HH); valaditiv[1]=HH;
            fscanf(fp,"%f", &OO); valaditiv[2]=OO;
            fscanf(fp,"%f", &NN); valaditiv[3]=NN;
            fscanf(fp,"%f", &SS); valaditiv[4]=SS;
            fscanf(fp,"%f", &CCL); valaditiv[5]=CCL;
            fscanf(fp,"%f", &ppret); valaditiv[6]=ppret;
            fscanf(fp,"%f", &qqmin); valaditiv[7]=qqmin;
            fscanf(fp,"%f", &ccenusa); valaditiv[8]=ccenusa;
            fscanf(fp,"%[^\\n]", &str);
        }
        else
        {
            fscanf(fp,"%[^\\n]", str);
        }
    }
    printf("Ati ales aditivul %s, pentru care \\n\\tN=%.2f%% S=%.2f%%
Cl=%.2f%% cenusa=%.2f%%\\n", c1[aditiv],valaditiv[3], valaditiv[4],
valaditiv[5],valaditiv[8]);
}
else {}
aa=qmin[0]-qmin[1];
bb=qmin[1];
cc=0;
dd=1;
fclose(fp);
}

float standard[4];
char stdrd[4][10] = {"Nmax", "Smax", "Clmax", "cenmax"};
void Standarde()
{
    int rasp;
    printf("\\n\\nAlegeti standardul! Raspundeti: \\n 0 pentru a introduce standardul
propriu\\n 1 pentru Enplus A1\\n 2 pentru Enplus A2 \\n 3 pentru Enplus B \\n 4 pentru
I1 \\n 5 pentru I2 \\n 6 pentru I3 \\n 7 pentru Mixed biomass pellets A \\n 8 pentru Mixed
biomass pellets B\\n");
    scanf("%d", &rasp);
    switch(rasp)
    {
        case 0:
            printf("N max=");scanf("%f", &Nmax);
            printf("S max=");scanf("%f", &Smax);
            printf("Cl max=");scanf("%f", &Clmax);
            printf("cenusa max=");scanf("%f", &cenmax);
            printf("aditiv max=");scanf("%f", &addmax);
            printf("ati ales standardul %d - Personalizat\\n cu limitariile \\n\\t N_max =
%.2f%%\\n\\t S_max = %.2f%% \\n\\t Cl_max = %.2f%%\\n\\t cenusa_max =

```

```

%.2f%%\n\t aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax,
addmax);
break;
case 1:
Nmax=0.3;Smax=0.04;Clmax=0.02;cenmax=0.7;addmax=2;
printf("ati ales standardul %d - Enplus A1\n cu limitarile \n\t N_max =
%.2f%%\n\t S_max = %.2f%% \n\t Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max =
%.2f%%\n\t aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax,
addmax);
break;
case 2:
Nmax=0.5;Smax=0.05;Clmax=0.02;cenmax=1.2;addmax=2;
printf("ati ales standardul %d - Enplus A2\n cu limitarile \n\t N_max =
%.2f%%\n\t S_max = %.2f%% \n\t Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max =
%.2f%%\n\t aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax,
addmax);
break;
case 3:
Nmax=1;Smax=0.05;Clmax=0.03;cenmax=2;addmax=2;
printf("ati ales standardul %d - Enplus B\n cu limitarile \n\t N_max = %.2f%%\n\t
S_max = %.2f%% \n\t Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max = %.2f%%\n\t
aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax, addmax);
break;
case 4:
Nmax=0.3;Smax=0.05;Clmax=0.03;cenmax=1;addmax=3;
printf("ati ales standardul %d - I1\n cu limitarile \n\t N_max = %.2f%%\n\t
S_max = %.2f%% \n\t Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max = %.2f%%\n\t
aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax, addmax);
break;
case 5:
Nmax=0.3;Smax=0.05;Clmax=0.05;cenmax=1.5;addmax=3;
printf("ati ales standardul %d - I2\n cu limitarile \n\t N_max = %.2f%%\n\t
S_max = %.2f%% \n\t Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max = %.2f%%\n\t
aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax, addmax);
break;
case 6:
Nmax=0.6;Smax=0.05;Clmax=1;cenmax=3;addmax=3;
printf("ati ales standardul %d - I3\n cu limitarile \n\t N_max = %.2f%%\n\t
S_max = %.2f%% \n\t Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max = %.2f%%\n\t
aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax, addmax);
break;
case 7:
Nmax=1.5;Smax=0.2;Clmax=0.1;cenmax=6;addmax=5;
printf("ati ales standardul %d - Mixed biomass pellets A\n cu limitarile \n\t N_max
= %.2f%%\n\t S_max = %.2f%% \n\t Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max =
%.2f%%\n\t aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax,
addmax);
break;
case 8:
Nmax=2;Smax=0.3;Clmax=0.3;cenmax=10;addmax=5;

```

```

    printf("ati ales standardul %d - Mixed biomass pellets B\n cu limitarile \n\t N_max
= %.2f%%\n\t S_max = %.2f%% \n\t Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max =
%.2f%%\n\t aditiv_max = %.2f%%\n", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax,
addmax);
    break;
}
standard[0]=Nmax-addmax*valaditiv[3]/100;          standard[1]=Smax-
addmax*valaditiv[4]/100;          standard[2]=Clmax-addmax*valaditiv[5]/100;
standard[3]=cenmax-addmax*valaditiv[8]/100;
    if(aditiv>0) printf("Aditivul ales,%s, adaugat in cantitatea %.2f%%, modifica
limitarile standardelor astfel:\n \t N_max = %.2f%%\n\t S_max = %.2f%% \n\t
Cl_max = %.2f%%\n\t cenusa_max = %.2f%%\n", c1[aditiv], addmax,
standard[0],standard[1], standard[2], standard[3]);
}

```

```

void Solutie(){
if(aditiv==0) addmax=0;
if (cc>dd) printf("Nu exista nici o combinatie care sa respecte standardul ales.
Incercati cu un singur material.\n");
else
    if(cc==dd) printf("In conditiile standardului ales reteta perfecta are compozitia
procentuala:\n\t %.2f%% %s\n\t %.2f%% %s\n\t %.2f%% aditiv\n \tQ_min=%.2f
MJ\n          \tpret=%.2f          lei/100kg",cc*100,material[0],(1-cc-
addmax/100)*100,material[1],addmax,
aa*cc+bb+addmax*valaditiv[7],cc*mat[0][4]+(1-
cc)*mat[1][4]+addmax*valaditiv[6]);
    else {
if(aa>0) printf("In conditiile standardului ales reteta perfecta are compozitia
procentuala:\n\t %.2f%% %s\n\t %.2f%% %s\n\t %.2f%% aditiv\n \tQ_min=%.2f
MJ\n          \tpret=%.2f          lei/100kg",dd*100,material[0],(1-dd-
addmax/100)*100,material[1],addmax,aa*dd+bb+addmax*valaditiv[7],cc*mat[0][
4]+(1-cc)*mat[1][4]+addmax*valaditiv[6]);
else if(aa<0) printf("In conditiile standardului ales reteta perfecta are compozitia
procentuala:\n\t %.2f%% %s\n\t %.2f%% %s\n\t %.2f%% aditiv\n \tQ_min=%.2f
MJ\n          \tpret=%.2f          lei/100kg",cc*100,material[0],(1-cc-
addmax/100)*100,material[1],addmax,aa*cc+bb+addmax*valaditiv[7],cc*mat[0][
4]+(1-cc)*mat[1][4]+addmax*valaditiv[6]);
else printf("In conditiile standardului ales orice raport procentual dintre cele doua
ingrediente reprezinta o reteta perfecta.\n \t %.2f%% aditiv\n \tQ_min=%.2f MJ\n
\tpret=%.2f          lei/100kg",addmax,bb+addmax*valaditiv[7],cc*mat[0][4]+(1-cc-
addmax/100)*mat[1][4]+addmax*valaditiv[6]);
}
}
}

```

```

void Optim2(){
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        if(mat[0][i]==mat[1][i]){
            if(mat[1][i]<=standard[i]) goto e101;

```



```

        else {
            printf("Parametrii materialelor nu se incadreaza in limita standardului
ales - nu se verifica standardul pentru %s.\n Problema nu are solutie.\n", stdrd[i]);
            goto e202;
        }
    }
    else if(mat[0][i]>mat[1][i]){
        if(mat[1][i]>standard[i]){
            printf("Parametrii materialelor nu se incadreaza in limita standardului
ales - nu se verifica standardul pentru %s.\nProblema nu are solutie.\n", stdrd[i]);
            goto e202;
        }
        else if(mat[1][i]==standard[i]){
            printf("Amestecul de putere calorifica maxima se poate obtine cand
cantitatea de %s este 0.\nSe verifica la limita standardul pentru %s",
material[i],stdrd[i]);
            goto e101;
        }
        else {
            if(((standard[i]-mat[1][i])/(mat[0][i]-mat[1][i]))>=dd) goto e101;
            else {dd=(standard[i]-mat[1][i])/(mat[0][i]-mat[1][i]); goto
e101;}
        }
    }
}
else {
    if(mat[1][i]<=standard[i]) goto e101;
    else {
        if(((standard[i]-mat[1][i])/(mat[0][i]-mat[1][i]))<=cc) goto e101;
        else {cc=(standard[i]-mat[1][i])/(mat[0][i]-mat[1][i]); goto
e101;}
    }
}
printf("\n %f \t %f \t %f \t %f\n", aa, bb, cc, dd);
e101: ; // next equation
}
e202: ; // no solution
Solutie();
}

```

```

void Consultastd()

```

```

{
    printf("Standardul Enplus A1\n\t are limitarele \n\t
N_max=0.3\tS_max=0.04\tCl_max=0.02\tcenusa_max=0.7 \taditiv_max=2\n");
    printf("Standardul Enplus A2\n\t are limitarele \n\t
N_max=0.5\tS_max=0.05\tCl_max=0.02\tcenusa_max=1.2 \taditiv_max=2 \n");
    printf("Standardul Enplus B\n\t are limitarele \n\t
N_max=1\tS_max=0.05\tCl_max=0.03\tcenusa_max=2 \taditiv_max=2\n");
}

```

```

printf("Standardul I1\n\t are limitarile \n\t
N_max=0.3\tS_max=0.05\tCl_max=0.03\tcenusa_max=1 \taditiv_max=3\n");
printf("Standardul I2\n\t are limitarile \n\t
N_max=0.3\tS_max=0.05\tCl_max=0.05\tcenusa_max=1.5 \taditiv_max=3\n");
printf("Standardul I3\n\t are limitarile \n\t
N_max=0.6\tS_max=0.05\tCl_max=1\tcenusa_max=3 \taditiv_max=3\n");
printf("Standardul Mixed biomass pellets A\n\t are limitarile \n\t
N_max=1.5\tS_max=0.2\tCl_max=0.1\tcenusa_max=6 \taditiv_max=5\n");
printf("Standardul Mixed biomass pellets B\n\t are limitarile \n\t
N_max=2\tS_max=0.3\tCl_max=0.3\tcenusa_max=10 \taditiv_max=5\n");
}

```

```
void Aaugamat()
```

```

{
char *matnou[20], rasp;
float Cnou, Hnou, Onou, Nnou, Snou, Clnou, Pretnou, Qminnou, cennou;
fp=fopen("baza.txt", "a");
printf("Pentru a introduce un nou material, este esential sa cunoasteti valorile
procentuale pentru N, S, Cl, cenusa, precum si Q in MJ.\n Doriti sa continuati (y/n)?");
scanf("%s", &rasp);
if(rasp=='n' || rasp=='N') goto e205; else
{
printf("Introduceti numele materiei prime (fara spatii)\n"); scanf("%s",
&matnou);
printf("Introduceti valorile pentru compozitia chimica (0 daca nu le
cunoasteti).\n");
printf("C=");scanf("%f", &Cnou);
printf("H=");scanf("%f", &Hnou);
printf("O=");scanf("%f", &Onou);
printf("N=");scanf("%f", &Nnou);
printf("S=");scanf("%f", &Snou);
printf("Cl=");scanf("%f", &Clnou);
printf("Pret=");scanf("%f", &Pretnou);
printf("Q_min=");scanf("%f", &Qminnou);
printf("cenusa=");scanf("%f", &cennou);
fprintf(fp, "\n%s \t%.2f \t%.2f \t%.2f \t%.2f \t%.2f \t%.2f \t%.2f
\t%.2f", matnou, Cnou, Hnou, Onou, Nnou, Snou, Clnou, Pretnou, Qminnou, cennou);
}
e205: fclose(fp);
}
void main() {
int alegere;
e200: printf("\nAlegeti o optiune: \n 1 - Consulta standarde\n 2 - Determina o
reteta\n 3 - Aauga un material\n 0 - Iesi din program\n"); scanf("%d", &alegere);
switch(alegere){
case 1:
Consultastd();
goto e200;
break;
case 2:

```

```
Intrari();
Standarde();
Optim2();
goto e200;
break;
case 3:
    Adaugamat();
    goto e200;
    break;
case 0:
    printf("La revedere!\n");
    break;
}
}
```

## Anexa 2 Codul C pentru implementarea problemei de optimizare pentru n componente

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

int i=0, nrcomp=0;
float CC, C[20], HH, H[20], OO, O[20], NN, N[20], SS, S[20], CCl, Cl[20], ppret,
pret[20], qqmin, qmin[20], ccenusa, cenusa[20];
float Nmax, Smax, Clmax, cenmax;
FILE *fp;
char *material[20];

void Intrari()
{
    printf("Alege reteta!\n");

    char RR;
    char** c1=malloc(50 * sizeof(char*));
    char str[100];

    fp = fopen("baza.txt", "r");

    while (!feof(fp))
    {
        c1[i]=malloc(20 * sizeof(char));
        fscanf(fp, "%s", c1[i]);
        printf("introduc %s ? (raspundeti y=da, n=nu sau s=sari restul de
componente)", c1[i]);
        scanf("%s", &RR);
        if(RR=='s') goto e05;
        if(RR == 'Y' || RR=='y')
        {
            material[i]=c1[i];
            fscanf(fp,"%f", &CC); C[i]=CC;
            fscanf(fp,"%f", &HH); H[i]=HH;
            fscanf(fp,"%f", &OO); O[i]=OO;
            fscanf(fp,"%f", &NN); N[i]=NN;
            fscanf(fp,"%f", &SS); S[i]=SS;
            fscanf(fp,"%f", &CCl); Cl[i]=CCl;
            fscanf(fp,"%f", &ppret); pret[i]=ppret;
            fscanf(fp,"%f", &qqmin); qmin[i]=qqmin;
            fscanf(fp,"%f", &ccenusa); cenusa[i]=ccenusa;
            fscanf(fp,"%[^\\n]", &str);
            i++;
        }
        else
        {

```

```

        fscanf(fp,"%^[^\n]", str);
    }
}
e05: nrcomp=i;
printf("Ati ales %d componente pentru reteta:", nrcomp);
for(i=0;i<nrcomp;i++)
{
    printf("\nmaterial_%d= %s\t %f %f %f %f %f %f", i+1, material[i], N[i],
S[i], Cl[i], cenusa[i], pret[i], qmin[i]);
}

fclose(fp);
}

void Standarde()
{
    int rasp;
    printf("\n\nAlegeti standardul! \nRaspundeti: \n 0 pentru a introduce standardul
propriu\n 1 pentru Enplus A1\n 2 pentru Enplus A2 \n 3 pentru Enplus B \n 4 pentru
I1 \n 5 pentru I2 \n 6 pentru I3 \n 7 pentru Mixed biomass pellets A \n 8 pentru Mixed
biomass pellets B\n");
    scanf("%d", &rasp);
    switch(rasp)
    {
        case 0:
            printf("Nmax=");scanf("%f", &Nmax);
            printf("Smax=");scanf("%f", &Smax);
            printf("Clmax=");scanf("%f", &Clmax);
            printf("cenmax=");scanf("%f", &cenmax);
            printf("ati ales standardul %d - Personalizat\n cu limitarile \n\t N_max = %f\n\t
S_max=%f \n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax, Clmax,
cenmax);
            break;
        case 1:
            Nmax=0.3;Smax=0.04;Clmax=0.02;cenmax=0.7;
            printf("ati ales standardul %d - Enplus A1\n cu limitarile \n\t N_max = %f\n\t
S_max=%f \n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax, Clmax,
cenmax);
            break;
        case 2:
            Nmax=0.5;Smax=0.05;Clmax=0.02;cenmax=1.2;
            printf("ati ales standardul %d - Enplus A2\n cu limitarile \n\t N_max = %f\n\t
S_max=%f \n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax, Clmax,
cenmax);
            break;
        case 3:
            Nmax=1;Smax=0.05;Clmax=0.03;cenmax=2;
            printf("ati ales standardul %d - Enplus B\n cu limitarile \n\t N_max = %f\n\t
S_max=%f \n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax, Clmax,
cenmax);
            break;
    }
}

```

```

    case 4:
        Nmax=0.3;Smax=0.05;Clmax=0.03;cenmax=1;
        printf("ati ales standardul %d - I1\n cu limitarile \n\t N_max = %f\n\t S_max=%f
\n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax);
        break;
    case 5:
        Nmax=0.3;Smax=0.05;Clmax=0.05;cenmax=1.5;
        printf("ati ales standardul %d - I2\n cu limitarile \n\t N_max = %f\n\t S_max=%f
\n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax);
        break;
    case 6:
        Nmax=0.6;Smax=0.05;Clmax=1;cenmax=3;
        printf("ati ales standardul %d - I3\n cu limitarile \n\t N_max = %f\n\t S_max=%f
\n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax, Clmax, cenmax);
        break;
    case 7:
        Nmax=1.5;Smax=0.2;Clmax=0.1;cenmax=6;
        printf("ati ales standardul %d - Mixed biomass pellets A\n cu limitarile \n\t N_max
= %f\n\t S_max=%f \n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax,
Clmax, cenmax);
        break;
    case 8:
        Nmax=2;Smax=0.3;Clmax=0.3;cenmax=10;
        printf("ati ales standardul %d - mixedbiomass pellets B cu limitarile \n\t N_max =
%f\n\t S_max=%f \n\t Cl_max=%f\n\t cenusa_max=%f", rasp, Nmax, Smax,
Clmax, cenmax);
        break;
    }
}

int NC, NV, NOPTIMAL, P1, P2, XERR;
float TS[20][24];

void Data() {
    int I,J;

    NV =nrcomp+1;
    NC=NV+5;

    for (J = 1; J<=NV; J++) TS[1][J+1] = qmin[J-1] ;
    TS[1][1] = 0; TS[2][1] = Nmax; TS[3][1] = Smax; TS[4][1] = Clmax; TS[5][1]
= cenmax;
    for (J = 1; J<=NV; J++)
    {
        TS[2][J + 1] = -N[J-1];
        TS[3][J + 1] = -S[J-1];
        TS[4][J + 1] = -Cl[J-1];
        TS[5][J + 1] = -cenusa[J-1];
    }
    for (I = 5; I<=NC; I++) {

```

```

    for (J = 1; J<=NV; J++) {
        TS[I + 1][J + 1] = 0;
    }
    TS[I + 1][ 1 ] = 1;
    TS[I + 1][I - 3] = -1;

}
for (J = 1; J<=NV; J++)
{
    TS[NC][J + 1] = -1;
}
TS[NC][1]=1;

printf("\n\n RESULTS:\n\n");
for(J=1; J<=NV; J++) TS[0][J+1] = J;
for(I=NV+1; I<=NV+NC; I++) TS[I-NV+1][0] = I;
}

void Pivot();
void Formula();
void Optimize();

void Simplex() {
e10: Pivot();
    Formula();
    Optimize();
    if (NOPTIMAL == 1) goto e10;
}

void Pivot() {

double RAP,V,XMAX;
int I,J;

XMAX = 0.0;
for(J=2; J<=NV+1; J++) {
    if (TS[1][J] > 0.0 && TS[1][J] > XMAX) {
        XMAX = TS[1][J];
        P2 = J;
    }
}
RAP = 999999.0;
for (I=2; I<=NC+1; I++) {
    if (TS[I][P2] >= 0.0) goto e10;
    V = fabs(TS[I][1] / TS[I][P2]);
    if (V < RAP) {
        RAP = V;
        P1 = I;
    }
}
e10:;}
V = TS[0][P2]; TS[0][P2] = TS[P1][0]; TS[P1][0] = V;

```

```

}

void Formula() {
    int I,J;

    for (I=1; I<=NC+1; I++) {
        if (I == P1) goto e70;
        for (J=1; J<=NV+1; J++) {
            if (J == P2) goto e60;
            TS[I][J] -= TS[P1][J] * TS[I][P2] / TS[P1][P2];
e60:;}
e70:;}
    TS[P1][P2] = 1.0 / TS[P1][P2];
    for (J=1; J<=NV+1; J++) {
        if (J == P2) goto e100;
        TS[P1][J] *= fabs(TS[P1][P2]);
e100:;}
    for (I=1; I<=NC+1; I++) {
        if (I == P1) goto e110;
        TS[I][P2] *= TS[P1][P2];
e110:;}
}

float suma=0.0, pretmin=0.0;
void Optimize() {
    int I,J;
    for (I=2; I<=NC+1; I++)
        if (TS[I][1] < 0.0) XERR = 1;
    NOPTIMAL = 0;
    if (XERR == 1) return;
    for (J=2; J<=NV+1; J++)
        if (TS[1][J] > 0.0) NOPTIMAL = 1;
}

void Results() {
    int I,J;

    if (XERR == 0) goto e30;
    printf("Nu exista o solutie care sa contina componentele alese. %f\n", suma); goto
e100;

    suma=0;
e30:for (I=0; I<NV; I++)
    for (J=2; J<=NC+1; J++) {
        if (TS[J][0] == 1.0*I) suma=suma+ TS[J][1];
    }
    for (I=0; I<NV; I++)
    for (J=2; J<=NC+1; J++) {
        if (TS[J][0] == 1.0*I) pretmin=pretmin+ pret[I-1]*100;
    }
}

```



```

    if(suma!=1.0) {printf("Nu exista o reteta care sa combine materialele date
respectand standardul!\n %.2f\n", suma); goto e100;}
    else
    printf("Reteta perfecta in conditiile date are compozitia procentuala:\n");

    for (I=0; I<NV; I++)
    for (J=2; J<=NC+1; J++) {
        if (TS[J][0] == 1.0*I)
        printf("%s\t %.2f %% la pretul de %.2f eur/100kg \n", material[I-1],
TS[J][1]*100, pret[I-1]*100);
    }

    printf("\n Pentru care:\n Q_max= %.2f (MJ)\n pret_min=%.4f (eur/100 kg)\n",
TS[1][1], pretmin);
e100:printf("\n");}

```

```

void main() {
    int alegere;
    char *matnou[20], rasp;
    float Cnou, Hnou, Onou, Nnou, Snou, Clnou, Pretnou, Qminnou, cennou;
e200: printf("Alegeti o optiune: \n 1 - Consulta standarde\n 2 - Determina o reteta\n
3 - Adauga un material\n 0 - Iesi din program\n"); scanf("%d", &alegere);
    switch(alegere){
        case 1:
            printf("Standardul      Enplus      A1\n\t      are      limitarele      \n\t
N_max=0.3\tS_max=0.04\tCl_max=0.02\tcenusa_max=0.7 \n");
            printf("Standardul      Enplus      A2\n\t      are      limitarele      \n\t
N_max=0.5\tS_max=0.05\tCl_max=0.02\tcenusa_max=1.2 \n");
            printf("Standardul      Enplus      B\n\t      are      limitarele      \n\t
N_max=1\tS_max=0.05\tCl_max=0.03\tcenusa_max=2 \n");
            printf("Standardul      I1\n\t      are      limitarele      \n\t
N_max=0.3\tS_max=0.05\tCl_max=0.03\tcenusa_max=1 \n");
            printf("Standardul      I2\n\t      are      limitarele      \n\t
N_max=0.3\tS_max=0.05\tCl_max=0.05\tcenusa_max=1.5 \n");
            printf("Standardul      I3\n\t      are      limitarele      \n\t
N_max=0.6\tS_max=0.05\tCl_max=1\tcenusa_max=3 \n");
            printf("Standardul Mixed biomass pellets A\n\t      are      limitarele      \n\t
N_max=1.5\tS_max=0.2\tCl_max=0.1\tcenusa_max=6 \n");
            printf("Standardul Mixed biomass pellets B\n\t      are      limitarele      \n\t
N_max=2\tS_max=0.3\tCl_max=0.3\tcenusa_max=10 \n");
            goto e200;
            break;
        case 2:
            Intrari();
            Standarde();
            Data();
            Simplex();
            Results();
    }
}

```

```

break;
case 3:
    fp=fopen("bazaa.txt", "a");
    printf("Pentru a introduce un nou material, este esential sa cunoasteti valorile
procentuale pentru N, S, Cl, cenusa, precum si Q in MJ.\n Doriti sa continuati (y/n)?");
    scanf("%s", &rasp);
    if(rasp=='n' || rasp=='N') goto e200; else
    {
        printf("Introduceti numele materiei prime (fara spatii)\n"); scanf("%s",
&matnou);
        printf("Introduceti valorile pentru compozitia chimica (0 daca nu le
cunoasteti).\n");
        printf("C=");scanf("%f", &Cnou);
        printf("H=");scanf("%f", &Hnou);
        printf("O=");scanf("%f", &Onou);
        printf("N=");scanf("%f", &Nnou);
        printf("S=");scanf("%f", &Snou);
        printf("Cl=");scanf("%f", &Clnou);
        printf("Pret=");scanf("%f", &Pretnou);
        printf("Q_min=");scanf("%f", &Qminnou);
        printf("cenusa=");scanf("%f", &cennou);
        fprintf(fp, "\n%s \t%.2f \t%.2f \t%.2f \t%.2f \t%.2f \t%.2f \t%.2f
\t%.2f", matnou, Cnou, Hnou, Onou, Nnou, Snou, Clnou, Pretnou, Qminnou, cennou);
    }
    fclose(fp); goto e200;break;
case 0: printf("La revedere!\n"); break;
}
}
}

```

### Anexa 3 Baza de date folosită la calcule

Material	C	H	O	N	S	Cl	Pret	Q_m n	cenus a
Alun (coji)	47.80	6.14	45.64	0.27	0.16	0.00	0.00	18.87	2.20
Alun (frunze)	45.14	6.79	45.71	2.05	0.31	0.00	0.00	17.87	8.00
Aschii de lemn	42.20	5.51	51.88	0.13	0.27	0.00	0.00	15.16	1.50
Brad	51.23	5.98	42.10	0.06	0.03	0.19	0.04	19.19	0.41
Canepa (tulpini)	46.10	5.90	42.50	0.74	0.10	0.20	0.00	17.00	4.80
Carbune de lemn (vegetal)	79.34	2.74	16.97	0.65	0.30	0.00	4.50	29.71	5.90
Cartofi (planta)	38.33	5.07	55.03	1.13	0.44	0.00	0.00	15.07	15.80
Castan (aschii)	45.30	6.10	48.20	0.23	0.17	0.00	0.00	17.48	1.30
Castan (crengi)	43.71	6.27	48.54	1.05	0.43	0.00	0.00	17.47	6.90
Castan (frunze)	47.82	6.24	43.46	2.21	0.27	0.00	0.00	18.76	4.90
Cires (crengi)	46.42	6.21	46.68	0.52	0.17	0.00	0.00	19.36	4.40
Cires (frunze)	45.52	6.25	46.55	1.49	0.19	0.00	0.00	17.73	7.40
Cirese (samburi)	48.57	6.21	44.60	0.43	0.19	0.00	0.00	19.07	0.87
Coaja (lemn de conifere)	51.40	5.70	38.70	0.48	0.09	0.02	0.00	19.20	3.80
Fag (cu coaja)	47.90	6.20	45.20	0.22	0.02	0.01	0.11	18.40	0.50
Fan din fanete	45.50	6.10	41.50	1.14	0.16	0.31	0.05	17.40	5.70
Fan din parcuri	37.10	5.10	33.20	1.49	0.19	0.88	0.05	14.10	23.10
Fasole (coji)	39.66	5.38	53.98	0.66	0.31	0.00	0.00	15.11	8.00
Floarea soarelui (pleava)	45.33	5.91	48.14	0.38	0.24	0.00	0.00	17.99	1.90
Floarea-soarelui (tulpini)	42.50	5.10	39.10	1.11	0.15	0.81	0.05	15.80	12.20
Grau (boabe)	43.60	6.50	44.90	2.28	0.12	0.04	0.40	17.00	2.70
Grau (paie)	45.60	5.80	42.40	0.48	0.08	0.19	0.05	17.20	5.70
Grau (planta intreaga)	45.20	6.40	42.90	1.41	0.12	0.09	0.05	17.10	4.10
Grau (tarate)	42.74	6.62	47.98	2.34	0.31	0.00	0.00	17.37	3.50
Huila	72.50	5.60	11.10	1.30	0.94	0.13	0.40	29.70	8.30
Lemn de constructie	47.26	6.45	46.04	0.08	0.17	0.00	0.00	18.28	0.80
Lignit	65.90	4.90	23.00	0.70	0.39	0.10	0.35	20.60	5.10
Mar (crengi)	46.24	11.55	41.01	0.81	0.39	0.00	0.00	17.82	5.00
Mar (frunze)	44.45	6.15	47.56	1.61	0.23	0.00	0.00	17.51	12.00
Mazare (coji)	39.62	6.54	50.78	1.24	1.82	0.00	0.00	15.46	4.50
Mazare (tulpini)	44.06	4.73	49.91	0.90	0.39	0.00	0.00	17.35	5.80
Miscanthus	47.50	6.20	41.70	0.73	0.15	0.22	0.05	17.60	3.90
Molid (cu coaja)	49.80	6.30	43.20	0.13	0.02	0.01	0.04	18.80	0.60
Nectarine (samburi)	48.57	6.22	44.48	0.50	0.23	0.00	0.00	19.56	1.10
Nuci (coaja)	46.97	6.27	46.44	0.22	0.10	0.00	0.00	18.38	2.30
Orz (boabe)	41.59	6.08	50.18	1.79	0.35	0.00	0.00	16.52	3.00
Orz (paie)	47.50	5.80	41.40	0.46	0.09	0.40	0.05	17.50	4.80
Ovaz (tarate)	44.01	7.17	46.36	2.17	0.29	0.00	0.00	18.06	4.15
Păiuș	41.40	6.30	43.00	0.87	0.14	0.50	0.05	16.40	8.50
Piersic (frunze)	59.59	9.76	27.86	2.03	0.77	0.00	0.00	18.33	10.20

Pin (aschii)	48.15	5.59	45.90	0.09	0.28	0.00	0.00	19.43	0.60
Pin (conuri)	47.65	5.43	46.21	0.27	0.44	0.00	0.00	18.63	1.30
Pin (talaj)	48.67	5.08	45.92	0.07	0.26	0.00	0.00	19.79	0.80
Plop	47.50	6.20	44.10	0.42	0.03	0.00	0.04	18.50	1.80
Porumb (boabe)	40.96	6.92	50.71	1.17	0.23	0.00	0.00	16.43	2.10
Porumb (stiuleti)	44.78	6.02	48.77	0.22	0.21	0.21	0.40	17.69	2.40
Porumb (tulpini)	45.70	5.30	41.70	0.65	0.12	0.35	0.05	17.70	6.70
Prune (samburi)	48.22	6.60	44.14	0.87	0.17	0.00	0.00	19.13	1.80
Raigras (iarba de seara)	46.10	5.60	38.10	1.34	0.14	1.39	0.05	16.50	8.80
Rapita (boabe/turta)	60.50	7.20	23.80	3.94	0.10	0.00	1.10	26.50	4.60
Rapita (tulpini)	47.10	5.90	40.00	0.84	0.27	0.47	0.05	17.10	6.20
Rosii (tulpini)	36.63	0.68	60.01	1.19	1.48	0.00	0.00	14.15	16.20
Rumegus	45.34	6.02	47.05	0.53	1.07	0.00	0.00	18.01	1.60
Rumegus de lemn	45.97	5.13	48.53	0.12	0.24	0.00	0.00	18.21	0.60
Salcam	50.22	5.90	43.01	0.00	0.00	0.00	0.09	19.20	1.03
Salcie	47.10	6.10	44.30	0.54	0.05	0.00	0.03	18.40	2.00
Secara (boabe)	41.11	6.76	50.72	1.20	0.21	0.00	0.00	16.14	1.80
Secara (turta)	46.60	6.00	42.10	0.55	0.09	0.16	0.45	17.40	4.80
Secara (paie)	48.00	5.80	40.90	1.14	0.11	0.40	0.05	17.70	4.20
Secara (planta intreaga)	40.18	6.85	51.48	1.16	0.32	0.34	0.05	17.11	3.20
Secara (pleava)	45.70	6.40	44.00	1.91	0.11	0.00	0.00	17.10	2.00
Sfecla de zahar (deseuri)	38.94	5.23	54.13	1.19	0.51	0.00	0.00	15.09	9.00
Soia (boabe)	44.42	6.33	47.86	1.16	0.24	0.00	0.00	16.71	4.80
Soia (pleava)	40.79	4.38	53.87	0.73	0.23	0.00	1.20	11.87	17.00
Sorg	45.65	5.75	45.84	0.76	1.99	0.00	0.00	17.18	7.40
Stejar (aschii din crengi)	48.26	6.28	42.26	2.87	0.33	0.00	0.00	17.72	4.20
Stejar (crengi)	46.90	5.47	44.20	3.04	0.38	0.00	0.00	18.31	3.80
Stejar (frunze)	41.84	6.82	50.28	0.80	0.25	0.00	0.00	16.16	2.60
Stejar (ghinda)	44.15	5.31	48.04	1.91	0.58	0.00	0.00	17.74	12.70
Struguri (comina)	43.50	6.40	46.40	1.68	0.11	0.00	0.00	16.90	2.10
Triticale (boabe)	43.90	5.90	43.80	0.42	0.06	0.07	0.50	17.10	5.90
Triticale (paie)	44.00	6.00	44.60	1.08	0.18	0.27	0.05	17.00	4.40
Triticale (planta intreaga)	40.15	5.02	53.91	0.61	0.31	0.14	0.05	14.63	9.70
Vita de vie (aschii)	45.00	6.95	46.83	0.76	0.46	0.00	0.00	16.82	7.60
Vita de vie (crengi)	35.74	5.95	56.67	1.35	0.30	0.00	0.00	16.47	13.30
Vita de vie (deseuri)	35.74	5.95	56.67	1.35	0.30	0.00	0.00	16.47	13.30

#### Anexa 4 Valorile limită ale standardelor în cazul folosirii de aditivi

Standard	Enplus A1, aditiv = 0,02				
	Q_min	N	S	Cl	cenusa
<b>Fara aditivi</b>	<b>16,56</b>	<b>0,3</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,7</b>
Alun (coji)	16,51	0,30	0,04	0,02	0,67
Alun (frunze)	16,53	0,26	0,03	0,02	0,55
Aschii de lemn	16,59	0,30	0,04	0,02	0,68
Brad	16,51	0,30	0,04	0,02	0,71
Canepa (tulpini)	16,55	0,29	0,04	0,02	0,62
Carbune de lemn (vegetal)	16,29	0,29	0,03	0,02	0,59
Cartofi (planta)	16,59	0,28	0,03	0,02	0,39
Castan (aschii)	16,54	0,30	0,04	0,02	0,69
Castan (crengi)	16,54	0,28	0,03	0,02	0,57
Castan (frunze)	16,52	0,26	0,04	0,02	0,61
Cires (crengi)	16,50	0,30	0,04	0,02	0,62
Cires (frunze)	16,54	0,28	0,04	0,02	0,56
Cirese (samburi)	16,51	0,30	0,04	0,02	0,70
Coaja (lemn de conifere)	16,51	0,30	0,04	0,02	0,64
Fag (cu coaja)	16,52	0,30	0,04	0,02	0,70
Fan din fanete	16,54	0,28	0,04	0,01	0,60
Fan din parcuri	16,61	0,28	0,04	0,00	0,24
Fasole (coji)	16,59	0,29	0,03	0,02	0,55
Floarea soarelui (pleava)	16,53	0,30	0,04	0,02	0,68
Floarea-soarelui (tulpini)	16,58	0,28	0,04	0,00	0,47
Grau (boabe)	16,55	0,26	0,04	0,02	0,66
Grau (paie)	16,55	0,30	0,04	0,02	0,60
Grau (planta intreaga)	16,55	0,28	0,04	0,02	0,63
Grau (tarate)	16,54	0,26	0,03	0,02	0,64
Huila	16,29	0,28	0,02	0,02	0,54
Lemn de constructie	16,52	0,30	0,04	0,02	0,70
Lignit	16,48	0,29	0,03	0,02	0,61
Mar (crengi)	16,53	0,29	0,03	0,02	0,61
Mar (frunze)	16,54	0,27	0,04	0,02	0,47
Mazare (coji)	16,58	0,28	0,00	0,02	0,62
Mazare (tulpini)	16,54	0,29	0,03	0,02	0,60
Miscanthus	16,54	0,29	0,04	0,02	0,63
Molid (cu coaja)	16,51	0,30	0,04	0,02	0,70
Nectarine (samburi)	16,50	0,30	0,04	0,02	0,69
Nuci (coaja)	16,52	0,30	0,04	0,02	0,67
Orz (boabe)	16,56	0,27	0,03	0,02	0,65
Orz (paie)	16,54	0,30	0,04	0,01	0,62
Ovaz (tarate)	16,53	0,26	0,03	0,02	0,63
Păiuș	16,56	0,29	0,04	0,01	0,54
Piersic (frunze)	16,52	0,26	0,03	0,02	0,51

Pin (aschii)	16,50	0,30	0,04	0,02	0,70
Pin (conuri)	16,52	0,30	0,03	0,02	0,69
Pin (talaj)	16,49	0,30	0,04	0,02	0,70
Plop	16,52	0,30	0,04	0,02	0,68
Porumb (boabe)	16,56	0,28	0,04	0,02	0,67
Porumb (stiuleti)	16,54	0,30	0,04	0,02	0,67
Porumb (tulpini)	16,54	0,29	0,04	0,01	0,58
Prune (samburi)	16,51	0,29	0,04	0,02	0,68
Raigras (iarba de secară)	16,56	0,28	0,04	-0,01	0,53
Rapita (boabe/turta)	16,36	0,23	0,04	0,02	0,62
Rapita (tulpini)	16,55	0,29	0,04	0,01	0,59
Rosii (tulpini)	16,61	0,28	0,01	0,02	0,38
Rumegus	16,53	0,30	0,02	0,02	0,68
Rumegus de lemn	16,53	0,30	0,04	0,02	0,70
Salcam	16,51	0,31	0,04	0,02	0,69
Salcie	16,52	0,30	0,04	0,02	0,67
Secara (boabe)	16,57	0,28	0,04	0,02	0,68
Secara (turta)	16,55	0,27	0,04	0,02	0,62
Secara (paie)	16,54	0,29	0,04	0,01	0,63
Secara (planta intreaga)	16,54	0,28	0,04	0,01	0,65
Secara (pleava)	16,55	0,28	0,03	0,02	0,67
Sfecla de zahar (deseuri)	16,59	0,28	0,03	0,02	0,53
Soia (boabe)	16,56	0,28	0,04	0,02	0,62
Soia (pleava)	16,55	0,29	0,04	0,02	0,37
Sorg	16,66	0,29	0,04	0,02	0,56
Stejar (aschii din crengi)	16,55	0,29	0,00	0,02	0,63
Stejar (crengi)	16,54	0,25	0,03	0,02	0,64
Stejar (frunze)	16,52	0,24	0,03	0,02	0,66
Stejar (ghinda)	16,57	0,29	0,04	0,02	0,46
Struguri (comina)	16,54	0,27	0,03	0,02	0,67
Triticale (boabe)	16,55	0,27	0,04	0,02	0,59
Triticale (paie)	16,55	0,30	0,04	0,01	0,62
Triticale (planta intreaga)	16,55	0,28	0,04	0,02	0,52
Vita de vie (aschii)	16,60	0,29	0,03	0,02	0,56
Vita de vie (crengi)	16,55	0,29	0,03	0,02	0,44
Vita de vie (deseuri)	16,56	0,28	0,03	0,02	0,44

Standard	Enplus A2, aditiv = 0,02				
	Q_min	N	S	CI	cenusa
<b>Fara aditivi</b>	<b>16,56</b>	<b>0,5</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>1,2</b>
Alun (coji)	16,51	0,50	0,05	0,02	1,18
Alun (frunze)	16,53	0,47	0,04	0,02	1,06
Aschii de lemn	16,59	0,51	0,05	0,02	1,19
Brad	16,51	0,51	0,05	0,02	1,22
Canepa (tulpini)	16,55	0,50	0,05	0,02	1,13
Carbune de lemn (vegetal)	16,29	0,50	0,04	0,02	1,10
Cartofi (planta)	16,59	0,49	0,04	0,02	0,90

Castan (aschii)	16,54	0,51	0,05	0,02	1,20
Castan (crengi)	16,54	0,49	0,04	0,02	1,08
Castan (frunze)	16,52	0,47	0,05	0,02	1,12
Cires (crengi)	16,50	0,50	0,05	0,02	1,13
Cires (frunze)	16,54	0,48	0,05	0,02	1,07
Cirese (samburi)	16,51	0,50	0,05	0,02	1,21
Coaja (lemn de conifere)	16,51	0,50	0,05	0,02	1,15
Fag (cu coaja)	16,52	0,51	0,05	0,02	1,21
Fan din fanete	16,54	0,49	0,05	0,01	1,11
Fan din parcuri	16,61	0,48	0,05	0,00	0,75
Fasole (coji)	16,59	0,50	0,04	0,02	1,06
Floarea soarelui (pleava)	16,53	0,50	0,05	0,02	1,19
Floarea-soarelui (tulpini)	16,58	0,49	0,05	0,00	0,98
Grau (boabe)	16,55	0,46	0,05	0,02	1,17
Grau (paie)	16,55	0,50	0,05	0,02	1,11
Grau (planta intreaga)	16,55	0,48	0,05	0,02	1,14
Grau (tarate)	16,54	0,46	0,04	0,02	1,15
Huila	16,29	0,48	0,03	0,02	1,06
Lemn de constructie	16,52	0,51	0,05	0,02	1,21
Lignit	16,48	0,50	0,04	0,02	1,12
Mar (crengi)	16,53	0,49	0,04	0,02	1,12
Mar (frunze)	16,54	0,48	0,05	0,02	0,98
Mazare (coji)	16,58	0,48	0,01	0,02	1,13
Mazare (tulpini)	16,54	0,49	0,04	0,02	1,11
Miscanthus	16,54	0,50	0,05	0,02	1,14
Molid (cu coaja)	16,51	0,51	0,05	0,02	1,21
Nectarine (samburi)	16,50	0,50	0,05	0,02	1,20
Nuci (coaja)	16,52	0,51	0,05	0,02	1,18
Orz (boabe)	16,56	0,47	0,04	0,02	1,16
Orz (paie)	16,54	0,50	0,05	0,01	1,13
Ovaz (tarate)	16,53	0,47	0,05	0,02	1,14
Păiuș	16,56	0,49	0,05	0,01	1,05
Piersic (frunze)	16,52	0,47	0,04	0,02	1,02
Pin (aschii)	16,50	0,51	0,05	0,02	1,21
Pin (conuri)	16,52	0,50	0,04	0,02	1,20
Pin (talaj)	16,49	0,51	0,05	0,02	1,21
Plop	16,52	0,50	0,05	0,02	1,19
Porumb (boabe)	16,56	0,49	0,05	0,02	1,18
Porumb (stiuleti)	16,54	0,50	0,05	0,02	1,18
Porumb (tulpini)	16,54	0,50	0,05	0,01	1,09
Prune (samburi)	16,51	0,49	0,05	0,02	1,19
Raigras (iarba de secara)	16,56	0,48	0,05	-0,01	1,04
Rapita (boabe/turta)	16,36	0,43	0,05	0,02	1,13
Rapita (tulpini)	16,55	0,49	0,05	0,01	1,10
Rosii (tulpini)	16,61	0,49	0,02	0,02	0,89
Rumegus	16,53	0,50	0,03	0,02	1,19
Rumegus de lemn	16,53	0,51	0,05	0,02	1,21

Salcam	16,51	0,51	0,05	0,02	1,20
Salcie	16,52	0,50	0,05	0,02	1,18
Secara (boabe)	16,57	0,49	0,05	0,02	1,19
Secara (turta)	16,55	0,47	0,05	0,02	1,13
Secara (paie)	16,54	0,50	0,05	0,01	1,14
Secara (planta intreaga)	16,54	0,49	0,05	0,01	1,16
Secara (pleava)	16,55	0,49	0,04	0,02	1,18
Sfecla de zahar (deseuri)	16,59	0,49	0,04	0,02	1,04
Soia (boabe)	16,56	0,49	0,05	0,02	1,13
Soia (pleava)	16,55	0,49	0,05	0,02	0,88
Sorg	16,66	0,50	0,05	0,02	1,07
Stejar (aschii din crengi)	16,55	0,49	0,01	0,02	1,14
Stejar (crengi)	16,54	0,45	0,04	0,02	1,15
Stejar (frunze)	16,52	0,45	0,04	0,02	1,17
Stejar (ghinda)	16,57	0,49	0,05	0,02	0,97
Struguri (comina)	16,54	0,47	0,04	0,02	1,18
Triticale (boabe)	16,55	0,48	0,05	0,02	1,10
Triticale (paie)	16,55	0,50	0,05	0,01	1,13
Triticale (planta intreaga)	16,55	0,49	0,05	0,02	1,03
Vita de vie (aschii)	16,60	0,50	0,04	0,02	1,07
Vita de vie (crengi)	16,55	0,49	0,04	0,02	0,95
Vita de vie (deseuri)	16,56	0,48	0,04	0,02	0,95

Standard	Enplus B, aditiv = 0,02				
	Q_min	N	S	CI	cenusa
<b>Fara aditivi</b>	<b>16,56</b>	<b>1</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>2</b>
Alun (coji)	16,51	1,01	0,05	0,03	2,00
Alun (frunze)	16,53	0,98	0,04	0,03	1,88
Aschii de lemn	16,59	1,02	0,05	0,03	2,01
Brad	16,51	1,02	0,05	0,03	2,03
Canepa (tulpini)	16,55	1,01	0,05	0,03	1,94
Carbune de lemn (vegetal)	16,29	1,01	0,04	0,03	1,92
Cartofi (planta)	16,59	1,00	0,04	0,03	1,72
Castan (aschii)	16,54	1,02	0,05	0,03	2,01
Castan (crengi)	16,54	1,00	0,04	0,03	1,90
Castan (frunze)	16,52	0,98	0,05	0,03	1,94
Cires (crengi)	16,50	1,01	0,05	0,03	1,95
Cires (frunze)	16,54	0,99	0,05	0,03	1,89
Cirese (samburi)	16,51	1,01	0,05	0,03	2,02
Coaja (lemn de conifere)	16,51	1,01	0,05	0,03	1,96
Fag (cu coaja)	16,52	1,02	0,05	0,03	2,03
Fan din fanete	16,54	1,00	0,05	0,02	1,92
Fan din parcuri	16,61	0,99	0,05	0,01	1,57
Fasole (coji)	16,59	1,01	0,04	0,03	1,88
Floarea soarelui (pleava)	16,53	1,01	0,05	0,03	2,00
Floarea-soarelui (tulpini)	16,58	1,00	0,05	0,01	1,79
Grau (boabe)	16,55	0,97	0,05	0,03	1,99



Grau (paie)	16,55	1,01	0,05	0,03	1,92
Grau (planta intreaga)	16,55	0,99	0,05	0,03	1,96
Grau (tarate)	16,54	0,97	0,04	0,03	1,97
Huila	16,29	0,99	0,03	0,03	1,87
Lemn de constructie	16,52	1,02	0,05	0,03	2,02
Lignit	16,48	1,01	0,04	0,03	1,94
Mar (crengi)	16,53	1,00	0,04	0,03	1,94
Mar (frunze)	16,54	0,99	0,05	0,03	1,80
Mazare (coji)	16,58	1,00	0,01	0,03	1,95
Mazare (tulpini)	16,54	1,00	0,04	0,03	1,92
Miscanthus	16,54	1,01	0,05	0,03	1,96
Molid (cu coaja)	16,51	1,02	0,05	0,03	2,03
Nectarine (samburi)	16,50	1,01	0,05	0,03	2,02
Nuci (coaja)	16,52	1,02	0,05	0,03	1,99
Orz (boabe)	16,56	0,98	0,04	0,03	1,98
Orz (paie)	16,54	1,01	0,05	0,02	1,94
Ovaz (tarate)	16,53	0,98	0,05	0,03	1,96
Păiuș	16,56	1,00	0,05	0,02	1,87
Piersic (frunze)	16,52	0,98	0,04	0,03	1,83
Pin (aschii)	16,50	1,02	0,05	0,03	2,03
Pin (conuri)	16,52	1,01	0,04	0,03	2,01
Pin (talaj)	16,49	1,02	0,05	0,03	2,02
Plop	16,52	1,01	0,05	0,03	2,00
Porumb (boabe)	16,56	1,00	0,05	0,03	2,00
Porumb (stiuleti)	16,54	1,01	0,05	0,03	1,99
Porumb (tulpini)	16,54	1,01	0,05	0,02	1,90
Prune (samburi)	16,51	1,00	0,05	0,03	2,00
Raigras (iarba de secara)	16,56	0,99	0,05	0,00	1,86
Rapita (boabe/turta)	16,36	0,94	0,05	0,03	1,95
Rapita (tulpini)	16,55	1,00	0,05	0,02	1,91
Rosii (tulpini)	16,61	1,00	0,02	0,03	1,71
Rumegus	16,53	1,01	0,03	0,03	2,01
Rumegus de lemn	16,53	1,02	0,05	0,03	2,03
Salcam	16,51	1,02	0,05	0,03	2,02
Salcie	16,52	1,01	0,05	0,03	2,00
Secara (boabe)	16,57	1,00	0,05	0,03	2,00
Secara (turta)	16,55	0,98	0,05	0,03	1,94
Secara (paie)	16,54	1,01	0,05	0,02	1,96
Secara (planta intreaga)	16,54	1,00	0,05	0,02	1,98
Secara (pleava)	16,55	1,00	0,04	0,03	2,00
Sfecla de zahar (deseuri)	16,59	1,00	0,04	0,03	1,86
Soia (boabe)	16,56	1,00	0,05	0,03	1,94
Soia (pleava)	16,55	1,00	0,05	0,03	1,69
Sorg	16,66	1,01	0,05	0,03	1,89
Stejar (aschii din crengi)	16,55	1,00	0,01	0,03	1,96
Stejar (crengi)	16,54	0,96	0,04	0,03	1,96
Stejar (frunze)	16,52	0,96	0,04	0,03	1,99

Stejar (ghinda)	16,57	1,00	0,05	0,03	1,78
Struguri (comina)	16,54	0,98	0,04	0,03	2,00
Triticale (boabe)	16,55	0,99	0,05	0,03	1,92
Triticale (paie)	16,55	1,01	0,05	0,03	1,95
Triticale (planta intreaga)	16,55	1,00	0,05	0,03	1,84
Vita de vie (aschii)	16,60	1,01	0,04	0,03	1,89
Vita de vie (crengi)	16,55	1,00	0,04	0,03	1,77
Vita de vie (deseuri)	16,56	0,99	0,04	0,03	1,77

Standard	I1, aditiv = 0,03				
	Q_min	N	S	Cl	cenusa
<b>Fara aditivi</b>	<b>16,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>1</b>
Alun (coji)	16,43	0,30	0,05	0,03	0,96
Alun (frunze)	16,46	0,25	0,04	0,03	0,78
Aschii de lemn	16,54	0,31	0,04	0,03	0,98
Brad	16,42	0,31	0,05	0,03	1,02
Canepa (tulpini)	16,48	0,29	0,05	0,02	0,88
Carbune de lemn (vegetal)	16,09	0,29	0,04	0,03	0,85
Cartofi (planta)	16,54	0,27	0,04	0,03	0,54
Castan (aschii)	16,47	0,30	0,05	0,03	0,99
Castan (crengi)	16,47	0,28	0,04	0,03	0,82
Castan (frunze)	16,43	0,24	0,04	0,03	0,88
Cires (crengi)	16,41	0,29	0,05	0,03	0,89
Cires (frunze)	16,46	0,26	0,05	0,03	0,80
Cirese (samburi)	16,42	0,30	0,05	0,03	1,00
Coaja (lemn de conifere)	16,42	0,29	0,05	0,03	0,91
Fag (cu coaja)	16,44	0,30	0,05	0,03	1,02
Fan din fanete	16,47	0,27	0,05	0,02	0,85
Fan din parcuri	16,57	0,26	0,05	0,00	0,32
Fasole (coji)	16,54	0,29	0,04	0,03	0,78
Floarea soarelui (pleava)	16,45	0,30	0,04	0,03	0,97
Floarea-soarelui (tulpini)	16,52	0,27	0,05	0,01	0,65
Grau (boabe)	16,48	0,24	0,05	0,03	0,95
Grau (paie)	16,48	0,29	0,05	0,03	0,85
Grau (planta intreaga)	16,48	0,27	0,05	0,03	0,90
Grau (tarate)	16,47	0,24	0,04	0,03	0,92
Huila	16,09	0,27	0,02	0,03	0,77
Lemn de constructie	16,44	0,31	0,05	0,03	1,01
Lignit	16,37	0,29	0,04	0,03	0,87
Mar (crengi)	16,46	0,28	0,04	0,03	0,88
Mar (frunze)	16,47	0,26	0,04	0,03	0,66
Mazare (coji)	16,53	0,27	0,00	0,03	0,89
Mazare (tulpini)	16,47	0,28	0,04	0,03	0,85
Miscanthus	16,47	0,29	0,05	0,02	0,91
Molid (cu coaja)	16,43	0,31	0,05	0,03	1,01
Nectarine (samburi)	16,41	0,29	0,04	0,03	1,00
Nuci (coaja)	16,44	0,30	0,05	0,03	0,96

Orz (boabe)	16,50	0,25	0,04	0,03	0,94
Orz (paie)	16,47	0,30	0,05	0,02	0,88
Ovaz (tarate)	16,45	0,24	0,04	0,03	0,90
Păiuș	16,50	0,28	0,05	0,02	0,77
Piersic (frunze)	16,44	0,25	0,03	0,03	0,72
Pin (aschii)	16,41	0,31	0,04	0,03	1,01
Pin (conuri)	16,43	0,30	0,04	0,03	0,99
Pin (talaj)	16,40	0,31	0,04	0,03	1,01
Plop	16,44	0,30	0,05	0,03	0,98
Porumb (boabe)	16,50	0,27	0,04	0,03	0,97
Porumb (stiuleți)	16,47	0,29	0,05	0,02	0,96
Porumb (tulpini)	16,46	0,29	0,05	0,02	0,82
Prune (samburi)	16,42	0,28	0,05	0,03	0,98
Raigras (iarba de seacă)	16,50	0,27	0,05	-0,01	0,76
Rapita (boabe/turta)	16,19	0,19	0,05	0,03	0,89
Rapita (tulpini)	16,48	0,28	0,04	0,02	0,84
Rosii (tulpini)	16,57	0,27	0,01	0,03	0,53
Rumegus	16,45	0,29	0,02	0,03	0,98
Rumegus de lemn	16,45	0,31	0,04	0,03	1,01
Salcam	16,42	0,31	0,05	0,03	1,00
Salcie	16,44	0,29	0,05	0,03	0,97
Seacă (boabe)	16,51	0,27	0,05	0,03	0,98
Seacă (turta)	16,48	0,25	0,05	0,03	0,88
Seacă (paie)	16,47	0,29	0,05	0,02	0,90
Seacă (planta întreaga)	16,46	0,27	0,05	0,02	0,93
Seacă (pleava)	16,48	0,27	0,04	0,03	0,97
Sfecla de zahar (deseuri)	16,54	0,27	0,04	0,03	0,75
Soia (boabe)	16,49	0,27	0,04	0,03	0,88
Soia (pleava)	16,49	0,28	0,05	0,03	0,51
Sorg	16,64	0,29	0,04	0,03	0,80
Stejar (aschii din crengi)	16,48	0,29	-0,01	0,03	0,90
Stejar (crengi)	16,46	0,22	0,04	0,03	0,91
Stejar (frunze)	16,44	0,22	0,04	0,03	0,95
Stejar (ghinda)	16,51	0,28	0,04	0,03	0,64
Struguri (comina)	16,46	0,25	0,03	0,03	0,97
Triticale (boabe)	16,49	0,26	0,05	0,03	0,85
Triticale (paie)	16,48	0,30	0,05	0,02	0,89
Triticale (planta întreaga)	16,48	0,28	0,05	0,03	0,73
Vita de vie (aschii)	16,56	0,29	0,04	0,03	0,80
Vita de vie (crengi)	16,49	0,29	0,04	0,03	0,62
Vita de vie (deseuri)	16,50	0,27	0,04	0,03	0,62

Standard	I2, aditiv = 0,03				
	Q_min	N	S	CI	cenusa
<b>Fara aditivi</b>	<b>16,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>1,5</b>
Alun (coji)	16,43	0,30	0,05	0,05	1,48
Alun (frunze)	16,46	0,25	0,04	0,05	1,30

Aschii de lemn	16,54	0,31	0,04	0,05	1,50
Brad	16,42	0,31	0,05	0,05	1,53
Canepa (tulpini)	16,48	0,29	0,05	0,05	1,40
Carbune de lemn (vegetal)	16,09	0,29	0,04	0,05	1,36
Cartofi (planta)	16,54	0,27	0,04	0,05	1,06
Castan (aschii)	16,47	0,30	0,05	0,05	1,51
Castan (crengi)	16,47	0,28	0,04	0,05	1,33
Castan (frunze)	16,43	0,24	0,04	0,05	1,39
Cires (crengi)	16,41	0,29	0,05	0,05	1,41
Cires (frunze)	16,46	0,26	0,05	0,05	1,32
Cirese (samburi)	16,42	0,30	0,05	0,05	1,52
Coaja (lemn de conifere)	16,42	0,29	0,05	0,05	1,43
Fag (cu coaja)	16,44	0,30	0,05	0,05	1,53
Fan din fanete	16,47	0,27	0,05	0,04	1,37
Fan din parcuri	16,57	0,26	0,05	0,02	0,83
Fasole (coji)	16,54	0,29	0,04	0,05	1,30
Floarea soarelui (pleava)	16,45	0,30	0,04	0,05	1,49
Floarea-soarelui (tulpini)	16,52	0,27	0,05	0,03	1,17
Grau (boabe)	16,48	0,24	0,05	0,05	1,46
Grau (paie)	16,48	0,29	0,05	0,05	1,37
Grau (planta intreaga)	16,48	0,27	0,05	0,05	1,42
Grau (tarate)	16,47	0,24	0,04	0,05	1,44
Huila	16,09	0,27	0,02	0,05	1,29
Lemn de constructie	16,44	0,31	0,05	0,05	1,52
Lignit	16,37	0,29	0,04	0,05	1,39
Mar (crengi)	16,46	0,28	0,04	0,05	1,39
Mar (frunze)	16,47	0,26	0,04	0,05	1,18
Mazare (coji)	16,53	0,27	0,00	0,05	1,41
Mazare (tulpini)	16,47	0,28	0,04	0,05	1,37
Miscanthus	16,47	0,29	0,05	0,04	1,43
Molid (cu coaja)	16,43	0,31	0,05	0,05	1,53
Nectarine (samburi)	16,41	0,29	0,04	0,05	1,51
Nuci (coaja)	16,44	0,30	0,05	0,05	1,48
Orz (boabe)	16,50	0,25	0,04	0,05	1,45
Orz (paie)	16,47	0,30	0,05	0,04	1,40
Ovaz (tarate)	16,45	0,24	0,04	0,05	1,42
Păiuș	16,50	0,28	0,05	0,04	1,28
Piersic (frunze)	16,44	0,25	0,03	0,05	1,23
Pin (aschii)	16,41	0,31	0,04	0,05	1,53
Pin (conuri)	16,43	0,30	0,04	0,05	1,51
Pin (talaj)	16,40	0,31	0,04	0,05	1,52
Plop	16,44	0,30	0,05	0,05	1,49
Porumb (boabe)	16,50	0,27	0,04	0,05	1,48
Porumb (stiuleti)	16,47	0,29	0,05	0,05	1,47
Porumb (tulpini)	16,46	0,29	0,05	0,04	1,34
Prune (samburi)	16,42	0,28	0,05	0,05	1,49
Raigras (iarba de secară)	16,50	0,27	0,05	0,01	1,27

Rapita (boabe/turta)	16,19	0,19	0,05	0,05	1,40
Rapita (tulpini)	16,48	0,28	0,04	0,04	1,35
Rosii (tulpini)	16,57	0,27	0,01	0,05	1,05
Rumegus	16,45	0,29	0,02	0,05	1,50
Rumegus de lemn	16,45	0,31	0,04	0,05	1,53
Salcam	16,42	0,31	0,05	0,05	1,51
Salcie	16,44	0,29	0,05	0,05	1,48
Secara (boabe)	16,51	0,27	0,05	0,05	1,49
Secara (turta)	16,48	0,25	0,05	0,05	1,40
Secara (paie)	16,47	0,29	0,05	0,04	1,42
Secara (planta intreaga)	16,46	0,27	0,05	0,04	1,45
Secara (pleava)	16,48	0,27	0,04	0,05	1,48
Sfecla de zahar (deseuri)	16,54	0,27	0,04	0,05	1,27
Soia (boabe)	16,49	0,27	0,04	0,05	1,40
Soia (pleava)	16,49	0,28	0,05	0,05	1,02
Sorg	16,64	0,29	0,04	0,05	1,32
Stejar (aschii din crengi)	16,48	0,29	-0,01	0,05	1,42
Stejar (crengi)	16,46	0,22	0,04	0,05	1,43
Stejar (frunze)	16,44	0,22	0,04	0,05	1,47
Stejar (ghinda)	16,51	0,28	0,04	0,05	1,15
Struguri (comina)	16,46	0,25	0,03	0,05	1,48
Triticale (boabe)	16,49	0,26	0,05	0,05	1,36
Triticale (paie)	16,48	0,30	0,05	0,04	1,41
Triticale (planta intreaga)	16,48	0,28	0,05	0,05	1,25
Vita de vie (aschii)	16,56	0,29	0,04	0,05	1,31
Vita de vie (crengi)	16,49	0,29	0,04	0,05	1,14
Vita de vie (deseuri)	16,50	0,27	0,04	0,05	1,14

Standard	I3, aditiv = 0,03				
	Q_min	N	S	CI	cenusa
<b>Fara aditivi</b>	<b>16,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,05</b>	<b>0,1</b>	<b>3</b>
Alun (coji)	16,43	0,61	0,05	0,10	3,02
Alun (frunze)	16,46	0,56	0,04	0,10	2,85
Aschii de lemn	16,54	0,61	0,04	0,10	3,05
Brad	16,42	0,62	0,05	0,10	3,08
Canepa (tulpini)	16,48	0,60	0,05	0,10	2,94
Carbune de lemn (vegetal)	16,09	0,60	0,04	0,10	2,91
Cartofi (planta)	16,54	0,58	0,04	0,10	2,60
Castan (aschii)	16,47	0,61	0,05	0,10	3,05
Castan (crengi)	16,47	0,59	0,04	0,10	2,88
Castan (frunze)	16,43	0,55	0,04	0,10	2,94
Cires (crengi)	16,41	0,60	0,05	0,10	2,96
Cires (frunze)	16,46	0,57	0,05	0,10	2,86
Cirese (samburi)	16,42	0,61	0,05	0,10	3,07
Coaja (lemn de conifere)	16,42	0,60	0,05	0,10	2,98
Fag (cu coaja)	16,44	0,61	0,05	0,10	3,08
Fan din fanete	16,47	0,58	0,05	0,09	2,92

Fan din parcuri	16,57	0,57	0,05	0,08	2,38
Fasole (coji)	16,54	0,60	0,04	0,10	2,85
Floarea soarelui (pleava)	16,45	0,61	0,04	0,10	3,03
Floarea-soarelui (tulpini)	16,52	0,58	0,05	0,08	2,72
Grau (boabe)	16,48	0,55	0,05	0,10	3,01
Grau (paie)	16,48	0,60	0,05	0,10	2,92
Grau (planta intreaga)	16,48	0,57	0,05	0,10	2,97
Grau (tarate)	16,47	0,55	0,04	0,10	2,98
Huila	16,09	0,58	0,02	0,10	2,84
Lemn de constructie	16,44	0,62	0,05	0,10	3,07
Lignit	16,37	0,60	0,04	0,10	2,94
Mar (crengi)	16,46	0,59	0,04	0,10	2,94
Mar (frunze)	16,47	0,57	0,04	0,10	2,72
Mazare (coji)	16,53	0,58	0,00	0,10	2,95
Mazare (tulpini)	16,47	0,59	0,04	0,10	2,91
Miscanthus	16,47	0,60	0,05	0,10	2,97
Molid (cu coaja)	16,43	0,61	0,05	0,10	3,07
Nectarine (samburi)	16,41	0,60	0,04	0,10	3,06
Nuci (coaja)	16,44	0,61	0,05	0,10	3,02
Orz (boabe)	16,50	0,56	0,04	0,10	3,00
Orz (paie)	16,47	0,60	0,05	0,09	2,94
Ovaz (tarate)	16,45	0,55	0,04	0,10	2,96
Păiuș	16,50	0,59	0,05	0,09	2,83
Piersic (frunze)	16,44	0,56	0,03	0,10	2,78
Pin (aschii)	16,41	0,62	0,04	0,10	3,07
Pin (conuri)	16,43	0,61	0,04	0,10	3,05
Pin (talaj)	16,40	0,62	0,04	0,10	3,07
Plop	16,44	0,61	0,05	0,10	3,04
Porumb (boabe)	16,50	0,58	0,04	0,10	3,03
Porumb (stiuleti)	16,47	0,60	0,05	0,10	3,02
Porumb (tulpini)	16,46	0,60	0,05	0,09	2,89
Prune (samburi)	16,42	0,59	0,05	0,10	3,04
Raigras (iarba de secara)	16,50	0,58	0,05	0,06	2,82
Rapita (boabe/turta)	16,19	0,50	0,05	0,10	2,95
Rapita (tulpini)	16,48	0,59	0,04	0,09	2,90
Rosii (tulpini)	16,57	0,58	0,01	0,10	2,59
Rumegus	16,45	0,60	0,02	0,10	3,04
Rumegus de lemn	16,45	0,61	0,04	0,10	3,07
Salcam	16,42	0,62	0,05	0,10	3,06
Salcie	16,44	0,60	0,05	0,10	3,03
Secara (boabe)	16,51	0,58	0,05	0,10	3,04
Secara (turta)	16,48	0,56	0,05	0,10	2,94
Secara (paie)	16,47	0,60	0,05	0,09	2,96
Secara (planta intreaga)	16,46	0,58	0,05	0,09	2,99
Secara (pleava)	16,48	0,58	0,04	0,10	3,03
Sfecla de zahar (deseuri)	16,54	0,58	0,04	0,10	2,81
Soia (boabe)	16,49	0,58	0,04	0,10	2,94

Soia (pleava)	16,49	0,59	0,05	0,10	2,57
Sorg	16,64	0,60	0,04	0,10	2,86
Stejar (aschii din crengi)	16,48	0,60	-0,01	0,10	2,96
Stejar (crengi)	16,46	0,53	0,04	0,10	2,98
Stejar (frunze)	16,44	0,52	0,04	0,10	3,01
Stejar (ghinda)	16,51	0,59	0,04	0,10	2,70
Struguri (comina)	16,46	0,56	0,03	0,10	3,03
Triticale (boabe)	16,49	0,57	0,05	0,10	2,91
Triticale (paie)	16,48	0,61	0,05	0,09	2,96
Triticale (planta intreaga)	16,48	0,59	0,05	0,10	2,79
Vita de vie (aschii)	16,56	0,60	0,04	0,10	2,86
Vita de vie (crengi)	16,49	0,60	0,04	0,10	2,68
Vita de vie (deseuri)	16,50	0,58	0,04	0,10	2,68

Standard	MBP A, aditiv = 0,05				
	Q_min	N	S	CI	cenusa
<b>Fara aditivi</b>	<b>14,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>6</b>
Alun (coji)	14,27	1,56	0,20	0,11	6,20
Alun (frunze)	14,32	1,47	0,19	0,11	5,89
Aschii de lemn	14,47	1,57	0,20	0,11	6,24
Brad	14,25	1,58	0,21	0,10	6,29
Canepa (tulpini)	14,37	1,54	0,21	0,09	6,06
Carbune de lemn (vegetal)	13,70	1,54	0,19	0,11	6,01
Cartofi (planta)	14,47	1,52	0,19	0,11	5,48
Castan (aschii)	14,34	1,57	0,20	0,11	6,25
Castan (crengi)	14,34	1,52	0,19	0,11	5,95
Castan (frunze)	14,28	1,46	0,20	0,11	6,06
Cires (crengi)	14,24	1,55	0,20	0,11	6,08
Cires (frunze)	14,33	1,50	0,20	0,11	5,93
Cirese (samburi)	14,26	1,56	0,20	0,11	6,27
Coaja (lemn de conifere)	14,25	1,55	0,21	0,10	6,12
Fag (cu coaja)	14,29	1,57	0,21	0,10	6,29
Fan din fanete	14,35	1,52	0,20	0,09	6,02
Fan din parcuri	14,52	1,50	0,20	0,06	5,10
Fasole (coji)	14,47	1,54	0,19	0,11	5,89
Floarea soarelui (pleava)	14,32	1,56	0,20	0,11	6,22
Floarea-soarelui (tulpini)	14,43	1,52	0,20	0,06	5,67
Grau (boabe)	14,37	1,46	0,20	0,10	6,17
Grau (paie)	14,36	1,55	0,21	0,10	6,02
Grau (planta intreaga)	14,36	1,50	0,20	0,10	6,10
Grau (tarate)	14,35	1,46	0,19	0,11	6,13
Huila	13,70	1,51	0,16	0,10	5,88
Lemn de constructie	14,30	1,57	0,20	0,11	6,27
Lignit	14,18	1,54	0,19	0,10	6,05
Mar (crengi)	14,33	1,54	0,19	0,11	6,05
Mar (frunze)	14,34	1,49	0,20	0,11	5,68
Mazare (coji)	14,45	1,51	0,11	0,11	6,08

Mazare (tulpini)	14,35	1,53	0,19	0,11	6,01
Miscanthus	14,34	1,54	0,20	0,09	6,11
Molid (cu coaja)	14,27	1,57	0,21	0,11	6,28
Nectarine (samburi)	14,23	1,55	0,20	0,11	6,26
Nuci (coaja)	14,30	1,57	0,21	0,11	6,19
Orz (boabe)	14,39	1,48	0,19	0,11	6,16
Orz (paie)	14,34	1,55	0,21	0,08	6,06
Ovaz (tarate)	14,31	1,46	0,20	0,11	6,10
Păiuș	14,40	1,53	0,20	0,08	5,87
Piersic (frunze)	14,30	1,47	0,17	0,11	5,78
Pin (aschii)	14,24	1,57	0,20	0,11	6,28
Pin (conuri)	14,28	1,56	0,19	0,11	6,25
Pin (talaj)	14,22	1,58	0,20	0,11	6,27
Plop	14,29	1,56	0,21	0,11	6,22
Porumb (boabe)	14,40	1,52	0,20	0,11	6,21
Porumb (stiuleți)	14,34	1,55	0,21	0,09	6,19
Porumb (tulpini)	14,33	1,54	0,20	0,09	5,96
Prune (samburi)	14,26	1,53	0,20	0,11	6,22
Raigras (iarba de seara)	14,39	1,51	0,20	0,03	5,85
Rapita (boabe/turta)	13,87	1,37	0,21	0,11	6,07
Rapita (tulpini)	14,36	1,53	0,20	0,08	5,99
Rosii (tulpini)	14,52	1,52	0,13	0,11	5,46
Rumegus	14,32	1,55	0,15	0,11	6,23
Rumegus de lemn	14,30	1,57	0,20	0,11	6,28
Salcam	14,25	1,58	0,21	0,11	6,26
Salcie	14,29	1,55	0,21	0,11	6,21
Secara (boabe)	14,41	1,52	0,20	0,11	6,22
Secara (turta)	14,36	1,48	0,20	0,10	6,06
Secara (paie)	14,35	1,55	0,21	0,08	6,09
Secara (planta intreaga)	14,33	1,52	0,20	0,09	6,15
Secara (pleava)	14,36	1,52	0,19	0,11	6,21
Sfecla de zahar (deseuri)	14,47	1,52	0,18	0,11	5,84
Soia (boabe)	14,38	1,52	0,20	0,11	6,06
Soia (pleava)	14,38	1,53	0,21	0,11	5,42
Sorg	14,64	1,54	0,20	0,11	5,93
Stejar (aschii din crengi)	14,36	1,54	0,11	0,11	6,09
Stejar (crengi)	14,33	1,43	0,19	0,11	6,12
Stejar (frunze)	14,30	1,42	0,19	0,11	6,18
Stejar (ghinda)	14,41	1,54	0,20	0,11	5,65
Struguri (comina)	14,33	1,48	0,18	0,11	6,21
Triticale (boabe)	14,37	1,49	0,20	0,10	6,01
Triticale (paie)	14,36	1,56	0,21	0,09	6,08
Triticale (planta intreaga)	14,37	1,52	0,20	0,10	5,81
Vita de vie (aschii)	14,49	1,55	0,19	0,11	5,92
Vita de vie (crengi)	14,38	1,54	0,19	0,11	5,62
Vita de vie (deseuri)	14,40	1,51	0,19	0,11	5,62



Standard	MBP B, aditiv = 0,05				
	Q_min	N	S	CI	cenusa
<b>Fara aditivi</b>	<b>14,5</b>	<b>2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>10</b>
Alun (coji)	14,27	2,09	0,31	0,32	10,41
Alun (frunze)	14,32	2,00	0,30	0,32	10,11
Aschii de lemn	14,47	2,10	0,30	0,32	10,45
Brad	14,25	2,10	0,31	0,31	10,50
Canepa (tulpini)	14,37	2,07	0,31	0,31	10,27
Carbune de lemn (vegetal)	13,70	2,07	0,30	0,32	10,22
Cartofi (planta)	14,47	2,05	0,29	0,32	9,69
Castan (aschii)	14,34	2,09	0,31	0,32	10,46
Castan (crengi)	14,34	2,05	0,29	0,32	10,16
Castan (frunze)	14,28	1,99	0,30	0,32	10,27
Cires (crengi)	14,24	2,08	0,31	0,32	10,29
Cires (frunze)	14,33	2,03	0,31	0,32	10,14
Cirese (samburi)	14,26	2,08	0,31	0,32	10,48
Coaja (lemn de conifere)	14,25	2,08	0,31	0,31	10,33
Fag (cu coaja)	14,29	2,09	0,32	0,32	10,50
Fan din fanete	14,35	2,05	0,31	0,30	10,23
Fan din parcuri	14,52	2,03	0,31	0,27	9,31
Fasole (coji)	14,47	2,07	0,30	0,32	10,11
Floarea soarelui (pleava)	14,32	2,09	0,30	0,32	10,43
Floarea-soarelui (tulpini)	14,43	2,05	0,31	0,27	9,88
Grau (boabe)	14,37	1,99	0,31	0,31	10,38
Grau (paie)	14,36	2,08	0,31	0,31	10,23
Grau (planta intreaga)	14,36	2,03	0,31	0,31	10,31
Grau (tarate)	14,35	1,98	0,30	0,32	10,34
Huila	13,70	2,04	0,27	0,31	10,09
Lemn de constructie	14,30	2,10	0,31	0,32	10,48
Lignit	14,18	2,07	0,30	0,31	10,26
Mar (crengi)	14,33	2,06	0,30	0,32	10,26
Mar (frunze)	14,34	2,02	0,30	0,32	9,89
Mazare (coji)	14,45	2,04	0,22	0,32	10,29
Mazare (tulpini)	14,35	2,06	0,30	0,32	10,22
Miscanthus	14,34	2,07	0,31	0,30	10,32
Molid (cu coaja)	14,27	2,10	0,32	0,32	10,49
Nectarine (samburi)	14,23	2,08	0,30	0,32	10,47
Nuci (coaja)	14,30	2,09	0,31	0,32	10,41
Orz (boabe)	14,39	2,01	0,30	0,32	10,37
Orz (paie)	14,34	2,08	0,31	0,29	10,27
Ovaz (tarate)	14,31	1,99	0,30	0,32	10,31
Păiuș	14,40	2,06	0,31	0,29	10,08
Piersic (frunze)	14,30	2,00	0,28	0,32	9,99
Pin (aschii)	14,24	2,10	0,30	0,32	10,49
Pin (conuri)	14,28	2,09	0,29	0,32	10,46
Pin (talaj)	14,22	2,10	0,30	0,32	10,48
Plop	14,29	2,08	0,31	0,32	10,43

Porumb (boabe)	14,40	2,04	0,30	0,32	10,42
Porumb (stiuleti)	14,34	2,08	0,32	0,30	10,40
Porumb (tulpini)	14,33	2,07	0,31	0,30	10,17
Prune (samburi)	14,26	2,06	0,31	0,32	10,43
Raigras (iarba de secara)	14,39	2,03	0,31	0,24	10,06
Rapita (boabe/turta)	13,87	1,90	0,31	0,32	10,28
Rapita (tulpini)	14,36	2,06	0,30	0,29	10,20
Rosii (tulpini)	14,52	2,04	0,24	0,32	9,67
Rumegus	14,32	2,08	0,26	0,32	10,44
Rumegus de lemn	14,30	2,10	0,30	0,32	10,49
Salcam	14,25	2,11	0,32	0,32	10,47
Salcie	14,29	2,08	0,31	0,32	10,42
Secara (boabe)	14,41	2,04	0,30	0,32	10,43
Secara (turta)	14,36	2,00	0,31	0,31	10,27
Secara (paie)	14,35	2,08	0,31	0,29	10,31
Secara (planta intreaga)	14,33	2,05	0,31	0,30	10,36
Secara (pleava)	14,36	2,04	0,30	0,32	10,42
Sfecla de zahar (deseuri)	14,47	2,04	0,29	0,32	10,05
Soia (boabe)	14,38	2,04	0,30	0,32	10,27
Soia (pleava)	14,38	2,06	0,31	0,32	9,63
Sorg	14,64	2,07	0,30	0,32	10,14
Stejar (aschii din crengi)	14,36	2,07	0,21	0,32	10,31
Stejar (crengi)	14,33	1,95	0,30	0,32	10,33
Stejar (frunze)	14,30	1,95	0,30	0,32	10,39
Stejar (ghinda)	14,41	2,06	0,30	0,32	9,86
Struguri (comina)	14,33	2,00	0,29	0,32	10,42
Triticale (boabe)	14,37	2,02	0,31	0,31	10,22
Triticale (paie)	14,36	2,08	0,31	0,30	10,29
Triticale (planta intreaga)	14,37	2,05	0,31	0,31	10,02
Vita de vie (aschii)	14,49	2,07	0,30	0,32	10,13
Vita de vie (crengi)	14,38	2,07	0,29	0,32	9,83
Vita de vie (deseuri)	14,40	2,03	0,30	0,32	9,83