

# **CONTRIBUȚII PRIVIND CERCETAREA ARDERII ÎN STRAT FLUIDIZAT A BIOMASEI**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul INGINERIE MECANICĂ  
de către

**Ing. Adrian-Iulian Țenchea**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Corneliu Ungureanu  
Referenți științifici: prof.univ.dr. ing. Ion Ioniță  
prof.univ.dr.ing. Teodor Prisecaru  
conf.univ.dr.ing. Floriana Stoian

Ziua susținerii tezei: 26.09.2008.

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2008

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat cu titlul „Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei” a fost elaborată în urma cercetărilor efectuate pe perioada 2004 – 2008, perioadă în care mi-am desfășurat activitatea ca doctorand cu frecvență în cadrul Catedrei de Termotehnică, Mașini Termice și Autovehicule Rutiere (TMTAR) a Facultății de Mecanică din cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara.

Cea mai mare parte a activității mi-am desfășurat-o în cadrul Laboratorului de Analize de Combustibili și Investigații Ecologice din Centrul de Cercetare pentru Mașini și Echipamente Termice, Transporturi și Combaterea Poluării.

Problemele legate de poluarea mediului sunt multiple, acestea apărând cu mult timp în urmă, atât din cauza creșterii populației și implicit a nevoii de energie necesară în viața cotidiană, dar și a dezvoltării industriei. Aceste probleme au început să fie conștientizate în ultima perioadă, asigurarea energiei trebuind să fie rentabilă din punct de vedere economic, dar și al impactului asupra mediului.

Tema lucrării a fost inspirată din problemele legate de poluarea mediului și a folosirii resurselor regenerabile pentru producerea de energie, precum și a epuizării, într-o perioadă mai lungă sau mai scurtă, a combustibililor fosili. Nu se pune problema substituirii combustibililor fosili, ci doar suplimentarea producției de energie pentru nevoile din ce în ce mai mari ale omenirii.

Mulțumesc domnului prof. dr. ing. Corneliu UNGUREANU, care în calitate de conducător de doctorat, mi-a oferit sprijin moral și profesional, sprijin acordat pe toată perioada desfășurării activității mele ca doctorand.

Mulțumiri deosebite se cuvin și doamnei conf. dr. ing. Floriana STOIAN, care mi-a oferit sprijin și îndrumare ori de câte ori am avut nevoie, dar și domnului prof. dr. ing. Ion IONIȚĂ de la Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați și domnului prof. dr. ing. Teodor PRISECARU de la Universitatea Politehnica din București în calitate de referenți științifici.

Cu deosebit respect aduc mulțumiri celor care m-au sprijinit pe parcursul elaborării acestei lucrări:

- conducerii Laboratorului de Combustibili și Investigații Ecologice al Facultății de Mecanică Timișoara pentru baza materială, informațională și experimentală ;
- tuturor colaboratorilor direcți și indirecti pentru sprijinul acordat;
- familiei și prietenilor.

Timișoara, septembrie 2008

ing. Adrian – Iulian ȚENCHEA

Tenchea, Adrian-Iulian

**Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 38, Editura Politehnica, 2008, 228 pagini, 149 figuri, 69 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-973-625-712-4

Cuvinte cheie: stație pilot, ardere în strat fluidizat staționar, calcul termic, biomasă deșeu, măsurători, emisii de noxe.

Rezumat, Lucrarea a fost inspirată din problemele legate de poluarea mediului și a folosirii resurselor regenerabile pentru producerea de energie, a epuizării, într-o perioadă mai lungă sau mai scurtă, a combustibililor fosili, precum și a dezvoltării durabile prin diminuarea emisiilor de gaze cu efect de seră conform angajamentelor asumate în cadrul Protocolului de la Kyoto (1997) la care semnatară este și România. Una dintre posibilitățile de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră este înlocuirea parțială a combustibililor fosili cu biomasa deșeu. Nu se pune problema substituirii combustibililor fosili, ci doar suplimentarea producției de energie pentru nevoile din ce în ce mai mari ale omenirii. S-au făcut experimente de ardere în strat fluidizat staționar pentru șase sorturi de biomasă deșeu. Cercetările experimentale s-au desfășurat pe stația pilot concepută și realizată pentru arderea în strat fluidizat staționar atât a combustibililor fosili, cât și a biomasei solide, dar în special a deșeurilor de biomasă, care nu au o valorificare mai bună decât cea energetică.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor experimentale, precum și observațiile în ceea ce privește funcționarea stației pilot pe parcursul încercărilor pot fi luate în considerare în ceea ce privește utilizarea biomasei deșeu, dar și a realizării unor instalații de puteri mici și mijlocii.

## CUPRINS

Listă de tabele	
Lista de figuri	
Cuprins.....	1
Cap. 1. Considerații privind energia viitorului.....	3
1.1. Cererea de energie.....	3
1.2. Surse de energie.....	5
1.3. Combustibili fosili. Impactul asupra climei.....	7
1.3.1. Estimarea producției de CO <sub>2</sub> și a concentrației sale în atmosferă.....	7
1.3.2. Creșterea concentrației de CO <sub>2</sub> în atmosferă.....	9
1.3.3. Încălzirea globală progresivă – ipoteză sau certitudine.....	10
1.3.4. Consecințele economice ale modificărilor climatice.....	12
1.4. Strategii de reducere a emisiilor.....	13
1.4.1. Conservarea energiei.....	13
1.4.2. Surse de energie regenerabile.....	15
1.4.2.1. Hidroenergia.....	16
1.4.2.2. Energia eoliană.....	18
1.4.2.3. Energia solară.....	19
1.4.2.4. Energia geotermală.....	21
1.4.2.5. Biomasa.....	24
1.5. Sechestrarea carbonului.....	25
1.6. Unele observații.....	27
Cap 2. Caracteristicile fizico – chimice și tehnologice ale biomasei.....	29
2.1. Formarea biomasei.....	29
2.1.1. Potențialul biomasei ca sursă regenerabilă.....	30
2.2. Compoziția și proprietățile biomasei.....	33
2.2.1. Caracteristici tehnologice [55], [56], [57], [58].....	33
2.2.2. Compoziția elementară.....	36
2.2.3. Puterea calorifică. Densitatea energetică.....	44
Cap. 3. Instalații și tehnici de ardere a biomasei.....	61
3.1. Pregătirea biomasei și concepte privind arderea.....	61
3.2. Instalații de ardere – clasificare.....	66
3.3. Instalații de ardere în strat fluidizat.....	71
3.3.1. Focare cu ardere în strat fluidizat staționar.....	73
3.3.2. Focare cu ardere în strat fluidizat circulant.....	75
3.3.3. Avantajele arderii în strat fluidizat a combustibililor solizi.....	76
Cap. 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat.....	77
4.1. Premize.....	77
4.2. Calculul termic al instalației.....	77
4.3. Prezentarea stației pilot.....	86
4.4. Calculul termic de verificare a schimbătorului de căldură (răcitorului) gaze de ardere – apă de răcire.....	88
4.4.1. Bilanțul termic pe circuitul gazelor de ardere.....	88
4.4.2. Determinarea suprafeței de încălzire a schimbătorului de căldură (corpul convectiv).....	90
4.5. Realizarea stației pilot.....	96
Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar.....	103

5.1. Programul de măsurători.....	103
5.2. Prezentarea aparaturii de măsură.....	103
5.2.1. Sistemul de achiziție a temperaturilor.....	103
5.2.2. Analizorul de gaze TESTO 300 XXL.....	108
5.2.3. Analizorul de praf STRÖHLEIN STE4.....	116
5.3. Pornirea instalației.....	122
5.4. Rezultatele măsurătorilor privind emisiile de noxe gazoase.....	145
5.5. Unele aspecte ale rezultatelor obținute și concluzii.....	203
Cap. 6. Unele precizări cu privire la cercetările efectuate și contribuția personală.....	205
6.1. Folosirea deșeurilor de biomasă din agricultură.....	205
6.2. Avantaje ale arderii în strat fluidizat.....	205
6.3. Contribuții personale.....	206
Bibliografie.....	207

# Cuprins

Listă de tabele

Lista de figuri

Cap. 1. Considerații privind energia viitorului.....	3
1.1. Cererea de energie .....	3
1.2. Surse de energie .....	5
1.3. Combustibili fosili. Impactul asupra climei .....	7
1.3.1. Estimarea producției de CO <sub>2</sub> și a concentrației sale în atmosferă ..	7
1.3.2. Creșterea concentrației de CO <sub>2</sub> în atmosferă .....	9
1.3.3. Încălzirea globală progresivă – ipoteză sau certitudine .....	10
1.3.4. Consecințele economice ale modificărilor climatice .....	12
1.4. Strategii de reducere a emisiilor .....	13
1.4.1. Conservarea energiei .....	13
1.4.2. Surse de energie regenerabile.....	15
1.4.2.1. Hidroenergia.....	16
1.4.2.2. Energia eoliană .....	18
1.4.2.3. Energia solară.....	19
1.4.2.4. Energia geotermală .....	21
1.4.2.5. Biomasa.....	24
1.5. Sechestrarea carbonului .....	25
1.6. Unele observații .....	27
Cap 2. Caracteristicile fizico – chimice și tehnologice ale biomasei .....	29
2.1. Formarea biomasei .....	29
2.1.1. Potențialul biomasei ca sursă regenerabilă .....	30
2.2. Compoziția și proprietățile biomasei .....	33
2.2.1. Caracteristici tehnologice [55], [56], [57], [58] .....	33
2.2.2. Compoziția elementară .....	36
2.2.3. Puterea calorifică. Densitatea energetică .....	44
Cap. 3. Instalații și tehnici de ardere a biomasei .....	61
3.1. Pregătirea biomasei și concepte privind arderea.....	61
3.2. Instalații de ardere – clasificare.....	66
3.3. Instalații de ardere în strat fluidizat .....	71
3.3.1. Focare cu ardere în strat fluidizat staționar .....	73
3.3.2. Focare cu ardere în strat fluidizat circulant.....	75
3.3.3. Avantajele arderii în strat fluidizat a combustibililor solizi.....	76
Cap. 4 Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat.....	77
4.1. Premize .....	77
4.2. Calculul termic al instalației .....	77
4.3. Prezentarea stației pilot.....	86
4.4. Calculul termic de verificare a schimbătorului de căldură (răcitorului) gaze de ardere – apă de răcire.....	88
4.4.1. Bilanțul termic pe circuitul gazelor de ardere.....	88
4.4.2. Determinarea suprafeței de încălzire a schimbătorului de căldură (corpul convectiv).....	90
4.5. Realizarea stației pilot.....	96

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar.....	103
5.1. Programul de măsurători .....	103
5.2. Prezentarea aparaturii de măsură .....	103
5.2.1. Sistemul de achiziție a temperaturilor .....	103
5.2.2. Analizorul de gaze TESTO 300 XXL .....	108
5.2.3. Analizorul de praf STRÖHLEIN STE4 .....	116
5.3. Pornirea instalației.....	122
5.4. Rezultatele măsurătorilor privind emisiile de noxe gazoase.....	145
5.5. Unele aspecte ale rezultatelor obținute și concluzii .....	203
Cap. 6. Unele precizări cu privire la cercetările efectuate și contribuția personală.....	205
6.1. Folosirea deșeurilor de biomasă din agricultură .....	205
6.2. Avantaje ale arderii în strat fluidizat .....	205
6.3. Contribuții personale.....	206
Bibliografie .....	207



## Listă figuri

Fig. 1.1 Variația consumului total de energie și a populației globului în perioada 1875 – 2000 [1].....	3
Fig. 1.2 Previțiunile asupra consumului mondial de energie [2].....	4
Fig. 1.3 Estimarea emisiilor totale industriale de dioxid de carbon încă de la începutul revoluției industriale [2] .....	7
Fig. 1.4 Concentrația dioxidului de carbon în atmosferă, măsurată la Mauna Loa, comparativ cu datele de emisii globale [1] .....	8
Fig. 1.5 Concentrația de dioxid de carbon în atmosferă [1] .....	8
Fig. 1.6. Variația temperaturii medii globale în perioada anilor 1850 – 2000 [8] .....	11
Fig. 1.7 Structura principală a Terrei .....	22
Fig. 2.1 Unghiul taluzului natural .....	35
Fig. 2.2 Conținutul de cenușă pentru diferiți combustibili [31].....	42
Fig. 2.3 Conținutul de sulf pentru diferiți combustibili [31].....	43
Fig. 2.4 Conținutul de azot pentru diferiți combustibili [31] .....	44
Fig. 2.5 Variația puterii calorifice inferioare a lemnului în funcție de conținutul total de umiditate [42] .....	45
Fig. 2.6 Variația puterii calorifice inferioare a lemnului în funcție de conținutul de cenușă raportat la proba anhidră [42] .....	45
Fig. 2.7 Schema de principiu a unui derivatograf.....	48
Fig. 2.8 Derivatograma unui cărbune brun (lignit din bazinul Olteniei de Nord) 50	
Fig. 2.9 Coceni tocați .....	53
Fig. 2.10 Făină de porumb .....	53
Fig. 2.11 Floarea-soarelui măcinată.....	54
Fig. 2.12 Huilă .....	54
Fig. 2.13 Rumeguș.....	55
Fig. 2.14 Știuleți de porumb.....	55
Fig. 2.15 Tărâțe.....	56
Fig. 2.16 Făină de oase + cărbune.....	56
Fig. 2.17 Lignit.....	57
Fig. 2.18 Rumeguș mare.....	57
Fig. 2.19 Pierderea de masă a probelor în [%].....	58

## Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Fig. 2.20 Pierderea de masă a probelor în [%] pe intervalul de temperaturi (0 - t) [°C] .....	59
Fig. 3.1 Deșeuri de lemn .....	61
Fig. 3.2 Deșeuri de la prelucrarea trestiei de zahăr.....	61
Fig. 3.3 Modalități de conversie a biomasei [31] .....	62
Fig. 3.4 Diagrama Van Krevelen pentru diferiți combustibili fosili .....	62
Fig. 3.5 Diverse sorturi de biomasă compactată .....	64
Fig. 3.6 Centrală cu sistem de alimentare cu șnec .....	67
Fig. 3.7 Centrală cu cameră de precombustie.....	67
Fig. 3.8 Principalele tipuri de instalații de ardere.....	68
Fig. 3.9. Dependența dintre căderea de presiune în stratul de combustibil și viteza de insuflare de jos în sus a aerului.....	69
Fig. 3.10 Focar cu grătar pentru arderea directă a stratului de lemne încărcat manual [9].....	70
Fig. 3.11 Schema cazanului de abur CR 11 înzestrat cu focar cu ardere în strat fluidizat pentru coji de floarea soarelui.....	72
Fig. 3.12. Schema unui focar cu ardere în strat fluidizat staționar .....	73
Fig. 3.13 Focar pentru arderea biomasei în strat fluidizat.....	74
Fig.3.14 Schema unui cazan dotat cu focar pentru arderea biomasei în strat fluidizat circulant.....	75
Fig. 4.1 Schema focarului.....	83
Fig. 4.2 Schema de principiu a stației pilot.....	86
Fig. 4.3 Secțiunea frontală a corpului convectiv.....	90
Fig. 4.4 Secțiunea longitudinală a corpului convectiv.....	91
Fig. 4.5 Schema de curgere a fluidelor de lucru.....	92
Fig. 4.6 Vedere de ansamblu a schimbătorului de căldură gaze apă .....	92
Fig. 4.7 Schema stației pilot pentru arderea în strat fluidizat staționar .....	96
Fig. 4.8 Vedere dinspre focar a stației pilot.....	97
Fig. 4.9 Vedere de ansamblu a stației pilot.....	97
Fig. 4.10 Vedere laterală a ansamblului focar – răcitor de cenușă.....	98
Fig. 4.11 Vedere răcitor de cenușă.....	98
Fig. 4.12 Ventilatorul de aer.....	98
Fig. 4.13 Racordurile prin care aerul de fluidizare pătrunde în focar .....	98
Fig. 4.14 Grătarul cu pipe pentru aerul de fluidizare .....	99
Fig. 4.15 Sistemul de alimentare cu combustibil.....	99
Fig. 4.16 Variante constructive de șnecuri .....	99
Fig. 4.17 Corpul convectiv .....	100
Fig. 4.18 Pompa de apă.....	100
Fig. 4.19 Detaliu racord serpentine .....	100
Fig. 4.20 Ciclonul .....	101
Fig. 4.21 Scrberul.....	101
Fig. 4.22 Reactorul .....	102
Fig. 4.23 Separatorul de picături.....	102

## Listă figuri

Fig. 5.1 Placa achiziție NI – 6220 M.....	104
Fig. 5.2 Termocuplu Tip K Cromel-Alumel .....	104
Fig. 5.3 Conexiune termocuplu .....	105
Fig. 5.4a Termocupluri montate pe instalație .....	105
Fig. 5.4b Sistemul de calcul Conexiuni .....	105
Fig. 5.4c Blocul de conexiuni CB-68 LP.....	106
Fig. 5.5 Interfață meniu principal.....	106
Fig. 5.6 Interfață citire temperaturi.....	107
Fig. 5.7 -1. Unitatea de analiză .....	109
Fig. 5.7 - 2 Unitatea de analiză.....	109
Fig. 5.7 – 3 Interconectarea aparatelor pentru măsurători continue complexe.....	110
Fig. 5.7 - 4 Unitatea de control .....	111
Fig. 5.7 - 5 Sonda de prelevare a gazelor.....	112
Fig. 5.7 - 6 Calibrarea la 0, Testo 300.....	114
Fig. 5.7 - 7 Display, Testo 300.....	114
Fig. 5.7 - 8 Alegerea combustibilului.....	115
Fig. 5.7 - 9 Setarea parametrilor, Testo 300.....	115
Fig.5.8 Schema de montaj STROHLEIN.....	117
Fig.5.9 Ansamblu duză calibrată corp cartuș filtrant.....	118
Fig. 5.10 Știuleți de porumb înainte (stânga) și după (dreapta) măcinare .....	122
Fig. 5.11 Porumb înainte (stânga) și după (dreapta) măcinare .....	123
Fig. 5.12 Hârtie înainte (stânga) și după (dreapta) măcinare .....	123
Fig. 5.13 Variația debitului în funcție de turație – boabe de porumb – șnec stânga .....	124
Fig. 5.14 Variația debitului în funcție de turație – știuleți de porumb – șnec stânga .....	125
Fig. 5.15 Variația debitului în funcție de turație – boabede grâu – șnec stânga .....	126
Fig. 5.16 Variația debitului în funcție de turație – hârtie – șnec stânga.....	127
Fig. 5.17 Variația debitului în funcție de turație – boabe de porumb – șnec dreapta .....	128
Fig. 5.18 Variația debitului în funcție de turație – știuleți de porumb – șnec dreapta.....	129
Fig. 5.19 Variația debitului în funcție de turație – boabe de grâu – șnec dreapta .....	130
Fig. 5.20 Variația debitului în funcție de turație – hârtie – șnec dreapta .....	131
Fig. 5.21 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu boabe de porumb măcinate.....	134
Fig. 5.22 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu boabe de porumb măcinate .....	134
Fig. 5.23 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu boabe de porumb măcinate.....	135
Fig. 5.24 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu știuleți de porumb măcinați.....	136
Fig. 5.25 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu știuleți de porumb măcinați .....	136
Fig. 5.26 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu știuleți de porumb măcinați.....	137

## Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Fig. 5.27 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb.....	138
Fig. 5.28 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb.....	138
Fig. 5.29 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb.....	139
Fig. 5.30 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu hârtie + lignit.....	140
Fig. 5.31 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu hârtie + lignit .....	140
Fig. 5.32 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu hârtie + lignit.....	141
Fig. 5.33 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb.....	142
Fig. 5.34 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb.....	142
Fig. 5.35 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb .....	143
Fig. 5.36 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu boabe de grâu.....	144
Fig. 5.37 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu boabe de grâu.....	144
Fig. 5.38 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu boabe de grâu.....	145

### Boabe de porumb

Fig. 5.39 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea boabelor de porumb.....	152
Fig. 5.39 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de porumb .....	152
Fig. 5.39 c Variația NO <sub>x</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de porumb .....	153
Fig. 5.39 d Variația SO <sub>2</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de porumb .....	153
Fig. 5.39 e Concentrația medie și gradul de reținere ale NO <sub>x</sub> -ului .....	154
Fig. 5.39 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO <sub>2</sub> -ului .....	154

### Știuleți de porumb măcinați

Fig. 5.40 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea știuleților de porumb.....	161
Fig. 5.40 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea știuleților de porumb .....	161
Fig. 5.40 c Variația NO <sub>x</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea știuleților de porumb .....	162
Fig. 5.40 d Variația SO <sub>2</sub> -ului înainte și după SEGA .....	162
Fig. 5.40 e Concentrația medie a NO <sub>x</sub> -ului.....	163
Fig. 5.40 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO <sub>2</sub> -ului .....	163

### Pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb

## Listă figuri

Fig. 5.41 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb .....	170
Fig. 5.41 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb.....	170
Fig. 5.41 c Variația NO <sub>x</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb.....	171
Fig. 5.41 d Variația SO <sub>2</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb.....	171
Fig. 5.41 e Concentrația medie a NO <sub>x</sub> -ului.....	172
Fig. 5.41 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO <sub>2</sub> -ului.....	172

### Hârtie + lignit

Fig. 5.42 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea hârtiei + lignit .....	179
Fig. 5.42 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea hârtiei + lignit .....	179
Fig. 5.42 c Variația NO <sub>x</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea hârtiei + lignit.....	180
Fig. 5.42 d Variația SO <sub>2</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea hârtiei + lignit.....	180
Fig. 5.42 e Concentrația medie a NO <sub>x</sub> -ului.....	181
Fig. 5.42 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO <sub>2</sub> -ului .....	181

### Pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb

Fig. 5.43 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe.....	188
Fig. 5.43 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe .....	188
Fig. 5.43 c Variația NO <sub>x</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe .....	189
Fig. 5.43 d Variația SO <sub>2</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe .....	189
Fig. 5.43 e Concentrația medie și gradul de reținere ale NO <sub>x</sub> -ului la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe .....	190
Fig. 5.43 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO <sub>2</sub> -ului la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe .....	190

### Boabe de grâu măcinate

Fig. 5.44 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea boabelor de grâu .....	197
Fig. 5.44 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de grâu .....	197
Fig. 5.44 c Variația NO <sub>x</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de grâu .....	198
Fig. 5.44 d Variația SO <sub>2</sub> -ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de grâu .....	198
Fig. 5.44 e Concentrația medie a NO <sub>x</sub> -ului la arderea boabelor de grâu .....	199

Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Fig. 5.44 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO<sub>2</sub>-ului  
la arderea boabelor de grâu ..... 199

## Listă tabele

Tab. 1.1	Principalele surse de energie.....	5
Tab. 1.2	Ponderea surselor de energie în balanța energetică a Comunității Europene la nivelul anului 2000. [1].....	6
Tab. 1.3	Distribuția resurselor neconvenționale în Comunitatea Europeană la nivelul anului 2000. [1].....	6
Tab. 2.1	Ponderea biomasei în balanța resurselor energetice primare [1].....	32
Tab. 2.2.	Factorii pentru trecerea rezultatelor analizei combustibililor solizi de la o stare la alta [6], [7].....	38
Tab. 2.3	Compoziția, volatilitatea și puterea calorică a unor sorturi de biomasă.....	39
Tab. 2.4.	Compoziția unor sorturi de biomasă exprimată în procente masice din masa anhidră [42], [55].....	40
Tab. 2.5.	Date caracteristice referitoare la arderea biomasei [42].....	40
Tab. 2.6	Compoziția elementară a boabelor de porumb și de grâu.....	41
Tab. 2.7	Valori medii orientative ale densității energetice a unor combustibili [42].....	47
Tab. 2.8	Temperaturi la inflexiunea curbei TG.....	52
Tab. 2.9	Pierderile de masă a probelor.....	58
Tab. 4.1	Valorile $\lambda_f$ și $\dot{V}_{aer}$ în funcție de $t_0$ .....	84
Tab. 4.2.	Consumul de combustibil și debitul de aer în funcție de puterea termică nominală a focarului.....	85
Tab. 4.3	Bilanțul termic preliminar pe circuitul gazelor de ardere.....	89
Tab. 4.4	Rezultatele calculului termic al schimbătorului de căldură gaze – apă (corpul convectiv).....	94
Tab. 5.1	Valori pentru debitul boabelor de porumb măcinate în funcție de poziția varitorului de turație – șnec stânga.....	124
Tab. 5.2	Valori pentru debitul știuleților de porumb măcinați în funcție de poziția varitorului de turație – șnec stânga.....	125
Tab. 5.3	Valori pentru debitul boabelor de grâu măcinate în funcție de poziția varitorului de turație – șnec stânga.....	126
Tab. 5.4	Valori pentru debitul hârtiei măcinate în funcție de poziția varitorului de turație – șnec stânga.....	127
Tab. 5.5	Valori pentru debitul boabelor de porumb măcinate în funcție de poziția varitorului de turație – șnec dreapta.....	128
Tab. 5.6	Valori pentru debitul știuleților de porumb măcinați în funcție de poziția varitorului de turație – șnec dreapta.....	129
Tab. 5.7	Valori pentru debitul boabelor de grâu măcinate în funcție de poziția varitorului de turație – șnec dreapta.....	130
Tab. 5.8	Valori pentru debitul hârtiei măcinate în funcție de poziția varitorului de turație – șnec dreapta.....	131

Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Tab. 5.9 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu boabe de porumb măcinate.....	133
Tab. 5.10 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu știuleți de porumb măcinați.....	135
Tab. 5.11 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb .....	137
Tab. 5.12 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu hârtie + lignit .....	139
Tab. 5.13 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb .....	141
Tab. 5.14 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu boabe de grâu .....	143
Boabe de porumb măcinate	
Tab. 5.15 a Valori măsurate înainte de SEGA.....	146
Tab. 5.15 b Valori raportate înainte de SEGA .....	147
Tab. 5.16 a Valori măsurate între scrubler și reactor .....	148
Tab. 5.16 b Valori raportate între scrubler și reactor.....	149
Tab. 5.17 a Valori măsurate după SEGA.....	150
Tab. 5.17 b Valori raportate după SEGA.....	151
Știuleți de porumb măcinați	
Tab. 5.18 a Valori măsurate înainte de SEGA.....	155
Tab. 5.18 b Valori raportate înainte de SEGA.....	156
Tab. 5.19 a Valori măsurate între scrubler și reactor.....	157
Tab. 5.19 b Valori raportate între scrubler și reactor.....	158
Tab. 5.20 a Valori măsurate după SEGA.....	159
Tab. 5.20 b Valori raportate după SEGA.....	160
Pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb	
Tab. 5.21 a Valori măsurate înainte de SEGA.....	164
Tab. 5.21 b Valori raportate înainte de SEGA.....	165
Tab. 5.22 a Valori măsurate între scrubler și reactor.....	166
Tab. 5.22 b Valori raportate între scrubler și reactor .....	167
Tab. 5.23 a Valori măsurate după SEGA .....	168
Tab. 5.23 b Valori raportate după SEGA.....	168
Hârtie + lignit	
Tab. 5.24 a Valori măsurate înainte de SEGA .....	173
Tab. 5.24 b Valori raportate înainte de SEGA .....	174
Tab. 5.25 a Valori măsurate între scrubler și reactor.....	175
Tab. 5.25 b Valori raportate între scrubler și reactor.....	176
Tab. 5.26 a Valori măsurate post SEGA.....	177
Tab. 5.26 b Valori raportate post SEGA.....	178
Pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb	
Tab. 5.27 a Valori măsurate înainte de SEGA.....	182
Tab. 5.27 b Valori raportate înainte de SEGA .....	183
Tab. 5.28 a Valori măsurate între scrubler și reactor .....	184
Tab. 5.28 b Valori raportate între scrubler și reactor .....	185
Tab. 5.29 a Valori măsurate după SEGA .....	186
Tab. 5.29 b Valori raportate post SEGA.....	187
Boabe de grâu măcinate	
Tab. 5.30 a Valori măsurate înainte de SEGA.....	191
Tab. 5.30 b Valori raportate înainte de SEGA.....	192
Tab. 5.31 a Valori măsurate între scrubler și reactor .....	193



Listă tabele

Tab. 5.31 b Valori raportate între scruber și reactor .....	194
Tab. 5.32 a Valori măsurate după SEGA .....	195
Tab. 5.32 b Valori raportate după SEGA.....	196
Tab. 5.33 Valori măsurate și raportate ale emisiei de praf pentru boabele de porumb.....	200
Tab. 5.34 Valori medii măsurate .....	201
Tab. 5.35 Valori medii raportate .....	202

# Cap. 1. Considerații privind energia viitorului

## 1.1. Cererea de energie

Energia este necesară traiului de zi cu zi al populației, dar și dezvoltării industriei. Asigurarea energiei este fundamentală pentru societatea modernă care solicită o alimentare cu energie capabilă să facă față cererii crescânde a populației, dar în același timp să fie fiabilă, economic rezonabilă și durabilă în ceea ce privește impactul său global și local asupra mediului.

Curbele din fig. 1.1, care reprezintă creșterea consumului total de energie și respectiv a populației globului în perioada anilor 1875 – 2000, trasate pe baza datelor statistice existente, au o alură asemănătoare ceea ce confirmă interdependența dintre aceste două mărimi. Preocupările de a cuantifica cererea viitoare de energie a omenirii au devenit un domeniu major al cercetării științifice. Din multiplele analize care s-au făcut până în prezent s-a considerat deosebit de utilă lucrarea „Perspectivele energetice Globale” (PEG), elaborată de Institutul Internațional pentru Analiza Sistemelor Aplicate (IIASA) împreună cu Consiliul Mondial al Energiei (WEC) [1]. Previzunile asupra consumului mondial de energie pe perioada 2000 – 2100 este ilustrat în această lucrare prin curbele de variație ale consumului relativ de energie, considerat egal cu unitatea ( $C_{RE} = 1$ ) pentru anul 2000.

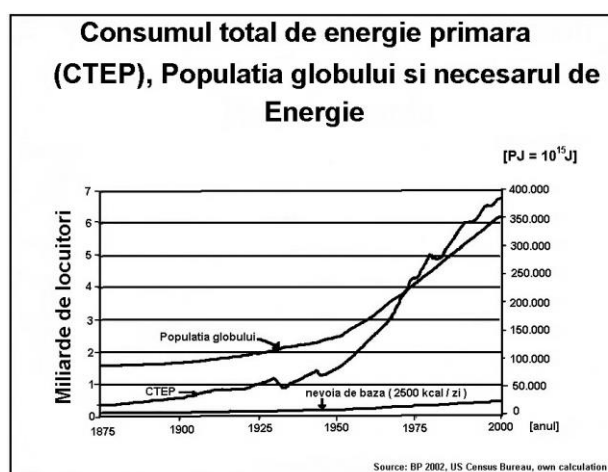


Fig. 1.1 Variația consumului total de energie și a populației globului în perioada 1875 – 2000 [1]

#### 4 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Din fig. 1.2 se observă că pentru țările industrializate s-a considerat că indicele  $C_{RE}$  își menține o valoare constantă pentru perioada menționată, în schimb pentru țările în curs de dezvoltare valoarea acestui indice crește extrem de mult – explicația rezidă în tendința creșterii rapide a consumului/persoană în țările asiatice (China, India și nu numai) spre cel din Europa și America.

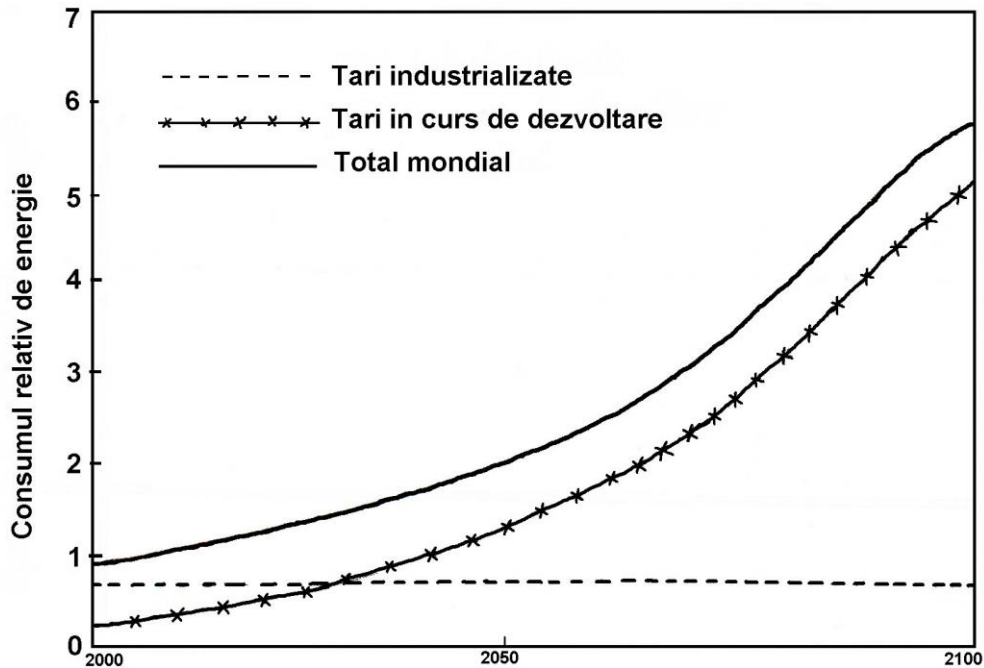


Fig. 1.2 Previzunile asupra consumului mondial de energie [2]

Datele referitoare la creșterea populației globului sunt bazate pe proiecția din 1992 a Băncii Mondiale și anume de 11,7 miliarde de locuitori la nivelul anului 2100.

Referitor la previziunile consumului mondial de energie, acestea sunt numeroase, dar problema cheie este măsura gradului de încredere [49], [50]. Desigur, pot să apară îndoieli, uneori suficient de argumentate, atât în privința creșterii populației mondiale în decursul unui secol, cât și a consumului de energie pe persoană, determinat pe de o parte de îmbunătățirea eficienței folosirii energiei în sectorul casnic, iar pe de altă parte contrabalansată de creșterea consumului de energie în sectorul transporturilor – în special cel al folosirii autovehiculelor personale. Se concluzionează în lucrarea [1] că „ar fi lipsit de înțelepciune a anticipa o creștere a cerințelor mondiale de energie primară, raportată la valorile

din 1995, cu un factor mai mic de 1,4 – la nivelul anului 2020, 2 – la nivelul anului 2050 și 5 – la nivelul anului 2100.

## 1.2. Surse de energie

În tab. 1.1 sunt enumerate principalele surse de energie, grupate în două mari categorii: neregenerabile și regenerabile.

În categoria surselor de energie neregenerabile intră în primul rând combustibilii fosili (cărbunii, țițeiul, gazele naturale, șisturile) alături de care, în ultima jumătate de secol, și-au marcat prezența combustibilii nucleari.

Tab. 1.1 Principalele surse de energie

Surse neregenerabile	Surse regenerabile
Cărbune Țiței Gaze naturale Șisturi Combustibil nuclear	Hidro Mareelor Geotermală Solară Căldura oceanelor Biomasa (categorie cu diversitate foarte mare, incluzând și deșeurile menajere de origine organică)

Folosirea acestor energii regenerabile va fi cu siguranță afectată de disponibilitatea, în viitor, a combustibililor fosili. Folosind diferite scenarii – jonglând cu parametrii rezervelor sigure și așteptate și presupunând o anumită creștere a cererii de energie – la ratele actuale de consum global, petrolul ar trebui să dureze 40 de ani, gazul poate 100 și cărbunele peste 200.

Combustibilii fosili sunt în prezent cea mai ieftină sursă comercială de energie, dar pe lângă faptul că sunt epuizabili mai prezintă și dezavantajul că prin arderea lor se produc cantități importante de noxe (oxizi de sulf, SO<sub>x</sub>, oxizi de azot, NO<sub>x</sub>, oxizi de carbon, CO<sub>x</sub>, cenușă, etc.) care poluează mediul ambiant.

Ponderea fiecărei surse de energie în balanța energetică variază de la țară la țară în funcție de o multitudine de factori dintre care un rol hotărâtor îl au resursele energetice proprii, gradul de dezvoltare industrială și nu în ultimul rând politica economică.

## 6 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Tab. 1.2 Ponderea surselor de energie în balanța energetică a Comunității Europene la nivelul anului 2000. [1]

Sursa de energie	Ponderea energetică [%]
Cărbune	15
Țiței	41
Gaze naturale	23
Nuclear	15
Regenerabile	6

Tab. 1.3 Distribuția resurselor neconvenționale în Comunitatea Europeană la nivelul anului 2000. [1]

Sursa de energie	Ponderea energetică [%]
Biomasă	61,4
Hidro	31,9
Eoliană	2,6
Geotermală	3,8
Solară	0,3

În cazul Comunității Europene (CE) la nivelul anului 2000, sursele de energie neregenerabile – provenite din arderea combustibililor fosili (cărbune, țiței, gaze naturale) și din fisiunea nucleară – totalizează 94% și numai 6% provine din surse regenerabile (tab. 1.2).

În cadrul resurselor regenerabile biomasa deține ponderea cea mai importantă (61,4%), urmată de cea hidro cu 31,9%. Celelalte resurse energetice și anume eoliană, geotermală și solară, luate împreună, abia totalizează 6,7% (tab. 1.3).

### 1.3. Combustibili fosili. Impactul asupra climei

#### 1.3.1. Estimarea producției de CO<sub>2</sub> și a concentrației sale în atmosferă

Arderea combustibililor fosili se realizează în practică folosindu-se diverse tehnologii compatibile cu proprietățile fizico-chimice și tehnologice ale acestora, așa cum se prezintă într-o multitudine de tratate și articole de specialitate, dintre care se enumără doar câteva [3], [4], [5], [6]. În urma arderii acestor combustibili se produc cantități imense de dioxid de carbon care sunt emise în mediul ambiant. Creșterea procentului de CO<sub>2</sub> din atmosferă face ca o cantitate mai mare de energie solară să fie păstrată lângă suprafața pământului, acest proces fiind cunoscut sub denumirea de „efect de seră”. Mecanismul acestui proces a fost explicat încă din 1896 de către savantul suedez Svante Arrheniu, dar numai în ultimul timp a crescut convingerea că activitățile umane duc la un efect observabil, determinat de creșterea masivă a producției totale de CO<sub>2</sub> odată cu începutul revoluției industriale (fig. 1.3), respectiv a concentrației acestuia (fig. 1.4).

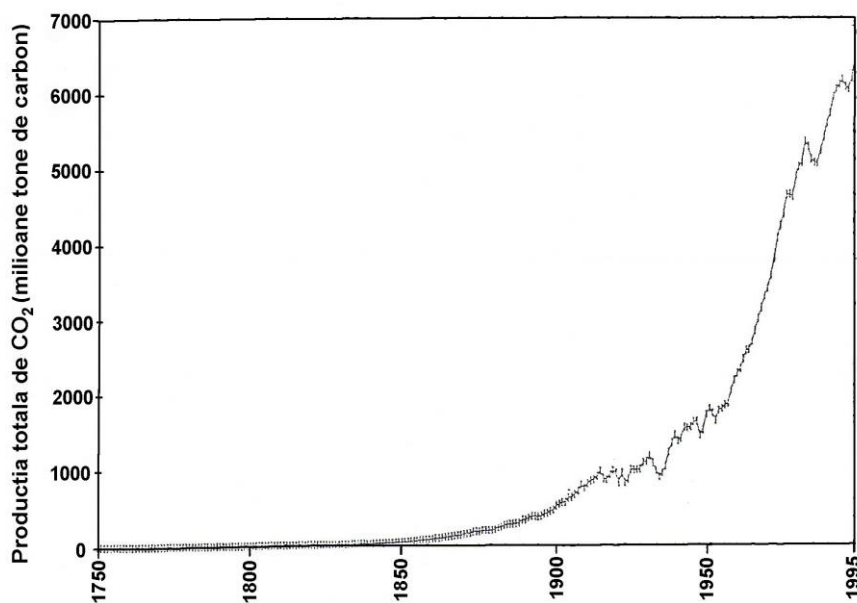


Fig. 1.3 Estimarea emisiilor totale industriale de dioxid de carbon încă de la începutul revoluției industriale [2]

8 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

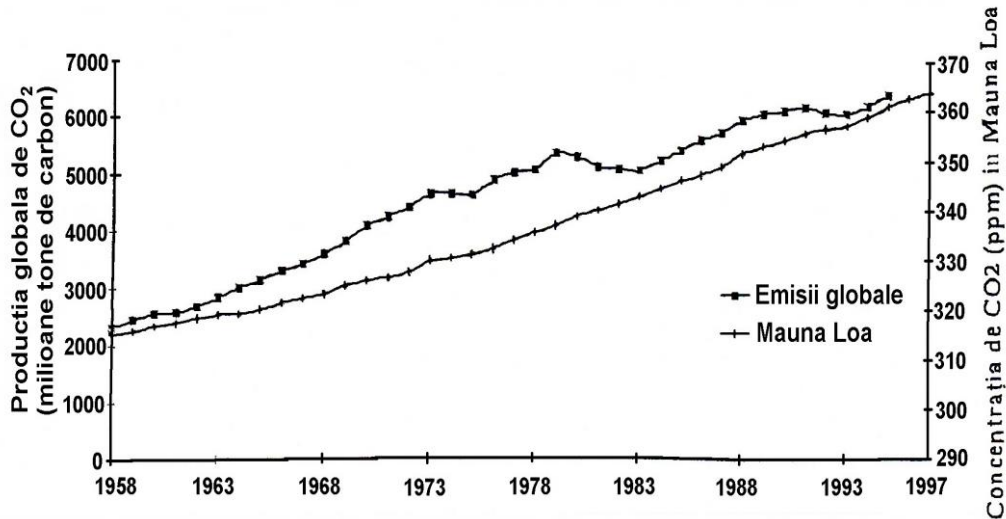


Fig. 1.4 Concentrația dioxidului de carbon în atmosferă, măsurată la Mauna Loa, comparativ cu datele de emisii globale [1]

După cum se vede, producția globală de CO<sub>2</sub> se corelează cu istoria cunoscută a emisiilor cauzate de activitatea umană.

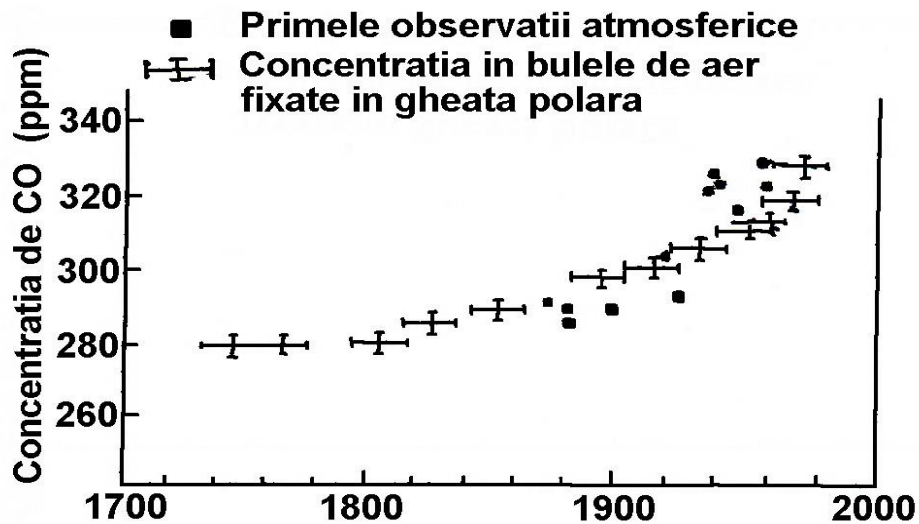


Fig. 1.5 Concentrația de dioxid de carbon în atmosferă [1]

În fig. 1.5 se prezintă valorile concentrației dioxidului de carbon în aerul atmosferic, precum și în bulele de aer fixate în gheața polară. Se constată o bună

concordanță a valorilor măsurate în ambele cazuri, precum și tendința de creștere a concentrației CO<sub>2</sub>-ului odată cu începutul revoluției industriale.

### **1.3.2. Creșterea concentrației de CO<sub>2</sub> în atmosferă**

După cum se susține în articolul [7], prelucrat după CORDIS focus Newsletter nr. 284, noiembrie 2007, un colectiv de specialiști din mai multe țări susțin că procentul de CO<sub>2</sub> din atmosferă crește mai repede decât se credea. Cercetătorii – ale căror studii au fost parțial finanțate de U.E. prin proiectele Carbocean și Carboeurope – atribuie această creștere următorilor trei factori:

- 1 – o economie mondială în creștere accelerată;
- 2 – o sporire a cantității de CO<sub>2</sub> pentru fiecare unitate de activitate economică;
- 3 – o scădere a eficienței de captare a CO<sub>2</sub>-ului pe continente și în oceane.

Creșterea economiei mondiale este responsabilă de circa 65% din accelerarea creșterii concentrației CO<sub>2</sub>-ului în atmosferă. Ceilalți doi factori contribuie fiecare cu circa jumătate din restul de 35%, dar principala preocupare o constituie chiar acești doi factori.

S-a denumit intensitatea carbonului în economie cantitatea de carbon emisă pe unitatea economică (dolar, euro, etc.). Acest indice a avut valoarea 0,35 kg carbon/dolar în anul 1979, a scăzut la 0,24 kg carbon/dolar în anul 2000 și se spera să scadă în continuare, dar s-a constatat că dimpotrivă a început să crească cu 0,3% pe an. Cercetătorii atrag atenția că această tendință, cuplată cu mărirea continuă a cantității de emisii, amplifică dificultățile legate de încercările de stabilizare a conținutului de CO<sub>2</sub> în atmosferă.

Îngrijorătoare este și tendința diminuării eficienței stocării naturale a CO<sub>2</sub>-ului. Proporția de CO<sub>2</sub>, care rămâne în atmosferă după ce vegetația și oceanele absorb ceea ce pot, a crescut în ultimii 50 de ani, ceea ce demonstrează o scădere a capacității plantelor de a absorbi emisiile antropogene. În anul 2006 se stocau în mod natural numai 550 kg per tonă – față de 600 kg per tonă acum o jumătate de secol – și acest indicator este în scădere.

Se vehiculează părerea că jumătate din scăderea capacității de stocare a oceanelor este cauzată modificării traseelor vânturilor vestice din oceanele sudice, provocate și ele de activități umane. Pe continente, o serie de secete, ca cele din anii 2002 și 2005, au contribuit substanțial la reducerea capacității terestre de stocare a carbonului în mai multe regiuni.



## 10 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Ciclul carbonului generează „presiuni” mai puternice asupra climei și pe termen mai scurt decât se aștepta, adică generează mecanisme care „forțează” schimbarea climei. La rândul lor, schimbările climatice afectează ciclul carbonului, scăzând capacitățile de captare naturală oceanice și terestre. Un cerc vicios, față de care dr. Mike Raupach de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) din Australia afirma: „Constatăm că pământul își pierde capacitatea regenerativă de absorbție a emisiilor de CO<sub>2</sub> față de masiva creștere a acestora din ultimii 50 de ani. Cu cât întârziem să reducem emisiile, cu atât mai multă capacitate de regenerare va fi pierdută.”

### **1.3.3. Încălzirea globală progresivă – ipoteză sau certitudine**

Autorii articolului [8] susțin că încălzirea globală progresivă, care la mijlocul secolului trecut era doar o ipoteză de luat în considerare, a devenit o certitudine confirmată științific și resimțită direct de populație, astfel că intră tot mai mult în preocupările majore ale guvernelor. În acest context a fost încheiat Protocolul de la Kyoto (1997), ratificat de un mare număr de țări, inclusiv de România.

Sintetizând în principal conținutul lucrărilor [9] și [10] autorii articolului [8] subliniază că încălziri și răcirii globale au loc periodic de când au apărut forme de viață pe Terra, modificările de temperatură fiind foarte lente, deși au existat perioade în care schimbările s-au produs oarecum brusc. De la sfârșitul erei glaciare din nordul Europei și Canadei și până acum, timp de aproape 10 milenii, temperatura medie a crescut cu circa 2 °C, dar începând cu mijlocul secolului al XIX ritmul creșterii a devenit tot mai rapid.

În fig. 1.6 este reprezentată variația temperaturii medii globale în ultimii 150 de ani. Pe grafic, linia de referință orizontală reprezintă nivelul temperaturii din anii 1960 – 1990. Punctele arată valorile medii anuale, iar liniile continue dau media pe câte 5 ani. Graficul are la bază datele Climate Research Unit de la University of East Anglia.

Din graficul prezentat în fig. 1.6 rezultă că începând din anul 1978 temperatura medie globală a depășit linia orizontală, care reprezintă nivelul de referință. Se admite că în această ultimă perioadă evoluția temperaturii medii globale este efectul sinergiei a două categorii de clase distincte:

- a) cauze naturale (activitatea solară, vulcanii, curenții marini, vegetația etc.);
- b) cauze antropice (în principiu gazele emise la arderea combustibililor fosili) determinate de civilizația tehnologică și, într-o anumită măsură, de explozia

demografică cu care trebuie pusă în legătură creșterea concentrației de CO<sub>2</sub> în atmosferă în ultimele secole.

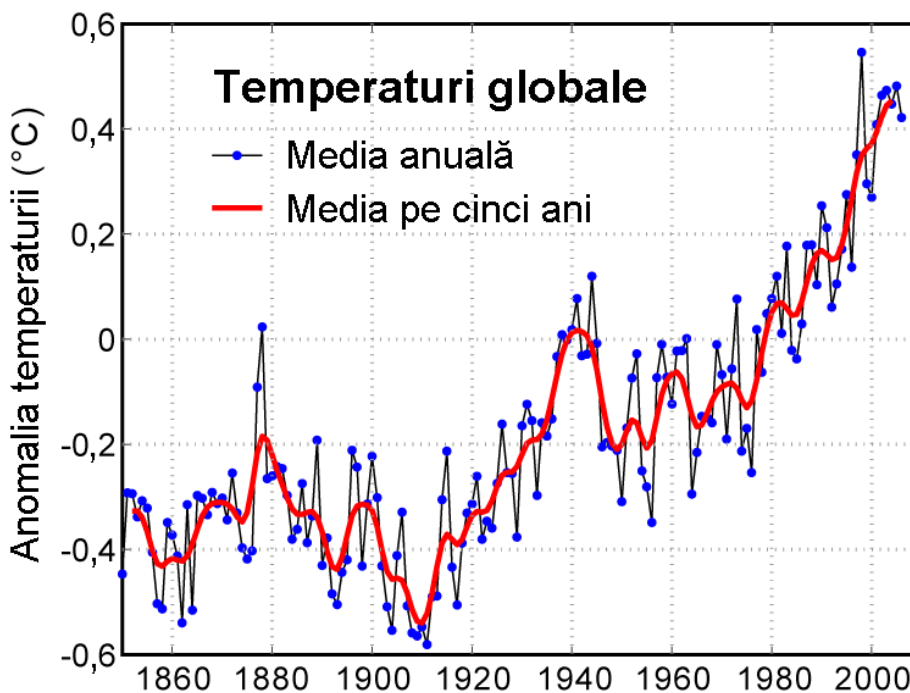


Fig. 1.6. Variația temperaturii medii globale în perioada anilor 1850 – 2000 [8]

Raportul AR4 al Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), discutat la Paris de reprezentanții a 113 guverne și publicat la 2 februarie 2007 în formă rezumată [11], a confirmat concluziile de mai sus, precizând că „există o probabilitate de numai 5% că încălzirea actuală accentuată ar avea cauze naturale și una de 90% că este doar o origine antropică”.

Referitor la concentrația dioxidului de carbon în atmosferă, aceasta a fost de 280 ppm înainte de revoluția industrială, acum este de circa 430 ppm, adică aproape dublă, iar în anul 2035 ar putea fi de 550 ppm dacă fluxul emisiilor actuale de gaze cu efect de seră (GES) s-ar menține peste capacitatea naturală de absorbție. În această situație temperatura medie globală ar mai crește cu încă 2 °C, ceea ce este foarte probabil să se întâmple ținând seama de dezvoltarea impetuoasă a economiilor în China, India, Brazilia, Australia, Asia de Sud-Est sau Europa răsăriteană, precum și de faptul că SUA nu a ratificat încă Protocolul de la Kyoto, în timp ce utilizarea surselor curate și regenerabile de energie cât și reținerea bioxidului de carbon la centralele pe combustibili fosili avansează greu.

## 12 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Nici o înmulțire rapidă a centralelor nucleare concomitent cu folosirea mai intensă a surselor de energie regenerabile nu pot avea efecte favorabile imediate, ci doar după mai multe decenii. Aceste concluzii, deloc optimiste, poartă girul celor mai competente foruri științifice din lume. Ele pot fi discutate sau trecute cu vederea din varii motive economice și politice, dar inginerii termiști nu au de ce să le ignore ei fiind printre cei dintâi chemați să-și aducă contribuția la soluționarea acestei probleme vitale pentru omenire.

### **1.3.4. Consecințele economice ale modificărilor climatice**

Cu prilejul întâlnirii de la Gleaneagles (2005), cele mai dezvoltate din punct de vedere economic, care fac parte din grupul G8 (SUA, Anglia, Franța, Germania, Italia, Canada, Japonia, Rusia), reprezentanții a 11 Academii de științe au cerut conducătorilor marilor puteri economice să ia măsuri imediate și substanțiale pentru diminuarea radicală a emisiilor GES. Acest deziderat nu a putut fi satisfăcut atunci, iar premierul britanic Tony Blair a declarat că, după părerea sa, dacă se propun ca soluții la modificările climatice măsuri care comportă reduceri drastice ale creșterii economice sau ale nivelului de viață, indiferent dacă sunt justificate sau nu, nimeni nu le va accepta. În acest context, a însărcinat o comisie de experți condusă de Sir Nicholas Stern, director al departamentului economic al guvernului englez, să studieze multilateral aspectele economice ale încălzirii globale. Raportul Stern stabilește câteva concluzii importante, care vor fi redate mai jos:

- 1 – Beneficiile acțiunilor rapide și puternice depășesc costurile economice ale consecințelor lipsei de acțiuni;
- 2 – Dacă acum nu se face nimic, consecințele economice ar fi echivalente cu o diminuare a produsului intern brut (PIB) de 5% la nivel mondial viitor, iar dacă se consideră și ansamblul urmărilor care vor avea loc, atunci diminuarea PIB-ului ar fi de cel puțin 20%;
- 3 – Costurile anuale necesare pentru stabilizarea emisiilor de GES între 500 – 550 ppm CO<sub>2</sub> ar fi 1% din PIB-ul mondial, dacă măsuri foarte eficiente se aplică imediat (observăm că această țintă este totuși ridicată și ar cauza creșteri suplimentare ale temperaturii medii globale);
- 4 – Costurile ar putea fi chiar mai mici de 1% din PIB dacă s-ar asigura o eficiență energetică mai ridicată în diverse domenii și dacă s-ar evalua beneficiile indirecte rezultate prin protecția mediului. Costurile ar fi însă mai mari dacă progresul tehnic în domeniul tehnologiilor cu emisii reduse de CO<sub>2</sub> ar fi aplicat mai lent sau dacă factorii politici de decizie nu vor folosi la maximum instrumentele economice care pot contribui la reducerea emisiilor de GES;

5 – Investițiile care vor fi realizate în următoarele două decenii vor avea efecte favorabile majore asupra climei abia în cea de-a doua jumătate a acestui secol și în cel viitor.

În România ar fi greșit să se considere că încălzirea cu câteva grade peste temperatura medie anuală va transforma clima temperată într-o climă mediteraneană ceva mai caldă dar și mai blândă. Dimpotrivă, foarte probabil, caracterul continental excesiv al climei se va accentua.

## **1.4. Strategii de reducere a emisiilor**

Ținta acestor strategii este de a asigura formidabila creștere a cantității de energie totală pe care populația viitoare a lumii o va cere în același timp cu minimizarea daunelor sistemului climatului global, pe care le antrenează emisiile de CO<sub>2</sub>.

Așa cum s-a afirmat și mai înainte, combustibilii fosili sunt pentru moment cea mai ieftină sursă comercială de energie, în comparație cu energia provenită din surse nepoluante, fapt care împiedică folosirea pe scară industrială a acestora din urmă. În momentul în care se va interzice folosirea atmosferei ca un loc de descărcare a dioxidului de carbon, respectiv se va impune reținerea CO<sub>2</sub>-ului din gazele provenite din arderea combustibililor fosili, prețul energiei provenite din această sursă va crește și va face să devină competitive economic sursele de energie nepoluante.

Căile prin care se urmărește împlinirea strategiei de reducere a emisiilor sunt numeroase, așa după cum rezultă din trecerea succintă în revistă a acestora.

### **1.4.1. Conservarea energiei**

Noțiunea de „conservare a energiei” este folosită aici în sensul consumării unei cantități mai mici de energie atât în industrie cât și de către consumatorii casnici. Prin aplicarea tehnologiilor existente pentru îmbunătățirea eficienței energetice la consumatori, a instalațiilor casnice și a proceselor industriale, consumul de energie în aceste sectoare ar putea fi redus cu circa 20 – 25 % în țările industrializate și chiar a celor în curs de industrializare.

Îmbunătățirea eficienței energetice a proceselor industriale, bazată pe progresul științei și tehnologiei, are posibilități destul de largi, dar este condiționată mai ales de aspectele economice decât de cele referitoare la

#### 14 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

reducerea emisiilor. Rezolvarea unor asemenea procese se face pe baza unui audit energetic, întocmit pentru procesul industrial anvizajat.

În România, o analiză a consumului de energie în sectorul locuințelor populației arată că acesta ocupă cantitativ al doilea loc după industrie, deși condițiile de confort resimțite de populație în acest fond de clădiri construit nu sunt mulțumitoare [12].

Conform OUG 174/2002 privind instituirea măsurilor speciale pentru reabilitarea termică a unor clădiri de locuit multietajate și a OUG 187/2005 privind finanțarea lucrărilor de reabilitare termică s-a instituit procedura legală de finanțare a lucrărilor de reabilitare energetică a clădirilor astfel:

- expertiza, auditul energetic și proiectarea lucrărilor de reabilitare termică finanțate de la bugetul de stat;
- execuția lucrărilor nominalizate în programele anuale se suportă în mod egal – 50% din bugetul de stat și 50% din fondul de reparații al asociațiilor de proprietari.

Problema reducerii consumului de energie în sectorul locuințelor populației și al clădirilor instituțiilor de stat, respectiv industriale este în atenția factorilor de drept, dar din lipsă de fonduri se rezumă mai ales la întocmirea unor studii de audit [13], [14], [15], [16], [17].

Consumul de energie în sectorul transporturilor și mai ales în domeniul transportului rutier are o pondere din ce în ce mai mare, afectând în mod corespunzător fluenta traficului precum și poluarea aerului, mai ales în zonele urbane. Sunt posibile economii majore și în acest sector prin punerea în practică a o serie de măsuri:

- creșterea ponderii autovehiculelor de mic litraj, care sunt dotate cu motoare performante;
- folosirea în mai mare măsură a mijloacelor de transport în comun (mai ales în mediul urban) și chiar a bicicletelor, etc;
- revigorarea transportului mărfurilor pe calea ferată sau pe cale maritimă.

Desigur, aplicarea unor asemenea măsuri nu este ușoară întrucât este nevoie de schimbarea mentalității populației, inclusiv a factorilor de conducere politică și administrativă a tuturor țărilor.

O proporție crescândă din energia globală, obținută pe bază de combustibili fosili, este livrată sub formă de energie electrică. Eficiența producerii de electricitate este de aceea de o importanță foarte mare.

Combustibilul dominant pentru producerea de electricitate a fost cărbunele, prin folosirea căruia s-a produs în medie peste 30% din energia electrică. Tehnologia arderii cărbunilor s-a dezvoltat permanent, chiar și în ultimii 20 de ani, urmărindu-se în special reducerea pierderilor prin nense, concomitent cu cea a emisiilor de noxe. Instalațiile de ardere a cărbunilor au fost dotate cu stații pentru epurarea gazelor de ardere (desprăfuire, desulfurare, denoxare), fără

însă să se facă progrese în privința emisiilor de CO<sub>2</sub>. Cea mai simplă cale de reducere a emisiilor de dioxid de carbon de la centralele termoelectrice pe cărbune este comutarea acestora la funcționarea pe gaze naturale. Această mișcare reduce de două ori emisiile pentru aceeași energie obținută.

În cazul centralelor termoelectrice (CTE) pe gaze naturale soluția cea mai ieftină, care realizează valorile cele mai ridicate ale randamentului termic efectiv, rezidă în folosirea ciclurilor combinate gaze – abur, îndeosebi ciclul STAG (Steam And Gas) [18], [19].

Producerea combinată a energiei electrice și termice în așa numitele „Centrale electrice de termoficare” (CET) sau mai general sub denumirea de centrale sau grupuri energetice cu cogenerare, oferă posibilitatea valorificării superioare a energiei primare a combustibililor, randamentul termic efectiv depășind de regulă 80% [18], [19], [20], [21], [22], [23].

Estimările curente sugerează că în următoarele două sau trei decenii electrocentralele ar putea să-și crească randamentul termic efectiv de la 40% la 42% și centralele cu ciclu combinat gaze – abur de la 52% la 60%. În acest context merită a fi notat că 1% creștere a randamentului nu este numai semnificativă din punct de vedere economic, dar implică de asemenea o reducere cu 2% a emisiilor de dioxid de carbon pentru o centrală cu randamentul de 50%.

#### **1.4.2. Surse de energie regenerabile**

Surse naturale de energie regenerabilă există pretutindeni în jurul nostru și omul le-a folosit încă din antichitate. Prezența morilor de apă, a morilor de vânt, folosirea lemnului pentru foc sunt preocupări care se pierd în negura timpului.

Energiile regenerabile enumerate în tab. 1.2 și prezentate pe larg într-o serie de lucrări [24], [25], [26], [27], [28], [31] sunt produse de forțe naturale, aproape toate datorate direct sau indirect soarelui. Excepție face energia mareelor și geotermală. Folosirea comercială a energiilor regenerative poate fi considerată incipientă, cu excepția energiei căderilor mari de apă, domeniu în care s-au făcut progrese remarcabile mai ales în a doua jumătate a secolului XX. În ultimul timp și în ceea ce privește folosirea energiei eoliene se înregistrează rezultate notabile.

Conversia unor energii regenerabile, ca de exemplu cea eoliană sau hidro, se face numai în energie electrică, energia solară termică numai în căldură, în timp ce altele, ca de exemplu bioenergia provenită din combustia biomasei, poate fi convertită fie sub formă de căldură, fie de electricitate.

Principala calitate a energiilor regenerabile constă în faptul că sunt inepuizabile. Folosirea lor contribuie la reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> pentru că unele, precum energia hidro sau eoliană, nu produc deloc CO<sub>2</sub> în procesul de conversie,

#### 16 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

iar biocombustibilii reciclează dioxidul de carbon. Alte avantaje constau în creșterea diversității naționale a surselor de energie, reduc dependența de importul de energie, injectează venituri în mediul rural și întăresc sistemul periferic de distribuție națională a electricității.

Dezavantajele constau în fluctuații în timp ale puterii centralelor sau microcentralelor, costuri unitare de producere a energiei în general necompetitive, uneori poluare vizuală și chiar un impact ecologic negativ.

Guvernul României a emis o serie de directive și hotărâri privind promovarea producției de energie electrică din surse de energie regenerabile [29], [30]. Punerea în aplicare a acestora se desfășoară destul de lent mai ales din cauza costurilor ridicate de investiție pentru valorificarea acestora la scară industrială. Mult mai favorabilă se prezintă situația în cazul instalațiilor de puteri mici, care valorifică potențialul local (eolian, solar, hidro, biomasă deșeu, etc.) și livrează energie termică sau chiar electrică unor gospodării individuale sau ferme izolate față de rețelele de alimentare cu energie electrică, gaze naturale, etc.

În cele ce urmează se va face o trecere foarte sumară în revistă a principalelor surse de energie regenerabile.

#### **1.4.2.1. Hidroenergia**

Sursele naturale, care sunt cuprinse în această categorie, se datorează căderilor de apă determinate de relieful terestru și de activitatea mareelor sau a valurilor. Ele asigură circa 3% din energia mondială.

Hidroenergia căderilor de apă este direct proporțională cu debitul și înălțimea geodezică. Conversia acesteia în energie electrică se face în hidrocentrale înzestrate după caz cu turbine Kaplan, Francis sau Pelton, iar în cazul grupurilor de mică putere cu turbine hidraulice cu pale sau chiar cu roți de apă [1].

Hidroenergia reprezintă o sursă inepuizabilă, dar incomplet utilizată. Se estimează că în timp ce în țările dezvoltate circa o jumătate din potențial este folosit, la nivel mondial indicele de utilizare se ridică la numai 14%. Principalul motiv îl constituie costurile majore, întrucât mari suprafețe de teren ar trebui să fie inundate în vederea creării lacurilor de acumulare. Suprafața necesară depinde de geografia regiunii, dar un indice tipic este de 1000 km<sup>2</sup> pentru 1000 MW<sub>e</sub> putere instalată. Acest dezavantaj, precum și opoziția crescândă bazată pe deteriorarea mediului, au dus practic la oprirea programelor de construcție a hidrocentralelor în unele țări europene ca Elveția sau Suedia. Printre proiectele actuale, cel mai mare se află în China, pe Yangtse, în zona celor „Trei Defilee”, care va avea o putere de 18000 MW<sub>e</sub>, însă proiectul implică mutarea unui milion de oameni [1].

În România potențialul hidroenergetic este în bună parte amenajat. Astfel, împreună cu Serbia deținem părți egale ale hidrocentralei Porțile de Fier I, cu puterea instalată de 2200 MW<sub>e</sub>, cea mai mare din Europa. La aceasta se adaugă salba de hidrocentrale de pe râul Bistrița, Argeș, Olt, Lotru, Someș, etc. Potențialul hidroenergetic al principalelor râuri din România este de circa 40000 GWh/an, care se poate obține în amenajările hidroenergetice de mare putere (> 10 MW/unitate) în proporție de 85%, respectiv 15% de mică putere (<10 MW/unitate).

Mareele constituie în anumite părți ale globului surse de energie. După cum se știe, forțele de atracție ale lunii și soarelui, care acționează asupra pământului, împreună cu mișcarea de rotație a pământului, duc la modificări periodice ale nivelului apelor mării. Mareele prezintă în largul mării doar rareori diferențe de nivel mai mari de 1m, dar în anumite regiuni de coastă, cum ar fi golfurile marine sau estuarele fluviilor, datorită rezonanței și efectului de pâlnie, se poate ajunge la o diferență de nivel între flux și reflux de până la 10 – 20m.

Utilizarea energiei potențiale a mareelor se poate face prin diverse metode. Cea mai simplă metodă este sistemul cu bazin de acumulare. Gura estuarului este divizată în două părți printr-un baraj longitudinal, fiecare dintre părți fiind prevăzută cu câte un baraj transversal amovibil. Una dintre părți constituie ecluza prin care, în timpul fluxului, apa mării pătrunde în bazinul de acumulare, barajul transversal al acesteia fiind ridicat, iar cealaltă parte – canalul de evacuare al cărui baraj este coborât. După terminarea perioadei de flux, barajul ecluzei se coboară, iar cel al canalului de evacuare se ridică, permițând astfel apei din bazinul de acumulare să treacă prin turbina care acționează un generator electric. O astfel de instalație este simplă, dar prezintă dezavantajul producerii intermitente a energiei electrice. Acest dezavantaj se poate ameliora folosind varianta cu o turbină care poate fi străbătută de curentul de apă în ambele sensuri, respectiv cu varianta cu două bazine de acumulare a apei [24].

A fost construită numai o singură mare centrală mareică la Rance (pe coasta nordică a Franței) cu puterea de 240 MW<sub>e</sub>, care produce circa 540 GWh pe an. Funcționează din 1966 și s-a dovedit a fi foarte fiabilă. Se discută construirea unei centrale mareice pe estuarul Severn, în Marea Britanie, cu o putere de 8600 MW<sub>e</sub> care ar putea livra 17 TWh pe an. Costul estimat la 9 miliarde de lire sterline precum și unele controverse asupra posibilului impact ecologic întârzie demararea lucrărilor [1].



#### **1.4.2.2. Energia eoliană**

Energia eoliană este o „energie curată” pentru că are un impact minim asupra mediului înconjurător în comparație cu alte forme de energie. Instalațiile eoliene folosesc energia cinetică a maselor de aer aflate în mișcare. Deoarece puterea vântului depinde de puterea a treia a vitezei acestuia [24], rezultă că turbinele eoliene trebuie instalate în zonele în care viteza vântului este mare și cât mai constantă în timp. Aceste condiții sunt îndeplinite doar parțial numai în anumite zone ale globului terestru.

Energia eoliană aduce deja o contribuție semnificativă la producția de electricitate într-o serie de țări, care dispun de capacități instalate însemnate: Germania – 2500 MW<sub>e</sub>, Danemarca – 1400 MW<sub>e</sub>, Anglia – 330 MW<sub>e</sub>, etc. La sfârșitul anului 1998 capacitatea totală instalată în Europa era de 6300 MW<sub>e</sub>. Ținând seama de variabilitatea vitezei vântului, aceasta este echivalentă cu o sursă de circa o treime din capacitatea instalată, adică de 2100 MW<sub>e</sub> pentru Europa. În ceea ce privește procentul energiei electrice produse din conversia energiei eoliene, dintre țările europene Danemarca este pe primul loc cu circa 10% pentru anul 2000 și un plan ambițios de a atinge 50% la nivelul anului 2030.

Energia eoliană s-a dovedit a fi relativ ieftină ajungând în cazul amplasamentelor pe țărmul mării să poată suplimenta energia combustibililor fosili fără a avea nevoie de subvenții. Totuși, nu se poate spera la o dezvoltare fără limite în Europa din cauză că reclamă mari suprafețe de teren pentru amplasarea agregatelor, turmele de animale și turbinele eoliene pot cu greu coexista, iar funcționarea morilor de vânt nu este lipsită de o oarecare poluare sonoră și vizuală. Se explorează în prezent posibilitatea amplasării morilor de vânt în largul mărilor, unde ar beneficia de viteze medii ale vântului mai mari decât pe teren plat sau pe țărm, iar mecanismele nu trebuie proiectate pentru reducerea zgomotului. Se remarcă faptul că există încă obstacole majore în calea creșterii rapide a producției de energie electrică de proveniență eoliană, dar se speră că ponderea acesteia să atingă aproape 10% din producția de energie electrică la nivelul Europei.

În România s-au identificat cinci zone eoliene distincte (I – V), în funcție de potențialul energetic existent, de condițiile de mediu și de cele topogeografice. Harta eoliană a României s-a elaborat luând în considerare potențialul energetic al surselor eoliene la înălțimea medie de 50m, pe baza datelor și informațiilor meteogeografice colectate începând din anul 1990.

Din rezultatele înregistrate reiese că România se află într-un climat temperat continental, cu potențial energetic ridicat în zona litoralului Mării Negre, podișurile din Moldova și Dobrogea (climat blând) sau în zonele montane (climat

sever). Pe baza evaluării și interpretării datelor înregistrate rezultă că în România se pot amplasa instalații eoliene cu o putere totală de până la 14000 MW, ceea ce înseamnă un aport de energie electrică de aproape 23000 GWh/an [24].

Pe baza evaluărilor preliminare, potențialul energetic eolian amenajabil în condiții de eficiență economică este de circa 2000 MW, corespunzător unei cantități medii de energie electrică de 4500 GWh/an. Se preconizează folosirea unor grupuri aerogeneratoare cu putere nominală de la 750 kW până la 2000 kW.

### **1.4.2.3. Energia solară**

O parte din energia radiată de soare asupra pământului poate fi folosită direct pentru încălzirea clădirilor comerciale și de locuit, respectiv poate fi convertită în energie electrică.

Convertirea energiei solare în energie termică este o practică obișnuită în țările cu climat propice. De regulă se face diferențierea între încălzirea solară pasivă și cea activă. Tehnologia energiei solare pasive implică proiectarea unei clădiri în așa fel încât deplasările de aer din aceasta să permită o folosire maximă a căldurii solare pe timp de iarnă și o minimizare a nedoritei acumulări de căldură solară în timpul verii. Tehnicile clădirilor solare pasive sunt eficiente economic chiar și în țări situate în zona temperată așa cum este și cazul României [24], [32].

Încălzirea solară activă este legată de folosirea unor suprafețe absorbante de căldură cuplate cu sisteme de încălzire și preparare a apei calde [24], [26], [28], [40]. În zonele mai calde ale globului încălzirea solară activă este eficientă economic. În ultimul timp această tehnică a încălzirii solare active este tot mai des folosită și în țări situate în zona temperată, așa cum este România. Ofertele firmelor constructoare sunt tentante, dar, cel puțin în România, nu se cunosc cazuri concrete în care economicitatea și duranța unor asemenea utilaje să fi fost confirmată. Cu toate acestea piața instalațiilor solare de încălzire activă va începe să aibă un trend ascendent vizând mai ales încălzirea apei din piscine, bazine de înot, dușuri, etc.

Energia termoelectrică solară, produsă în centralele electrice solare, este potrivită numai regiunilor aflate sub directă influență a soarelui (tropicale, ecuatoriale). Cea mai mare centrală electrică solară aflată în funcțiune are puterea de 350 MW<sub>t</sub> și este situată în deșertul Mojave din California. Este o centrală hibrid solar/gaz în care căldura de la soare este colectată printr-un ansamblu de oglinzi parabolice orientate est – vest și completată cu căldura generată prin arderea combustibilului gazos, atunci când apare ca fiind necesară. Doar în zilele complet senine și însorite centrala funcționează numai în modul solar.

## 20 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Energia termoelectrică solară s-a dovedit a fi un mijloc propice pentru Egipt, țară în care se află în fază pilot o centrală electrică solară care generează 18 MW<sub>e</sub> din energia solară și este completată cu un modul de ardere a gazului natural.

Centralele din California și Egipt sunt dovezile unui model demonstrativ, funcțional, dar nu și economic, cel puțin atâta vreme cât nu se instituie taxa pe carbon [1]. De asemenea trebuie recunoscut că zonele de pe glob care ar putea beneficia cel mai mult de o radiație solară constantă, nu sunt deseori și zonele unde este cea mai mare cerere de energie.

~~Energia solară fotovoltaică~~ reprezintă o altă formă de utilizare a energiei solare, aceasta fiind transformată direct în energie electrică [24], [26], [28]. Celulele individuale de cristale de siliciu pot atinge randamente de peste 20% în lumina intensă a soarelui. Totuși performanțele cristalelor în rețea sunt diminuate la circa 15%. O problemă foarte incomodă este cerința de suprafață pentru panourile captatoare. Informativ, pentru 1000 MW<sub>e</sub> este nevoie de o suprafață de cel puțin 20 km<sup>2</sup>, care nu mai poate fi folosită în alt scop – de exemplu în agricultură – ci cel mult pentru plantarea unor mori de vânt.

Costul energiei electrice generate pe această cale este estimat ca fiind cu cel puțin un ordin de mărime mai mare decât cel al energiei obținute din combustibili fosili. În plus, trebuie ținută seama că pentru celulele monocristaline sau policristaline de siliciu energia necesară pentru a le fabrica ar putea fi recuperată numai după cel puțin doi ani de exploatare. Atât cifrele legate de aspectele economice cât și cele referitoare la energia înglobată sunt mai favorabile siliciului amorf, motiv pentru care s-a dezvoltat și există o tehnologie stabilită, cu toate că randamentul este considerabil redus, la circa 9%.

Există speranțe pentru progrese majore în domeniul energiei solare fotovoltaice, determinate de folosirea a noi materiale, noi tehnologii, etc. Sunt însă puține speranțe într-o competiție directă cu energia electrică obținută folosind combustibili fosili. Tehnologia celulelor fotovoltaice din siliciu își poate găsi locul în zonele izolate, unde costurile livrării de motorină pentru grupurile Diesel – generator sau conectarea la rețeaua de distribuție a energiei electrice sunt prohibitive sau imposibile, ca de exemplu în cazul sateliților sau stațiilor orbitale.

În lucrarea [24] se estimează că potențialul energetic anual datorat energiei solare ar echivala cu circa 1536 mii tep (tep = tone echivalent petrol), din care în anul 2010 urmează să se folosească 7,5 mii tep, respectiv 17 mii tep în anul 2015.

#### **1.4.2.4. Energia geotermală**

Pe lângă energia solară și energia rezultată din acțiunea reciprocă a gravitației și mișcării planetelor, căldura conservată în interiorul Terrei reprezintă de asemenea o sursă de energie.

Structura internă a Terrei, reprezentată principial în fig. 1.7, cuprinde mai multe straturi:

- scoarța terestră (crusta) atinge o grosime de până la 30 – 40km sub continente și de circa 6 – 10km sub oceane;
- mantaua terestră (superioară, zona de trecere, inferioară) aflată dedesubt până la adâncimea de circa 2900km;
- nucleul pământului compus din două zone, cea exterioară ca o materie lichidă, iar cea interioară – gazoasă.

Temperatura în interiorul scoarței terestre crește în medie cu 30 K/km. În regiunile continentale bătrâne (Canada, India, Africa de Sud) se înregistrează gradienti de temperatură mai mici (circa 10 K/km), pe câtă vreme în regiunile tinere ale scoarței, active din punct de vedere tectonic, se înregistrează gradienti mult mai ridicați (de exemplu în Islanda, în Larderello în Italia circa 200 K/km, în Renania – Palatinat 100 K/km). Dacă se iau în considerare valorile gradientilor de temperatură din scoarță și mantaua terestră se ajunge la concluzia că în mantaua superioară temperatura este în jur de 1000 °C, iar în interiorul Terrei temperaturile maxime ar putea atinge între 3000 și 5000 °C. Conținutul de căldură al Terrei poate fi exprimat aproximativ la 12 până la  $24 \cdot 10^{30}$  J. La nivelul scoarței terestre până la o adâncime de 1000 m căldura conținută se ridică la aproximativ  $10^{26}$  J.

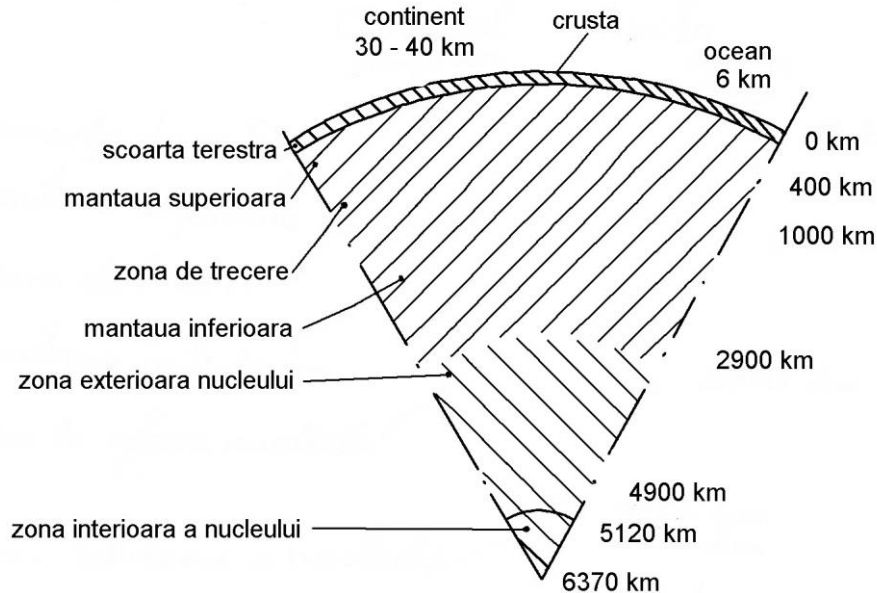


Fig. 1.7 Structura principială a Terrei

În principal căldura conținută de Terra provine din energia gravitațională creată odată cu formarea Pământului acum 4,5 miliarde de ani, prin concentrarea de gaze, praf și resturi de rocă la care se adaugă energia eliberată prin descompunerea izotopilor de  $U^{235}$ ,  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  și  $K^{40}$  aflați în scoarța continentală alcătuită în special din roci granitice și bazaltice [24].

Conform legilor cunoscute, căldura conținută de Terra se transmite mai ales prin conducție, dar și prin convecție și radiație, de la temperaturile mai ridicate aflate în zona nucleului spre temperaturile mai scăzute ale scoarței terestre. La nivelul scoarței continentale densitatea fluxului de căldură are valoarea medie  $q_{med} = 65 \text{ [mW/m}^2\text{]}$  și ca urmare Pământul eliberează anual în atmosferă o energie de circa 1000 EJ (1000 exa joule =  $10^{21} \text{ J}$ ). În schimb absorbția radiației solare la suprafața Terrei este de 20000 de ori mai mare. Diferența dintre radiația absorbită și cea eliberată determină o temperatură medie anuală la suprafața Terrei de circa  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Deoarece aportul de căldură rezultat prin absorbția energiei solare este cu mult mai mare decât cel terestru, temperatura solului variază în decursul unui an, urmând îndeaproape modificarea temperaturii în decursul zilelor celor patru anotimpuri. Pe timp de iarnă solul poate îngheța până la mai mulți metri adâncime, iar vara poate atinge temperaturi considerabile ( $50 \text{ }^\circ\text{C}$  și chiar peste) în funcție de radiația solară.

Există preocupări susținute pentru valorificarea sursei de energie geotermală. Conversia căldurii aerului atmosferic și a straturilor terestre superioare în energie termică utilă se face:

- cu ajutorul tuburilor termice atunci când nu se necesită ridicarea temperaturii, ci doar transmiterea energiei termice de la o sursă spre obiectul ce urmează a fi încălzit (de exemplu conductele de țigăi din Alaska, suprafața de rulare a străzilor în scopul evitării poleiului, etc);
- cu ajutorul pompelor termice, al căror rol este de a prelua căldura la o anumită temperatură (mai scăzută) și de a o ceda la o temperatură mai mare (partea caldă) după transportarea acesteia printr-un circuit.

Prezența apelor calde la sute sau chiar mii de metri adâncime, izvoarele fierbinți de la suprafață și cunoscutele regiuni vulcanice reprezintă o potențială sursă de energie geotermală, mult mai ușor de convertit în energie termică sau chiar electrică.

În cazul rezervoarelor hidrotermale de joasă presiune se disting surse de apă caldă cu temperaturi de până la 100 °C, fierbinți cu temperaturi de peste 100 °C și de abur (umed, uscat și chiar ușor supraîncălzit) la temperaturi de peste 150 °C. Energia unor asemenea surse poate fi folosită direct sub formă de energie termică pentru încălzirea locuințelor sau în unele procese industriale, dar poate fi convertită și în energie electrică, atunci când potențialul energetic este suficient de ridicat pentru a fi rentabil economic.

În România, sursele hidrogeotermale (cu exploatare prin foraj – extracție) sunt clasificate în mod convențional în surse de joasă temperatură (25 – 60 °C) și medie temperatură (60 – 125 °C). Resursele geotermale de joasă temperatură se utilizează la încălzirea și prepararea apei calde menajere în locuințe individuale, servicii sociale (birouri, învățământ), spații comerciale și sociale, sectorul industrial sau spații agrozootehnice (sere, solare, ferme pentru creșterea animalelor ș.a.).

Limita economică de foraj și extracție pentru ape geotermale s-a convenit pentru adâncimea de 3300 m și a fost atinsă în unele zone din România precum bazinul geotermal București Nord – Otopeni, Snagov, Balotești etc. În 2005 se aflau în funcțiune 70 de sonde pentru apă caldă (cu temperatura peste 60 °C) în diferite zone geografice ale țării.

Rezerva de energie geotermală cu posibilități de exploatare curentă în România este de circa 167 mii tep ( $7000 \times 10^6$  GJ/an).

Conversia energiei geotermale în energie electrică se studiază în Centrul de Geotermalism al Universității din Oradea și de către S.C. Transgex S.A. Oradea pe o stație pilot de 500 kW care utilizează CO<sub>2</sub> ca mediu de lucru.

În momentul de față există în lume centrale electrice geotermale cu o putere electrică totală de aproximativ 8000 MW<sub>e</sub>. Acest fapt se datorează

#### 24 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

existenței unor zăcăminte de apă geotermală fierbinte și abur cu temperatura de peste 150 °C, când se pot obține randamente de peste 12%.

#### **1.4.2.5. Biomasa**

În sens larg, prin biomasă se înțelege orice fito și zoomasă formate în cea mai mare parte din organisme autotrofe capabile să-și sintetizeze substanța organică folosind substanțe anorganice (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, săruri minerale) și o sursă de energie [31], [44]. Plantele verzi dispun de un pigment de tipul clorofilei și sintetizează substanțele organice cu ajutorul energiei solare. Ca urmare, din punct de vedere energetic, biomasa reprezintă o parte foarte mică din energia solară radiată asupra Terrei.

Biomasa reprezintă un combustibil regenerabil prin arderea căruia se degajă simultan energie termică și se emite o cantitate de CO<sub>2</sub> egală cu cea consumată în procesul de geneză al acesteia. Datorită acestui fapt biomasa se încadrează în categoria așa numitului „combustibil verde”, care prin ardere nu contribuie la alimentarea „efectului de seră”.

La nivel mondial biomasa reprezintă 14,7% din resursele primare de energie. În prezent în Uniunea Europeană circa 4% din necesarul de energie este asigurat din biomasă. Se apreciază că la nivelul anului 2010 în Uniunea Europeană se va realiza utilizarea completă a potențialului existent ceea ce înseamnă creșterea producției de la 69 mil tep în 2003 la 185 mil tep în 2010.

În lucrarea [42] se afirmă că potențialul tehnic de folosire a biomasei înseamnă 8 – 10% din energia primară în Germania și în Europa. Unele țări foarte mari, ca de exemplu China și India, dispun de un potențial important în ceea ce privește biomasa și ca urmare, folosirea acesteia în scopuri energetice ar degreva în mod corespunzător balanța națională și mondială.

România are un potențial energetic de biomasă ridicat, evaluat la circa 7594 mii tep/an (318 PJ/an =  $318 \cdot 10^5$  J/an), ceea ce reprezintă aproape 19% din consumul total de resurse primare la nivelul anului 2000. Rezervele potențiale sunt deșeuri de lemn, deșeuri agricole (animale și vegetale), deșeuri menajere și culturi energetice. Acest potențial este împărțit pe următoarele categorii:

- a) reziduuri din exploatarea forestieră și lemn de foc: 1175 mii tep;
- b) deșeuri de lemn (rumeguș, talaș și alte resturi): 487 mii tep;
- c) deșeuri agricole rezultate din cereale, tulpini de porumb, resturi vegetale de viță de vie: 4799 mii tep;
- d) biogaz: 588 mii tep;
- e) deșeuri și reziduuri menajere urbane: 545 mii tep.

Din datele extrase din Anuarul statistic al României pe anul 2001 rezultă că ponderea biomasei în balanța energetică a scăzut de la 8,76% în anul 1996 la 6,87% în anul 2000, fapt datorat în principal extinderii rețelei de distribuție și a consumului de gaze naturale sau de produse petroliere lichefiate. Această tendință s-a menținut și după anul 2000, ba chiar s-a amplificat, datorită multiplelor avantaje pe care le oferă folosirea combustibililor gazoși în comparație cu biomasa. Ca urmare, îndeplinirea angajamentului României de a crește producția de energie pe bază de biomasă de la 2772 mii tep în anul 2000 la 3347,3 mii tep în 2010, respectiv la 3802 mii tep în 2015 reprezintă o sarcină dificilă care vizează aspecte economice și sociale, dar în același timp impune îmbunătățirea tehnologiei conversiei energetice a biomasei.

### **1.5. Sechestrarea carbonului**

O principală obiecție la folosirea combustibililor fosili ar dispărea dacă s-ar reuși captarea dioxidului de carbon și apoi depozitarea acestuia într-un loc izolat pentru o perioadă de cel puțin un secol.

Conceptul sechestrării este încurajat de faptul că importante cantități de carbon sunt înglobate natural în crusta pământului, cantități care sunt foarte mari în comparație cu emisiile totale cauzate de activitatea umană, de circa 6 Gt de carbon (6GtC) pe an, în timp ce cantitatea totală de carbon anorganic dizolvată în oceane este de circa 40000 GtC.

Se întrevăd multe posibilități de captare și sechestrare a dioxidului de carbon, fiecare având însă anumite limite de aplicabilitate, unele de natură tehnică, dar mai ales de natură economică.

Sechestrarea în arbori sub formă de biomasă a dioxidului de carbon din atmosferă reprezintă o posibilitate reală, care la prima vedere pare că ar putea rezolva problema înlăturării efectului de seră. Calitativ această cale pare promițătoare, dar când se trece cu cifre, lucrurile se schimbă. Astfel, o zonă de circa 3,7 milioane de km<sup>2</sup> de păduri (cam jumătate din bazinul Amazonului) ar putea sechestra între 0,3 și 0,9 Gt de carbon pe an, ceea ce înseamnă ca circa 10% din cantitatea de emisii globale antropogene, evaluată la 6GtC/an. Totuși, posibilitatea de a aduce o anumită contribuție prin împădurire nu trebuie ignorată, dar înainte de a anticipa orice posibil ajutor prin acest mijloc, trebuie să se reducă (chiar să se stopeze dacă este posibil) fenomenul ca anual 0,2 milioane de km<sup>2</sup> de pădure tropicală să fie tăiată și arsă. Prin ardere se eliberează circa 2,4 GtC pe an în atmosferă, reducându-se totodată capacitatea de sechestrare a carbonului prin degradarea pădurii.



## 26 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Aceeași observație este valabilă și pentru România, țară în care defrișările necontrolate din ultimul timp influențează negativ clima.

### Sechestrarea dioxidului de carbon emis de centralele termice și termoelectrice

Cercetări avansate în domeniul tehnologiei captării CO<sub>2</sub>-ului sunt efectuate de firma Alstom, care și-a concentrat activitatea pe mai multe direcții, concretizate în tehnologii de post-combustie, oxi-combustie și precombustie [43].

Tehnologia post-combustie este cea mai avansată și adaptată fără greutate la centralele care funcționează cu cărbune, gaze sau combinat. Rezultatele recente ale cercetărilor confirmă că se poate îndepărta până la 90% din cantitatea de CO<sub>2</sub> existentă în gazele de ardere. Metoda constă în separarea CO<sub>2</sub>-ului din gazele de ardere utilizând un solvent amoniacal răcit.

Metoda oxi-combustiei se referă la arderea combustibililor în oxigen în loc de aer, produsele rezultate fiind H<sub>2</sub>O și CO<sub>2</sub>, ușor de captat și separat la sfârșitul procesului. Prin răcire vaporii de apă se condensează, iar CO<sub>2</sub>-ul poate fi stocat și sechestrat în minele de cărbuni sau de sare abandonate, în axele anticlinale ale zăcămintelor de petrol cu grad ridicat de epuizare, precum și în acvifere de mare adâncime. În acest ultim caz există un exemplu semnificativ. Compania norvegiană Statoil extrage gaz natural din zăcămintele aflate în Marea Nordului, separă dioxidul de carbon înainte de a livra gazul natural la consumatori, iar dioxidul de carbon îl pompează în acvifere submarine de mare adâncime, circa 300 ktC pe an. Aceeași metodă este în curs de aplicare în Indonezia de către firmele Exxon și Pertamina.

CO<sub>2</sub>-ul separat din gazele de ardere poate fi stocat în apa oceanelor. Conceptul de bază constă în lichefierea dioxidului de carbon și pomparea la adâncimi între 1 și 4 km, unde va rămâne în formă lichidă și va forma un „lac” stabil.

Metoda pre-combustie constă în gazeificarea unui combustibil bogat în carbon (cărbune sau derivați petrolieri) și obținerea unui gaz sintetic format din CO, H<sub>2</sub> și CH<sub>4</sub>. Acest proces se realizează în instalații speciale dotate cu generatoare tip Lurgi – Ruhr 100, British – Gas – Lurgi, Winkler etc, care folosesc ca agent de gazeificare oxigen + abur, procesul realizându-se în mai multe etape de transformare și purificare [18], [44]. Gazul sintetic este utilizat într-un ciclu combinat gaze – abur, dioxidul de carbon este separat din gazele de ardere și apoi stocat în apa oceanelor.

Din cele prezentate mai sus se poate afirma că în prezent captarea dioxidului de carbon din gazele de ardere și stocarea acestuia sunt procedee fezabile din punct de vedere tehnic, nu însă și economic. În plus planează incertitudinea rămânerii CO<sub>2</sub> în locul în care a fost sechestrat o perioadă de timp îndelungată, chiar și în cazul apariției unor cutremure.

## **1.6. Unele observații**

1. Încălzirea globală progresivă, care la mijlocul secolului trecut era doar o ipoteză de luat în considerare, a devenit o certitudine confirmată științific și resimțită direct de populație. Faptul că noi și generațiile viitoare vom trăi în condițiile unei clime modificate în sens defavorabil pun stringent problema unor măsuri eficiente de reducere a emisiilor GES.

2. Dacă acum nu se face nimic, consecințele economice ar fi echivalente cu o diminuare a produsului intern brut (PIB) cu 5% la nivel mondial, iar dacă se consideră și ansamblul urmărilor care vor avea loc, atunci diminuarea PIB-ului ar fi de cel puțin 20%.

Se estimează că anual costurile necesare pentru stabilizarea emisiilor de GES în jur de 500 ppm CO<sub>2</sub> ar fi aproximativ 1% din PIB-ul mondial.

Investițiile care vor fi realizate în primele decenii ale secolului XXI vor avea efecte favorabile abia în cea de-a doua jumătate a acestui secol și în cel viitor.

3. Ar fi iluzoriu să se creadă că ponderea combustibililor fosili în balanța energetică mondială poate fi substituită din surse de energie regenerabile fără să se ia în considerare energia atomică obținută prin fisiune în reactoare nucleare termice și mai ales în cele rapide reproducătoare.

Se apreciază pozitiv politica energetică a României, care promovează producția de energie electrică la CNE Cernavodă înzestrată în final cu 5 reactoare tip CANDU (dintre care 2 în funcțiune), iar în perspectivă construirea unei noi CNE cu puterea de 2000 MW<sub>e</sub>, dotată cu reactoare nucleare moderne.

4. Contribuția unei țări mici ca România la efortul mondial de dezvoltare durabilă prin diminuarea emisiilor GES este desigur foarte importantă ca expresie a solidarității cu țările U.E. și cu țările semnatare ale Protocolului de la Kyoto. Totuși, în valoare absolută, aportul României este relativ mic (ca o picătură într-un bazin cu apă), proporțional cu populația și potențialul economic al țării. Hotărâtoare la nivel mondial nu pot fi decât țările cele mai industrializate care fac parte din grupul G8, la care se alătură China, India și Brazilia.

Măsurile care se iau în România privind reducerea consumului de combustibili fosili și înlocuirea parțială a acestora prin folosirea surselor de energie regenerabilă, au consecințe importante la nivelul țării și al populației, dar aplicarea lor necesită în continuare studii și cercetări specifice, care să pună în evidență tehnica și tehnologia prin care acestea pot fi utilizate cât mai eficient.

Un alt aspect al acestei probleme, prezent mai ales în cazul combustiei biomasei, se referă la minimizarea producției de noxe în comparație cu cea rezultată în cazul combustibililor fosili, cu implicații majore privind simplificarea

## 28 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

tehnologiei de epurare a gazelor de ardere înainte de emisia lor în atmosferă, respectiv a dispersiei noxelor în mediul ambiant [86], [92], [93].

În acest context se înscrie subiectul tezei mele de doctorat „Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei”, elaborată în decursul celor patru ani de stagiu sub conducerea domnului prof. dr. ing. Corneliu Ungureanu.

## Cap 2. Caracteristicile fizico – chimice și tehnologice ale biomasei

### 2.1. Formarea biomasei

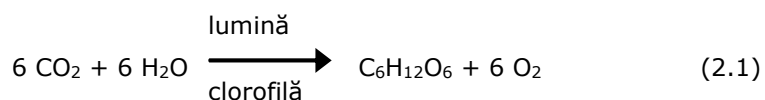
Biomasa reprezintă componentul vegetal al naturii. Ca formă de păstrare a energiei Soarelui în formă chimică, biomasa este una din cele mai populare și universale resurse de pe Pământ. Ea asigură nu doar hrană, ci și energie, materiale de construcție, hârtie, țesături, medicamente și substanțe chimice. Biomasa este utilizată în scopuri energetice din momentul descoperirii de către om a focului. Astăzi combustibilul din biomasă poate fi utilizat în diferite scopuri – de la încălzirea încăperilor până la producerea energiei electrice și combustibililor pentru automobile.

Prin biomasă se înțelege, în sens larg, orice fito- și zoomasă, formate în cea mai mare parte din organisme autotrofe, care sunt capabile să-si sintetizeze substanța organică necesară, utilizând ca hrană substanțe anorganice (CO<sub>2</sub>, săruri minerale, H<sub>2</sub>O) și o sursă de energie [41].

Organismele autotrofe se împart în două categorii: fitotrope și chemotrofe. Cele fitotrope sunt reprezentate de plantele verzi și unele bacterii care au pigmenți de tipul clorofilei și sunt caracterizate de sintetizarea substanțelor organice cu ajutorul energiei solare, în timp ce organismele chemotrofe (bacterii cum ar fi cele nitrificante) își sintetizează substanțele organice cu energia provenită din reacții chimice.

Bioxidul de carbon din atmosferă și apa din sol participă în procesul obținerii glucidelor (zaharidelor), care formează „blocurile de construcție” ale biomasei. Astfel, energia solară, utilizată la fotosinteză, își păstrează forma chimică în structura biomasei.

Celule speciale din frunzele plantelor, denumite cloroplaste, conțin pigmentul verde (clorofila) care absoarbe lumina și transformă CO<sub>2</sub>-ul (provenit din surse naturale sau antropice) și apa în glucide și O<sub>2</sub> prin procesul de fotosinteză. Acest proces are la bază următoarea ecuație chimică:



Dacă se arde efectiv biomasa (extragem energia chimică), atunci oxigenul din atmosferă și carbonul împreună cu hidrogenul din plante reacționează formând dioxid de carbon și apă. Acest proces este ciclic, deoarece bioxidul de carbon poate participa din nou la procesul de formare a biomasei.

### 30 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Biomasa prezintă o rezervă, o resursă utilă și importantă pentru om. Pe parcursul a mii de ani oamenii extrăgeau energia soarelui, păstrată în formă de energie a legăturilor chimice, arzând biomasa în calitate de combustibil sau utilizând-o în alimentație.

Pe parcursul ultimelor secole omenirea a învățat să folosească și tipurile fosile de biomasă, îndeosebi în formă de cărbune. Combustibilii fosili sunt rezultatul reacției chimice foarte încete de transformare a polizaharidelor în compuși chimici asemănători fracției ligninice. Ca rezultat, compusul chimic al cărbunelui asigură o sursă de energie mai concentrată. Toate tipurile de combustibil fosil, utilizate de către omenire – cărbune, petrol, gaze naturale – reprezintă (prin sine) biomasă străveche. Timp de milioane de ani pe Pământ resturile plantelor (vegetale) se transformă în combustibil. Deși combustibilul extras constă din aceleași componente – hidrogen și carbon - ca și biomasa "proaspătă", el nu poate fi atribuit unor surse energetice renovabile, pentru că formarea lui necesită o perioadă îndelungată de timp.

#### **2.1.1. Potențialul biomasei ca sursă regenerabilă**

Preocupări privind resursele de fitomasă ale României, pretabile a fi utilizate ca sursă reînnoibilă de energie, au apărut după cel de-al doilea război mondial, dar ele au luat amploare odată cu apariția crizei petrolului. Lucrarea [93] indică ca surse posibile de biomasă convertibilă în combustibili următoarele:

- deșeuri:
  - fermele zootehnice: dejecții, gunoi de grajd;
  - industria alimentară: borhot și melasă de la fabricarea zahărului, zer de la fabricarea de brânză, resturi de la abatoare și fabrici de conserve;
  - industrializarea lemnului: rumeguș, talaș, coji de arbori, bucăți de arbori, etc.
- fitomasă:
  - culturi specializate;
  - reziduuri din producția agricolă și legumicolă, paie (cereale păioase), coceni și ciocălăi de porumb, vrejuri de cartof, tomate, ardei, etc;
  - colete de la sfecla de zahăr, din exploatarea forestiere, bazinele viticole și pomicole.

În condițiile mediului topo-geografic existent, se apreciază că România are un potențial energetic ridicat de biomasă, evaluat la circa 7.594 mii tep\*)/an (318x10<sup>9</sup> MJ/an), ceea ce reprezintă aproape 19% din consumul total de resurse primare la nivelul anului 2000, împărțit pe următoarele categorii de combustibil:

- reziduuri din exploatarea forestiere și lemn de foc [1.175 mii tep (49,8x10<sup>9</sup> MJ/an)];

## Cap 2. Caracteristicile fizico – chimice și tehnologice ale biomasei 31

- deșeuri de lemn - rumeguș și alte resturi de lemn [487 mii tep (20,4x10<sup>9</sup> MJ/an)];
- deșeuri agricole rezultate din cereale, tulpini de porumb, resturi vegetale de viță de vie ș.a. [4.799 mii tep\*) (200,9x10<sup>9</sup> MJ/an)];
- biogaz [588 mii tep\*) (24,6x10<sup>9</sup> MJ/an)];
- deșeuri și reziduuri menajere urbane [545 mii tep\*) (22,8x10<sup>9</sup> MJ/an)].<sup>1</sup>

La arderea biomasei pe lângă energia termică degajată se emite o cantitate de CO<sub>2</sub> egală cu cea consumată în procesul de formare a acesteia. Datorită acestui fapt biomasa reprezintă un combustibil regenerabil, încadrat în categoria așa numitului „combustibil verde”, care prin ardere nu contribuie la amplificarea „efectului de seră”.

Un alt aspect care trebuie luat în considerare în favoarea utilizării biomasei ca și combustibil este acela că dacă aceasta ar fi lăsată să putrezească pe cale naturală, prin descompunere s-ar produce gaze cu efect de seră, ca de exemplu CO<sub>2</sub> și CH<sub>4</sub>.

Hotărârea de Guvern 54/2003 definește biomasa ca fiind un produs compus parțial sau în totalitate dintr-o materie vegetală, agricolă sau forestieră, ce poate fi utilizată ca și combustibil în vederea recuperării conținutului său energetic. Tot biomasă sunt considerate și următoarele deșeuri utilizate drept combustibil:

- a) deșeuri vegetale, agricole sau forestiere;
- b) deșeuri vegetale din sectorul industrial de prelucrare a produselor alimentare, dacă energia termică rezultată din procesul de ardere este valorificată;
- c) deșeuri vegetale fibroase din producția de paste celulozice naturale și din producția de hârtie fabricată din pastă celulozică, dacă acestea sunt incinerate la locul de fabricație și dacă energia produsă de instalația de incinerare este valorificată;
- d) deșeuri de plută;
- e) deșeuri de lemn, cu excepția celor care pot conține compuși organici halogeni sau metale grele, în urma aplicării unor tratamente de protecție ori de conservare a lemnului, care includ în mod special deșeuri provenite din construcții sau demolări.

La nivel mondial biomasa reprezintă 14,7 % din resursele primare de energie. Conform Legislației Uniunii Europene – Planul de acțiune privind biomasa COM (2005) 628 – Bruxelles (07.12.05) în prezent în Uniunea Europeană circa 4 % din necesarul de energie este asigurat din biomasă. Utilizarea completă a potențialului existent la nivelul UE este estimată a se realiza în jurul anului 2010, respectiv prin creșterea producției de la 69 mil. tep (tone echivalent petrol) în 2003 la 185 mil. tep în 2010.

---

<sup>1</sup> \* - tone echivalent petrol

### 32 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Potențialul tehnic de folosire a biomasei reprezintă circa 8-10 % din energiile primare în Germania și în Europa [42]. Unele țări foarte mari, ca de exemplu China și India dispun de un potențial important în ceea ce privește biomasa și, ca urmare, folosirea acesteia în scopuri energetice ar degreva în mod simțitor balanța energetică națională și mondială.

În România ponderea biomasei ca resursă energetică primară este scăzută (tab. 2.1). Scăderea ponderii biomasei în balanța resurselor energetice primare de la 8,76% în anul 1996 la 6,87% în anul 2000 (date extrase din Anuarul statistic al României – anul 2001) este cauzată, în principal, de extinderea rețelei de distribuție și a consumului de gaze naturale sau de gaze petroliere lichefiate (GPL).

Tab. 2.1 Ponderea biomasei în balanța resurselor energetice primare [1]

Proveniența energiei	UM	Anul				
		1996	1997	1998	1999	2000
Total resurse primare	PJ/an	2341	2146	1934	1666	1689
Consum de biomasă	PJ/an	205	141	127	118	116
Ponderea biomasei	%	8,76	6,57	6,56	7,10	6,87

Cantitatea de căldură rezultată din valorificarea energetică a biomasei în România deține ponderi diferite în balanța resurselor primare, în funcție de tipul de deșuri utilizat sau după destinația consumului final. Astfel, 54% din căldura produsă pe bază de biomasă se obține din arderea de reziduuri forestiere sau 89% din căldura necesară încălzirii locuințelor și prepararea hranei (mediul rural) este rezultatul consumului de reziduuri și deșuri vegetale.

În consumul curent de biomasă din România, în regim de exploatare energetică, se folosesc diferite tipuri de combustibili, cu următoarea destinație:

- circa 550 cazane industriale de abur și apă fierbinte pentru încălzire industrială (combustibil pe bază de lemn);
- circa 10 cazane de apă caldă, cu puteri instalate între 0,7 MW și 7,0 MW, pentru încălzire urbană cu puterea totală instalată de circa 45 MW care folosesc drept combustibil deșuri din lemn];
- aproximativ 14 milioane sobe sau cuptoare de lemne și/sau deșuri agricole pentru încălzirea locuințelor individuale sau prepararea hranei ș.a.

Cultivarea intensivă a „plantelor energetice” nu este recomandată deoarece în acest caz se folosesc îngrășăminte chimice la fabricarea cărora se emite indirect CO<sub>2</sub>. Este de preferat să se utilizeze resurse biogene și plante

energetice care se dezvoltă pe cale naturală, fără folosirea îngrășămintelor chimice.

Principalele categorii de combustibili biogeni (biomasă) sunt: cu conținut lemnos, cu conținut de paie, plante oleaginoase și biomasa animală (nămol, reziduuri de la abatoare, etc.). În timp ce biomasa cu conținut de paie are o compoziție celulozică ( $C_6H_{10}O_5$ ), biomasa lemnoasă are o compoziție cu un conținut de carbon ușor crescut ( $C_{H_{1,23}O_{0,38}}$ ), iar biomasa cu conținut proteic și oleaginos are un conținut redus de carbon, dar are N și S în proporție relativ ridicată comparativ cu biomasa lemnoasă sau păioasă.

Biomasa poate fi folosită ca și combustibil sub formă de „peleți”, aceștia având avantajul îmbunătățirii procesului de aprindere și stabilitate a arderii [51]. Tehnologia de fabricare a peleților constă în uscarea prealabilă, măcinarea (dacă este cazul) și apoi presarea cu sau fără liant. Aceștia, ca de exemplu cei fabricați din deșeuri de lemn (rumeguș, strujele, așchii, etc.) în Germania, se prezintă sub forma unor mici cilindrii cu diametrul de 6 mm și lungimea de 24 mm, au densitatea  $\delta_{pei} = 650 \text{ kg/m}^3$ , puterea calorifică de circa  $H = 5,0 \text{ kWh/kg} = 18 \text{ MJ/kg}$  la un conținut de umiditate  $W_{pei} = 8\%$ . Fabricarea peleților, care au o densitate energetică mai mare decât a biomasei din care provin, contribuie la micșorarea cheltuielilor de transport și depozitare.

## **2.2. Compoziția și proprietățile biomasei**

### **2.2.1. Caracteristici tehnologice [55], [56], [57], [58]**

Utilizarea rațională a biomasei presupune pe lângă cunoașterea caracteristicilor fizico-chimice și cunoașterea caracteristicilor tehnologice (densitate, compoziție granulometrică, capacitate de alunecare, rezistență mecanică, capacitate de măcinare, duritate, tendința de autoaprindere etc.) fără de care proiectarea și exploatarea rațională a instalațiilor de depozitare, transport și măcinare nu ar fi posibilă.

Densitatea pentru biomasă se poate prezenta sub formă de densitate *reală* și *aparentă*, după cum masa se raportează la volumul combustibilului inclusiv sau exclusiv volumul porilor. Alături de aceste două mărimi se folosește și densitatea în grămadă, care este raportul dintre masa biomasei și volumul său brut. Prin volum brut se înțelege volumul combustibilului netasat, inclusiv volumul golurilor dintre bucăți, grăunțe sau particule de praf. Densitatea în grămadă depinde de felul biomasei, de umiditatea, de granulația și de afânarea ei. Valoarea acesteia se folosește pentru dimensionarea buncărelor sau a silozurilor de combustibil.

De o mare importanță în alegerea modului de ardere, a tipului de grătar și a utilajului pentru prepararea biomasei este și compoziția granulometrică a



### 34 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

acesteia, care indică repartiția greutatei acestora după dimensiuni. Metoda de determinare a compoziției granulometrice este standardizată și se bazează pe trecerea unei probe reprezentative prin ciururi orizontale confecționate din țesătură de sârmă cu ochiuri standardizate.

Proba de biomasă este trecută succesiv prin seria de ciururi începând cu ciurul corespunzător limitei superioare de granulație a biomasei și terminând cu cel corespunzător limitei inferioare notându-se cantitățile de biomasă reținute pe fiecare ciur.

Clasa granulometrică este definită prin dimensiunile ochiurilor a două ciururi succesive, dintre care primul lasă să treacă integral biomasa, iar al doilea oprește integral biomasa, care a trecut prin primul ciur. Pentru analize granulometrice se folosesc ciururi cu ochiuri pătrate de diferite dimensiuni în funcție de care se stabilesc clasele granulometrice. Un sort poate cuprinde una sau mai multe clase granulometrice.

Caracteristica conținutului granulometric în funcție de restul pe sită se poate exprima prin relații analitice, de obicei empirice, sau mai intuitiv sub formă de diagrame notând pe axa absciselor dimensiunile ochiurilor sitelor, iar pe axa ordonatelor restul de pe sitele date. Curba determinată astfel se numește caracteristica granulometrică de ciuruire a biomasei brute.

Compoziția granulometrică a combustibilului are o influență hotărâtoare asupra caracteristicilor funcționale ale focarului cu ardere în strat. Limitele flăcărilor la arderea pe grătar sunt determinate de gradul de stabilitate a stratului precum și de dimensiunile medii ale granulelor de combustibil.

Prelucrarea biomasei legată de problema transportului și alimentării presupune cunoașterea capacității de alunecare (de curgere), adică deplasarea relativă a granulelor una față de alta sub influența gravitației. Capacitatea de alunecare este determinată de sortul de biomasă, de frecare și de coeziunea dintre granulele de combustibil. În practică, în locul capacității de alunecare, se folosește adesea unghiul taluzului natural, adică unghiul grămezii de combustibil, în poziție naturală de echilibru.

Combustibilii posedă o serie de însușiri fizice care pot fi numite și însușiri tehnologice, deoarece aceste însușiri participă sau înlesnesc unele operații de transport, depozitare și prelucrare. Aceste însușiri se împart în:

- însușiri ce se manifestă în vehicularea internă;
- însușiri ce se manifestă la depozitare;
- însușiri ce se manifestă în procesul de prelucrare.

Curgerea combustibililor reprezintă însușirea lor de a se deplasa prin cădere liberă de la un loc la altul. Pentru a se realiza procesul de curgere este necesar ca unghiul de înclinare al pantei pe care este dirijat combustibilul să fie mai mare decât unghiul de frecare al particulelor în stare de repaus în raport cu suprafața plană. Combustibilii în căderea lor liberă pe o suprafață plană se așează

în grămadă, care are forma unui con și a cărei generatoare poartă numele de taluz natural. Unghiul dintre baza orizontală și panta formată de grămadă se numește „unghiul taluzului natural” și este condiționat de frecarea particulelor între ele.

Proprietatea de curgere a combustibililor stă la baza transportului gravitațional. Unghiul taluzului natural ajută la stabilirea gradului de înclinare a conductelor de transport gravitațional precum și a unghiului de înclinare al grătarelor plan înclinate și în trepte. Curgerea este influențată de forma particulelor, suprafața lor și de conținutul de umiditate. Influența acestor factori este redată mai jos:

- particulele sferice sau ovale vor avea o capacitate de curgere mai mare decât particulele de forme neregulate;
- particulele cu suprafață aspră vor avea o capacitate de curgere mai redusă comparativ cu cele lucioase;
- particulele umede curg mai greu decât cele uscate[52].

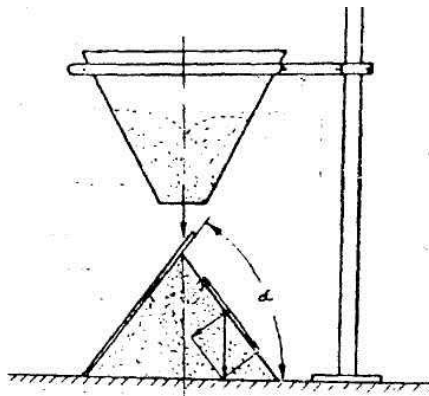


Fig. 2.1 Unghiul taluzului natural

Creșterea sau scăderea conținutului de umiditate are o influență foarte mare asupra capacității de alunecare. Valoarea umidității pentru care capacitatea de alunecare se anulează poartă denumirea de umiditate limită. În timpul iernii, din cauza înghețului, capacitatea de alunecare scade mult sau chiar se anulează, dacă umiditatea combustibilului atinge așa-numita umiditate de siguranță, care reprezintă limita superioară peste care nu se mai poate asigura transportul prin alunecare.

Pentru prelucrarea mecanică (concasare, măcinare) prezintă importanță o serie de indici cum ar fi rezistența mecanică, capacitatea de măcinare și durezza.

Rezistența mecanică (granulometrică) este rezistența la degradarea granulometrică în instalații mecanice (tobe, cilindri) în care combustibilii sunt sfărâmați în anumite condiții.

### 36 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Capacitatea de măcinare. Conform legii lui Rittinger, procesul de măcinare poate fi privit ca lucrul mecanic necesar măririi suprafeței specifice a unui material. Acest proces este însoțit de fenomene secundare ca degajare de căldură, deformare, zgomot, fenomene chimice, vibrații etc.[53].

Legată de problema siguranței depozitării trebuie ținut cont și de tendința de autoaprindere a combustibililor, care este determinată și influențată de proprietățile fizico-chimice ale acestora. Influențele care conduc la apariția pericolului de autoaprindere, enumerate în ordinea importanței, pot fi considerate următoarele:

- conținutul total de umiditate, sulf, impurități organice și substanțe anorganice;
- temperatura la depozitare;
- agenții atmosferici: ploaia, zăpada, căldura și vântul;
- apropierea surselor de căldură(focuri, conducte de abur, depozite de cenușă și zgură în stare de incandescență etc.).

#### **2.2.2. Compoziția elementară**

Elementele chimice care intră în compoziția biomasei (de fapt a oricărui combustibil solid) sunt următoarele: carbon (C), hidrogen (H), oxigen (O), azot(N) și sulf (S) organic (acestea formând masa organică sau combustibilă), umiditatea (W) și masa minerală necombustibilă (în care intră și sulful din sulfuri) din care rezultă cenușa. Masa minerală și umiditatea formează așa – numitul „balast” al combustibilului.

Compoziția elementară a unei probe de biomasă, exprimată în procente de masă, este raportată la următoarele stări [55], [56], [57], [58]:

- starea inițială:

$$C^i + H^i + O^i + N^i + S_c^i + A^i + W_t^i = 100 [\%] \quad (2.2)$$

- starea uscată la aer:

$$C^u + H^u + O^u + N^u + S_c^u + A^u + W_h^u = 100 [\%] \quad (2.3)$$

- starea de analiză:

$$C^a + H^a + O^a + N^a + S_c^a + A^a + W_a^a = 100 [\%] \quad (2.4)$$

- starea anhidră:

$$C^{anh} + H^{anh} + O^{anh} + N^{anh} + S_c^{anh} + A^{anh} = 100 [\%] \quad (2.5)$$

- starea combustibilă:

$$C^{mc} + H^{mc} + O^{mc} + N^{mc} + S_c^{mc} = 100 [\%] \quad (2.6)$$

- starea organică:

$$C^{\circ} + H^{\circ} + O^{\circ} + N^{\circ} + S_{o^{\circ}} = 100 [\%] \quad (2.7)$$

Sulful poate fi : organic ( $S_o$ ), din sulfuri ( $S_s$ ) și din sulfatați ( $S_{so4}$ ). În mod curent se folosesc noțiunile de:

- sulf combustibil:

$$S_c = S_o + S_s [\%] \quad (2.8)$$

- sulf total:

$$S_t = S_c + S_{so4} [\%] \quad (2.9)$$

Cantitatea totală de umiditate aflată în compoziția biomasei se împarte în umiditate de îmbibație și umiditate higroscopică.

Umiditatea de îmbibație sau externă  $W_i$  reprezintă cantitatea de apă pierdută prin uscare în etuvă la 50 °C timp de circa 3h sau la temperatura camerei de 20 °C timp de circa 24h, până la o greutate practic constantă. Dacă masa probei inițiale este  $m$  kg, iar după uscare ajunge la  $m_1$  kg, umiditatea de îmbibație este dată de relația:

$$W_i^i = \frac{m - m_1}{m} 100 [\%] \quad (2.10)$$

Umiditatea higroscopică sau internă  $W_h^u$  provine din apa ce se găsește în capilarele și celulele plantelor (biomasei).  $W_h$  se determină prin uscare în etuvă la 105 °C până la greutate practic constantă. Dacă se notează cu  $m_1$  masa inițială și cu  $m_2$  masa finală, umiditatea higroscopică rezultă din relația:

$$W_h^u = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100 [\%] \quad (2.11)$$

Dacă starea uscată la aer coincide cu starea de analiză, atunci evident  $W_h^a = W_a^a$ .

Factorii pentru trecerea rezultatelor analizei combustibililor de la o stare la alta sunt prezentați în tab.2.2 [6],[7].

38 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Rezultate recalulate pentru		
Combustibilul anhidru	Masa combustibilă	Masa organică
$\frac{100}{100 - W_t^i}$	$\frac{100}{100 - W_t^i - A^i}$	$\frac{100}{100 - W_t^i - A^i - S_s^i}$
$\frac{100}{100 - W_a^a}$	$\frac{100}{100 - W_a^a - A^a}$	$\frac{100}{100 - W_a^a - A^a - S_s^a}$
1	$\frac{100}{100 - A^{anzk}}$	$\frac{100}{100 - A^{anzk} - S_s^{anzk}}$
$\frac{100 - A^{anzk}}{100}$	1	$\frac{100}{100 - S_s^{mic}}$
$\frac{100 - A^{anzk} - S_s^{anzk}}{100}$	$\frac{100 - S_s^{mic}}{100}$	1

Tab. 2.2. Factorii pentru trecerea rezultatelor analizei combustibililor solizi de la o stare la alta [6], [7].

Rezultate raportate la	Starea inițială	Starea pentru analiză
Starea inițială	1	$\frac{100 - W_a^a}{100 - W_t^i}$
Starea pentru analiză	$\frac{100 - W_t^i}{100 - W_a^a}$ (**)	1
Combustibilul anhidru	$\frac{100 - W_t^i}{100}$	$\frac{100 - W_a^a}{100}$
Masa combustibilă	$\frac{100 - W_t^i - A^i}{100}$	$\frac{100 - W_a^a - A^a}{100}$
Masa organică	$\frac{100 - W_t^i - A^i - S_s^i}{100}$	$\frac{100 - W_a^a - A^a - S_s^a}{100}$

Umiditatea totală raportată la proba inițială este:

$$\begin{aligned}
 W_t^i &= \frac{m - m_2}{m} 100 = \frac{m - m_1 + m_1 - m_2}{m} 100 \\
 &= W_1^i + \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot \frac{m_1}{m} 100 = W_1^i + W_h \\
 &= W_1^i + W_h^u \frac{100 - W_1^i}{100} [\%]
 \end{aligned}$$

În tab. 2.3 și 2.4 sunt date valori orientative ale compoziției elementare, conținutului de volatili, respectiv puterea calorifică a unor deșeuri provenite din biomasă [7].

Tab. 2.3 Compoziția, volatilele și puterea calorifică a unor sorturi de biomasă

\* În cazul când  $W_a^a = W_h^u$  factorul de transformare se poate scrie  $100 / (100 - W_1^i)$ , unde  $W_1^i$  este umiditatea de îmbibație;  
 \*\*) În cazul când  $W_a^a = W_h^u$  factorul de transformare se poate scrie  $100 / (100 - W_1^i)$ .

40 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Denumire	Paie	Lemn foioase	Coji de semințe de floarea soarelui	Lemne vechi amestecate
$C^{mc}$ [%]	50	50,5	51,5	41
$H^{mc}$ [%]	6,2	6,10	5,9	6,2
$O^{mc}$ [%]	43,1	42,80	41,9	43,1
$N^{mc}$ [%]	0,6	0,6	0,5	0,6
$S_c^{mc}$ [%]	0,1	-	0,2	0,1
$V^{mc}$ [%]	-	85	-	-
$W_t^i$ [%]	10	40	15	10
$A^{anh}$ [%]	5	1	3	6
$S_t$ [%]	0,09	-	0,17	0,09
$H_s^i$ [MJ/kg]	20,030	20,026	20,440	20,030
$H_i^i$ [MJ/kg]	15,932	9,258	15,765	15,932

Tab. 2.4. Compoziția unor sorturi de biomasă exprimată în procente masice din masa anhidră [42], [55]

Denumire a	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	P [%]	S [%]	Cl [%]
Lemn de fag (cu coajă)	47,9	6,2	45,2	0,22	0,15	0,29	0,04	0,04	0,015	0,006
Paie de grâu	45,6	5,8	42,4	0,48	1,01	0,31	0,10	0,10	0,082	0,19
Tuleie de porumb	45,7	5,3	41,7	0,65	-	-	-	-	0,12	0,35
Tulpini de floarea soarelui	42,5	5,1	39,1	1,11	5,00	1,90	0,21	0,20	0,15	0,81

Cap 2. Caracteristicile fizico – chimice și tehnologice ale biomasei 41

Boabe de grâu	43,6	6,5	44,9	2,28	0,46	0,05	0,13	0,39	0,12	0,04
---------------	------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

În tab. 2.5 sunt prezentate date referitoare la arderea biomasei.

Tab. 2.5. Date caracteristice referitoare la arderea biomasei [42]

Denumirea	Puterea calorică		Cenușă $A_{anh}$ [%]	Volatile V [%]	Temperaturi caracteristice ale cenușii			
	$H_i$	$H_s$			$t_{agl.}$ [°C]	$t_{inm.}$ [°C]	$t_{top.}$ [°C]	$t_{curg.}$ [°C]
	[MJ/kg]							
Lemn de fag (cu coajă)	18,4	19,7	0,5	84,0	-	-	-	-
Paie de grâu	17,2	18,5	5,7	77,0	998	1008	1246	1302
Tuleie (tulpini) de porumb	17,7	18,9	6,7	76,8	930	1050	1120	1140
Tuleie (tulpini) de floarea soarelui	15,8	16,9	12,2	72,7	798	839	1178	1270
Boabe de grâu	17,0	18,4	2,7	80,0	662	687	887	933
Iarbă din marginea străzii	14,1	15,2	23,1	61,7	1181	1200	1270	1286

Datele din tab. 2.4 și 2.5 se referă la caracteristici ale biomasei din Germania și România culese din lucrările [31], [42], [59]. [60].

În tab. 2.6 sunt prezentate valorile compoziției elementare pentru boabe de porumb și de grâu [31].

Tab. 2.6 Compoziția elementară a boabelor de porumb și de grâu

Simbol	UM	Porumb	Grâu
C	%	44,6 – 48,5	44,3 – 50,3
H	%	5,4 – 5,5	5,4 – 5,4
O	%	39,6 – 42,4	43,2 – 43,2
N	%	0,4 – 1,3	0,3 – 1,6
S	%	0,0 – 0,1	0,0 – 0,0
Cl	%	0,3 – 1,5	0,2 – 0,6
A	%	2,7 – 8,5	5,3 – 5,3
Ca	mg/kg	950 – 2822	187 – 4976
Mg	mg/kg	1095 – 2154	721 – 1881
K	mg/kg	5069 – 6885	2690 – 20640
Na	mg/kg	29 – 40	15 – 104
P	mg/kg	2097 – 2631	976 – 3676
B	mg/kg	2 – 4	1,0 – 7,0
Al	mg/kg	50 – 368	2,0 – 340



42 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Fe	mg/kg	339 – 885	58 – 725
Mn	mg/kg	11 – 32	4 – 37
Cu	mg/kg	3 – 5	2 – 15
Zn	mg/kg	29 – 29	16 – 43
Mo	mg/kg	1 – 1	-
Ni	mg/kg	2 – 4	1 – 10
Cr	mg/kg	6 – 26	1 – 19
Pb	mg/kg	3 – 6	1 – 4
As	mg/kg	-	1 – 3

Făcând o comparație cu caracteristicile fizico – chimice ale cărbunilor prezentate în literatura de specialitate se observă că biomasa are caracteristici similare cu cele ale cărbunilor, în special cele ale cărbunilor inferiori. Cărbunii au un conținut mai mare de carbon și de cenușă, iar biomasa un conținut mai mare de oxigen și de aceea și puterea calorică este mai mare în cazul cărbunilor decât al biomasei.

Conținutul de cenușă, precum și temperaturile caracteristice ale acesteia sunt mai mici în cazul combustibililor proveniți din biomasa decât în cazul cărbunilor (în special ligniții). În fig. 2.2 este prezentat conținutul de cenușă pentru diferiți combustibili.

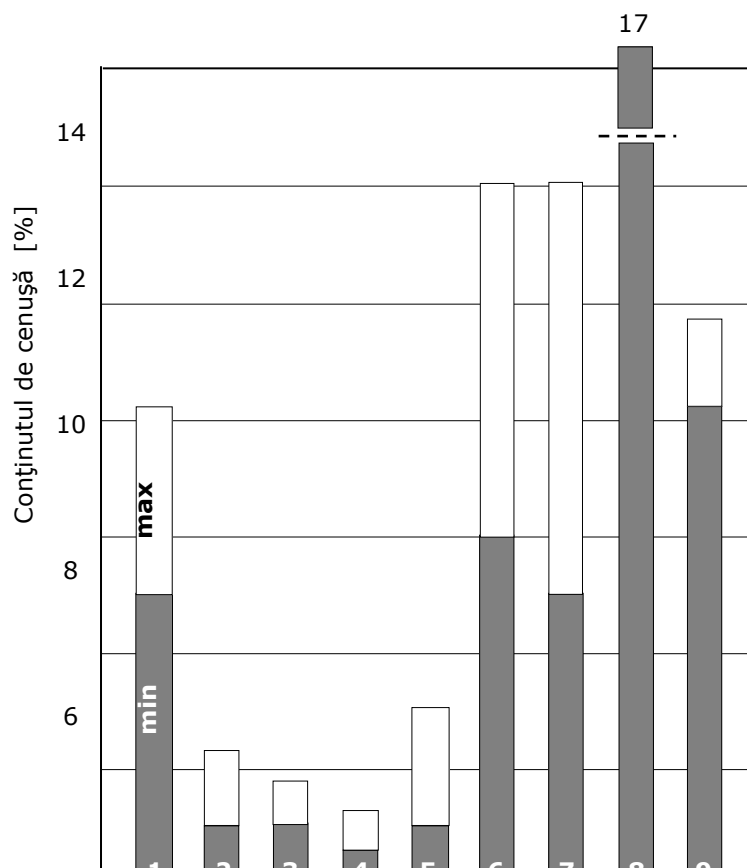


Fig.2.2 Conținutul de cenușă pentru diferiți combustibili [31]

- 1-Scoarță, 2-Butuci cu scoarță, 3-Butuci fără scoarță, 4-Rumeguș ferăstrău,  
5-Lemn (foioase,rășinoase), 6-Lemne vechi amestecate, 7-Paie și tulpini,  
8-Cărbune brun, 9-Huilă

La arderea în strat a biomasei, a combustibililor solizi în general, trebuie să se țină cont de conținutul de cenușă, precum și de temperaturile caracteristice ale acesteia pentru a evita înfundarea cu zgură a grătarului, pentru a nu avea depuneri prea mari pe suprafețele de schimb de căldură și pentru a avea o concentrație de praf în gazele de ardere emise la coș care să se încadreze în limitele admise de normele aflate în vigoare privind protecția mediului.

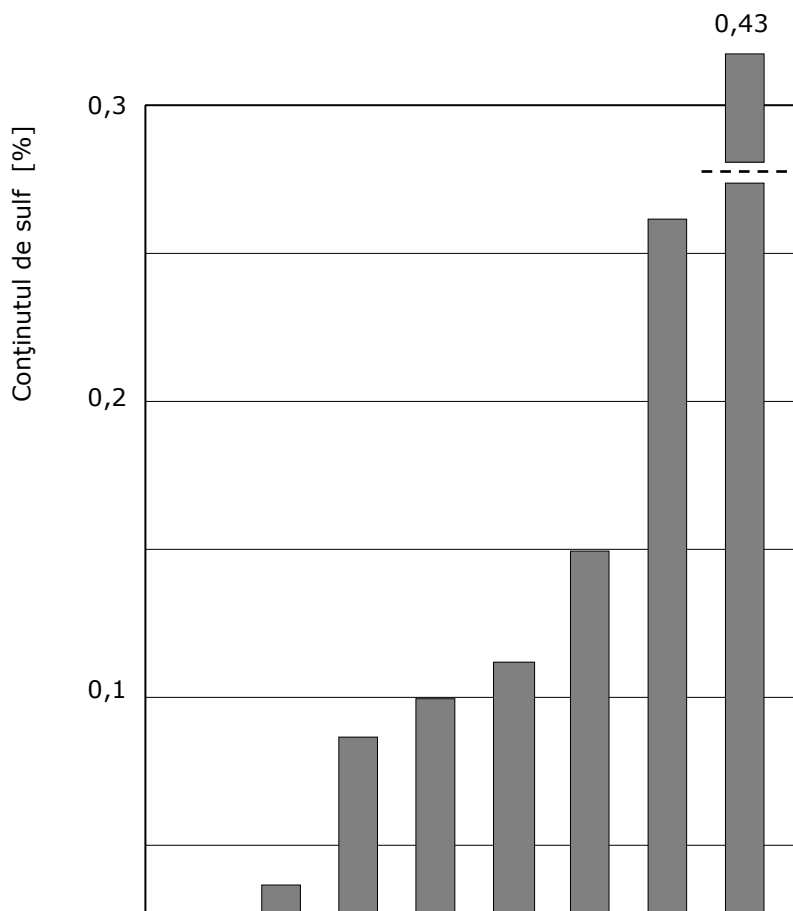


Fig. 2.3 Conținutul de sulf pentru diferiți combustibili [31]

1-Lemn de molid, 2-Lemn de plop, 3-Paie de secară, 4-Tulpini de cânepă,  
5-Boabe de grâu, 6-Tulpini de floarea soarelui, 7-Paie de rapiță, 8-Lignit

Conținutul de sulf al unui combustibil influențează în mod direct concentrația de dioxid de sulf din gazele de ardere după cum se poate observa și în fig. 2.3. Cum combustibilii biogeni au un conținut redus de sulf nu trebuie luate măsuri pentru desulfurarea gazelor emise la coș.

În fig. 2.4 este reprezentat conținutul de azot al câtorva categorii de combustibili, în special biogeni.

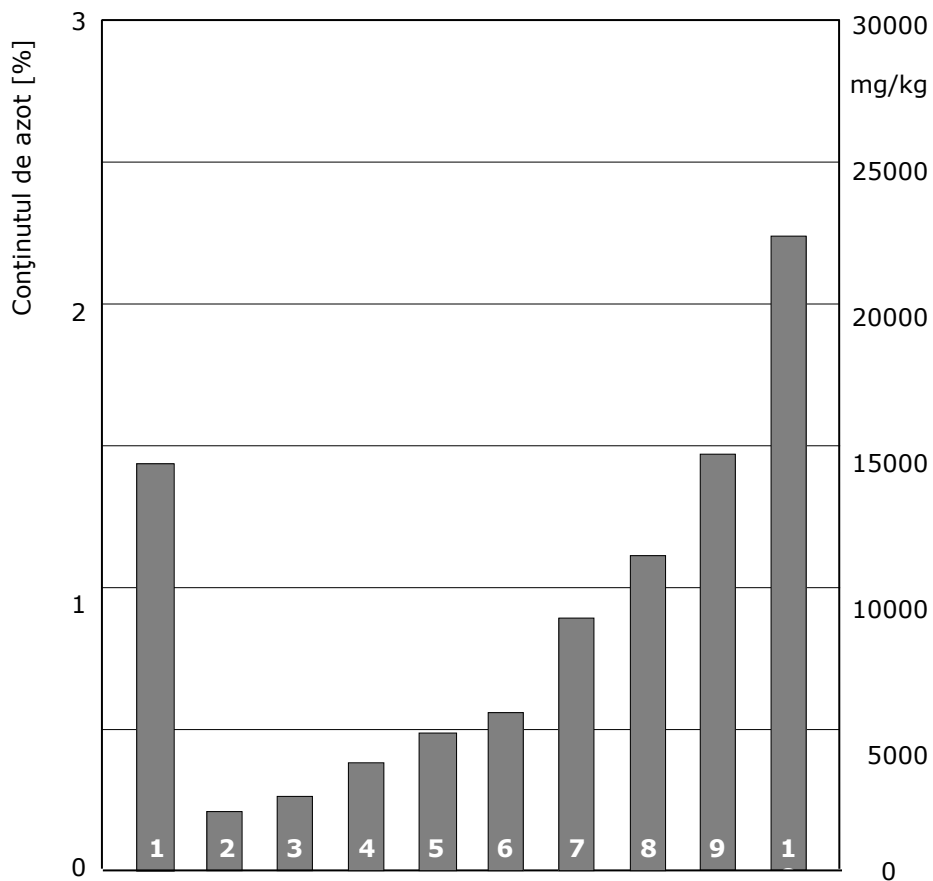


Fig. 2.4 Conținutul de azot pentru diferiți combustibili [31]

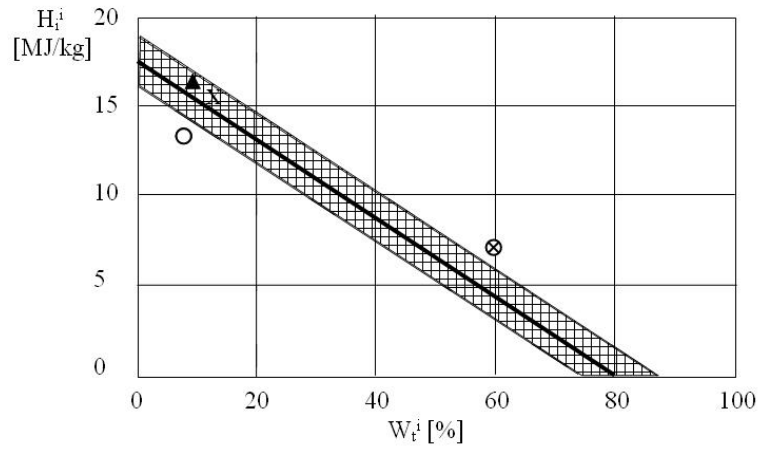
1 – Lignit, 2 – Lemn de molid, 3 – Lemn de fag, 4 – Lemn de plop,  
5 – Coajă rășinoase, 6 – Paie de secară, 7 – Paie de rapiță, 8 – Tulpini de floarea-soarelui, 9  
– Iarbă din marginea străzii, 10 – Boabe de grâu

### **2.2.3. Puterea calorică. Densitatea energetică**

Puterea calorică este cea mai importantă caracteristică energetică a unui combustibil, de valoarea căreia depinde alegerea tehnologiei de preparare și ardere a acestuia. Valoarea puterii calorifice este determinată de compoziția elementară a combustibilului și poate varia în limite foarte largi.

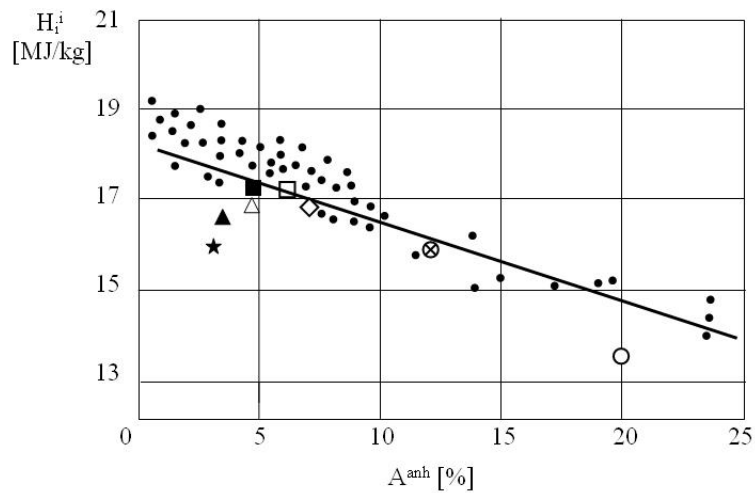
În tab. 2.3 și tab. 2.5 sunt prezentate valorile puterii calorifice inferioare ( $H_i$ ) și superioare ( $H_s$ ) pentru unele sorturi de biomasă. Cu creșterea conținutului de balast al biomasei puterea calorică inferioară a acestuia scade foarte mult. Pentru ilustrarea acestei afirmații în fig. 2.2 și fig. 2.3 este prezentată variația puterii calorifice inferioare a lemnului în funcție de conținutul total de umiditate, respectiv de cenușă.

46 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei



▲ -puzderii de in, x - coji de semințe de floarea soarelui, ○ - coji de orez,  
 ⊗ - resturi tanate

Fig. 2.5 Variația puterii calorifice inferioare a lemnului în funcție de conținutul total de umiditate [42]



▲ - puзderii de in, ★ - coji de semințe de floarea soarelui, ○ - coji de orez,  
 ■ - paie de seară, □ - paie de grâu, ◇ - paie de rapiță, ⊗ - tulpini de floarea soarelui,  
 △ - tulpini de cânepă

Fig. 2.6 Variația puterii calorifice inferioare a lemnului în funcție de conținutul de cenușă raportat la proba anhidră [42]

## Cap 2. Caracteristicile fizico – chimice și tehnologice ale biomasei 47

Produsul dintre puterea calorică inferioară  $H_i$  și densitatea aceluiași combustibil s-a denumit densitate energetică [31]:

$$\delta_E = H_i \delta \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right] \text{ sau } \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] \quad (2.13)$$

Valorile medii orientative ale densității energetice a unor combustibili fosili (păcură, uilă), respectiv biogeni cu un conținut de 15% umiditate (rumeguș, paie, boabe de cereale, peleți, etc.) sunt prezentate în tab. 2.7. În același tabel se mai găsesc și valorile densității energetice relative  $(\delta_E)_R$  în raport cu păcura, determinate din relația:

$$(\delta_E)_R = \frac{(\delta_E)_P}{(\delta_E)_B} \quad (2.14)$$

în care:

$(\delta_E)_P$  este densitatea energetică a păcurii în  $\text{MJ}/\text{m}^3$ ;

$(\delta_E)_B$  este densitatea energetică a biomasei în  $\text{MJ}/\text{m}^3$ .

Densitatea energetică relativă reprezintă un termen de comparație determinat atunci când se evaluează capacitatea necesară de transport și cheltuielile aferente acestui scop. Așa, de exemplu, pentru transportul baloților de paie este necesară o capacitate de transport de 30 de ori mai mare decât la transportul cantității de păcură care are același conținut energetic. În mod similar, capacitatea de transport necesară peleților din lemn este de circa 3 ori mai mare decât pentru cantitatea de uilă cu același conținut energetic, iar cheltuielile logistice de transport sunt de circa 10 ori mai mari [42].

Tab. 2.7 Valori medii orientative ale densității energetice a unor combustibili [42]

Combustibil	Densitatea [kg/m <sup>3</sup> ]	Densitatea energetică 10 <sup>3</sup> [MJ/m <sup>3</sup> ]	Densitatea energetică relativă în raport cu păcura
Păcura	840	36	1
Huila	870	27,8	1,3
Bucăți de lemn *)	300 - 475	4,7 - 7,4	4,9 - 7,7
Rumeguș presat *)	195 - 200	3,0 - 4,0	8,9 - 11,9
Scoartă, coji *)	205 - 320	3,2 - 5,0	7,2 - 11,3
Rumeguș (fierăstrău) *)	110 - 170	1,7 - 2,6	13,6
Rumeguș (rindea) *)	90 - 153	1,4 - 2,4	15,1
Paie, fân *)	120 - 160	1,7 - 2,3	15,6 - 20,8
Baloți rotunzi paie *)	85 - 104	1,2 - 1,5	24,0 - 29,4
Tulpini, baloți paralelipedici *)	190 - 216	2,7 - 3,1	11,6 - 13,1
Tulpini, baloți rotunzi *)	144	2,1	17,3
Paie măcinate *)	59 - 65	0,8 - 0,9	38,4 - 42,3
Plante (tulpini) măcinate *)	150	2,2	16,6
Boabe de cereale *)	760	10,9	3,3
Peleți de lemn *)	500 - 650	9,2 - 12,0	3,0 - 3,9

\*) umiditate 15 %.

Analiza termică

Prin metode termice de analiză se înțeleg, în general, acele metode cu ajutorul cărora se urmărește variația unui parametru fizic sau a mai multor parametri ai unui sistem în funcție de modificarea temperaturii acestuia [61], [62].

După principiul înregistrării variației masei, respectiv temperaturii, se cunosc următoarele metode principale:

- metoda termogravimetrică (TG);
- metoda termogravimetrică diferențială (DTG);
- metoda analizei termice diferențiale (ATD).

Cele trei metode prezentate mai înainte sunt complementare în sensul că pentru o interpretare mai corectă și mai completă a proceselor care se petrec, datele furnizate de una dintre ele sunt folositoare și celorlalte două. Această necesitate a dus la realizarea unor aparate complexe, care evidențiază cele trei metode prin trasarea simultană a trei curbe: TG, DTG și ATD. Un asemenea aparat, denumit derivatograf, are la baza construcției sale o schemă de principiu ca cea prezentată în fig. 2.7.

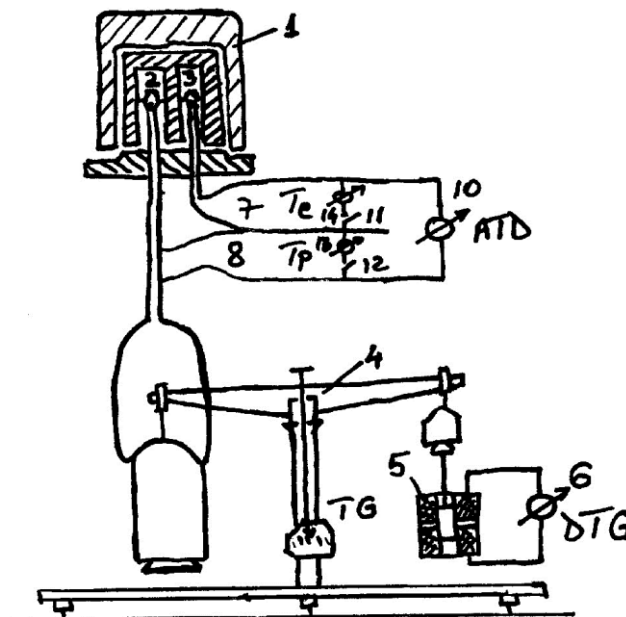


Fig. 2.7 Schema de principiu a unui derivatograf



## 50 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

În principal, derivatograful este format din cuptorul 1, suportul probei 2 și al etalonului 3, balanța 4 pentru înregistrarea curbei TG, iar prin sistemul electromagnetic 5 și galvanometrul 6, curba DTG. În componența aparatului mai intră termoelementele 7 și 8 și milivoltmetrele 10, 13 și 14 cu ajutorul cărora se pot măsura și înregistra variația în timp a temperaturii probei ( $T_p$ ), temperaturii materialului etalon ( $T_E$ ) și respectiv a diferenței dintre  $T_p$  și  $T_E$ , adică curba ADT. De regulă, pentru simplificare, se înregistrează doar ultimele două curbe, adică  $T_E = f(\tau)$  și  $ADT = f(\tau)$ . Derivatograful lucrează complet automatizat, cele patru curbe înregistrându-se direct pe o hârtie fotografică. Se obține astfel așa-numita „derivatogramă”, care caracterizează comportarea probei supusă încălzirii cu o anumită viteză (grade/minut) pe o perioadă determinată de timp.

Metodele de analiză termică sunt aplicate mai ales în chimie pentru punerea în evidență a intervalelor și cineticii unor transformări ca de exemplu: topirea, evaporarea, sublimarea, cristalizarea, adsorbția, transformări polimorfe, reacții în faza solidă, deshidratări, oxidări, descompuneri termice, etc.

Paleta largă a informațiilor oferite de metoda de analiză termică au sugerat unor cercetători ideea folosirii acesteia pentru a cerceta folosirea ei la a studia comportarea combustibililor solizi în procesul de aprindere și ardere [63], [64], [65], [66], [67], [68]. Pentru exemplificare, în cele ce urmează, se prezintă derivatograma unui cărbune brun (lignit) din bazinul carbonifer al Olteniei, efectuată cu ajutorul derivatografului Paulik tip Q-1500D, prezentat în lucrările [61] și [62]. Proba a fost obținută în urma măcinării și sitării prafului de cărbune uscat la aer timp de 48 de ore.

Principalele date, care au caracterizat regimul de lucru al derivatografului, au fost:

- masa probei: 450 g;
- materialul inert (etalon): alumina;
- creuzet: platină;
- sensibilitate: 500 mg;
- temperatură maximă de lucru (T): 1000 °C;
- sensibilitatea TG: 500 mg;
- sensibilitatea DTA: 500 mg;
- atmosfera din cuptor: aer;
- viteza de încălzire: 10 °C/min;
- durata încălzirii: 100 min.

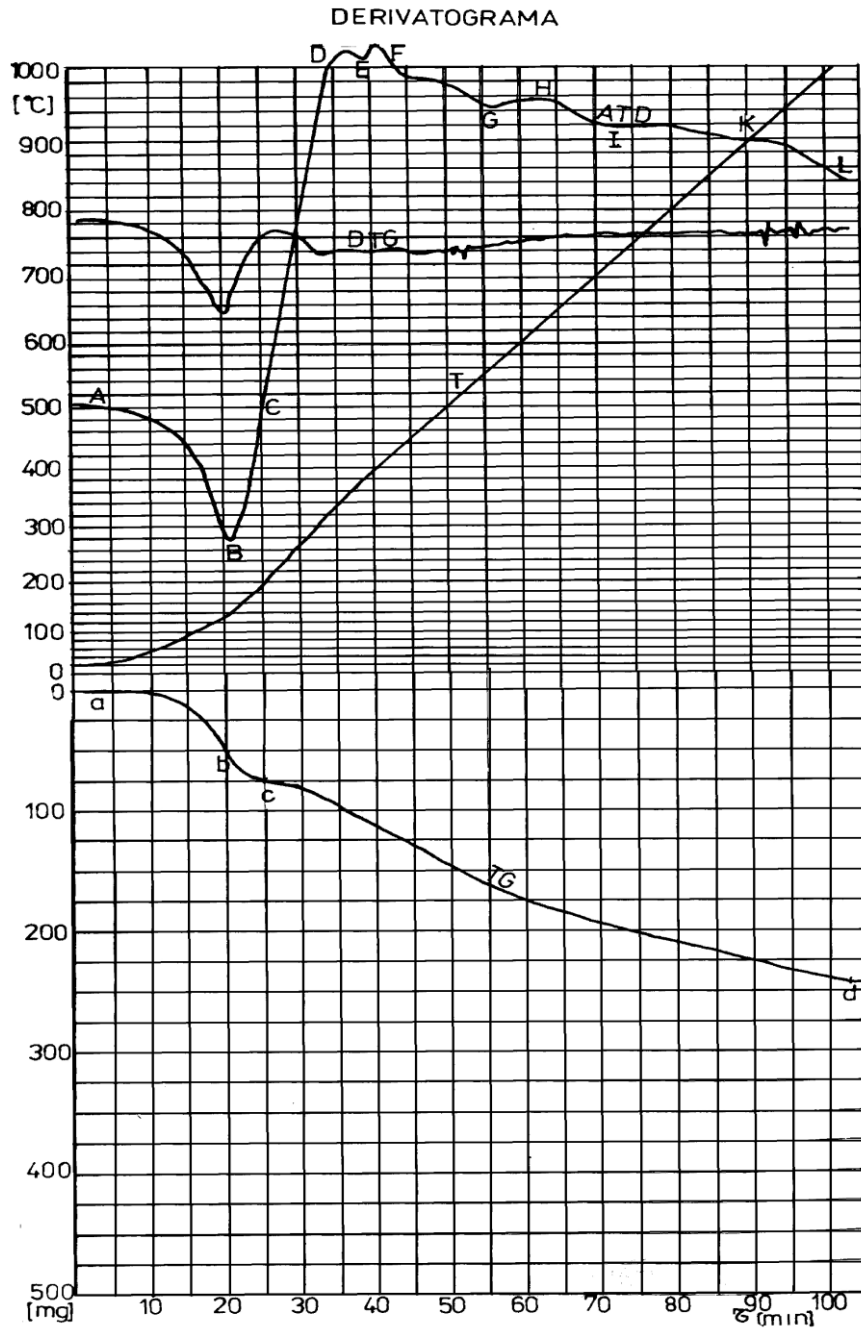


Fig. 2.8 Derivatograma unui cărbune brun (lignit din bazinul Olteniei de Nord)

## 52 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Derivatograma rezultată este prezentată în fig. 2.8. Din analiza curbei DTA și TG se evidențiază existența unui proces endotermic, care se petrece cu consum de energie termică, proporțională cu suprafața picului ABC, însoțit de o variație a masei probei de circa 75 mg (15%). Procesul endotermic se petrece cu viteză variabilă, atingând un maxim la 140 °C (punctul B) și durează până în punctul C, adică până la atingerea unei temperaturi a cuptorului de 200 °C. Dacă începutul procesului endotermic corespunde cu siguranță unui proces de uscare (eliminarea umidității), mai târziu, odată cu creșterea temperaturii, peste procesul de uscare se suprapun o serie de procese complexe, marcate de fenomene de deshidratare a unor minerale argiloase existente în masa minerală a cărbunelui, precum și de formare a peroxizilor și degajarea volatilor.

În punctul C apare un echilibru dinamic între energia termică consumată în procesele endotermice (deshidratarea, formarea volatilor) și energia termică degajată în procesele exotermice (formarea peroxizilor și inițierea aprinderii unor volatili).

Procesul de degajare a volatilor, început înainte de punctul C de pe curba ATD, continuă și atinge o viteză maximă în punctul D, după care scade lent până în punctul E, crește din nou până la atingerea celui de-al doilea maxim în punctul F, ca pe urmă să scadă destul de rapid până în punctul G când se consideră că procesul de degajare a volatilor s-a încheiat.

Alura curbei ATD în porțiunea CDEFG este determinată de cantitatea, viteza de degajare – aprindere și ardere a volatilor, specifică unui anumit cărbune, fiecărui punct caracteristic din această zonă corespunzându-i o anumită temperatură (citibilă pe curba T) și un anumit consum (citibil pe curba TG). În cazul analizat, viteza de degajare a volatilor prezintă câte un maxim în punctele D și F, cărora le corespund temperaturile de 340 °C și 400 °C, respectiv o scădere a masei inițiale cu 20%, respectiv cu 21%. Procesul de degajare a volatilor se încheie în punctul G căruia îi corespunde temperatura de 565 °C și o variație a masei de 33%.

În continuare are loc procesul de aprindere și ardere a rezidului carbonos a cărui viteză crește atingând un maxim în punctul H, adică la o temperatură de circa 630 °C. Urmează apoi o scădere treptată a vitezei de ardere, lucru de altfel așteptat și explicabil prin faptul că se micșorează concentrația carbonului în rezidul carbonos, dar și prin scăderea concentrației oxigenului la suprafața de reacție ca urmare a creșterii grosimii stratului de cenușă și a stratului limită de gaze în jurul particulelor de combustibil, deci a rezistenței difuzionale în procesul de pătrundere a oxigenului.

În punctul K are loc intersecția dintre curbele ATD și T, deci temperaturile probei și masei inerte (alumina) devin egale și anume 900 °C. Dincolo de acest punct procesul de oxidare a carbonului continuă, dar viteza de reacție este redusă,

energia termică degajată situându-se sub cea schimbată cu mediul înconjurător din cuptor.

În faza de ardere a rezidului carbonos se produce o scădere a masei probei cu circa 16%, iar ceea ce rămâne, circa 52%, ar trebui să reprezinte conținutul de cenușă al cărbunelui, raportat la proba pentru analiză. Acest rezultat este în contradicție cu valorile conținutului de cenușă al ligniților din Oltenia de Nord prezentate în lucrările [3], [4], [69], [70], [71]. Explicația constă în faptul că procesul de ardere a rezidului carbonos nu a fost definitivat. Repetând operația de obținere a unei noi derivatograme folosind același cărbune și același derivatograf, dar reglat pentru a lucra până la temperatura fixată de 1500 °C, s-a obținut, conform [65], un conținut de carbon fix  $C_f^a = 32,5\%$  și de cenușă  $A^a = 26,5\%$ , rezultate mult mai aproape de realitate.

Pornind de la constatarea că analiza termică oferă informații interesante privind fazele procesului de ardere a unui combustibil, s-a considerat utilă obținerea derivatogramelor unor sorturi de biomasă deșeu avute în vedere să fie utilizate în cadrul programului de încercări experimentale de ardere în strat fluidizat staționar. Au fost selectate 8 probe de biomasă deșeu la care s-au adăugat două probe, una de huiă iar alta de lignit.

Derivatogramele celor 10 probe sunt prezentate în fig. 2.9 – 2.18 și conțin doar curbele TG și DTG. În tab. 2.8 sunt consemnate temperaturile la inflexiune pentru curba TG, iar în tab. 2.9 pierderile de masă ale probelor în intervalele de temperaturi specificate.

Tab. 2.8 Temperaturi la inflexiunea curbei TG

Nr. crt.	Denumire probei	Temperatura la inflexiune			
		Etapa I <sup>a</sup> de degradare	Etapa II <sup>a</sup> de degradare	Etapa III <sup>a</sup> de degradare	Etapa IV <sup>a</sup> de degradare
1	Coceni tocați	61.7	298.6	-	-
2	Făină de porumb	79.7	280.8	-	-
3	Floarea-soarelui măcinată	65.3	244.8	304.6	369.5
4	Huiă	75.2	420.2	-	-
5	Rumeguș	51.2	331.6	-	-
6	Știuleți de porumb	83.3	253.6	351.1	-
7	Tărâțe de porumb	61.6	279.7	-	-
8	Făină de oase + cărbune	78.9	313.9	-	-
9	Lignit	77.3	16937	-	-
10	Rumeguș mare	56.1	330.0	-	-

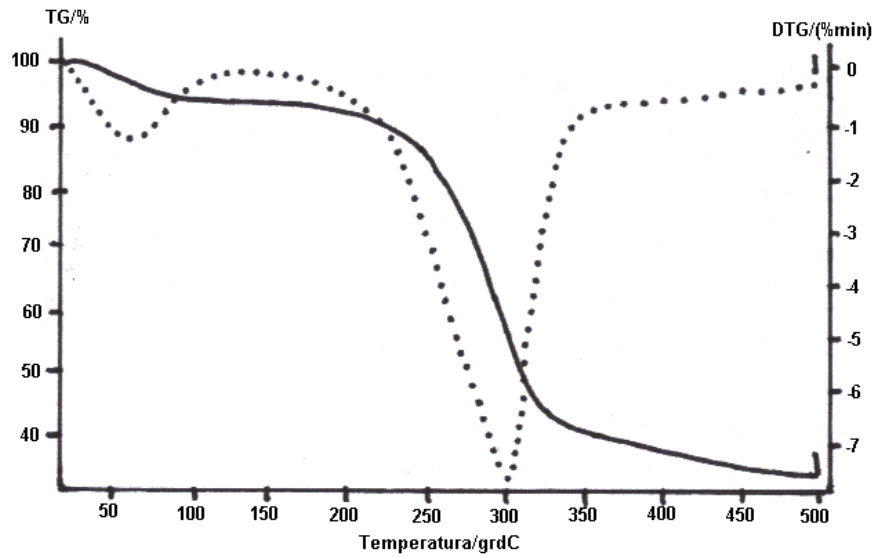


Fig. 2.9 Coceni tocați

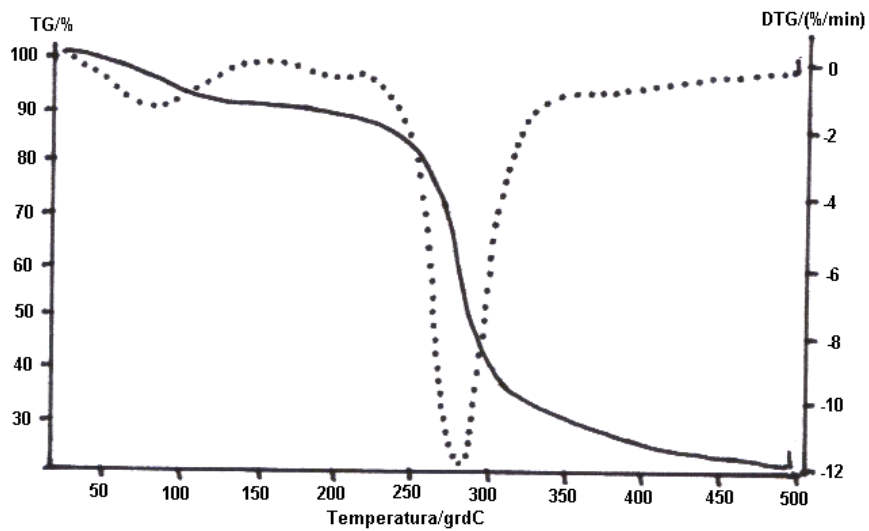


Fig. 2.10 Făină de porumb

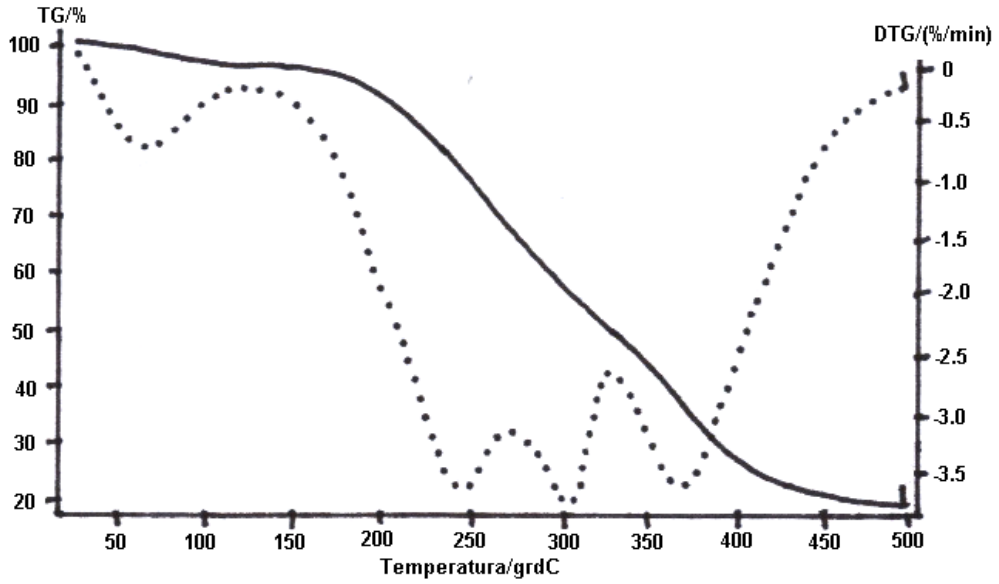


Fig. 2.11 Floarea-soarelui măcinată

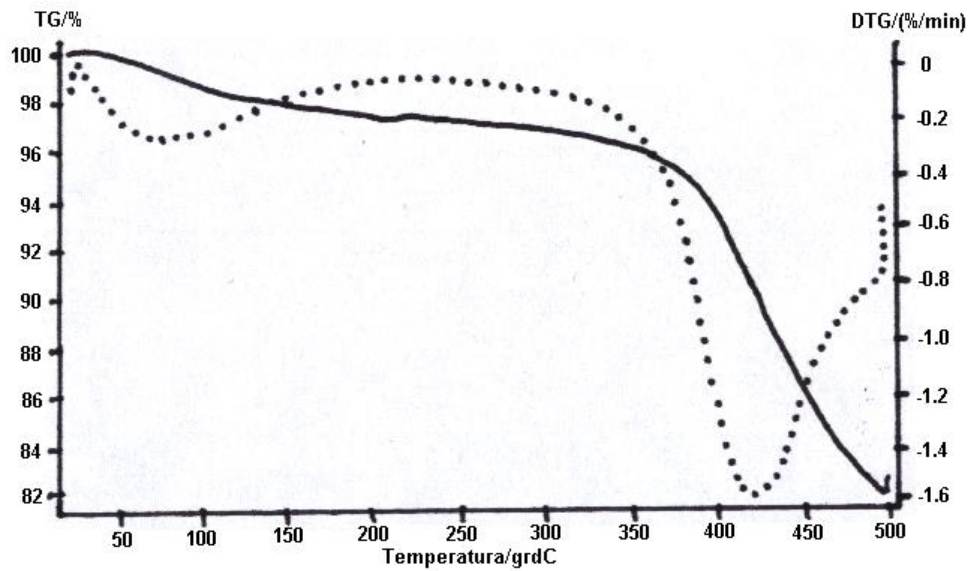


Fig. 2.12 Huilă

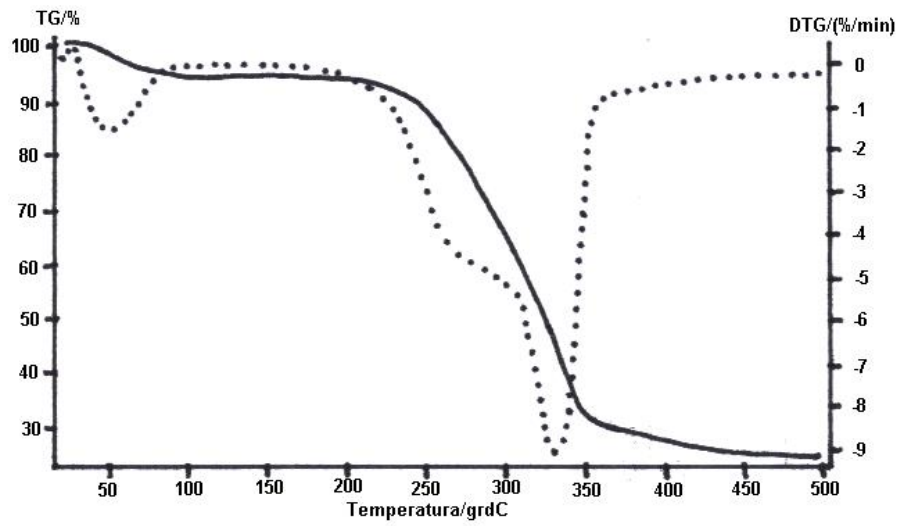


Fig. 2.13 Rumeguș

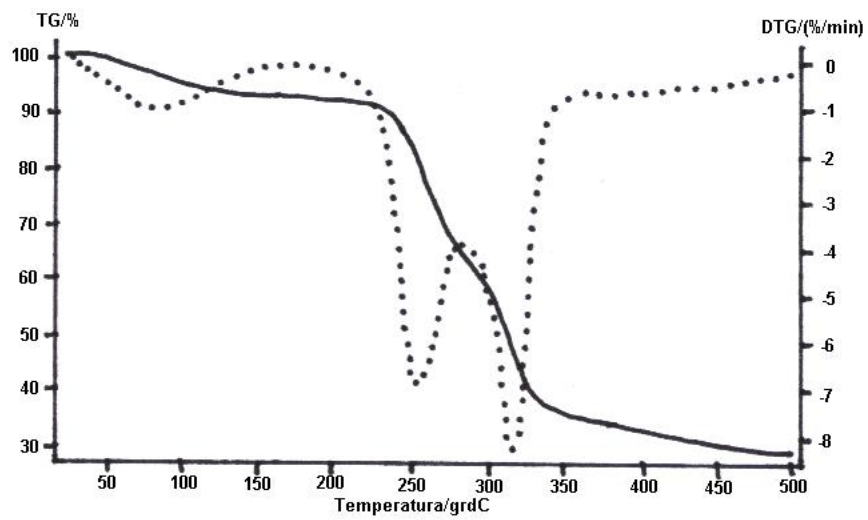


Fig. 2.14 Știuleți de porumb

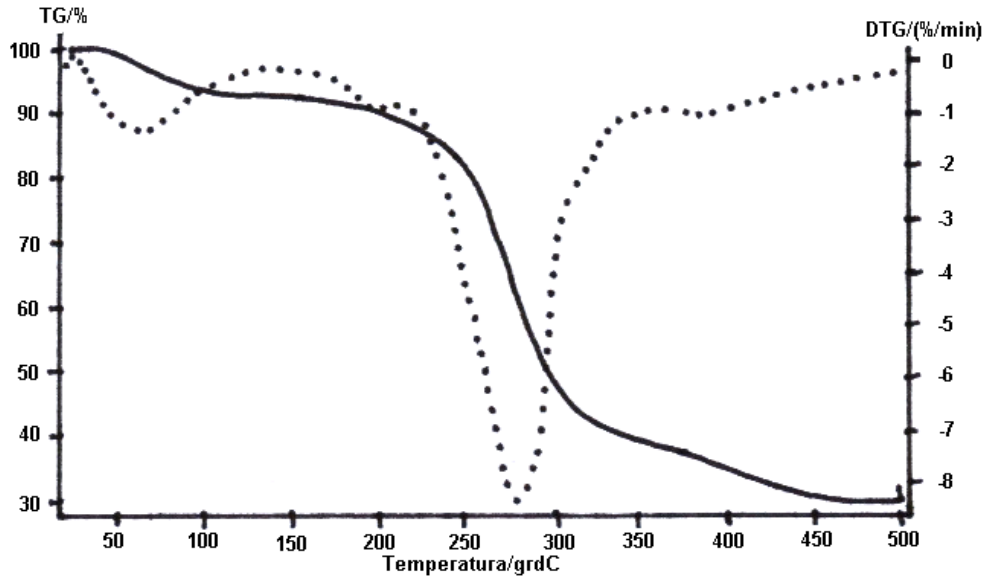


Fig. 2.15 Tărâțe

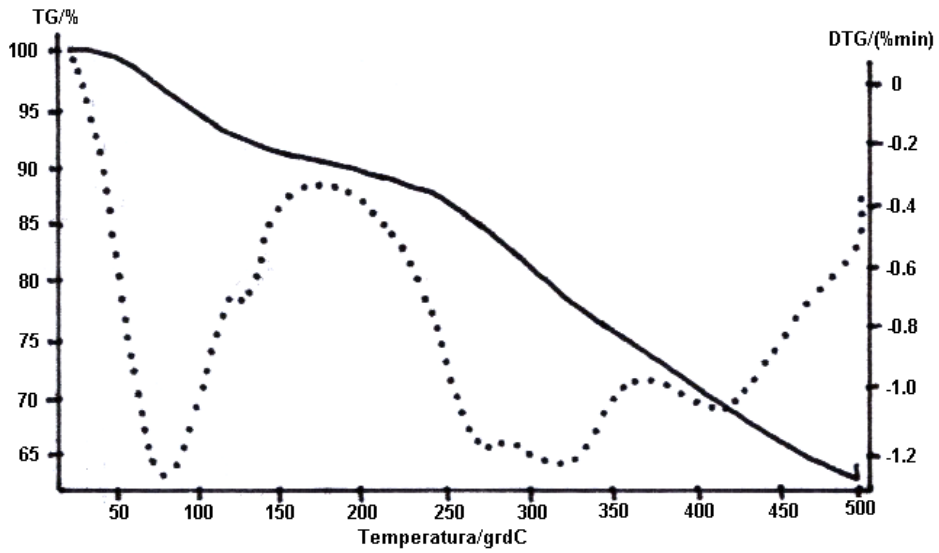


Fig. 2.16 Făină de oase + cărbune



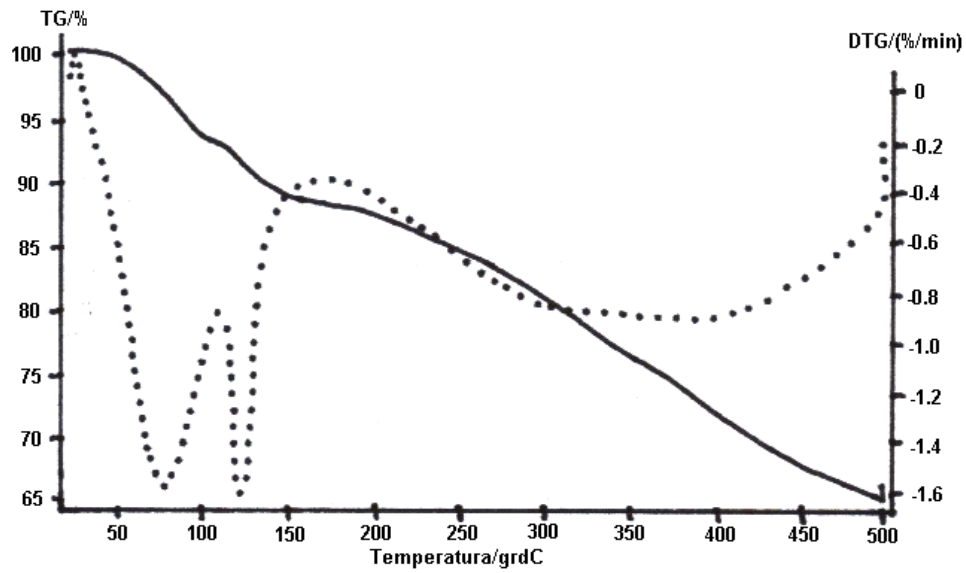


Fig. 2.17 Lignit

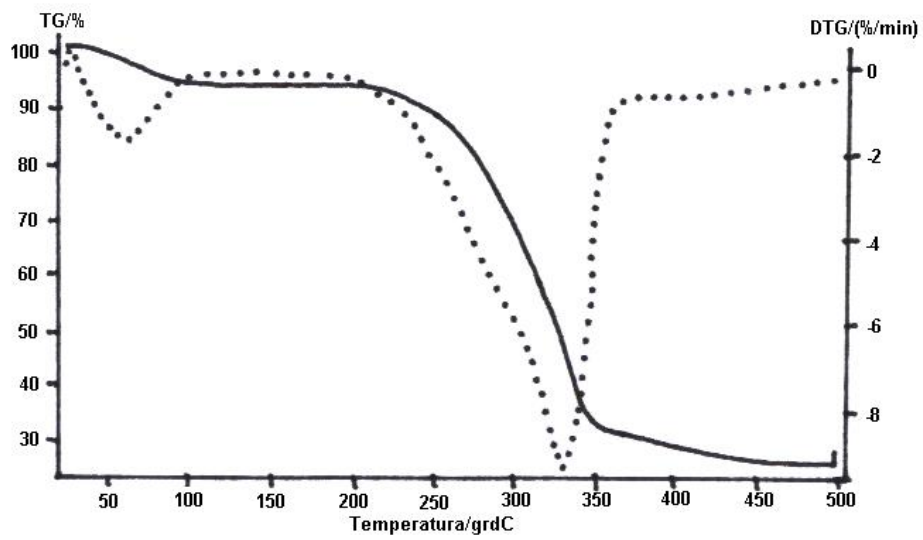


Fig. 2.18 Rumeguș mare

Tab. 2.9 Pierderile de masă a probelor

Nr. crt.	Denumire probei	Pierderea de masă în [%] pentru intervalul de temperaturi $\Delta t$ [°C]				
		20 - 100	20 - 200	20 - 300	20 - 400	20 - 500
1	Coceni tocați	5.74	7.78	44.03	62.99	67.51
2	Făină de porumb	6.44	10.97	53.38	73.92	78.47
3	Floarea-soarelui măcinată	2.95	9.33	40.98	72.44	81.46
4	Huilă	1.24	2.57	3.23	6.95	18.35
5	Rumeguș	4.92	5.90	34.28	72.26	75.77
6	Știuleți de porumb	4.32	7.48	42.98	67.70	72.04
7	Tărâțe de porumb	6.03	9.75	52.10	65.99	71.25
8	Făină de oase + cărbune	5.22	10.29	19.02	29.60	37.53
9	Lignit	6.24	12.81	19.29	28.03	35.01
10	Rumeguș mare	5.44	6.58	32.12	71.46	75.59

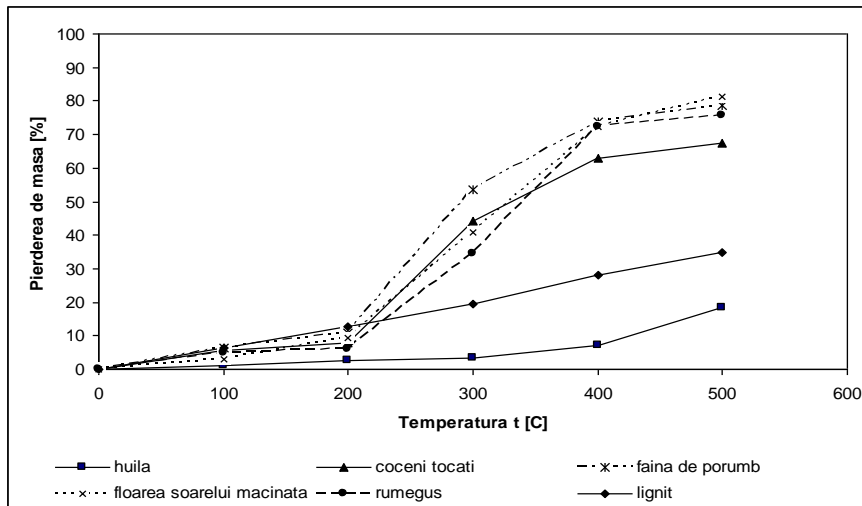


Fig. 2.19 Pierderea de masă a probelor în [%] pe intervalul de temperaturi (0 - t) [°C]

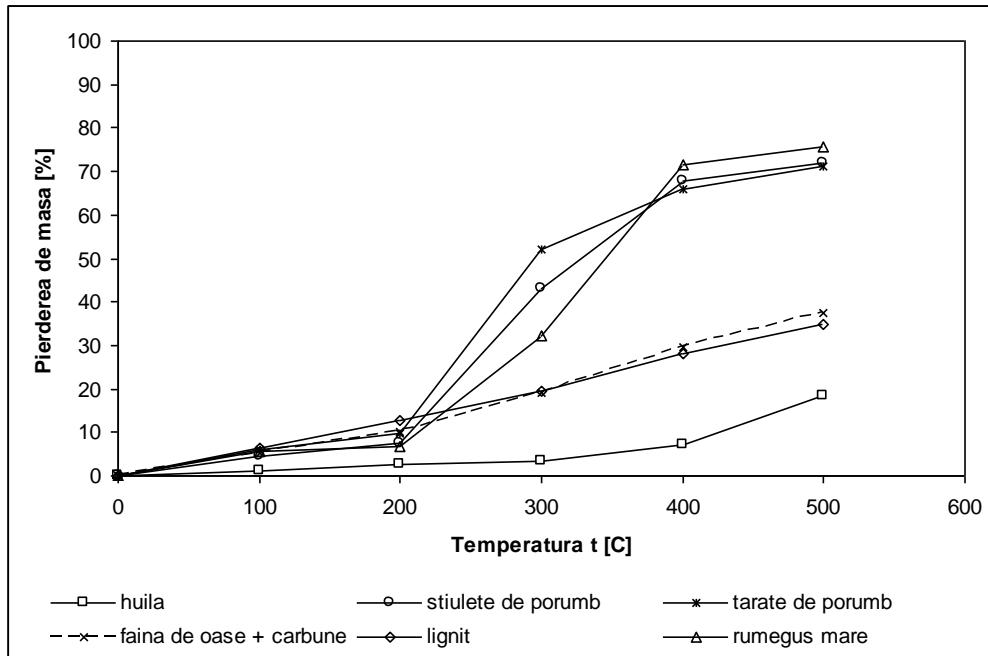


Fig. 2.20 Pierderea de masă a probelor în [%] pe intervalul de temperaturi (0 - t) [°C]

Din analiza valorilor înscrise în tab. 2.8 și 2.9, precum și a graficelor prezentate în fig. 2.19 și fig. 2.20 se desprind unele observații și anume:

1. Valoarea temperaturii de inflexiune a curbei TG reprezintă o caracteristică a probei investigate. În cele mai multe cazuri se evidențiază doar două temperaturi de inflexiune a curbei TG, prima la sfârșitul fazei de uscare și cea de-a doua la sfârșitul fazei de degajare a volatilelor.
2. Există însă unele sorturi de biomasă ca de exemplu floarea-soarelui măcinată sau știuleții de porumb, care prezintă patru (fig. 2.11), respectiv trei (fig. 2.14) etape de degradare. Aceste situații se datorează descompunerii termice a unor substanțe organice care intră în compoziția biomasei respective.
3. Pierderea procentuală de masă a probelor cercetate în intervalele de temperaturi 20 - 100 °C, 20 - 200 °C, 20 - 300 °C, 20 - 400 °C, până la 20 - 500 °C este mult mai mică în cazul cărbunilor comparativ cu cea înregistrată în cazul biomasei.

## Cap 2. Caracteristicile fizico – chimice și tehnologice ale biomasei 61

4. Cea mai mică pierdere procentuală de masă se observă în cazul huilei, care pe intervalul de temperaturi 20 – 500 °C realizează  $\Delta m_h = 18,35\%$ .
5. În aceleași condiții proba de lignit a înregistrat o pierdere de masă  $\Delta m_h = 35,01\%$ , adică aproape dublu decât în cazul huilei. Explicația constă în faptul că lignitul este un cărbune mai tânăr, are un grad de incarbonizare mai redus și un conținut de volatile mai mare decât huila.
6. Cifrele înscrise la sfârșitul fiecărei curbe TG reprezintă masa reziduală în [%], adică ce a mai rămas la sfârșitul calcinării (încălzirii la temperaturi ridicate) probelor. Această masă reziduală poate fi considerată drept conținutul de cenușă al probelor respective, care conform măsurărilor se situează în jur de 1% în cazul cocenilor tocați și rumegușului mare, crește la circa (6 – 7)% în cazul celorlalte probe de biomasă și atinge valori de (7 – 8)% în cazul cărbunilor.
7. Observațiile de mai sus sunt utile pentru înțelegerea mai bună a comportării biomasei în procesul de ardere, singură, dar mai ales în cazul co-incinerării cu un cărbune.

## Cap. 3. Instalații și tehnici de ardere a biomasei

### 3.1. Pregătirea biomasei și concepte privind arderea

Biomasa ca și combustibil regenerabil provine direct din păduri sau din culturi agricole sau indirect din deșeuri provenite din transformarea biomasei primare în produse finite (rumeguș, coji de semințe, etc.).

Atât biomasa naturală cât și deșeurile provenite din aceasta sunt solide și au dimensiuni variate după cum se poate observa și din fig. 3.1 și 3.2.



Fig. 3.1 Deșeuri de lemn



Fig. 3.2 Deșeuri de la prelucrarea trestiei de zahăr

Exceptând cazurile în care arderea directă este potrivită, biomasa brută necesită transformarea în combustibili solizi, lichizi sau gazoși care pot fi folosiți pentru producerea de căldură, electricitate sau drept combustibil pentru autovehicule. Această conversie se realizează prin procese mecanice, termice sau biologice. Procesele mecanice nu sunt strict de transformare deoarece ele nu schimbă natura biomasei. Exemple de astfel de procese sunt: sortarea și compactarea deșeurilor, procesarea reziduurilor de lemn în baloți, peleți și brichete, tocarea paielor și cocenilor, presarea semințelor oleaginoase. Astfel de procese sunt folosite pentru pretratarea biomasei. Arderea, gazificarea și piroliza sunt exemple de procese termice. Ele produc, fie căldura, fie un gaz sau lichid. În fig. 3.3 sunt schematizate principalele direcții de conversie a biomasei.

62 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

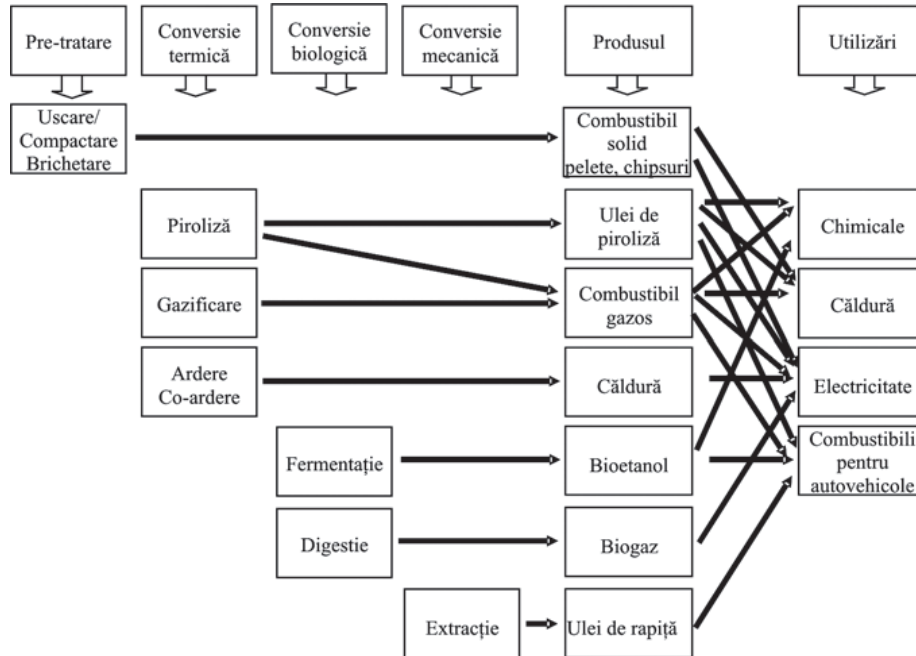


Fig. 3.3 Modalități de conversie a biomasei [31]

Un mijloc util de comparare a biomasei și a combustibililor fosili se bazează pe rapoartele dintre conținutul de oxigen și carbon (O/C), respectiv hidrogen și carbon (H/C). Reprezentarea grafică a dependenței  $(H/C) = f(O/C)$  a condus la construcția binecunoscutei diagrame Van Krevlen prezentată în fig. 3.4. Cu cât sunt mai mici rapoartele respective, cu atât este mai mare conținutul de energie al materiei respective.

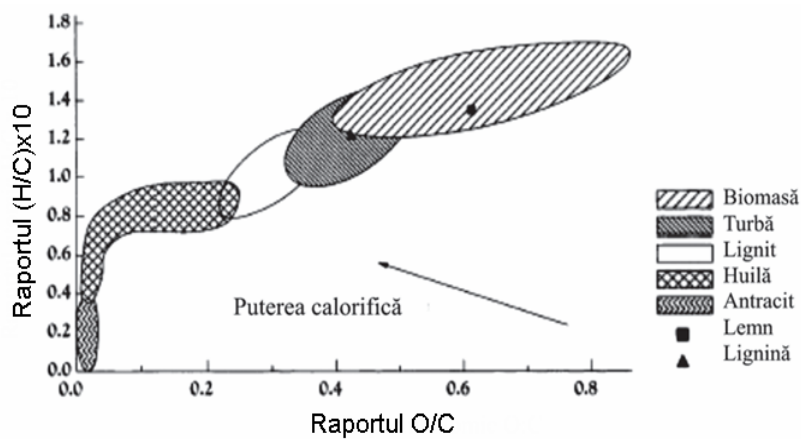


Fig. 3.4 Diagrama Van Krevlen pentru diferiți combustibili fosili

Arderea biomasei s-a practicat din cele mai vechi timpuri. Biomasa poate fi arsă direct (așa cum este ars lemnul pentru încălzire sau incinerate deșeurile) sau arsă simultan cu cărbunele (co-ardere). Cazanele moderne sunt proiectate să folosească co-arderea pentru a reduce emisiile de CO<sub>2</sub>. La proiectarea sistemului de ardere se ține seama de caracteristicile combustibilului ce urmează să fie folosit, de legislația de mediu, costul și performanțele echipamentelor disponibile. În timpul arderii, o particulă de biomasă trece prin mai multe faze, descrise în capitolul doi.

Umiditatea limită a biomasei pentru susținerea arderii nu trebuie să depășească 60% din masă. Umiditatea este o proprietate a biomasei foarte importantă de care depinde proiectarea instalației de ardere și desfășurarea procesului de ardere.

Biomasa este diferită de cărbune în ceea ce privește conținutul de materii organice și anorganice, puterea calorifică și proprietățile fizice. Față de cărbune, biomasa are, în general, mai puțin carbon, aluminiu și fier și mai mult oxigen, silice și potasiu, are putere calorifică mai mică, conținut de apă mai mare, densitate mai mică și friabilitate redusă. Arderea perfectă și completă a biomasei implică modificarea instalației folosite anterior pentru arderea cărbunilor din cauza compoziției biomasei, mai ales a conținutului de volatili. Puterea calorifică a biomasei este mult mai mică decât cea a cărbunelui din cauza conținutului ridicat de umiditate și de oxigen.

Este recomandat ca biocombustibilii solizi ce vor fi folosiți în instalațiile casnice, comerciale și industriale să fie supuși unor procese de pretratate cum ar fi: spălarea, uscarea, reducerea mărimii și compactarea (fig. 3.5), pentru a se obține o mai mare uniformitate, o mai ușoară manipulare și o reducere a umidității la un nivel acceptabil.

Lemnul este cel mai folosit biocombustibil solid. Materialul brut poate avea următoarele forme: bușteni, butuci, tulpini, frunze și ace ale unor conifere din pădure, scoarță, rumeguș, surcele și talaș din industria lemnului și lemnul recuperat din construcții. Acestea pot fi folosite, când este posibil, direct, ca și combustibil sau pot fi procesate în forme mai ușor de transportat, stocat și ars cum ar fi: peleții, brichetele, etc.

## 64 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

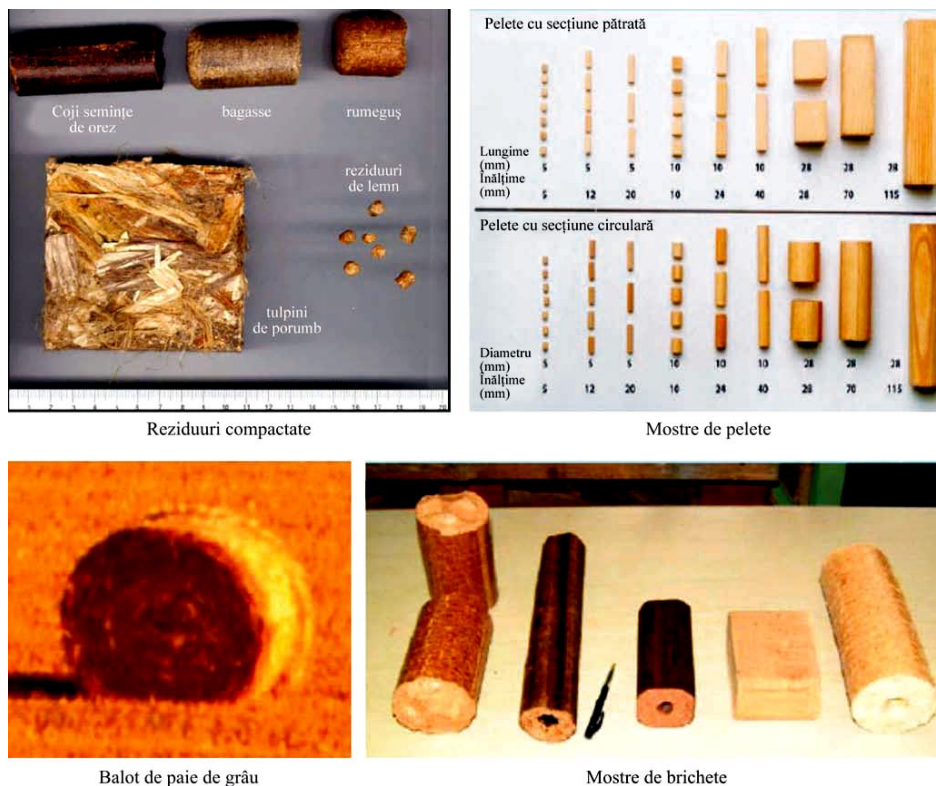


Fig. 3.5 Diverse sorturi de biomasă compactată

Peleții sunt produși prin mărunțirea rumegușului, așchiilor, surcelelor sau a cojiilor de copac și presarea prafului obținut într-o matrită. Căldura rezultată în urma frecării este suficientă pentru înmuierea ligninei. Prin răcire, lignina devine rigidă și leagă materialul. Peleții au formă cilindrică sau sferică cu diametrul mai mic de 25 mm.

Brichetele au formă rectangulară sau cilindrică și sunt obținute prin presarea împreună a rumegușului, așchiilor, surcelelor sau a cojii de copac într-o presă cu piston sau șurub. Conținutul de energie al peleților și brichetelor este de circa 17 GJ/tonă la un conținut de umiditate de 10% și o densitate de circa 600-700 kg/m<sup>3</sup>.

În general, biomasa, datorită proprietăților sale, se încadrează în categoria combustibililor solizi cu putere calorică medie, conținut mic de cenușă și conținut ridicat de umiditate. Ca urmare, aceasta poate fi arsă în instalații utilizate la arderea cărbunilor, în special a celor inferioari, cu unele adaptări constructive și funcționale.

Din cauza densității energetice mici a biomasei, în comparație cu cea a combustibililor clasici, este de dorit ca aceasta să fie utilizată la locul de producere



sau în instalații mici, transportul pe distanțe mari fiind ineficient din punct de vedere economic.

Puterea termică nominală a unei instalații de ardere se definește ca produs dintre consumul de combustibil  $B$  [kg/s] și puterea calorifică inferioară  $H_i$  [kJ/kg]:

$$P_{tn} = B \cdot H_i \quad [kW_t] \text{ sau } [MW_t] \quad (3.1)$$

Puterea termică efectivă se definește din relația:

$$P_{t,ef} = \eta_{ef} \cdot B \cdot H_i \quad [kW_t] \text{ sau } [MW_t] \quad (3.2)$$

în care  $\eta_{ef}$  este randamentul termic efectiv al instalației [18], [20], [22], [23], [71], [87].

Tehnologiile de ardere a biomasei prezintă câteva probleme. Cele mai importante țin de murdărirea și coroziunea suprafețelor de schimb de căldură. Zgurificarea și murdărirea reduc schimbul de căldură la nivelul suprafețelor de încălzire și cauzează coroziunea. Coroziunea și eroziunea duc la scurtarea duratei de viață a echipamentelor. Depunerile sau murdărirea suprafețelor de încălzire sunt provocate de materia anorganică prezentă în biomasa ce arde. Sodiul (Na) și potasiul (K) coboară temperatura de topire a cenușii și prin urmare este intensificată depunerea de cenușă pe țevile cazanului.

Calciul (Ca) și magneziul (Mg) fac să crească temperatura de topire a cenușii. Siliciul, Si, se poate combina cu potasiul (K) producând silicați cu temperatură redusă de topire în particulele volatile. Acest proces este important pe de o parte în evitarea sinterizării/aglomerării și topirii cenușii pe grătarul de ardere sau în stratul fluidizat al instalațiilor de ardere și pe de altă parte în împiedicarea zgurificării cenușii pe suprafața schimbătoarelor de căldură. Paiele de cereale și iarbă au un conținut ridicat de K, Cl și sulfuri și un conținut redus de Ca. Potasiul și sodiul combinate cu clorul și sulful au un rol determinant în mecanismul de corodare. Aceste elemente se evaporă în timpul arderii formând cloruri ce se condensează pe țevile schimbătoarelor de căldură și reacționează formând sulfuri și eliberând clorul.

Clorul are o funcție catalitică asupra reacției de oxidare a țevilor schimbătoarelor de căldură, în special la temperatură redusă (100-150°C). Combustibilii ce prezintă un raport molar S:Cl mai mic de 2 provoacă coroziunea deoarece în acest caz se formează clorurile metalelor alcaline. Volatilizarea urmată de condensarea metalelor volatile duce la formarea de cenușă zburătoare de dimensiuni mai mici de 1μm (aerosoli), care este greu de reținut în instalațiile de filtrare. Depunerea de cenușă pe suprafețele de schimb de căldură la arderea biomasei poate avea loc într-o măsură mai mare sau mai mică decât la arderea cărbunelui. La arderea amestecului de biomasa și cărbune, depunerea de cenușă are loc într-o măsură mai mică decât la arderea numai a unuia dintre combustibili.

## 66 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Aderenta și durtatea depunerilor la arderea biomasei sunt mai ridicate decât cele întâlnite la arderea cărbunelui.

Din aceste considerente se recomandă coincinerarea biomasei împreună cu un combustibil fosil. Participarea biomasei în instalațiile energetice în care aceasta este arsă împreună cu un cărbune poate ajunge până la 20% din puterea nominală a grupului energetic.

Se disting trei situații de coincinerare a biomasei cu un combustibil fosil:

- 1) arderea în același focar [95], [98], [99], [100], [101], [102], [108], când gazele de ardere rezultate cedează căldura unui fluid de lucru (de obicei apa) care se transformă în abur, la rândul lui acesta fiind destinat într-o turbină care antrenează un generator electric sau este folosit pentru termoficare. Acest procedeu este utilizat în cadrul instalațiilor energetice de putere mare.
- 2) arderea în focare diferite, când gazele de ardere se amestecă după ieșirea din focare, energia acestora fiind utilizată ca și în cazul anterior. Avantajul acestui procedeu constă într-o mai bună ardere și o exploatare mai sigură;
- 3) arderea în instalații diferite care funcționează în paralel, energia electrică și/sau termică fiind livrate împreună. În acest caz costurile sunt mai mari decât în primele două, dar există posibilitatea folosirii simultane sau pe rând a celor două instalații, în funcție de necesarul de energie (electrică sau termică) cerut de către consumatori.

### **3.2. Instalații de ardere – clasificare**

În România printre sistemele de încălzire urbană se numără și următoarele două:

- sistem alcătuit din centrală de cogenerare cu turbine cu condensatie și prize reglabile, rețea de transport apă fierbinte de 150 °C, puncte termice, rețea de distribuție apă caldă 90/ 70 °C la consumatori;
- sistem alcătuit din centrală termică unică, rețea de transport apă fierbinte de 150 °C, puncte termice, rețea de distribuție apă caldă la consumatori.

Dintre aceste două sisteme doar ultimul poate fi transformat mai ușor pentru a funcționa cu biomasă. Această modernizare a centralelor existente pe partea de producere a căldurii are două soluții:

- înlocuirea cazanelor existente cu cazane noi funcționând pe biomasă;
- transformarea cazanelor existente pentru funcționarea pe biomasă.

Sistemul de transformare care implică cele mai puține modificări constructive constă în introducerea în focarul cazanului existent a unui alimentator cu șneac și prevederea de instalații de epurare a gazelor.

Schema unui astfel de sistem este prezentată în fig. 3.6:

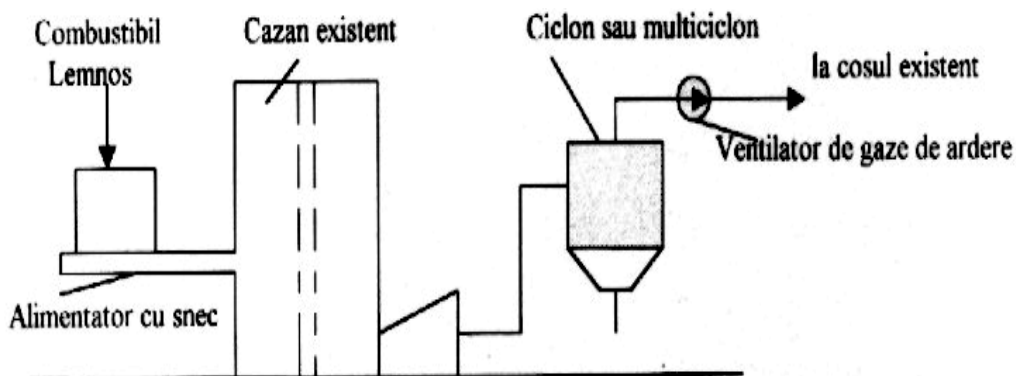


Fig. 3.6 Centrală cu sistem de alimentare cu șneac

Acest sistem duce la reducerea capacității cazanului cu circa 10% din cauză că în zona în care este amplasat grătarul alimentatorului este necesară o minimă înzidire, care micșorează spațiul de ardere.

Un al doilea sistem de transformare constă în prevederea în frontul cazanului a unei camere de precombustie. Schema acestei soluții de modificare este redată în fig. 3.7.

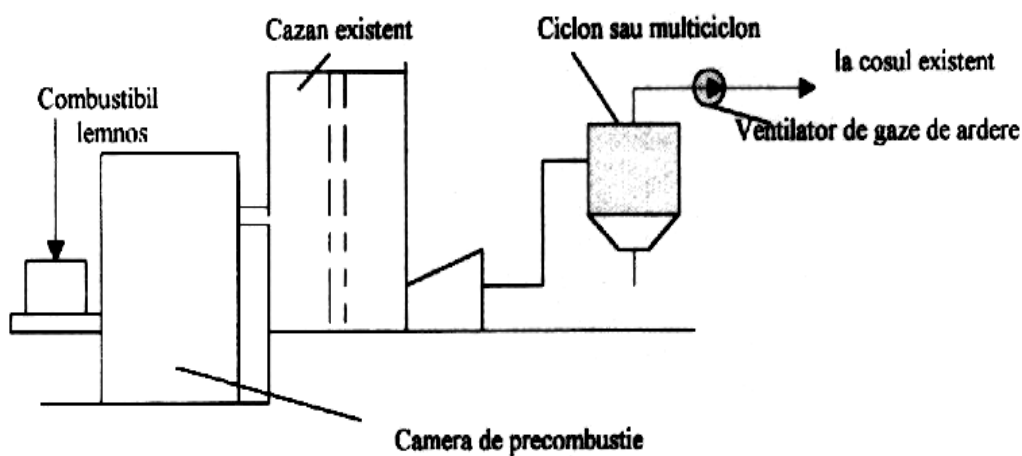


Fig. 3.7 Centrală cu cameră de precombustie

În componența instalațiilor de ardere a biomasei, singură sau împreună cu un combustibil fosil, intră în mod obligatoriu focarul și instalațiile anexe care folosesc pentru introducerea combustibilului, a aerului necesar arderii, pentru evacuarea cenușii și a gazelor de ardere, precum și instalațiile pentru epurarea gazelor reziduale.

## 68 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Forma, dimensiunile și echipamentele focarului, în care are loc arderea propriu-zisă a combustibililor, depind de starea de agregare și de puterea termică nominală. După starea de agregare instalațiile se împart în trei categorii și anume: instalații de ardere pentru combustibili solizi, lichizi și gazoși [23], [56], [70], [73],[74]. La rândul lor, fiecare dintre aceste categorii se poate clasifica în continuare pe baza unuia sau chiar mai multor criterii ca de exemplu:

- puterea termică nominală (instalații de ardere mici, mijlocii și mari);
- modul de alimentare cu combustibil și de evacuare a cenușii (manual, mecanizat);
- modul în care se introduce aerul și se evacuează gazele de ardere din focar (cu tiraj natural, cu tiraj forțat);
- starea de agregare a cenușii (solidă - pulverulentă sau lichidă);
- după tipul de grătar folosit (plan orizontal, plan înclinat, în trepte, înclinat cu bare mobile, rulant, circular, etc.).

Luând în considerare criteriile de mai sus principalele tipuri de instalații de ardere a biomasei pot fi clasificate ca în fig. 3.8:

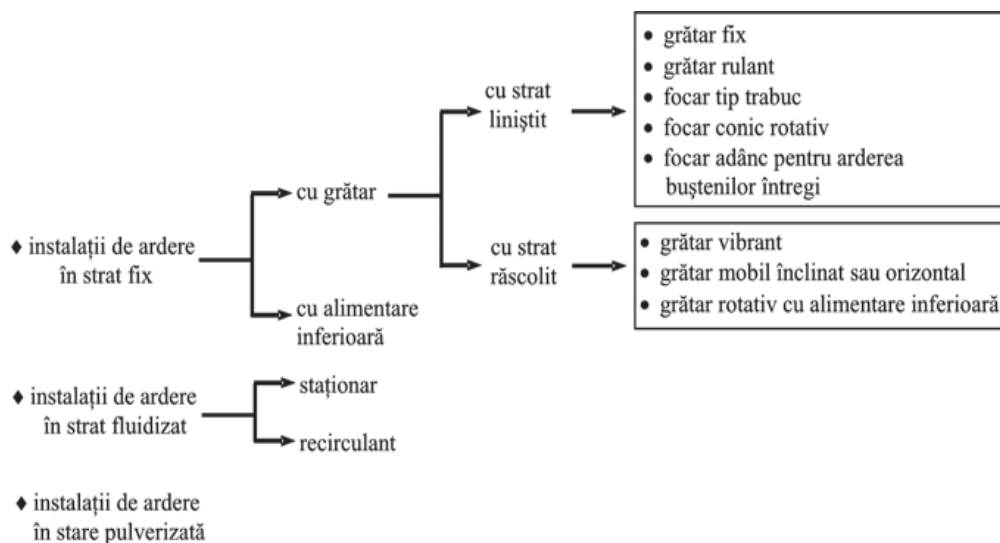


Fig. 3.8 Principalele tipuri de instalații de ardere

Din punct de vedere al poziției relative dintre particula de combustibil și curentul oxidant se disting: ardere în strat fix, în strat fluidizat (staționar sau circulant) și ardere în suspensie. În fig. 3.9 sunt evidențiate aceste domenii de ardere prin reprezentarea grafică a căderii de presiune în stratul de combustibil  $\Delta p_{str}$  și viteza aerului  $w_a$  care circulă de jos în sus.

Primul domeniu (I) este caracteristic pentru focarele cu ardere în strat fix. Grătarul acestui tip de focar este format din bare așezate la distanța de 2- 3

mm una față de alta printre care trece aerul necesar arderii. Particulele de combustibil rămân nemișcate în strat, cu excepția celor de dimensiuni foarte mici care pot fi antrenate de curentul de aer. Viteza de ardere este relativ mică și depinde în special de caracteristicile fizico-chimice și energetice ale combustibilului, precum și de temperatura și viteza aerului, respectiv a coeficientului excesului de aer. Intensificarea arderii se obține de regulă prin mărirea debitului de aer, respectiv a vitezei de trecere a acestuia prin stratul de combustibil aflat pe grătar.

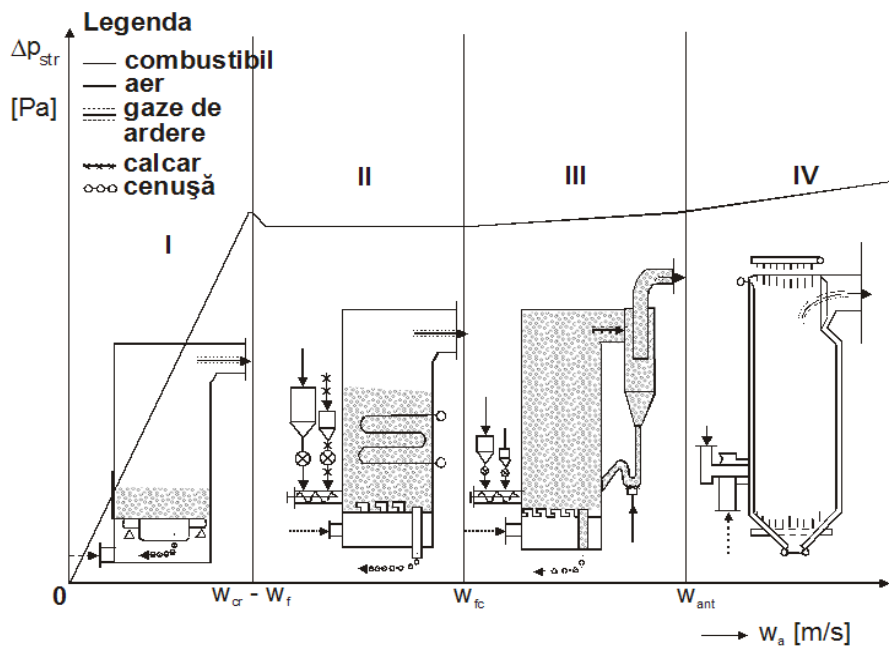


Fig. 3.9. Dependența dintre căderea de presiune în stratul de combustibil și viteza de insuflare de jos în sus a aerului

I-ardere în strat fix pe grătar, II, III-ardere în strat fluidizat  
IV-ardere în suspensie a particulelor de combustibil

Atunci când viteza aerului  $w_a$  atinge viteza de fluidizare  $w_f$  începe domeniul II din fig. 3.9. Stratul de combustibil expandează, concentrația fazei solide scade, particulele de combustibil mișcându-se haotic, asemenea bulelor de vapori la fierberea unui lichid, de unde și denumirea de strat fierbător sau fluidizat.

În stratul fluidizat se disting două tipuri de mișcări permanente și anume [18], [70]:

## 70 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

a) o mișcare locală dezordonată a particulelor individuale sau a ansamblurilor de particule, mișcare care este determinată de un complex de factori: ciocnirea particulelor, viteze diferite ale acestora, rezistențe gazodinamice locale diferite, geometria spațiului, etc.;

b) o mișcare de ansamblu a mediului bifazic, cu precizarea că mediul gazos circulă preponderent ascendent, iar particulele solide se deplasează ascendent în zone cu viteze mari ale gazului (zona centrală) și descendent în zone cu viteze mai mici care nu mai asigură portanța particulelor (spre peretele focarului).

Un exemplu de focar cu ardere în strat fix este cel pentru arderea directă a biomasei lemnoase în focarul unui cazan mic de apă caldă prezentat în fig. 3.10, a cărui încărcare se face manual.

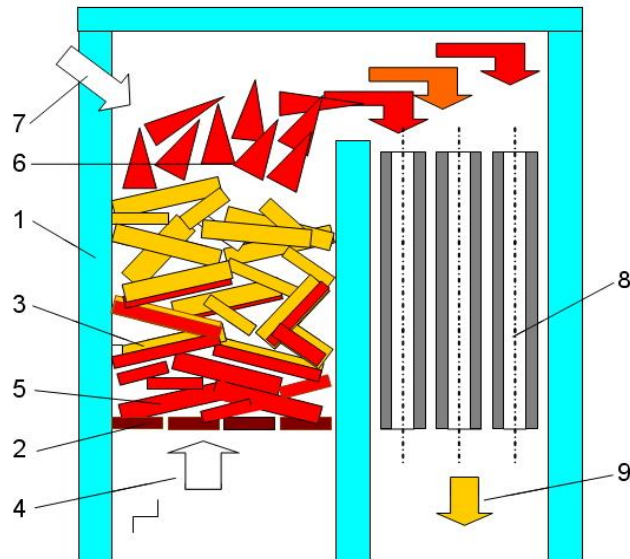


Fig.3.10 Focar cu grătar pentru arderea directă a stratului de lemne încărcat manual [9]

- 1-Corp cazan cu pereți răciți cu apă, 2-Grătar, 3-Buncăr de lemne, 4-Insuflare de aer primar, 5-Zonă de ardere a cocsului, 6-Zonă de ardere a produselor de gazificare,
- 7-Insuflare de aer primar, 8-Țevi de fum, 9-Gaze de ardere evacuate spre coșul de fum

În domeniul III la ieșirea din strat agentul de fluidizare antrenează o cantitate din ce în ce mai mare de particule, care crește pe măsură ce viteza aerului se apropie de valoarea vitezei de antrenare, când particulele sunt antrenate în totalitate. Pentru ca pierderile prin neare datorate acestui fenomen să fie cât mai mici (sub 5%) instalația trebuie prevăzută cu un ciclon în care se separă faza solidă de faza gazoasă, particulele solide sunt reintroduse în partea

inferioară a focarului, iar gazele de ardere sunt dirijate spre schimbătorul de căldură. Se realizează astfel așa-numita ardere în strat fluidizat circulant.

În domeniul IV viteza agentului de fluidizare depășește valoarea vitezei de antrenare a particulelor, acestea fiind antrenate în totalitate. Acest domeniu este specific transportului pneumatic al materialelor granulare. Un caz particular îl reprezintă arderea în suspensie a prafului de combustibil.

În literatura de specialitate [70], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [88] sunt prezentate relații pentru calculul vitezei de fluidizare  $w_f$  și a căderilor de presiune  $\Delta p_{str}$ , valabile pentru un strat omogen constituit din particule sferice de același diametru. Dacă stratul este neomogen, compus din particule cu formă și dimensiuni diferite, relațiile de calcul conduc la obținerea unor valori cel mult orientative pentru  $w_f$  și  $\Delta p_{str}$ . De aceea se recomandă ca valorile acestor mărimi să fie determinate experimental pentru fiecare situație distinctă avută în vedere.

### **3.3. Instalații de ardere în strat fluidizat**

Teoria arderii în strat fluidizat a fost elaborată în 1922 de către cercetătorii Winkler (Germania) și Cidell (S.U.A.), dar s-a aplicat la arderea combustibililor solizi în focarele unor generatoare de abur abia după anul 1970 [84], [85], [90].

După această dată și la noi în țară au fost făcute cercetări pentru realizarea unor instalații de ardere a lignitului și a unor deșeuri agricole în strat fluidizat staționar. Aceste cercetări au demonstrat posibilitatea aplicării tehnologiei de ardere în strat fluidizat staționar a lignitului indigen și au stat la baza proiectării și realizării unor cazane pentru apă fierbinte cu puteri termice între 1,86 și 11,65 MW, respectiv a unor cazane pentru abur tehnologic cu debite de la 0,55 la 2,75 kg/s. Aceste agregate nu s-au bucurat de o apreciere prea bună din partea beneficiarilor, datorită mai ales concepției deficitare și fiabilității scăzute a instalațiilor de preparare a prafului de cărbune și de evacuare a cenușii.

Cazanul de abur CR11 de 2,8 kg/s (10 t/h), cu ardere în strat fluidizat staționar a cojilor semințelor de floarea-soarelui, s-a dovedit a avea o funcționare fiabilă și economică. Acest cazan echipează fabricile de ulei din țară, fiind utilizat și pentru arderea celoligninei rezultată din prelucrarea lemnului [4].

Schema de principiu a cazanului CR 11 este prezentată în fig. 3.11.

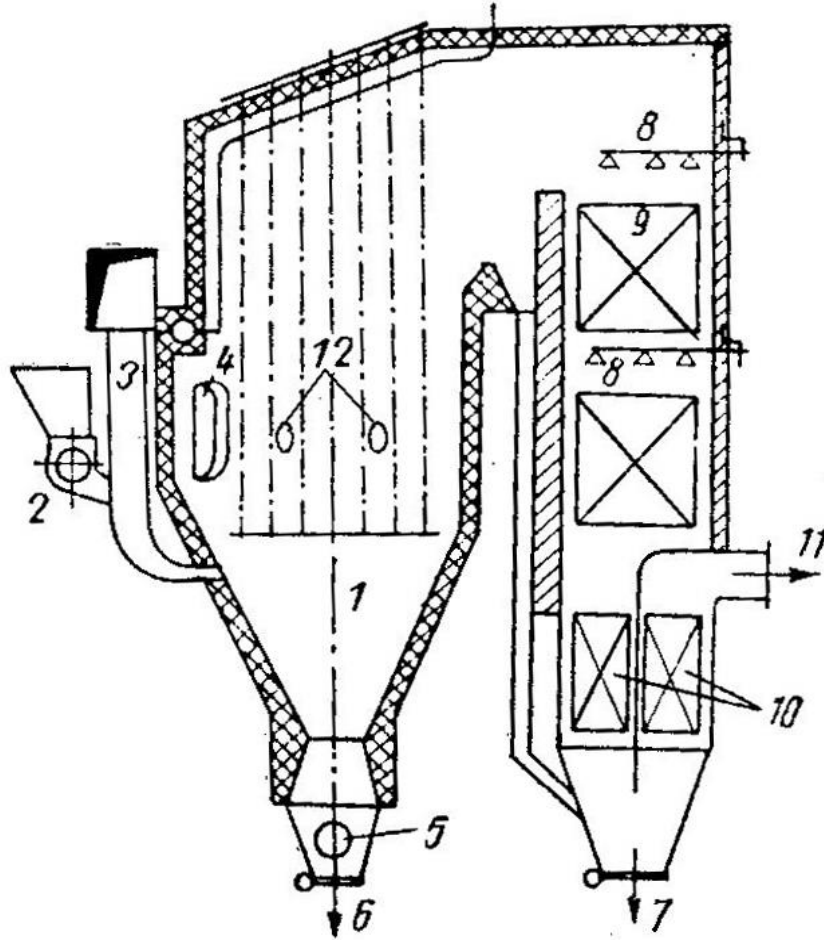


Fig. 3. 11 Schema cazanului de abur CR 11 înzestrat cu focar cu ardere în strat fluidizat pentru coji de floarea soarelui

- 1-Focar, 2-Alimentator de combustibil, 3-Aer pentru transportul cojilor de floarea soarelui,
- 4-Arzător de păcură, 5-Intrarea aerului de fluidizare, 6 și 7-Guri de evacuare cenușă,
- 8-Suflătoare de funingine, 9-Suprafețe de încălzire,
- 10-Preîncălzitor de aer, 11-Evacuare gaze reziduale,
- 12-Orificii pentru aer secundar



### 3.3.1. Focare cu ardere în strat fluidizat staționar

Schema de principiu a unui asemenea focar cu ardere în strat fluidizat staționar este prezentată în Fig. 3.12.

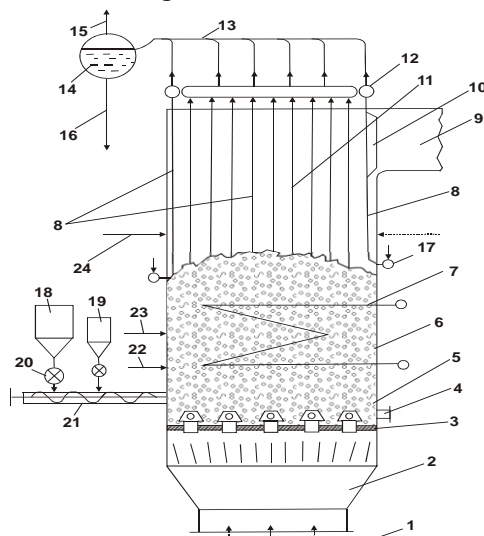


Fig. 3.12. Schema unui focar cu ardere în strat fluidizat staționar  
 1-Aer primar, 2-Camera de aer cu sistem de distribuție pentru aer, 3-Placă suport,  
 4-Evacuare cenușă, 5-Duze, 6-Strat fluidizat, 7-Schimbător de căldură imersat,  
 8 și 11-Țevi de ecran, 9-Canal de evacuare gaze, 10-Fereastră de evacuare,  
 12 și 17-Colector superior și inferior, 13-Țevi de legătură, 14-Tambur,  
 15-Țevi pentru abur, 16-Țevi coborâtoare, 18 și 19-Buncăr de combustibil,  
 20-Dozator, 21-Transportor melc, 22-Arzător de pornire,  
 23 și 24-Insuflare aer secundar și terțiar

Focarul are forma unui trunchi de con în partea inferioară, unde are loc fluidizarea stratului de combustibil, iar în partea superioară are formă paralelipipedică cu secțiune pătrată. Partea superioară este mărginită de pereți membrană formați din țevi prin care circulă apă.

Combustibilul este introdus în focar cu ajutorul unui melc, antrenat de un motor electric prevăzut cu variator de turație pentru a putea regla debitul de combustibil.

Grătarul acestui tip de focar este, de obicei, format dintr-o placă metalică prevăzută cu duze prin care se introduce aerul de fluidizare (aerul primar).

Pentru aprinderea stratului de combustibil sunt folosite unul sau mai multe arzătoare automatizate pe hidrocarburi care, după ce stratul fluidizat s-a aprins, arderea devenind autotermă, pot fi scoase din funcțiune. Pentru definitivarea

#### 74 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

arderii există posibilitatea insuflării de aer secundar sau chiar terțiar în partea superioară a focarului.

Temperatura în interiorul focarului trebuie menținută între valorile de 700 și 900 °C, reglarea acesteia realizându-se prin debitul de combustibil, debitul și temperatura aerului, precum și prin intermediul schimbătorului de căldură imersat.

În fig. 3.13 este prezentată schema unui focar pentru arderea biomasei în strat fluidizat staționar [42], [88].

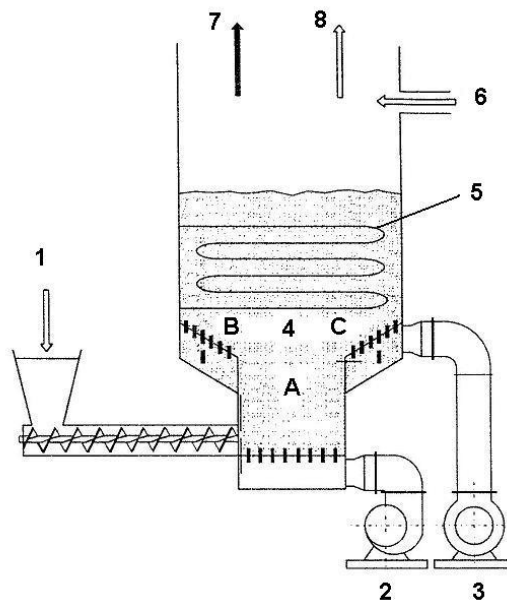


Fig. 3.13 Focar pentru arderea biomasei în strat fluidizat  
1-Combustibil, 2-Suflanta pentru aer primar, 3-Suflanta pentru aer secundar,  
4-Strat fluidizat, 5-Schimbător de căldură imersat, 6-Insuflare aer terțiar,  
7-Evacuare gaze reziduale, 8-Evacuare praf de cenușă

Combustibilul este introdus în focar din buncărul de combustibil printr-un sistem cu melc. Grătarul acestui focar este prevăzut cu duze prin care se insuflă aerul primar împins cu viteză mare de suflanta 2. După ce trece prin stratul inert de amestec de nisip de cuarț și cenușă, unde are loc o uniformizare a vitezei acestuia, aerul primar intră în contact cu combustibilul pe care îl fluidizează (zona A). În această zonă are loc uscarea, aprinderea și arderea parțială a combustibilului, precum și uniformizarea temperaturii. În zonele B și C se introduce aer secundar (suflanta 3) pentru a îmbunătăți fluidizarea și arderea stratului de combustibil. Focarul este prevăzut cu schimbătorul de căldură imersat 5, care ajută la menținerea unei temperaturi optime pentru o funcționare sigură. Prin insuflarea de aer terțiar 6, se definitivează arderea.

### 3.3.2. Focare cu ardere în strat fluidizat circulant

În fig. 3.14 este prezentată schema de principiu a unui cazan înzestrat cu focar cu ardere în strat fluidizat circulant.

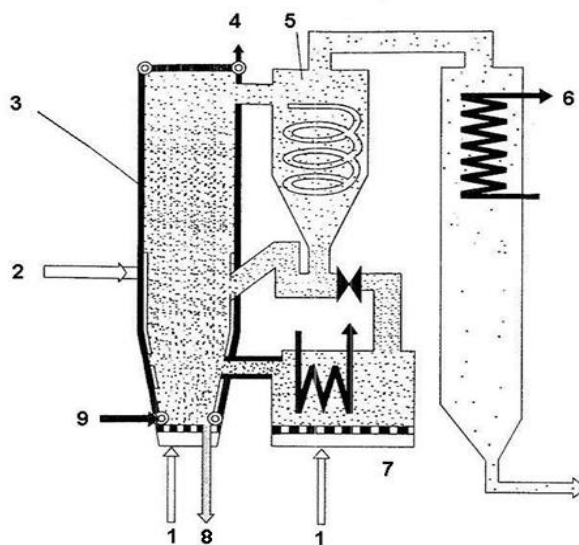


Fig.3.14 Schema unui cazan dotat cu focar pentru arderea biomasei în strat fluidizat circulant

- 1 și 2-Insuflare aer primar și secundar, 3-Perete membrană, 4-Focar,  
5-Ciclon, 6-Suprafețe de încălzire ale cazanului, 7-Răcitor de cenușă,  
8-Evacuare cenușă grosieră, 9-Introducerea combustibilului

Aerul primar (1) antrenează particulele de combustibil introduse în focar cu ajutorul sistemului de alimentare 9. Aerul primar reprezintă circa 70 – 80 % din aerul minim necesar arderii, în această zonă arderea fiind substoichiometrică. Definitivarea arderii are loc prin introducerea de aer secundar și terțiar în zona de mijloc și superioară a focarului prin duze dispuse pe mai multe nivele.

La părăsirea focarului particulele de combustibil au încă un conținut important de narse, ceea ce duce la scăderea eficienței energetice, dar și la eroziunea și murdărirea suprafețelor de încălzire ale cazanului, precum și la poluarea mediului ambiant. De aceea, instalația este prevăzută cu cicloul 5 unde are loc separarea fazei gazoase de cea solidă. Din ciclon cenușa și narsele sunt reintroduse în focar fie direct în stare fierbinte, fie răcite în răcitorul de cenușă 7, iar faza gazoasă, care are un conținut mult mai mic de particule solide, ajunge la suprafețele de schimb de căldură ale cazanului.

## 76 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Cenușa este eliminată prin gurile de evacuare (8) prevăzute în placa de susținere a combustibilului din zona inferioară a focarului. Controlul arderii se face prin recircularea permanentă a cenușii, dar și prin modificarea raportului dintre aerul primar și secundar introdus în focar.

### **3.3.3. Avantajele arderii în strat fluidizat a combustibililor solizi**

Tehnica arderii cărbunilor în strat fluidizat, la început pentru cei superiori, apoi și pentru cei inferiori, s-a dezvoltat foarte mult în ultimele trei decenii. Rezultate importante s-au obținut și la arderea în strat fluidizat a deșeurilor municipale, precum și a deșeurilor agricole și industriale de biomasă [103], [104], [105], [106], [107],[109], [110],[111].

Dintre avantajele acestei tehnici în comparație cu celelalte se enumără următoarele:

- prepararea mai simplă și mai ieftină combustibilului. Dacă la focarele cu ardere în stare pulverizată dimensiunea particulelor se situează în jurul valorii de 0,1mm, la focarele cu ardere în strat fluidizat ajunge la 7 mm, iar la cele cu ardere în strat fluidizat circulant poate ajunge la 15 – 20 mm. De aici rezultă un consum de energie mai mic și scăderea uzurii echipamentelor de preparare a combustibilului;
- stabilitatea arderii în raport cu calitatea combustibilului (variația conținutului de umiditate sau de cenușă) este mai bună datorită caracteristicii focarelor ASFC, care au zona de ardere separată de cea de convecție cât și prin controlul cantității de cenușă recirculată, dar și prin modificarea raportului debitelor de aer primar, secundar și terțiar;
- crește randamentul arderii (98 – 99% la ASFC, 95 – 96% la ASF) datorită turbionării mediului din focar. Datorită ciocnirii particulelor de combustibil între ele, precum și cu pereții focarului, stratul de cenușă format la suprafața particulelor în timpul arderii este îndepărtat și arderea se îmbunătățește;
- scad emisiile poluante [96], [97], [112], îndeosebi a NO<sub>x</sub>-ului, datorită temperaturii scăzute din focar (700 - 900°C), precum și arderii substoichiometrică din partea inferioară a focarului tip ASFC.
- biomasa are un conținut mic de S și ca urmare nu este necesară desulfurarea gazelor de ardere;
- arderea este autotermă, arzătoarele cu hidrocarburi sunt folosite doar la pornire.

Din aceste motive este de prevăzut că în viitorul apropiat pentru biomasa deșeu vor fi realizate instalații de ardere în strat fluidizat staționar sau circulant în funcție de puterea termică nominală.

## 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat

### 4.1. Premize

Pentru realizarea instalației demonstrative/functionale s-a luat în considerare o capacitate termică de 0,05 – 0,1 Gcal, la capacități mai mici fiind foarte dificilă atât realizarea practică, cât și amplasarea punctelor de măsură, precum și efectele negative pe care le implică dimensiunile reduse: efect de perete la circulația gazelor în instalație, execuția sistemelor de alimentare cu combustibili și de evacuare a cenușii, desprăfuirea gazelor rezultate în urma arderii și, nu în ultimul rând, echipamentele de epurare a gazelor care trebuie să asigure un timp de rezidență optim în instalație pentru obținerea unei eficiențe ridicate.

### 4.2. Calculul termic al instalației

Pentru a putea construi o instalație experimentală este necesar să fie făcut un calcul termic. Plecând de la un combustibil cu o compoziție cunoscută se calculează parametrii instalației.

Efectuarea acestor calcule s-a făcut plecând de la un combustibil deșeu de coji de semințe de floarea – soarelui a cărui compoziție este următoarea:

$C^{mc} = 51,5\%$	$S^{mc} = 0,2\%$	$H_s^i = 20,44 \text{ MJ/kg}$
$H^{mc} = 5,9\%$	$S_t = 0,17\%$	$H_i^i = 15,765 \text{ MJ/kg}$
$O^{mc} = 41,9\%$	$W_t^i = 15\%$	
$N^{mc} = 0,5\%$	$A^{anh} = 3\%$	

Utilizând formulele din tab. 2.2 s-a determinat compoziția elementară raportată la proba inițială:

$C^i = 42,462\%$	$N^i = 0,412\%$	$W_t^i = 15\%$
$H^i = 4,865\%$	$S_c^i = 0,165\%$	
$O^i = 34,546\%$	$A^i = 2,55\%$	

Cunoscând analiza elementară se poate calcula puterea calorifică inferioară cu relația:

78 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

$$H_i^i = 33900 C^i + 103000 H^i - 10900 (O^i - S_c^i) - 2512 W_i^i \text{ [kJ/kg]} \quad (4.1)$$

$$H_i^i = 15281,359 \text{ kJ/kg}$$

Cantitatea de aer necesară și produsele arderii se determină în  $m_N^3$  și se raportează la unitatea de masă a combustibilului care arde (1kg în cazul combustibililor solizi și lichizi, respectiv  $1m^3N$  pentru combustibilii gazoși).

Se admite ipoteza că arderea este completă și perfectă. În condiții obișnuite de exploatare are loc o ardere ușor imperfectă, dar aceasta afectează în prea mică măsură volumul și compoziția gazelor de ardere și de aceea influența acesteia se neglijează. La arderea combustibililor solizi are loc întotdeauna o ardere incompletă din cauza căderii particulelor mărunte de pe grătar în cenușar, precum și antrenării acestora de către curentul de aer care străbate stratul de combustibil. De regulă pierderea relativă de căldură din cauza arderii incomplete se notează cu  $q_4$  [%], valoarea sa fiind  $q_4 = (8-12)$  % pentru arderea în strat și  $q_4 = (3-5)$  % la arderea în stare de praf [73]. Având în vedere acest lucru, pentru determinarea cantității de aer necesar și a produselor arderii, calculul se execută ca și când arderea ar fi completă, însă debitul de combustibil se micșorează în raportul  $(100-q_4)/100$  [71], [85].

Ca urmare a celor precizate mai sus, în cazul arderii a 1kg de combustibil, a cărui compoziție elementară este:

$$C + H + S + O + N + W_t + A = 1 \quad (4.2)$$

cantitatea minimă de oxigen necesar arderii este:

$$O_{\min} = \frac{22,41}{12} [C + 3(H - \frac{O-S}{8})] \quad [\frac{m^3_N}{kg}] \quad (4.3)$$

$$O_{\min} = 0,8245 \text{ m}^3_N/\text{kg}$$

Cantitatea minimă de aer necesar arderii se determină cu relația:

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} \quad [\frac{m^3_N}{kg}] \quad (4.4)$$

$$L_{\min} = 3,9264 \text{ m}^3_N/\text{kg}$$

cantitatea reală de aer fiind:

$$L = \lambda L_{\min} \quad [\frac{m^3_N}{kg}] \quad (4.5)$$

#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 79

$\lambda$  – coeficientul excesului de aer.

Pentru un coeficient al excesului de aer unitar produsele arderii perfecte sunt:

- cantitatea de dioxid de carbon:

$$V_{CO_2} = \frac{22,414}{12} C = 1,867 C \quad \left[ \frac{m^3_N}{kg} \right] \quad (4.6)$$

$$V_{CO_2} = 0,79276 m^3_N/kg$$

- cantitatea de dioxid de sulf:

$$V_{SO_2} = \frac{22,414}{32} S = 0,7 S \quad \left[ \frac{m^3_N}{kg} \right] \quad (4.7)$$

$$V_{SO_2} = 0,00011 m^3_N/kg$$

- cantitatea de oxigen:

$$V_{O_2} = (\lambda - 1) O_{\min} \quad \left[ \frac{m^3_N}{kg} \right] \quad (4.8)$$

- cantitatea de azot:

$$V^0_{N_2} = \frac{22,414}{28} N + 0,79 L = 0,8 N + 0,79 L_{\min} \quad \left[ \frac{m^3_N}{kg} \right] \quad (4.9)$$

$$V^0_{N_2} = 3,10515 m^3_N/kg$$

- cantitatea de vapori de apă:

$$\begin{aligned} V^0_{H_2O} &= \frac{22,414}{2} H + \frac{22,414}{18} W_t + \frac{\rho^o_{aer} \cdot L \cdot d}{1000 \rho^o_{H_2O}} = \\ &= 11,207 H + 1,245 W_t + \frac{\rho^o_{aer} \cdot L \cdot d}{1000 \rho^o_{H_2O}} \quad \left[ \frac{m^3_N}{kg} \right] \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$V^0_{H_2O} = 0,7950 m^3_N/kg$$

## 80 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

în care:

$d = 10$  [g/kg] - conținutul mediu anual de umiditate care revine la 1kg de aer uscat pentru condițiile din România;

$\rho^{\circ}_{\text{aer}} = 1,293$  [kg/m<sup>3</sup>] și  $\rho^{\circ}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,804$  reprezintă densitatea aerului uscat, respectiv a vaporilor de apă în condiții normale (0 °C și 1013 mbar).

Prin urmare se pot calcula:

- cantitatea de gaze uscate:

$$V^0_{gu} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V^0_{N_2} \quad \left[ \frac{m^3_N}{kg} \right] \quad (4.11)$$

$$V^0_{gu} = 3,8980 \text{ m}^3_N/\text{kg}$$

- cantitatea de gaze totale:

$$V^0_{gt} = V^0_{gu} + V^0_{H_2O} \quad \left[ \frac{m^3_N}{kg} \right] \quad (4.12)$$

$$V^0_{gt} = 4,693 \text{ m}^3_N/\text{kg}$$

Deoarece proprietățile fizice (căldura specifică, entalpia, puterea relativă de emisie, etc.) ale dioxidului de carbon sunt apropiate de cele ale dioxidului de sulf se notează cu:

$$V_{RO_2} = V_{CO_2} + V_{SO_2} \quad \left[ \frac{m^3_N}{kg} \right] \quad (4.13)$$

$$V_{RO_2} = 0,79287 \text{ m}^3_N/\text{kg}$$

Întrucât focarul este nerăcit fluxul de căldură dezvoltat prin ardere plus cel introdus cu aerul rece necesar trebuie să fie egal cu fluxul de căldură evacuat din focar. Ca atare se poate scrie relația:

$$\eta_f H_i + \lambda_f L_{\min} (i_a)_{t_{ar}} = V_{RO_2} (i_{RO_2})_{t_{g0}} + V_{H_2O} (i_{H_2O})_{t_{g0}} + V_{N_2} (i_{N_2})_{t_{g0}} + \chi_a A (i_{cen})_{t_{g0}} \quad (4.14)$$

în care:



#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 81

$\eta_f$  este randamentul focarului;

$\lambda_f$  - coeficientul excesului de aer în focar;

$(i_a)_{t_{ar}}$  - entalpia specifică a aerului rece introdus în focar, în  $\text{kJ/m}^3\text{N}$ ;

$(i_{RO_2})_{t_{g0}}, (i_{H_2O})_{t_{g0}}, (i_{N_2})_{t_{g0}}, (i_{cen})_{t_{g0}}$  - entalpia specifică a dioxidului de carbon, vaporilor de apă, azotului și cenușii, la temperatura  $t_{g0}$ , în  $\text{kJ/m}^3\text{N}$ ;

$t_{ar} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  - temperatura de calcul a aerului rece pentru România;

$t_0 = t_{g0}$  - temperatura gazelor de ardere la părăsirea focarului, în  $^\circ\text{C}$ ;

$V_{H_2O}$  - cantitatea totală a vaporilor de apă, în  $\text{m}^3\text{N/kg}_c$ ;

$V_{N_2}$  - cantitatea totală de azot, în  $\text{m}^3\text{N/kg}_c$ ;

$\chi_a$  - cota parte de cenușă antrenată din focar, care pentru focarele cu ardere în strat fluidizat staționar se consideră  $\chi_a = 1$ .

Cantitatea totală a vaporilor de apă se stabilește cu relația:

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= 11,207 H + 1,245 W_t + \frac{\lambda_f \cdot L_{\min} \cdot \rho_a}{1000 \rho_{H_2O}} = \left[ \frac{\text{m}^3\text{N}}{\text{kg}} \right] \\ &= 0,7319 + 0,0608 \lambda_f \end{aligned} \quad (4.15)$$

Cantitatea totală de azot:

$$\begin{aligned} V_{N_2} &= 0,8 N + 0,79 \lambda_f L_{\min} = \left[ \frac{\text{m}^3\text{N}}{\text{kg}} \right] \\ &= 0,0033 + 3,1018 \lambda_f \end{aligned} \quad (4.16)$$

Randamentul focarului se determină cu relația:

$$\eta_f = 100 - (q_3 + q_4 + q_5^f) = 100 - (0,5 + 1 + 2,5) = 96 [\%] \quad (4.17)$$

în care:

$q_3, q_4$  și  $q_5$  sunt pierderile relative de căldură din cauza arderii imperfecte, arderii incomplete și prin radiație, în %.

Din motive de siguranță în funcționare a focarului, atât în ceea ce privește menținerea fluidizării stratului de combustibil, cât și a rezistenței termice a materialelor din care sunt confecționați pereții focarului (tablă din oțel înalt aliat, izolație termică) s-a apreciat că temperatura maximă a gazelor de ardere la părăsirea focarului să nu depășească  $t_{g0} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ . În această ipoteză entalpiile

## 82 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

specifice au următoarele valori:  $(i_{RO_2})_{900} = 1951,05 \text{ kJ/m}^3_{N_2}$ ,  $(i_{H_2O})_{900} = 1523,99 \text{ kJ/m}^3_{N_2}$ ,  $(i_{N_2})_{900} = 1243,48 \text{ kJ/m}^3_{N_2}$  și  $(i_{cen})_{900} = 875,04 \text{ kJ/m}^3_{N_2}$ .

Introducând valorile acestor mărimi în relația (4.14) rezultă valoarea coeficientului de aer  $\lambda_f = 3,1155$ . Această valoare este exagerat de mare în comparație cu valorile obișnuite pentru focarele cu ardere în strat fluidizat staționar ( $\lambda_f = 1,1 - 1,3$ ), dar rezultă din necesitatea ca aerul rece introdus în focar să poată reduce valoarea temperaturii de la cea teoretică ( $t_t$ ) la  $t_{g0} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Astfel, dacă focarul nu este răcit funcționarea sa nu prezintă fiabilitatea necesară oricărei instalații de ardere și nici condițiile de durabilitate.

În ipoteza ca stația pilot să realizeze o putere termică nominală  $P_{tn} = 0,1 \text{ Gcal} = 116,3 \text{ kW}_t$  funcționând cu  $\lambda_f = 3,1155$  rezultă:

- cantitatea de gaze totale:

$$V_{gt} = V_{RO_2} + V_{HO_2} + V_{N_2} = 11,317 \quad \left[ \frac{m^3_{N_2}}{kg} \right] \quad (4.18)$$

- consumul orar de combustibil:

$$B_h = \frac{P_m \cdot 3600}{\eta_f \cdot H_i} = 28,578 \quad [kg/h] \quad (4.19)$$

- debitul orar al aerului de fluidizare:

$$\dot{V}_{aer} = B_h \cdot \lambda_f \cdot L_{min} \cong 350 \quad [m^3_N/h] \quad (4.20)$$

- volumul activ al focarului corespunzător unei încărcări termice (apreciate)  $q_f = 480 \text{ [kW/m}^3\text{]}$ :

$$V_f = \frac{P_m}{q_f} = 0,2423 \quad [m^3] \quad (4.21)$$

Schema de principiu a focarului este prezentată în fig. 4.1. S-a preconizat că evacuarea gazelor de ardere din focar să se facă printr-un orificiu circular cu diametrul  $d_e = 200 \text{ mm}$ .

#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 83

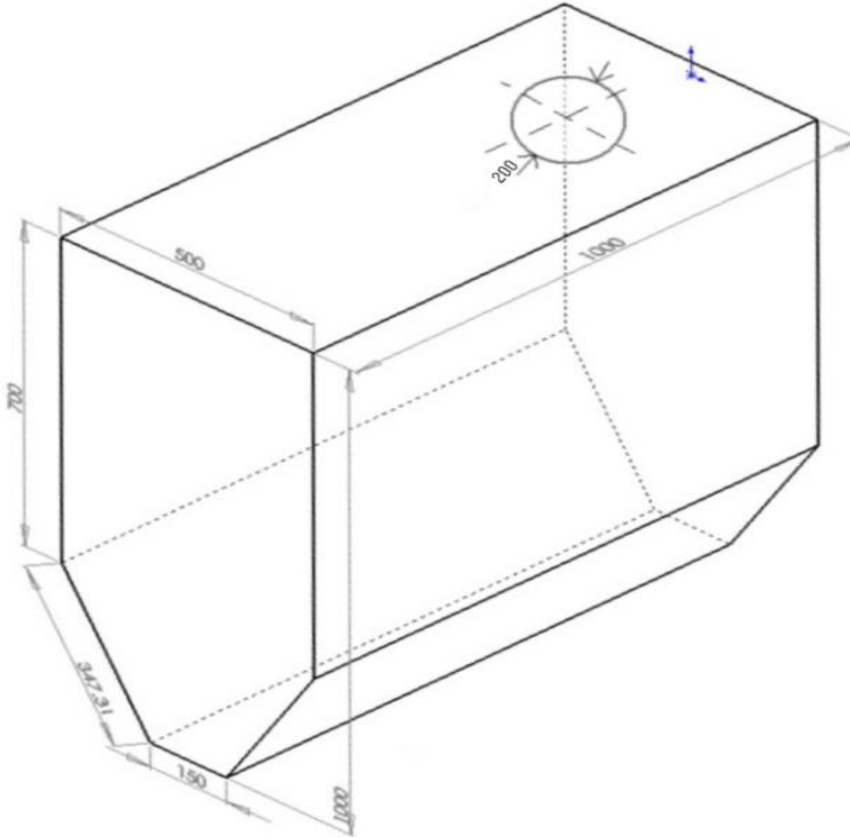


Fig. 4.1 Schema focarului

Ca urmare viteza gazelor la ieșirea din focar:

$$w_e = \frac{B(V_{gt})_{\lambda_f} \frac{273+t_0}{273}}{3600 \frac{\pi d_e^2}{4}} = 12,29 \text{ [m/s]} \quad (4.22)$$

are o valoare mai mare decât cea recomandată de literatura [71], [82] și anume (6 – 10) m/s.

Pentru a determina necesarul de aer pentru răcirea focarului s-a folosit relația (4.14) cu ajutorul căreia s-au calculat valorile coeficientului excesului de aer  $\lambda_f$  precum și debitul  $\dot{V}_{aer}$  necesar de aer pentru cazul funcționării instalației la puterea nominală  $P_{tn} = 116,3 \text{ kW}_t$ .

Tab. 4.1 Valorile  $\lambda_f$  și  $\dot{V}_{aer}$  în funcție de  $t_0$ 

$t_0$ [°C]	$\lambda_f$ [-]	$\dot{V}_{aer}$ [m <sup>3</sup> /h]
1100	2,406	269,97
1000	2,756	309,24
900	3,1155	358,17
800	3,750	420,78
700	4,469	501,46
600	5,430	609,29
500	6,793	762,23

Rezultatele calculelor sunt concentrate în tab. 4.1 și permit să se tragă concluzia că funcționarea instalației la puterea termică  $P_{tn} = 116,3 \text{ kW}_t$  este neindicată din cauza valorilor foarte mari ale lui  $\lambda_f$ . Micșorarea valorii coeficientului excesului de aer este posibilă dacă temperatura gazelor la evacuarea din focar crește peste 900 °C, ceea ce, așa cum s-a precizat și mai înainte, este inadmisibil din cauza pe de o parte a încetării procesului de fluidizare a stratului de combustibil, iar pe de altă parte, a pericolului de „ardere” (distrugere) a materialelor din care sunt confecționați pereții focarului.

Ca urmare s-a ajuns la concluzia că focarul, respectiv stația pilot pentru arderea combustibililor în strat fluidizat staționar, trebuie să funcționeze la puteri termice mai mici ( $P_{tn} < 116,3 \text{ kW}_t$ ) pentru a întruni condițiile de economicitate și siguranță în funcționare.

În tab. 4.2 sunt concentrate rezultatele calculelor efectuate în vederea determinării debitului de aer insuflat în focar  $\dot{V}_{aer} [\text{m}^3_{\text{N}}/\text{h}]$  pentru o plajă largă de puteri termice nominale, cuprinse între 45 și 100 kW și respectiv temperaturi  $t_0$  între 900 și 600 °C.

#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 85

Tab. 4.2. Consumul de combustibil și debitul de aer în funcție de puterea termică nominală a focarului

86 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

$P_{tn}$ [kW <sub>e</sub> ]	45	50	60	70	80	90	100	110	120
B [kg/h]	11,04	12,27	14,724	17,178	19,632	22,086	24,540	26,994	29,448
$t_0 = 900$ °C $\lambda_f = 3,1155$ $V_{aer}$ [m <sup>3</sup> /h]	138,365	153,780	184,537	215,293	246,049	276,805	307,562	338,318	369,074
$t_0 = 800$ °C $\lambda_f = 3,750$ $V_{aer}$ [m <sup>3</sup> /h]	162,553	180,663	216,796	252,929	289,061	325,194	361,327	397,460	433,593
$t_0 = 700$ °C $\lambda_f = 4,469$ $V_{aer}$ [m <sup>3</sup> /h]	193,720	215,302	258,363	301,424	344,484	387,545	430,605	473,666	516,727
$t_0 = 600$ °C $\lambda_f = 5,430$ $V_{aer}$ [m <sup>3</sup> /h]	235,377	261,600	313,921	366,241	418,561	470,881	521,201	575,522	627,842

#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 87

Se constată că în cazul echipării focarului cu un ventilator având debitul maxim de 300 m<sup>3</sup>/h, domeniul de funcționare al stației pilot se află deasupra liniei îngroșate din tab. 4.2.

### 4.3. Prezentarea stației pilot

Proiectarea și construcția stației pilot se bazează pe un brevet de invenție [88]. Ea este amplasată în Laboratorul multifuncțional de mașini termice și energii neconvenționale din cadrul U. P. Timișoara.

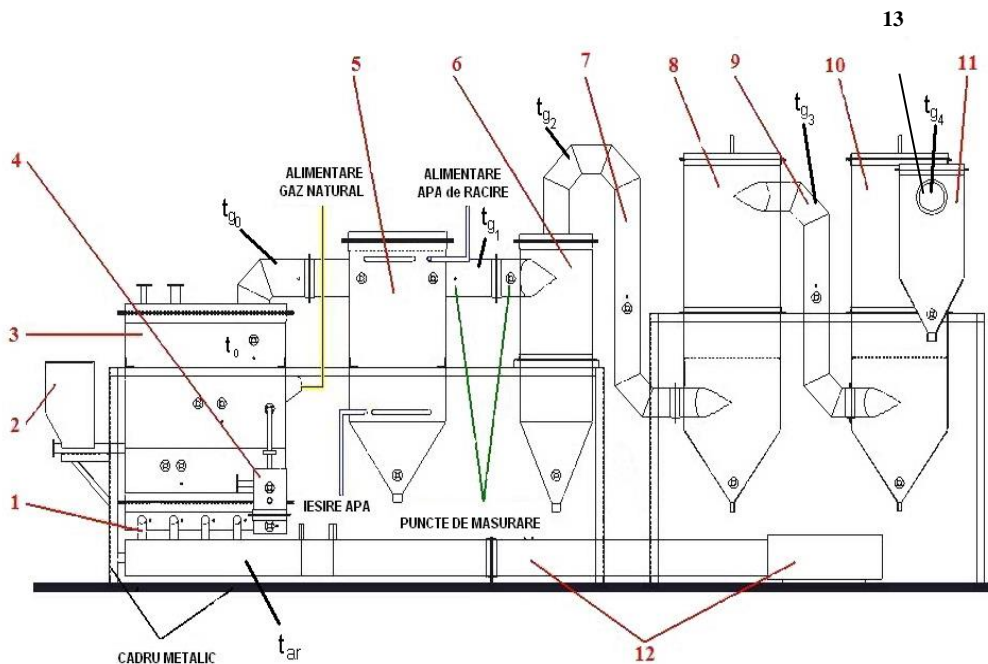


Fig. 4.2 Schema de principiu a stației pilot

- 1 – Distribuitor de aer, 2 – Buncăre pentru combustibil, 3 – Focar, 4 – Răcitor,  
5 – Corp convectiv, 6 – Ciclon, 7 – Racord ciclon-scruber, 8 – Scruber,  
9 – Racord scruber-reactor, 10 – Reactor, 11 – Separator de picături,  
12 – Sistem de alimentare cu aer, 13 – Racord coș de fum

În principal stația pilot este alcătuită din următoarele componente:

- focarul pentru arderea în strat fluidizat staționar a particulelor de combustibil solid (biomasă, cărbune), dotat cu distribuitorul de aer pentru fluidizare, un răcitor de cenușă, două sisteme de alimentare cu combustibil solid

## 88 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

având șnecuri cu turație reglabilă, un arzător pe gaze naturale pentru pornire, un orificiu pentru evacuarea gazelor de ardere și o priză pentru măsurarea presiunii;

- corpul convectiv în care sunt montate serpentine din țevi prin care circulă apa de răcire adusă cu pompa de circulație dintr-un rezervor de răcire;

- cicloul în care se produce cea mai mare parte a desprăfuirii gazelor de ardere;

- scrubler-ul, în care se definitivează procesul de desprăfuire a gazelor de ardere prin spălarea acestora cu apă industrială dispersată cu ajutorul unui pulverizator montat pe capacul superior;

- reactorul, prevăzut la partea inferioară cu un strat gros de circa 100mm din inele Rasching din sticlă, udate în permanență cu o soluție de apă având, după caz, o anumită concentrație de substanță activă pentru desulfurarea gazelor de ardere ca de exemplu hidroxid de calciu  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sau hidroxid de sodiu NaOH;

- separatorul de picături antrenate de curentul de gaze reziduale la părăsirea reactorului;

- coșul de fum cu o înălțime de 15 m și un diametru de 150 mm;

- izolație termică din vată minerală îmbrăcată la exterior cu o manta de protecție din tablă;

- scheletul metalic de susținere.

Pentru controlul proceselor care se produc, stația pilot este dotată cu prize și dispune de instrumente și aparate de măsură a temperaturilor, presiunilor, debitelor de apă și de gaze naturale, etc. Termocuplurile sunt legate la placa de achiziție cu ajutorul unor conductori prevăzuți cu manta de cupru pentru protecția semnalului transmis de acestea. Datele furnizate de termocupluri sunt introduse în calculator prin intermediul blocului de conexiuni, fixat pe carcasa sistemului de calcul. Achiziția de date se face cu ajutorul programului LabView.

Determinarea compoziției gazelor de ardere se face în trei puncte: înainte și după scrubler, respectiv după reactor. În acest scop se folosesc trei gazoanalizoare tip TESTO 300, cu ajutorul cărora se determină conținutul volumic sau masic (după cum sunt reglate) al componentelor ( $\text{O}_2$ , CO, NO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) din gazele de ardere uscate.

Concentrația prafului în gazele de ardere se determină cu ajutorul aparatului Ströhlein STE 4.

Construcția și funcționarea acestor aparate de măsură sunt prezentate în lucrările [93], [94].

Punerea în funcțiune a stației pilot se face după un program care cuprinde o serie de operații, dintre care se amintesc:

- verificarea integrității stației și a existenței utilităților necesare: energie electrică, apă, gaz natural, reactivi pentru epurarea gazelor de ardere, combustibil cu granulație corespunzătoare;



#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 89

- introducerea combustibililor în buncăre, pornirea șnecurilor și reglarea turației acestora;
- pornirea ventilatorului de aer pentru fluidizare, a pompei de apă a sistemului de răcire, a compresorului care furnizează aerul necesar pompelor cu membrană din circuitele de epurare a gazelor de ardere;
- punerea în funcțiune a arzătorului de gaze naturale și urmărirea creșterii temperaturii în focar până când aceasta ajunge la 600 – 650 °C, moment după care se reduce treptat flacăra arzătorului și se reglează debitul de combustibil și de aer pentru fluidizare;
- se citesc (notează) și se înregistrează valorile parametrilor de lucru ai instalației (temperaturi, presiuni, debite); din momentul atingerii unui regim termic stabilizat se pun în funcțiune gazoanalizoarele și încep măsurătorile propriu-zise.

### **4.4. Calculul termic de verificare a schimbătorului de căldură (răcitorului) gaze de ardere – apă de răcire**

#### **4.4.1. Bilanțul termic pe circuitul gazelor de ardere**

Bilanțul termic pe circuitul gazelor de ardere s-a întocmit preliminarându-se următoarele valori ale temperaturilor:

- la ieșirea din focar:  $t_0 = t_{g0} = 900$  °C
- la părăsirea corpului convectiv:  $t_{g1} = 300$  °C
- la ieșirea din ciclon:  $t_{g2} = 290$  °C
- la ieșirea din scrubber:  $t_{g3} = 90$  °C
- la ieșirea din reactor:  $t_{g4} = 70$  °C
- la coș:  $t_{gc} = t_{g4} = 70$  °C

Fluxul de căldură schimbat în fiecare zonă s-a calculat cu relații de forma:

$$\dot{Q}_i = B(I_1 - I_{i+1}) \text{ [kW}_t\text{]} \quad (4.23)$$

în care:

B este consumul de combustibil, în kg/s;

$I_i$  și  $I_{i+1}$  – entalpia gazelor de ardere înainte și după fiecare zonă (schimbător de căldură), în kJ/kg<sub>c</sub>.

90 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Valoarea entalpiilor s-a determinat cu relația:

$$I_i = V_{RO_2} (i_{RO_2})_{t_i} + V_{H_2O} (i_{H_2O})_{t_i} + V_{N_2} (i_{N_2})_{t_i} + \left[ \frac{kJ}{kg_c} \right] + \chi_a A (i_{cen})_{t_i} \quad (4.24)$$

Rezultatele calculelor sunt centralizate în tab. 4.3.

Tab. 4.3 Bilanțul termic preliminar pe circuitul gazelor de ardere

Denumire	Simbol	U.M.	Valoare
Temperatura gazelor la ieșirea din focar	$t_0 = t_{g0}$	°C	900
Entalpia gazelor de ardere pentru $t_0$ și $\lambda_f$	$I_0$	$\frac{kJ}{kg_c}$	14994
Temperatura gazelor de ardere la părăsirea corpului convectiv	$t_{g1}$	°C	300
Entalpia gazelor de ardere pentru $t_{g1}$ și $\lambda_f$	$I_1$	$\frac{kJ}{kg_c}$	4362
Fluxul de căldură schimbat în corpul convectiv	$\dot{Q}_w$	kW <sub>t</sub>	84,40
Temperatura gazelor de ardere la ieșirea din ciclon	$t_{g2}$	°C	290
Entalpia gazelor de ardere pentru $t_{g2}$ și $\lambda_f$	$I_2$	$\frac{kJ}{kg_c}$	4216
Fluxul de căldură pierdut în zona ciclonului	$\dot{Q}_{cicl}$	kW <sub>t</sub>	1,16
Temperatura gazelor de ardere la ieșirea din scrubber	$t_{g3}$	°C	90
Entalpia gazelor de ardere pentru $t_{g3}$ și $\lambda_f$	$I_3$	$\frac{kJ}{kg_c}$	1308
Fluxul de căldură schimbat în scrubber	$\dot{Q}_{scr}$	kW <sub>t</sub>	23,02
Temperatura gazelor de ardere la ieșirea din reactor	$t_{gu}$	°C	70
Entalpia gazelor de ardere pentru $t_{g4}$ și $\lambda_f$	$I_4$	$\frac{kJ}{kg_c}$	1018
Fluxul de căldură schimbat schimbat în reactor	$\dot{Q}_{react}$	kW <sub>t</sub>	2,30
Temperatura gazelor de ardere la coș	$t_{gc}$	°C	70
Entalpia gazelor de ardere la coș	$I_c = I_4$	$\frac{kJ}{kg_c}$	1018
Fluxul de căldură eliminat spre coșul de fum	$\dot{Q}_{cos}$	kW <sub>t</sub>	5,68

#### 4.4.2. Determinarea suprafeței de încălzire a scambiatorului de căldură (corpul convectiv)

Valoarea suprafeței de încălzire se determină cu relația:

$$S = \frac{\dot{Q} \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.25)$$

în care:

k este coeficientul de trecere a căldurii de la gazele de ardere la apa de răcire, în W/m<sup>2</sup> grad;

$\Delta t_m$  – diferența de temperatură medie logaritmică, în °C.

Suprafața de încălzire este compusă din două fascicule de serpentine din țevă cu diametrul  $d_e = 25$  mm, dispuse în cele două compartimente ale corpului convectiv. În fig. 4.3 și fig. 4.4 sunt prezentate secțiunea frontală și laterală a corpului convectiv, iar în fig. 4.5 o vedere de ansamblu a acestuia.

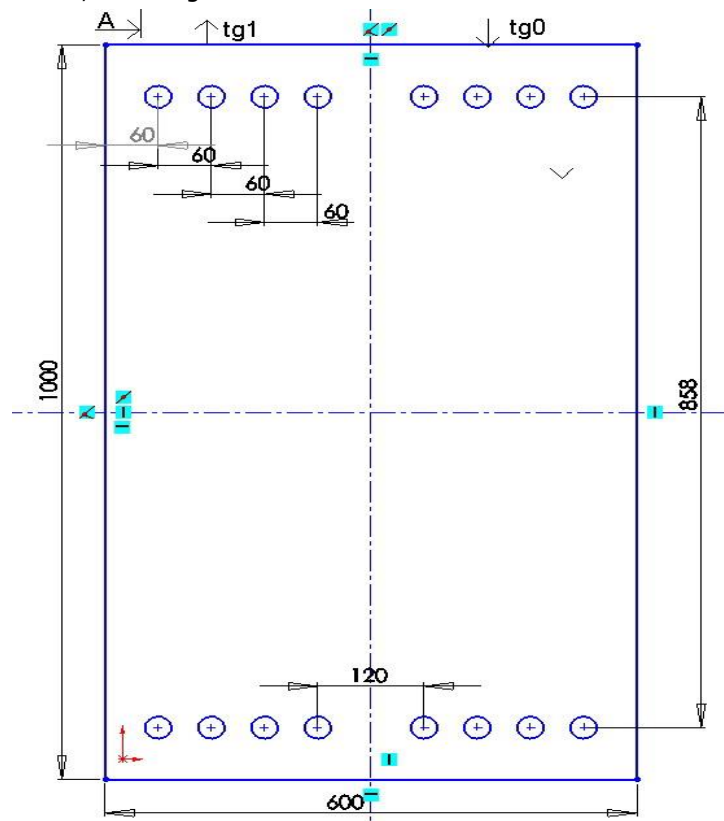


Fig. 4.3 Secțiunea frontală a corpului convectiv

92 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Apa de răcire cu un debit  $D_w = 2000 \text{ kg/h}$  intră cu temperatura  $t_{w1} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  și iese cu temperatura:

$$t_{w2} = t_{w1} + \frac{Q_w \cdot 3600}{C_w \cdot D_w} \cong 50 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.26)$$

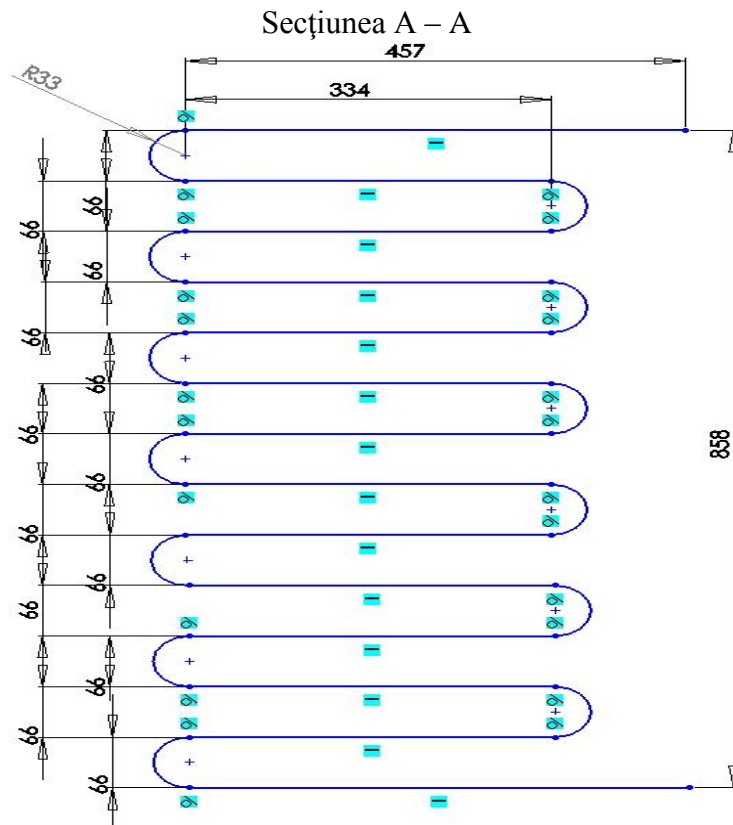


Fig. 4.4 Secțiunea longitudinală a corpului convectiv

S-a ales ca circulația celor două fluide care schimbă căldură între ele să fie în contracurent. Cu notațiile din fig. 4.5, rezultă:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_M - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_M}{\Delta t_m}} \cong 518 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.27)$$

Asimilând corpul convectiv cu economizorul generatoarelor de abur din lucrarea [84] rezultă:

4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 93

$$k = \xi \alpha_1 = \xi (\alpha_c + \alpha_r) \left[ \frac{W}{m^2 \cdot \text{grad}} \right] \quad (4.28)$$

în care:

$\xi$  – coeficientul de eficacitate termică;

$\alpha_c$  și  $\alpha_r$  – coeficientul de transfer prin convecție, respectiv radiație, în  $W/m^2$  grad.

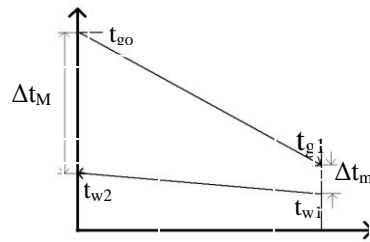


Fig. 4.5 Schema de curgere a fluidelor de lucru

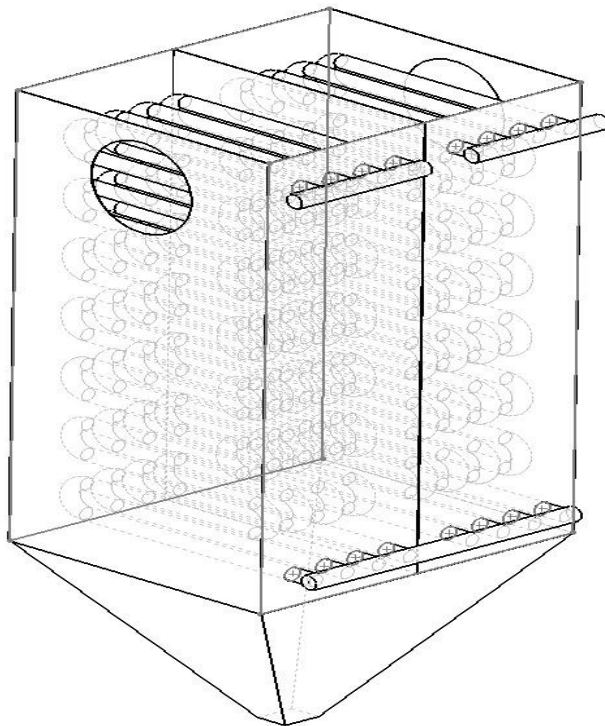


Fig. 4.6 Vedere de ansamblu a schimbătorului de căldură gaze apă

#### 94 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

La spălarea transversală a fasciculului de țevi în coridor coeficientul de transfer prin convecție se determină cu formula:

$$\alpha_c = 0,2 c_z c_s \frac{\lambda}{d} \left( \frac{wd}{\nu} \right)^{0,65} \text{Pr}^{0,33} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot \text{grad}} \right] \quad (4.29)$$

valabilă în domeniul  $1,5 \cdot 10^3 < \text{Re} < 100 \cdot 10^3$ , în care:

$c_z$  - coeficientul de corecție pentru numărul rândurilor de țevi  $z_2$  ale fasciculului în direcția curgerii gazelor de ardere;

$c_s$  - coeficientul de corecție care ține seama de geometria fasciculului, valoarea sa fiind determinată de pasul relativ longitudinal transversal;

$\lambda$  - coeficientul de convecție termică a gazelor de ardere, în W/m·grad;

$d$  - diametrul țevilor, în m;

$w$  - viteza de curgere a gazelor considerată în secțiunea îngustată dintre țevi pentru valorile medii ale temperaturii și coeficientului excesului de aer, în m/s;

$\nu$  - vâscozitatea cinematică a gazelor, în m<sup>2</sup>/s;

Pr - criteriul Prandtl.

Coeficientul de transfer a căldurii datorită radiației produselor arderii s-a determinat cu relația:

$$\alpha_r = 5,697 \cdot 10^{-8} \frac{\varepsilon_p + 1}{2} \varepsilon T^3 \frac{1 - (T_p/T)^4}{1 - (T_p/T)} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot \text{grad}} \right] \quad (4.30)$$

în care:

T este temperatura medie absolută a gazelor de ardere în zona suprafeței de încălzire calculate, în K;

$T_p$  - temperatura medie absolută a depunerilor exterioare pe peretele suprafeței radiante, în K;

$\varepsilon_p$  - puterea relativă de emisie a pereților suprafeței radiante ( $\varepsilon_p = 0,8$ );

$\varepsilon$  - puterea relativă de emisie a gazelor de ardere.

Valoarea puterii relative de emisie a gazelor de ardere s-a determinat după formula:

$$\varepsilon = 1 - e^{-kps} \quad (4.31)$$

unde:

s este grosimea stratului radiant, în m;

p - presiunea din canalul de gaze considerată egală cu 1 bar;

$k_{gs}$  - coeficientul de slăbire a radiației datorat gazelor triatomice și cenușii, care se găsesc în gazele de ardere, determinat cu relația:

$$k_{gs} = k_g v_g + k_{cen} \mu_{cen} \left[ \frac{1}{m \cdot \text{bar}} \right] \quad (4.32)$$

4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 95

respectiv

$$k_{cen} \mu_{cen} = \frac{4300 \rho_g \mu_{cen}}{\sqrt[3]{T^2 d_{cen}^2}} \left[ \frac{1}{m \cdot bar} \right] \quad (4.33)$$

Grosimea efectivă a stratului radiant pentru fascicule de țevi netede se stabilește cu relația:

$$s = 0,9d \left[ \frac{4}{\pi} \frac{s_1 s_2}{d^2} - 1 \right] \quad [m] \quad (4.34)$$

în care  $s_1$  și  $s_2$  sunt pasul transversal și longitudinal dintre țevi.

Notațiile din relațiile (4.32) și (4.33) au următoarele semnificații:

$v_g = v_{RO_2} + v_{H_2O}$  – suma participării volumice a gazelor triatomice;

$p_g = p v_g$  – suma presiunilor parțiale a gazelor triatomice, în bar;

$\mu_{cen}$  – participarea masică a cenușii în gazele de ardere;

$d_{cen}$  – diametrul mediu al particulelor de cenușă, în  $\mu m$ ;

$\rho_g$  – densitatea gazelor de ardere, considerată  $\rho_g = 1,3 \text{ kg/m}^3$ .

Folosind metodologia prezentată în lucrarea [84] s-au obținut rezultatele consemnate în tab. 4.4.

Tab. 4.4 Rezultatele calculului termic al schimbătorului de căldură gaze – apă (corpul convectiv)

Denumire	Simbol	U.M.	Valoare
Coeficientul de eficacitate termică	$\xi$	-	0,65
Coeficientul de corecție pentru numărul de rânduri de țevi	$C_z$	-	1
Coeficientul de corecție pentru geometria fascicului de țevi	$C_s$	-	0,8427
Secțiunea liberă prin care curg gazele de ardere	$A_{lib}$	$m^2$	0,0768
Viteza gazelor de ardere	$w$	$m/s$	3,4788
Coeficientul de conductivitate termică a gazelor	$\lambda$	$\frac{W}{m \cdot grd}$	7,2345
Vâscozitatea cinematică a gazelor	$\nu$	$m^2/s$	$87,612 \cdot 10^{-6}$
Criteriul Prandtl	$Pr$	-	0,5978
Coeficientul de transfer prin convecție de la gaze la peretele țevilor	$\alpha_c$	$\frac{W}{m^2 \cdot grd}$	36,5
Temperatura medie absolută a gazelor	$T$	K	873

## 96 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Tab. 4.4 Rezultatele calculului termic al schimbătorului de căldură gaze - apă (corpul convectiv) (continuare)

Denumire	Simbol	U.M.	Valoare
Temperatura medie absolută a depunerilor exterioare pe peretele suprafeței radiate	$T_p$	K	305
Puterea relativă de emisie a gazelor	$\epsilon$	-	0,60194
Grosimea stratului radiant	s	m	0,1591
Coeficientul de slăbire a radiației datorat gazelor triatomice și cenușii	$k_{gs}$	$\frac{1}{m \cdot bar}$	5,78975
Participarea volumică a vaporilor de apă	$v_{H_2O}$	%	8,14
Participarea volumică a dioxidului de carbon	$v_{CO_2}$	%	6,92
Presiunea parțială a gazelor triatomice	$p_g$	bar	0,1506
Participarea masică a cenușii în gazele de ardere	$\mu_{cen}$	kg/kg	0,00143
Diametrul mediu al particulelor de cenușă	$d_{cen}$	$\mu m$	24
Coeficientul de transfer a căldurii datorită radiației produselor arderii	$\alpha_r$	$\frac{W}{m^2 \cdot grd}$	32,09
Coeficientul de trecere a căldurii de la gazele de ardere la apa de răcire	k	$\frac{W}{m^2 \cdot grd}$	44,58
Suprafața de încălzire necesară	S	$m^2$	3,65
Suprafața de încălzire reală a serpentinei	$S_{real}$	$m^2$	3,6

Analizând rezultatele din tab. 4.4 se constată că între suprafața de încălzire necesară S, rezultată din calculul termic și cea reală  $S_{real}$ , oferită de cele  $4 \times 2 = 8$  serpentine cu lungimea de 5,3495 m fiecare, este o diferență ne semnificativă, eroarea fiind de 1,39%.

### 4.5. Realizarea stației pilot

Proiectarea, execuția reperelor și montajul acestora în Laboratorul multifuncțional de mașini termice și energii neconvenționale de la U. P. Timișoara s-a făcut de către un colectiv coordonat de prof. dr. ing. habil. Ioana Ionel.



#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 97

Stația pilot pentru arderea în strat fluidizat, așa cum se prezintă acum (fig. 4.2), a suferit pe parcursul execuției sale o serie de corecturi față de proiectul inițial, menite să îmbunătățească execuția, funcționalitatea și siguranța în timpul experimentărilor. În același timp s-a preconizat ca pe această stație să se poată face experimentări și pentru arderea combinată biomasă - cărbune.

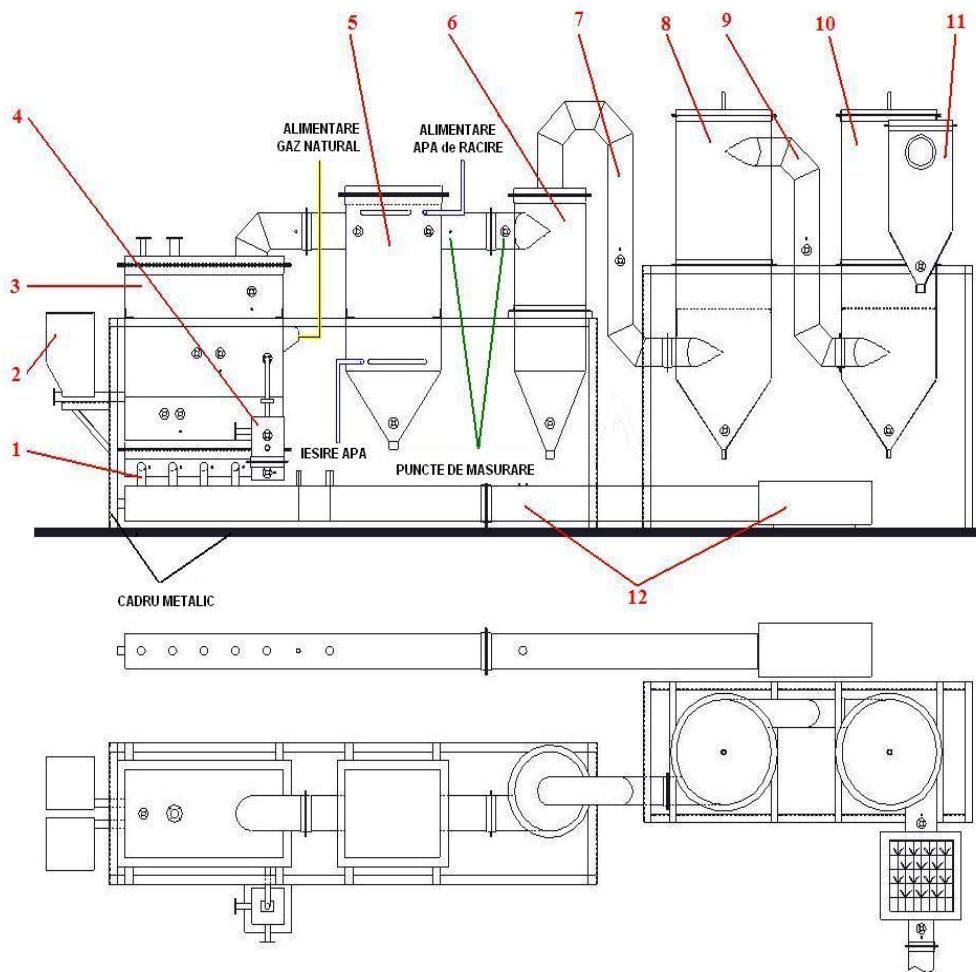


Fig. 4.7 Schema stației pilot pentru arderea în strat fluidizat staționar

În fig. 4.7 se prezintă fotografia stației văzută dinspre focar. Se observă cu ușurință forma focarului, buncărele pentru alimentarea cu combustibil, distribuitorul de aer pentru fluidizare și răcirea cenușii, cadrul metalic de susținere, etc.



Fig. 4.8 Vederea dinspre focar a stației pilot

Fotografia prezentată în fig. 4.8 permite să se distingă cu ușurință focarul, schimbătorul de căldură gaze – apă, ciclonul, scrubber-ul și reactorul.

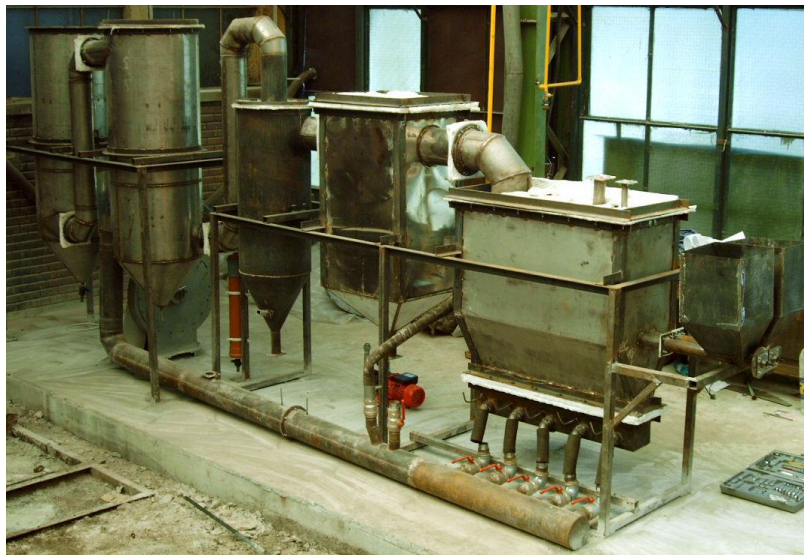


Fig. 4.9 Vedere de ansamblu a stației pilot

#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 99

Fotografiile din fig. 4.9 și 4.10 înfățișează focarul împreună cu răcitorul de cenușă în strat fluidizat și permit observarea racordurilor dintre cele două reperi precum și prezența unor termocupluri și prize.

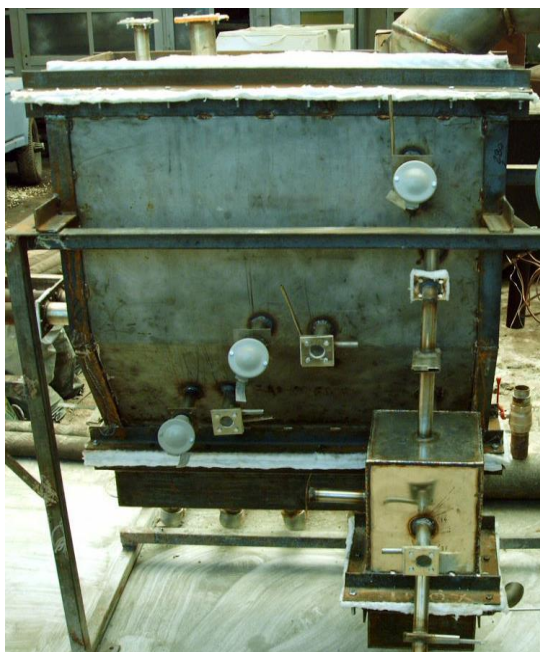


Fig. 4.10 Vedere laterală a ansamblului focar – răcitor de cenușă

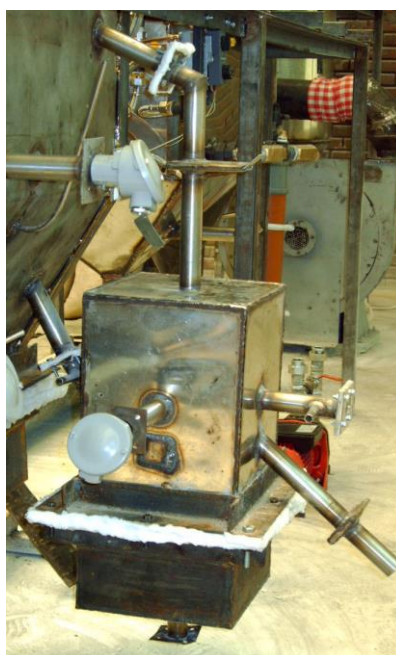


Fig. 4.11 Vedere răcitor de cenușă

Fotografiile ventilatorului de aer, racordurilor cu focarul și distribuitorul cu grătar și pipe (37 bucăți) sun prezentate în fig. 4.11, fig. 4.12 și fig. 4.13.



Fig. 4.12 Ventilatorul de aer



Fig. 4.13 Racordurile prin care aerul de fluidizare pătrunde în focar



Fig. 4.14 Grătarul cu pipe pentru aerul de fluidizare

În fig. 4.14 și fig. 4.15 se prezintă fotografiile sistemului de alimentare cu combustibili și cele două variante constructive de șnecuri care se folosesc.



Fig. 4.15 Sistemul de alimentare cu combustibil



Fig. 4.16 Variante constructive de șnecuri

#### 4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 101

Corpul convectiv (schimbătorul de căldură) este prezentat în fig. 4.16, pompa de apă în fig. 4.17, iar în fig. 4.18 se înfățișează fotografia detaliului racordării celor 8 (opt) serpentine, care formează suprafața de încălzire a schimbătorului de căldură gaze - apă.



Fig. 4.17 Corpul convectiv



Fig. 4.18 Pompa de apă

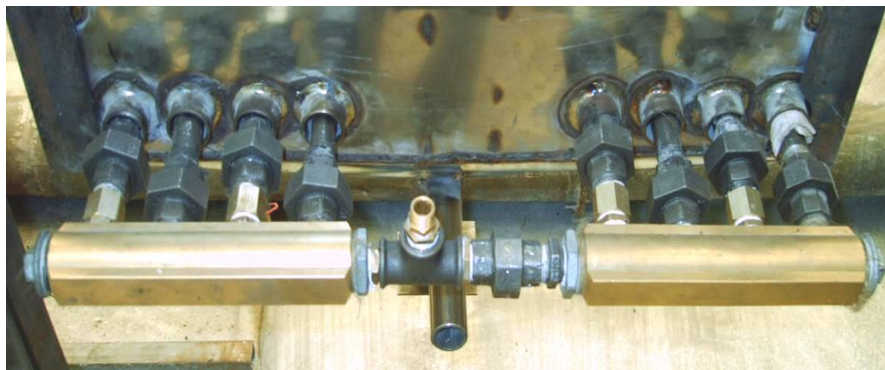


Fig. 4.19 Detaliu racord serpentine

102 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Ciclonul, scruberul, reactorul și separatorul de picături sunt prezentate în fotografiile din fig. 4.19, fig. 4.20, fig. 4.21 și fig. 4.22.



Fig. 4.20 Ciclonul



Fig. 4.21 Scrberul

4. Concepția stației experimentale pentru cercetarea arderii biomasei în strat fluidizat 103



Fig. 4.22 Reactorul



Fig. 4.23 Separatorul de picături

## **Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar**

### **5.1. Programul de măsurători**

Măsurătorile s-au efectuat pe stația pilot de ardere în strat fluidizat staționar aflată în laboratorul multifuncțional al catedrei de Termotehnică, Mașini Termice și Autovehicule Rutiere din cadrul Facultății de Mecanică a Universității „Politehnica” din Timișoara.

În cadrul acestor măsurători s-au utilizat șase tipuri de biomasă deșeu, acestea fiind:

- 1) boabe de porumb;
- 2) știuleți de porumb;
- 3) pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb;
- 4) deșeuri de hârtie + lignit;
- 5) pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + resturi de boabe de porumb;
- 6) boabe de grâu.

Exceptând hârtia și lignitul, celelalte tipuri de biomasă deșeu provin din agricultură, reprezentând cereale depreciate din diverse motive, cum ar fi:

- a) depozitării în condiții improprii de temperatură, umiditate, etc;
- b) din cauza unor dăunători (gărgărițe, șoareci);
- c) recoltării înainte de coacere, cu un conținut ridicat de umiditate ( $W > 14\%$ ) și depozitării (temporare) fără posibilitatea de a se usca;
- d) degradării mecanice și transformării în „pleavă”.

Cercetările experimentale au avut următoarele scopuri:

- determinarea condițiilor în care se desfășoară arderea ( $B_h$  ( $P_{tn}$ ), variația de temperatură, precum și fluxul de căldură);
- poluarea mediului (concentrațiile noxelor în gazele de ardere la emisie).

### **5.2. Prezentarea aparaturii de măsură**

#### **5.2.1. Sistemul de achiziție a temperaturilor**

Sistemul de achiziție a temperaturilor are în componență :

- sistem de calcul P IV – Celeron 1700 MHz;
- placa de achiziție a datelor;



104 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

- senzori de citire a temperaturilor Termocuple Tip-K Cromel – Alumel;
- program de achiziție de date LABView 6i.

Placa de achiziție a datelor este produsă de National Instruments.

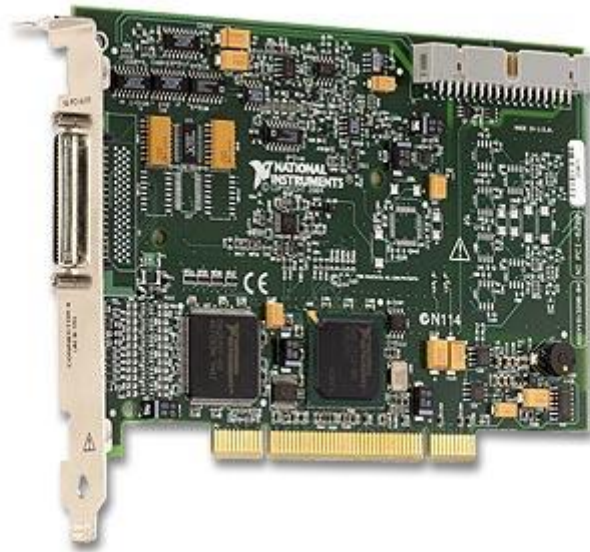


Fig. 5.1 Placa achiziție NI – 6220 M

Senzorii de temperatură din fig. 5.2 sunt de tip Cromel – Alumel și pot măsura temperaturi cuprinse între 50 – 1372 °C, valori ce corespund unui semnal electric cuprins între 1.08 – 50.886 mV.



Fig. 5.2 Termocuplu Tip K Cromel-Alumel

Transmiterea datelor de la termocupluri la sistemul de calcul se face printr-un cablu ecranat bifilar conectat la cei 2 poli ai termocuplului ca în fig. 5.3.



Fig. 5.3 Conexiune termocuplu

Datele furnizate de către termocupluri sunt introduse în calculator prin intermediul blocului de conexiuni CB – 68LP care este fixat pe carcasa sistemului de calcul (fig. 5.4 a, b, c).



Fig. 5.4a Termocupluri montate pe instalație



Fig. 5.4b Sistemul de calcul Conexiuni

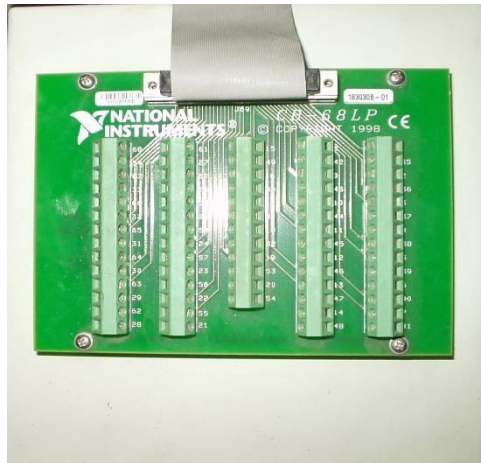


Fig. 5.4c Blocul de conexiuni  
CB-68 LP

Programul de achiziție de date a fost făcut cu ajutorul programului LABView 6i ce rulează sub platforma WINDOWS 98 și are două interfețe:

1. Interfața de Meniu Principal (Fig. 5.5);
2. Interfața pentru vizualizarea temperaturilor.

#### 1. Interfața de Meniu Principal

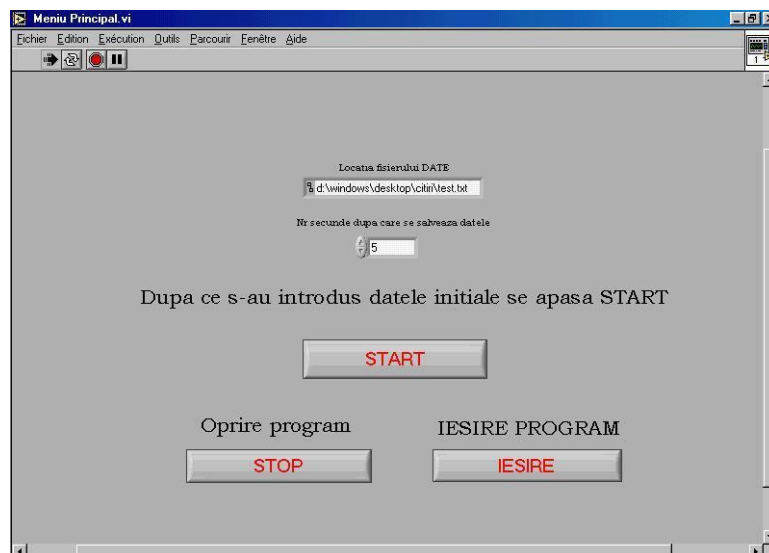


Fig. 5.5 Interfață meniu principal

## Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 107

La pornirea programului din WINDOWS, se accesează fereastra de meniu principal. Pornirea programului din LABView se face prin apăsarea cu ajutorul mouse-ului pe săgeata albă din colțul din stânga sus. După aceea se trece la completarea celor două câmpuri.

Primul câmp "Locația fișierului DATE ", reprezintă calea fișierului de date unde se vor salva datele măsurate de către senzorii de temperatură. Această cale este opțională și este introdusă de către operator la fiecare pornire a programului conform procedurii anterioare.

Câmpul " Nr. secunde după care se salvează datele " reprezintă timpul în secunde după care programul face media temperaturilor și le scrie în fișierul de date. De asemenea acest timp este opțional și se poate modifica de către operator, în funcție de condițiile impuse.

Începerea achiziției de date se face prin apăsarea butonului START. Din acces meniu se poate opri programul prin apăsarea butonului STOP, cu posibilitatea de a-l relua ulterior prin apăsarea săgeții albe sau se poate ieși complet din program prin acționarea butonului IESIRE.

De reținut este că o dată apăsat butonul de START calea fișierului și numărul de secunde nu mai pot fi modificate, doar la o repornire a programului.

### 2. Interfața pentru vizualizarea temperaturilor

Această interfață este accesată automat după ce s-a apăsat butonul START din Meniul Principal (Fig. 5.6).

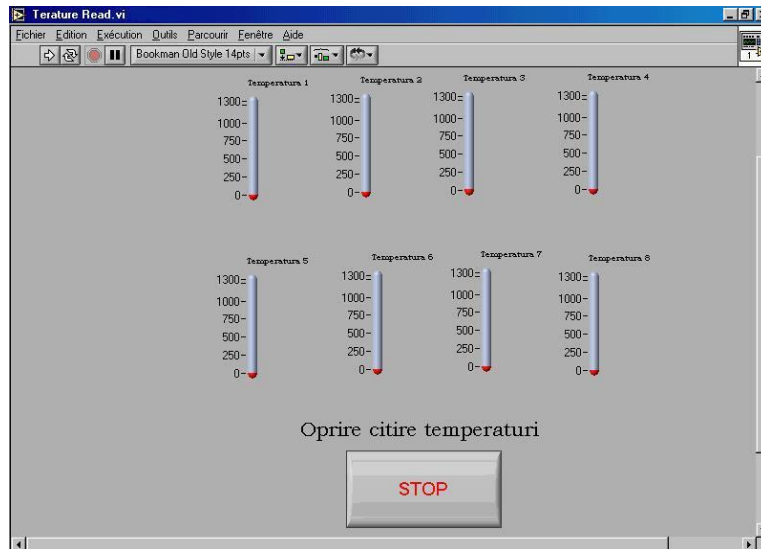


Fig. 5.6 Interfață citire temperaturi

#### 108 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

După ce s-a acționat butonul de START din meniul principal, se trece automat în interfața a 2-a de vizualizare a temperaturilor în timpul funcționării. Temperaturile sunt simbolizate prin termometre ce afișează valori cuprinse între 0 - 1300 ° C, domeniul ce se încadrează în parametrii furnizați de către instalație.

Programul a fost astfel conceput încât monitorizarea temperaturilor în timpul funcționării să se facă la 1 secundă, timp independent față de setarea timpului la începutul programului și de afișarea temperaturilor medii în fișierul de date.

Pentru oprirea citirii temperaturilor se acționează butonul de STOP. De aici programul va închide fereastra de vizualizare a temperaturilor, revenind în interfața meniul principal.

Dacă se dorește începerea unei noi etape de măsurare a temperaturilor se apasă din nou butonul de START, dacă se dorește oprirea programului se apasă butonul de STOP, iar dacă se dorește ieșirea din program se apasă butonul de IESIRE.

### **5.2.2. Analizorul de gaze TESTO 300 XXL**

Gazoanalyzerul TESTO 300 XXL [93] este un echipament performant de determinare a emisiilor gazoase din gazele de ardere, determinarea acestora realizându-se în celule speciale, în urma unor reacții chimice tip Peltier. Gazele analizate sunt SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, NO și NO<sub>x</sub>.

De asemenea, detectează conținutul de O<sub>2</sub>, calculează coeficientul excesului de aer  $\lambda$  și determină, tot prin calcul, concentrația de CO<sub>2</sub>, viteza de curgere a gazelor și debitul masic pentru toate speciile de gaze analizate.

Aparatul este format din trei subansambluri principale: unitatea de analiză, unitatea de control și sonda de prelevare a gazelor. Opțional se pot atașa diferiți senzori de temperatură precum și o sondă Pitot-Prandtl. Unitatea de analiză este echipată cu două intrări diferite pentru senzorii de temperatură: una pentru determinarea temperaturii gazelor prelevate și una pentru altă utilizare, spre exemplu pentru determinarea temperaturii ambiante.

Unitatea de analiză conține celulele de reacție, bateria de acumulatori, filtrele pentru reținerea impurităților solide din gazele de ardere și aer, decantorul pentru condens și conexiuni electro-pneumatice, așa cum reiese din figurile 5.7-1 și 2.

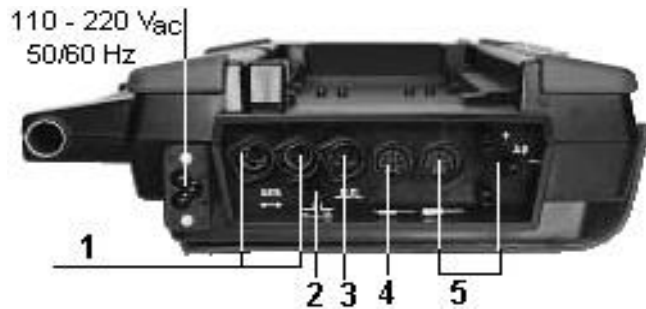


Fig. 5.7 -1 Unitatea de analiză

- 1 - Conexiuni transfer de date; 2 - diluție; 3 - semnal de alarmă;  
4 - senzor opțional de temperatură; 5 - conectare sondă.

Gazul aspirat prin sondă este introdus în celulele de reacție când pompa de gaz este pornită manual sau automat. Înainte, însă, gazul de analizat este răcit brusc la  $4 \div 8$  °C, având loc precipitarea condensatului cu absorbție scăzută de  $\text{NO}_2$  și  $\text{SO}_2$ , condensat ce este evacuat la intervale regulate de timp de o pompă de condens. Gazul uscat trece apoi printr-un filtru special, în vederea reținerii particulelor solide. Acest filtru funcționează și ca o capcană pentru apă: dacă mai există apă în gazele aspirate filtrul devine impermeabil, prin închiderea porilor în contact cu apa, protejând astfel senzorii și pompa.

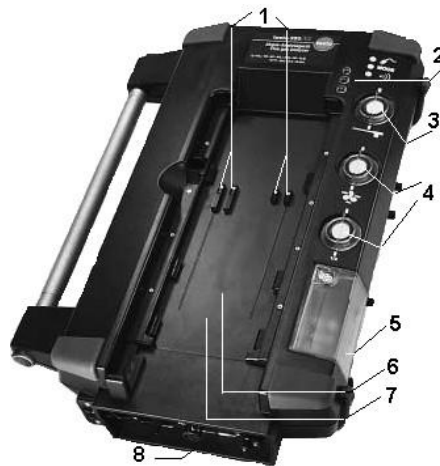


Fig. 5.7 - 2 Unitatea de analiză

- 1 - contacte electrice; 2 - leduri de control; 3 - Filtru particule solide; 4 - Filtre reținere particule din aerul aspirat; 5 - colectare condens; 6 - Celule de analiză; 7 - sistem integrat de determinare a vitezei și presiunii gazelor; 8 - conexiunii

## 110 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

În urma reacțiilor Peltier se emite un semnal electric preluat și prelucrat în unitatea de control, fiind afișate valorile concentrațiilor emisiilor de gaze analizate. Surplusul de gaz este evacuat continuu.

Celula de CmHn este diferită, concentrația de hidrocarburi fiind determinată prin oxidare catalitică, ceea ce presupune existența unei cantități minime de O<sub>2</sub> în gaze de aproximativ 2 %. Celula este închisă automat dacă valoarea O<sub>2</sub> este sub 2 %. De asemenea, este posibilă și închiderea manuală a celulei de hidrocarburi.

Pentru măsurători de anvergură (monitorizarea mai multor surse) se pot interconecta până la 8 unități de analiză, echipate identic sau diferit și până la 20 unități separate de achiziție de date (pentru determinări de viteză, temperatură, umiditate, etc.) ca în fig. 5.7 - 3, toate conectate la aceeași unitate de control și/sau la un PC.

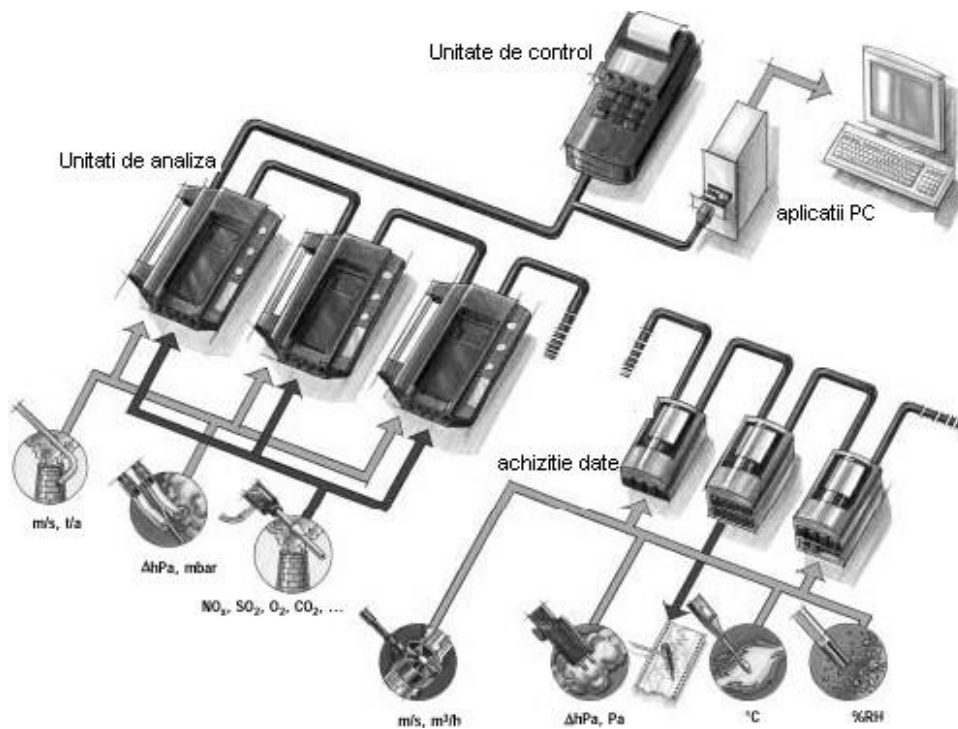


Fig. 5.7 - 3 Interconectarea aparatelor pentru măsurători continue complexe

### Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 111

Unitatea de control (figura 5.7 - 4) este un dispozitiv de măsurare ce poate fi utilizat și independent de unitatea de analiză, însă NU pentru determinarea emisiilor gazoase. Este echipat cu mufe de intrare la care pot fi conectați (pe lângă unitatea de analiză) senzori de temperatură, umiditate, viteză, turbulență, presiune, curent și tensiune, precum și turație. Pot fi afișate grafic până la șase canale simultan. Unitatea de control poate fi operată fie cu ajutorul tastaturii fie al unui „touch-pen”. Pe lângă valorile datelor măsurate mai sunt afișate informații cum ar fi configurarea sistemului și locația. Este echipată cu sursă de lumina pentru operarea în condiții de întuneric. Prin conectarea unui sistem de achiziție de date se pot extinde intrările pentru senzori.



Fig. 5.7 - 4 Unitatea de control

- 1 – imprimantă, 2 – touch-pen (creion electronic),
- 3 – bară pentru informații de sistem, 4 – afișare valori măsurate,
- 5 – bară pentru informații legate de funcționare, 6 – taste operare funcțiuni,
- 7 – tastatură, 8 – conectare sondă presiune, 9 – conectare probă,
- 10 – conectare unitate de analiză, 11 – interfață tip serial.

Unitatea este echipată cu memorie proprie, în care se pot stoca până la 250.000 de date, precum și cu o imprimantă încorporată pentru tipărirea acestora. Datele măsurate pot fi transferate și către un PC printr-o interfață tip serială.

Prin conectarea la PC gazoanalizorul TESTO 300 XXL poate fi folosit la măsurători de lungă durată (săptămâni), fiind controlat de un program special, ComSoft 3.



Aparatul poate fi echipat cu mai multe sonde de prelevare a gazelor. Acestea diferă în funcție de caracteristicile gazelor prelevate. Astfel există diferențe între sondele destinate prelevării gazelor de eşapament sau gazele evacuate la coș, de intervalul de temperaturi de operare, de dimensiunile canalului de curgere a gazelor și pot fi sonde încălzite sau nu. În fig. 5.7 - 5 este prezentată sonda de prelevare a gazelor evacuate la coș, sondă cu tubulatură încălzită la 180° C și operează la temperaturi de maximum 1200 °C.



Fig. 5.7 - 5 Sonda de prelevare a gazelor

Odată cu prelevarea și determinarea concentrației noxelor gazoase din gazele de ardere, aparatul calculează instantaneu următorii parametri:

- dioxidul de carbon, CO<sub>2</sub>:

$$CO_2 = \frac{CO_{2,max} \cdot (21 - O_{2,mas})}{21} \% \quad (5.1)$$

în care: CO<sub>2,max</sub> - valoarea maximă de CO<sub>2</sub> specifică combustibilului, în %

- pierderea de căldură cu gazele evacuate, qA (conf. ecuației Siegert):

$$qA = \left[ (FT - AT) \cdot \left[ \frac{A_2}{(21 - O_2)} + B \right] \right] \cdot KK \quad (5.2)$$

în care:

FT - temperatura gazului prelevat;

AT - temperatura mediului ambiant;

A<sub>2</sub> și B - factori specifici combustibilului;

O<sub>2</sub> - conținutul de oxigen măsurat în gazele de ardere, în %;

KK - factor ce convertește diferența de temperatură la coș în pierderi relative la coș.

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 113

Dacă factorii  $A_2$  și  $B$  sunt nuli se corectează ecuația Siegert cu factorul „f”, specific combustibilului:

$$qA = f \cdot \frac{(FT - AT)}{CO_2} \quad (5.3)$$

- randamentul arderii,  $\eta$ , ținând cont doar de pierderile de căldură la coș:

$$\eta = 100 - qA \quad (5.4)$$

- coeficientul excesului de aer,  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{CO_{2,max}}{CO_2} \quad (5.5)$$

- oxizi de azot,  $NO_x$  (cu o bună aproximație):

$$NO_x = NO + NO_2 \quad (5.6)$$

- viteza de curgere a gazelor,  $w$  [m/s]:

$$w = \frac{575 \cdot \Delta p \cdot (FT + 273,15)}{P_{Abs}} \cdot \alpha \quad (5.7)$$

în care:

$P_{Abs}$  – presiunea absolută;

$\Delta p$  – presiunea dinamică, [mbar];

$\alpha$  – factorul tubului Pitot, între 0 ÷ 1.50.

- debitul de gaze evacuate,  $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s]:

$$\dot{V} = w \cdot \frac{A1 \times A2}{10.000} \quad (5.8)$$

în care  $A1 \times A2$  – secțiunea canalului de curgere, în [cm<sup>2</sup>].

După interconectarea celor trei elemente ale analizorului (unitate de control, unitate de analiză și sondă) se pornește aparatul fie prin conectarea acestuia la rețeaua electrică de 220 V fie la bateria proprie de acumulatori. În acest moment aparatul intră automat în procedura de calibrare la 0 și spălarea celulelor de reacție, fig. 5.7 - 6. Sonda aparatului NU trebuie să fie introdusă în canalul de evacuare a gazelor arse.

114 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

După intrarea în regim a aparatului acesta trebuie programat să achiziționeze și să afișeze datele care prezintă interes pentru utilizator. În fig. 5.7 - 7 se prezintă afișajul aparatului.

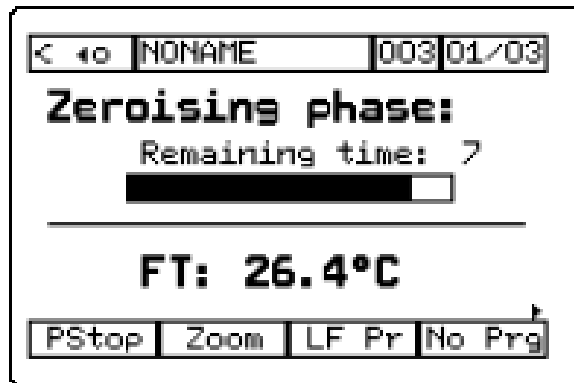


Fig. 5.7 - 6 Calibrarea la 0, Testo 300

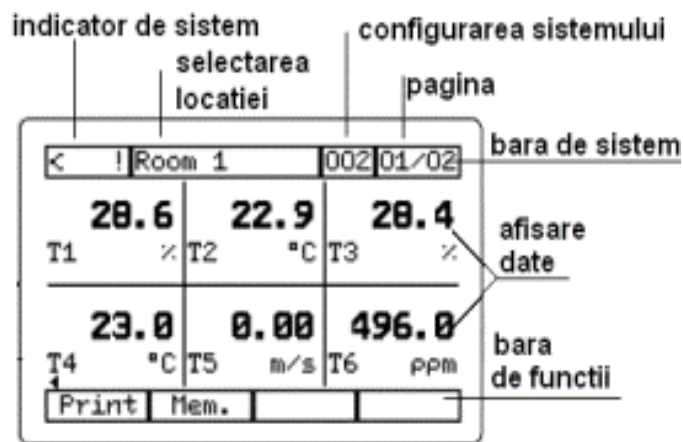


Fig. 5.7 - 7 Display, Testo 300

Diferitele meniuri pot fi afișate în extenso fie prin atingerea ecranului cu un creion de contact (touch-pen), fie prin apăsarea tastelor din dreptul meniurilor. Fiecărui meniu îi corespunde unul sau mai multe submeniuri. În fig. 5.7 - 7 se prezintă detaliat fiecare submeniu în parte și parametrii caracteristici fiecăruia. Astfel, se observă că aparatul poate fi programat să pornească automat, pot fi alese unitățile de măsură pentru fiecare parametru în parte, se poate seta tipul canalului de curgere a gazelor, etc.

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 115

Este obligatorie setarea aparatului pentru tipul de combustibil corespunzător, din baza de date a aparatului (lignit, cărbune brun, gaz, GPL, etc.), fig. 5.7 - 8 și alegerea corectă a valorilor pentru oxigenul de referință, O2ref, și CO2max.

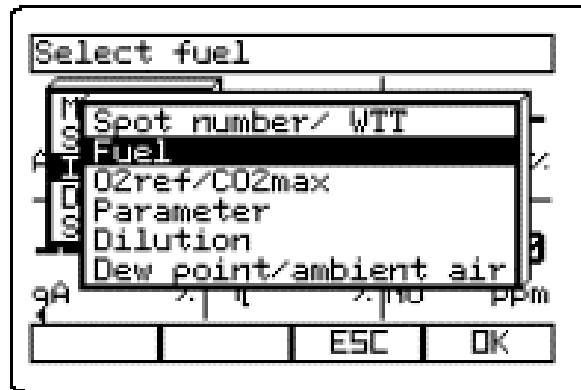


Fig. 5.7 - 8 Alegerea combustibilului

După setarea parametrilor pe care dorim să-i măsurăm, fig. 5.7 - 9, se introduce sonda în canalul de gaze și se pornește măsurarea. Datele măsurate pot fi memorate sau notate. Astfel se va întocmi un tabel în care se va nota compoziția gazelor de ardere.

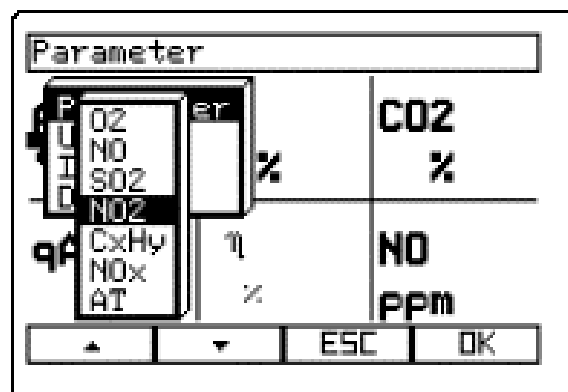


Fig. 5.7 - 9 Setarea parametrilor, Testo 300

Pentru raportarea valorilor măsurate la legislația în vigoare trebuie făcută conversia acestora din [ppm] în [mg/m<sup>3</sup>N], cu relațiile:

$$C_{CO}[\text{mg} / \text{m}^3 \text{N}] = \frac{M_{CO}}{22.4} \cdot \frac{21 - O_2^{ref}}{21 - O_2} \cdot CO[\text{ppm}] \quad (5.9)$$

$$C_{NO_2}[\text{mg} / \text{m}^3 \text{N}] = \frac{M_{NO_2}}{22.4} \cdot \frac{21 - O_2^{ref}}{21 - O_2} \cdot (NO + NO_2)[\text{ppm}] \quad (5.10)$$

$$C_{SO_2}[\text{mg} / \text{m}^3 \text{N}] = \frac{M_{SO_2}}{22.4} \cdot \frac{21 - O_2^{ref}}{21 - O_2} \cdot SO_2[\text{ppm}] \quad (5.11)$$

unde 21 reprezintă concentrația oxigenului în aer, în [%].

Valorile astfel calculate se vor compara cu valorile limită prevăzute în legislația în vigoare, pentru instalația de ardere analizată și se vor analiza rezultatele.

Cele trei analizoare de gaze TESTO 300 XXL care au fost folosite la înregistrarea datelor au fost etalonate de o firmă autorizată din București.

### 5.2.3. Analizorul de praf STRÖHLEIN STE4

Dispozitivul de recoltare este prezentat în fig. 5.8. Ca elemente componente se enumără sonda de recoltare izocinetică, tubul de prelevare, filtrul și suportul de filtru, pompa de aspirație și contorul de gaze, accesoriile suplimentare (termometru, cronometru, robinete de oprire-reglaj, recipiente, vase spălătoare, perii, etc) [97].

Gazele de ardere aspirate vor parcurge următorul traseu: după aspirația prin duza calibrată 2 vor trece prin filtrele conținute în cartușul filtrant 3 unde se vor reține particulele solide urmând trecerea gazului prin sonda 5 încălzită electric la 180 °C în rezervorul de condensat 8. Pentru protejarea elementelor active ale aparatului, gazul este trecut printr-un turn de uscare 9 cu silicagel. Urmează trecerea gazelor de ardere prin aparatul propriu-zis unde se determină debitul cu debitmetrul 10, depresiunea cu manometrul 11, temperatura cu termometrul 12 și cantitatea de gaze aspirate prin contorul de gaz 13. Volumul de gaz ce urmează a fi aspirat se ajustează prin intermediul robinetului R1.

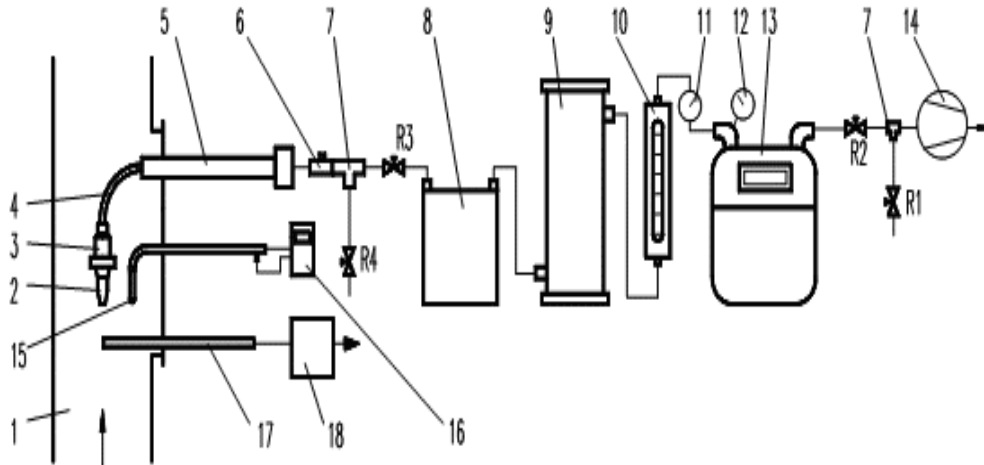


Fig.5.8 Schema de montaj STROHLEIN

- 1-canal gaze, 2-duză calibrată, 3-carcasa cartușului filtrant,
- 4-racord, 5-manson de încălzire electrică, 6-termoelement,
- 7-teu, 8-rezervor de condensat, 9-turn de uscare cu silicagel,
- 10-debitmetru (rotometru), 11-manometru, 12-termometru,
- 13-contor pompa de vid, 15-tub Pitot-Prandtl,
- 16-micromanometru electronic, 17-sondă,
- 18-gazoanalizor TESTO-33, R1-R4-robinete

Ansamblul format din duza calibrată și corpul cartușului filtrant este prezentat în figura 5.9.

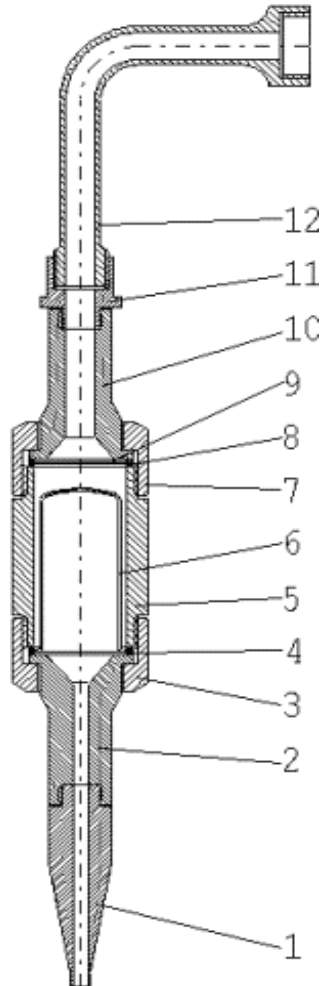


Fig.5.9 Ansamblu duză calibrată corp cartuş filtrant

- 1. Duza calibrată;
- 2,10,11-Piesă de legătură;
- 3,7-Piuliță strângere;
- 4-8-Garnituri;
- 5-Corpul cartuşului filtrant;
- 6-Filtru cu vată;
- 9-Filtru plat;
- 12-Racord.

Înainte de începerea măsurărilor propriu-zise, cartuşul filtrant încărcat cu vată de sticlă și filtrul plat din hârtie, sunt supuse unui proces repetat de uscare în etuvă la temperatura de circa 105°C, urmată de o răcire într-un exicator și apoi de o cântărire. Se repetă operația de mai multe ori. Uscarea se consideră terminată dacă nu apar diferențe între două cântăriri succesive. Cartuşul filtrant și filtrul plat, astfel pregătite, sunt conservate (pe durată scurtă) în cutii etanșe sau pungi izolante, urmând ca apoi să fie introduse în corpul cartuşului [94].

Viteza curentului în canalul de gaze se determină din relația :

$$w_c = \sqrt{\frac{2 \Delta p_{din}}{\rho_{gic}}} \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (5.12)$$

în care :

$\Delta p_{din}$  – presiunea dinamică, măsurată cu ajutorul tubului Pitot-Prandtl, în [Pa];

$\rho_{gtc}$  – densitatea gazului umed corespunzătoare compoziției la presiunea și temperatura din canal, în [kg/m<sup>3</sup>].

Temperatura  $t_{gc}$  (°C) și suprapresiunea statică  $\Delta p_{st}$  [mbar] se determină fie cu ajutorul aparatului TESTO fie cu alte aparate. Cu același aparat se determină și coeficientul excesului de aer  $\lambda c$ .

Pentru inițializarea calculelor se determină sau se acceptă analiza elementară a cărbunelui și a combustibilului care asigură suportul de flacără (păcură sau gaz natural), se fac calculele necesare stabilirii bilanțului material al arderii, se stabilește participarea volumică  $v_i$  a fiecărui component al gazelor de ardere și în final se calculează:

$$\begin{aligned} \rho_{gt}^0 &= \frac{1}{V_M^0} [v_{CO_2} M_{CO_2} + v_{SO_2} M_{SO_2} + v_{O_2} M_{O_2} + v_{N_2} M_{N_2} + v_{H_2O} M_{H_2O}] = \\ &= \frac{1}{22,414} [44 v_{CO_2} + 64 v_{SO_2} + 32 v_{O_2} + 28 v_{N_2} + 18 v_{H_2O}] \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\rho_{gtc} = \rho_{gt}^0 \frac{T_0}{T_{gc}} \frac{p_g + \Delta p_{st}}{p_0} \quad [kg/m^3] \quad (5.14)$$

în care :

$p_b$  – presiunea barometrică în [Pa];

$p_0 = 101325$  [Pa];

$T_{gc}$  – temperatura absolută a gazelor în canal la intrarea în coșul de fum, în [K].

Pentru asigurarea izocinetismului diametrul duzei calibrate se calculează cu relația :

$$d = 15,7 \sqrt{\frac{\dot{V} T_{gc}}{w_c T_s}} \quad [mm] \quad (5.15)$$

în care :

$\dot{V} = 4,1$  [m<sup>3</sup>/h] - este debitul de gaz aspirat;

$T_s = 273.15 + t_s$  [k] – temperatura gazelor în sondă (la ieșirea din manșonul de încălzire) care se reglează  $t_s = 120 - 180$  °C.



## 120 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Din trusa cu care este dotat aparatul Ströhlein STE 4 se alege duza cea mai apropiată de diametrul  $d$ , preferând o duză cu diametrul inferior diametrului  $d$ . În continuare se montează duza calibrată cu diametrul ales  $d_a$  [mm] și se recalculează debitul de gaz care va trece prin contor :

$$\dot{V}_{cont.calc.} = w \frac{\pi d_a^2}{4} \cdot \frac{p_c}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_c} \cdot 3600 \frac{\rho_{H_2O} + X_{nG}}{\rho_{H_2O} + X_{nk}} \left[ \frac{m^3}{h} \right] \quad (5.16)$$

în care :

$$p_c = p_b + \Delta p_{st}, \text{ [Pa];}$$
$$p_k = p_b - \Delta p_{st}, \text{ în [Pa];}$$

$p_b$  - presiunea barometrică, în [mbar] ;

$\Delta p_k$  - depresiunea gazului citită pe manometrul contorului, în [Pa];

$T_k$  - temperatura gazului citită pe termometrul contorului, în [K];

$\rho_{H_2O} = 0,894 \text{ kg/m}^3$  - densitatea vaporilor de apă în condiții normale

$X_{nG} = 0$  - umiditatea gazelor care trec prin contor, în kg/m<sup>3</sup> ;

$X_{nk}$  - umiditatea gazelor de ardere extrase din canal, kg/m<sup>3</sup>.

Această ultimă valoare se determină din relația :

$$f_{nk} = \frac{\dot{m}_{wc} + \dot{m}_{wcs}}{V_{const}} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (5.17)$$

unde :

$\dot{m}_{wc}$  - debitul masic de condens colectat în rezervorul de condensat (poziția 8 din fig. 5.9), în Kg/h ;

$\dot{m}_{wcs}$  - debitul masic de condens reținut de silicagelul din turnul de uscare (poz.9 din fig. 5.9), în kg/h ;

Valorile  $\dot{m}_{wc}$  și  $\dot{m}_{wcs}$  se stabilesc la sfârșitul unei probe prin măsurători volumice, respectiv prin cântărire. La inițializarea calculelor se poate accepta

$$f_{nk} = V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \text{ [kg/m}^3\text{]}.$$

### Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 121

Recalcularea debitului de gaz care va trece prin contor permite stabilirea valorii procentuale pentru care se reglează rotametru :

$$X = \frac{\dot{V}_{cont.calc.}}{\dot{V}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.18)$$

În vederea punerii în funcțiune a aparatului Ströhlein se introduc filtrul plat și cartușul filtrant în carcasa metalică, se assemblează cu duza calibrată și manșonul de încălzire electrică. Urmează apoi verificarea etanșeității întregului ansamblu care constituie aparatul Ströhlein. În acest scop se pornește pompa de vid 14 și se obturează sonda. Etanșeitățile se consideră corespunzătoare dacă pentru o cădere de presiune de 0.2 bar debitul ce trece prin instalație este mai mic de 2 % din debitul ce va trece prin această în timpul măsurătorilor.

Urmează apoi introducerea capului sondei în canal și poziționarea sa în punctul de măsură și în direcția de curgere a gazelor. Se conectează la rețeaua electrică pompa de vid și manșonul de încălzire, temperatura acestuia regându-se la 1200 °C. Se închide robinetul R1, se deschide robinetul R2 și se pornește pompa de vid care aspiră aer. Se notează indicația contorului de gaz, se pornește cronometrul și se manevrează robinetele R1 și R2 astfel încât debitul de gaz care trece prin rotametru să fie egal cu cel calculat. Pe toată durata măsurătorilor se urmăresc și se notează din timp în timp (la început din 3 în 3 minute, iar apoi din 10 în 10 minute) valorile parametrilor de curgere și anume:

- temperatura gazelor în sondă  $t_s$  în [°C];
- temperatura gazelor  $t_k$  citită pe termometrul contorului  $t_c$  în [°C];
- depresiunea gazelor  $\Delta p_k$ , citită pe manometrul contorului în [mbar];
- debitul de gaz indicat de rotametru în [m<sup>3</sup>/h];
- presiunea barometrică, în [mbar].

La terminarea măsurătorii într-un anumit punct al canalului, se oprește aspirația gazelor, cronometrul și alimentarea cu energie electrică a manșonului sondei și se notează debitul de gaz aspirat și timpul scurs. Se măsoară cantitatea de apă colectată în rezervorul de condensat și se cântărește silicagelul umezit. După răcirea sondei, se scoate elementul filtrant, se stochează într-un recipient special pregătit și apoi se cântăresc atât cartușul filtrant, cât și filtrul plat. Urmează curățirea sondei cu acetonă (sau în lipsa acesteia cu decanol) și cu ajutorul unei perii de plastic. Lichidul folosit la spălare se colectează în vederea unei prelucrări ulterioare în scopul selectării particulelor de praf și corectării cantității de pulberi prelevate pe filtru.

Concentrația prafului în gazele de ardere se stabilește din relația:

$$C_{praf} = \frac{\Delta m_{praf}}{\Delta V_{cont}} \cdot \frac{T_k}{T_0} \cdot \frac{p_{b0}}{p_b \cdot \Delta p_k} \quad \left[ \frac{mg}{m^3_N} \right] \quad (5.19)$$

în care :

$\Delta m_{\text{praf}}$  – cantitatea totală de praf colectate pe întreaga durată a probei, în [mg];

$\Delta V_{\text{cont}}$  – cantitatea de gaze înregistrată de contor în același interval de timp, în [m<sup>3</sup>].

Pentru a putea compara valorile obținute prin măsurători cu valorile concentrației limită la emisie a gazelor de ardere prevăzute de legislația în vigoare, trebuie ca primele să fie corectate astfel :

$$C_{\text{praf}}^{\text{corect}} = C_{\text{praf}} \frac{21 - O_2}{21 - O_{2\text{ref}}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3_N} \right] \quad (5.20)$$

### 5.3. Pornirea instalației

Fazele preliminare pornirii instalației sunt:

- pregătirea combustibililor;
- măsurarea debitelor șnecurilor;
- măsuri și operații referitoare la echipamentele anexe ale instalației.

După parcurgerea acestor etape se poate porni instalația în vederea efectuării măsurătorilor.

În ceea ce privește pregătirea combustibililor aceștia au fost măcinați cu ajutorul unei mori cu cuțite, după măcinare având dimensiuni între 0 și 4 mm. În figurile următoare sunt prezentate câteva tipuri de combustibili proveniți din biomasă deșeu înainte și după măcinare.



Fig. 5.10 Știuleți de porumb înainte (stânga) și după (dreapta) măcinare



Fig. 5.11 Porumb înainte (stânga) și după (dreapta) măcinare



Fig. 5.12 Hârtie înainte (stânga) și după (dreapta) măcinare

Instalația este dotată cu două șnecuri cu turație variabilă (reglabilă) pentru alimentarea combustibililor solizi :

- șnec cu ax ( $\varnothing$  40 mm , pas spira șnec 20 mm);
- șnec fără ax ( $\varnothing$  40 mm , pas spira șnec 20 mm).

Determinarea debitelor pentru cele două șnecuri se face în funcție de turația motorului care îl antrenează, turație care poate fi reglată cu ajutorul unui variator de turație. Pe fiecare șnec pentru un tip de combustibil se realizează măsurători de debite (evacuare material o perioadă de 5-10 minute, cântărire apoi raportare la oră), în timpul probelor notându-se turația motorului.

Cele șase sorturi de biomasă deșeu (măcinate) utilizate la efectuarea de măsurători au următoarele densități:

- boabe de porumb – 684 [kg/m<sup>3</sup>];
- știuleți de porumb – 337 [kg/m<sup>3</sup>];
- pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb – 100 [kg/m<sup>3</sup>];
- hârtie – 84 [kg/m<sup>3</sup>];
- pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + boabe de porumb – 174 [kg/m<sup>3</sup>];
- boabe de grâu – 447 [kg/m<sup>3</sup>].

124 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Din cauza densității mici a hârtiei aceasta nu a putut fi antrenată de sistemul de alimentare și a fost amestecată cu lignit de Valea Jiului în proporție de 50% (la 4,5 kg de hârtie s-au adăugat 4,5 kg de lignit).

În următoarele diagrame sunt prezentate variațiile de debite (kg/h) în funcție de turația motoarelor celor două șnecuri pentru cele șase tipuri de combustibili utilizați.

Tab. 5.1 Valori pentru debitul boabelor de porumb măcinate în funcție de poziția variatorului de turație – șnec stânga

Denumire	Poziție variator de turație [rot]	Turația n [rot/min]	Debit Q [kg/h]
Boabe de porumb măcinate	0	12.5	13.2
	1	14.5	15
	2	19	19.8
	3	23	23.5
	4	29	29
	5	34	33.2
	6	41.5	40.7
	7	48	46.8
	7,5	51	49.4

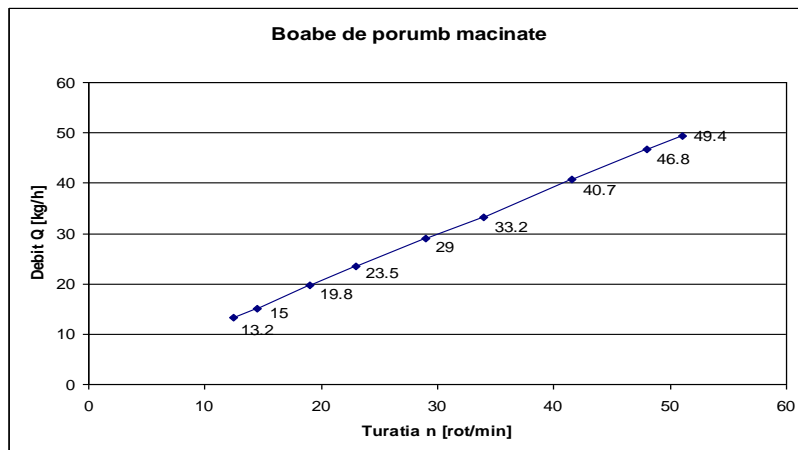


Fig. 5.13 Variația debitului în funcție de turație – boabe de porumb – șnec stânga

Tab. 5.2 Valori pentru debitul știuleților de porumb măcinați în funcție de poziția variatorului de turație – șneac stânga

Denumire	Poziție variator de turație [rot]	Turația n [rot/min]	Debit Q [kg/h]
Știuleți de porumb măcinați	0	12.5	5.4
	1	14.5	6.18
	2	19	8.3
	3	23	10.15
	4	29	13
	5	34	15.22
	6	41	18.54
	7	48	21.6
	7,5	51	22.88

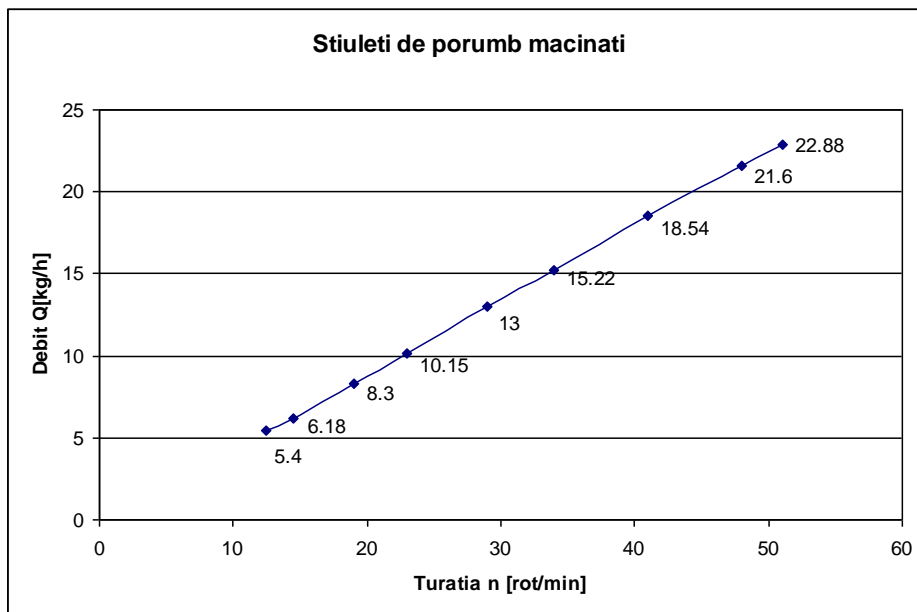


Fig. 5.14 Variația debitului în funcție de turație – știuleți de porumb – șneac stânga

Tab. 5.3 Valori pentru debitul boabelor de grâu măcinate în funcție de poziția variatorului de turație – șneac stânga

Denumire	Poziție variator de turație [rot]	Turația n [rot/min]	Debit Q [kg/h]
Boabe de grâu măcinate	0	12.5	9.6
	1	14.5	11.1
	2	19	15
	3	23	18
	4	29	22.2
	5	34	25.9
	6	41	31.4
	7	48	36.6
	7,5	51	38.4

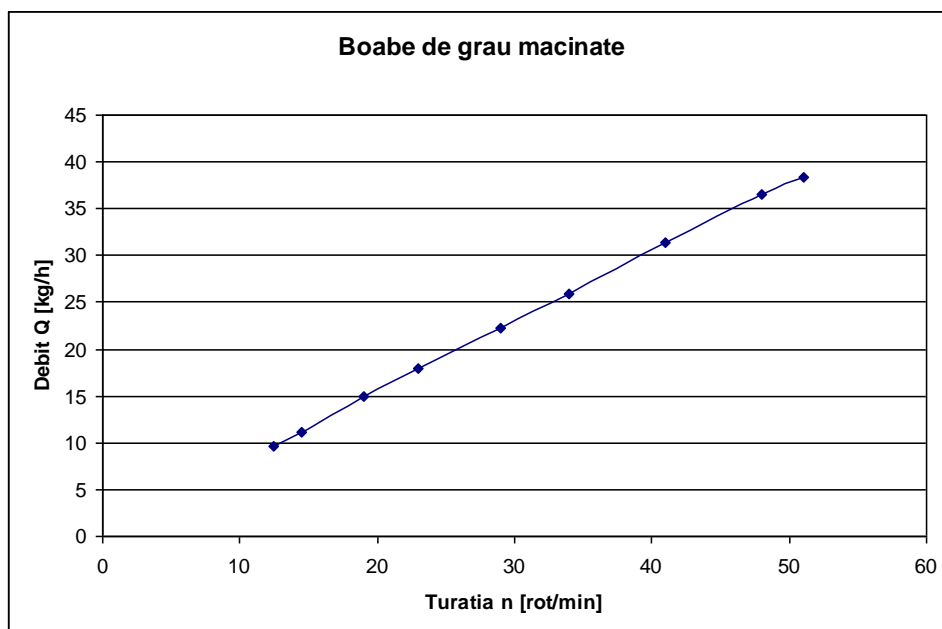


Fig. 5.15 Variația debitului în funcție de turație – boabe de grâu – șneac stânga

Tab. 5.4 Valori pentru debitul hârtiei măcinate în funcție de poziția variatorului de turație – șnec stânga

Denumire	Poziție variator de turație [rot]	Turația n [rot/min]	Debit Q [kg/h]
Hârtie	0	12.5	2.4
	1	14.5	2.6
	2	19	3.12
	3	23	3.6
	4	29	4.36
	5	34	4.91
	6	41	5.72
	7	48	6.58
	7,5	51	6.96

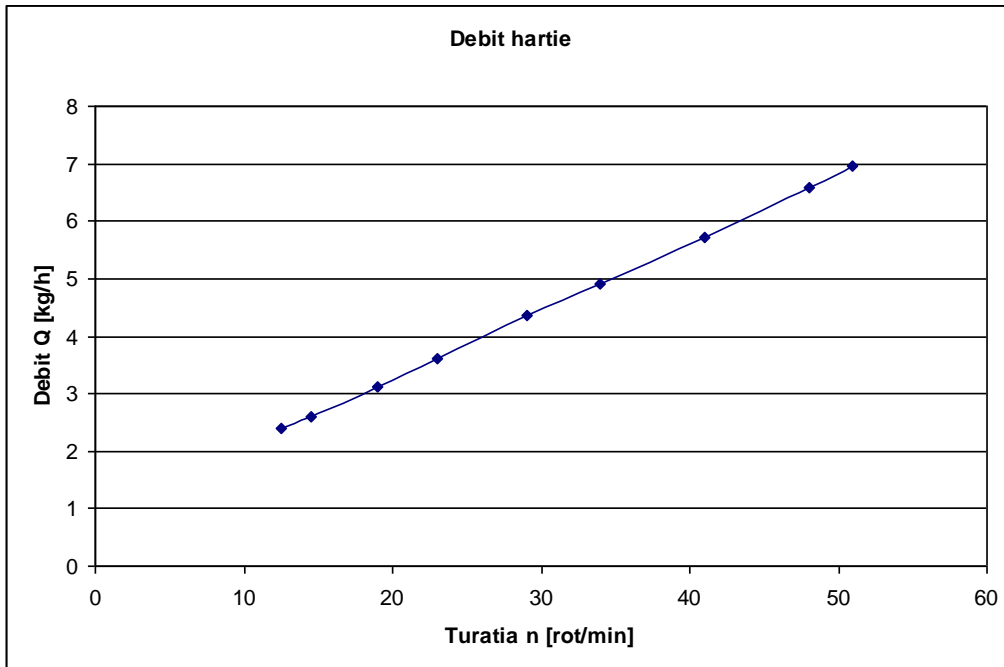


Fig. 5.16 Variația debitului în funcție de turație – hârtie – șnec stânga



Tab. 5.5 Valori pentru debitul boabelor de porumb măcinate în funcție de poziția variatorului de turație – șnec dreapta

Denumire	Poziție variator de turație [rot]	Turația n [rot/min]	Debit Q [kg/h]
Boabe de porumb măcinate	0	12	10.5
	1	14	12
	2	18.5	16
	3	22.5	19.6
	4	27.5	23.4
	5	32.5	27.9
	6	39	33
	7	45	38.4
	7,5	50	42

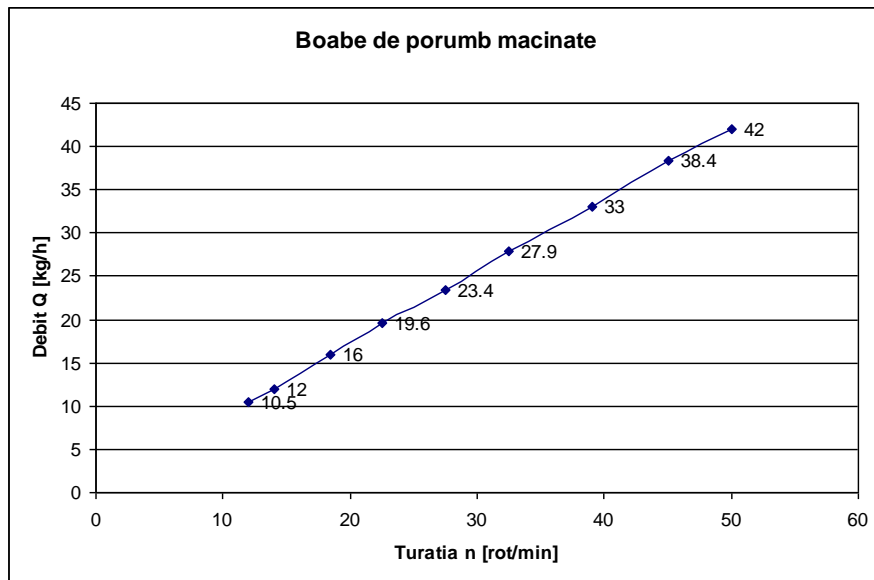


Fig. 5.17 Variația debitului în funcție de turație – boabe de porumb – șnec dreapta

Tab. 5.6 Valori pentru debitul știuleților de porumb măcinați în funcție de poziția variatorului de turație – șneac dreapta

Denumire	Poziție variator de turație [rot]	Turația n [rot/min]	Debit Q [kg/h]
Știuleți de porumb măcinați	0	12	3.3
	1	14.5	4.35
	2	18.5	6
	3	22.5	7.5
	4	27.5	9.37
	5	32.5	11.4
	6	39	14.1
	7	45	16.4
	7,5	50	18

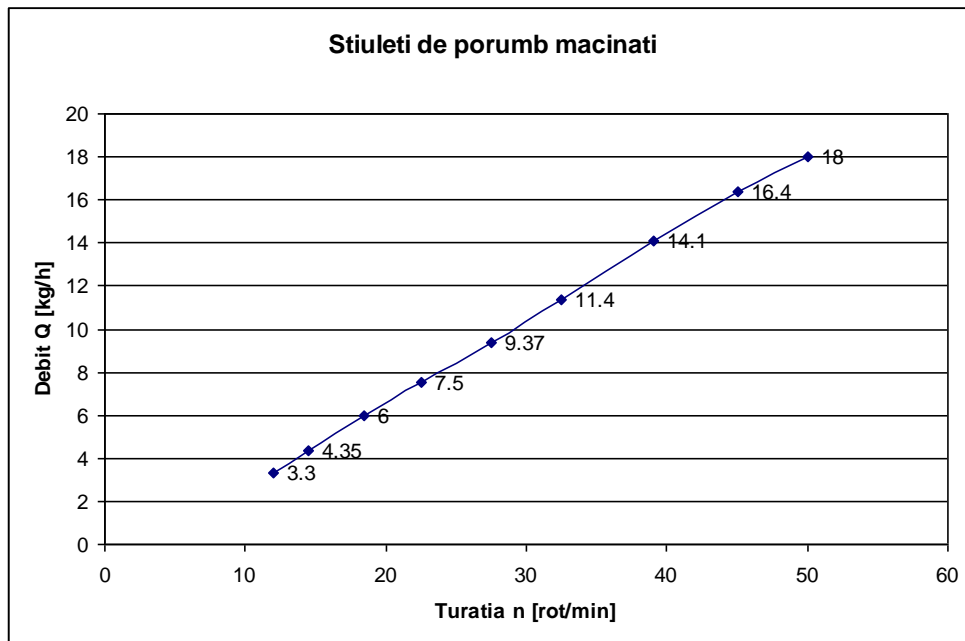


Fig. 5.18 Variația debitului în funcție de turație – știuleți de porumb – șneac dreapta

Tab. 5.7 Valori pentru debitul boabelor de grâu măcinat în funcție de poziția variatorului de turație – șnec dreapta

Denumire	Poziție variator de turație [rot]	Turația n [rot/min]	Debit Q [kg/h]
Grâu măcinat	0	12	6
	1	14	7.68
	2	18.5	11.4
	3	22.5	14.88
	4	27.5	19.08
	5	32.5	23.28
	6	39	28.68
	7	45	33.48
	7,5	50	37

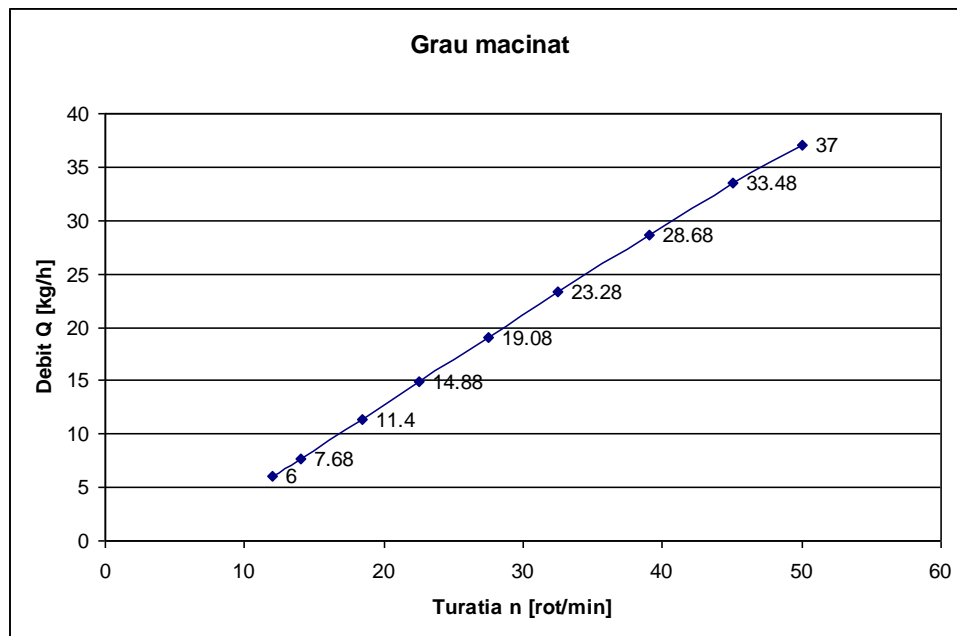


Fig. 5.19 Variația debitului în funcție de turație – boabe de grâu – șnec dreapta

Tab. 5.8 Valori pentru debitul hârtiei măcinate în funcție de poziția variatorului de turație – șnecc dreapta

Denumire	Poziție variator de turație [rot]	Turația n [rot/min]	Debit Q [kg/h]
Hârtie tocată	0	12	0.33
	1	14	0.57
	2	18.5	1.08
	3	22.5	1.57
	4	27.5	2.1
	5	32.5	2.6
	6	39	3.28
	7	45	3.9
	7,5	50	4.37

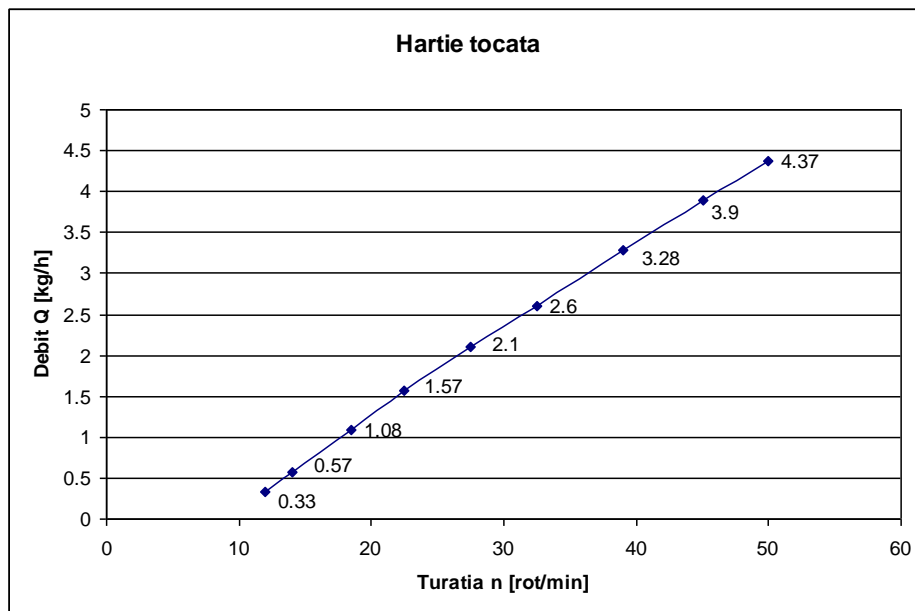


Fig. 5.20 Variația debitului în funcție de turație – hârtie – șnecc dreapta

### 132 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Pentru punerea în funcțiune a modelului experimental este necesar să se asigure utilitățile adecvate, echipamentele conexe și sistemele de măsură și reglare a parametrilor de funcționare.

Utilitățile necesare funcționării instalației sunt :

- energie electrică;
- gaz natural;
- apă răcire;
- combustibili solizi;
- reactivi epurare gaze de ardere.

Echipamentele conexe care fac, practic, parte integrantă din instalație și pot fi schimbate/prevăzute cu rezervă sunt, în principal :

- ventilator;
- pompe;
- termocupluri;
- motoare șnecuri;
- compresor pentru acționarea pompelor cu membrană.

Sisteme de măsură și reglare a parametrilor de funcționare:

- sistem achiziție date-temperaturi;
- contor gaz natural;
- contor apă răcire ;
- rotometru măsurare debite apă spălare scrubber /reactor ;
- termocupluri, termometre, manometre ;
- robinete/ventile pentru reglare debite de aer/apă răcire/lichid sistem epurare gaze.

După asigurarea utilităților și verificarea echipamentelor conexe se poate începe procedura de pornire a instalației. Prima dată se pornește pompa care recirculă apa de răcire din corpul convectiv, ventilatorul de aer și deschiderea robinetelor de aer ale distribuitorului de aer primar, apoi se deschide gazul la arzătorul de pornire, se notează indicația contorului și se pornește arzătorul.

Debitul apei de răcire s-a menținut constant pentru toate încercările și anume  $D_w=1079,4$  [kg/h].

Următoarea fază este pornirea șnecului (șnecurilor) de alimentare cu combustibil solid, la turație minimă, pentru alimentarea focarului și crearea stratului fluidizat staționar.

Se pornesc sistemele de achiziție a datelor pentru vizualizarea acestora și efectuarea reglajelor corespunzătoare pentru atingerea regimului termic staționar. După aceea se prepară soluțiile care vor fi utilizate pentru epurarea gazelor de ardere, apoi compresorul care acționează cele două pompe cu membrană de la

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 133

scruber și reactor, care au rolul de a recircula soluțiile de spălare a gazelor de ardere înainte ca acestea să ajungă în coșul de fum. Soluțiile folosite la „spălarea” gazelor de ardere sunt apă în scruber și soluție de apă cu NaOH cu o concentrație de 2% NaOH în reactor. Pe parcursul funcționării instalației aceasta trebuie monitorizată continuu și dacă este cazul se remediază defectele apărute sau se fac reglaje.

Evoluția temperaturilor gazelor de ardere și apei de răcire la atingerea regimului termic staționar pentru cele șase tipuri de biomasă deșeu utilizate este prezentată în tabelele și figurile următoare.

**1) Boabe de porumb măcinate**

Tab. 5.9 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu boabe de porumb măcinate

Nr. crt.	t <sub>1</sub> [°C]	t <sub>2</sub> [°C]	t <sub>3</sub> [°C]	t <sub>5</sub> [°C]	t <sub>6</sub> [°C]	t <sub>7</sub> [°C]	t <sub>8</sub> [°C]	t <sub>9</sub> [°C]	t <sub>10</sub> [°C]
1	801.5	790	818	625	360	340	42	45	59
2	803.7	789	817	624	360	340	42	45	59
3	805	788	816	623	360	340	43	46	59
4	805.1	788	816	623	360	340	43	46	59
5	806	788	814	623	360	340	44	46	60
6	806	787	813	621	360	340	45	47	60
7	807	784	811	620	360	340	45	47	61
8	809	782	809	619	360	340	46	47	61
9	809.6	780	807	617	360	340	46	48	62
10	811.8	780	805	616	360	340	47	48	62
11	814	780	805	616	360	340	47	49	63
12	814.7	777	804	615	360	340	48	50	63
13	815.4	777.2	802	614	360	339	48	50	64
14	816.2	775.7	799.3	610	359	339	49	51	65
15	818.4	775.7	798	610	359	339	50	52	66
16	818.4	774.3	798	611	359	339	50	52	66
17	820	774	798	610	359	339	50	53	67
18	820	774	797	609	359	339	50	53	67
19	821.3	773.5	796	610	358	338	51	54	67
20	820.6	774.3	796	610	358	338	51	54	67
<b>Media</b>	<b>812.1</b>	<b>780.6</b>	<b>806.0</b>	<b>616.3</b>	<b>359.6</b>	<b>339.5</b>	<b>46.6</b>	<b>49.2</b>	<b>62.9</b>

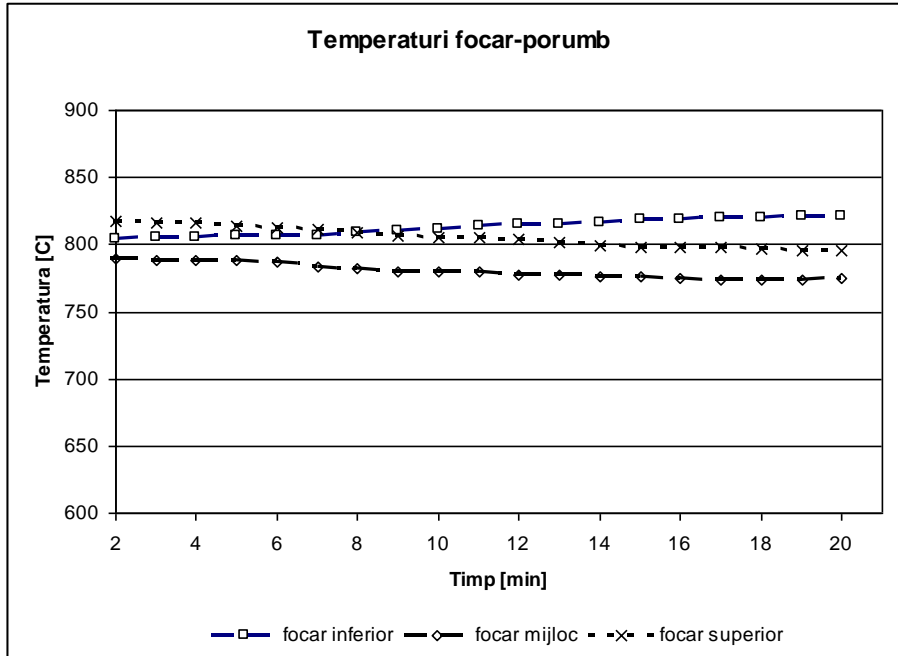


Fig. 5.21 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu boabe de porumb măcinate

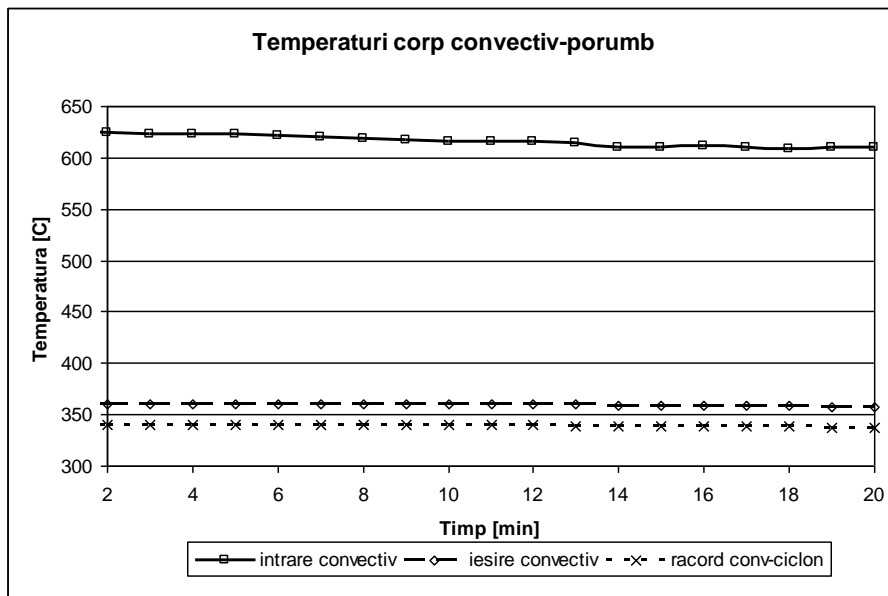


Fig. 5.22 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu boabe de porumb măcinate

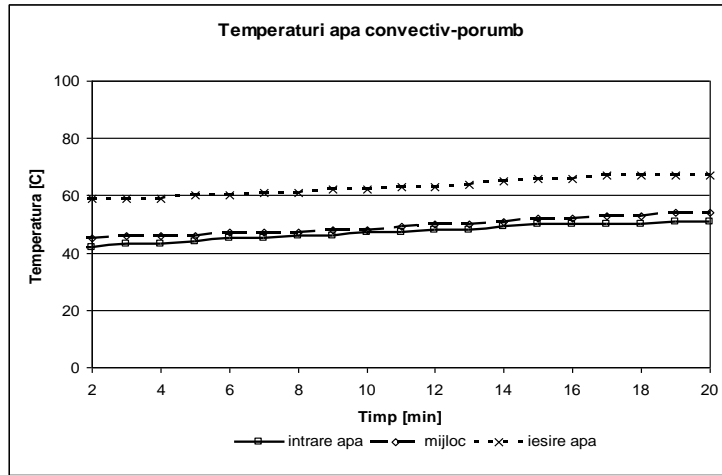


Fig. 5.23 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu boabe de porumb măcinate

## 2) Știuleți de porumb măcinați

Tab. 5.10 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu știuleți de porumb măcinați

Nr. crt.	t <sub>1</sub> [°C]	t <sub>2</sub> [°C]	t <sub>3</sub> [°C]	t <sub>5</sub> [°C]	t <sub>6</sub> [°C]	t <sub>7</sub> [°C]	t <sub>8</sub> [°C]	t <sub>9</sub> [°C]	t <sub>10</sub> [°C]
1	880	770	731	551	324	311	50	51	64
2	878	772	731	552	324	311	50	51	64
3	879	774	732	553	324	311	50	51	64
4	881	776	732	553	324	311	51	52	64
5	882	779	733	553	324	310	52	53	64
6	883	782	734	553	324	310	52	54	64
7	884	784	734	553	324	310	53	54	65
8	886	785	734	553	324	310	54	55	66
9	886	785	735	554	324	310	54	55	66
10	887	785	735	554	324	310	54	55	66
11	888	784	735	553	324	310	55	56	67
12	886	782	734	552	324	310	55	57	68
13	876	778	733	551	324	310	56	57	68
14	875	778	733	551	324	310	56	57	68
15	878	778	732	551	324	310	55	57	68
16	879	772	733	553	324	310	55	57	68
17	881	774	735	552	324	310	55	57	68
18	883	775	734	553	324	310	55	57	68
19	884	779	734	553	324	310	55	57	68
20	882	781	735	553	324	310	55	57	68
<b>Media</b>	<b>881.9</b>	<b>778.7</b>	<b>733.5</b>	<b>552.6</b>	<b>324.0</b>	<b>310.2</b>	<b>53.6</b>	<b>55.0</b>	<b>66.3</b>



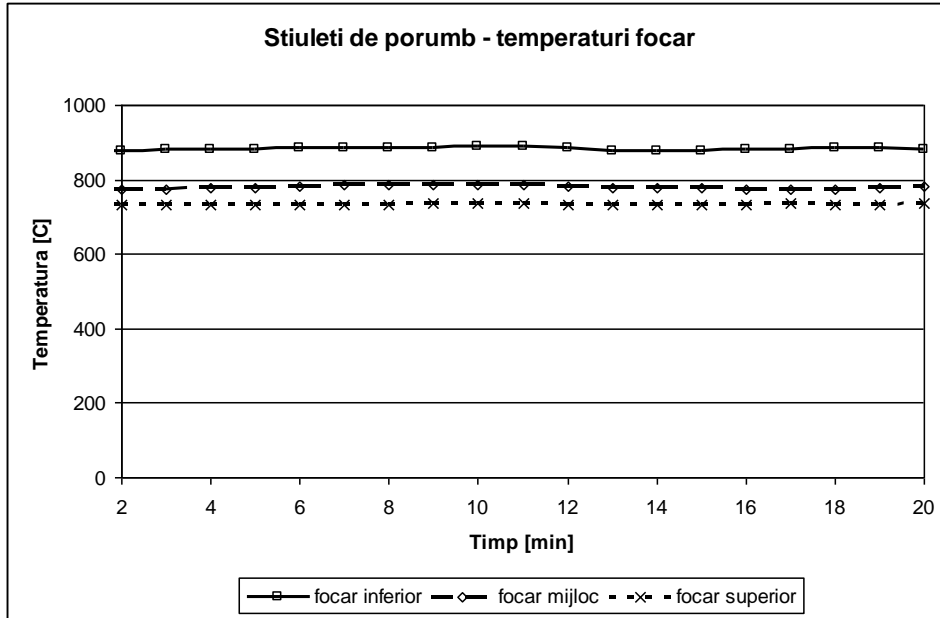


Fig. 5.24 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu știuleți de porumb măcinați

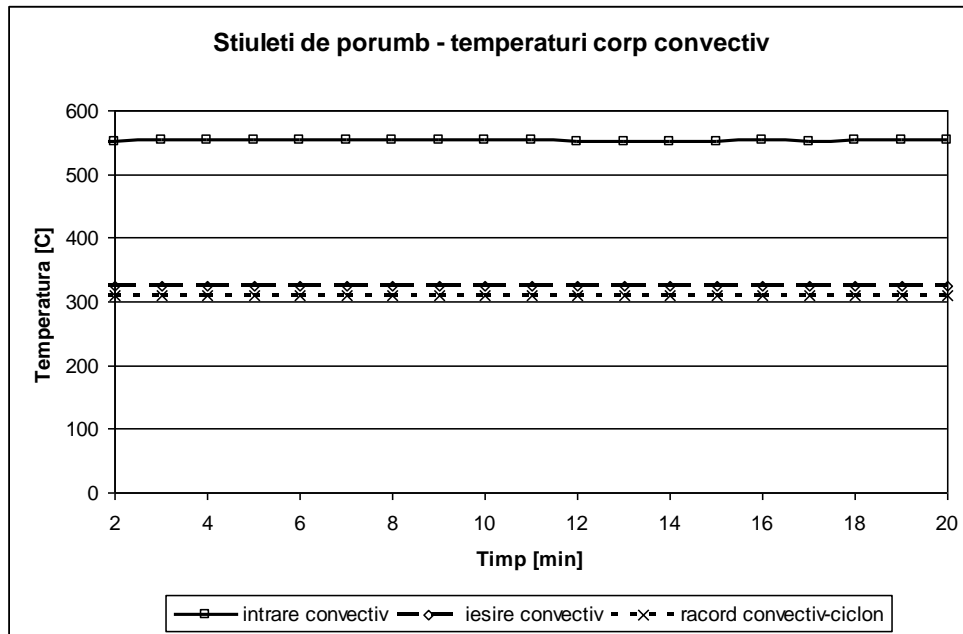


Fig. 5.25 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu știuleți de porumb măcinați

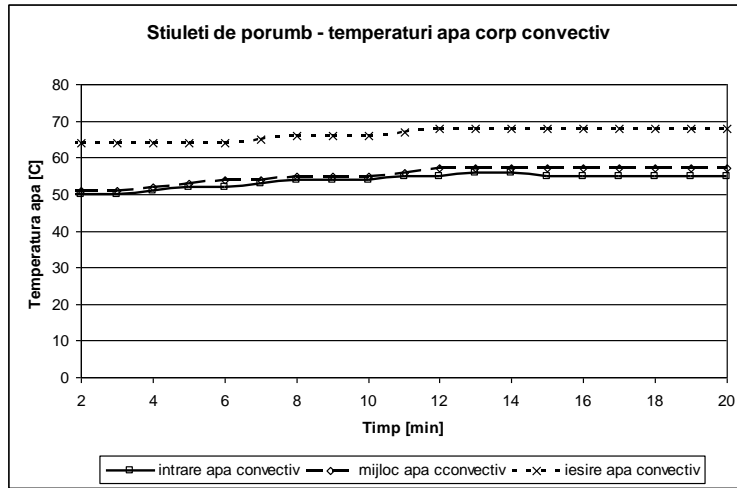


Fig. 5.26 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu știuleți de porumb măcinați

### 3) Pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb

Tab. 5.11 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb

Nr. crt.	t <sub>1</sub> [°C]	t <sub>2</sub> [°C]	t <sub>3</sub> [°C]	t <sub>5</sub> [°C]	t <sub>6</sub> [°C]	t <sub>7</sub> [°C]	t <sub>8</sub> [°C]	t <sub>9</sub> [°C]	t <sub>10</sub> [°C]
1	745	693	709	538	322	306	58	59	69
2	742	691	709	539	322	305	58	59	69
3	740	689	708	539	322	305	58	59	70
4	737	687	707	538	322	305	58	60	70
5	734	685	706	537	322	305	59	60	70
6	735	685	707	538	322	305	59	60	71
7	739	685	707	538	322	305	59	60	71
8	742	685	707	538	321	305	59	60	71
9	744	685	707	538	321	305	59	60	71
10	746	685	707	538	321	305	59	60	71
11	748	685	707	537	321	305	59	60	71
12	750	685	707	537	321	305	59	61	71
13	756	687	709	537	321	304	59	61	71
14	763	688	709	537	320	304	60	61	72
15	765	688	709	537	320	304	60	61	72
16	768	687	708	537	320	304	60	61	72
17	783	687	707	535	320	304	60	61	72
18	756	685	707	537	320	304	60	61	72
19	759	685	707	537	320	304	60	61	72
20	760	685	707	537	320	304	60	61	72
<b>Media</b>	<b>750.6</b>	<b>686.6</b>	<b>707.6</b>	<b>537.5</b>	<b>321.0</b>	<b>304.7</b>	<b>59.2</b>	<b>60.3</b>	<b>71.0</b>

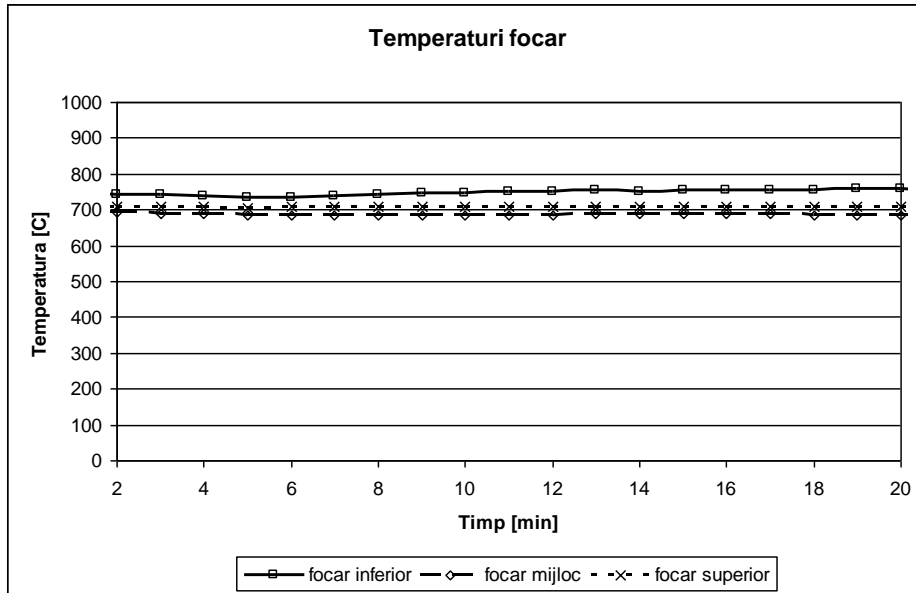


Fig. 5.27 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb

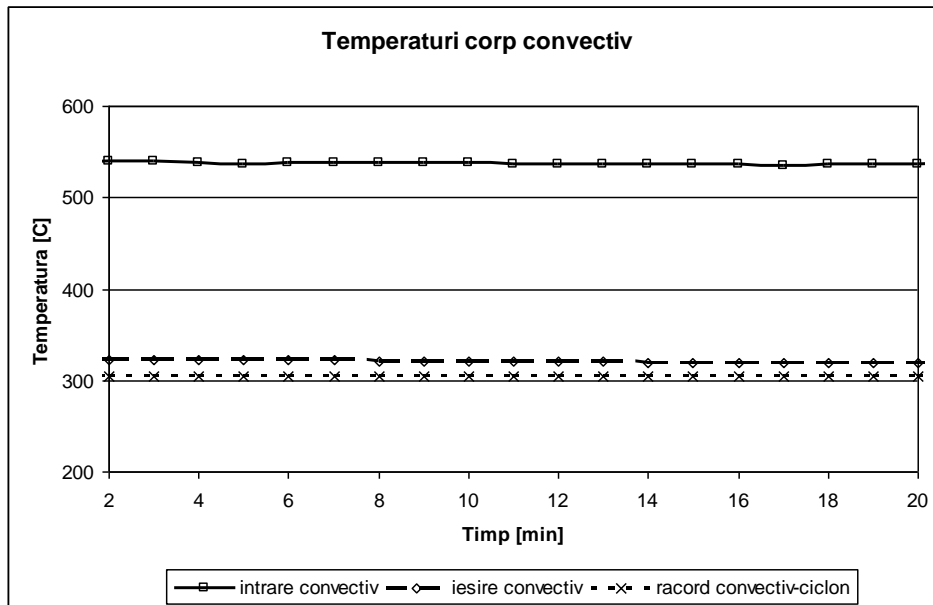


Fig. 5.28 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb

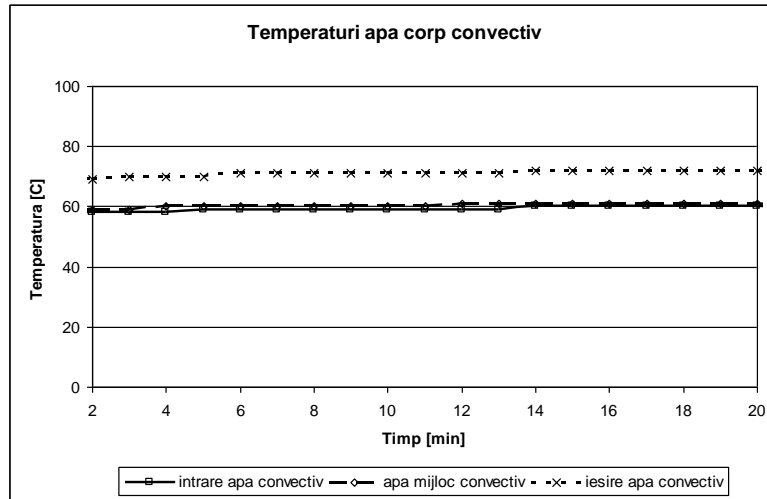


Fig. 5.29 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb

#### 4) Deșeuri de hârtie + lignit

Tab. 5.12 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu hârtie + lignit

Nr. crt.	t <sub>1</sub> [°C]	t <sub>2</sub> [°C]	t <sub>3</sub> [°C]	t <sub>5</sub> [°C]	t <sub>6</sub> [°C]	t <sub>7</sub> [°C]	t <sub>8</sub> [°C]	t <sub>9</sub> [°C]	t <sub>10</sub> [°C]
1	755	633	637	449	265	247	56	56	64
2	755	633	639	450	265	247	56	56	64
3	756	633	641	451	265	246	56	56	64
4	758	635	642	451	265	246	56	57	64
5	759	635	643	451	265	246	56	57	64
6	760	636	644	452	265	246	57	57	64
7	761	636	645	452	265	246	57	57	65
8	762	637	645	452	265	246	57	57	65
9	764	637	646	452	265	246	57	57	65
10	764	637	646	452	265	246	57	58	65
11	765	637	646	452	265	246	57	58	65
12	767.3	638	646	450	265	245	58	58	65
13	770	638	646	450	265	245	58	58	66
14	771.4	637	645	450	265	245	58	58	66
15	773	637	646	450	265	245	58	58	66
16	772	637	646	450	265	245	58	58	65
17	772	637	646	450	265	245	58	58	65
18	772	637	646	450	265	245	58	58	65
19	772	637	646	450	265	245	58	58	65
20	772	637	646	450	265	245	58	58	65
<b>Media</b>	<b>765.0</b>	<b>636.2</b>	<b>644.4</b>	<b>450.7</b>	<b>265.0</b>	<b>245.7</b>	<b>57.2</b>	<b>57.4</b>	<b>64.9</b>

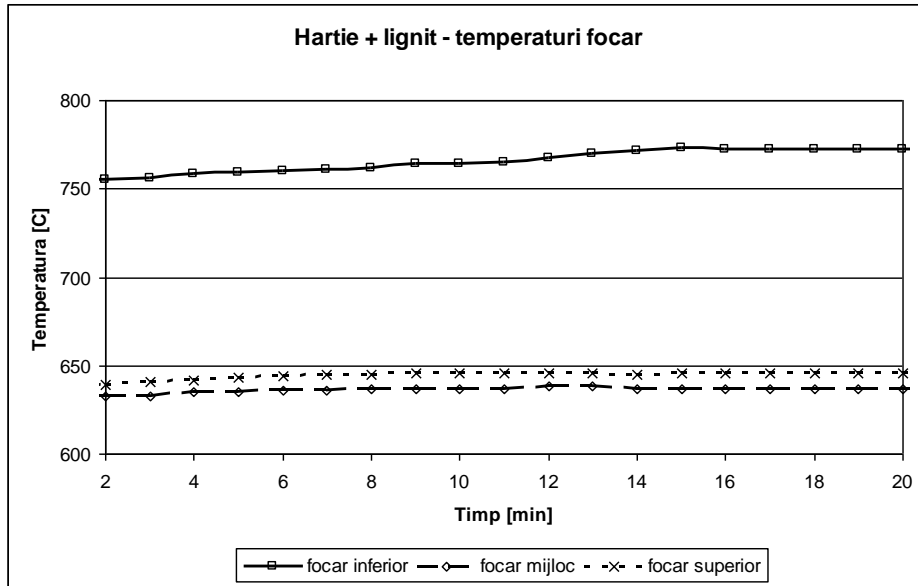


Fig. 5.30 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu hârtie + lignit

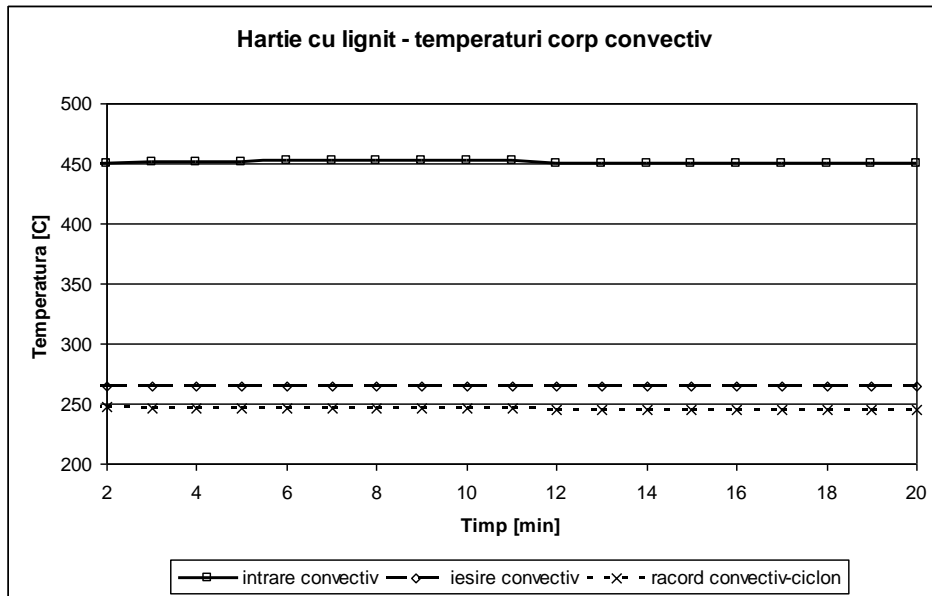


Fig. 5.31 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu hârtie + lignit

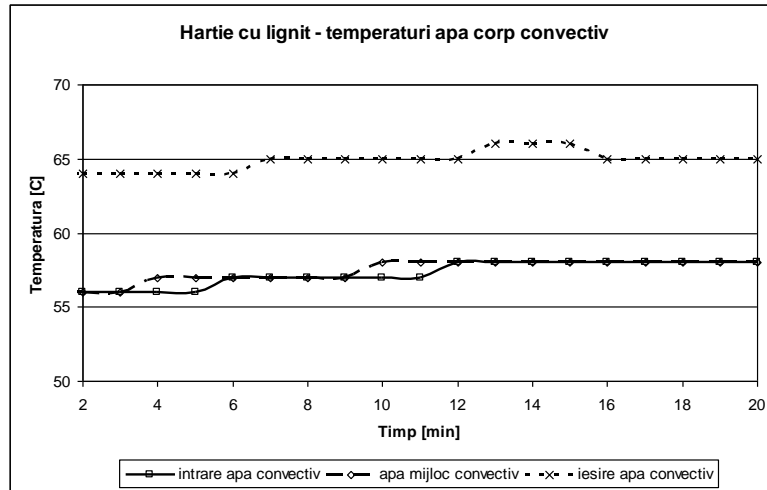


Fig. 5.32 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu hârtie + lignit

### 5) Pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + boabe de porumb

Tab. 5.13 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + boabe de porumb

Nr. crt.	t <sub>1</sub> [°C]	t <sub>2</sub> [°C]	t <sub>3</sub> [°C]	t <sub>5</sub> [°C]	t <sub>6</sub> [°C]	t <sub>7</sub> [°C]	t <sub>8</sub> [°C]	t <sub>9</sub> [°C]	t <sub>10</sub> [°C]
1	755	633	637	449	265	247	56	56	64
2	755	633	639	450	265	247	56	56	64
3	756	633	641	451	265	246	56	56	64
4	758	635	642	451	265	246	56	57	64
5	759	635	643	451	265	246	56	57	64
6	760	636	644	452	265	246	57	57	64
7	761	636	645	452	265	246	57	57	65
8	762	637	645	452	265	246	57	57	65
9	764	637	646	452	265	246	57	57	65
10	764	637	646	452	265	246	57	58	65
11	765	637	646	452	265	246	57	58	65
12	767.3	638	646	450	265	245	58	58	65
13	770	638	646	450	265	245	58	58	66
14	771.4	637	645	450	265	245	58	58	66
15	773	637	646	450	265	245	58	58	66
16	772	637	646	450	265	245	58	58	65
17	772	637	646	450	265	245	58	58	65
18	772	637	646	450	265	245	58	58	65
19	772	637	646	450	265	245	58	58	65
20	772	637	646	450	265	245	58	58	65
<b>Media</b>	<b>765.0</b>	<b>636.2</b>	<b>644.4</b>	<b>450.7</b>	<b>265.0</b>	<b>245.7</b>	<b>57.2</b>	<b>57.4</b>	<b>64.9</b>

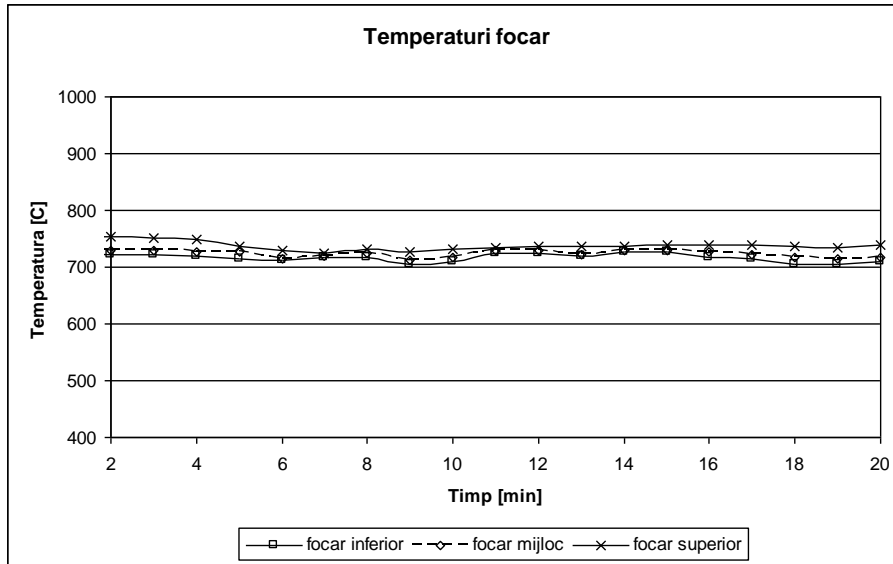


Fig. 5.33 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb

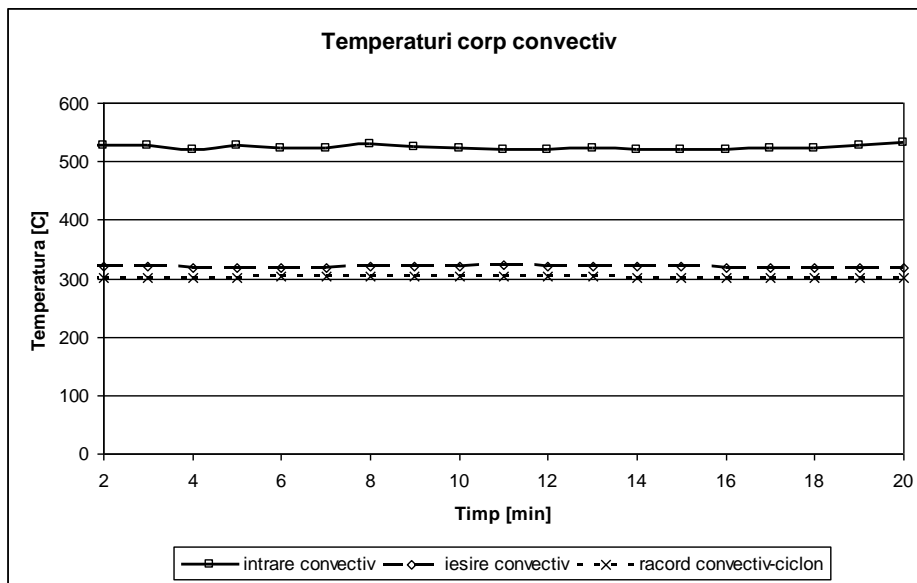


Fig. 5.34 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb

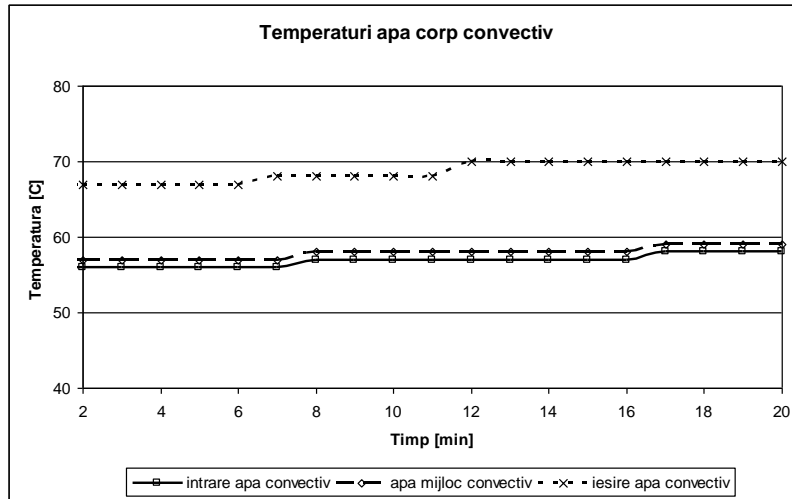


Fig. 5.35 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb +boabe de porumb

### 6) Boabe de grâu

Tab. 5.14 Evoluția temperaturilor în regim termic staționar la funcționarea cu boabe de grâu

Nr. crt.	t <sub>1</sub> [°C]	t <sub>2</sub> [°C]	t <sub>3</sub> [°C]	t <sub>5</sub> [°C]	t <sub>6</sub> [°C]	t <sub>7</sub> [°C]	t <sub>8</sub> [°C]	t <sub>9</sub> [°C]	t <sub>10</sub> [°C]
1	696	715	732	559	332	313	56	55	68
2	691	713	730	557	332	313	56	56	68
3	686	710	728	555	332	313	57	56	68
4	685	708	726	554	331	312	57	57	69
5	685	706	724	553	331	312	57	57	70
6	685	706	724	553	331	312	57	58	70
7	688	706	724	555	331	312	58	58	71
8	691.5	706	725	556	331	312	58	59	71
9	693.1	706	725	557	330	312	58	59	71
10	693.1	706	724	557	330	312	58	59	72
11	691.5	706	723	557	330	312	58	59	72
12	692	706	722	558	330	312	58	59	72
13	690	706	722	558	330	312	59	60	72
14	689	707	722	558	330	312	59	60	72
15	687	707	722	558	330	312	59	60	72
16	687.4	707	723	559	330	312	59	60	73
17	688.3	708	724	561	330	312	59	60	73
18	687.4	707	725	562	330	312	59	60	73
19	686.6	706	726	562	330	312	59	61	73
20	685.8	706	726	563	330	312	59	61	73
<b>Media</b>	<b>688.9</b>	<b>707.4</b>	<b>724.9</b>	<b>557.6</b>	<b>330.6</b>	<b>312.2</b>	<b>58.0</b>	<b>58.7</b>	<b>71.2</b>



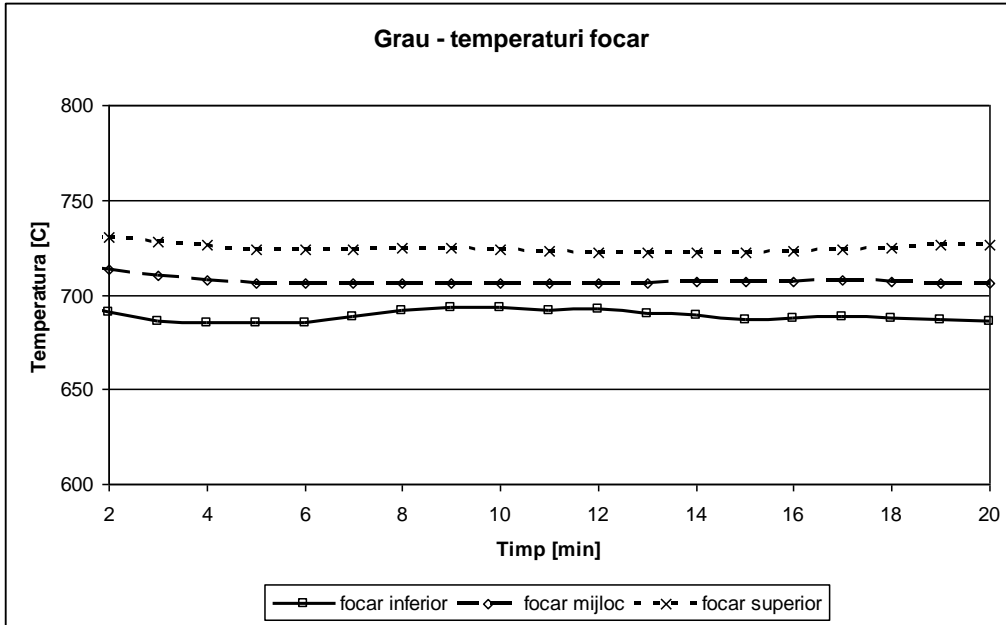


Fig. 5.36 Evoluția temperaturilor în focar la funcționarea cu boabe de grâu

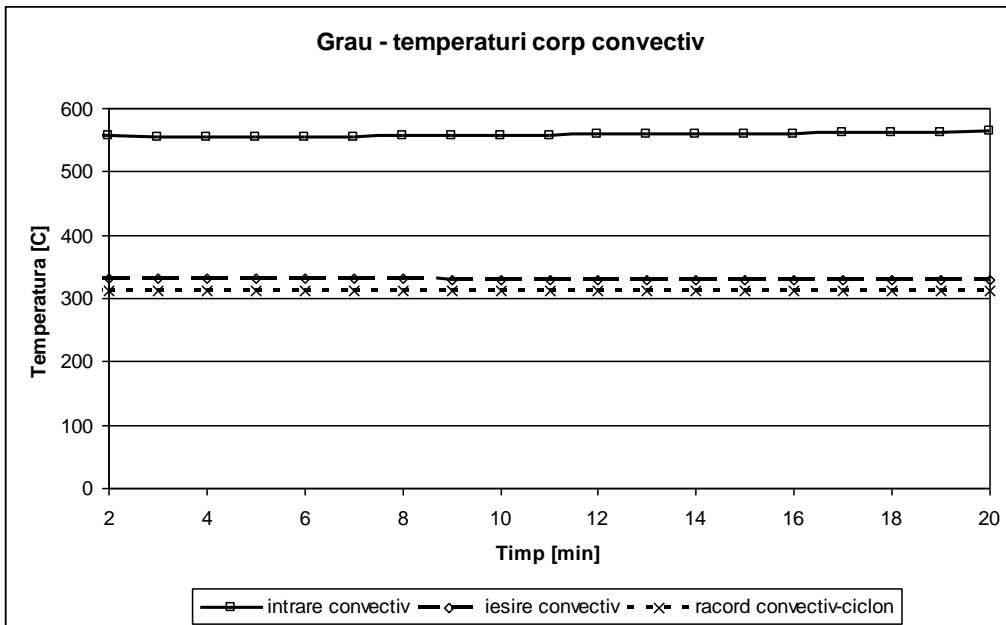


Fig. 5.37 Evoluția temperaturilor în corpul convectiv la funcționarea cu boabe de grâu

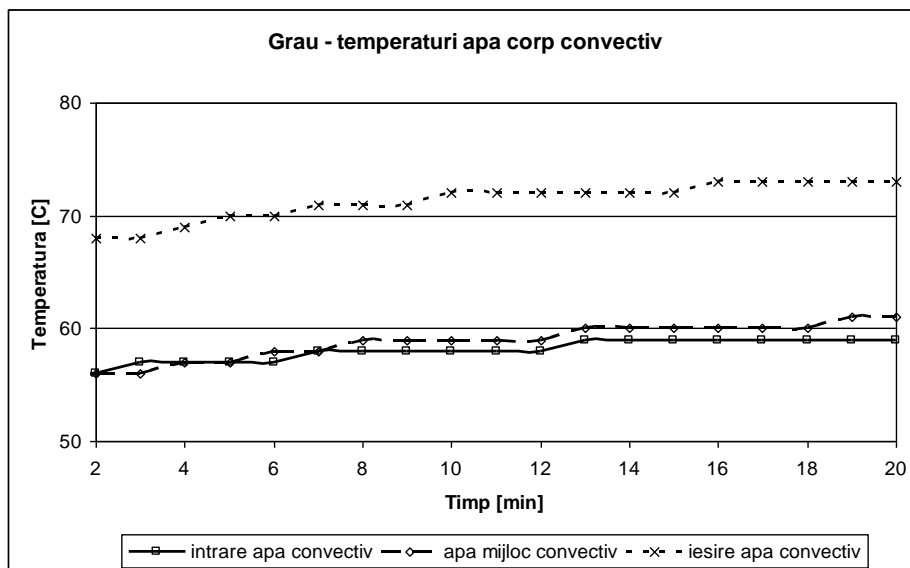


Fig. 5.38 Evoluția temperaturii apei în corpul convectiv la funcționarea cu boabe de grâu

#### 5.4. Rezultatele măsurătorilor privind emisiile de noxe gazoase

Pentru cele șase tipuri de combustibil s-au făcut, în ceea ce privește emisiile de gaze, măsurători în trei puncte distincte și anume:

- înainte de sistemul de epurare a gazelor de ardere (ante SEGA);
- între scrubber și reactor (punct intermediar);
- după sistemul de epurare a gazelor de ardere (post SEGA).

În ceea ce privește emisiile de praf s-au făcut măsurători numai pentru boabele de porumb măcinate.

Înregistrarea rezultatelor s-a făcut pe o perioadă de 30 min. pentru fiecare tip de combustibil din momentul în care instalația a intrat în regim termic staționar de funcționare. Măsurătorile s-au efectuat la interval de un minut.

Aparatura folosită pentru înregistrarea datelor, precum și modul de funcționare și utilizare a acesteia, este descrisă pe larg în subcapitolul 5.2.

Rezultatele obținute în urma măsurătorilor pentru cele șase sorturi de combustibil vor fi prezentate în continuare, atât sub formă grafică cât și tabelară. Grafic sunt reprezentate doar variațiile pentru: temperatură, monoxid de carbon, oxizi de azot și dioxidul de sulf, fiind considerate cele mai reprezentative.

**1) Boabe de porumb**

Tab. 5.15 a Valori măsurate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	315.5	12.79	44	7.74	186	195	22	2.56
2	315.5	12.89	45	7.64	183	192	22	2.59
3	317.1	12.93	46	7.61	184	193	22	2.6
4	316.6	12.73	45	7.8	186	195	21	2.54
5	315.9	11.65	46	8.82	194	204	21	2.25
6	315.7	11.22	50	9.22	198	207	20	2.15
7	315.1	11.5	53	8.96	196	206	21	2.21
8	315.1	11.9	53	8.58	194	204	21	2.31
9	315.5	12.2	54	8.29	193	203	21	2.39
10	315.4	12.52	53	7.99	192	202	21	2.48
11	315.4	12.26	53	8.24	190	199	21	2.4
12	314.4	11.84	51	8.64	186	196	21	2.29
13	314.7	11.79	51	8.69	185	194	21	2.28
14	314.1	12.01	50	8.48	184	193	22	2.34
15	315.7	12.26	47	8.24	184	193	23	2.4
16	316.5	12.49	48	8.02	183	192	23	2.47
17	315.7	11.88	51	8.59	184	193	23	2.3
18	315	10.27	62	10.12	189	198	22	1.96
19	314.7	9.94	80	10.43	188	197	22	1.9
20	314.6	10.34	89	10.05	188	198	23	1.97
21	314.2	10.84	84	9.58	188	198	23	2.07
22	314	11.42	71	9.04	187	196	24	2.19
23	313.8	11.77	64	8.7	187	197	24	2.28
24	314	12.09	61	8.41	186	196	24	2.36
25	313.6	12.37	60	8.14	186	195	24	2.43
26	317.1	12.62	58	7.9	184	193	23	2.51
27	316	12.75	55	7.78	183	192	23	2.55
28	315.5	10.7	62	9.71	195	205	22	2.04
29	315.1	9.76	82	10.6	202	212	21	1.87
30	314.7	9.9	93	10.47	203	213	21	1.89
<b>Media</b>	<b>315.2</b>	<b>11.7</b>	<b>58.7</b>	<b>8.7</b>	<b>188.9</b>	<b>198.4</b>	<b>22.1</b>	<b>2.29</b>

Tab. 5.15 b Valori raportate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	315.5	12.79	55.0	67.0	399.8	486.9	62.7	76.4
2	315.5	12.89	56.3	69.4	393.6	485.3	62.7	77.3
3	317.1	12.93	57.5	71.3	395.7	490.3	62.7	77.7
4	316.6	12.73	56.3	68.0	399.8	483.4	59.9	72.4
5	315.9	11.65	57.5	61.5	418.2	447.3	59.9	64.0
6	315.7	11.22	62.5	63.9	424.4	433.9	57.0	58.3
7	315.1	11.5	66.3	69.7	422.3	444.5	59.9	63.0
8	315.1	11.9	66.3	72.8	418.2	459.6	59.9	65.8
9	315.5	12.2	67.5	76.7	416.2	472.9	59.9	68.0
10	315.4	12.52	66.3	78.1	414.1	488.3	59.9	70.6
11	315.4	12.26	66.3	75.8	408.0	466.8	59.9	68.5
12	314.4	11.84	63.8	69.6	401.8	438.6	59.9	65.3
13	314.7	11.79	63.8	69.2	397.7	431.8	59.9	65.0
14	314.1	12.01	62.5	69.5	395.7	440.1	62.7	69.7
15	315.7	12.26	58.8	67.2	395.7	452.7	65.6	75.0
16	316.5	12.49	60.0	70.5	393.6	462.5	65.6	77.0
17	315.7	11.88	63.8	69.9	395.7	433.8	65.6	71.9
18	315	10.27	77.5	72.2	405.9	378.3	62.7	58.4
19	314.7	9.94	100.0	90.4	403.9	365.1	62.7	56.7
20	314.6	10.34	111.3	104.4	405.9	380.8	65.6	61.5
21	314.2	10.84	105.0	103.3	405.9	399.5	65.6	64.5
22	314	11.42	88.8	92.6	401.8	419.4	68.4	71.4
23	313.8	11.77	80.0	86.7	403.9	437.5	68.4	74.1
24	314	12.09	76.3	85.6	401.8	451.0	68.4	76.8
25	313.6	12.37	75.0	86.9	399.8	463.2	68.4	79.3
26	317.1	12.62	72.5	86.5	395.7	472.1	65.6	78.2
27	316	12.75	68.8	83.3	393.6	477.1	65.6	79.5
28	315.5	10.7	77.5	75.2	420.3	408.0	62.7	60.9
29	315.1	9.76	102.5	91.2	434.6	386.7	59.9	53.2
30	314.7	9.9	116.3	104.7	436.7	393.4	59.9	53.9
<b>Media</b>	<b>315.2</b>	<b>11.7</b>	<b>73.4</b>	<b>78.4</b>	<b>406.7</b>	<b>441.7</b>	<b>62.9</b>	<b>68.5</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.16 a Valori măsurate între scrubber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	162.6	13.0	44	7.6	183	192	13	2.62
2	163.0	13.1	44	7.5	180	189	12	2.65
3	163.2	13.1	45	7.4	180	189	12	2.66
4	163.1	12.9	45	7.7	184	193	12	2.59
5	162.9	11.9	46	8.6	191	201	11	2.30
6	162.6	11.3	50	9.2	196	205	10	2.16
7	162.1	11.6	53	8.9	193	203	11	2.23
8	161.9	12.0	53	8.5	190	200	11	2.34
9	162.3	12.5	53	8.0	190	200	11	2.46
10	162.3	12.7	54	7.8	189	198	11	2.54
11	162.2	12.5	53	8.0	187	196	11	2.47
12	161.8	11.9	52	8.5	183	192	11	2.32
13	161.8	11.9	51	8.6	181	191	11	2.31
14	161.6	12.2	50	8.4	181	190	12	2.37
15	163.3	12.5	46	8.0	181	190	13	2.47
16	163.0	12.7	48	7.8	180	189	13	2.52
17	163.0	12.1	51	8.4	182	191	13	2.35
18	162.3	10.2	65	10.2	186	195	13	1.94
19	162.0	9.9	80	10.4	184	194	12	1.90
20	161.8	10.4	89	10.0	185	194	12	1.98
21	161.6	11.1	83	9.3	185	194	13	2.13
22	161.1	11.6	72	8.8	184	194	15	2.24
23	160.9	12.0	64	8.5	184	194	15	2.33
24	160.9	12.4	61	8.1	184	193	15	2.44
25	161.0	12.6	60	7.9	182	191	15	2.50
26	162.1	12.8	59	7.7	181	190	14	2.57
27	162.5	12.7	56	7.8	180	189	14	2.54
28	161.7	11.0	63	9.5	192	201	13	2.09
29	161.2	9.8	83	10.6	201	212	13	1.87
30	161.3	10.0	95	10.4	201	211	13	1.91
<b>Media</b>	<b>162.1</b>	<b>11.9</b>	<b>58.9</b>	<b>8.6</b>	<b>186.0</b>	<b>195.4</b>	<b>12.5</b>	<b>2.33</b>

Tab. 5.16 b Valori raportate între scrubber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> N]	CO* [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]
1	162.6	13.0	55.0	68.6	393.6	490.8	37.1	46.2
2	163.0	13.1	55.0	69.4	387.5	489.2	34.2	43.2
3	163.2	13.1	56.3	71.4	387.5	491.7	34.2	43.4
4	163.1	12.9	56.3	69.4	395.7	487.9	34.2	42.2
5	162.9	11.9	57.5	62.9	412.1	450.8	31.4	34.3
6	162.6	11.3	62.5	64.4	420.3	433.2	28.5	29.4
7	162.1	11.6	66.3	70.5	416.2	442.7	31.4	33.4
8	161.9	12.0	66.3	73.9	410.0	457.6	31.4	35.0
9	162.3	12.5	66.3	77.8	410.0	481.2	31.4	36.8
10	162.3	12.7	67.5	81.5	405.9	490.2	31.4	37.9
11	162.2	12.5	66.3	77.9	401.8	472.7	31.4	36.9
12	161.8	11.9	65.0	71.7	393.6	434.4	31.4	34.6
13	161.8	11.9	63.8	70.1	391.6	430.7	31.4	34.5
14	161.6	12.2	62.5	70.6	389.5	440.1	34.2	38.6
15	163.3	12.5	57.5	67.6	389.5	458.2	37.1	43.6
16	163.0	12.7	60.0	72.1	387.5	465.7	37.1	44.5
17	163.0	12.1	63.8	71.5	391.6	439.0	37.1	41.5
18	162.3	10.2	81.3	75.0	399.8	368.8	37.1	34.2
19	162.0	9.9	100.0	90.4	397.7	359.6	34.2	30.9
20	161.8	10.4	111.3	105.0	397.7	375.2	34.2	32.3
21	161.6	11.1	103.8	105.1	397.7	402.9	37.1	37.5
22	161.1	11.6	90.0	95.9	397.7	424.0	42.8	45.6
23	160.9	12.0	80.0	88.9	397.7	441.9	42.8	47.5
24	160.9	12.4	76.3	88.5	395.7	459.0	42.8	49.6
25	161.0	12.6	75.0	89.2	391.6	465.6	42.8	50.8
26	162.1	12.8	73.8	90.2	389.5	476.2	39.9	48.8
27	162.5	12.7	70.0	84.7	387.5	469.1	39.9	48.3
28	161.7	11.0	78.8	78.5	412.1	410.8	37.1	36.9
29	161.2	9.8	103.8	92.5	434.6	387.3	37.1	33.0
30	161.3	10.0	118.8	107.9	432.6	392.9	37.1	33.7
<b>Media</b>	<b>162.1</b>	<b>11.9</b>	<b>73.7</b>	<b>80.1</b>	<b>400.5</b>	<b>443.0</b>	<b>35.6</b>	<b>39.5</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.17 a Valori măsurate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	91.6	13.8	42	6.8	161	169	7	2.92
2	91.6	14.0	41	6.7	160	168	7	2.98
3	90.9	14.0	42	6.6	159	167	7	3
4	90.9	13.9	42	6.7	160	168	6	2.97
5	90.2	13.4	43	7.1	164	172	6	2.78
6	89.6	12.8	45	7.8	168	177	6	2.55
7	89.2	12.7	49	7.9	171	180	6	2.52
8	88.5	12.9	49	7.7	169	177	6	2.58
9	88.5	13.2	50	7.4	168	177	6	2.68
10	88.3	13.4	51	7.2	168	176	6	2.77
11	88.1	13.5	51	7.1	167	175	5	2.79
12	87.8	13.2	50	7.4	165	173	5	2.68
13	87.6	13.0	49	7.5	162	170	6	2.64
14	87.2	13.0	48	7.5	161	169	6	2.64
15	87.1	13.2	46	7.4	160	168	7	2.7
16	86.7	13.4	46	7.2	161	169	7	2.77
17	86.6	13.3	47	7.3	159	167	6	2.73
18	86.7	12.5	53	8.0	160	168	5	2.48
19	86.4	11.6	66	8.8	162	170	5	2.24
20	86.5	11.6	77	8.9	162	170	6	2.23
21	86.0	11.9	80	8.6	162	170	6	2.3
22	85.9	12.4	74	8.2	161	169	7	2.43
23	85.5	12.7	67	7.8	162	170	7	2.53
24	85.1	13.0	62	7.5	161	169	6	2.63
25	85.2	13.3	58	7.2	161	169	5	2.74
26	85.7	13.5	57	7.1	161	169	5	2.79
27	86.1	13.7	55	6.9	160	168	5	2.86
28	86.0	13.0	56	7.6	163	171	4	2.62
29	85.6	12.0	67	8.5	169	177	4	2.34
30	85.5	11.5	79	9.0	173	182	5	2.21
<b>Media</b>	<b>87.6</b>	<b>13.0</b>	<b>54.7</b>	<b>7.6</b>	<b>163.3</b>	<b>171.5</b>	<b>5.8</b>	<b>2.64</b>

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 151

Tab. 5.17 b Valori raportate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	91.6	13.8	52.5	73.1	346.5	482.5	20.0	27.8
2	91.6	14.0	51.3	72.7	344.4	488.5	20.0	28.3
3	90.9	14.0	52.5	75.0	342.4	489.1	20.0	28.5
4	90.9	13.9	52.5	74.3	344.4	487.1	17.1	24.2
5	90.2	13.4	53.8	71.1	352.6	466.4	17.1	22.6
6	89.6	12.8	56.3	68.3	362.9	440.4	17.1	20.8
7	89.2	12.7	61.3	73.4	369.0	442.4	17.1	20.5
8	88.5	12.9	61.3	75.2	362.9	445.2	17.1	21.0
9	88.5	13.2	62.5	79.8	362.9	463.4	17.1	21.8
10	88.3	13.4	63.8	84.0	360.8	475.4	17.1	22.5
11	88.1	13.5	63.8	84.5	358.8	475.8	14.3	18.9
12	87.8	13.2	62.5	79.9	354.7	453.5	14.3	18.2
13	87.6	13.0	61.3	76.9	348.5	437.8	17.1	21.5
14	87.2	13.0	60.0	75.4	346.5	435.2	17.1	21.5
15	87.1	13.2	57.5	73.8	344.4	442.1	20.0	25.6
16	86.7	13.4	57.5	75.9	346.5	457.1	20.0	26.3
17	86.6	13.3	58.8	76.4	342.4	445.2	17.1	22.2
18	86.7	12.5	66.3	78.3	344.4	407.1	14.3	16.8
19	86.4	11.6	82.5	88.1	348.5	372.3	14.3	15.2
20	86.5	11.6	96.3	102.1	348.5	369.6	17.1	18.1
21	86.0	11.9	100.0	109.5	348.5	381.7	17.1	18.7
22	85.9	12.4	92.5	107.1	346.5	401.0	20.0	23.1
23	85.5	12.7	83.8	101.1	348.5	420.9	20.0	24.1
24	85.1	13.0	77.5	97.1	346.5	434.1	17.1	21.4
25	85.2	13.3	72.5	94.5	346.5	451.7	14.3	18.6
26	85.7	13.5	71.3	94.6	346.5	460.1	14.3	18.9
27	86.1	13.7	68.8	93.5	344.4	468.6	14.3	19.4
28	86.0	13.0	70.0	87.2	350.6	436.6	11.4	14.2
29	85.6	12.0	83.8	93.5	362.9	405.0	11.4	12.7
30	85.5	11.5	98.8	103.9	373.1	392.7	14.3	15.0
<b>Media</b>	<b>87.6</b>	<b>13.0</b>	<b>68.4</b>	<b>84.7</b>	<b>351.5</b>	<b>440.9</b>	<b>16.6</b>	<b>21.0</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%



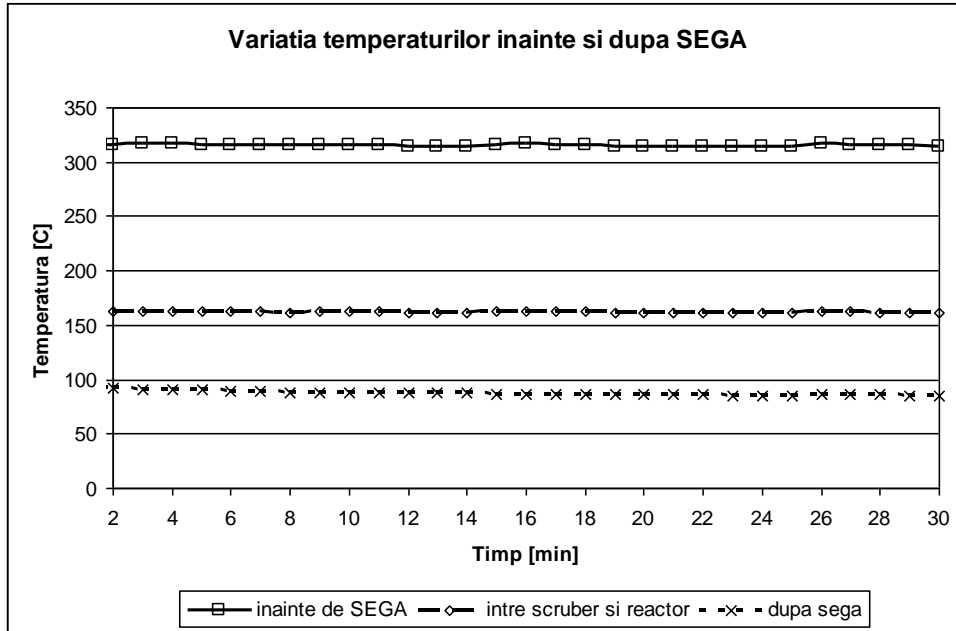


Fig. 5.39 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea boabelor de porumb

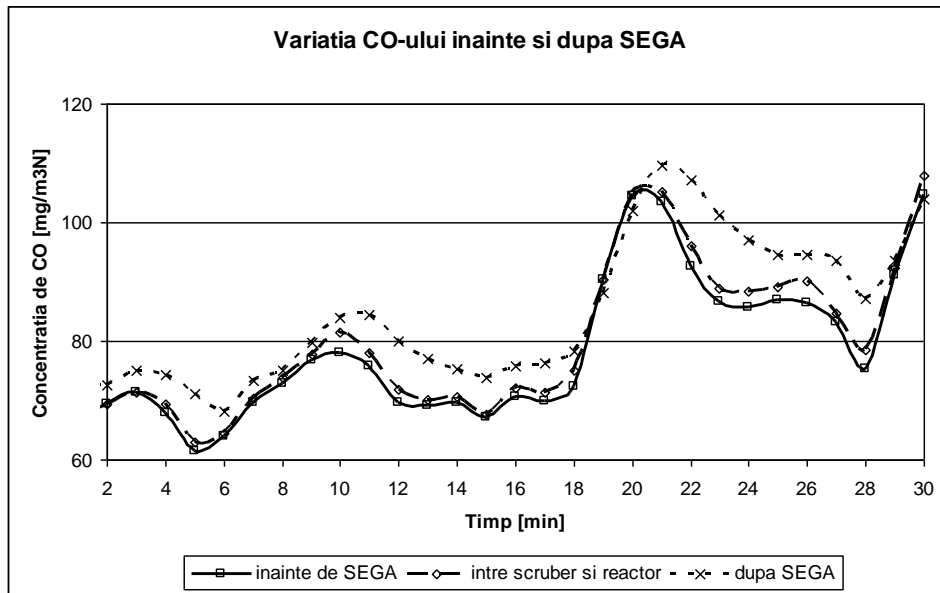


Fig. 5.39 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de porumb

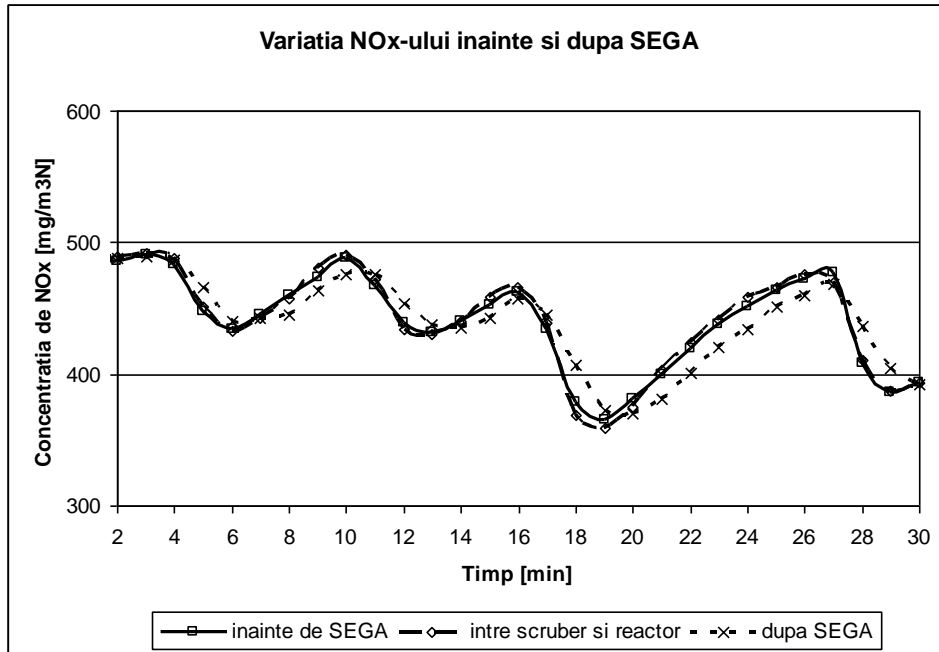


Fig. 5.39 c Variația NO<sub>x</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de porumb

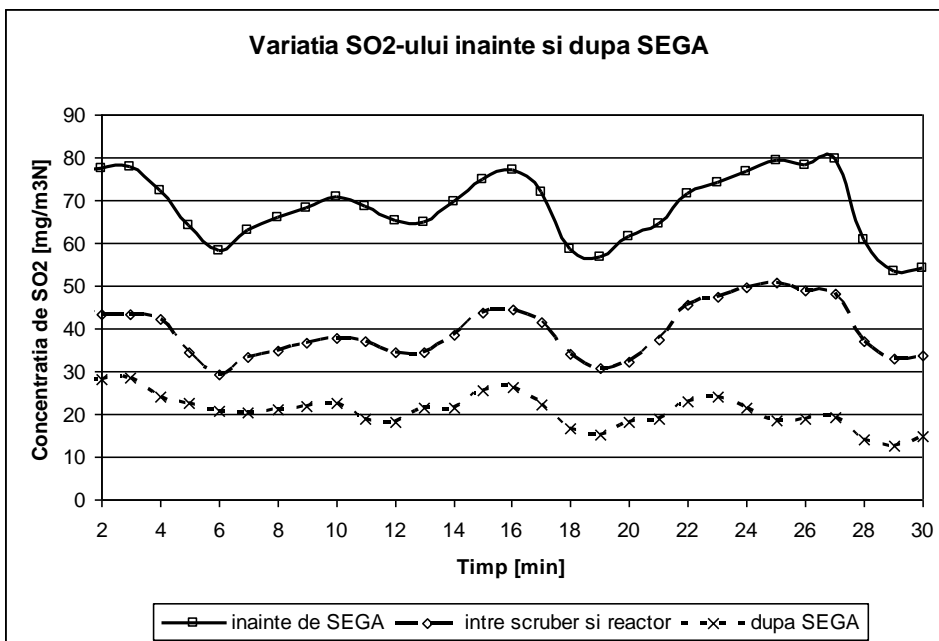


Fig. 5.39 d Variația SO<sub>2</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de porumb

154 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

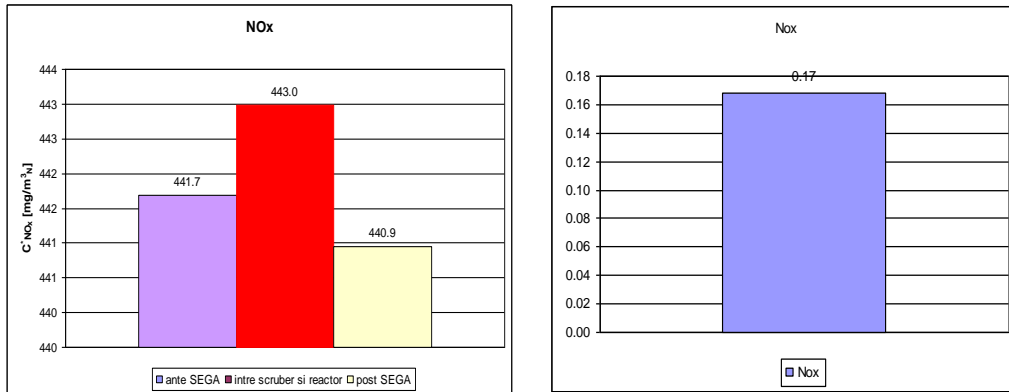


Fig. 5.39 e Concentrația medie și gradul de reținere ale NO<sub>x</sub>-ului

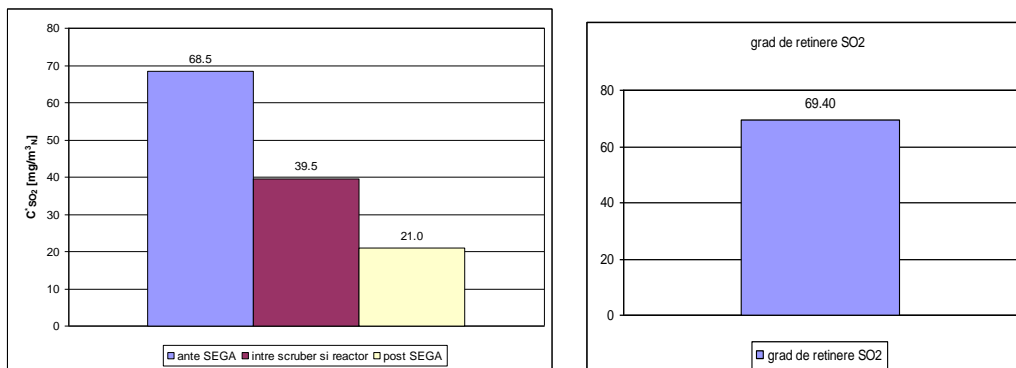


Fig. 5.39 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO<sub>2</sub>-ului

**2) Știuleți de porumb**

Tab. 5.18 a Valori măsurate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	288.1	13.02	52	7.52	97	99	7	2.63
2	288.2	13.11	65	7.44	94	97	6	2.66
3	287.8	13.14	85	7.41	92	95	6	2.67
4	287.9	13.14	99	7.41	90	93	5	2.67
5	287.5	13.17	99	7.38	89	91	5	2.68
6	287.8	13.17	87	7.38	86	99	4	2.68
7	287.9	13.22	83	7.34	86	97	4	2.7
8	287.6	13.32	79	7.24	91	95	4	2.73
9	287.7	13.36	76	7.21	94	99	3	2.75
10	287.4	13.33	77	7.23	94	97	2	2.74
11	288	13.24	79	7.32	91	95	3	2.71
12	287.2	13.22	79	7.34	90	93	3	2.7
13	285.1	13.22	75	7.33	96	99	3	2.7
14	284.1	13.23	70	7.32	94	97	3	2.7
15	282.9	13.27	66	7.29	92	95	4	2.72
16	282.2	13.75	67	6.84	89	93	3	2.9
17	281.4	14.79	67	5.85	86	91	2	3.38
18	281	15.54	57	5.15	97	99	1	3.85
19	279.9	16.16	52	4.56	95	97	1	4.34
20	279	16.77	51	3.99	91	95	2	4.96
21	277.9	17.14	54	3.64	97	99	3	5.44
22	277.6	17.45	55	3.34	94	97	4	5.92
23	276.9	17.75	59	3.06	92	95	6	6.47
24	276.1	17.9	59	2.93	90	93	7	6.77
25	275.5	18.03	61	2.8	88	91	7	7.07
26	274.8	18.11	62	2.73	86	90	7	7.26
27	273.7	18.16	64	2.68	90	93	7	7.39
28	273.7	18.18	69	2.66	90	93	7	7.45
29	273.8	18.22	72	2.62	86	91	7	7.56
30	273.5	18.25	75	2.6	86	90	6	7.62
<b>Media</b>	<b>282.1</b>	<b>15.1</b>	<b>69.8</b>	<b>5.5</b>	<b>91.1</b>	<b>94.9</b>	<b>4.4</b>	<b>4.29</b>

Tab. 5.18 b Valori raportate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	288.1	13.02	65.0	81.5	203.0	254.3	20.0	25.0
2	288.2	13.11	81.3	103.0	198.9	252.0	17.1	21.7
3	287.8	13.14	106.3	135.2	194.8	247.8	17.1	21.8
4	287.9	13.14	123.8	157.4	190.7	242.6	14.3	18.1
5	287.5	13.17	123.8	158.0	186.6	238.3	14.3	18.2
6	287.8	13.17	108.8	138.9	203.0	259.2	11.4	14.6
7	287.9	13.22	103.8	133.4	198.9	255.6	11.4	14.7
8	287.6	13.32	98.8	128.6	194.8	253.6	11.4	14.8
9	287.7	13.36	95.0	124.3	203.0	265.6	8.6	11.2
10	287.4	13.33	96.3	125.5	198.9	259.3	5.7	7.4
11	288	13.24	98.8	127.3	194.8	251.0	8.6	11.0
12	287.2	13.22	98.8	126.9	190.7	245.1	8.6	11.0
13	285.1	13.22	93.8	120.5	203.0	260.9	8.6	11.0
14	284.1	13.23	87.5	112.6	198.9	255.9	8.6	11.0
15	282.9	13.27	82.5	106.7	194.8	251.9	11.4	14.7
16	282.2	13.75	83.8	115.5	190.7	263.0	8.6	11.8
17	281.4	14.79	83.8	134.9	186.6	300.4	5.7	9.2
18	281	15.54	71.3	130.5	203.0	371.7	2.9	5.2
19	279.9	16.16	65.0	134.3	198.9	410.8	2.9	5.9
20	279	16.77	63.8	150.7	194.8	460.4	5.7	13.5
21	277.9	17.14	67.5	174.9	203.0	525.8	8.6	22.2
22	277.6	17.45	68.8	193.7	198.9	560.1	11.4	32.1
23	276.9	17.75	73.8	226.9	194.8	599.2	17.1	52.6
24	276.1	17.9	73.8	237.9	190.7	615.0	20.0	64.4
25	275.5	18.03	76.3	256.7	186.6	628.1	20.0	67.2
26	274.8	18.11	77.5	268.2	184.5	638.4	20.0	69.0
27	273.7	18.16	80.0	281.7	190.8	672.0	20.0	70.2
28	273.7	18.18	86.3	305.9	190.7	676.1	20.0	70.7
29	273.8	18.22	90.0	323.7	186.6	671.0	20.0	71.8
30	273.5	18.25	93.8	340.9	184.5	670.9	17.1	62.2
<b>Media</b>	<b>282.1</b>	<b>15.1</b>	<b>87.3</b>	<b>171.9</b>	<b>194.6</b>	<b>395.2</b>	<b>12.5</b>	<b>28.5</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 157

Tab. 5.19 a Valori măsurate între scruber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	146.1	13.29	98	7.27	78	82	12	2.72
2	146.1	13.33	93	7.23	76	80	11	2.74
3	146.1	13.31	86	7.25	74	78	10	2.73
4	146.3	13.3	85	7.26	78	82	10	2.73
5	145.9	13.3	86	7.26	76	80	9	2.73
6	145.6	13.36	88	7.2	74	78	9	2.75
7	145.9	13.49	87	7.08	74	78	8	2.8
8	146	13.53	82	7.04	78	82	7	2.81
9	146	13.46	76	7.11	78	82	6	2.79
10	145.6	13.33	75	7.23	76	80	7	2.74
11	145.7	13.28	75	7.28	74	78	8	2.72
12	145.2	13.33	74	7.23	78	82	9	2.74
13	144.6	13.32	63	7.24	76	80	9	2.73
14	144	13.38	59	7.18	74	78	10	2.76
15	143.3	13.99	60	6.61	74	78	10	2.99
16	143.1	15.13	62	5.54	77	81	8	3.58
17	142.5	16.37	65	4.37	78	82	6	4.53
18	142.3	17.04	67	3.73	76	80	6	5.31
19	142.4	17.48	68	3.32	74	78	7	5.97
20	142.1	17.84	69	2.98	74	78	8	6.65
21	141.7	18.08	70	2.75	77	81	9	7.2
22	141.9	18.26	76	2.58	81	85	9	7.66
23	141.3	18.37	79	2.48	81	85	9	7.99
24	141.2	18.41	82	2.44	79	83	9	8.11
25	140.8	18.42	80	2.43	78	82	9	8.14
26	140.6	18.43	81	2.43	78	82	7	8.16
27	140.3	18.43	80	2.42	76	80	6	8.18
28	140.6	18.45	79	2.41	74	78	6	8.22
29	140.2	18.45	79	2.4	74	78	4	8.25
30	139.7	18.39	80	2.46	77	81	2	8.05
<b>Media</b>	<b>143.4</b>	<b>15.6</b>	<b>76.8</b>	<b>5.1</b>	<b>76.4</b>	<b>80.4</b>	<b>8.0</b>	<b>4.92</b>

Tab. 5.19 b Valori raportate între scrubber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> N]	CO* [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]
1	146.1	13.29	122.5	158.9	168.1	218.0	34.2	44.4
2	146.1	13.33	116.3	151.6	164.0	213.8	31.4	40.9
3	146.1	13.31	107.5	139.8	159.9	207.9	28.5	37.1
4	146.3	13.3	106.3	138.0	168.1	218.3	28.5	37.0
5	145.9	13.3	107.5	139.6	164.0	213.0	25.7	33.3
6	145.6	13.36	110.0	144.0	159.9	209.3	25.7	33.6
7	145.9	13.49	108.8	144.8	159.9	212.9	22.8	30.4
8	146	13.53	102.5	137.2	168.1	225.0	20.0	26.7
9	146	13.46	95.0	126.0	168.1	222.9	17.1	22.7
10	145.6	13.33	93.8	122.2	164.0	213.8	20.0	26.0
11	145.7	13.28	93.8	121.4	159.9	207.1	22.8	29.5
12	145.2	13.33	92.5	120.6	168.1	219.2	25.7	33.4
13	144.6	13.32	78.8	102.5	164.0	213.5	25.7	33.4
14	144	13.38	73.8	96.8	159.9	209.8	28.5	37.4
15	143.3	13.99	75.0	107.0	159.9	228.1	28.5	40.7
16	143.1	15.13	77.5	132.0	166.1	282.9	22.8	38.8
17	142.5	16.37	81.3	175.5	168.1	363.1	17.1	36.9
18	142.3	17.04	83.8	211.5	164.0	414.1	17.1	43.2
19	142.4	17.48	85.0	241.5	159.9	454.3	20.0	56.7
20	142.1	17.84	86.3	272.9	159.9	506.0	22.8	72.2
21	141.7	18.08	87.5	299.7	166.1	568.7	25.7	87.8
22	141.9	18.26	95.0	346.7	174.3	636.0	25.7	93.6
23	141.3	18.37	98.8	375.5	174.3	662.5	26.5	100.8
24	141.2	18.41	102.5	395.8	170.2	656.9	25.7	99.0
25	140.8	18.42	100.6	390.0	168.1	651.6	25.7	99.4
26	140.6	18.43	101.3	394.0	168.1	654.1	20.0	77.6
27	140.3	18.43	99.7	388.0	164.0	638.1	17.1	66.5
28	140.6	18.45	98.4	386.0	159.9	627.1	17.1	67.1
29	140.2	18.45	98.9	388.0	159.9	627.1	11.4	44.7
30	139.7	18.39	100.2	384.0	166.1	636.2	5.7	21.8
<b>Media</b>	<b>143.4</b>	<b>15.6</b>	<b>96.0</b>	<b>224.4</b>	<b>164.8</b>	<b>387.0</b>	<b>22.8</b>	<b>50.4</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.20 a Valori măsurate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	73.5	14.2	93	6.4	70	74	0	3.1
2	73.0	14.3	85	6.4	69	72	0	3.12
3	72.8	14.2	79	6.4	68	71	0	3.11
4	72.5	14.2	77	6.4	67	74	0	3.11
5	72.3	14.3	76	6.4	69	72	0	3.11
6	72.3	14.3	77	6.3	68	71	0	3.13
7	72.0	14.3	77	6.3	67	70	0	3.15
8	71.7	14.4	73	6.2	70	74	0	3.19
9	71.3	14.4	70	6.3	69	72	0	3.16
10	71.1	14.2	67	6.4	70	74	0	3.1
11	71.0	14.2	66	6.4	69	72	0	3.08
12	70.4	14.2	64	6.4	68	71	0	3.09
13	70.2	14.3	59	6.4	67	70	0	3.11
14	69.7	14.4	55	6.2	68	71	0	3.17
15	69.5	14.8	53	5.9	70	74	0	3.37
16	69.0	15.6	53	5.1	69	72	0	3.86
17	68.4	16.6	55	4.1	68	71	0	4.82
18	67.9	17.4	57	3.4	67	70	0	5.78
19	67.6	17.9	58	3.0	68	71	0	6.68
20	67.2	18.3	59	2.6	70	74	0	7.65
21	66.9	18.5	61	2.4	70	74	0	8.33
22	66.9	18.7	63	2.2	70	74	0	8.95
23	66.8	18.8	67	2.1	67	74	0	9.44
24	66.3	18.8	70	2.1	72	76	1	9.66
25	66.0	18.9	73	2.0	71	75	0	9.83
26	65.7	18.9	78	2.0	70	74	0	9.92
27	65.4	18.9	82	2.0	69	72	0	9.92
28	65.3	18.9	82	2.0	68	71	0	9.98
29	65.3	18.9	83	2.0	67	70	1	10.01
30	65.3	18.9	85	2.0	68	71	1	9.77
<b>Media</b>	<b>69.1</b>	<b>16.3</b>	<b>69.9</b>	<b>4.5</b>	<b>68.8</b>	<b>72.4</b>	<b>0.1</b>	<b>5.72</b>



Tab. 5.20 b Valori raportate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> N]	CO* [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]
1	73.5	14.2	116.3	171.5	151.7	223.7	0.0	0.0
2	73.0	14.3	106.3	157.9	147.6	219.3	0.0	0.0
3	72.8	14.2	98.8	146.1	145.6	215.3	0.0	0.0
4	72.5	14.2	96.3	142.4	151.7	224.4	0.0	0.0
5	72.3	14.3	95.0	140.7	147.6	218.7	0.0	0.0
6	72.3	14.3	96.3	143.4	145.6	216.9	0.0	0.0
7	72.0	14.3	96.3	144.5	143.5	215.5	0.0	0.0
8	71.7	14.4	91.3	138.5	151.7	230.2	0.0	0.0
9	71.3	14.4	87.5	131.8	147.6	222.3	0.0	0.0
10	71.1	14.2	83.8	123.5	151.7	223.7	0.0	0.0
11	71.0	14.2	82.5	121.1	147.6	216.7	0.0	0.0
12	70.4	14.2	80.0	117.6	145.6	214.0	0.0	0.0
13	70.2	14.3	73.8	109.3	143.5	212.6	0.0	0.0
14	69.7	14.4	68.8	103.9	145.6	219.9	0.0	0.0
15	69.5	14.8	66.3	106.5	151.7	243.9	0.0	0.0
16	69.0	15.6	66.3	121.8	147.6	271.3	0.0	0.0
17	68.4	16.6	68.8	157.7	145.6	333.8	0.0	0.0
18	67.9	17.4	71.3	196.3	143.5	395.3	0.0	0.0
19	67.6	17.9	72.5	230.9	145.6	463.5	0.0	0.0
20	67.2	18.3	73.8	269.2	151.7	553.6	0.0	0.0
21	66.9	18.5	76.3	302.6	151.7	602.0	0.0	0.0
22	66.9	18.7	78.8	335.1	151.7	645.5	0.0	0.0
23	66.8	18.8	83.8	375.6	151.7	680.3	0.0	0.0
24	66.3	18.8	87.5	403.2	155.8	718.0	2.9	13.1
25	66.0	18.9	91.3	426.4	153.8	718.5	0.0	0.0
26	65.7	18.9	97.5	459.9	151.7	715.6	0.0	0.0
27	65.4	18.9	102.5	483.5	147.6	696.2	0.0	0.0
28	65.3	18.9	102.7	489.0	145.6	693.1	0.0	0.0
29	65.3	18.9	104.4	497.0	143.5	683.3	2.9	13.6
30	65.3	18.9	106.0	493.0	145.6	677.0	2.9	13.3
<b>Media</b>	<b>69.1</b>	<b>16.3</b>	<b>87.4</b>	<b>241.3</b>	<b>148.4</b>	<b>405.5</b>	<b>0.3</b>	<b>1.3</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

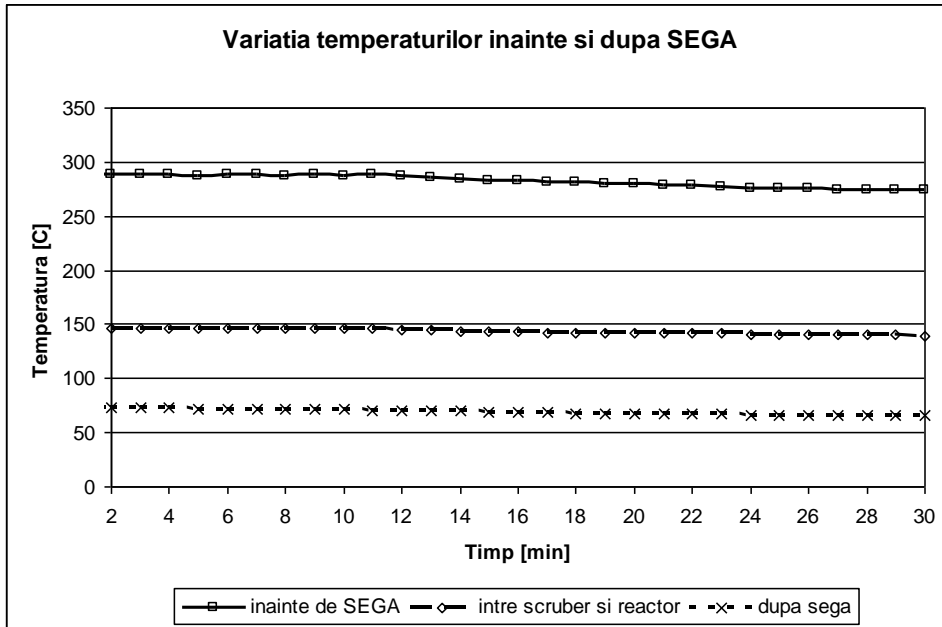


Fig. 5.40 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea știuleților de porumb

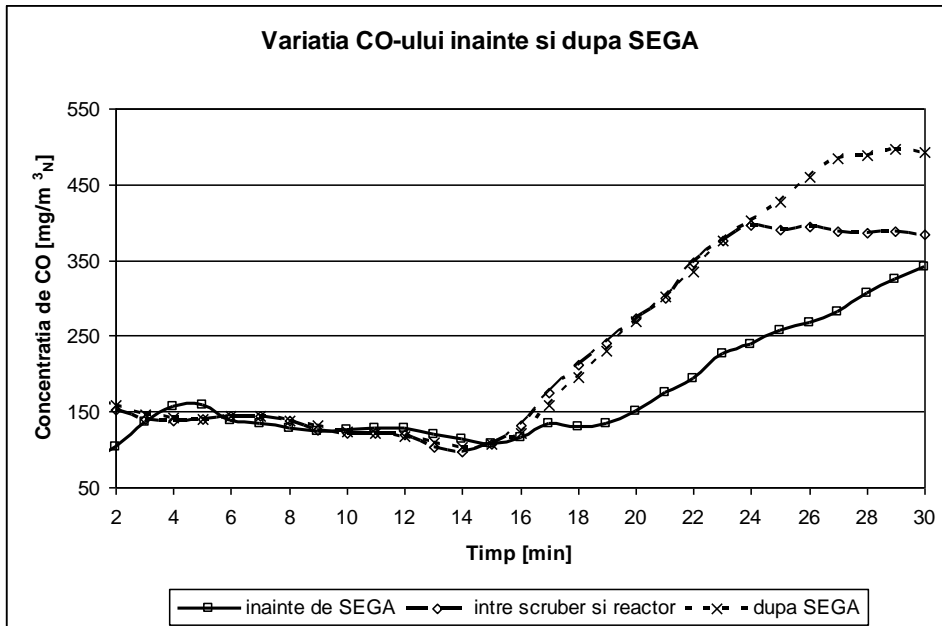


Fig. 5.40 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea știuleților de porumb

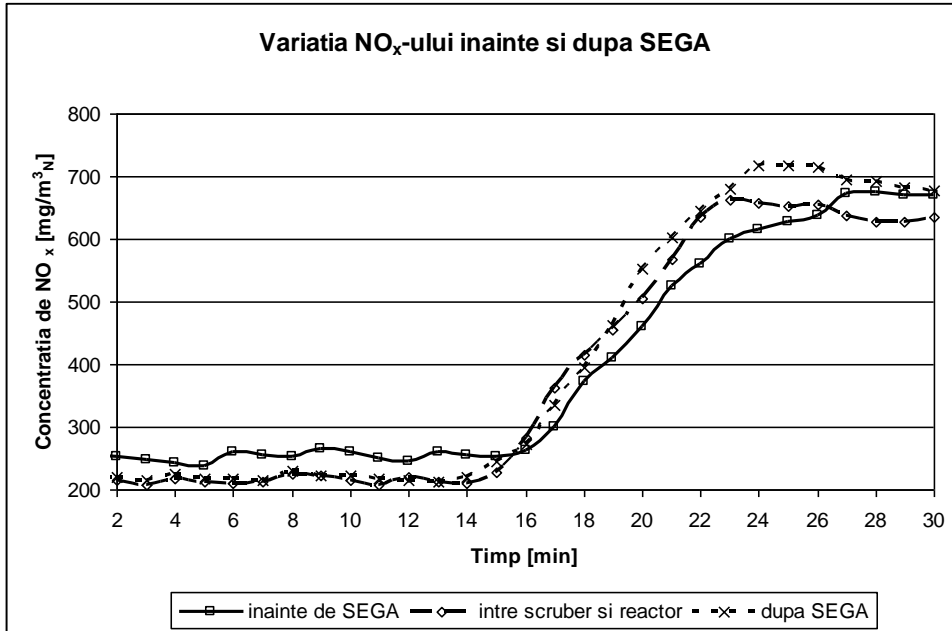


Fig. 5.40 c Variația NO<sub>x</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea știuleților de porumb

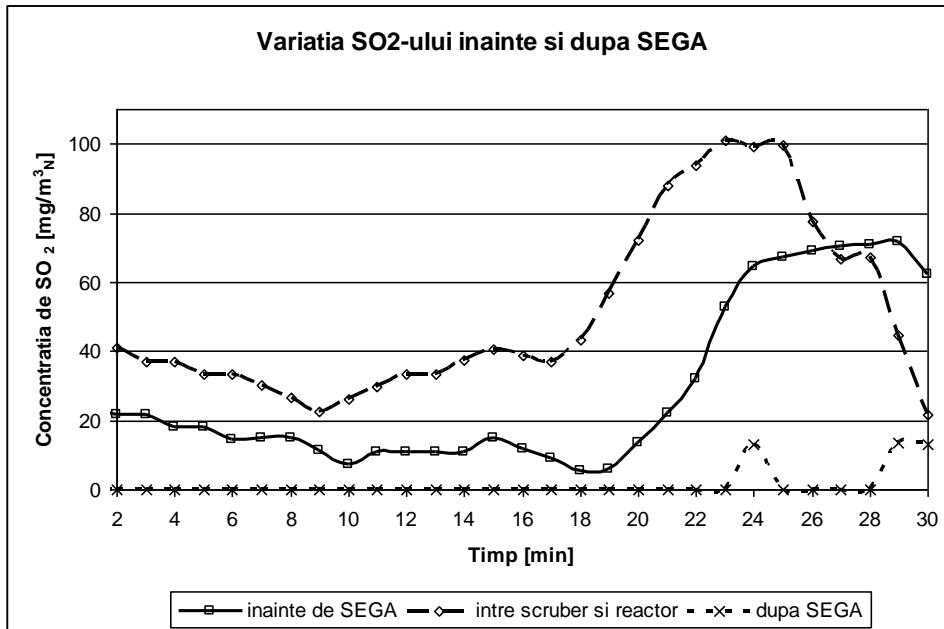


Fig. 5.40 d Variația SO<sub>2</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea știuleților de porumb

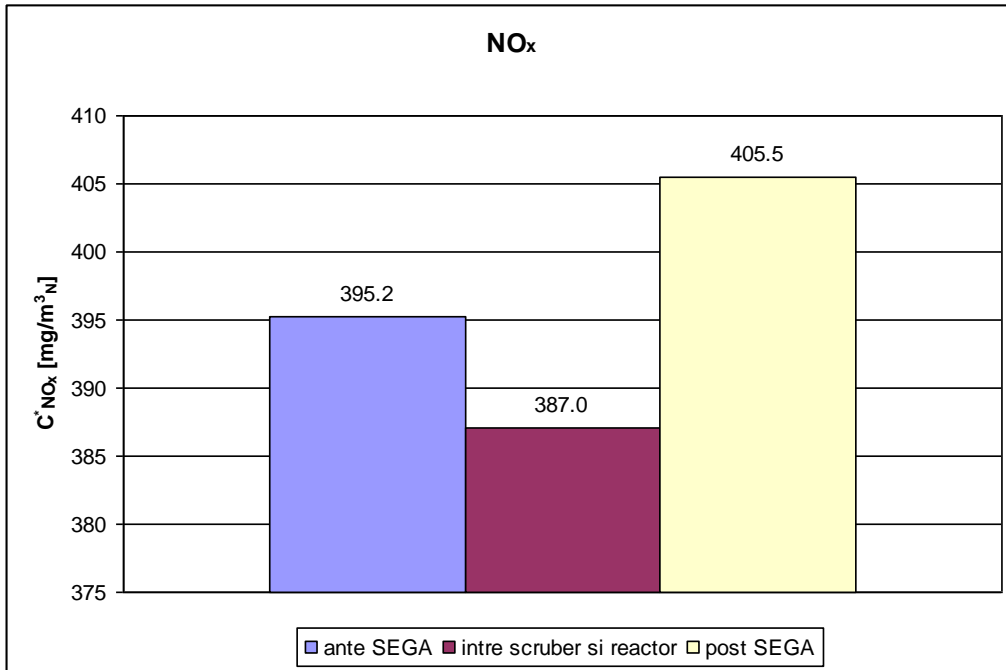


Fig. 5.40 e Concentrația medie a NO<sub>x</sub>-ului

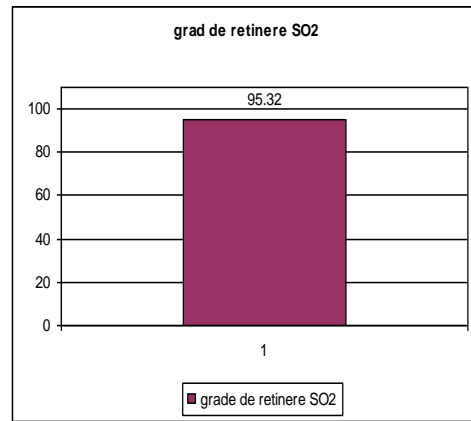
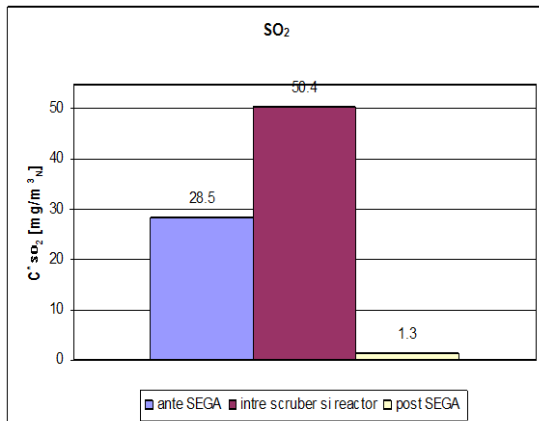


Fig. 5.40 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO<sub>2</sub>-ului

**3) Pleavă rezultată la decorticarea boabelor de porumb**

Tab. 5.21 a Valori măsurate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	281.9	14.1	31	6.53	216	227	20	3.03
2	281.5	14.2	31	6.38	215	226	19	3.1
3	281.3	14.3	30	6.30	212	223	19	3.14
4	281.4	14.4	30	6.23	211	222	19	3.18
5	281.0	14.5	31	6.17	209	219	19	3.21
6	281.1	14.5	31	6.12	206	217	18	3.23
7	283.6	14.6	31	6.00	204	214	18	3.3
8	283.0	14.6	36	6.02	202	212	18	3.29
9	282.6	13.8	36	6.80	213	224	18	2.91
10	282.6	12.7	32	7.84	230	242	17	2.53
11	281.9	12.6	26	7.94	235	247	17	2.49
12	281.7	12.8	25	7.74	232	244	17	2.56
13	281.9	13.2	25	7.36	226	238	17	2.69
14	282.0	13.5	29	7.08	219	229	17	2.8
15	282.0	13.7	33	6.88	215	226	17	2.88
16	281.9	13.7	35	6.87	215	226	18	2.88
17	282.0	13.6	35	6.94	220	231	18	2.85
18	281.7	13.6	35	6.95	221	232	18	2.85
19	281.9	13.6	36	6.99	220	231	18	2.83
20	281.7	13.5	38	7.10	222	233	18	2.79
21	282.2	13.4	40	7.21	226	237	18	2.74
22	282.2	13.3	43	7.31	232	243	18	2.71
23	282.1	13.2	42	7.38	238	249	17	2.68
24	281.7	13.1	39	7.47	241	253	17	2.65
25	282.0	13.0	40	7.54	241	253	17	2.63
26	282.6	13.0	40	7.54	240	252	17	2.63
27	282.3	13.0	42	7.51	238	250	17	2.63
28	282.1	13.0	46	7.58	238	249	17	2.61
29	282.2	12.8	46	7.76	238	250	17	2.55
30	281.9	12.8	45	7.72	237	248	16	2.56
<b>Media</b>	<b>282.0</b>	<b>13.5</b>	<b>35.3</b>	<b>7.0</b>	<b>223.7</b>	<b>234.9</b>	<b>17.7</b>	<b>2.83</b>

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 165

Tab. 5.21 b Valori raportate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	281.9	14.1	38.8	56.0	465.4	672.5	57.0	82.4
2	281.5	14.2	38.8	57.2	463.3	684.3	54.2	80.0
3	281.3	14.3	37.5	56.1	457.2	683.3	54.2	80.9
4	281.4	14.4	37.5	56.8	455.1	689.5	54.2	82.0
5	281.0	14.5	38.8	59.3	449.0	686.5	52.8	80.8
6	281.1	14.5	38.8	59.7	444.9	685.4	51.3	79.0
7	283.6	14.6	38.8	60.9	438.7	689.8	51.3	80.7
8	283.0	14.6	45.0	70.4	434.6	680.1	51.3	80.3
9	282.6	13.8	45.0	62.4	459.2	636.9	51.3	71.2
10	282.6	12.7	40.0	48.1	496.1	597.0	49.4	59.5
11	281.9	12.6	32.5	38.6	506.4	601.4	48.5	57.5
12	281.7	12.8	31.3	38.1	500.2	609.3	48.5	59.0
13	281.9	13.2	31.3	40.0	487.9	624.7	48.5	62.0
14	282.0	13.5	36.3	48.3	469.5	625.1	48.5	64.5
15	282.0	13.7	41.3	56.5	463.3	634.7	48.5	66.4
16	281.9	13.7	43.8	60.0	463.3	635.5	51.3	70.4
17	282.0	13.6	43.8	59.4	473.6	643.4	51.3	69.7
18	281.7	13.6	43.8	59.4	475.6	645.3	51.3	69.6
19	281.9	13.6	45.0	60.6	473.6	638.2	51.3	69.1
20	281.7	13.5	47.5	63.1	477.7	634.3	51.3	68.1
21	282.2	13.4	50.0	65.4	485.9	635.1	51.3	67.1
22	282.2	13.3	53.8	69.4	498.2	642.8	51.3	66.2
23	282.1	13.2	52.5	67.0	510.5	651.9	48.5	61.9
24	281.7	13.1	48.8	61.5	518.7	654.0	48.5	61.1
25	282.0	13.0	50.0	62.5	518.7	648.3	48.5	60.6
26	282.6	13.0	50.0	62.5	516.6	645.8	48.5	60.6
27	282.3	13.0	52.5	65.9	512.5	643.0	48.5	60.8
28	282.1	13.0	57.5	71.5	510.5	634.9	48.5	60.3
29	282.2	12.8	57.5	69.9	512.5	622.7	48.5	58.9
30	281.9	12.8	56.3	68.7	508.4	620.8	45.6	55.7
<b>Media</b>	<b>282.0</b>	<b>13.5</b>	<b>44.1</b>	<b>59.2</b>	<b>481.5</b>	<b>646.6</b>	<b>50.4</b>	<b>68.2</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.22 a Valori măsurate între scrubber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	142.1	14.28	31	6.34	211	222	9	3.12
2	142.1	14.45	30	6.17	209	220	9	3.21
3	141.9	14.52	30	6.11	207	217	9	3.24
4	141.7	14.57	31	6.07	206	216	9	3.26
5	141.8	14.62	30	6.01	204	214	9	3.29
6	143.6	14.69	31	5.95	201	211	8	3.33
7	142.9	14.79	33	5.85	198	207	8	3.38
8	142.9	14.69	36	5.95	196	206	8	3.33
9	142.4	13.69	36	6.90	211	222	8	2.87
10	141.9	12.74	31	7.78	229	240	8	2.54
11	142	12.62	26	7.90	233	245	8	2.51
12	141.9	12.92	25	7.62	228	239	8	2.6
13	141.8	13.29	26	7.27	221	232	8	2.73
14	141.5	13.72	30	6.86	212	223	9	2.88
15	141.8	13.91	34	6.68	208	218	10	2.96
16	141.8	13.9	36	6.70	211	221	10	2.96
17	141.7	13.81	35	6.78	216	227	10	2.92
18	141.4	13.78	36	6.81	217	228	10	2.91
19	142	13.73	37	6.86	216	227	10	2.89
20	141.7	13.59	39	6.99	218	229	10	2.83
21	141.6	13.44	41	7.12	222	234	10	2.78
22	142	13.36	42	7.21	229	240	9	2.75
23	141.7	13.27	42	7.29	236	247	9	2.71
24	141.6	13.17	40	7.38	237	249	9	2.68
25	141.3	13.11	40	7.44	237	249	9	2.66
26	141.9	13.13	41	7.42	236	248	9	2.67
27	141.7	13.16	44	7.39	234	245	9	2.68
28	141.8	13.1	47	7.45	233	245	9	2.66
29	141.5	12.87	47	7.66	235	246	9	2.58
30	141.8	12.93	46	7.61	232	243	9	2.6
<b>Media</b>	<b>141.9</b>	<b>13.7</b>	<b>35.8</b>	<b>6.9</b>	<b>219.4</b>	<b>230.3</b>	<b>9.0</b>	<b>2.88</b>

Tab. 5.22 b Valori raportate între scrubber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	142.1	14.28	38.8	57.7	455.1	677.2	25.7	38.2
2	142.1	14.45	37.5	57.3	451.0	688.5	25.7	39.2
3	141.9	14.52	37.5	57.9	444.9	686.5	25.0	38.6
4	141.7	14.57	38.8	60.3	442.8	688.6	25.7	39.9
5	141.8	14.62	37.5	58.8	438.7	687.6	25.7	40.2
6	143.6	14.69	38.8	61.4	432.6	685.5	23.7	37.5
7	142.9	14.79	41.3	66.4	424.4	683.3	23.0	37.1
8	142.9	14.69	45.0	71.3	422.3	669.3	22.8	36.1
9	142.4	13.69	45.0	61.6	455.1	622.6	22.8	31.2
10	141.9	12.74	38.8	46.9	492.0	595.6	22.8	27.6
11	142	12.62	32.5	38.8	502.3	599.3	22.8	27.2
12	141.9	12.92	31.3	38.7	490.0	606.4	22.8	28.2
13	141.8	13.29	32.5	42.2	475.6	616.9	22.8	29.6
14	141.5	13.72	37.5	51.5	457.2	628.0	25.7	35.2
15	141.8	13.91	42.5	59.9	446.9	630.3	28.5	40.2
16	141.8	13.9	45.0	63.4	453.1	638.1	28.5	40.1
17	141.7	13.81	43.8	60.8	465.4	647.2	28.5	39.6
18	141.4	13.78	45.0	62.3	467.4	647.4	28.5	39.5
19	142	13.73	46.3	63.6	465.4	640.1	28.5	39.2
20	141.7	13.59	48.8	65.8	469.5	633.5	28.5	38.5
21	141.6	13.44	51.3	67.8	479.7	634.5	28.5	37.7
22	142	13.36	52.5	68.7	492.0	644.0	25.7	33.6
23	141.7	13.27	52.5	67.9	506.4	655.0	25.7	33.2
24	141.6	13.17	50.0	63.9	510.5	651.9	26.6	34.0
25	141.3	13.11	50.0	63.4	510.5	647.0	25.7	32.5
26	141.9	13.13	51.3	65.1	508.4	646.0	25.7	32.6
27	141.7	13.16	55.0	70.2	502.3	640.6	25.7	32.7
28	141.8	13.1	58.8	74.4	502.3	635.8	25.7	32.5
29	141.5	12.87	58.8	72.3	504.3	620.3	25.7	31.5
30	141.8	12.93	57.5	71.3	498.2	617.3	25.7	31.8
<b>Media</b>	<b>141.9</b>	<b>13.7</b>	<b>44.7</b>	<b>61.0</b>	<b>472.2</b>	<b>645.5</b>	<b>25.6</b>	<b>35.2</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%



Tab. 5.23 a Valori măsurate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	72.1	15.11	31	5.55	186	195	0	3.57
2	71.4	15.23	30	5.44	185	194	0	3.64
3	71.2	15.3	30	5.37	184	193	0	3.69
4	70.9	15.36	30	5.32	183	192	0	3.72
5	70.6	15.41	31	5.27	181	190	0	3.76
6	70.3	15.45	31	5.23	179	188	0	3.79
7	69.9	15.46	33	5.22	179	188	0	3.79
8	70	15.38	36	5.3	178	187	0	3.74
9	69.9	14.77	36	5.87	186	195	0	3.37
10	69.6	14.03	33	6.57	199	208	0	3.01
11	69.6	13.67	28	6.91	206	216	0	2.87
12	69.4	13.78	26	6.81	205	215	0	2.91
13	69.2	14.05	26	6.55	200	210	0	3.02
14	68.6	14.45	29	6.17	192	202	0	3.21
15	68.2	14.5	33	6.1	189	198	0	3.25
16	68.2	14.5	35	6.1	190	199	1	3.25
17	68.2	14.5	36	6.1	191	201	1	3.25
18	68.2	14.5	37	6.1	194	203	1	3.25
19	68.2	14.5	37	6.1	194	203	1	3.25
20	68.2	14.5	38	6.1	195	205	1	3.25
21	68.2	14.5	40	6.1	199	209	1	3.25
22	68.2	14.5	42	6.1	204	214	1	3.25
23	68.2	14.5	42	6.1	208	219	1	3.25
24	68.2	14.5	40	6.1	213	224	0	3.25
25	68.2	14.5	40	6.1	213	224	0	3.25
26	68.2	14.5	41	6.1	213	224	0	3.25
27	68.2	14.5	43	6.1	211	222	0	3.25
28	68.2	14.5	46	6.1	211	222	0	3.25
29	68.2	14.5	47	6.1	212	222	0	3.25
30	68.2	14.5	46	6.1	211	221	0	3.25
<b>Media</b>	<b>68.2</b>	<b>14.5</b>	<b>35.8</b>	<b>6.1</b>	<b>196.4</b>	<b>206.1</b>	<b>0.3</b>	<b>3.25</b>

Tab. 5.23 b Valori raportate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	72.1	15.11	38.8	65.8	399.8	678.7	0.0	0.0
2	71.4	15.23	37.5	65.0	397.7	689.3	0.0	0.0
3	71.2	15.3	37.5	65.8	395.7	694.1	0.0	0.0
4	70.9	15.36	37.5	66.5	393.6	697.9	0.0	0.0
5	70.6	15.41	38.8	69.3	389.5	696.8	0.0	0.0
6	70.3	15.45	38.8	69.8	385.4	694.4	0.0	0.0
7	69.9	15.46	41.3	74.5	385.4	695.7	0.0	0.0
8	70	15.38	45.0	80.1	383.4	682.1	0.0	0.0
9	69.9	14.77	45.0	72.2	399.8	641.7	0.0	0.0
10	69.6	14.03	41.3	59.2	426.4	611.8	0.0	0.0
11	69.6	13.67	35.0	47.7	442.8	604.1	0.0	0.0
12	69.4	13.78	32.5	45.0	440.8	610.5	0.0	0.0
13	69.2	14.05	32.5	46.8	430.5	619.4	0.0	0.0
14	68.6	14.45	36.3	55.3	414.1	632.2	0.0	0.0
15	68.4	14.64	41.3	64.9	405.9	638.2	0.0	0.0
16	67.9	14.67	43.8	69.1	408.0	644.5	2.9	4.5
17	67.5	14.6	45.0	70.3	412.1	643.8	2.9	4.5
18	67.1	14.58	46.3	72.0	416.2	648.2	2.9	4.4
19	66.9	14.54	46.3	71.6	416.2	644.2	2.9	4.4
20	66.7	14.39	47.5	71.9	420.3	635.8	2.9	4.3
21	66.5	14.3	50.0	74.6	428.5	639.5	2.9	4.3
22	66.3	14.2	52.5	77.2	438.7	645.1	2.9	4.2
23	66.2	14.11	52.5	76.2	449.0	651.6	2.9	4.1
24	66	14.03	50.0	71.7	459.2	658.8	0.0	0.0
25	66	13.94	50.0	70.8	459.2	650.4	0.0	0.0
26	65.8	13.92	51.3	72.4	459.2	648.6	0.0	0.0
27	66	13.95	53.8	76.2	455.1	645.5	0.0	0.0
28	66.1	13.91	57.5	81.1	455.1	641.9	0.0	0.0
29	65.8	13.75	58.8	81.0	455.1	627.7	0.0	0.0
30	65.5	13.73	57.5	79.1	453.1	623.2	0.0	0.0
<b>Media</b>	<b>68.2</b>	<b>14.5</b>	<b>44.7</b>	<b>68.8</b>	<b>422.5</b>	<b>651.2</b>	<b>0.8</b>	<b>1.2</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

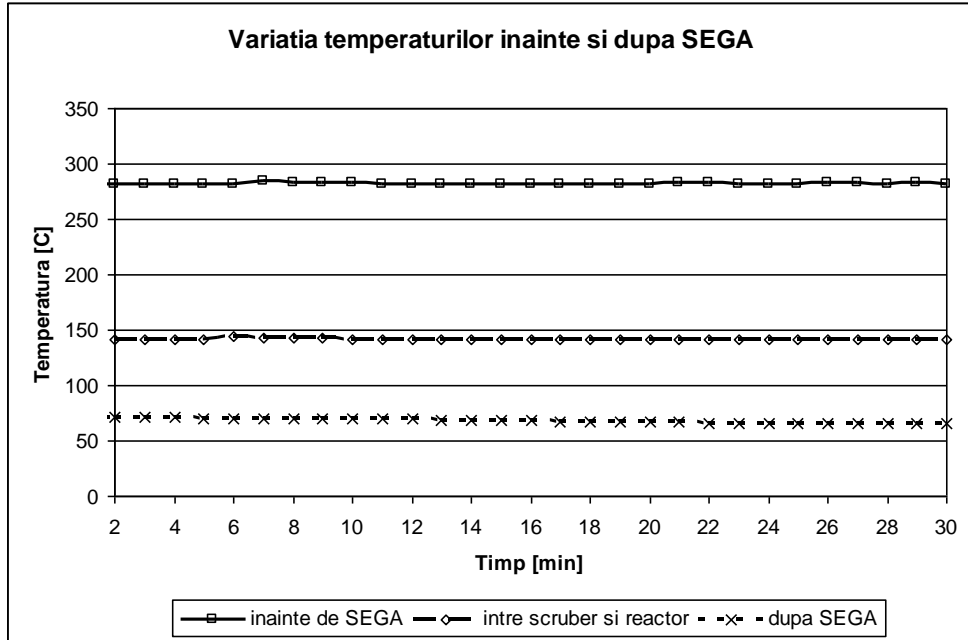


Fig. 5.41 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb

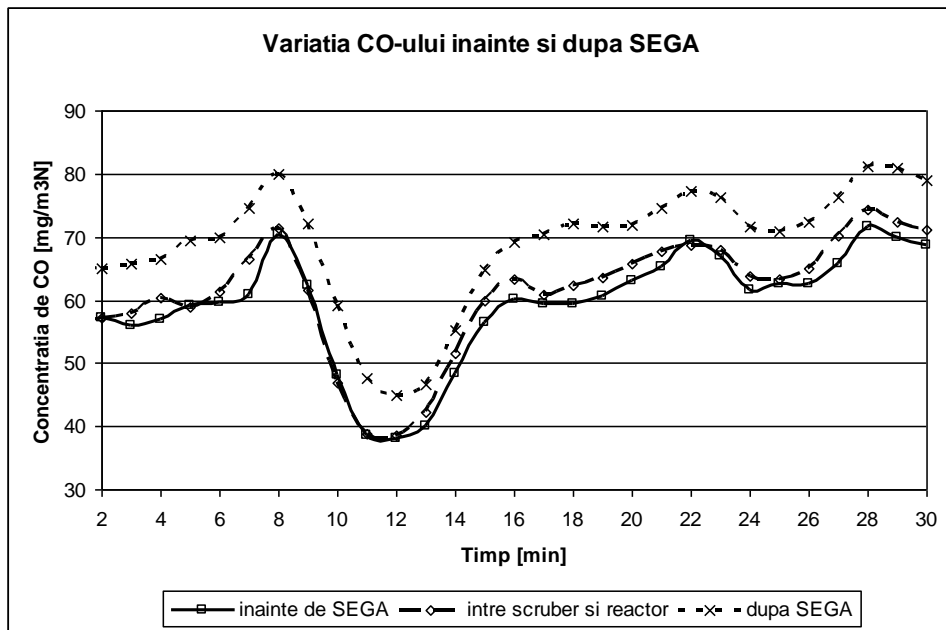


Fig. 5.41 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb

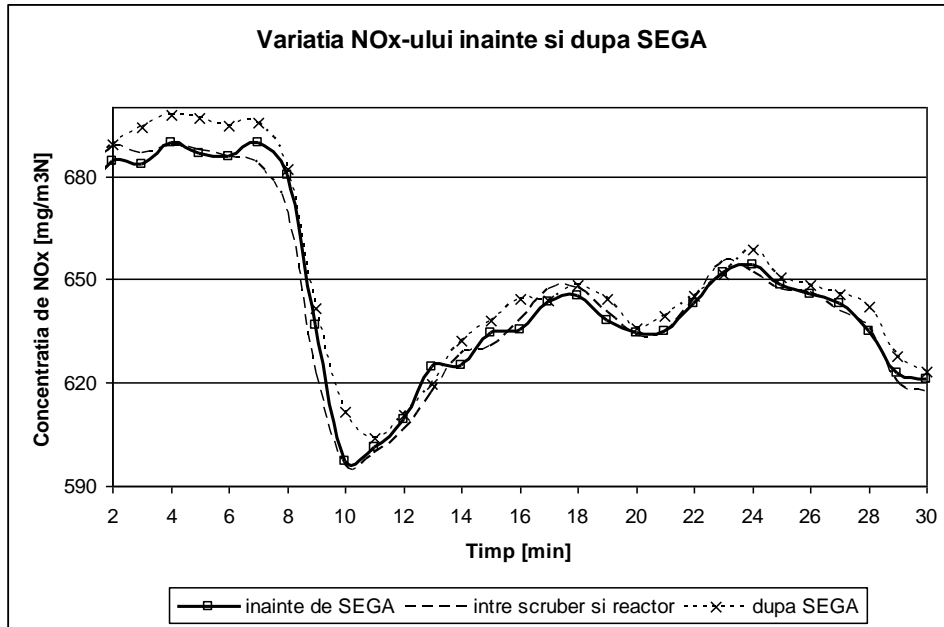


Fig. 5.41 c Variația NO<sub>x</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb

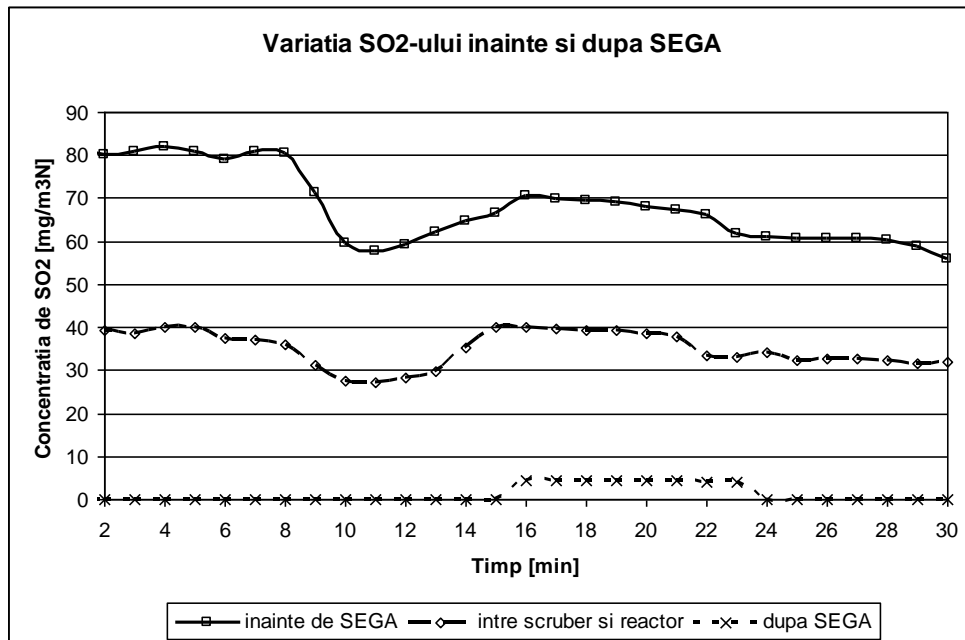


Fig. 5.41 d Variația SO<sub>2</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb

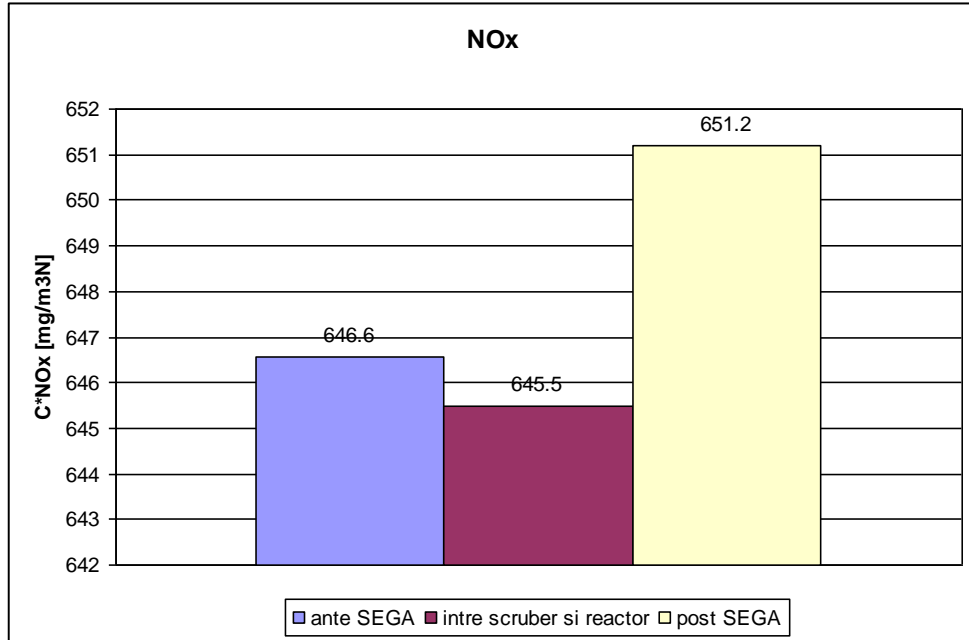


Fig. 5.41 e Concentrația medie a NO<sub>x</sub>-ului

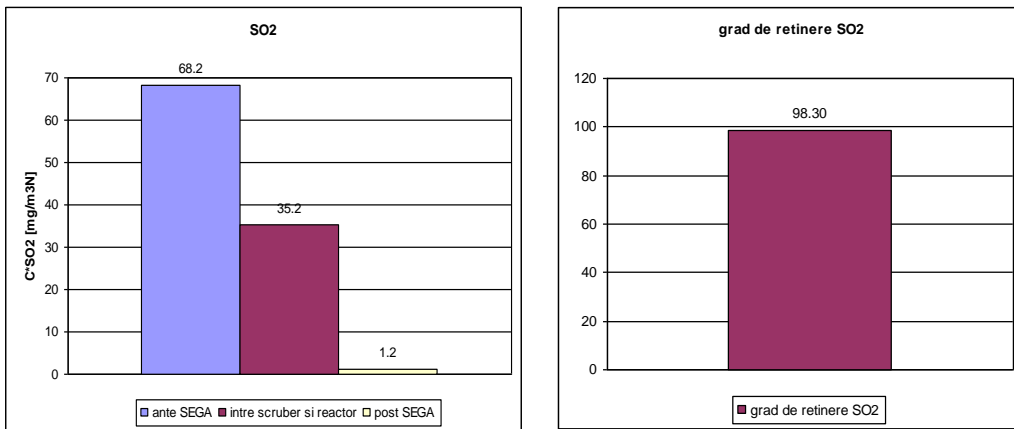


Fig. 5.41 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO<sub>2</sub>-ului

#### 4) Deșeuri de hârtie + lignit

Tab. 5.24 a Valori măsurate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [ - ]
1	224.7	14.03	144	6.57	93	94	147	3.01
2	224.4	14.43	148	6.2	84	93	139	3.2
3	223.3	14.31	150	6.31	85	88	133	3.14
4	223.3	13.53	137	7.04	84	93	133	2.81
5	223.6	13.51	125	7.06	83	93	133	2.8
6	224	13.9	131	6.7	85	88	132	2.96
7	222.8	14.12	138	6.48	84	90	133	3.05
8	222.5	14.07	144	6.53	84	92	135	3.03
9	223.3	13.9	138	6.7	85	94	147	2.96
10	222.4	14.21	135	6.41	84	93	139	3.09
11	220.5	14.34	143	6.28	88	88	133	3.15
12	221	14.06	141	6.55	87	92	133	3.03
13	221.9	14.77	132	5.88	84	87	133	3.37
14	221.2	15.56	145	5.13	85	86	132	3.86
15	220.2	15.67	164	5.02	88	87	133	3.94
16	220.1	15.32	166	5.35	89	92	147	3.7
17	219.5	15.41	165	5.27	89	93	139	3.76
18	219.5	15.76	175	4.94	84	88	133	4.01
19	219.1	16.06	183	4.65	84	88	133	4.25
20	219	16.26	188	4.47	85	87	133	4.43
21	218.9	16.28	188	4.45	84	88	132	4.45
22	219.7	16.31	183	4.42	88	90	133	4.48
23	220.9	16.3	179	4.43	88	92	135	4.47
24	221.6	16.11	190	4.61	89	94	139	4.29
25	222.9	15.31	179	5.36	84	93	133	3.69
26	224.3	13.41	128	7.16	84	88	133	2.77
27	224.5	11.63	187	8.84	85	88	133	2.24
28	225	9.63	181	10.72	84	87	132	1.85
29	225.5	8.57	172	11.72	88	88	133	1.69
30	226.2	7.71	179	12.53	88	92	135	1.58
<b>Media</b>	<b>222.2</b>	<b>14.1</b>	<b>158.6</b>	<b>6.5</b>	<b>85.9</b>	<b>90.2</b>	<b>135.3</b>	<b>3.30</b>

Tab. 5.24 b Valori raportate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	224.7	14.03	180.0	258.2	193.7	277.9	419.0	601.1
2	224.4	14.43	185.0	281.6	190.7	290.2	396.2	603.0
3	223.3	14.31	187.5	280.3	180.4	269.7	379.1	566.6
4	223.3	13.53	171.3	229.3	189.7	254.0	379.1	507.4
5	223.6	13.51	156.3	208.6	190.2	254.0	379.1	506.1
6	224	13.9	163.8	230.6	180.4	254.1	376.2	529.9
7	222.8	14.12	172.5	250.7	185.3	269.3	379.1	550.9
8	222.5	14.07	180.0	259.7	188.6	272.2	384.8	555.2
9	223.3	13.9	172.5	243.0	193.7	272.8	419.0	590.1
10	222.4	14.21	168.8	248.5	190.7	280.8	396.2	583.4
11	220.5	14.34	178.8	268.4	180.4	270.9	379.1	569.1
12	221	14.06	176.3	254.0	188.8	272.0	379.1	546.2
13	221.9	14.77	165.0	264.8	178.2	286.1	379.1	608.4
14	221.2	15.56	181.3	333.2	175.7	323.0	376.2	691.5
15	220.2	15.67	205.0	384.6	178.6	335.0	379.1	711.2
16	220.1	15.32	207.5	365.3	188.6	332.0	419.0	737.6
17	219.5	15.41	206.3	369.0	190.7	341.1	396.2	708.7
18	219.5	15.76	218.8	417.5	180.4	344.3	379.1	723.4
19	219.1	16.06	228.8	463.1	180.4	365.2	379.1	767.3
20	219	16.26	235.0	495.8	178.2	376.0	379.1	799.7
21	218.9	16.28	235.0	497.9	180.4	382.2	376.2	797.0
22	219.7	16.31	228.8	487.7	185.3	395.0	379.1	808.2
23	220.9	16.3	223.8	476.1	188.6	401.3	384.8	818.6
24	221.6	16.11	237.5	485.7	193.7	396.1	396.2	810.1
25	222.9	15.31	223.8	393.2	190.7	335.1	379.1	666.2
26	224.3	13.41	160.0	210.8	180.4	237.7	379.1	499.4
27	224.5	11.63	233.8	249.5	180.4	192.5	379.1	404.5
28	225	9.63	226.3	199.0	178.2	156.7	376.2	330.9
29	225.5	8.57	215.0	173.0	180.4	145.1	379.1	304.9
30	226.2	7.71	223.8	168.4	188.6	141.9	384.8	289.5
<b>Media</b>	<b>222.2</b>	<b>14.1</b>	<b>198.3</b>	<b>314.9</b>	<b>185.0</b>	<b>290.8</b>	<b>385.5</b>	<b>606.2</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.25 a Valori măsurate între scruber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	112.6	14.03	133	6.57	93	98	172	3.01
2	112.1	14.35	135	6.27	89	93	168	3.16
3	112	14.48	138	6.14	87	92	162	3.22
4	112	14	131	6.6	96	101	158	3
5	112.1	13.69	121	6.89	100	105	156	2.87
6	112.5	13.83	120	6.76	97	102	156	2.93
7	111.7	14.13	125	6.47	92	96	155	3.06
8	111.8	14.22	130	6.39	90	95	151	3.1
9	111.9	14.12	130	6.49	92	96	147	3.05
10	110.7	14.25	126	6.37	90	95	144	3.11
11	111.6	14.45	129	6.18	88	93	140	3.2
12	110.8	14.35	131	6.27	89	94	136	3.16
13	110.4	14.7	125	5.94	85	89	135	3.33
14	110.4	15.27	128	5.4	77	81	129	3.67
15	110.4	15.68	141	5.01	74	77	120	3.95
16	110.4	15.61	152	5.08	79	83	115	3.9
17	110.6	15.52	153	5.17	81	85	110	3.83
18	110	15.7	157	4.99	79	83	106	3.96
19	109.6	16.04	165	4.68	75	79	100	4.23
20	109.8	16.26	170	4.47	73	77	95	4.43
21	109.8	16.37	173	4.37	77	76	90	4.53
22	109.5	16.43	170	4.31	74	77	83	4.6
23	109.5	16.45	167	4.29	79	82	78	4.61
24	110.3	16.38	170	4.36	81	85	72	4.54
25	110.8	15.77	166	4.93	79	94	66	4.01
26	111.9	14.65	141	5.98	75	112	64	3.31
27	112.3	13.07	105	7.48	73	77	66	2.65
28	112.8	10.92	157	9.5	73	77	70	2.08
29	113.4	9.53	140	10.82	73	76	73	1.83
30	113.7	8.23	157	12.04	74	78	77	1.64
<b>Media</b>	<b>111.2</b>	<b>14.4</b>	<b>142.9</b>	<b>6.2</b>	<b>82.8</b>	<b>88.2</b>	<b>116.5</b>	<b>3.40</b>



Tab. 5.25 b Valori raportate între scrubber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> N]	CO* [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]
1	112.6	14.03	166.3	238.5	200.9	288.2	490.2	703.3
2	112.1	14.35	168.8	253.8	190.7	286.7	478.8	720.0
3	112	14.48	172.5	264.6	188.6	289.3	461.7	708.1
4	112	14	163.8	233.9	207.1	295.8	450.3	643.3
5	112.1	13.69	151.3	206.9	215.3	294.5	444.6	608.2
6	112.5	13.83	150.0	209.2	209.1	291.6	444.6	620.1
7	111.7	14.13	156.3	227.4	196.8	286.5	441.8	643.0
8	111.8	14.22	162.5	239.7	194.8	287.2	430.4	634.7
9	111.9	14.12	162.5	236.2	196.8	286.0	419.0	608.9
10	110.7	14.25	157.5	233.3	194.8	288.5	410.4	608.0
11	111.6	14.45	161.3	246.2	190.7	291.1	399.0	609.2
12	110.8	14.35	163.8	246.2	192.7	289.8	387.6	582.9
13	110.4	14.7	156.3	248.0	182.5	289.6	384.8	610.7
14	110.4	15.27	160.0	279.2	166.1	289.8	366.7	640.0
15	110.4	15.68	176.3	331.3	157.9	296.7	342.6	644.0
16	110.4	15.61	190.0	352.5	170.2	315.7	327.8	608.1
17	110.6	15.52	191.3	349.0	174.3	318.0	313.5	572.1
18	110	15.7	196.3	370.3	170.2	321.0	302.1	570.0
19	109.6	16.04	206.3	415.8	162.0	326.5	285.0	574.6
20	109.8	16.26	212.5	448.3	157.9	333.0	270.8	571.2
21	109.8	16.37	216.3	467.1	156.5	338.0	256.5	554.0
22	109.5	16.43	212.5	465.0	157.9	345.4	236.6	517.6
23	109.5	16.45	208.8	458.8	167.4	368.0	222.3	488.6
24	110.3	16.38	212.5	460.0	174.3	377.2	205.2	444.2
25	110.8	15.77	207.5	396.7	191.9	367.0	188.1	359.7
26	111.9	14.65	176.3	277.6	228.6	360.0	182.4	287.2
27	112.3	13.07	131.3	165.5	157.9	199.1	188.1	237.2
28	112.8	10.92	196.3	194.7	157.9	156.6	199.5	197.9
29	113.4	9.53	175.0	152.6	155.8	135.8	208.1	181.4
30	113.7	8.23	196.3	153.7	159.9	125.2	219.5	171.8
<b>Media</b>	<b>111.2</b>	<b>14.4</b>	<b>178.6</b>	<b>294.1</b>	<b>180.9</b>	<b>291.3</b>	<b>331.9</b>	<b>530.7</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.26 a Valori măsurate post SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	56.4	14.78	129	5.86	83	87	41	3.38
2	56.3	15	131	5.66	81	85	43	3.5
3	56.1	15.26	133	5.41	78	82	45	3.66
4	56.2	15.18	133	5.48	80	84	42	3.61
5	55.9	14.91	127	5.74	84	88	41	3.45
6	55.7	14.82	121	5.82	85	90	45	3.4
7	55.5	14.91	121	5.74	84	88	45	3.45
8	55.7	14.97	122	5.68	83	87	43	3.49
9	55.5	15.07	127	5.6	80	84	46	3.54
10	55.3	15.12	126	5.55	80	83	42	3.57
11	55.1	15.22	125	5.45	78	82	41	3.63
12	55.1	15.26	127	5.41	77	81	41	3.66
13	54.9	15.31	126	5.36	76	80	41	3.69
14	54.5	15.66	126	5.04	73	76	43	3.93
15	54.4	16.19	132	4.54	67	70	41	4.36
16	54.3	16.34	140	4.39	67	70	39	4.51
17	54.1	16.33	146	4.4	69	73	41	4.5
18	53.8	16.41	151	4.33	69	73	42	4.57
19	53.6	16.56	156	4.19	68	71	42	4.73
20	53.5	16.74	161	4.02	66	69	42	4.93
21	53.4	16.94	167	3.83	64	68	42	5.17
22	53.3	17	168	3.77	64	68	41	5.25
23	53	17.02	168	3.76	64	68	41	5.27
24	53.1	16.99	169	3.78	67	71	41	5.24
25	53	16.74	170	4.02	80	75	41	4.93
26	52.9	16.15	160	4.57	64	82	41	4.33
27	53.7	14.81	127	5.83	64	68	41	3.39
28	54.1	13.34	161	7.22	64	68	41	2.74
29	54.4	11.94	160	8.54	67	71	42	2.32
30	54.9	10.49	130	9.91	80	84	41	2
<b>Media</b>	<b>54.6</b>	<b>15.4</b>	<b>141.3</b>	<b>5.3</b>	<b>73.5</b>	<b>77.5</b>	<b>41.9</b>	<b>3.94</b>

Tab. 5.26 b Valori raportate post SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> N]	CO* [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> N]
1	56.4	14.78	161.3	259.2	178.4	286.7	116.9	187.9
2	56.3	15	163.8	272.9	174.3	290.4	122.6	204.3
3	56.1	15.26	166.3	289.6	168.1	292.9	128.3	223.4
4	56.2	15.18	166.3	285.7	172.2	295.9	119.7	205.7
5	55.9	14.91	158.8	260.7	180.4	296.2	116.9	191.9
6	55.7	14.82	151.3	244.7	184.5	298.5	128.3	207.5
7	55.5	14.91	151.3	248.4	180.4	296.2	128.3	210.6
8	55.7	14.97	152.5	252.9	178.4	295.8	122.6	203.2
9	55.5	15.07	158.8	267.7	172.2	290.4	131.1	221.1
10	55.3	15.12	157.5	267.9	170.2	289.4	119.7	203.6
11	55.1	15.22	156.3	270.3	168.1	290.8	116.9	202.2
12	55.1	15.26	158.8	276.6	166.1	289.3	116.9	203.6
13	54.9	15.31	157.5	276.8	164.0	288.2	116.9	205.4
14	54.5	15.66	157.5	294.9	155.8	291.8	122.6	229.5
15	54.4	16.19	165.0	343.0	143.5	298.3	116.9	242.9
16	54.3	16.34	175.0	375.5	143.5	307.9	111.2	238.5
17	54.1	16.33	182.5	390.8	149.7	320.4	116.9	250.2
18	53.8	16.41	188.8	411.2	149.7	326.0	119.7	260.8
19	53.6	16.56	195.0	439.2	145.6	327.8	119.7	269.6
20	53.5	16.74	201.3	472.4	141.5	332.0	119.7	281.0
21	53.4	16.94	208.8	514.2	139.4	343.3	119.7	294.8
22	53.3	17	210.0	525.0	139.4	348.5	116.9	292.1
23	53	17.02	210.0	527.6	139.4	350.3	116.9	293.6
24	53.1	16.99	211.3	526.8	145.6	363.0	116.9	291.4
25	53	16.74	212.5	498.8	153.8	361.0	116.9	274.3
26	52.9	16.15	200.0	412.4	168.8	348.0	116.9	240.9
27	53.7	14.81	158.8	256.5	139.4	225.2	116.9	188.8
28	54.1	13.34	201.3	262.7	139.4	182.0	116.9	152.5
29	54.4	11.94	200.0	220.8	145.6	160.7	119.7	132.1
30	54.9	10.49	162.5	154.6	172.2	163.8	116.9	111.2
<b>Media</b>	<b>54.6</b>	<b>15.4</b>	<b>176.7</b>	<b>336.7</b>	<b>159.0</b>	<b>295.0</b>	<b>119.5</b>	<b>223.8</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

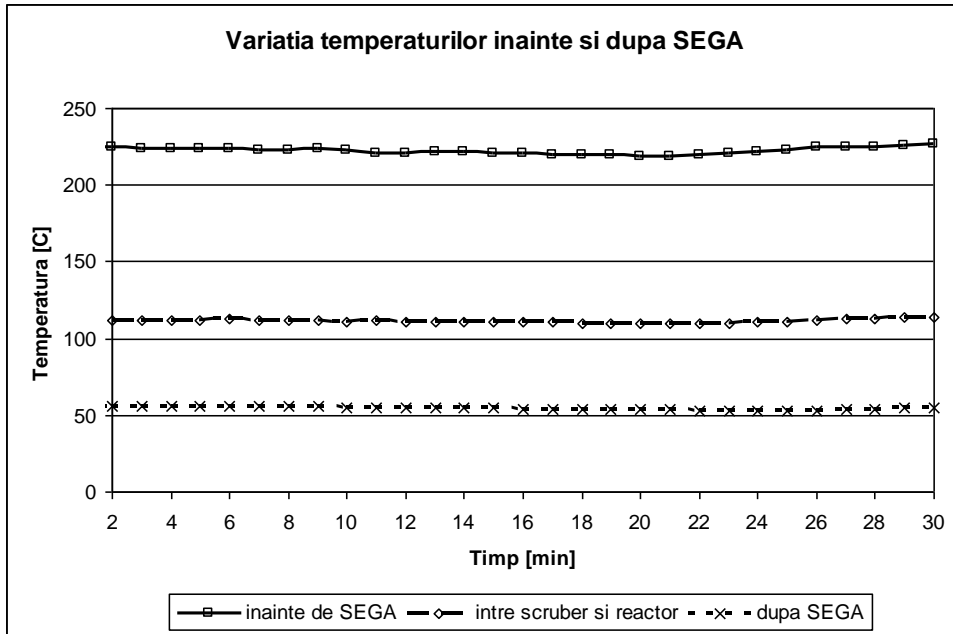


Fig. 5.42 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea hârtiei + lignit

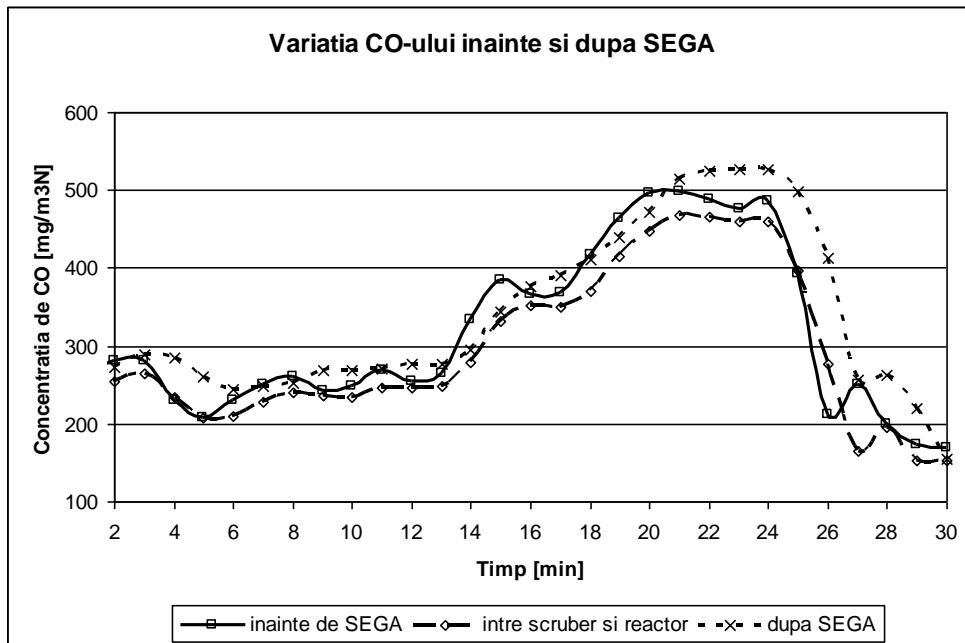


Fig. 5.42 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea hârtiei + lignit

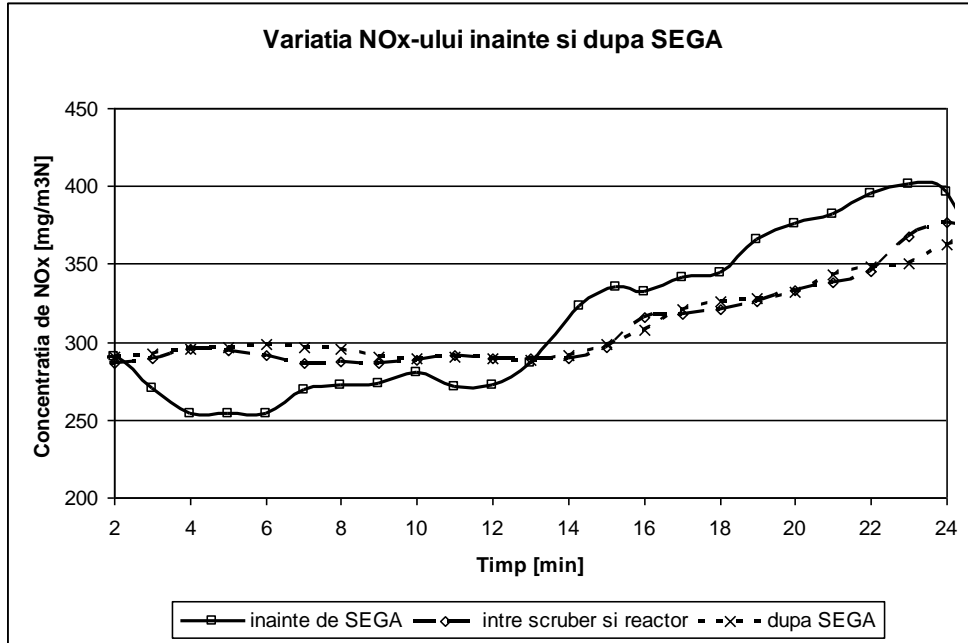


Fig. 5.42 c Variația NO<sub>x</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea hârtiei + lignit

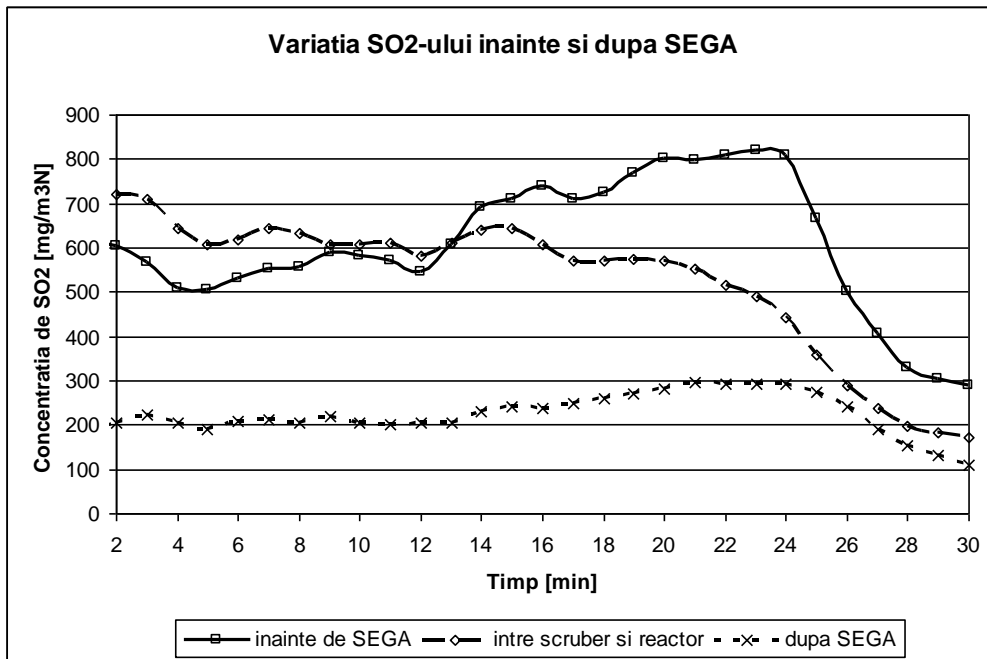


Fig. 5.42 d Variația SO<sub>2</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea hârtiei + lignit

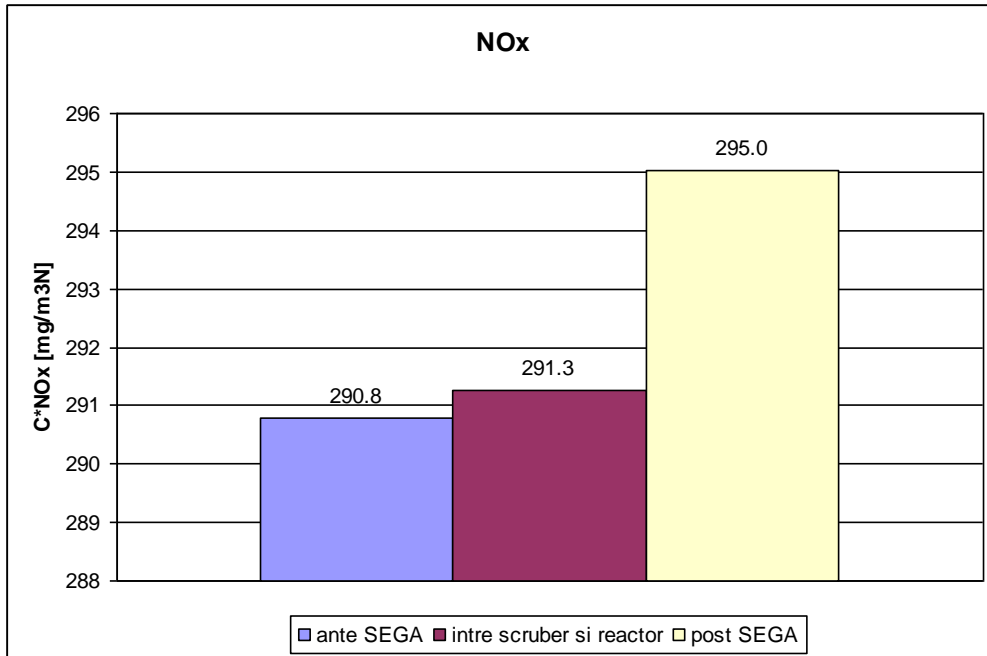


Fig. 5.42 e Concentrația medie a NO<sub>x</sub>-ului

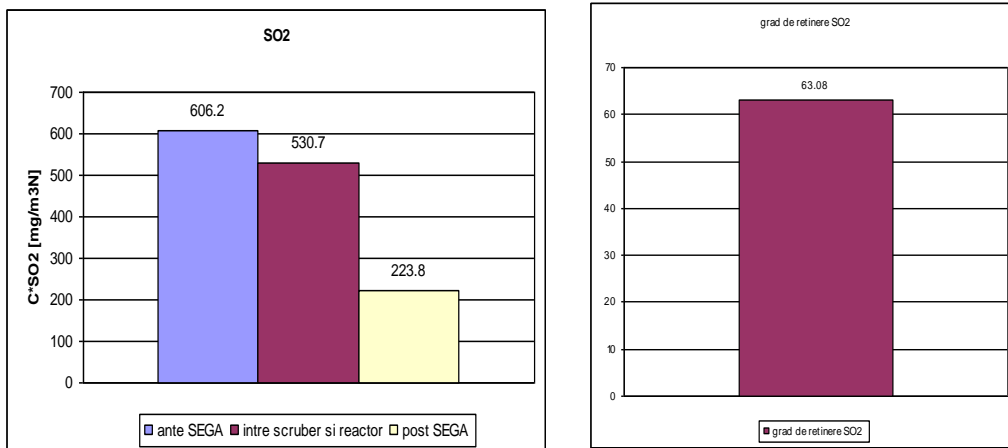


Fig. 5.42 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO<sub>2</sub>-ului

**5) Pleavă rezultată la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe**

Tab. 5.27 a Valori măsurate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	276	15.78	119	4.92	179	188	11	4.03
2	276.3	16.11	112	4.61	169	178	9	4.29
3	278.3	16.37	111	4.36	162	170	9	4.54
4	280.5	16.53	119	4.21	158	166	9	4.7
5	280.2	16.36	112	4.38	164	172	8	4.52
6	280.7	15.15	111	5.52	191	200	9	3.59
7	280.2	14.18	113	6.43	220	231	10	3.08
8	279.7	14.08	119	6.53	233	245	10	3.03
9	280.7	13.91	112	6.68	244	256	11	2.96
10	280	13.98	119	6.62	246	259	11	2.99
11	279.5	14.03	112	6.58	244	256	11	3.01
12	279.2	13.86	111	6.73	243	255	11	2.94
13	279	13.84	113	6.75	235	247	10	2.93
14	279	13.95	119	6.65	226	237	10	2.98
15	279.5	13.8	112	6.79	223	234	10	2.91
16	278.9	12.55	111	7.96	246	259	10	2.49
17	281	12	113	8.49	252	265	11	2.33
18	279	12.39	115	8.12	239	251	10	2.44
19	278.9	13.17	112	7.38	226	237	9	2.68
20	279	13.22	111	7.34	226	237	10	2.7
21	279.5	13.28	113	7.28	221	233	11	2.72
22	280.4	13.46	119	7.11	218	229	12	2.79
23	281.3	13.55	112	7.02	217	228	12	2.82
24	280.7	13.4	111	7.16	220	231	13	2.76
25	280.7	12.96	115	7.58	221	232	15	2.61
26	280.2	12.48	112	8.03	216	227	15	2.46
27	280	12.48	111	8.03	208	218	15	2.46
28	280.1	12.61	113	7.91	203	214	15	2.5
29	280.2	12.8	111	7.73	208	219	16	2.56
30	279.8	13.09	113	7.46	222	234	16	2.66
<b>Media</b>	<b>279.6</b>	<b>13.8</b>	<b>113.5</b>	<b>6.7</b>	<b>216.0</b>	<b>226.9</b>	<b>11.3</b>	<b>3.05</b>

Tab. 5.27 b Valori raportate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	276	15.78	148.8	285.0	385.4	738.3	31.4	60.1
2	276.3	16.11	140.0	286.3	364.9	746.2	25.7	52.5
3	278.3	16.37	138.8	299.7	348.5	752.7	25.7	55.4
4	280.5	16.53	148.8	332.8	340.3	761.3	24.8	55.5
5	280.2	16.36	140.0	301.7	352.6	759.9	23.7	51.0
6	280.7	15.15	138.8	237.2	410.0	700.9	25.7	43.8
7	280.2	14.18	141.3	207.1	473.6	694.4	29.0	42.5
8	279.7	14.08	148.8	215.0	502.3	725.8	29.2	42.2
9	280.7	13.91	140.0	197.5	524.8	740.2	31.4	44.2
10	280	13.98	148.8	211.9	531.0	756.3	31.4	44.7
11	279.5	14.03	140.0	200.9	524.8	752.9	30.7	44.0
12	279.2	13.86	138.8	194.3	522.8	732.1	30.3	42.5
13	279	13.84	141.3	197.3	506.4	707.2	29.6	41.4
14	279	13.95	148.8	211.0	485.9	689.1	28.5	40.4
15	279.5	13.8	140.0	194.4	479.7	666.3	27.4	38.0
16	278.9	12.55	138.8	164.2	531.0	628.3	29.0	34.3
17	281	12	141.3	156.9	543.3	603.6	30.9	34.3
18	279	12.39	143.8	167.0	514.6	597.6	29.0	33.7
19	278.9	13.17	140.0	178.8	485.9	620.5	26.9	34.3
20	279	13.22	138.8	178.3	485.9	624.5	28.5	36.6
21	279.5	13.28	141.3	183.0	477.7	618.7	31.4	40.6
22	280.4	13.46	148.8	197.3	469.5	622.6	34.2	45.4
23	281.3	13.55	140.0	187.9	467.4	627.4	35.2	47.3
24	280.7	13.4	138.8	182.6	473.6	623.1	38.2	50.2
25	280.7	12.96	143.8	178.8	475.6	591.5	41.8	52.0
26	280.2	12.48	140.0	164.3	465.4	546.2	42.8	50.2
27	280	12.48	138.8	162.9	446.9	524.5	42.8	50.2
28	280.1	12.61	141.3	168.4	438.7	522.9	42.8	51.0
29	280.2	12.8	138.8	169.2	449.0	547.5	45.6	55.6
30	279.8	13.09	141.3	178.6	479.7	606.4	44.8	56.7
<b>Media</b>	<b>279.6</b>	<b>13.8</b>	<b>141.9</b>	<b>206.3</b>	<b>465.2</b>	<b>661.0</b>	<b>32.3</b>	<b>45.7</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%



Tab. 5.28 a Valori măsurate între scrubber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	136.1	16.06	106	4.66	163	171	0	4.25
2	136	16.43	106	4.31	150	157	0	4.6
3	136.7	16.75	98	4.01	141	148	0	4.94
4	137.8	16.76	98	4	140	148	0	4.95
5	138.1	16.27	102	4.46	155	163	0	4.44
6	138.1	14.48	108	6.15	193	202	0	3.22
7	137.9	13.8	106	6.79	228	239	0	2.92
8	137.6	13.81	98	6.78	241	253	0	2.92
9	137.8	13.81	106	6.78	249	262	0	2.92
10	136.8	14.04	98	6.57	245	257	0	3.02
11	136.6	14.06	98	6.54	240	252	0	3.03
12	137	13.91	102	6.69	236	248	0	2.96
13	137.9	13.94	106	6.66	225	236	0	2.97
14	138.2	14.07	98	6.53	213	224	0	3.03
15	137.1	13.41	98	7.15	215	226	0	2.77
16	136.4	12.23	102	8.27	246	258	0	2.4
17	135.8	11.79	106	8.68	249	261	0	2.28
18	136.6	12.71	98	7.81	225	237	0	2.53
19	136	13.42	98	7.15	214	225	0	2.77
20	135.6	13.5	106	7.07	215	226	0	2.8
21	135.3	13.58	98	7	211	221	1	2.83
22	136.4	13.7	98	6.88	209	219	2	2.88
23	135.8	13.71	106	6.87	210	221	3	2.88
24	136	13.42	98	7.15	216	226	3	2.77
25	135.5	12.85	98	7.69	216	226	4	2.58
26	135.3	12.4	102	8.11	209	219	4	2.44
27	135.3	12.51	108	8	198	208	4	2.47
28	135.5	12.72	98	7.81	197	207	5	2.54
29	135.5	13.02	102	7.52	207	218	5	2.63
30	135.3	13.38	108	7.18	233	244	6	2.76
<b>Media</b>	<b>136.5</b>	<b>13.9</b>	<b>101.8</b>	<b>6.7</b>	<b>209.6</b>	<b>220.1</b>	<b>1.23</b>	<b>3.08</b>

Tab. 5.28 b Valori raportate între scrubler și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	136.1	16.06	132.5	268.2	350.6	709.6	0.0	0.0
2	136	16.43	132.5	289.9	321.9	704.3	0.0	0.0
3	136.7	16.75	122.5	288.2	303.4	713.9	0.0	0.0
4	137.8	16.76	122.5	288.9	303.4	715.6	0.0	0.0
5	138.1	16.27	127.5	269.6	334.2	706.4	0.0	0.0
6	138.1	14.48	135.0	207.1	414.1	635.1	0.0	0.0
7	137.9	13.8	132.5	184.0	490.0	680.5	0.0	0.0
8	137.6	13.81	122.5	170.4	518.7	721.3	0.0	0.0
9	137.8	13.81	132.5	184.3	537.1	747.0	0.0	0.0
10	136.8	14.04	122.5	176.0	526.9	757.0	0.0	0.0
11	136.6	14.06	122.5	176.5	516.6	744.4	0.0	0.0
12	137	13.91	127.5	179.8	508.4	717.1	0.0	0.0
13	137.9	13.94	132.5	187.7	483.8	685.3	0.0	0.0
14	138.2	14.07	122.5	176.8	459.2	662.6	0.0	0.0
15	137.1	13.41	122.5	161.4	463.3	610.4	0.0	0.0
16	136.4	12.23	127.5	145.4	528.9	603.1	0.0	0.0
17	135.8	11.79	132.5	143.9	535.1	580.9	0.0	0.0
18	136.6	12.71	122.5	147.8	485.9	586.1	0.0	0.0
19	136	13.42	122.5	161.6	461.3	608.5	0.0	0.0
20	135.6	13.5	132.5	176.7	463.3	617.7	0.0	0.0
21	135.3	13.58	122.5	165.1	453.1	610.6	2.9	3.8
22	136.4	13.7	122.5	167.8	449.0	615.0	5.7	7.8
23	135.8	13.71	132.5	181.8	453.1	621.5	8.6	11.7
24	136	13.42	122.5	161.6	463.3	611.2	8.6	11.3
25	135.5	12.85	122.5	150.3	463.3	568.5	11.4	14.0
26	135.3	12.4	127.5	148.3	449.0	522.0	11.4	13.3
27	135.3	12.51	135.0	159.0	426.4	502.2	11.4	13.4
28	135.5	12.72	122.5	147.9	424.4	512.5	14.3	17.2
29	135.5	13.02	127.5	159.8	446.9	560.0	14.3	17.9
30	135.3	13.38	135.0	177.2	500.2	656.4	17.1	22.4
<b>Media</b>	<b>136.5</b>	<b>13.9</b>	<b>127.3</b>	<b>186.8</b>	<b>451.1</b>	<b>642.9</b>	<b>3.5</b>	<b>4.4</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.29 a Valori măsurate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [ - ]
1	59.8	16.62	106	4.13	146	153	0	4.79
2	59.6	17.02	98	3.75	135	141	0	5.28
3	59.7	17.2	97	3.59	126	132	0	5.52
4	59.5	17.18	102	3.6	126	132	0	5.49
5	59.8	16.42	108	4.31	145	152	0	4.59
6	60	15.2	106	5.47	177	186	0	3.62
7	60	14.55	98	6.08	203	213	0	3.25
8	59.9	14.43	97	6.19	220	231	0	3.2
9	60	14.45	102	6.18	227	239	0	3.21
10	59.7	14.63	106	6	224	236	0	3.3
11	59.7	14.7	98	5.94	218	229	0	3.33
12	59.9	14.62	106	6.02	213	223	0	3.29
13	59.8	14.53	106	6.1	210	221	0	3.25
14	59.9	14.5	98	6.13	200	210	0	3.23
15	60	14.04	106	6.56	201	211	0	3.02
16	59.9	13.15	98	7.4	218	229	0	2.68
17	59.7	12.77	97	7.76	224	235	0	2.55
18	59.7	13.47	106	7.1	207	217	0	2.79
19	59.7	14.07	98	6.53	196	205	0	3.03
20	59.4	14.26	97	6.35	193	203	0	3.12
21	59.2	14.31	106	6.31	192	201	0	3.14
22	59.3	14.39	98	6.23	189	199	0	3.18
23	59.3	14.35	97	6.27	192	201	0	3.16
24	59.4	14.09	102	6.52	195	205	0	3.04
25	59.4	13.62	108	6.96	195	205	0	2.84
26	59.2	13.32	106	7.24	189	198	0	2.74
27	58.9	13.34	98	7.22	181	190	1	2.74
28	58.7	13.51	97	7.06	180	189	1	2.8
29	58.7	13.76	102	6.82	188	197	1	2.9
30	58.6	14.12	108	6.49	205	215	1	3.05
<b>Media</b>	<b>59.5</b>	<b>14.6</b>	<b>101.7</b>	<b>6.1</b>	<b>190.5</b>	<b>199.9</b>	<b>0.13</b>	<b>3.40</b>

Tab. 5.29 b Valori raportate post SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	59.8	16.62	132.5	302.5	313.7	716.1	0.0	0.0
2	59.6	17.02	122.5	307.8	289.1	726.3	0.0	0.0
3	59.7	17.2	121.3	319.1	270.6	712.1	0.0	0.0
4	59.5	17.18	127.5	333.8	270.6	708.4	0.0	0.0
5	59.8	16.42	135.0	294.8	311.6	680.3	0.0	0.0
6	60	15.2	132.5	228.4	381.3	657.4	0.0	0.0
7	60	14.55	122.5	189.9	436.7	677.0	0.0	0.0
8	59.9	14.43	121.3	184.6	473.6	720.8	0.0	0.0
9	60	14.45	127.5	194.7	490.0	748.0	0.0	0.0
10	59.7	14.63	132.5	208.0	483.8	759.5	0.0	0.0
11	59.7	14.7	122.5	194.4	469.5	745.2	0.0	0.0
12	59.9	14.62	132.5	207.7	457.2	716.5	0.0	0.0
13	59.8	14.53	132.5	204.8	453.1	700.2	0.0	0.0
14	59.9	14.5	122.5	188.5	430.5	662.3	0.0	0.0
15	60	14.04	132.5	190.4	432.6	621.5	0.0	0.0
16	59.9	13.15	122.5	156.1	469.5	598.0	0.0	0.0
17	59.7	12.77	121.3	147.3	481.8	585.4	0.0	0.0
18	59.7	13.47	132.5	176.0	444.9	590.8	0.0	0.0
19	59.7	14.07	122.5	176.8	420.3	606.4	0.0	0.0
20	59.4	14.26	121.3	179.9	416.2	617.4	0.0	0.0
21	59.2	14.31	132.5	198.1	412.1	615.9	0.0	0.0
22	59.3	14.39	122.5	185.3	408.0	617.2	0.0	0.0
23	59.3	14.35	121.3	182.3	412.1	619.6	0.0	0.0
24	59.4	14.09	127.5	184.5	420.3	608.2	0.0	0.0
25	59.4	13.62	135.0	182.9	420.3	569.4	0.0	0.0
26	59.2	13.32	132.5	172.5	405.9	528.5	0.0	0.0
27	58.9	13.34	122.5	159.9	389.5	508.5	2.9	3.7
28	58.7	13.51	121.3	161.9	387.5	517.3	2.9	3.8
29	58.7	13.76	127.5	176.1	403.9	557.8	2.9	3.9
30	58.6	14.12	135.0	196.2	440.8	640.6	2.9	4.1
<b>Media</b>	<b>59.5</b>	<b>14.6</b>	<b>127.2</b>	<b>206.2</b>	<b>409.9</b>	<b>644.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

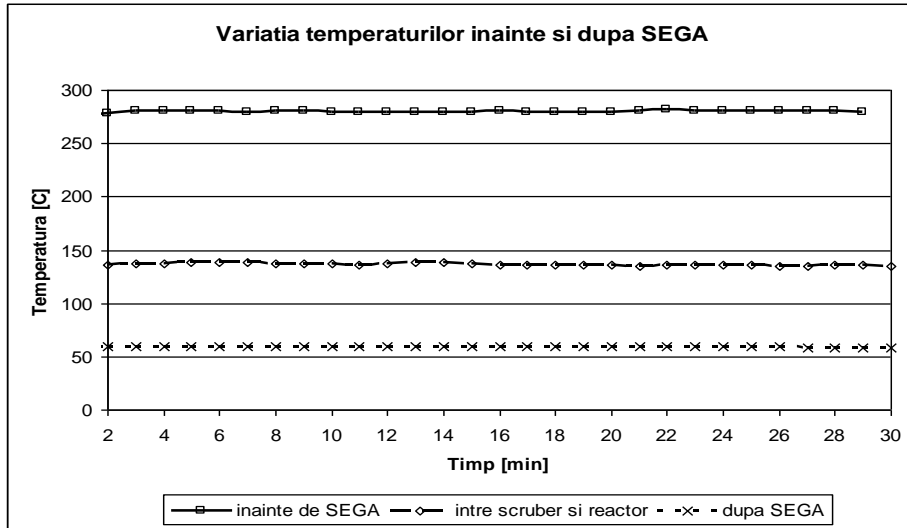


Fig. 5.43 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe

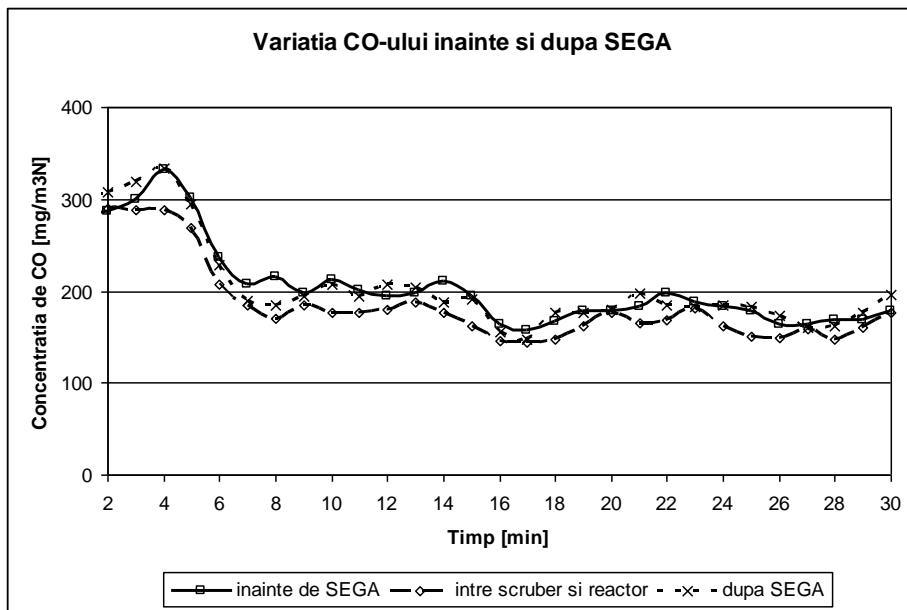


Fig. 5.43 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe

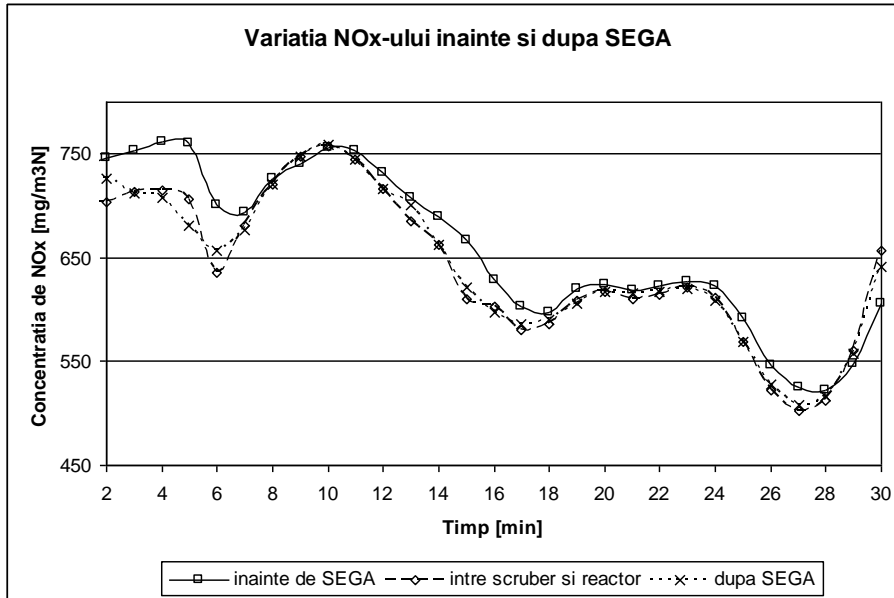


Fig. 5.43 c Variația NO<sub>x</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe

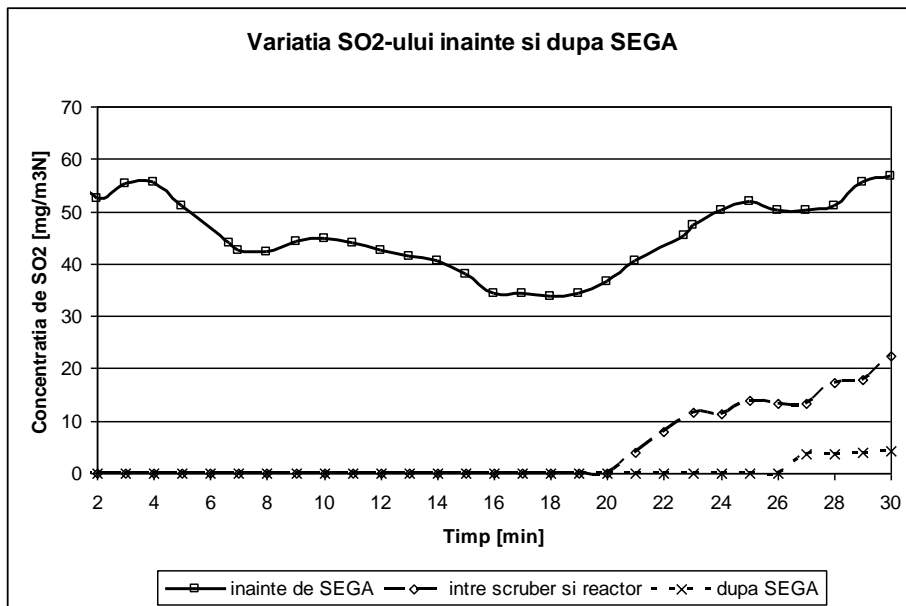


Fig. 5.43 d Variația SO<sub>2</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe

190 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

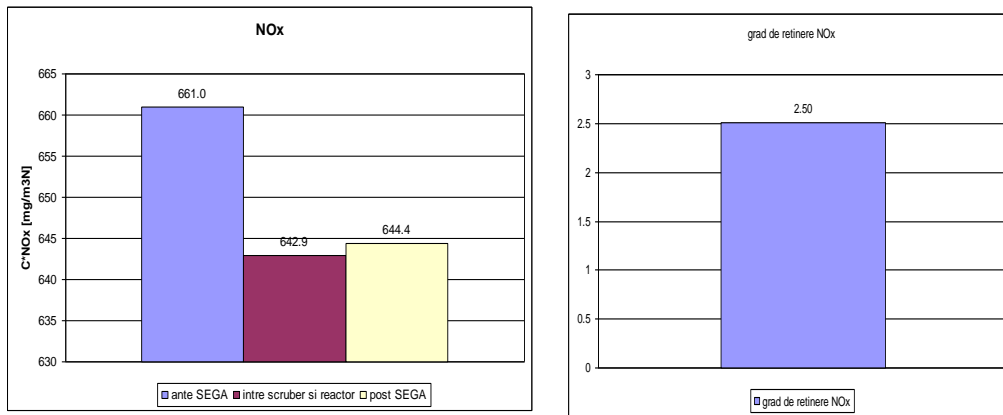


Fig. 5.43 e Concentrația medie și gradul de reținere ale NO<sub>x</sub>-ului la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe

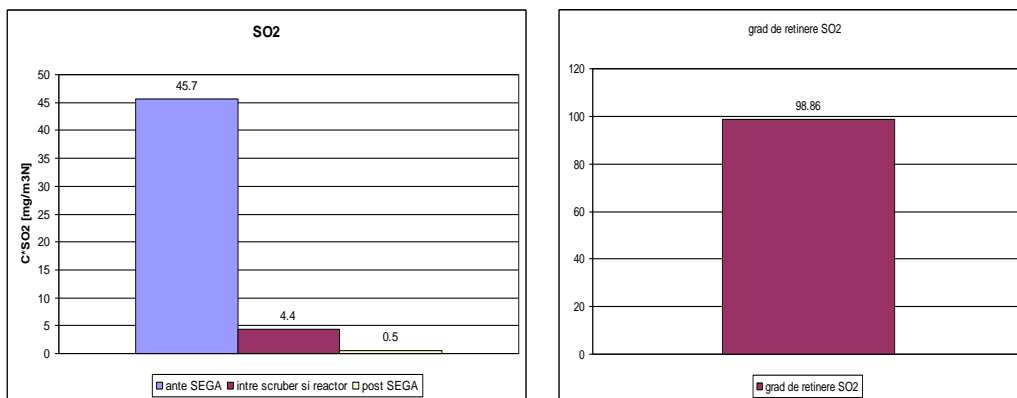


Fig. 5.43 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO<sub>2</sub>-ului la arderea plevei rezultate la decorticarea boabelor de porumb + resturi de boabe

## 6) Boabe de grâu

Tab. 5.30 a Valori măsurate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	286.5	14.47	29	6.16	226	237	16	3.21
2	288.6	14.62	29	6.01	221	232	16	3.29
3	288.7	14.73	29	5.91	217	228	17	3.35
4	288	14.86	31	5.79	217	227	17	3.42
5	290.7	14.3	35	6.31	226	238	17	3.14
6	291.2	13.64	29	6.94	243	256	17	2.85
7	290.4	13.32	29	7.24	250	262	17	2.73
8	290.5	12.25	29	8.25	268	281	17	2.4
9	290.6	11.37	31	9.08	312	328	17	2.18
10	290.1	11.25	35	9.19	331	347	17	2.15
11	289.8	11.61	38	8.85	339	356	17	2.24
12	289.8	11.93	33	8.55	342	359	16	2.32
13	289.5	12.25	30	8.25	343	361	17	2.4
14	289.7	12.6	29	7.92	345	362	17	2.5
15	289.4	12.83	29	7.7	346	363	16	2.57
16	289.8	12.93	29	7.61	344	362	17	2.6
17	290.3	13.07	31	7.47	342	359	16	2.65
18	289.4	13.12	35	7.43	337	354	17	2.67
19	288.9	12.98	38	7.57	335	351	16	2.62
20	289.1	12.63	36	7.9	335	351	16	2.51
21	291.7	12.63	32	7.89	324	341	17	2.51
22	291.5	12.69	32	7.84	320	336	16	2.53
23	290.8	12.85	32	7.69	315	331	17	2.58
24	290.7	12.22	30	8.28	340	357	18	2.39
25	290.9	11.82	24	8.66	356	374	18	2.29
26	290.8	11.98	18	8.5	357	375	17	2.33
27	290.6	12.28	13	8.23	351	368	17	2.41
28	290.2	12.54	10	7.98	346	364	17	2.48
29	289.9	12.95	9	7.59	341	358	17	2.61
30	290.1	13.29	8	7.27	330	346	18	2.72
<b>Media</b>	<b>289.9</b>	<b>12.9</b>	<b>28.1</b>	<b>7.7</b>	<b>310.0</b>	<b>325.5</b>	<b>16.8</b>	<b>2.62</b>



Tab. 5.30 b Valori raportate înainte de SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	286.5	14.47	36.3	55.5	485.9	744.0	45.6	69.8
2	288.6	14.62	36.3	56.8	475.6	745.5	45.6	71.5
3	288.7	14.73	36.3	57.8	467.4	745.5	48.5	77.3
4	288	14.86	38.8	63.1	465.4	757.9	48.5	78.9
5	290.7	14.3	43.8	65.3	487.9	728.2	48.5	72.3
6	291.2	13.64	36.3	49.3	524.8	713.0	48.5	65.8
7	290.4	13.32	36.3	47.2	537.1	699.3	48.5	63.1
8	290.5	12.25	36.3	41.4	576.1	658.3	48.5	55.4
9	290.6	11.37	38.8	40.2	672.4	698.2	48.5	50.3
10	290.1	11.25	43.8	44.9	711.4	729.6	48.5	49.7
11	289.8	11.61	47.5	50.6	729.8	777.2	48.5	51.6
12	289.8	11.93	41.3	45.5	736.0	811.4	45.6	50.3
13	289.5	12.25	37.5	42.9	740.1	845.8	48.5	55.4
14	289.7	12.6	36.3	43.2	742.1	883.5	48.5	57.7
15	289.4	12.83	36.3	44.4	744.2	910.8	45.6	55.8
16	289.8	12.93	36.3	44.9	742.1	919.6	48.5	60.0
17	290.3	13.07	38.8	48.9	736.0	928.1	45.6	57.5
18	289.4	13.12	43.8	55.5	725.7	920.9	48.5	61.5
19	288.9	12.98	47.5	59.2	719.6	897.2	45.6	56.9
20	289.1	12.63	45.0	53.8	719.6	859.7	45.6	54.5
21	291.7	12.63	40.0	47.8	699.1	835.2	48.5	57.9
22	291.5	12.69	40.0	48.1	688.8	828.9	45.6	54.9
23	290.8	12.85	40.0	49.1	678.6	832.6	48.5	59.4
24	290.7	12.22	37.5	42.7	731.9	833.5	51.3	58.4
25	290.9	11.82	30.0	32.7	766.7	835.2	51.3	55.9
26	290.8	11.98	22.5	24.9	768.8	852.3	48.5	53.7
27	290.6	12.28	16.3	18.6	754.4	865.1	48.5	55.6
28	290.2	12.54	12.5	14.8	746.2	882.0	48.5	57.3
29	289.9	12.95	11.3	14.0	733.9	911.7	48.5	60.2
30	290.1	13.29	10.0	13.0	709.3	920.0	51.3	66.5
<b>Media</b>	<b>289.9</b>	<b>12.9</b>	<b>35.1</b>	<b>43.9</b>	<b>667.2</b>	<b>819.0</b>	<b>48.0</b>	<b>59.8</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.31 a Valori măsurate între scruber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	142.1	14.88	33	5.77	213	223	13	3.43
2	142.9	14.95	36	5.71	210	220	13	3.47
3	143.1	15.1	41	5.56	209	220	13	3.56
4	143.5	14.88	42	5.77	219	230	13	3.43
5	144.4	13.92	33	6.68	239	251	13	2.96
6	144.4	13.08	36	7.47	253	265	13	2.65
7	144.4	12.68	41	7.84	266	279	14	2.52
8	144.3	11.36	42	9.09	304	319	15	2.18
9	143.5	10.62	36	9.78	351	369	16	2.02
10	143.7	11.09	32	9.34	360	378	18	2.12
11	143.3	11.75	26	8.72	357	375	18	2.27
12	143.2	12.36	26	8.14	353	371	19	2.43
13	143.2	12.75	27	7.78	350	368	19	2.55
14	142.9	13.03	30	7.51	350	368	18	2.63
15	143	13.27	32	7.29	349	366	17	2.72
16	143.2	13.33	33	7.23	346	364	17	2.74
17	143.1	13.37	36	7.2	340	357	15	2.75
18	142.6	13.26	41	7.3	335	352	14	2.71
19	142.5	12.89	42	7.64	334	351	13	2.59
20	142.4	12.61	36	7.91	329	345	12	2.5
21	143.1	12.7	33	7.83	320	336	13	2.53
22	143.7	12.93	34	7.61	313	328	13	2.6
23	143.4	12.82	35	7.71	320	336	14	2.57
24	143	11.84	30	8.64	353	371	15	2.29
25	143.2	11.71	22	8.76	370	389	15	2.26
26	142.8	12.13	16	8.37	362	380	15	2.37
27	142.7	12.65	13	7.87	353	371	15	2.52
28	141.9	13.01	11	7.54	344	361	15	2.63
29	142.5	13.42	11	7.15	335	351	15	2.77
30	142.1	13.89	12	6.71	324	340	14	2.95
<b>Media</b>	<b>143.1</b>	<b>12.9</b>	<b>30.6</b>	<b>7.6</b>	<b>315.4</b>	<b>331.1</b>	<b>14.9</b>	<b>2.66</b>

Tab. 5.31 b Valori raportate între scrubber și reactor

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	142.1	14.88	41.3	67.4	457.2	747.0	37.1	60.5
2	142.9	14.95	45.0	74.4	451.0	745.5	37.1	61.2
3	143.1	15.1	51.3	86.9	451.0	764.4	37.1	62.8
4	143.5	14.88	52.5	85.8	471.5	770.4	37.1	60.5
5	144.4	13.92	41.3	58.3	514.6	726.8	37.1	52.3
6	144.4	13.08	45.0	56.8	543.3	685.9	37.1	46.8
7	144.4	12.68	51.3	61.6	572.0	687.4	39.9	48.0
8	144.3	11.36	52.5	54.5	654.0	678.4	42.8	44.3
9	143.5	10.62	45.0	43.4	756.5	728.8	45.6	43.9
10	143.7	11.09	40.0	40.4	774.9	781.9	51.3	51.8
11	143.3	11.75	32.5	35.1	768.8	831.1	51.3	55.5
12	143.2	12.36	32.5	37.6	760.6	880.3	54.2	62.7
13	143.2	12.75	33.8	40.9	754.4	914.4	54.2	65.6
14	142.9	13.03	37.5	47.1	754.4	946.5	51.3	64.4
15	143	13.27	40.0	51.7	750.3	970.6	48.5	62.7
16	143.2	13.33	41.3	53.8	746.2	972.9	48.5	63.2
17	143.1	13.37	45.0	59.0	731.9	959.2	42.8	56.0
18	142.6	13.26	51.3	66.2	721.6	932.3	39.9	51.6
19	142.5	12.89	52.5	64.7	719.6	887.2	37.1	45.7
20	142.4	12.61	45.0	53.6	707.3	843.0	34.2	40.8
21	143.1	12.7	41.3	49.7	688.8	829.9	37.1	44.6
22	143.7	12.93	42.5	52.7	672.4	833.2	37.1	45.9
23	143.4	12.82	43.8	53.5	688.8	842.1	39.9	48.8
24	143	11.84	37.5	40.9	760.6	830.3	42.8	46.7
25	143.2	11.71	27.5	29.6	797.5	858.4	42.8	46.0
26	142.8	12.13	20.0	22.5	779.0	878.2	42.8	48.2
27	142.7	12.65	16.3	19.5	760.6	910.8	42.8	51.2
28	141.9	13.01	13.8	17.2	740.1	926.2	42.8	53.5
29	142.5	13.42	13.8	18.1	719.6	949.3	42.8	56.4
30	142.1	13.89	15.0	21.1	697.0	980.3	39.9	56.1
<b>Media</b>	<b>143.1</b>	<b>12.9</b>	<b>38.3</b>	<b>48.8</b>	<b>678.8</b>	<b>843.1</b>	<b>42.5</b>	<b>53.3</b>

\*- valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

Tab. 5.32 a Valori măsurate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ [-]
1	56.8	15.55	30	5.14	189	199	0	3.85
2	56.7	15.54	33	5.15	190	199	0	3.85
3	56.9	15.61	35	5.09	192	201	0	3.89
4	57.2	15.36	38	5.32	199	209	0	3.72
5	57.4	14.35	30	6.27	216	227	0	3.16
6	57.8	13.84	33	6.75	230	242	0	2.93
7	58.2	13.34	35	7.23	242	254	0	2.74
8	57.9	12.02	38	8.46	274	287	0	2.34
9	58	11.65	42	8.82	314	330	0	2.25
10	58.1	12	32	8.49	326	342	0	2.33
11	57.9	12.68	26	7.84	325	341	1	2.53
12	57.8	13.18	25	7.38	321	337	1	2.68
13	57.7	13.57	27	7.01	317	333	1	2.82
14	57.7	13.92	30	6.68	313	329	1	2.97
15	57.7	14.06	33	6.54	312	328	0	3.03
16	57.8	14.1	35	6.51	311	327	0	3.04
17	57.7	14.08	38	6.52	307	322	0	3.04
18	57.6	14.02	42	6.58	300	315	0	3.01
19	57.6	13.69	42	6.89	300	315	0	2.87
20	57.7	13.44	37	7.13	296	310	0	2.78
21	57.6	13.35	34	7.21	293	308	0	2.74
22	57.8	13.54	35	7.03	288	303	0	2.81
23	57.8	13.37	34	7.2	297	312	0	2.75
24	58	12.79	30	7.74	321	337	0	2.56
25	57.9	12.62	24	7.9	332	349	0	2.51
26	57.6	13.05	17	7.49	327	343	0	2.64
27	57.5	13.46	14	7.11	317	333	0	2.79
28	57.3	13.84	12	6.75	309	325	1	2.93
29	57.2	14.25	12	6.37	300	315	1	3.11
30	56.9	14.59	13	6.04	291	306	1	3.28
<b>Media</b>	<b>57.6</b>	<b>13.7</b>	<b>30.2</b>	<b>6.9</b>	<b>285.0</b>	<b>299.3</b>	<b>0.2</b>	<b>2.93</b>

Tab. 5.32 b Valori raportate după SEGA

Nr. crt.	t [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	CO* [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	NO <sub>x</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	SO <sub>2</sub> * [mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
1	56.8	15.55	37.5	68.8	408.0	748.5	0.0	0.0
2	56.7	15.54	41.3	75.5	408.0	747.2	0.0	0.0
3	56.9	15.61	43.8	81.2	412.1	764.5	0.0	0.0
4	57.2	15.36	47.5	84.2	428.5	759.7	0.0	0.0
5	57.4	14.35	37.5	56.4	465.4	699.8	0.0	0.0
6	57.8	13.84	41.3	57.6	496.1	692.9	0.0	0.0
7	58.2	13.34	43.8	57.1	520.7	679.8	0.0	0.0
8	57.9	12.02	47.5	52.9	588.4	655.2	0.0	0.0
9	58	11.65	52.5	56.1	676.5	723.5	0.0	0.0
10	58.1	12	40.0	44.4	701.1	779.0	0.0	0.0
11	57.9	12.68	32.5	39.1	699.1	840.2	2.9	3.4
12	57.8	13.18	31.3	40.0	690.9	883.4	2.9	3.6
13	57.7	13.57	33.8	45.4	682.7	918.8	2.9	3.8
14	57.7	13.92	37.5	53.0	674.5	952.6	2.9	4.0
15	57.7	14.06	41.3	59.4	672.4	968.9	0.0	0.0
16	57.8	14.1	43.8	63.4	670.4	971.5	0.0	0.0
17	57.7	14.08	47.5	68.6	660.1	953.9	0.0	0.0
18	57.6	14.02	52.5	75.2	645.8	925.1	0.0	0.0
19	57.6	13.69	52.5	71.8	645.8	883.4	0.0	0.0
20	57.7	13.44	46.3	61.2	635.5	840.6	0.0	0.0
21	57.6	13.35	42.5	55.6	631.4	825.4	0.0	0.0
22	57.8	13.54	43.8	58.6	621.2	832.6	0.0	0.0
23	57.8	13.37	42.5	55.7	639.6	838.3	0.0	0.0
24	58	12.79	37.5	45.7	690.9	841.5	0.0	0.0
25	57.9	12.62	30.0	35.8	715.5	853.8	0.0	0.0
26	57.6	13.05	21.3	26.7	703.2	884.5	0.0	0.0
27	57.5	13.46	17.5	23.2	682.7	905.4	0.0	0.0
28	57.3	13.84	15.0	20.9	666.3	930.5	2.9	4.0
29	57.2	14.25	15.0	22.2	645.8	956.7	2.9	4.2
30	56.9	14.59	16.3	25.4	627.3	978.6	2.9	4.4
<b>Media</b>	<b>57.6</b>	<b>13.7</b>	<b>37.8</b>	<b>52.7</b>	<b>613.5</b>	<b>841.2</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>

\*-valori raportate la O<sub>2</sub>ref=11%

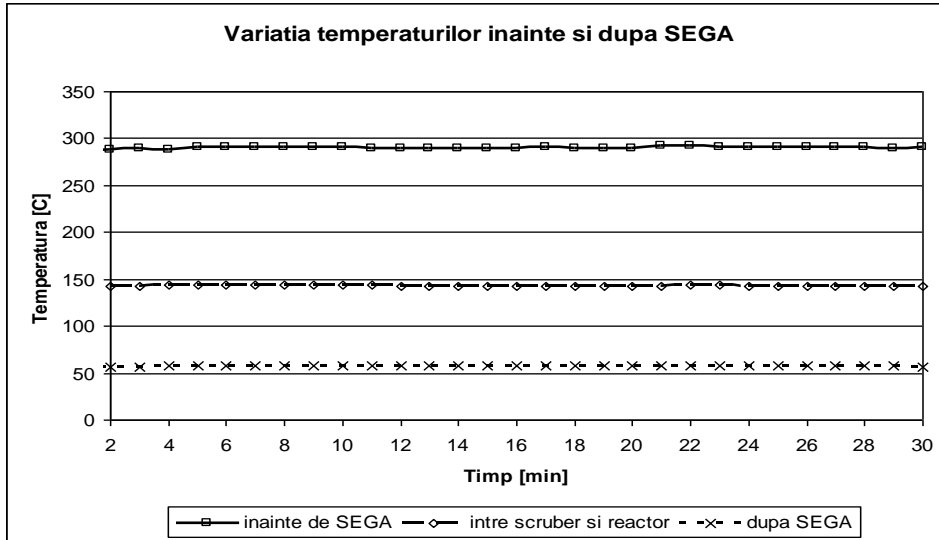


Fig. 5.44 a Variația temperaturilor înainte și după SEGA la arderea boabelor de grâu

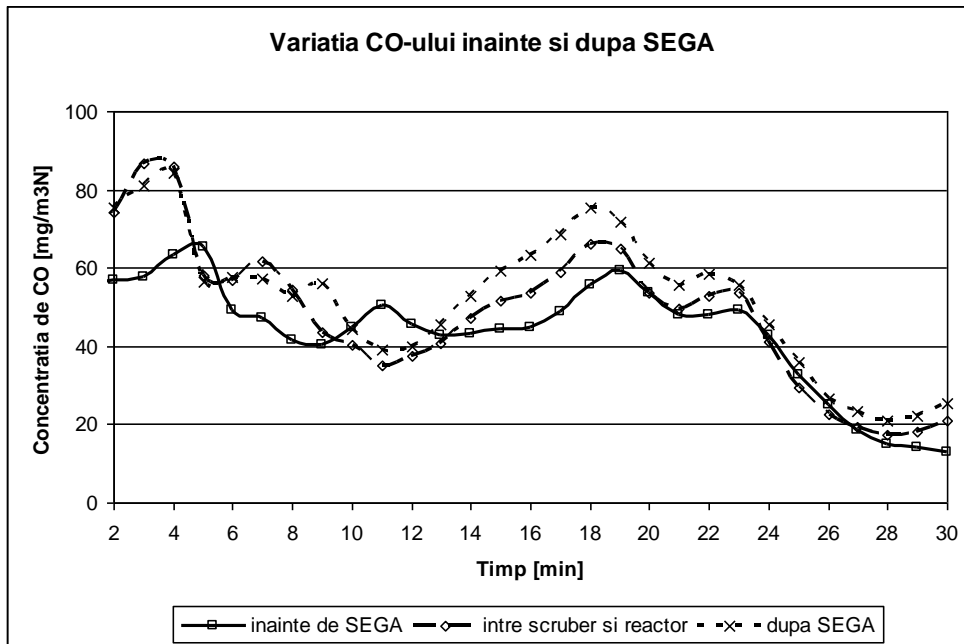


Fig. 5.44 b Variația CO-ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de grâu

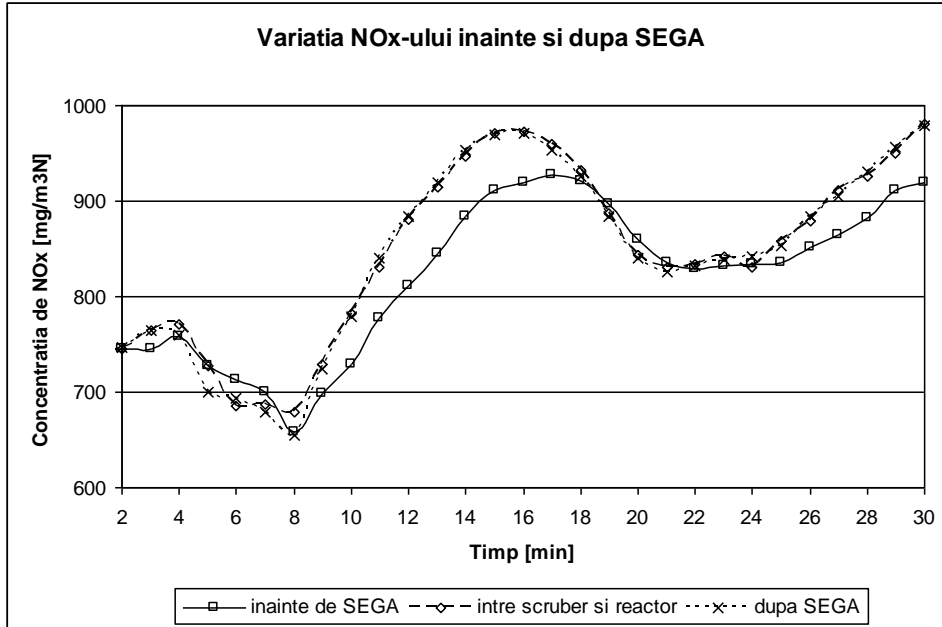


Fig. 5.44 c Variația NO<sub>x</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de grâu

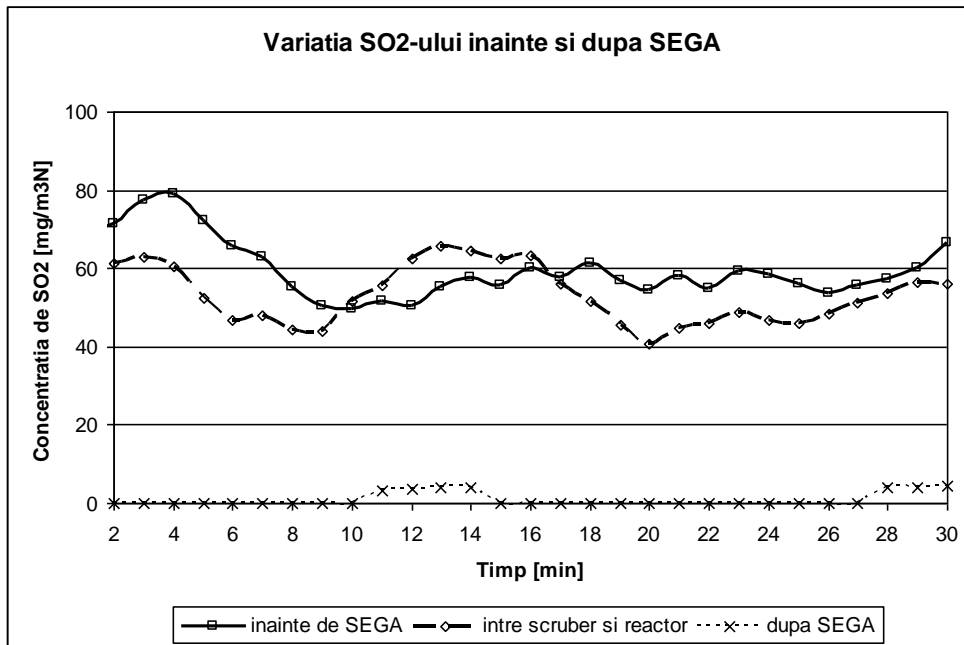


Fig. 5.44 d Variația SO<sub>2</sub>-ului înainte și după SEGA la arderea boabelor de grâu

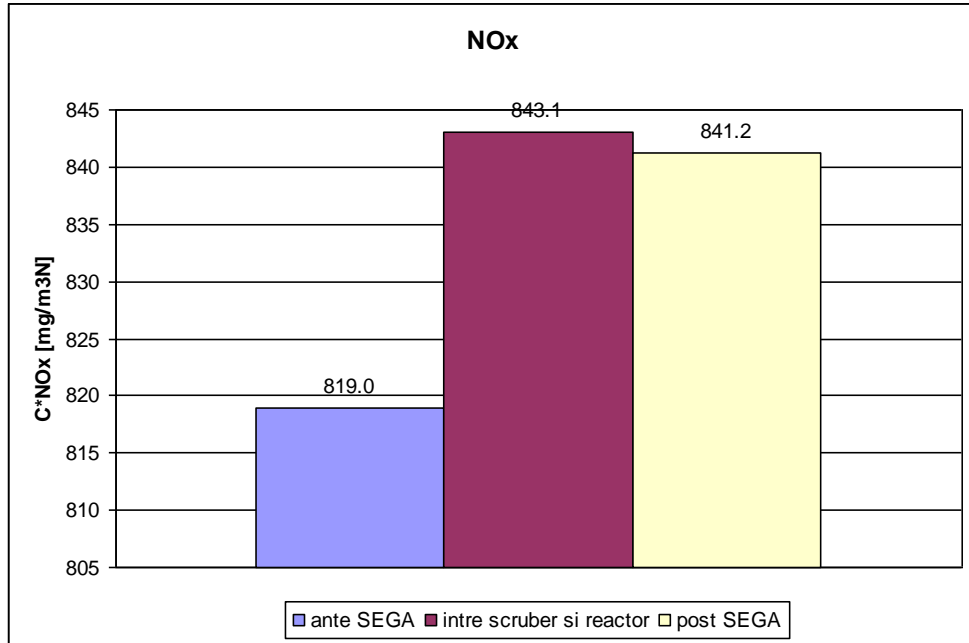


Fig. 5.44 e Concentrația medie a NO<sub>x</sub>-ului la arderea boabelor de grâu

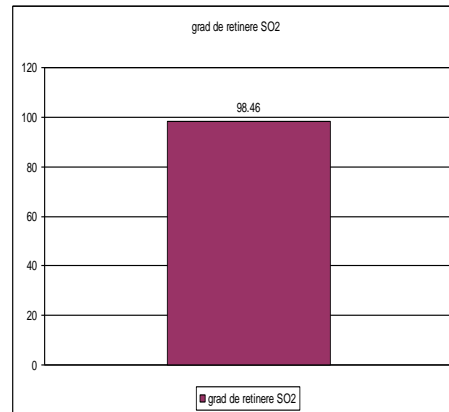
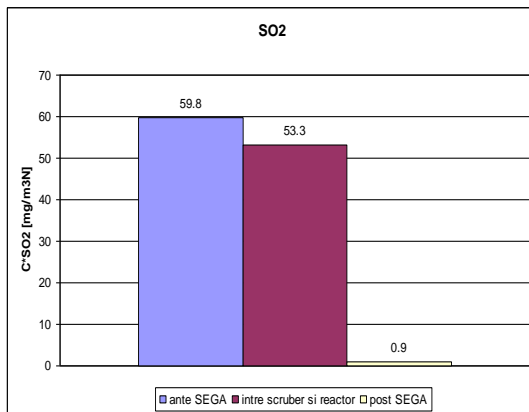


Fig. 5.44 f Concentrația medie și gradul de reținere ale SO<sub>2</sub>-ului la arderea boabelor de grâu



200 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Tab. 5.33 Valori măsurate și raportate ale emisiei de praf pentru boabele de porumb

Denumire	U.M.	CG
Masa inițială filtru vată	g	34.7819
Masa inițială filtru hârtie + cutie	g	8.4158
Masa finală filtru vată	g	34.7907
Masa finală filtru hârtie + cutie	g	8.4181
Temperatura gazelor la coș	°C	69.1
Diferența de presiune $\Delta p$	mbar	1.32
Presiunea statică $p_s$	mbar	1.78
Contor inițial	m <sup>3</sup>	408.740
Contor final	m <sup>3</sup>	410.240
Ora începerii	-	10:15
Ora terminării	-	10:35
Temperatură contor inițial $t_{ci}$	°C	28.0
Temperatură contor final $t_{cf}$	°C	29.3
Presiune contor inițial $\Delta p_{c.in}$	mbar	-210
Presiune contor final $\Delta p_{c.f}$	mbar	-215
Masa prafului colectat $\Delta m_{praf}$	g	0.0111
Volumul de gaz scurs prin contor $\Delta V_{cont}$	m <sup>3</sup>	1.500
Concentrația prafului în gazele de ard $C_{praf}$	mg/ m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	8.2297
Concentrația raportată la 11% O <sub>2</sub> $C_{praf}^{rap\ 11\ \% O_2}$	mg/ m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	<b>12.2832</b>

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 201

Tab. 5.34 Valori medii măsurate

Combustibil (biomasă)	Puncte de prelevare a probelor	tg [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	λ	Regim de lucru			
										B [kg/h]	Hi [kJ/kg]	P <sub>tn</sub> [kW]	qf [kWt/ m <sup>3</sup> ]
<b>1. Boabe de porumb</b>	ante SEGA	315.21	11.72	58.7	8.75	188.93	198.37	22.07	2.29	24.6	15450	105.58	211.15
	intermediar	162.10	11.88	58.93	8.60	186.00	195.37	12.50	2.33				
	post SEGA	87.55	12.98	54.73	7.57	163.33	171.47	5.83	2.64				
<b>2. Știuleți de porumb</b>	ante SEGA	282.07	15.15	69.83	5.52	91.10	94.94	4.40	4.29	15.6	17600	76.27	152.53
	intermediar	143.44	15.62	76.81	5.07	76.40	80.40	8.01	4.92				
	post SEGA	69.11	16.28	69.91	4.45	68.77	72.37	0.10	5.75				
<b>3. Pleavă<sup>1</sup></b>	ante SEGA	282.00	16.53	35.30	7.04	223.73	234.90	17.70	2.83	9	16900	42.25	84.50
	intermediar	141.93	13.66	35.77	6.92	219.43	230.33	8.98	2.88				
	post SEGA	68.25	14.49	35.77	6.14	196.37	206.10	0.27	3.25				
<b>4. Hârtie + lignit</b>	ante SEGA	222.19	14.15	158.60	6.46	85.87	90.24	135.27	3.30	7.2	17900	35.80	71.60
	intermediar	111.25	14.42	142.87	3.21	82.80	88.24	116.46	3.40				
	post SEGA	54.59	15.38	141.33	5.30	73.53	77.54	41.93	3.94				
<b>5. Pleavă<sup>2</sup></b>	ante SEGA	279.62	13.85	113.53	6.75	216.00	226.93	11.32	3.05	7.2	17000	34.00	68.00
	intermediar	136.53	13.88	101.80	6.71	209.63	220.07	1.23	3.08				
	post SEGA	59.55	14.55	101.73	6.08	190.50	199.93	0.13	3.40				
<b>6. Boabe de grâu</b>	ante SEGA	289.94	12.87	28.07	7.67	309.97	325.47	16.83	2.62	15	17050	71.04	142.08
	intermediar	143.14	12.94	30.60	7.60	315.37	331.13	14.90	2.66				
	post SEGA	57.59	13.70	30.20	6.89	284.97	299.27	0.23	2.93				

Pleavă<sup>1</sup> – pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumbPleavă<sup>2</sup> – pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + boabe de porumb

Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 203

Tab. 5.35 Valori medii raportate

Combustibil (biomasă)	Puncte de prelevare a probelor	tg [°C]	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	C <sub>co</sub> [mg/ m <sup>3</sup> N]	C <sub>co</sub> <sup>rap</sup> [mg/ m <sup>3</sup> N]	NO <sub>x</sub> [mg/ m <sup>3</sup> N]	C <sub>NOx</sub> [mg/ m <sup>3</sup> N]	C <sub>NOx</sub> <sup>rap</sup> [mg/ m <sup>3</sup> N]	SO <sub>2</sub> [mg/ m <sup>3</sup> N]	C <sub>SO2</sub> [mg/ m <sup>3</sup> N]	C <sub>SO2</sub> <sup>rap</sup> [mg/ m <sup>3</sup> N]
<b>1. Boabe de porumb</b>	ante SEGA	315.21	11.72	58.7	73.38	78.44	198.37	406.65	441.69	22.07	62.89	68.47
	intermediar	162.10	11.88	58.93	73.67	80.10	195.37	400.50	442.98	12.50	35.63	39.50
	post SEGA	87.55	12.98	54.73	68.42	84.68	171.47	351.51	440.95	5.83	16.63	20.95
<b>2. Știuleți de porumb</b>	ante SEGA	282.07	15.15	69.83	87.29	171.87	94.94	194.62	395.20	4.40	12.54	28.47
	intermediar	143.44	15.62	76.81	96.01	224.38	80.40	164.82	387.05	8.01	22.83	50.42
	post SEGA	69.11	16.28	69.91	87.39	241.33	72.37	148.35	405.48	0.10	0.29	1.33
<b>3. Pleavă <sup>1</sup></b>	ante SEGA	282.00	16.53	35.30	44.13	59.17	234.90	481.55	646.55	17.70	50.43	68.20
	intermediar	141.93	13.66	35.77	44.71	61.04	230.33	472.18	645.48	8.98	25.60	35.17
	post SEGA	68.25	14.49	35.77	44.71	68.77	206.10	422.51	651.19	0.27	0.76	1.16
<b>4. Hârtie + lignit</b>	ante SEGA	222.19	14.15	158.60	198.25	314.91	90.24	185.00	290.80	135.27	385.51	606.21
	intermediar	111.25	14.42	142.87	178.58	294.07	88.24	180.89	291.26	116.46	331.92	530.67
	post SEGA	54.59	15.38	141.33	176.67	336.66	77.54	158.97	295.03	41.93	119.51	223.82
<b>5. Pleavă <sup>2</sup></b>	ante SEGA	279.62	13.85	113.53	141.92	206.33	226.93	465.21	660.97	11.32	32.26	45.68
	intermediar	136.53	13.88	101.80	127.25	186.76	220.07	451.14	642.89	1.23	3.52	4.43
	post SEGA	59.55	14.55	101.73	127.17	206.17	199.93	409.86	644.42	0.13	0.38	0.52
<b>6. Boabe de grâu</b>	ante SEGA	289.94	12.87	28.07	35.08	43.87	325.47	667.21	819.01	16.83	47.98	59.83
	intermediar	143.14	12.94	30.60	38.25	48.80	331.13	678.82	843.09	14.90	42.47	53.26
	post SEGA	57.59	13.70	30.20	37.75	52.71	299.27	613.50	841.19	0.23	0.67	0.92

Pleavă <sup>1</sup> – pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb

Pleavă <sup>2</sup> – pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + boabe de porumb

## **5.5. Unele aspecte ale rezultatelor obținute și concluzii**

Prelucrarea datelor obținute în urma efectuării măsurărilor s-a făcut cu formulele (5.9) – (5.11) și (5.19), (5.20) prezentate anterior în capitolul cinci, în subcapitolele în care a fost descrisă aparatura de măsură.

În legislația aflată în vigoare nu sunt prevăzute valori limită raportate la un conținut de 11 % al oxigenului de referință pentru emisiile de poluanți din gazele uscate de ardere rezultate din arderea biomasei deșeu, de aceea datele obținute în urma arderii celor șase sorturi de biomasă deșeu nu au putut fi comparate cu niște valori fixe.

Concentrația de CO are valori cuprinse în intervalul 43,87 [mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>] pentru boabele de grâu (înainte de SEGA) și 336,66 [mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>] pentru hârtie + lignit (post SEGA), așa cum reiese din tab. 5.34. Din valorile prezentate în acest tabel se poate concluziona că combustibilii de la pozițiile 1,3 și 6 au un conținut redus de CO în gazele de ardere (mai mic de 85 [mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>]), arderea putând fi considerată ca fiind bună. Pentru combustibilii de la pozițiile 2, 4 și 5 valorile concentrațiilor de CO sunt mai ridicate, în zona de ardere nefiind îndeplinite condițiile de temperatură (760 – 920 °) și cele ale coeficientului excesului de aer (1,6 – 2,25) recomandate de literatura de specialitate.

Pe durata efectuării măsurărilor temperaturile în focar s-au situat între valorile de 636,2°C, temperatură medie măsurată la mijlocul focarului (tab. 5.11) pentru hârtie+lignit și 881,9°C, temperatură medie măsurată la baza focarului (tab. 5.11).

Temperatura în focar, din motive legate de evitarea aglomerării particulelor de combustibil, trebuie menținută sub valoarea temperaturii de aglutinare, care variază între limitele  $t_{agl} = 662$  °C în cazul boabelor de grâu și  $t_{agl} = 1188$  °C pentru lemnul de molid cu coajă [31].

Un alt motiv al limitării temperaturii în focar este legat de rezistența la temperatură a materialelor din care sunt confecționați pereții focarului, inclusiv a izolației termice, deoarece pereții focarului nu sunt răciți.

Răcirea focarului se face doar de către aerul rece introdus. Din acest motiv debitul de aer este mai mare decât cel necesar arderii, coeficientul excesului de aer fiind în jurul valorii de 3,2 (cum reiese și din exemplul de calcul) sau uneori chiar mai mare. În consecință pierderile relative de căldură cu gazele de ardere evacuate la coș sunt mai mari, iar randamentul termic brut al instalației este afectat în sens negativ. Această deficiență se poate elimina folosind un focar cu pereți răciți, caz în care coeficientul excesului de aer poate avea valori  $\lambda_f = 1,1 - 1,3$ . Dacă această măsură va fi asociată și cu o scădere a temperaturii gazelor de ardere la valori în jur de  $t_{gc} = (110 - 120)$ °C prin mărirea corespunzătoare a suprafeței corpului convectiv, se va realiza o îmbunătățire sensibilă (cu circa 10 – 12%) a randamentului termic brut actual.

## Cap. 5. Cercetări experimentale privind arderea biomasei în strat fluidizat staționar 205

Valorile concentrațiilor de  $\text{NO}_x$  măsurate în gazele de ardere și raportate la  $\text{O}_2_{\text{ref}} = 11\%$  variază în intervalul 290,8 [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ] (hârtie + lignit) și 843,09 [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ] (boabe de grâu). Aceste valori mai ridicate, în special pentru boabele de grâu (între 819,01 și 843,09 [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ]) sunt determinate de un conținut ridicat de azot al biomasei, care favorizează formarea oxizilor de azot, dar și din cauza mecanismului prompt de formare a acestora.

Conținutul de sulf al biomasei, în general, cât și cel al biomasei deșeu folosită în experiențele de ardere, este foarte mic având valori cuprinse între 0,015% (lemn de molid cu coajă) și 0,18% (planta întregă de triticale). Ca urmare și concentrația dioxidului de sulf în gazele de ardere uscate se situează la valori foarte scăzute, nefiind necesare măsuri de desulfurare a gazelor de ardere [30]. În cazul celor șase sorturi de biomasă arse valorile concentrațiilor de  $\text{SO}_2$  raportate la  $\text{O}_2_{\text{ref}} = 11\%$  din gazele de ardere se situează între 0,5 [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ] (pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + boabe de porumb) și 606,2 [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ] (hârtie + lignit), această valoare fiind cu mult mai mare decât în celelalte cazuri din cauza conținutului mare de sulf al lignitului folosit pentru coincinerare.

Măsurători pentru praful conținut în gazele de ardere s-au făcut pentru boabele de porumb, concentrația prafului în gazele de ardere uscate raportată la  $\text{O}_2_{\text{ref}} = 11\%$  având valoarea de 12,28 [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ]. Această valoare se datorează conținutului redus de cenușă al biomasei (0,6% - lemn de molid cu coajă, 12,2% - tulpini de floarea-soarelui, 4,1% - planta întregă de grâu sau 2,7% - boabe de grâu).

Un alt motiv pentru care concentrația de praf în gazele de ardere uscate este mică se datorează prezenței ciclonului la ieșirea gazelor de ardere din suprafața convectivă, prezența acestuia nefiind necesară în cazul arderii biomasei cu conținut redus de cenușă. Prezența ciclonului este necesară dacă instalația se folosește pentru arderea cărbunelui sau a co-incinerării biomasei cu cărbune.

În temeiul afirmațiilor de mai sus se poate concluziona că în cazul arderii doar a biomasei deșeu instalația de ardere poate fi mult simplificată, în componența acesteia urmând să intre doar focarul propriu-zis (cu ardere în strat fluidizat staționar), schimbătorul de căldură gaze de ardere – apă și, de la caz la caz, eventual un ciclon pentru desprăfuirea gazelor de ardere.

Dacă se are în vedere folosirea instalației și pentru co-incinerarea biomasei cu cărbune sau numai a cărbunilor, atunci se impune dotarea acesteia cu echipamente de depoluare a gazelor de ardere ca: ciclon, scrubber, reactor și separator de picături. În acest caz trebuie să se cerceteze calitatea apelor uzate, folosite la spălarea gazelor de ardere, și să se constate în ce măsură îndeplinesc cerințele NTPA 002/2005 pentru a putea fi sau nu evacuate în canalizarea municipală.

În ultimul caz trebuie să se prevadă o stație pentru epurarea apelor uzate.

## **Cap. 6. Unele precizări cu privire la cercetările efectuate și contribuția personală**

### **6.1. Folosirea deșeurilor de biomasă din agricultură**

În cadrul cercetărilor efectuate s-au folosit șase sorturi de biomasă deșeu, cinci dintre acestea provenind din agricultură (boabe de porumb, știuleți de porumb, pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb, pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + resturi de boabe de porumb, boabe de grâu), care din cauza deprecierii nu mai putea fi folosită în alte scopuri, precum și deșeuri de hârtie care nu mai puteau fi reciclate urmând a fi depozitate în gropile de gunoi.

Utilizarea resurselor regenerabile de energie, din care face parte și biomasa deșeu, reprezintă o preocupare actuală la nivel național și mondial de dezvoltare durabilă prin reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră.

Înlocuirea parțială a combustibililor fosili cu biomasă reprezintă o posibilitate, alături de alte surse de producere a energiei nepoluante ca cele hidroenergetice, eoliene, solare și geotermale, de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, deoarece cantitatea de CO<sub>2</sub> rezultată în urma arderii biomasei este egală cu cea captată pe parcursul formării sale. Nu se pune problema înlocuirii combustibililor fosili cu biomasa, deoarece la ora actuală cea mai ieftină sursă de energie o reprezintă cea provenită din arderea combustibililor fosili.

### **6.2. Avantaje ale arderii în strat fluidizat**

Comparativ cu arderea în strat fix pe grătar, arderea în strat fluidizat staționar prezintă anumite avantaje cum ar fi:

- ardere intensificată, care se desfășoară cu o viteză de ardere superioară celei realizate la arderea în strat, viteza relativă dintre particulă și oxidant (aerul primar) fiind mai ridicată schimbul de căldură și masă între particula de combustibil și mediul din focar este mai intens;
- randamentul este îmbunătățit (peste 90%) față de 80 – 85% la arderea în strat pe grătar;
- arderea poate fi considerată nepoluantă, emisiile de gaze poluante fiind minime în comparație cu arderea în strat dacă s-ar folosi același combustibil;
- arderea poate fi considerată aproape perfectă (concentrația de CO având valori foarte mici), deoarece particula de combustibil este înconjurată de o atmosferă oxidantă, cu un conținut ridicat de O<sub>2</sub>, care poate pătrunde la suprafața de reacție, stratul de cenușă fiind practic îndepărtat de mișcarea (scuturarea) particulelor de combustibil (acestea lovindu-se atât între ele cât și de pereții focarului);
- mecanismul termic (cel mai productiv) de formare a oxizilor de azot este practic blocat datorită temperaturilor din focar (700 - 900°C) cât și a atmosferei reducătoare de la baza focarului. Oxizii de azot se formează doar din cauza mecanismului prompt și al conținutului de azot din compoziția combustibilului.

- biomasa are un conținut redus de sulf, de regulă, nefiind necesare aplicarea de procedee de desulfurare a gazelor de ardere;
- concentrația de praf din gazele de ardere are valori mici care se datorează conținutului redus de cenușă al biomasei;
- arderea este autotermă, folosirea combustibilului suport fiind necesară numai la pornirea instalației.

### **6.3. Contribuții personale**

1. Am participat la execuția, echiparea cu aparatură de măsură și control, punerea în funcțiune și efectuarea probelor de casă ale stației pilot pentru arderea combustibililor solizi în strat fluidizat.
2. Am făcut parte din colectivul care a efectuat cercetările experimentale prevăzute în contractele MENER 410 și 461, precum și în proiectele GREENENERGY (Energy optimisation in european greenhouses), NETBIOCOF (Network of biomass cofiring), TECEBAC (Dezvoltarea de tehnologii curate de producere a energiei pe bază de cărbune) și OVAPED (Optimizarea valorificării potențialului energetic al deșeurilor pentru obținerea de energie curată în instalații industriale românești).
3. Am întocmit un studiu de caz privind funcționarea stației pilot în cazul folosirii drept combustibil deșeu a cojilor de semințe de floarea-soarelui pentru funcționarea stației cu puterea termică nominală  $P_{tn} = (60 - 90)$  [kW<sub>t</sub>].  
Din calcule a rezultat a fi necesar:
  - un consum de combustibil cuprins între 14,724 kg/h și 22,086 kg/h;
  - un coeficient al excesului de aer  $\lambda_f = 3,192 - 5,43$  care să asigure răcirea focarului astfel încât temperatura gazelor de ardere la ieșirea din focar să fie cuprinsă între 600 și 900 °C.
4. Am întocmit calculul termic de verificare a răcitorului constatând că acesta corespunde, ca mărime a suprafeței, chiar în cazul funcționării stației la puterea nominală  $P_{tn} = 116,3$  [kW<sub>t</sub>].
5. Am cercetat arderea a șase sorturi de biomasă deșeu (boabe de porumb, știuleți de porumb, pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb, hârtie + lignit, pleavă rezultată la decorticarea știuleților de porumb + resturi de boabe de porumb, boabe de grâu). Pe baza măsurătorilor am făcut unele aprecieri asupra calității arderii atât din punct de vedere energetic cât și a poluării mediului ambiant.
6. Am lucrat cu aparatură modernă, semnalele primite de la senzori fiind înregistrate pe calculator și prelucrate cu programe specializate.
7. Pierderea relativă de căldură la coș, fiind dependentă de  $\lambda_f$ , este exagerat de mare, motiv pentru care se impune folosirea unui focar răcit, construit fie cu pereți membrană prin care să circule apă, fie prevăzut cu un schimbător de căldură imersat în stratul fluidizat. Cum dimensiunile focarului sunt mici, respectiv volumul acestuia redus, nu poate fi prevăzut un schimbător de căldură imersat fără ca acesta să perturbe în mod serios gazodinamica stratului fluidizat. De aceea rămâne să fie luată în considerare doar prima variantă, adică folosirea unui focar cu pereți membrană răciți cu apă sau cu pereți răciți cu aer.



## Bibliografie

- [1] \*\*\* - Energia nucleară și viitorul climat. Raport al Societății Regale Britanice și al Academiei Regale Britanice de Inginerie, elaborat în iunie 1999.
- [2] Douglas R.O. Morrison – World energy and climate in the next century.
- [3] Ungureanu C., Pănoiu N., Zubcu V., Ionel Ioana – Combustibili, instalații de ardere și cazane, Ed. Politehnica, Timișoara 2006, ISBN 973 – 9389 – 21 – 0.
- [4] Pănoiu N. ș.a. – Instalații de ardere a combustibililor solizi, Ed. Tehnică, București, 1985.
- [5] Lemneanu N., Cristea E., Jianu C. – Instalații de ardere a combustibililor lichizi, Ed. Tehnică, București, 1982.
- [6] Grecov D., Iordache I., Antonescu N. – Arderea combustibililor gazoși, Ed. Academiei R.S.R., București, 1969.
- [7] Proca Amuliu – Cantitatea de CO<sub>2</sub> din atmosferă crește mai repede decât se credea – Univers ingineresc nr. 2 (408), 16 – 31 ianuarie, 2008.
- [8] Radu Adrian, Vasilache Maricica – Încălzirea globală în atenția constructorilor. Univers Ingineresc, anul XVIII nr. 15 (379).
- [9] \*\*\* - Buletinul Organizației Meteorologice Mondiale (OMM) despre gazele cu efect de seră, publicat la 3 noiembrie 2006.
- [10] \*\*\* - Concluziile celei de a doua sesiuni a Grupului de lucru privind noile angajamente în cadrul Protocolului de la Kyoto (Nairobi, 2006).
- [11] \*\*\* - IPCC AR4 – Fourth Assessment Report, Paris, 2007.
- [12] Popescu Verginia – Reabilitarea termică a clădirilor, Instalații pentru construcții și confort ambiental (ICCA), Conferința cu participare internațională, ediția a 16-a, 29 – 30 martie 2007, Timișoara, p. 152 – 154, ISSN 1842 – 9491.
- [13] Todorovič Branislav – Energy efficiency in medical Buildings and Hospitals, ICCA ed. 17, 17 – 18 aprilie 2008, Timișoara, p. 244 – 251, ISSN 1842 – 9491.
- [14] Țicleanu Cosmin, Fota Stan, Boian Ioan – Eficientizarea energetică a clădirilor de învățământ – ICCA, ed a 17-a, 17 – 18 aprilie 2008, Timișoara, p. 252 – 268.
- [15] Cinca Mihai, Ianca Sevastian – Studiu de caz privind reabilitarea termoenergetică a clădirii școlii generale din Ineu, ICCA, ed. a 17-a, p. 269 – 279.
- [16] Sârbu Ioan, Brata Silviana – Auditul energetic al unei clădiri de locuit, ICCA, ed. a 17-a, p. 280 – 292.
- [17] Păcurar Cristian, Retezan Adrian – Economii de energie datorate izolării conductelor de apă caldă menajeră, ICCA, ed. a 17-a, p. 308 – 313.
- [18] Ionel Ioana, Ungureanu C. – Centrale termoelectrice – Cicluri termodinamice avansate, Ed. Politehnica, Timișoara, 2004, ISBN 973 – 625 – 162 – 4.
- [19] Darie G ș.a. – Cicluri combinate gaze – abur, Ed. AGIR, București, 2001.
- [20] Moțoiu Costin – Centrale termo și hidroelectrice, EDP, București, 1974.
- [21] Leca Aureliu ș.a. – Centrale electrice – Probleme, EDP, București, 1977.

208 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

- [22] Ardelean Z ș.a. – Partea termică a centralelor electrice, Ed. Mirton, Timișoara, 1999.
- [23] Schröder K. – Centrale termoelectrice de putere mare, Ed. Tehnică, București, 1971.
- [24] Ghergheș Viorel – Energia viitorului. Surse regenerabile, Ed. Mediamira, Cluj – Napoca, 2006, ISBN (10) 973 – 713 – 146 – 0, ISBN (13) 978 – 973 – 713 – 146 – 0.
- [25] Antal C., Maghiar T., Gavrilă O., Mintăș I. – Utilizarea energiei geotermale. Conversia energiei geotermale în energie electrică, Ed. Universității din Oradea, 2000.
- [26] Nitu Vasile – Energetică generală și conversia energiei, EDP, București, 1980.
- [27] Roșca M. – Geotermalism și centrale geotermale, Ed. Universității din Oradea, 1997.
- [28] Tănăsescu T.F. – Conversia energiei – Tehnici neconvenționale, Ed. Tehnică, București, 1986.
- [29] \*\*\* - Directiva 77 privind promovarea energiei electrice produse din surse regenerabile, Septembrie 2004.
- [30] \*\*\* - H.G. 443/2003 privind promovarea producției de energie electrică din surse regenerabile de energie.
- [31] Ionel Ioana, Ungureanu C., Trif – Tordai Gavrilă, **Țenchea Adrian**, Silaghi Diana, Constantin Carmencita – Managementul valorificării energetice a biomasei. Monografie, Ed. Politehnica Timișoara, 2007, ISBN 978 – 973 – 625 – 541 – 0.
- [32] Popov Dușan, Sajfert Vjekoslav, Popović Streten – Importanța utilizării energiei solare în contextul fenomenului de încălzire globală, ICCA, ed. a 16-a, 29 – 30 martie 2007, Timișoara, p. 155 – 164, ISSN 1842 – 9491.
- [33] Damian Ioan ș.a. – Argumente pentru energetica fotovoltaică, ICCA, ed. a 16-a, 29 – 30 martie 2007, Timișoara, p. 165 – 170.
- [34] Luminosu Ioan ș.a. – Concentratorii optici în instalațiile fotovoltaice, ICCA, ed. a 16-a, 29 – 30 martie 2007, Timișoara, p. 183 – 190.
- [35] Todorović M., Ećim O. – Solar energy utilization for water heating in special hospital of the SPA RUSANDA in Serbian Banat, ICCA, ed. a 16-a, 29 – 30 marite 2007, Timișoara, p. 200 – 212, ISSN 1842 – 9491.
- [36] Damian Ioan ș.a. – Aplicarea unui model simplu pentru intensitatea radiației solare globale zilnice, ICCA, ed. a 17-a, 17 – 18 aprilie 2008, Timișoara, p. 321 – 327, ISSN 1842 – 9491.
- [37] Costache Marius ș.a. - ??????? unor concentratori statici și dinamici de energie solară, ICCA, ed. a 17-a, 17 – 18 aprilie 2008, Timișoara, p. 328 – 335, ISSN 1842 – 9491.
- [38] Popov Dușan ș.a. – Observații privind eficiența celulelor solare fotovoltaice, ICCA, ed. a 17-a, 17 – 18 aprilie 2008, Timișoara, p. 336 – 346, ISSN1842 – 9491.
- [39] Paulescu Marius ș.a. – Proiectarea sistemelor fotovoltaice între tradiție orală și criteriile științifice, ICCA, ed. a17-a, 17 – 18 aprilie 2008, Timișoara, p. 347 – 355, ISSN 1842 – 9491.

- [40] Muntea Cornel – Încălzirea serelor, ICCA, ed a 17-a, 17 – 18 aprilie 2008, Timișoara, p. 181 – 189, ISSN 1842 – 9491.
- [41] Marutzky Rainer – Energie aus Holz und anderer Biomasse, DRW – Verlag, Leinfelden – Echterdingen, 1999, ISBN 3 – 87181 – 347 – 4.
- [42] Kaltschmitt M., Hartmann H. – Energie aus Biomasse, Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New – York, 2001, ISBN 3 – 540 – 64853 – 4.
- [43] Oltenac M. – Cercetări avansate în tehnologia captării CO<sub>2</sub>, Univers ingineresc, anul XVIII, nr. 24 (406), 16 – 31 dec. 2007.
- [44] Pop Gheorghe – Gazificarea și arderea ligniților, Teză de doctorat, U.P. Timișoara, 1998.
- [45] Maghiar T., Bondor K. – Surse noi de energie, Ed. Universității Oradea, Oradea, 2001.
- [46] Malița M, Mihăileanu Călin – Energia în următoarele trei decenii, Ed. Acad. RSR, București, 1980.
- [47] Dănescu Al., Bucurenciu S., Petrescu St. – Utilizarea energiei solare, Ed. Tehnică, București, 1980.
- [48] Malița Mircea, Gheorghe Ad. – Prezentul și viitorul energiei solare, Ed. Acad. RSR, București, 1982.
- [49] Ursu Ioan, coordonator – Știința modernă și energia, vol. II – Priorități în domeniul energiei, Ed. Dacia, Cluj – Napoca, 1984.
- [50] Ursu Ioan, coordonator – Știința modernă și energia, vol. III – Dezvoltarea producției de energie, Ed. Dacia, Cluj – Napoca, 1984.
- [51] Malamatenios Ch., coordonator – Energii regenerabile & Eficiența energetică, Ghid de instruire, Ed. Nic Vox, București, 2007, ISBN (13) 978 – 973 – 8489 – 37 – 0.
- [52] Jianu Ionel, Alexa Ersilia – Tehnologia morăritului, Ed. Eurobit, Timișoara, 1998.
- [53] Herlo Emil Valer - Utilizarea combustibilului solid - biomasă granulată pentru încălzirea și prepararea apei calde de consum în comunitățile mici și mijlocii din județul Arad – Instalații pentru construcții și confort ambiental, Conf. cu part. internațională, 14 – 15 aprilie 2005, Timișoara, p. 152 – 157, ISBN 973 – 625 – 223 – X.
- [54] Ungureanu C. - Generatoare de abur pentru instalații energetice clasice și nucleare, E.D.P., București, 1977.
- [55] Mihăescu L. ș. a. – Cazane de abur și apă fierbinte, Ed. PERFECT în colaborare cu Ed. Printech, București, 2007, ISBN 978 – 973 – 7984 – 32 – 6.
- [56] Pănoiu N. - Cazane de abur, E.D.P., București, 1982.
- [57] \* \* \* – Manualul inginerului termotehnician, vol.I, E.T., București, 1986.
- [58] Pănoiu N., ș.a. – Instalații de ardere a combustibililor solizi, Ed. Tehnică, București, 1985.
- [59] Hartmann H., Böhm T., Maier L. - Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – Umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Bayerisches

210 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg), München, 2000, Reihe „Materialien“, Nr. 154.

[60] Spliethoff H., Siegle V., Hein K.R.G. - Erforderliche Eigenschaften Holz und halmgutartiger Biomasse bei einer Zufeuerung in existierenden Kraftwerksanlagen; Tagung „Biomasse als Festbrennstoff-Anforderungen, Einflussmöglichkeiten, Normung“, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 6, Landwirtschaftsverlag, Münster, 1996, S. 155-175.

[61] Becherescu D. ș.a. - Metode fizice în chimia silicaților, Ed. științifică și enciclopedică, București, 1977.

[62] Winter Fr. ș.a. - Metode de investigație și de analiză din chimia solidului, Centrul de multiplicare I. P. Timișoara, 1983.

[63] Goleșteanu Ioana (actual Ionel Ioana) - Analiza termică - o nouă metodă de investigare a comportării cărbunilor în procesul de ardere, Energetica, 33, 1985, nr. 9, p. 424 - 427.

[64] Goleșteanu Ioana - Viteza de ardere a rezidului carbonos cu aplicație la șistul de Anina, Energetica, 33, 1985, nr. 4, p. 163 - 165.

[65] Goleșteanu Ioana - Posibilități de interpretare a derivatogramelor prafului de cărbune, Energetica, nr. 10, 1987.

[66] Goleșteanu Ioana, Ungureanu C. - Considerații cu privire la alegerea combustibilului pentru focare cu evacuarea cenușii în stare lichidă, Energetica, nr. 12, 1986, p. 538 - 544.

[67] Goleșteanu Ioana - Cercetări privind intensificarea arderii prafului de cărbune în câmp de ultrasunete, teză doctorat, I. P. București, 1986.

[68] Ionel Ioana, Ungureanu C., Gogu A. - Studii pe bază de derivatograme ale comportării mixtelor de ulei de la Petrila în procesul de aprindere și ardere, Energetica, nr 6 - 7, 1990.

[69] Popa Bazil, coordonator - Manualul inginerului termotehnician, vol. I, Ed. Tehnică, București, 1983.

[70] Neaga C-tin - Tratat de generatoare de abur, vol. I, Ed. AGIR, București, 2001, ISBN 973 - 8130 - 67 - 0.

[71] Neaga C., Epure Al. - Îndrumar. Calculul termic al generatoarelor de abur, Ed. Tehnică, București, 1998.

[72] Sjaak van Loo, Jaap Koppejan - Handbook of Biomass combustion and co-firing, 2002, ISBN 9036517737.

[73] Ledineg M. - Dampferzeugung, Dampfkessel, Feuerungen, Springer Verlag, Wien, New-York, 1966.

[74] Antonescu N., Stănescu P. D., Antonescu N.N. - Procese de ardere - bazele fizice și experimentale, Ed. MATRIX ROM, București, 2003.

[75] Gorbis Z.R. - Teploobmen i ghidromekhanika dispersnâh scvoznâh potocov, Moskva "Energhii", 1970.

[76] Aerov M.E., ș.a. - Ghidravlicieskie i teplovâe osnovî rabotî apparatov so stationarnâm i chipiașcim zernistâm sloem, Leningrad "Himia", 1968.

- [77] Borodulia V.A., ș.a. – Ghidrodinamica i teploobmen v pseudoojijennom sloe pod davleniem, Minsk "Nauka i Tehnika", 1982.
- [78] Oka S.N. – Sagorevanje u fluidizovanom sloju. Procesi i primena, Jugoslovensko društvo termičara, Beograd, 1994.
- [79] Leva M. – Pseudoojijenie, trad. din l. engleză, Moskva, Gostoptehnica, 1961.
- [80] Ivănuș Gh., ș.a. – Ingineria fluidizării, Ed. Tehnică, București, 1996.
- [81] Pănoiu N., Cazacu C. – Contribuții la studiul arderii ligniților în strat fluidizat, Studii și cercetări de energetică, vol. XI, nr. 3, 1961, p. 763 – 770.
- [82] Nistor I., ș.a. – Cercetări privind arderea combustibililor solizi în strat fluidizat, Construcția de mașini, nr. 10, 1975, p. 485 – 487.
- [83] Hein D., Schmitz W. – Innovationen in der Feuerungstechnik für Verfahrenstechnik, TU Graz, 1996.
- [84] Ungureanu C., Ionel Ioana - Generatoare de abur. Calculul termic, Ed. UPT, Timișoara, 1993.
- [85] Ionel Ioana, Ungureanu C, Bisorca D. – Termoenergetica și mediul, Ed. Politehnica, Timișoara, 2006, ISBN (10) 973 – 625 – 387 – 2, ISBN (13) 978 – 625 – 387 – 4.
- [86] Ungureanu C. ș.a. – Gestionarea integrată a deșeurilor municipale, Ed. Politehnica, Timișoara, 2006, ISBN (10) 973 – 625 – 386 – 4.
- [87] Nistor I., ș.a. – Researches and experiments concerning the parameters influencing the application of the fluidized bed as burning technique of low – grade lignite, *Révue Roumaine des Sciences Techniques, Serie électrotechnique et énergétique*, tom 23, nr. 2, aprilie – iunie, 1978, p. 301 – 310.
- [88] Ionel Ioana ș.a. – Procedeu și instalație pentru arderea combinată a deșeurilor de biomasă sau urbane cu cărbune și epurarea gazelor de ardere, Brevet nr. 121352 B1 – A/1085/27.12.2005.
- [89] Ionel Ioana ș.a. – Energoecologia combustibililor fosili, Ed. Politehnica, Timișoara, 2004, ISBN 973 – 625 – 186 – 1.
- [90] Teaci D-tru, Hurduc N. – Considerații privind resursele de fitomasă ale României pretabile a fi utilizate ca sursă reînnoibilă de energie, *Energetica*, nr. 9, vol. XXXIII, București, sept. 1985, p. 385 – 392.
- [91] Ionel Ioana – Dispersia noxelor. Curs universitar, U. P. Timișoara, 1998.
- [92] Băltărețu Florin, Mihăilă Cornel – Fizica poluării atmosferei – curs pentru ingineri, Ed. Conspress, București, 2004, ISBN 973 – 8165 – 95 – 4.
- [93] \*\*\*, Testo – Prospect de firmă TESTO 300 XXL.
- [94] \*\*\*, Ströhlein – Manual de utilizare, Ströhlein STE 4.
- [95] Trif-Tordai G., Gruescu V., **Jenchea A.** - Operational and design variables affecting the biomass combustion process, *Buletinul Științific al UPT, seria Mecanică*, Tom 49 (63), 2004, Fascicola 1-2, ISSN 1224-6077.
- [96] Gruescu V., Trif Tordai G., **Jenchea A.**, Ionel Ioana - Oxy-fuel combustion as a method for reducing of CO<sub>2</sub> from flue gases. Experimental investigation, *Buletinul Științific al UPT, seria Mecanică*, Tom 49 (63), 2004, Fascicola 1-2, ISSN 1224-6077, pp. 23-27.

212 Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei

- [97] Gruescu V., Trif Tordai G., **Țenchea A.**, Ionel Ioana - CO<sub>2</sub> sequestration via oxy fuel combustion. Experimental investigation, A XIV-a Conferință Națională de Termotehnică, București, 25 – 26.11.2004, A-37.
- [98] Trif Tordai G., Ionel Ioana, Gruescu V., **Țenchea A.** - Instalație demonstrativă în cogenerare de ardere a biomasei. Stadiu actual și perspective, A XIV-a Conferință Națională de Termotehnică, București, 25 – 26.11.2004, B – 38.
- [99] Ungureanu C., Ionel Ioana, Trif Tordai G., Savu Al., Gruescu V., **Țenchea A.** - Instalație pentru arderea combinată a deșeurilor, Simpozionul Omul și Mediul, 8.11.2004, Ed Politehnica, Timișoara, ISBN 973 625 176 4, p. 284 – 290.
- [100] Ioana Ionel, G. Trif-Tordai, Vasile Gruescu, **Adrian Țenchea** - Biomass utilization in Romania, Buletinul Științific al UPT, seria Mecanică, Tom 51 (65), 2006, Fascicola 2, ISSN 1224-6077, p. 371-376.
- [101] Ioana Ionel, Al. Savu, V. Gruescu, G. Trif-Tordai, **Adrian Țenchea**, Corneliu Ungureanu - Co-combustion of biomass in a Romanian fluidized bed combustion facility, Buletinul Științific al UPT, seria Mecanică, Tom 51 (65), 2006, Fascicola 2, ISSN 1224-6077, p. 381-386.
- [102] Ioana Ionel, Al. Savu, C. Ungureanu, G. Trif-Tordai, **A. Țenchea**, N. Lontîș, Casian Bulzu - Co-combustion of waste in a Romanian fluidized bed combustion facility, World Renewable Energy Congress IX, Florence Italy, 19-25 August 2006, World Renewable Energy Congress, WREC 2006 ISBN -13:978-0-08-045056-8.
- [103] I. Ionel, Al. Savu, **A. Țenchea**, C. Ungureanu, G. Trif-Tordai, N. Lontîș - Experimental achievements concerning the biomass co-combustion in an experimental test facility, The Sixth World Energy System Conference (WESC 2006), Torino, Italy, July 10-12, 2006, ISBN10: 88-87380-51-1, ISBN13: 978-88-87380-51-4, Paper B10.5, p 753.
- [104] G. Trif-Tordai, Ioana Ionel, V. Gruescu, **Adrian Țenchea**, C. Ungureanu - Experimental results with a novel concept for biomass co-firing, 1st Conference of the European Biomass Co-firing Network, 2-4 July 2007, Budapesta, Ungaria, ISBN: 978-963-9364-86-8.
- [105] G. Trif-Tordai, **A. Țenchea** - Reduction of SO<sub>2</sub> resulted from pit coal combustion using NaOH reagent, Buletinul Științific al UPT, seria Mecanică, Tom 52 (66), 2007, Fascicola 4, ISSN 1224-6077.
- [106] Ioana Ionel, G. Trif Tordai, **A. Țenchea**, D. Cebrucean - Experimental research on co-combustion process of pit coal with agricultural biomass, 3rd International Conference on Energy and Environment, 22-23 November 2007, Bucharest, U. P. B. Sci. Bull., Series C, Vol. 69, No.4, 2007, ISSN 1454-234x, p. 433-440.
- [107] Girjoaba M., Ionel Ioana, Anca Dita, Marius Hoara, **Adrian Țenchea**, Gruescu V., Scateie I., Parvulescu I. - Modernization of a thermal power plant by switching to biomass coal co-combustion, Buletinul Științific al UPT, Seria Mecanică, Tom 51(65) Fasc 2, 2006, Ed. Politehnica, Editor V Balasoiu, Ioana Ionel, p. 309-313, ISSN 1224 6077.

- [108] Ionel Ioana, Savu Al., Gruescu V., Savu M., **Țenchea A.** - Instalație de ardere combinată, Omul și mediul 2005, Zilele acad. Timișene, ed. a IX-a, Timisoara, Ed Politehnica, Timisoara, pp. 70-76, ISBN 973 625 225 6.
- [109] Ioana IONEL, Al. SAVU, C. UNGUREANU, G. TRIF-TORDAI, V. GRUESCU, **A. ȚENCHEA**, N. LONTIȘ, Casian BULZU - Co-combustion of biomass in a Romanian fluidised bed combustion facility, Fluidised bed combustion, Vienna, May 2006, [www.fbc2006.org](http://www.fbc2006.org), Editor Prof. Franz Winter Review committee coordinated by Prof. Michele Miccio 21-24 May 2006, p. 1200-1210, Vol (Part) 1, ISBN 3 200 00645 5.
- [110] Ionel Ioana, Al. Savu, D. Lelea, C. Ungureanu, G. Trif Tordai, **A. Țenchea** - Novel achievement regarding experimental research of waste agricultural biomass in Romania, 20.Kongres o procesnoj indstriji PROCESING 2007, Beograd Sava centar 13-15 Jun 2007, editor Zbornic Rezimea Radova, Stampa paragon, Beograd, Urednici rbislav Genic, Iljia Kovacevic, p. 73-74.
- [111] Ionel Ioana, C. Ungureanu, P. D. Opreșă-Stănescu, G. Trif Tordai, **A. Țenchea** - Thermal direct combustion of waste agric biomass in Romania, 15-th European Biomass Conference & exhibition. From Research to market development, Icc Internat Congress Center Berlin, May 7-11, CD proceedings in print, paper V24I4, ISBN 3-936338-21-3, 973-88-89407-59-X.
- [112] Fr. POPESCU, Ioana IONEL, **A. ȚENCHEA**, G. TRIF TORDAI, M. APASCĂRIȚEI, L. DUNGAN, D-tru IANCULUI - Investigarea on-line a calității aerului prin laboratoare independente, necesitate a realității contemporane în România. Aplicație la municipiul Timișoara, Conferința națională de la Agigea, sept. 2007.