

# **CONTRIBUȚII PRIVIND APORTUL CENTRALEI PE CĂRBUNE ROMAG TERMO LA POLUAREA AERULUI ȘI MĂSURI PENTRU REDUCEREA ACESTEIA**

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

**Ing. Lelia Dobjanschi**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Corneliu Ungureanu  
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. habil Ioana Ionel  
prof.univ.dr.ing. Tudor Prisecaru  
prof.univ.dr.ing. George Darie

Ziua susținerii tezei: 21.12.2007

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, 2007

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 a fost elaborată în urma cercetărilor desfășurate pe parcursul activității mele ca și doctorand, în cadrul Catedrei de Termotehnică , Mașini Termice și Autovehicule Rutiere ( TMTAR) a Facultății de Mecanică a Universității " Politehnica" din Timișoara, pe perioada 2002-2007.

Activitatea s-a desfășurat în cadrul Laboratorului de Analize de Combustibili și Investigații Ecologice din Centrul de Cercetare pentru Mașini și Echipamente Termice, Transporturi și Combaterea Poluării.

Problemele ecologice ale lumii în care trăim sunt multiple interdependente se confruntă cu istoria umanității, sunt începute cu mii de ani în urmă și s-au intensificat în ultima perioadă de timp când s-a observat o anumită o anumită conștientizare a acestora.

Iata citiva dintre factorii care pun in pericol viata pe Pamint,factori care la origine au fost generați în mod inconștient de către om,in dorinta acestuia de a-si satisface cerintele de viata ,normale sau exagerate: agricultura excesiva care a saracit solul;amenintarea pina la disparitie a unor specii de animale , pasari,pesti,plante prin modificarea habitatului acestora;taierea padurilor din variate cauze;cresterea populatiei, cu marirea continua a presiunii acesteia asupra mediului;dezvoltarea industrial, a transporturilor , a amenajerilor urbane si rurale cu efecte ecologice multiple;cresterea si diversificarea consumului energetic global, cu o permanentă presiune asupra resurselor primare de energie, inegal distribuite; dificultati tot mai mari privind accesul la sursele de apa utilizabila;poluarea aerului ,apelor,solului si subsolului; schimbari climatice majore si procesul de incalzire globala produs de gazele cu efect de sera .

În perspectiva deceniilor care vor veni va trebui să se aleagă între două alternative: o lume în care se poate trai și o lume în care nu se poate trai și totul depinde de voința politica de a gestiona schimbarile.

Tema din lucrare este inspirată din preocuparea mea pentru protectia mediului in cadrul centralei Romag-Termo si in special reducerea emisiilor din gazele de ardere ale centralei ,aceasta avind instalatii mari de ardere (Directiva 2001/80/EC). Aceasta tema a coincis si cu preocuparea colectivului din cadrul Catedrei de Termotehnică.

Mulțumesc domnului profesor doctor inginer Corneliu UNGUREANU, care în calitate de conducator de doctorat, mi-a oferit sprijin moral si profesional,sprijin pe care l-am simtit in toate etapele parcurse pina acum pentru a finaliza lucrarea.

Multumesc personalului din laborator cu care am lucrat bine in elaborarea studiului experimental. Pe aceasta cale îmi exprim recunoștința și îi asigur ca oricind va fi nevoie, ii voi sprijini. Aduc mulțumire și distinsului colectiv al Catedrei TMTAR care m-au sprijinit.

Mulțumiri deosebite se cuvin si doamnei prof.dr.ing.habil Ioana IONEL, care mi-a oferit sprijin și îndrumare ori de câte ori am avut nevoie dar si prof.dr.ing.Tudor PRISECARU si prof.dr.ing.George DARIE de la Universitatea Politehnica Bucuresti in calitate de referenti stiintifici.

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 pentru spijinul acordat;
- Familiei și prietenilor mei.

Timișoara, decembrie 2007

ing. Lelia Georgeta DOBJANSCHI

Dobjanchi, Lelia

**Contribuții privind aportul centralei pe cărbune ROMAG TERMO la poluarea aerului și măsuri pentru reducerea acesteia.**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 23, Editura Politehnica, 2007, 158 pagini, figuri, tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-973-625-628-8

**Cuvinte cheie:**

Descrierea centralei pe carbune Romag Termo, efectul poluator generat de gazele de ardere rezultate, măsuratori efectuate, cercetări pentru reducerea acestora, metode de desulfurare și procedeul practic de reducere a bioxidului de sulf.

**Rezumat:**

Modul de abordare a tematicii lucrării a fost generat de problemele actuale ale României privind emisiile generate de funcționarea centralelor pe carbune prin posibilitatea diagnosticării centralei Romag Termo Tr. Severin. S-au executat multe măsuratori din care au reieșit depășirile de emisii și s-au făcut teste practice de reducere a noxelor folosind aceleași tipuri de combustibil care se utilizează în centrala cu diverși reactivi pe stația pilot a UPTimisoara.

Arderea a fost complet monitorizată prin culegere de date termodinamice și de concentrații care au permis calcule de eficiență și gradul de epurare. S-au conturat posibilități aplicative bazate pe calcule teoretice, măsuratori și cercetări experimentale care se vor concretiza prin instalațiile de desulfurare care se vor monta în termocentrala în următorii ani.

# CUPRINS

<b>Cap.1 Prezentarea CET ROMAG TERMO.....</b>	<b>7</b>
1.1 Scurt istoric.....	7
1.2 Gospodaria de combustibil.....	13
1.3 Schema termică. Circuite. Componentă.....	14
1.4 Generatorul de abur.....	15
1.4.1 Parametrii nominali.....	15
1.4.2 Descrierea sumară a construcției și funcționării.....	16
1.4.3 Prepararea și arderea prafului de cărbune.....	17
<b>Cap.2 Emisii de substanțe poluante produse în timpul funcționării cazanelor.....</b>	<b>22</b>
2.1 Geneza și efectele toxice ale oxizilor de sulf.....	22
2.2 Geneza și efectele toxice ale oxizilor de azot.....	25
2.3 Geneza și efectul de seră al dioxidului de carbon.....	39
2.4 Emisia de pulberi.....	40
<b>Cap.3 Cercetări privind determinarea concentrației noxelor emise.....</b>	<b>42</b>
3.1 Metode de măsurare. Descrierea gazoanalizorului TESTO 33 și TESTO 350....	42
3.2 Determinarea conținutului de pulberi (cenușă) în gazele de ardere. Descrierea instalația Stohlein.....	42
3.3 Organizarea măsurărilor. Regim termic staționar, probe de combustibil și analiza acestora în laborator. Date privind regimul de funcționare a cazanului. Locul de prelevare a probelor.....	48
3.4 Rezultate obținute în urma măsurărilor termotehnice.....	53
3.5 Prelucrarea datelor experimentale.....	56
3.6 Analiza rezultatelor în conformitate cu legislația actuală de protecția mediului.....	64
<b>Cap.4 Cercetări privind dispersia noxelor în atmosferă.....</b>	<b>68</b>
4.1 Generalități. Factori care influențează dispersia noxelor.....	68
4.2 Stabilirea factorilor meteo și de emisie.....	70
4.3 Programul de dispersie.....	78
4.4 Analiza rezultatelor. Concluzii.....	84
<b>Cap.5 Cercetări privind reducerea concentrației bioxidului de sulf din gazele de ardere.....</b>	<b>85</b>
5.1 Generalități. Procedeele uscat, semiuscat și umed.....	85
5.2 Studiul posibilităților de reducere a concentrației de bioxid de sulf prin înlocuirea combustibilului actual și aplicarea procesului de desulfurare primară cu carbonat de calciu.....	95

6 Cuprins

---

5.3 Cercetări de laborator privind desulfurarea umedă a gazelor de ardere.....	105
5.4 Prezentarea instalației recomandate pentru desulfurarea umedă a gazelor de ardere la CET Romag Termo.....	139
<b>Cap.6 Concluzii finale. Contribuții proprii.....</b>	<b>146</b>
<b>Bibliografie.....</b>	<b>149</b>

# Cap.1. PREZENTAREA C.E.T. ROMAG TERMO

## 1.1 SCURT ISTORIC

CET ROMAG TERMO este situată în partea de nord a municipiului Drobeta Turnu Severin, la Km 5 pe drumul național DN 67 ce leagă municipiul Drobeta Turnu Severin de Târgu Jiu.

Are ca profil activitati producția:

- de abur industrial de 16 și 38 ata necesar Uzinei de apă grea ROMAG PROD;
- energie electrică livrată în SEN;
- energie termică sub formă de apă fierbinte necesară sistemului de termoficare al municipiului Drobeta Turnu Severin. In fig.1.1 este prezentata o vedere a centralei in care se vede sala masini,corpul de exploatare , corpul intermediar si o parte din estacade.



**Figura 1.1 CET Drobeta Turnu Severin**

Centrala ROMAG TERMO folosește din plin principiul cogenerării, ceea ce îi conferă un grad ridicat de folosire a energiei primare a combustibilului.

Centrala electrică a fost înființată prin Decretul nr. 202 / 1981 și DCS nr. 404 / 1980.

Deși în zona Olteniei au existat capacitați de producție a energiei electrice ( S.H. Porțile de Fier I și II, CEH Rovinari, Turceni, Ișalnița și CET 2 Craiova ) înainte de a se înființa CET ROMAG TERMO, aceasta a fost gândită pentru alimentarea consumatorului de grad "0" ROMAG PROD în vederea obținerii producției de apă grea, în scopul realizării programului nuclear național bazat pe reactoare de tip CANDU care folosesc ca moderator în reacția de fisiune nucleară apa care folosesc ca moderator în reacția de fisiune nucleară apa grea.

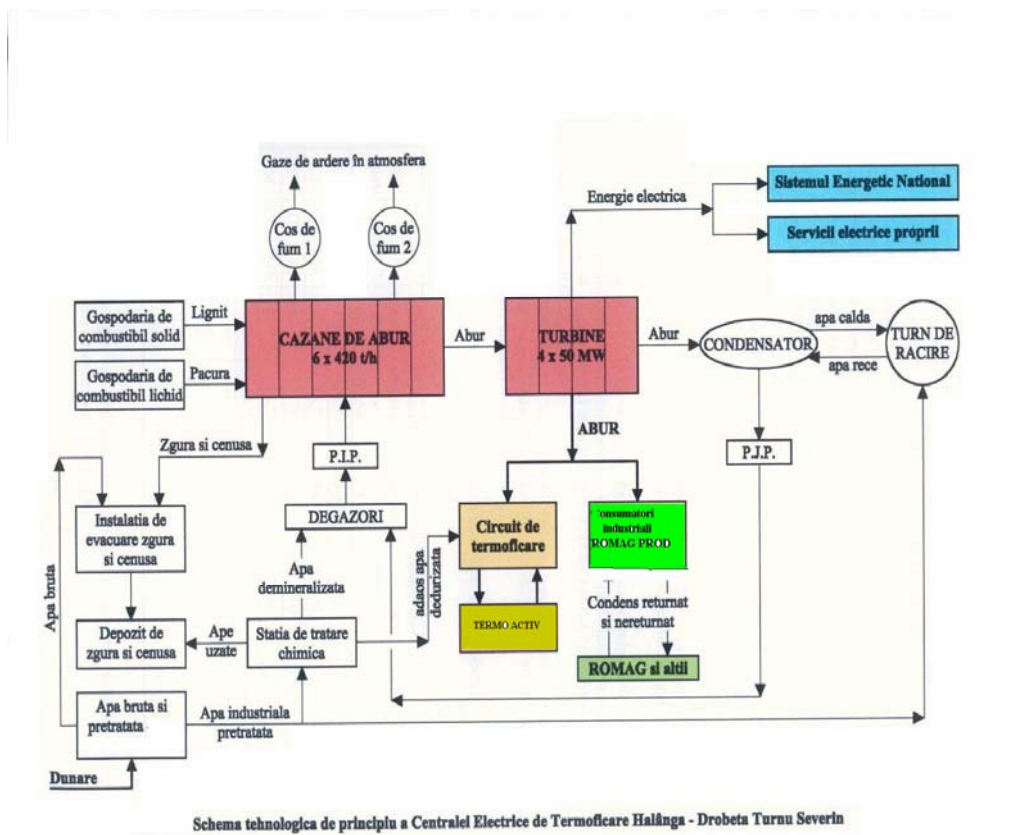
În vederea realizării acestui deziderat, prin Decretul nr.119/1988 s-a aprobat echiparea centralei cu:

- 6 cazane de abur de câte 420 t/h, 140 ata cu funcționare pe lignit și adaos păcură;
- 6 grupuri turbogeneratoare de câte 50 MW, din care: 4 tip DSL-50, 1 tip DKU-50 și 1 tip DKUL-50. Dintre acestea nu au fost instalate decât patru, două DSL-50, una DKU-50 și una DKUL-50.

Ulterior, pentru menținerea gradului de siguranță al centralei în vederea alimentării cu abur a consumatorului ROMAG PROD, s-a aprobat ca rezervă extinderea investiției inițiale cu următoarele echipamente:

- 1 cazan de abur de 420 t/h, 140 ata, cu funcționare integrală pe păcură cazan care în prezent din motive economice este în conservare;
- 2 cazane de abur de câte 105 t/h, cu funcționare pe păcură pentru alimentarea ROMAG PROD cu abur de 16 ata și care tot din motive economice actual sunt în conservare [ 3]. În fig. 1.2 este prezentată schema tehnologică de principiu cu circuitele principale anexe și componentele de baza cu caracteristicile de proiect ale cazanelor prezentate în tab.1.1





**Figura 1.2 – Schema tehnologica de principiu a CET Drobeta Turnu Severin**

**Tabel nr. 1.1 Caracteristicile tehnice ale cazanelor din CET ROMAG TERMO**

Numar cazan	Tip	Debit nominal Dn [t/h]	Presiune nominală Pn [MPa]	Temperatura apei de alimentare tw [°C]	Comb. de bază	Comb. suport	Tip moară
K1	CR 1244	420	13,7	230	lignit	păcură	MVC4
K2	CR 1244	420	13,7	230	lignit	păcură	MVC4
K3	CR 1670	420	13,7	230	lignit	păcură	MVC4
K4	CRG 1666	420	13,7	230	lignit	păcură	MVC4
K5	CRG 1870	420	13,7	230	lignit	păcură	MV50
K6	CRG	420	13,7	230	lignit	păcură	MV50

## 10 Prezentarea C.E.T. ROMAG TERMO - 1

	1870						
K7	CR 1737	420	13,7	230	păcură		
K8	C 100	105	1,7	100	păcură		
K9	C 100	105	1,7	100	păcură		

Centrala termo-electrică a fost construită conform proiectului de execuție elaborat de Institutul de Studii și Proiectări Energetice București, (SC ISPE SA).

Primul cazan de abur, K1 a fost pus în funcțiune la sfârșitul anului 1985 și primul generator de abur, turbina 1, a pulsat energie electrică în SEN în anul 1986.

Întrucât în CET ROMAG TERMO s-a constatat că există o capacitate mai mare de producere a aburului folosind cele șase cazane decât capacitatea de preluare a celor patru turbine, au avut loc modernizări ale capacităților de producere a energiei electrice.

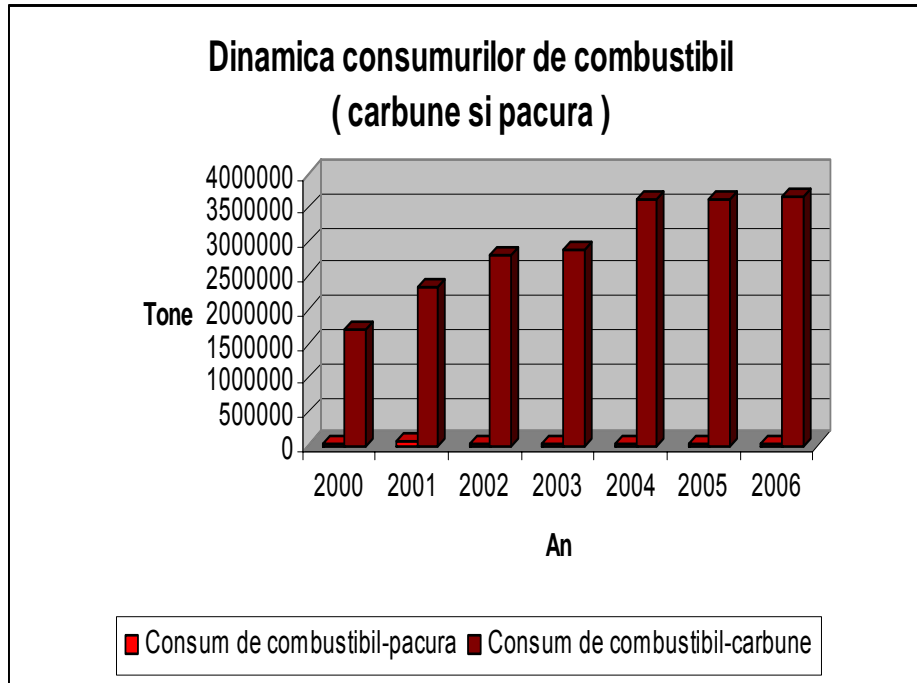
În prezent, CET ROMAG TERMO funcționează cu următoarele capacități de producție:

- 6 cazane de 420 t/h, 140 ata, cu funcționare pe lignit și suport de păcură;
- turbina nr.1 de tip DSL 50 de condensaj;
- turbina nr.2 de tip DKUL 50 de cogenerare;
- turbina nr.3 de tip DKA-23 de 22 MW cu contrapresiune la 6 bar și priză reglabilă la 38 bar;
- turbina nr.4 de tip DSL 50 de condensaj;
- turbina nr.5 de tip DSL 50 de condensaj;
- turbina nr.6 de tip SC 25 de 25 MW. [3]

Performanțele centralei în perioada 2000-2006 sunt menționate în tabelul nr.1.2 și în fig.1.3, fig.1.4, fig.1.5, fig.1.6.

**Tabelul nr.1.2 Realizarile CET Drobeta Turnu Severin in perioada 2000-2006**

Specificatie	U.M.	Cantitate						
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
En. electrică produsă	MWh	580516	835482	1110557	1182473	1663418	1682572	1505640
Energie electrică livrată, din care:	MWh	436518	648698	888239	951067	1367142	1392740	1242874
- în SEN		234746	385537	618187	688846	1099103	1113223	971684
- la ROMAG PROD		200758	261938	268914	261053	266940	278580	270417
- terți		1014	1223	1138	1168	1099	937	773
Energie termică livrată:	Gcal	1567602	1966728	2045344	1953101	1931734	1968815	1808135
- abur tehn. de 38 bar		445227	638722	672693	642531	628047	643308	580627
- abur tehn. de 15 bar		755673	971417	1012876	908574	917043	933129	878292
- apă fierbinte		366702	356589	359775	401996	386644	392217	349216
Consum de combustibil:	tone	1703460	2333830	2803600	2896675	3635700	3615097	3651900
- cărbune		35473	50765	36897	34477	44080	40081	46956
- păcură								



**Figura 1.3 Dinamica consumurilor de combustibil- cărbune și păcură -în CET**

Consumurile de combustibil, păcură și cărbune, au crescut proporțional cu cantitățile de energie electrică și termică produse.

Clădirea principală este structurată din punct de vedere tehnologic din următoarele părți:

- sala cazanelor și zona spate cazan până la coșul de fum, în care se găsesc amplasate cazanele de abur, morile de cărbune, cuva kratzer, concasori de zgură și sistemul de canale de evacuare în stare fluidă a zgurii și cenușii la stațiile de pompe Bagger, preîncălzitorii de aer rotativi, electrofiltrele, canale de gaze de ardere, ventilatoarele de aer și gaze de ardere, instalațiile de alimentare cu păcură, expandoare și canale tehnologice pentru conducte, alimentatoarele de cărbune ale cazanelor, gospodăriile de hidrazină și amoniac;

- corp intermediar, la cota +13,00 pentru conducte tehnologice și stații de reducere-răcire;

- corp intermediar, la cota +20,30 pentru sistemul de degazare, unde se găsesc degazorii de 6 ata și 1,2 ata, sisteme de conducte tehnologice, buncări de cărbune de alimentare individuală prin intermediul benzilor Redler a fiecărei mori de cărbune;

- corp intermediar, la cota +35,15 pentru benzile de cărbune, care alimentează buncării de cărbune;
- turnurile de capăt și intermediare, pentru intrarea benzilor transportoare de cărbune în clădirea principală, cu aceleași cote tehnologice și în plus cota +26,15, pe care se găsesc rezervoarele de apă de răcire de avarie;
- sala mașinii la cota +0,00 cu cele 6 turboagregate, cu cote de deservire pentru primele la +6,00 și +8,00 pentru ultimele două, pompe de alimentare de înalta presiune, pompe de transvazare, pompe de răcirii auxiliare, sisteme de preîncălzire regenerativă formată din preîncălzitoare de joasă presiune și de înaltă presiune, boilere de bază pentru termoficare, preîncălzitoare de apă adaos, gospodăriile de ulei a turboagregatelor, instalațiile de hidrogen și bioxid de carbon, sisteme de conducte tehnologice, expandoare pentru circuitele de drenaj de înaltă și medie presiune;
- sala mașinii la cota -4,00 în care se găsește sistemul de apă de răcire la condensatoare, sistemele de condens principal și secundar de la boilere, sisteme de drenaj cu rezervoare și pompe, cuve de goliri răcirii, cuve de ape reziduale și epuizmente, sisteme de conducte tehnologice de abur și de termoficare;
- fața șir A, cu cuvele de amplasare a rezervoarelor de golire ulei de la turboagregate în caz de incendiu;
- grupuri Diesel de intervenție de 630 KVA, motor-generator, instalații de alimentare și rezervor consum de zi pentru motorină.

Toate utilajele și instalațiile din clădirea principală sunt deservite în exploatare și reparații de diverse instalații de ridicat fixe sau mobile, dintre care cele mai importante sunt cele din sala mașinii, adică podurile rulante de 50 tf și 32 tf.

În incinta centralei electrice mai sunt și următoarele clădiri:

- clădirea stației de epurare chimică, stației de termoficare treapta a II-a, stației electrice de 110 kV cu camera de comandă, stației apă ozonizată, remizei locomotive, atelierului de reparații electrice, atelierului de reparații mecanice, remizei PSI, stației de electroliză, corpului administrativ, cazanelor de abur de 105 t/h, cazanului de abur nr. 7 de 420 t/h, cu funcționare pe păcură.

Deasemenea, se mai află gospodăria de păcură (treapta I și a II-a), gospodăria de combustibil solid, turnurile de răcire, depozitul de zgură și cenușă și depozitele de echipamente.[2]

## 1.2 GOSPODĂRIA DE COMBUSTIBIL

În cadrul Sucursalei ROMAG TERMO, gospodăria de combustibil solid este amplasată în partea de vest învecinându-se:

- în partea de est cu platforma spate cazane nr.1-6, depozitul de echipamente, teren arabil aferent localității Halânga;
- în partea de vest cu canalul de gardă, teren arabil aferent localității Halânga;
- în partea de sud cu stația de electroliză, depozitul de echipamente, poarta nr.3 de acces autovehicule;
- în partea de nord cu terenul agricol al localității Halânga, drumul comunal.



**Figura 1.8 Gospodăria de combustibil solid din cadrul CET**

Gospodăria de combustibil solid este formată din patru stive cu o capacitate totală de depozitare de 750000 tone cărbune, asigurând funcționarea centralei pe o perioadă de aproximativ 4 luni.

Gospodăria de combustibil solid asigură:

- a) alimentarea la timp și continuă a cazanelor de 420 t/h în funcțiune;
- b) depozitarea și formarea stocului de cărbune conform instrucțiunilor în vigoare cu minim de pierderi și în condiții în care să nu apară fenomenul de autoaprindere a

cărbunului din stoc;

c) descărcarea cărbunului livrat cu mijloace de transport CFR și auto.

### 1.3. SCHEMA TERMICĂ – CIRCUITE, COMPONENTĂ

Schema termică de principiu, reprezentată în figura nr. 1.5, pune în evidență existența a 7 cazane de abur ( K1.....K7) cu debitul nominal de 420 t/h și parametri nominali precizați mai jos.

Cazanele K1.....K6 folosesc drept combustibil de bază lignitul ars în stare pulverizată, iar păcura pentru flacăra suport. Cazanul K7 funcționează pe păcură.

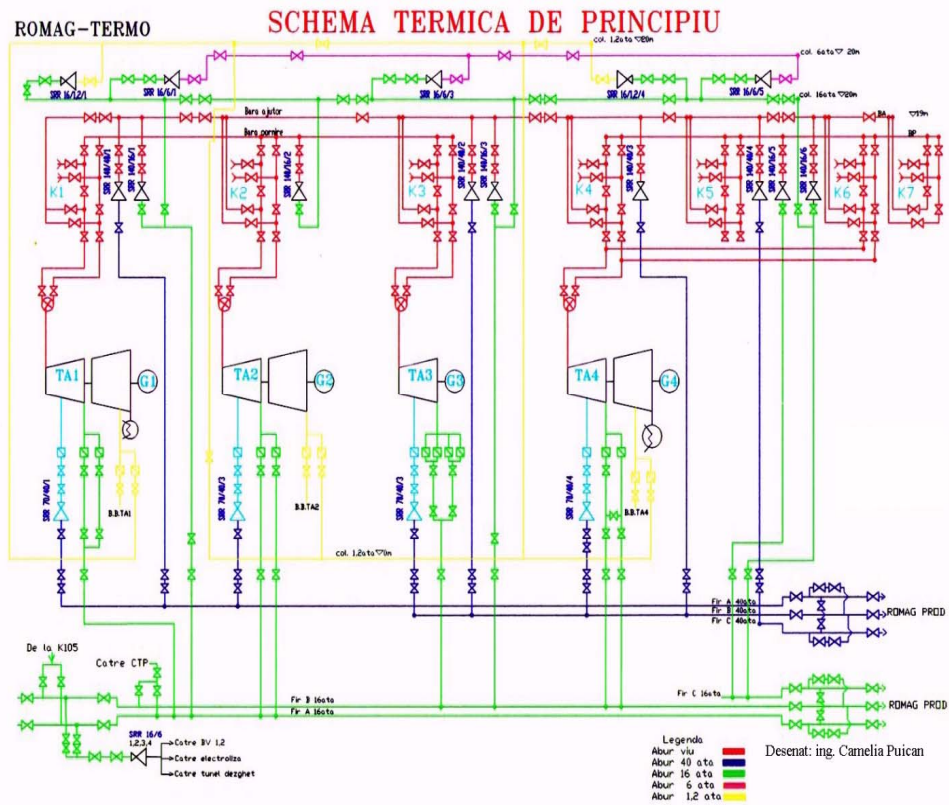


Figura 1.5 Schema termică de principiu a CET Drobeta Turnu Severin

## **1.4. GENERATORUL DE ABUR**

### **1.4.1 Parametri nominali**

Unul dintre echipamentele principale ale schemei termomecanice este cazanul de abur cu circulație naturală, cu un debit de 420 t/h temperatura de supraîncălzire de 540 °C și o presiune în tambur de 140 ata.

Schema termomecanică este cu bare colectoare comune pe principalele circuite: abur viu, apă de alimentare, apa transvazată, apa de adaos, abur 16 ata, 6 ata și 1,2 ata.

Parametri cazanului la sarcina nominală sunt:

- Debitul nominal al cazanului 420 t/h;
- Presiunea nominală a aburului viu 13,7 Mpa(137 bar);
- Temperatura nominală a aburului viu 813 K (540 °C);
- Presiunea nominală a apei de alimentare la intrarea în economizor 15,8 Mpa (158 bar);
- Temperatura nominală a apei de alimentare la intrarea în economizor 503 K (230 °C);
- Randamentul termic al cazanului la sarcina nominală la temperatura mediului ambiant de 20 °C , la funcționarea pe combustibil lignit 85%.

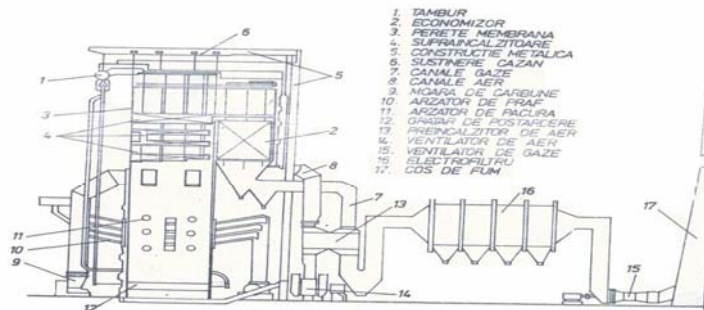
### **1.4.2. Descrierea constructivă și funcțională**

Cazanul de 420 t/h cu care este dotată termocentrala Halânga este un cazan cu circulație naturală cu tambur cu două drumuri de gaze, în forma de semi Л .[1] În fig.1.10 este prezentată componenta cazanului de 420 t/h.

Schema de principiu a cazanului are următoarele echipamente:

*-Economizor,tambur,sistemul vaporizator ,supraincalzitorul de perete,supraîncălzitorii 1,2,3și 4, preîncălzitoarele de aer rotativ, ventilatoarele de gaze arse și cele două electrofiltre.*





**Figura 1.6 – Cazanul de abur de 420 t/h cu funcționare pe lignit.**

Cazanul de abur de 116,7 kg/s (420 t/h), cu presiunea nominală de 13,7 Mpa și temperatura nominală de 813 K este construit pentru alimentarea cu abur a unui turbogenerator de 50 MW, de termoficare urbană și industrială. Cazanul a fost gândit să funcționeze pe lignit cu o putere calorică de 6490 kJ/kg (1550 Kcal/kg) pe un suport de păcură necesar stabilizării flăcării de maxim 1,1 kg/s între 50 și 100% din debitul nominal (sub sarcina minimă de 50% cazanul funcționează numai cu păcură).[6] Cazanul (Fig. 1.10) este echipat cu 6 mori ventilatori cu ciocane tip MVC-4, cu debitul de 212,22 kg/s care macină lignitul uscat cu gazele de ardere prelevate din partea de sus a focarului, amestecate în anumite proporții, după caz cu aer preîncălzit. Aerul de ardere, insuflat de două ventilatoare de ardere 14, de 72,9 m<sup>3</sup>/s, la presiunea de 6375 Pa, este preîncălzit în două preîncălzitoare de aer regenerativ 13, până la temperatura de 503 K și ajunge la arzătoarele de praf-cărbune 10 și de păcură 11. Focarul cazanului este prevăzut cu două grătare post-ardere 12, fiind aspirate de două ventilatoare de gaze 15, de 177,8 m<sup>3</sup>/s; la temperatura de 443 K și la presiunea de 3090 Pa, gazele de ardere sunt trimise la coșul de fum 17. Construcția cazanului în formă de semi  $\Pi$  este realizată integral din pereți membrană.[4]

### 1.4.3 Prepararea și arderea prafului de cărbune

Cărbunele descărcat la baza estacadelor este preluat de câte patru mașini cu roată și cupe, de 600 t/h și pus pe cele două transportoare cu bandă, care îl trimit

spre turnurile nr. 2, 3, 4 și 5. În total sunt opt mașini de încărcat cu roată și patru benzi transportoare cu covor de cauciuc.

*Stația de concasare* este realizată cu linii tehnologice separate cu șase grătare cu bare rotative și șase concasoare cu ciocane pentru sfărâmarea cărbunelui la dimensiunile de intrare în morile cazanelor de abur.

Cărbunele este adus în stația de sfărâmare de transportoarele și este deversat prin intermediul dispozitivelor de înjumătățire. Cărbunele cu granulație mai mare de 30 mm este dirijat spre concasoare, de unde este preluat de benzile transportoarele spre depozitul de cărbune. [7]

*Instalații tehnologice de transport și alimentare a buncărilor*

În fluxul de transport de la preluarea din stația de descărcare până la buncării cazanelor de abur, transportoarele cu bandă de cauciuc sunt staționare cu un singur sens de transport, fixe reversibile sau mobile și ireversibile.

În funcție de profilul locului de utilizare transportoare cu bandă sunt orizontale cu înclinație constantă, cu trasee înclinate ascendent sau descendent sau diferite înclinații.

Deversările de cărbune de pe un transportor cu bandă pe altul și schimbările de direcție în fluxul de transport al cărbunelui se realizează în stațiile de transbordare din turnuri. Transbordarea se face prin pâlnii de deversare și tubulatură metalică de legătură.

În turnuri aceste benzi transportoare sunt deservite de separatoare de metal și de instalații de ridicat pentru electromotoarele de antrenare și reductoare.

Combustibilii inferiori se caracterizează printr-un conținut ridicat de umiditate și cenușă [22].

Umiditatea creează probleme la transport, preparare și alimentare. La arderea acestor combustibili, procesul poate deveni instabil ca urmare a variației calității prafului de cărbune; randamentul cazanului se reduce ca urmare a creșterii volumului de gaze.

Alegerea schemei de preparare a prafului de cărbune a fost făcută luându-se în considerare toate particularitățile combustibilului: felul combustibilului, coeficientul de măcinabilitate, tipul morii, tipul focarului, debitul cazanului și

caracterul variației acestuia, umiditatea raportată ( $W_{rap} = \frac{W_t^i}{Q_i^i / 10^3}$ ) și

cantitatea de apă ce trebuie eliminată în schema de uscare.

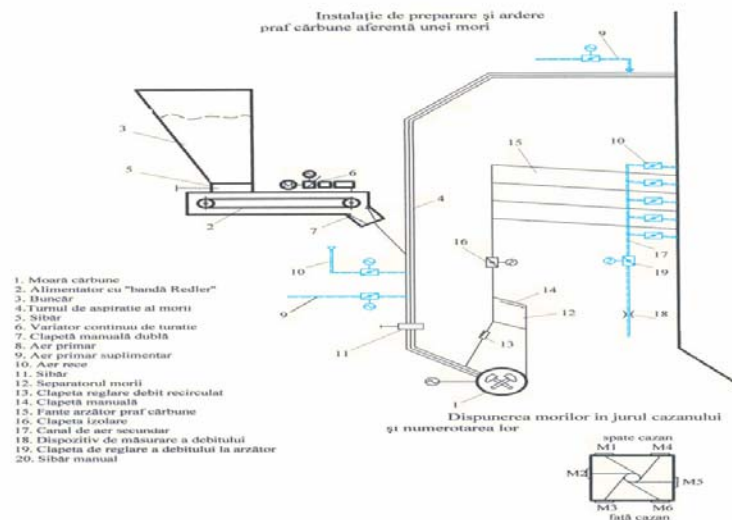
$$\Delta W = \frac{W_i - W_p}{100 - W_p} \text{ [ Kg umiditate/Kg combustibil] [5]}$$

Unde:

$W_i$  = umiditatea la intrare a prafului

$W_p$  = umiditatea la ieșire a prafului

La CET Halânga în focarul cazanului de 420 t/h , cărbunele este ars sub formă de praf. Ansamblul componentelor instalației de preparare și ardere a prafului de cărbune este prezentat în fig. 1.7.



**Figura 1.7 – Instalația de preparare a prafului de cărbune**

Prepararea prafului de cărbune pentru un cazan de 420 t/h se face cu ajutorul a șase mori cu ciocane(1) sau mori ventilator .

Alimentarea cu cărbune a fiecărei mori se face cu un alimentator cu "bandă Redler" (2) care transportă cărbunele de la buncăr(3) la turnul de aspirație al morii(4) . Buncărul se poate izola față de alimentator cu ajutorul unui siber format din "sulițe " metalice paralele , cu pas mic între ele . Variația debitului de cărbune la moară , se face prin reglarea vitezei benzii alimentatorului cu ajutorul unui variator de turație(6) interpus in lanțul cinematic de antrenare al alimentatorului .[7]

## 20 Prezentarea C.E.T. ROMAG TERMO - 1

---

Alimentatorul se poate izola față de moară pentru efectuarea lucrărilor de reparații , cu ajutorul unei clapete manuale duble .

Uscarea cărbunelui se face cu ajutorul gazelor arse , aspirate din focar prin turnul de aspirație al morii .

În turnul de aspirație al gazelor arse este introdus și aerul primar și aerul primar suplimentar luat din bara de aer general de după PAR .

Aerul primar este introdus la capul de aspirație al turnului , iar aerul primar suplimentar sub cota de introducere a cărbunelui .În plus , turnul de aspirație este prevăzut și cu o gaură de aspirație a aerului rece , direct din sala cazane .

Fiecare din cazanele de aer primar la turn este prevăzut cu clapeta cu acționare electrică comandată de operator din CCT sau de o buclă de reglaj ,care menține temperatura la separatorul morii în limitele admisibile (120-180 °C ) [8].

Separatorul morii are rolul de a asigura finețea necesară a prafului de cărbune , particulele mai mari fiind dirijate din nou în aspirația morii printr-un canal prevăzut cu o clapetă manuală de reglare a debitului recirculat.

Finețea este asigurată prin recircularea în aspirația morii a unei cantități mai mari sau mai mici de particule de cărbune , recircularea obținută prin poziționarea corespunzătoare a unei clapete manuale din interiorul separatorului care modifică traiectoria căii de acces a particulelor de praf de cărbune spre separator.

După separator , pe canalul de praf din care se separă cele 4 fante ale arzătorului(15) se găsește o clapetă de izolare cu acționare electrică comandată de pe pupitrul din CCT .

Cele patru fante de praf ale arzătorului sunt încadrate de cele cinci fante ale canalului de aer secundar(17) , canal prevăzut cu un dispozitiv de măsurare a debitului și o clapeta de reglare a debitului la arzător (19) comandată din CCT. Pe fiecare din cele cinci fante de aer secundar se găsește câte un sibar manual (20) cu ajutorul cărora se dozează corespunzător aerul de combustie [9].

Cele șase mori de cărbune sunt dispuse în jurul cazanului, iar fantele arzătoarelor sunt astfel orientate încât axele lor sunt tangente la un cerc cu centrul în centrul focarului formând astfel un turbion central (focar tangențial) .

Cazanul de 420 t/h are șase arzătoare de praf de cărbune, corespunzător câte unul la fiecare moară de cărbune. Arzătoarele sunt montate fix pe scheletul metalic al cazanului. Punerea în funcțiune a instalației de preparare și ardere a cărbunelui se face numai după încălzirea focarului și asigurarea unei temperaturi a

gazelor arse la aspirația morilor de minim 400-450°C, pentru a se asigura uscarea cărbunelui. În acest scop pornirea cazanului se face pe păcură. Arderea prafului de cărbune trebuie astfel condus printr-o reglare a aerului de ardere încât aprinderea să aibă loc în fața arzătorului, iar flacăra să fie stabilă[15].

Caracteristicile de proiect ale lignitului sunt următoarele:

- putere calorică inferioară  $Q_i^i$  6490 Kj/Kg (1550 Kcal/kg);
- umiditate totală  $W_t^i$  41,0%;
- cenușa  $A^i$  24,0%;
- substanțe xiloide 10,0%.

Banda de variație a caracteristicilor lignitului pentru care se asigură debitul nominal al cazanului de abur:

- putere calorică inferioară  $Q_i^i$  5652-7536 Kj/Kg(1350 ÷ 2000 Kcal/kg);
- umiditate totală,  $w_t^i$  37 ÷ 46%;
- cenușa,  $A^i$  20 ÷ 31%;
- substanțe xiloide 5 ÷ 18%.

Cărbunele folosit în CET Romag Termo este provenit din bazinul Mehedinți și din bazinul Motru. Din analizele efectuate pe sorturile de cărbune se desprind următoarele concluzii [19].

1. umiditatea totală și conținutul de cenușă sunt  $w_t^i = 31-34\%$  și  $A^i = 32-33\%$ ;
2. puterile calorifice sunt cuprinse între 6490-7200 Kj/Kg ( 1550-2100 Kcal/Kg);
3. componenții lemnoși cu structură xylit au valori cuprinse între 3-7%;

## Cap.2 EMISII DE SUBSTANȚE POLUANTE PRODUSE ÎN TIMPUL FUNCȚIONĂRII CAZANELOR

În procesul de ardere a cărbunilor, concomitent cu degajarea energiei termice se produc o serie de substanțe nocive, dintre care cele mai importante sunt: oxizii de sulf ( $SO_x$ ), oxizii de azot ( $NO_x$ ), oxizii de carbon ( $CO_x$ ) și praful de cenușă. Alături de aceasta se mai produc în cantități foarte mici și alte substanțe nocive ca acidul clorhidric ( $HCl$ ) și acidul fluorhidric ( $HF$ ).

Eliminările în exteriorul instalațiilor de ardere, aceasta poluează mediul ambiant prin acțiunea nocivă asupra regnului vegetal și animal, inclusiv asupra organismului uman.

### 2.1 Geneza și efectele toxice ale oxizilor de sulf

La temperatura și presiunea normală a ambiantului bioxidul de sulf este un gaz incolor, constând dintr-un atom de sulf și doi atomi de oxigen. Acesta se datorează arderii combustibililor fosili care conțin sulf (cărbune și păcură) [14].

Din oxidarea sulfului combustibil, cea mai mare parte (peste 95%) se transformă în  $SO_2$  restul în  $SO_3$ . Calculul emisiilor produse, în echivalent  $SO_2$ , se poate efectua cu relația :

$$M_{so2} = 20 \times S_c^i B (1 - \eta') (1 - \eta'') \text{ [g/s]} \quad (2.1)$$

în care:  $S_c^i$  este conținutul în sulf al combustibilului, în %;

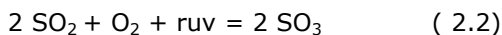
$\eta'$  - fracția de oxizi de sulf, eliminate în instalația de desprăfuire.

$\eta''$  - fracția de oxizi de sulf absorbită în particulele fine de cenușă zburătoare, evacuate împreună cu acestea.

Conversia  $SO_2$  în  $SO_3$  are loc în flacără, în cazul unui exces mare de oxigen, dar și pe traseul gazelor, în prezența oxizilor de vanadium și chiar de fier, care joacă rol de catalizator, mai ales la temperaturi de peste  $800^\circ C$  [16].

Evacuat în atmosferă, o parte din dioxidul de sulf reacționează cu oxigenul, sub acțiunea radiațiilor ultraviolete solare ( $\text{ruv}$ ), dând naștere anhidridei

sulfuroase (  $\text{SO}_3$  ), conform relației:



Aceasta la rândul ei se combină cu apa din atmosferă și formează acidul sulfuric. În perioadele de ceață și în zilele foarte umede se atinge un grad de transformare de până la 15,7%.



Dioxidul de sulf reprezintă o substanță toxică, care atrage atenția prin mirosul și acțiunea iritantă asupra mucoaselor, provocând spasm și contracția mușchilor căilor respiratorii superioare. În concentrații ridicate,  $\text{SO}_2$  provoacă senzație de arsură asupra mucoaselor respiratorii și conjunctivale, tuse, tulburări ale respirației, spasm glotic, senzație de sufocare etc.[30]

Prezența oxizilor de sulf în mediul ambient se manifestă atât prin leziuni directe ale plantelor, cât și prin modificarea compoziției apei și solului. Astfel  $\text{SO}_2$  în concentrație mare, distruge clorofila din frunze, acțiunea sa amplificându-se prin asociere cu  $\text{NO}_2$ .

Oxizii de sulf, respectiv acizii sulfuros și sulfuric, care rezultă prin hidratarea acestora, determină fenomene de coroziune, decolorarea materialelor colorate, reducerea elasticității și rezistenței pentru unii compuși organici, unele materiale de construcție și unele tipuri de cabluri electrice.[20]

Oxizii de sulf, alături de cei de azot, sunt astăzi considerați principalele cauze ale ploilor acide, care cauzează distrugerea pădurilor, pe suprafețe îngrijorător de mari. Modificările în compoziția apei și a solului au ca rezultat tulburări de dezvoltare a plantelor, o scădere a producției de masă lemnoasă, respectiv a producției și calității fructelor, cu întregul cortegiu de consecințe economice și de alta natură, ultimele manifestate în lanțul trofic plantă-animal-om.

Pe baza cunoștințelor actuale, se pare că efectele la expunerea la  $\text{SO}_2$  apar foarte repede, chiar din primele minute de la începerea inhalării, dar continuarea expunerii nu conduce la creșterea acestor efecte.

Efectele observate ale expunerii la  $\text{SO}_2$  include o serie de simptome ca funcționarea cu dificultate a plămânilor. Grupul cel mai sensibil este reprezentat de populația cu astm[31].

În anul 1987, studiile epidemiologice realizate au constatat zi de zi schimbări ale mortalității, morbidității sau ale funcționării plămânilor legate de concentrații medii zilnice de  $\text{SO}_2$  în prezența pulberilor și altor poluanți asociați ,care au fost analizați.

Mai multe seturi de analize realizate în timp prezentate în acest studiu arată că nu este nici o asociere a crizelor de astm, chiar în cazul luării în considerare a unor expuneri maxime orare. Un al doilea studiu nou realizat indică că o creștere în exces a mortalității poate fi determinată de schimbarea concentrațiilor de SO<sub>2</sub>. De asemenea sugerează că efectele pot apărea și la concentrații zilnice sub 125 μg/m<sup>3</sup>. În viitor numai studiile individuale vor putea da analize care să confirme aceste rezultate.

Plantele joase, ca licheni și mușchi, datorită structurii lor au o sensibilitate particulară la SO<sub>2</sub>. Factorii decisivi ai acțiunii SO<sub>2</sub> asupra plantelor sunt: concentrația, durata de expunere, frecvența și secvența impactului.

La nivelele sigure ale concentrațiilor și la doze cunoscute (durata în timp a expunerii la concentrații) extinderea deteriorării foliarului depinde de creșterea acestor nivele. Importanța concentrațiilor foarte joase asupra creșterii și asupra schimbării sensibilității plantelor la alte stresuri ale mediului este acum recunoscută[32].

Rezultatele observațiilor în domeniu și experimentele de fumegare au fost utilizate pentru a determina cantitativ dozele care corespund relației dintre concentrația de SO<sub>2</sub> și efectele atât asupra plantelor anuale, cât și perene și au devenit un ghid. Aceste concentrații sunt în general definite ca anuale și/sau iarna:

- 30 μg/m<sup>3</sup> poate afecta grânelor;
- 20 μg/m<sup>3</sup> poate afecta pădurile,
- < 10 μg/m<sup>3</sup> poate afecta licheni și mușchi.

De asemenea, SO<sub>2</sub> influențează materialele și diversele obiecte culturale de patrimoniu putând conduce la deteriorarea lor. Acesta este un proces, care apare la rate bine determinate de parametrii meteorologici, ca umiditatea relativă, temperatura și precipitațiile, precum și datorat altor poluanți. Deoarece umiditatea și temperatura au variații mici în zona climatică temperată, concentrația poluanților atmosferici este deseori variabilă dominantă în coroziune.[25]

Printre poluanți antropogenici din aer SO<sub>2</sub>, poate fi considerat cel mai important în deteriorarea câtorva materiale.

În multe părți ale Europei s-a constatat o degradare accelerată a suprafețelor acestora în ultimile decade[52].

Emisiile de SO<sub>2</sub> au fost reduse cu circa 20 % între 1980 și 1990 în țările membre ale UE. Emisiile din Europa de Est sunt de cam același ordin de mărime ca a celor 15 țări membre.



Proгноza reducerii emisiilor de SO<sub>2</sub> între 1990 și 2010 este de 60 % până la 91 % în Uniunea Europeană și între 29 % până la 86 % în celelalte țări europene[27].

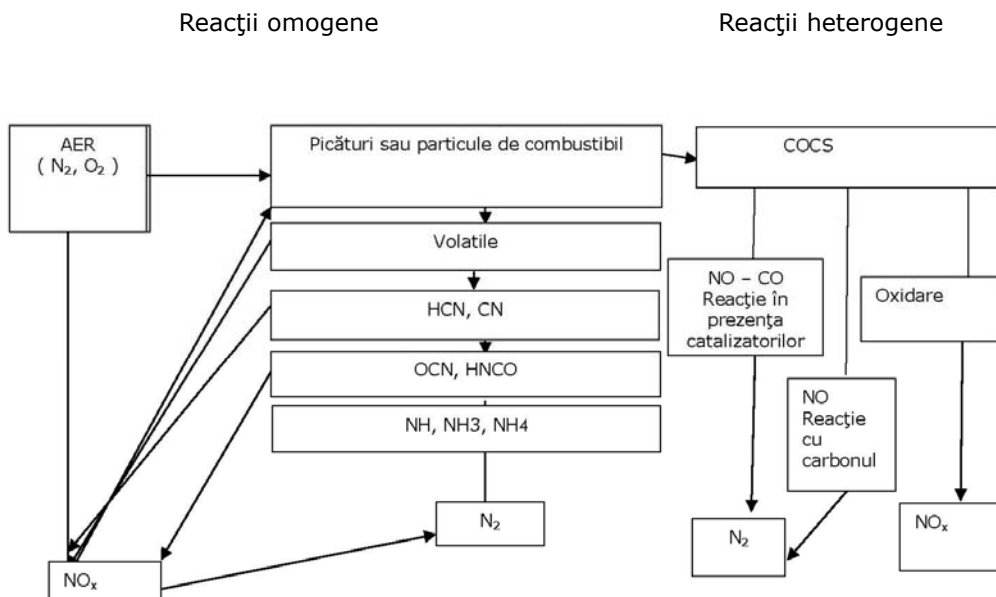
## 2.2 Geneza și efectele toxice ale oxizilor de azot

Procesele de formare a oxizilor de azot în instalațiile de ardere sunt complexe și până în prezent nu sunt pe deplin cunoscute.

Oxizii de azot rezultați în urma procesului de ardere a combustibililor provin din:

- azotul molecular conținut în aerul de ardere care în condițiile de temperatură ridicată din flacără și din jurul flăcării reacționează cu oxigenul formând așa numitul monoxid de azot termic, respectiv monoxidul de azot prompt. Geneza oxizilor de azot în nucleul flăcării este concomitentă cu arderea combustibilului;
- azotul conținut în combustibil, sub formă de compuși azotați care se descompun în procesul de ardere formând așa numitul monoxidul de azot combustibil.

Monoxidul de azot astfel format reacționează în continuare cu oxigenul formând o gamă largă de oxizi de azot, notați în literatura de specialitate cu NO<sub>x</sub> ( NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Aceste reacții au loc în mediu oxidant pe traseul gazelor de ardere din focar, începând din flacără până la coș, dar în special după evacuarea gazelor de ardere în atmosferă datorită razelor ultraviolete și a concentrației mari a oxigenului[33]. Emisia de NO<sub>x</sub> provine, preponderent din NO termic în cazul combustibililor superiori, spre deosebire de combustibilii inferiori la care de regulă predomină oxidarea compușilor azotați, conținuți în combustibil. În general se cunoaște că monoxidul de azot are ponderea cea mai mare între oxizii de azot rezultați prin arderea combustibililor, dioxidul de azot fiind cotate cu o participare sub 5%[53].



**Figura2.1. Formarea oxizilor de azot la arderea combustibililor fosili  
propusă de J.Levy și colaboratorii [36]**

Până în prezent sunt cunoscute trei moduri, mecanisme, de formare a monoxidului de azot:

- mecanismul termic de formare a oxidului de azot din azotul existent în aerul necesar arderii;
- mecanismul formării oxidului de azot prompt sau timpuriu;
- mecanismul de formare a oxidului de azot din azotul existent în compoziția combustibilului;

### **Mecanismul termic de formare a oxizilor de azot**

Formarea monoxidului de azot termic are loc la temperaturi ridicate, printr-un mecanism lent care începe în flacără, continuând și în zona produșilor de combustie de după flacără (zona de după reactive) [34].

Modul de formare al monoxidului de azot termic este descris de un număr mare de reacții, cele mai importante fiind stabilite de Zedolvici (Zedolvich)

Primele patru ecuații constituie așa numitul "mecanism Zedovici simplificat"



În procesul de ardere, în unele zone ale focarului sau camerei de ardere, acesta se desfășoară în condiții de exces de oxigen, iar în altele în condiții de exces de combustibil. În situația excesului de oxigen, moleculele de azot reacționează cu oxigenul atomic rezultat din descompunerea termică, la temperaturi ridicate, a moleculelor de oxigen.



În urma acestei reacții, vor rezulta radicali de azot. Acești radicali de azot împreună cu cei rezultați din descompunerea termică a moleculelor de azot, reacționează cu moleculele de oxigen[55,56].



Cele două ecuații prezentate mai sus pot fi scrise sub forma unei ecuații globale astfel:



Pentru această ecuație constanta de echilibru poate fi exprimată prin relațiile [2.3.]:

$$K_{\text{NO}} = \frac{C_{\text{NO}}}{(C_{\text{N}_2})^{0,5} (C_{\text{O}_2})^{0,5}} ; \quad (2.10)$$

$$K_{\text{NO}} = 4,71 e^{(-94000/\text{RT})}; \quad (2.11)$$

În care:

- $K_{\text{NO}}$  - constanta de echilibru;
- $C_{\text{NO}}$  - concentrație masică de NO, în  $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ;
- $C_{\text{N}_2}$  - concentrație masică de  $\text{N}_2$ , în  $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ;
- $C_{\text{O}_2}$  - concentrație masică de  $\text{O}_2$  în  $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ;
- R - constanta generală a gazului în  $\text{kJ}/\text{molK}$ ;
- T - temperatura absolută în K

În situația excesului de combustibil radicalii OH produși în procesul de ardere al combustibilului, reacționează cu azotul atomic, provenit din

descompunerea termică[36].



În ansamblu viteza de formare a monoxidului de azot depinde de raportul în care se găsesc vitezele reacțiilor în urma cărora rezultă monoxid de carbon cu vitezele reacțiilor în care monoxidul de carbon reacționează cu alte elemente chimice din zona de ardere. S-a constatat ca raportul este net favorabil primei categorii de reacții, motiv pentru care influența celei de a doua categorii de reacții se neglijează de cele mai multe ori[35].

Viteza de formare a monoxidului de azot poate fi exprimată cu relația [2.3.]:

$$d(C_{\text{NO}}) / dt = 2k_{\text{NO}}C_{\text{N}_2}C_{\text{O}_2}; \quad (2.13)$$

în care:  $k_{\text{NO}}$  - constanta vitezei de reacție în  $\text{cm}^3/\text{mol}$ ;

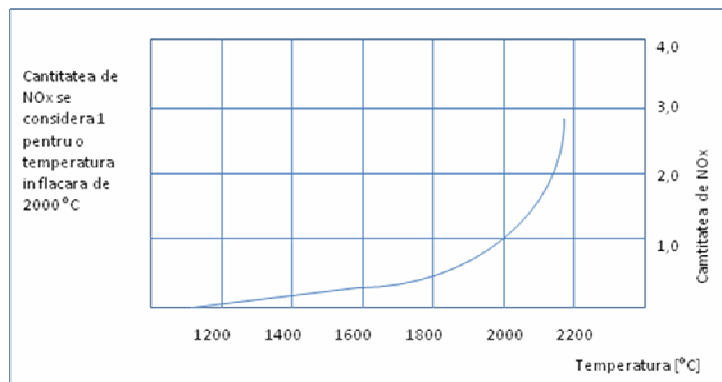
$C_{\text{N}_2}$  - concentrația masică de  $\text{N}_2$ , în  $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ;

$C_{\text{O}_2}$  - concentrația masică de  $\text{O}_2$ , în  $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ;

Formarea monoxidului de azot prin mecanismul termic este dependent de existența unor temperaturi ridicate (în general de peste  $1300^\circ\text{C}$ ); de concentrația oxigenului atomic, rezultat în urma descompunerii oxigenului molecular și de timpul de desfășurare al reacției[38].

Dependența de temperatură poate fi pusă pe seama valorii mari ale energiei de activare pentru reacțiile în urma cărora rezultă monoxidul de carbon.

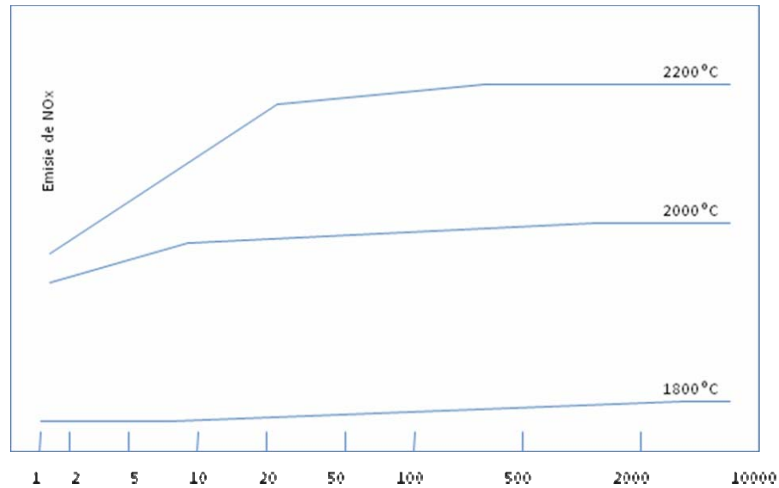
În figura 2.2.2. este prezentată variația cantității de  $\text{NO}_x$  formată în condiții de echilibru în funcție de temperatura.



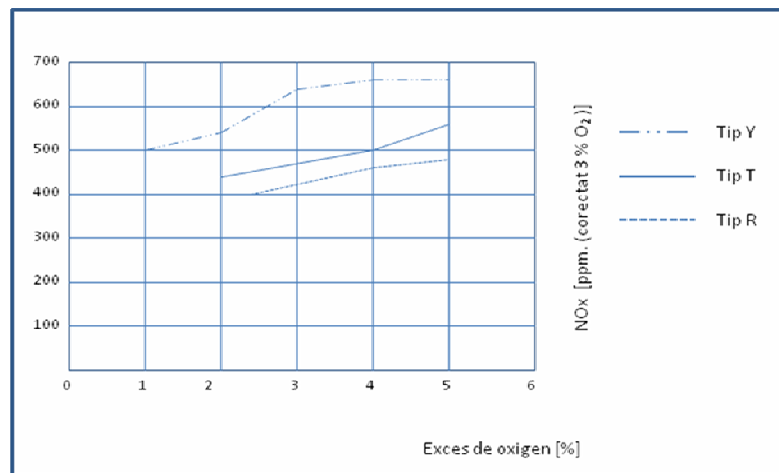
**Figura 2.2. Cantitatea de  $\text{NO}_x$  formată în condiții de echilibru în funcție de temperatură**

Este evident că timpul de reacție influențează favorabil cantitatea de monoxid de azot formată, mai ales dacă mecanismul de formare este complicat și lent[40].

În figura 2.3, se prezintă calitativ emisia de  $\text{NO}_x$  în funcție de timpul de reacție și temperatura la arderea combustibililor gazoși [2.14].

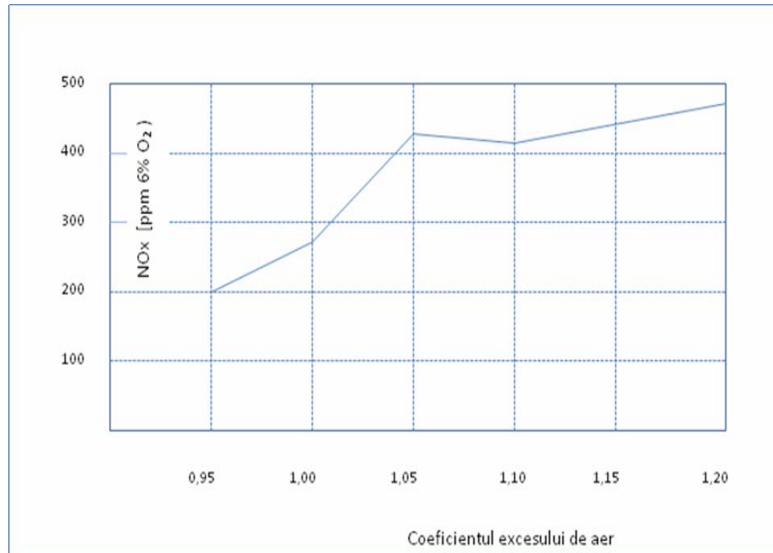


**Figura 2.3. Emisia de  $\text{NO}_x$  în funcție de timpul de reacție și temperatura la arderea combustibililor gazoși**



**Figura 2.4. Influența excesului de oxigen asupra emisie de  $\text{NO}_x$ , la arderea combustibililor lichizi utilizând diferite tipuri de capete de pulverizare**

Creșterea concentrației oxigenului în zona de reacție produce o evoluție în același sens a concentrației de monoxid de azot (fig. 2.4. și 2.5.).



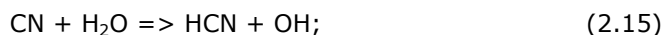
**Figura 2.5. Influența excesului de oxigen asupra emisiei de NO<sub>x</sub> la arderea unui combustibil solid într-o instalație pilot de 1MW<sub>t</sub>**

### Mecanismul prompt de formare a oxizilor de azot

Mecanismul prompt de formare a oxizilor de azot este cunoscut cu o contribuție foarte scăzută la oxizii de azot rezultați în urma arderii, până la aproximativ 100 ppm volum din totalul NO [3.4.], în mod normal însă fiind cuprins între 10 la 20 ppm, principalii factori de influență fiind concentrația oxigenului atomic și coeficientul excesului de aer[39].

Formarea oxidului de azot prompt are loc în zona flăcării, din azotul din aer, fiind o consecință a reacțiilor radicalilor CN și CH cu moleculele de H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O și N<sub>2</sub>. Rezultatul acestor reacții este formarea cianizilor. Radicalii de tip CN și azotul atomic apar în zonele de ardere bogate în combustibil.

Mecanismul prompt de formare al oxizilor de azot a fost descris de Fenimore prin următoarele reacții:



Cianizii rezultați conform ecuațiilor de mai sus se transformă ulterior în radicali de tipul NH<sub>i</sub>, care în prezența oxigenului atomic sau a radicalilor OH vor genera monoxid de azot[37].

### Mecanismul de formare a oxidului de azot din azotul existent în compoziția combustibilului

Oxidul de azot provenit din azotul existent în combustibil are o pondere importantă în ce privește emisiile totale de oxizi de azot în procesul de ardere, în cazul combustibililor petrolieri, dar mai ales în cazul combustibililor solizi inferiori. Studiile de laborator indică o contribuție de aproximativ 50% din totalul emisiilor în cazul combustibililor petrolieri și mai mult de 80% în cazul cărbunilor. Mecanismul de formare al acestuia este complex și nu este încă pe deplin cunoscut [42,43].

Oxidul de azot se poate forma atât în urma unor reacții omogene cât și în urma unor reacții heterogene. Azotul este eliberat din combustibil, unde se găsește sub formă de compuși alifatici (amine) sau aromatici (piridina, pirol), în timpul degajării materiilor volatile, cu o rată egală cu rata medie de pierdere a masei de către particula de combustibil. Azotul din combustibil intră în combinații cu radicali de forma CH, funcție de caracterul oxidant sau reducător al mediului din focar. În urma reacțiilor de oxidare se vor produce NO, CO și vapori de apă. Între NO și compuși de forma NH<sub>i</sub> pot să apară reacții cu formare de N<sub>2</sub>.

Cantitatea de NO care se formează este dependentă de: conținutul de azot al combustibilului; concentrația de oxigen în flacără; timpul de reactiv și temperatura flăcării, o influență importantă având însă numai primii doi factori [44].

Pentru calculul cantității de azot conținut în combustibil care se transformă în monoxid de azot în [2.3.] se dă relația:

$$P_{N_2-NO} = \frac{x_{O_2}^i k_{NO}}{x_{N_2}^i k_{N_2}} e^{\frac{E_{N_2} - E_{NO}}{2RT}} \quad (2.17)$$

Unde:  $P_{N-NO}$  - partea de azot conținut în combustibil care se transformă în monoxid de azot

$x_{O_2}^i$  - raportul molar al concentrației inițiale de O<sub>2</sub>;

$x_{N_2}^i$  - raportul molar al concentrației combinațiilor cu azot în amestecul inițial;

$k_{NO}$  - constanta vitezei de reactiv pentru NO, în s<sup>-1</sup>;

$k_{N_2}$  - constanta vitezei de reactiv pentru N<sub>2</sub>, în s<sup>-1</sup>;

R - constanta generală a gazului perfect în J/kmolK;

- T - temperatura absolută în K;  
 $E_{NO}$  - energia de activare pentru NO în J/kmolK;  
 $E_{N_2}$  - energia de activare pentru  $N_2$ , în J/kmolK;

Pentru mecanismul de formare a NO și  $N_2$  din azotul existent în combustibil s-au determinat experimental valori ale constantei vitezei de reacție și energiei de activare.

compus	Formarea de NO		Formarea de $N_2$	
	$K_{NO} [s^{-1}]$	$E_{NO} [kJ/mol]$	$k_{N_2} [s^{-1}]$	$E_{N_2} [kJ/mol]$
(CN)	$3,0 \times 10^8$	168	$1,2 \times 10^{10}$	134
HCN	$1,0 \times 10^{10}$	287	$3,0 \times 10^{12}$	252
NH	$4,0 \times 10^6$	134	$1,8 \times 10^8$	113
N	$1,2 \times 10^7$	252	-	-

**Tabelul 2.1. Valorile constantei vitezei de reacție și ale energiei de activare determinate pentru mecanismul de formare a NO respective  $N_2$  din diferiți compuși**

Mecanismul de formare al oxidului de azot combustibil poate fi schematizat astfel:

Oxidul de azot provenit din azotul existent în combustibil se formează tot în flacără, după un mecanism complex, parțial cunoscut până în prezent. Într-o primă etapă iau naștere radicali de forma CN, a căror evoluție în prezența oxigenului duce la formarea NO[46].

În general din azotul conținut în combustibil se formează compuși secundari, HCN; NH; CN, care reacționează formând NO sau  $N_2$ , în funcție de caracterul oxidant sau reducător al mediului din focar.

Cantitatea de NO care se formează este dependentă de: conținutul de azot al combustibilului; concentrația de oxigen în flacără; timpul de reacție și temperatura flăcării.

### **Mecanismul de formare a oxidului de azot din azotul existent în compoziția cărbunelui**

O particulă de cărbune introdusă în focar, datorită temperaturii ridicate a gazelor de ardere, este supusă unui proces de încălzire, a cărui prima consecință



este uscarea acesteia. După uscarea particulei, încălzirea continuă începe prima etapă a pirolizei, piroliza primară, în urma căreia are loc degajarea intensă a materiilor volatile și începe formarea cocsului. Durata în timp a primei etape a pirolizei este foarte scurtă. În această etapă a pirolizei are loc și degajarea azotului conținut de combustibil sub forma de azot molecular. Cantitatea de materii volatile degajate este dependent de temperatura particulei și de vârsta geologică a cărbunelui[41]. Astfel, la cărbunii tineri degajarea volatilelor începe la temperaturi mai scăzute decât la cărbunii cu vârste geologice ridicate. Se înregistrează un prim maxim de degajare al volatilelor la temperaturi între 200 °C și 400 °C și un al doilea maxim, mai puțin pronunțat, la temperaturi cuprinse între 400 °C și 700 °C. Acest din urmă maxim se observă și la cărbunii "mai vârstnici". Pentru ligniții din bazinul carbonifer al Olteniei studiile au pus în evidență un prim maxim în jurul temperaturii de 350 °C și un al doilea în jurul temperaturii de 750 °C. În perioada degajărilor materiilor volatile cantitatea de azot eliberată din combustibil crește pe măsura creșterii temperaturii, pentru aceeași temperatură fiind mai mare la cărbunii tineri.

În a doua parte a pirolizei, piroliza secundară, se definitivează degajarea materiilor volatile și formarea cocsului. Acum din gudroane se formează compuși pe bază de azot, amine și cianizi, care în funcție de oxigenul disponibil se vor transforma în monoxid de azot sau azot molecular. Transformarea în monoxid de azot are loc dacă mediul de ardere este oxidant, iar transformarea în azot molecular are loc dacă mediul de ardere este reducător.

În general cocsul este sărac în azot, cantitatea depinzând de conținutul degajat în timpul celor două faze ale pirolizei. Natura mediului din focar va determina și de aceasta dată formarea monoxidului de azot sau a azotului molecular.

Emisia de oxizi de azot se poate determina cu relația:

$$NO_x = \frac{117,36}{100 - H_2O - 4,76O_2} [100(N - 0,8) + A(FR - 2) + 250] \quad (2.2.18)$$

În care :  $NO_x$  - concentrația de  $NO_x$ , în mg/ m<sup>3</sup>N;

$H_2O$  - participarea vaporilor de apă în gazele de ardere, în procente de volum;

$O_2$  - conținutul de oxigen în gazele de ardere, în procente de volum;

$N$  - conținutul de azot în combustibil, în procente;

$A$  - factor ( $A=80$ , dacă  $FR < 1,6$ ;  $A= 50$ , dacă  $FR > 1,6$ );

FR - raportul dintre cărbune fix și materiile volatile.

Raportul masic între cantitatea de  $\text{NO}_x$  format și cantitatea maximă de  $\text{NO}_x$  care s-ar putea forma dacă tot azotul din combustibil s-ar transforma în  $\text{NO}_x$  este cunoscut sub denumirea de grad de conversie al azotului. În general cantitatea maximă de  $\text{NO}_x$  care s-ar putea forma dacă tot azotul din combustibil s-ar transforma în  $\text{NO}_x$  se considera egală cu cantitatea maxima de dioxid de azot și se poate determina cu relația:

$$\text{NO}_{2\text{MAX}} = 1000 \frac{46}{14} \frac{N}{V_{\text{gu}}^0} \rho_{\text{g}}^0 \quad (2.19)$$

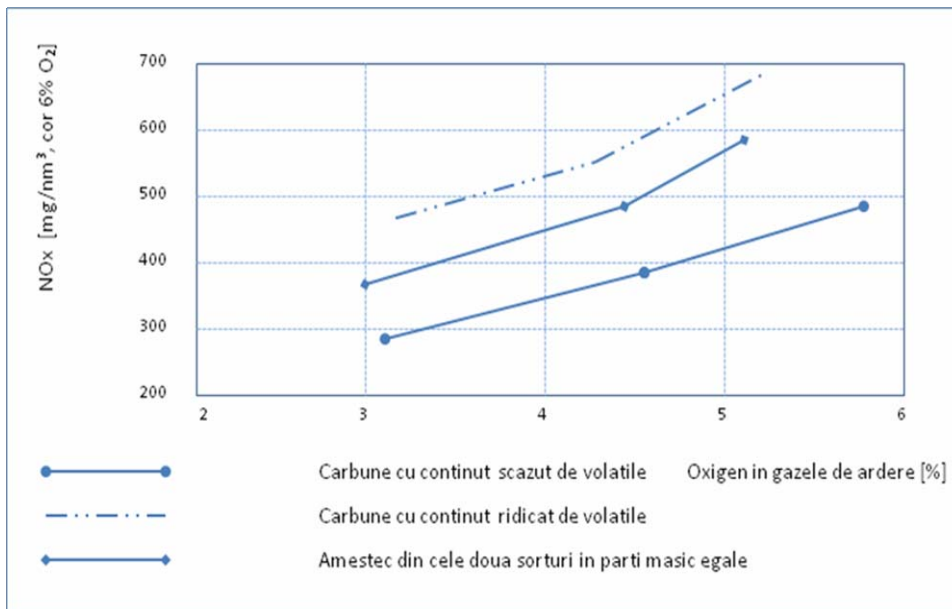
În care:

$\text{NO}_x$  - cantitatea de azot din combustibil, în g/kg;

$\text{H}_2\text{O}$  - densitatea gazelor de ardere  $\text{kg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ;

$V_{\text{gu}}^0$  - masa gazelor uscate, în  $\text{Kg}_{\text{gaze}} / \text{Kg}_{\text{combustibil}}$

Este cunoscut că, cu cât conținutul de azot al combustibilului este mai mare cu atât gradul de conversie este mai mic, gradul de conversie scăzând însă mai lent decât creșterea conținutului de azot al combustibilului.



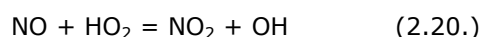
**Figura 2.6. Influența excesului de aer și a conținutului de materii volatile asupra emisiei de  $\text{NO}_x$**

Formarea monoxidului de azot este determinată în principal de conținutul de azot al combustibilului; concentrația de oxigen în flacără; timpul de reactiv, temperatura flăcării și conținutul de materii volatile (acest ultim aspect nefiind pe deplin acceptat). Influența temperaturii este mare la temperaturi scăzute, și mult mai mică la temperaturi ridicate.

### Formarea dioxidului de azot

Dioxidul de azot se formează în procesul de ardere, în flacără, pe traseul gazelor de ardere din cazan până la coșul de fum, inclusiv și după evacuarea gazelor de ardere în atmosferă.

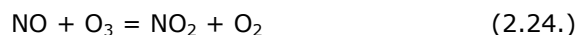
În procesul de ardere se produce o cantitate redusă de dioxid de azot, sub 5% din totalul oxizilor de azot, ecuația care descrie formarea acestuia fiind dată de Fenimore:



Pe traseul gazelor de ardere până la evacuarea lor în atmosferă dioxidul de azot se formează prin oxidarea monoxidului de azot, procesul fiind lent și determinat de timpul de reacție, concentrația de oxigen în gazele de ardere, și de temperatura scăzută, sub 650 °C. Reacția după care are loc această transformare, dată de Bodenstein are forma:



După evacuarea în atmosferă transformarea monoxidului de azot în dioxid de azot se accelerează datorită conținutului ridicat de oxigen din aer și prezenței radiațiilor ultraviolete în lumina solară.



Unde P, reprezintă un partener de ciocnire, iar ruv, radiația ultraviolet.

Oxizii de azot apar sub formă de NO mai mult de 90%. NO<sub>2</sub> se formează relativ rapid din NO, care reacționează cu ozonul sau radicalii, ca HO<sub>2</sub> sau RO<sub>2</sub>. Prin diverse reacții atmosferice o parte din oxizii de azot ajung în final HNO<sub>3</sub>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, care împreună cu NO<sub>2</sub> sunt reținuți din aer prin procese umede sau uscate de depunere.

În anumite condiții, NO<sub>2</sub> împreună cu H<sub>2</sub>O formează acidul azotic, conform reacției:



Deși, nu este principal în toate zonele, NO<sub>2</sub> este unul din cei mai importanți poluanți din zona urbană, pentru sănătatea umană.

Emisiile de oxizi de azot provin în principal din sursele de ardere antropogenice, unde NO se formează din azotul și oxigenul din aerul de ardere și din oxidarea azotului din combustibil. Principalele surse antropogenice sunt sursele de ardere mobile (traficul de pe șosele, din aer și apă) și sursele de ardere staționare (inclusiv, arderea industrială). Aceste principale categorii produc între 39 și 57%, din emisia totală de oxizi de azot din Europa.

Concentrația de oxizi de azot din case poate depăși nivelurile de afară și de aceea este mai importantă pentru sănătatea umană. Surse mari de producere de oxizi de azot în interior sunt fumul de țigară, diverse aplicații cu arderea gazului natural și sursele de încălzire.

Expunerea pe termen scurt și lung poate avea diferite efecte asupra sănătății umane. Expunerea pe termen scurt la concentrații ridicate de NO<sub>2</sub> provoacă deteriorări pulmonare severe. Persoanele cu boli de plămâni cronice, ca astmul sau altele pot fi afectate rapid prin modificări în funcționarea plămânului sau a căilor respiratorii. Expunerea pe termen lung este asociată cu creșterea simptomelor respiratorii, în special la expunerea în spații închise.

Metodologiile pentru studiul condițiilor acute reversibile și efectele cronice asupra sănătății sunt în general chiar foarte diferite. Astfel, este bine ca în evaluare să se separe efectele care apar pe termen scurt de cele pe termen lung.

Pe baza datelor clinice privind sănătatea umană se recomandă ca valoare maximă orară 200 μg/m<sup>3</sup>.

Dacă un astmatic este expus simultan sau secvențial la NO<sub>2</sub> și la un aerosol alergic, riscul unui răspuns mărit la agentul alergic crește. La 50% din valoarea sugerată de ghid (100 μg/m<sup>3</sup>) nu s-au făcut nici un fel de studii, așa că efectele sunt necunoscute.

Oxizii de azot sunt absorbiți de vegetație la fel ca și CO, prin celulele stomatice, fiind dizolvați cu apă și formând nitriți și nitrați. Aceștia sunt reduși la NH<sub>3</sub> și eventual încorporați în componentele organice. Dacă este absorbit prea mult NO<sub>2</sub>, pot apărea deteriorări masive sub formă de necroze. Până la un anumit nivel nu se observă nici un efect, apoi NO<sub>2</sub> stimulează creșterea. Oricum, concentrații ridicate conduc la oprirea creșterii. În prezent, există o dispută de la ce valoare oxizii de azot sunt toxici.

Recent se acordă deosebită atenție și compusului N<sub>2</sub>O(protoxidul de azot )

Deși se cunosc efectele sale nocive, nu s-a promulgat încă, în nici o țară, o legislație privind emisiile de protoxid de azot, pentru protejarea mediului ambiant.  $N_2O$  este un gaz stabil care se descompune abia la  $600^\circ C$  în elementele  $N_2$  și  $O_2$ . În troposferă, pătura inferioară a atmosferei, deci până la circa 10 Km deasupra pământului, se comportă ca și un gaz inert.

Experimental s-a dovedit însă că măsurile primare și secundare, aplicate industrial pentru scăderea concentrației de  $NO_x$  în gazele de ardere, sunt aproape totdeauna însoțite de o producere de emisii secundare, nedorite ca  $CO$ ,  $N_2O$ ,  $NH_3$ . Acest fenomen este un semnal de alarmă și își aduce o contribuție de până la 10% la creșterea anuală de  $N_2O$  în troposferă. Alte surse generatoare de  $N_2O$  sunt: fenomenele naturale din pădurile tropicale și ale apelor oceanelor, procesele de nitrificare-denitrificare determinate de îngrășămintele chimice, industria chimică și vehiculele rutiere[90].

Efectul nociv al  $N_2O$  este dublu. Întâi se amintește contribuția acestuia la efectul de seră.  $N_2O$  absoarbe spectre caracteristice în domeniul razelor ultraviolete (  $\nu$  ), emise de pământ. Spectrul în domeniul 16-18  $\mu m$  se suprapune peste spectrul de absorbție al  $CO_2$ . În general, contribuția noxei  $N_2O$  la încălzirea atmosferei terestre este de circa 4-5 %.

Al doilea și de fapt cel mai nociv efect al  $N_2O$ , este contribuția sa la distrugerea păturii protectoare de ozon din stratosferă.  $N_2O$  face parte din categoria gazelor inerte în troposferă, dar nocive în stratosferă, datorită efectului său catalitic în cadrul unor reacții fotochimice, ce dezvoltă radicali active care atacă pătura de ozon.

### **2.3 Geneza și efectul de seră al dioxidului de carbon**

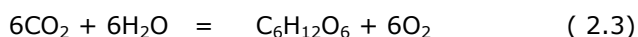
Oxidul de carbon este unul dintre toxicii cu mare răspândire, atât în mediul industrial, cât și în mediul urban. Oxidul de carbon pătrunde în sânge datorită următoarele proprietăți fizico-chimice: densitate apropiată de cea a aerului, difuzibilitate mare și afinitate ridicată a hemoglobinei pentru  $CO$  ( de 210 ori mai mare comparative cu  $O_2$  ). Efectul principal este intoxicația. Primele semne de intoxicație cu oxid de carbon sunt cefaleea, oboseala și amețeala. Alte simptome sunt: anorexia, greața, apatia, insomnia, tulburări de memorie și personalitate.

Dioxidul de carbon este toxic numai în concentrații foarte mari ( peste 5000 ppm ).  $CO_2$  influențează clima prin efectul de seră creat asupra pământului,

contribuția care-i revine fiind apreciată la circa 50%. Până în prezent nu există soluții tehnico-economice de combatere a emisiilor de CO<sub>2</sub>. Singura soluție fezabilă este accentuarea creșterii eficienței la producerea, transformarea și utilizarea energiei termice sau exploatarea energiei nucleare și a altor surse de energie neconvențională.

Pentru anul 2000, pe plan mondial, se tinde să se limiteze emisia de CO<sub>2</sub> la nivelul celei din 1990[50].

Din fericire, procesul de asimilare clorofiliană ( fotosinteza ) folosește CO<sub>2</sub> expirat de ființele vii sau eliminate de industrie, dând naștere la glucide și oxigen:



Prin efectele ei, relația (2.3) poate fi numită ecuația vieții.

#### **2.4 Emisia de pulberi**

Pulberile (PM) sunt echivalentul aerosolilor, și sunt definite ca o suspensie de particule solide sau picături de diferite mărimi. Dimensiunile și compoziția chimică reprezintă caracteristica cea mai importantă a acestor particule.

O singură particulă conține în mod uzual un amestec de constituenți fizici (solizi, lichizi) și chimici.

Concentrația de PM<sub>10</sub> reprezintă cantitatea pe unitatea de volum (μg/m<sup>3</sup>) de particule cu un diametru aerodinamic mai mic decât 10 micrometri (μm). Cea mai mare particulă conținută în fracțiunea PM<sub>10</sub> ajunge în partea superioară a plămânului. Cea mai mică particulă a acestei fracțiuni (adică PM<sub>2.5</sub> și PM<sub>1.0</sub>) pătrunde mai adânc în plămâni și ajunge în regiunea alveolară[51].

Pulberile sunt deseori diferențiate de constituenții chimici (de exemplu: sulfatți, metale grele, substanțe organice), precum și de constituenți legați de sursă (de exemplu: motorină).

Pulberile sunt emise direct de la sursele primare (pulberi primare) și se formează și în aer prin reacție cu precursori (pulberi secundare). Alte deosebiri uzuale sunt sursele naturale sau antropogenice și sursele din ardere . Emisiile care nu sunt datorate arderii sunt destul de incerte [57].

În termocentrale, cenușa zburătoare, eliminată prin coșul de fum al instalațiilor de ardere, praful de cenușă fin, antrenat de vânt din haldele de

depozitare a cenușii și praful de cărbune, provenit de la stivele de cărbune sau din transportul și prepararea acestuia, constituie o noxă solidă, care se găsește sub formă de aerosoli.

În cazul în care cenușa are un conținut foarte redus de metale grele aerosolii formați sunt netoxici. Sub aspect nociv, aceștia prezintă importanță numai atunci când particulele au dimensiuni mari. În acest caz, ele pot irita mucoasele oculare și cele ale căilor respiratorii.

Cenușile murdăresc și degradează mediul ambiant, se depun pe vegetație, clădiri, străzi și dau un aspect neplăcut [48].

Aerosolii toxici constituie categoria de poluanți care au cele mai nocive efecte. Ei sunt constituiți din hidrocarburile policiclice aromatice, rezultate ca produse ale arderii incomplete și imperfecte ale combustibililor. Acestea se condensează sub formă de picături foarte fine și plutesc în aer. Asemenea aerosoli sunt periculoși datorită acțiunii cancerigene a hidrocarburilor.

În UE, emisiile de pulberi primare ( $PM_{10}$ ) sunt datorate mai ales transportului, sectorului industrial și arderii combustibililor pentru încălzirea locuințelor.

De când valorile limită pentru PM (pulberi) au fost date în Directiva Europeană 1999/30/EC multe evidențe științifice noi au demonstrat puternica legătură dintre expunerea la PM și efectele asupra sănătății umane [28].

Noi analize au arătat că moartea poate surveni mai devreme cu cel puțin câteva luni la o populație medie, la nivele de concentrații obișnuite în Europa, datorate unor cauze cardiovasculare sau boli de plămâni. Mai mult sunt legături puternice între PM și creșterea simptomelor ușoare respiratorii, reducerea funcționării plămânilor copiilor și bolile cronice de plămâni ale adulților. Nu este nicio evidență a unui nivel sub care PM nu are nici un efect asupra sănătății oamenilor.

În studiile efectelor s-a observat că particulele fine ( $PM_{2,5}$ ) sunt mai riscante asupra sănătății decât cele mai mari. Dar, aceasta nu înseamnă că  $PM_{10}$  nu sunt periculoase [29].

## Cap. 3. CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA CONCENTRAȚIEI NOXELOR EMISE

### 3.1 Metode de măsurare. Descrierea gazoanalizorului TESTO 33 și TESTO 350

Componentele din gazele de ardere a căror concentrație trebuie măsurată sunt legate de calitatea arderii ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $H_2SO_4$ ) și de produsele arderii imperfecte ( $CO$ , substanțe aromate, emisii mirositoare, funingine) [24]. Alături de acestea, mai trebuie determinată concentrația compușilor pe baza de sulf ( $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $H_2S$ ) și pe baza de azot ( $NO_x$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NH_3$ ). Emisiile sub formă de praf și aerosol se pot determina atât cantitativ, cât și calitativ, adică atât natura, cât și compoziția lor. În tabelul 3.1. se prezintă o imagine de ansamblu asupra principalelor metode de măsurare a noxelor de gaze din atmosferă.

**Tabelul nr. 3.1 – principalele metode de măsurare a substanțelor gazoase.**

Principiu	Emisie	Imisie	Continuu	Discontinuu	Exemple
Fotometrie în IR	X	X	X		$CO$ , $CO_2$ , $SO_2$ , $NO$ , $NH_3$ , $H_2O$ , $CH_4$ , $C_2H_2$ , $C_2H_4$ , etc
Fotometrie în UV	X	X	X		$O_3$ , $NO$ , $NO_2$ , $SO_2$ , $Cl_2$ , $H_2S$ , $HCNO$
Fotometrie în domeniul vizibil	X		X		$NO_2$ , $Cl_2$
Fluorescență în UV	X	X	X		$SO_2$
Chemiluminescența		X	X	X	$NO$ , $NO_2$ , ( $NO_x$ ), $O_3$
Fotometrie a flăcării		X	X		Cantitatea totală de S, respectiv de $SO_2$
Ionizare a flăcării	X	X	X		Cantitatea totală de hidrocarburi $C_mH_n$
Conductometrie	X	X	X		$SO_2$ , $H_2S$ , $CO_2$ , $Cl_2$ , $HCl$
Amperometrie	X	(X)	X		$NO_2$ , $H_2S$ , $O_2$ , $CO$ , $SO_2$
Coulombmetrie	X	X	X		$SO_2$ , $Cl_2$
Potentiometrie	X	X	X		$HF$ , $HCl$ , $O_2$
Cromatografie	X	X		X	Gama largă de comp. individuale
Colorimetrie	(X)	X	(X)	X	$SO_2$ , $NO_2$ , $F$ , $O_3$ ,



					HCl, Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , HCNO
<b>Titrare pH-metrica</b>	X			X	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, O <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>
<b>Paramagnetism</b>	X		X		O <sub>2</sub>
<b>Conductivitate termică</b>	X		X		CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>

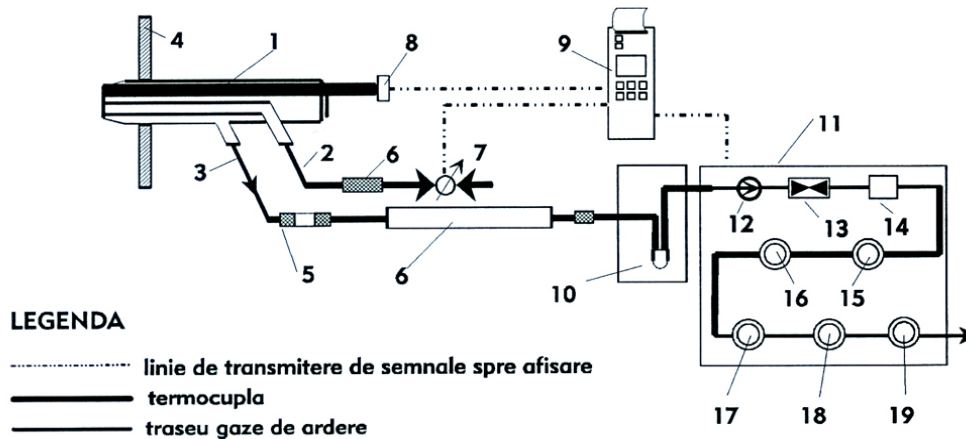
Tehnicile de monitorizare a emisiilor de substanțe gazoase pot fi continue, respectiv discontinue, în funcție de scopul măsurărilor. În cazul măsurărilor discontinue se vor determina valori medii, reprezentative pentru intervalul de timp în care s-a măsurat.

În tehnica de măsurare "on-line", măsurătoarea se execută direct la fața locului continuu iar "off-line", atunci când mostra prelevată la locul de analiză este păstrată și transportată, pentru a fi investigată ulterior, într-un laborator specializat [89].

Începând cu anul 2003, în centrala termoelectrică CET Drobeta Turnu Severin am efectuat lunar măsurători de substanțe poluante în gazele de ardere pentru cazanelor de abur de 420 t/h, K1 ÷ K6. Măsurătorile sunt realizate de către Universitatea Politehnica Timișoara în colaborare cu Compartimentul de Mediu din cadrul Sucursalei ROMAG TERMO cu ajutorul gazoanalizoarelor TESTO 33, TESTO 350 și a instalației Stroehlein pentru determinarea conținutului de pulberi de cenușă din gazele de ardere.

Măsurătorile se realizează pe canalul inferior și pe canalul superior de evacuare a gazelor de ardere ale cazanelor care sunt în funcțiune la data la care se execută măsurătorile.

Analizorul de gaz TESTO 33 este un aparat portabil, cu o sondă de prelevare a probei de gaz, care are lungimea activă de până la 1,5 m și rezistă la temperaturi de până la 1300 °C. Gazoanalizorul are memorie proprie, care îi permite stocarea a peste 100 seturi de date. Pentru măsurători de lungă durată se impune interconectarea la un calculator personal, care dispune de un soft special de stocare, prelucrare și reprezentare grafică sau golirea din timp în timp a memoriei într-un calculator personal.



**Figura 3.1 Schema analizorului de gaze TESTO 33**

1 – sonda, 2 – conducta de gaze pentru determinarea presiunii, 3 – conducta de gaze pentru analiză, 4 – peretele camerei de ardere, 5 – filtru capcană, 6 – furtun încălzit electric, 7 – aparat pentru măsurarea presiunii, 8 – termocupla, 9 – calculator cu sistem de afișare, 10 – stație de preparare a gazelor, 11 – corpul analizorului, 12 – pompa, 13 – capilar, 14 – camera de liniștire, 15 – senzor pentru  $O_2$ , 16 – senzor pentru CO, 17 – senzor pentru NO, 18 – senzor pentru  $SO_2$ , 19 – senzor pentru  $NO_2$ .

Proba de gaz pentru analiză este trecută prin două ramificații:

- una este necesară determinării diferenței de presiune dintre canalul de gaze și mediul ambiant;
- cealaltă servește filtrării, preparării și analizei efective a amestecului de gaze. Acest traseu este încălzit până în zona stației de preparare.

Filtrul capcană are rolul de a reține particulele solide precum și a unei părți din umiditatea conținute de gazele de ardere. Reținerea prafului elimină posibilitatea înfundării canalelor prin care circulă gazele în interiorul aparatului. Reținerea umidității are drept scop evitarea alterării compoziției probei analizate față de cea prelevată și evitarea formării acizilor [16].

Separarea definitivă a apei are loc în așa numita stație de preparare, prin răcirea bruscă a amestecului analizat la o temperatură,  $t < 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Capilarul și camera de liniștire uniformizează curgerea și antenează pulsațiile datorate funcționării pompei, realizându-se astfel o difuzie optimă în celulele analizatoare.

În continuare, gazul trece prin cei cinci senzori ai analizorului pentru concentrația oxigenului, monoxidului de carbon, monoxidului de azot, dioxidului de azot și dioxidului de sulf.

Măsurătorile pot fi în regim continuu sau automat (periodic).

În același timp analizorul calculează alți parametri specifici procesului de ardere, cum ar fi: concentrația dioxidului de carbon, coeficientul excesului de aer  $\lambda$  și randamentul arderii.

**Tabelul nr. 3.2 Date tehnice ale analizorului de gaz TESTO 33**

Mărimea măsurată	Senzor	Rezoluție	Acuratețe	Timp de răspuns
<b>Temperatura</b>	termocupla NiCr - NiAl	0,1°C/1 °C	± 0,5 <sup>o</sup> C (0-100 <sup>o</sup> C) ±0,5% din valoarea mas.	-
<b>Presiunea</b>	diferențial	0,01 mbar	± 0,03 mbar (0 - 3 mbar) ± 2% din val. masurata	-
<b>Concentrația de O<sub>2</sub></b>	electrochimic	0,1% vol		~ 40 sec.
<b>Concentrația de CO<sub>2</sub></b>	calcul digital din concentrația de O <sub>2</sub>	0,1% vol	0,1% vol	~ 40 sec.
<b>Concentrația de CO</b>	electrochimic	0,1% vol	± 20 ppm (0 - 400 ppm) 5% din val. masurata	~ 60 sec.
<b>Concentrația de NO</b>	electrochimic	0,1% vol	0,1% vol	~ 60 sec.

Determinarea temperaturii, suprapresiunii și compoziției gazelor de ardere uscate, se realizează cu ajutorul sondei gazoanalizorului TESTO 33.

**Gazoanalizorul TESTO 350** este un echipament performant de monitorizare a emisiilor gazoase din gazele de ardere, determinarea acestora

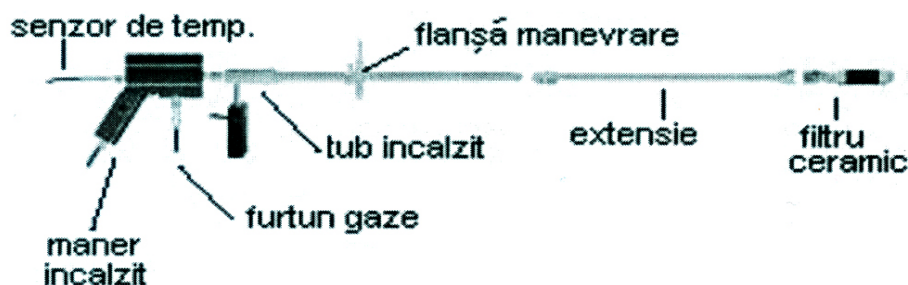
realizându-se în celule speciale, în urma unor reacții chimice tip Peltier. Gazele analizate sunt SO<sub>2</sub>, CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, O<sub>2</sub>, NO și NO<sub>2</sub>.

De asemenea, calculează coeficientul excesului de aer λ<sub>c</sub> și determină, prin calcul, concentrația de CO<sub>2</sub>, viteza de curgere a gazelor și debitul masic pentru toate tipurile de gaze analizate[91].

Aparatul este format din trei subansamble principale: unitatea de analiză, unitatea de control și sonda de prelevare a gazelor. Opțional se pot atașa diferiți senzori de temperatură, precum și sonda Pitot-Prandtl [93].

Prin conectarea la PC gazoanalizorul TESTO 350 poate fi folosit pentru o monitorizare de lungă durată, fiind controlat de un program special, ComSoft 3.

c) Aparatul poate fi echipat cu mai multe **sonde de prelevare a gazelor**, care diferă în funcție de scopul la care sunt utilizate. În figura nr. 3.4 este prezentată sonda de prelevare a gazelor evacuate la coșul de fum, sonda cu tubulatura încălzită la 180 °C și care operează la temperaturi de maximum 1200 °C [101].



**Figura nr. 3.4 Sonda de prelevare a gazelor**

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

$$\text{Bioxidul de carbon, CO}_2: \quad \text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_{2\text{max}} * (21 - \text{O}_{2\text{mas}})}{21} \% \quad (3.4)$$

în care:

CO<sub>2max</sub> – valoarea maximă a conținutului de CO<sub>2</sub> în gazele de ardere uscate specifică combustibilului, în %; această mărime se introduce în programul de calcul în momentul în care operatorul precizează combustibilul folosit ( cărbune, păcură, gaz natural ).

**Pierderea de căldură cu gazele evacuate , qA :**

$$qA = \left[ (FT - AT) * \left[ \frac{A_2}{(21 - O_2)} + B \right] \right] * KK \quad (\text{ecuația Siegert}) \quad (3.5)$$

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 corecție pentru diferența de temperatura la coșul de fum.

Dacă factorii A<sub>2</sub> și B sunt nuli, ecuația Siegert se corectează cu factorul "f", specific combustibilului:

$$qA = f * \frac{(FT - AT)}{CO_2} \quad (3.6)$$

**Randamentul arderii, η**, ținând cont doar de pierderile de entalpie la coșul de fum:

$$\eta = 100 - qA \quad (3.7)$$

**Coeficientul excesului de ardere, λ:**  $\lambda = \frac{CO_{2max}}{CO_2} \quad (3.8)$

**Oxizii de azot, NO<sub>x</sub>:**  $NO_x = NO + NO_2 \quad (3.9)$

**Viteza de curgere a gazelor , w[m/s]:**  $w = \frac{575 * \Delta p * (FT + 273,15)^\alpha}{p_{abs}} \quad (3.10)$

în care:

p<sub>abs</sub> – presiunea absolută;

Δp – presiunea dinamică, [mbar];

α – factorul tubului Pitot, între 0 ÷ 1,5.

**Debitul de gaze evacuate, V [m<sup>3</sup>/s]:**  $V = w * \frac{A_1 * A_2}{10.000} \quad (3.11)$

în care A<sub>1</sub> x A<sub>2</sub> – secțiunea canalului de curgere, în [cm<sup>2</sup>]

**Debitul masic pentru CO, NO, SO<sub>2</sub>:**

$$m_{CO} \left[ \frac{kg}{h} \right] = CO[ppm] * F_{Gas} * 1,25 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{273,15 * p_{abs}[mbar]}{(273,15) + t[^\circ C] * 1013} * V \left[ \frac{m^3}{s} \right] * 10^{-6} \left[ \frac{m^3}{ppm * m^3} \right] * 3600 \quad (3.12)$$

$$m_{NOx} \left[ \frac{kg}{h} \right] = NO_x[ppm] * F_{Gas} * 2,05 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{273,15 * p_{abs}[mbar]}{(273,15) + t[^\circ C] * 1013} * V \left[ \frac{m^3}{s} \right] * 10^{-6} \left[ \frac{m^3}{ppm * m^3} \right] * 3600 \quad (3.13)$$

$$m_{SO_2} \left[ \frac{kg}{h} \right] = SO_2[ppm] * F_{Gas} * 2,86 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{273,15 * p_{abs}[mbar]}{(273,15) + t[^\circ C] * 1013} * V \left[ \frac{m^3}{s} \right] * 10^{-6} \left[ \frac{m^3}{ppm * m^3} \right] * 3600 \quad (3.14)$$

în care:

t – temperatura medie a gazelor prelevate;

F<sub>Gas</sub> – factor de umiditate, depinde de natura combustibilului;

### 3.2 Determinarea conținutului de pulberi ( cenușă ) în gazele de ardere. Descrierea instalației Strohlein

În funcție de calitatea cărbunelui și tehnologia de ardere, gazele rezultate au un conținut de particule solide de regulă sub formă de pulbere de cenușă și mai rar de funingine. Determinarea conținutului de pulberi de cenușă din gazele de ardere necesită prelevarea amestecului bifazic și filtrarea acestuia, în vederea reținerii fazei solide [100].

Pulberile fine urmează fidel mișcarea fazei gazoase, deoarece forțele de frecare predomină în acest caz asupra forțelor de inerție. Pulberile cu granulație mare dimpotrivă, sunt influențate mai mult de forțele de inerție, astfel că la variații al vitezei sau la schimbări ale direcției de deplasare a gazelor sunt posibile segregări, rezultând modificări locale ale concentrației. Din acest motiv este deosebit de important ca punctele de recoltare a probelor să fie alese în porțiuni de conducte drepte, ferite de influențele perturbatoare pe care le exercita coturile, ramificațiile sau schimbările de secțiune[99].

Aceasta implică necesitatea respectării următoarelor reguli:

a. secțiunea canalului din care se face prelevarea amestecului bifazic gaz-pulberi trebuie să se afle într-o porțiune dreaptă a canalului situată față de cea mai apropiată sursă de perturbație în amonte, la o distanță  $L_p \geq 5d_h$ , respectiv în aval  $L_p \geq 5d_h$ , ( $d_h$  - diametrul hidraulic al canalului).

b. aspirația amestecului bifazic trebuie să se facă în condiții de izocinetism, adică viteza de aspirație  $w_s$  trebuie să fie egală cu viteza  $w_c$  din canal.

c. numărul punctelor din care se face prelevarea se stabilește în funcție de forma și dimensiunile canalului conform "Notei metodologice privind determinarea emisiilor de poluanți atmosferici produși de surse staționare".

Prelevarea probelor de pulberi de cenușă din canalele prin care circulă gaze de ardere umede, la o temperatură ridicată este îngreunată de posibilitatea condensării vaporilor de apă, în urma răcirii gazelor pe traseul dintre sonda de prelevare și filtru [98]. Pentru evitarea acestui fenomen sunt folosite în mod curent sondele cu reținător (filtru) înglobat și scheme cu stabilirea indirectă a izocinetismului, prin efectuarea de măsuratori ajutătoare de temperatură, umiditate, compoziție și presiune a gazelor în canal, respectiv presiune barometrică. Cu ajutorul acestor date se stabilește densitatea gazelor de ardere umede și apoi folosind indicațiile unui tub Pitot-Prandtl se determină viteza  $w_c$  a gazului. În continuare se stabilește debitul necesar de aspirat prin sonda de prelevare și diametrul acesteia, astfel încât  $w_s = w_c$ .

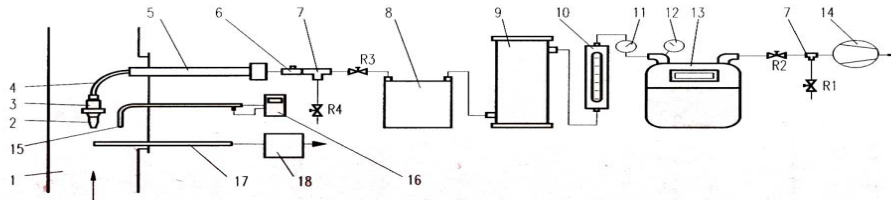
Schema de montaj a aparaturii necesare împlinirii dezideratelor de mai sus, prezentată în figura nr.3.5 conține, de fapt trei aparate:

1. **aparatură Strohlein**, model STEP 4, folosit pentru captarea pulberilor de cenușă din amestecul bifazic gaze - solid;

2. **tubul Pitot-Prandtl**, cu micromanometru electronic, pentru măsurarea presiunii dinamice a curentului gazos;

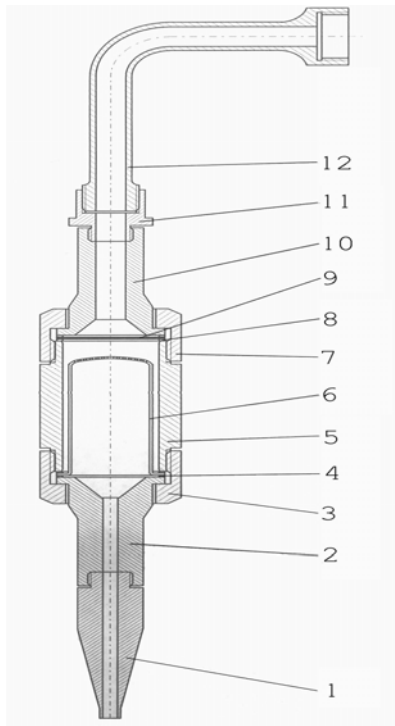
3. **gazoanalizorul TESTO 33**, care servește la determinarea temperaturii statice și compoziției gazelor de ardere uscate.

În afara acestor aparate mai sunt necesare un barometru, un termometru și un cântar electronic sau o balanță analitică. În cazul de față se folosește un cântar electronic Sartorius, computerizat.



**Figura nr. 3.5 Schema de montaj**

1 - canal gaze, 2 - duza calibrată, 3 - carcasa catușului filtrant, 4 - racord, 5 - manșon de încălzire electrică, 6 - termoelement, 7 - teu, 8 - rezervor de condensat, 9 - turn de uscare cu silicagel, 10 - debimetru (rotometru), 11 - manometru, 12 - termometru, 13 - contor, 14 - pompa de vid, 15 - tub Pitot-Prandtl, 16 - micromanometru electronic, 17 - sonda, 18 - gazoanalizor, R<sub>1</sub>-R<sub>4</sub>- robinete



**Figura nr. 3.6 Ansamblu duză calibrată corp cartuș filtrant**

1 - Duza calibrată, 2, 10, 11 - Piesa de legătură, 3, 7 - Piulița strângere, 4-8 - garnituri, 5 - Corpul cartușului filtrant, 6 - Filtru cu vată, 9 - Filtru plat, 12 - Racord

Înainte începerii măsurătorilor propriu-zise, cartușul filtrant încărcat cu vata de sticlă și filtrul plat din hârtie, sunt supuse la un proces repetat de uscare în etuvă la temperatura de circa 105 °C, urmate de o răcire într-un exicator și apoi de o cântărire

[105]. Operația se repetă de mai multe ori. Uscarea este terminată dacă nu apar diferențe între două cântăriri succesive.

Viteza curentului în canalul de gaze se determină din relația:



$$w_c = \sqrt{\frac{200 * \Delta p_{din}}{\rho_{gtc}}} \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (3.15)$$

în care:

$\Delta p_{din}$  – presiunea dinamică, măsurată cu ajutorul tubului Pitot-Prandt, [mbar]

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

Temperatura  $t_{gc}$  (°C) și suprapresiunea statică  $\Delta p_{st}$  [mbar] se determină cu ajutorul trusei TESTO electronice și a gazoanalizorului din aceeași familie. Pentru inițializarea calculelor se determină sau se acceptă analiza elementară a cărbunelui și a combustibilului, care asigură suportul de flacără (păcura sau gazul 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 densitatea:

$$\begin{aligned} \rho_{gt}^0 &= \frac{1}{V_M^0} [v_{CO_2} M_{CO_2} + v_{SO_2} M_{SO_2} + v_{O_2} M_{O_2} + v_{N_2} M_{N_2} + v_{H_2O} M_{H_2O}] \\ &= \frac{1}{22,414} [44 v_{CO_2} + 64 v_{SO_2} + 32 v_{O_2} + 28 v_{N_2} + 18 v_{H_2O}] \left[ \frac{Kg}{m^3 N} \right] \end{aligned} \quad (3.16)$$

respectiv:

$$\rho_{tgc} = \rho_{gt}^0 \frac{273,15}{T_{gc}} x \frac{p_b + \Delta p_{st}}{p_{bo}} \quad (3.17)$$

în care:

$\Delta p_{st}$  = suprapresiunea statică, [mbar];

$p_b$  – presiunea barometrică, [mbar];

$p_{bo}$  – presiunea normala 1013 mbar;

$T_{gc} = (273,15 + t_{gc})$  – temperatura absolută a gazelor în canal la intrarea în coșul de fum, [K].

Pentru asigurarea izocentrismului, diametrul duzei calibrate se calculează cu relația:

$$d = 15,7 \sqrt{\frac{V T_{gc}}{w_c T_s}} \quad [mm] \quad (3.18)$$

în care:

$V = 4,1$  [ $m^3/h$ ] – debitul de gaz aspirat;

$T_s = 273 + t_s = (273+120) = 393\text{K}$  – temperatura gazelor în sonda (la ieșirea din manșonul de încălzire), care se reglează  $t_s = 120$  °C.

Din trusa se alege duza calibrată cu diametrul **d** dacă există, iar în caz contrar, se optează pentru o duză cu diametru inferior cel mai apropiat [103].

În continuare se montează duza calibrată cu diametrul ales  $d_a$  [mm] și se recalculează debitul de gaz:

$$V_{\text{cont.calc}} = W \frac{\pi d_a^2}{4 \cdot 10^6} \cdot \frac{p_b + \Delta p_{\text{st}}}{p_b - \Delta p_k} \cdot \frac{273 + t_k}{273 + t_c} \cdot 3600 \cdot \frac{\rho_{\text{H}_2\text{O}} + f_{\text{nG}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} + f_{\text{nk}}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (3.19)$$

în care:

$p_b$  – presiunea barometrică, [mbar];

$\Delta p_k$  – depresiunea gazului, citită pe manometrul contorului, [mbar];

$t_k$  – temperatura gazului, citită pe termometrul conturului, [°C];

$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0,894 \text{ Kg/m}^3\text{N}$  – densitatea vaporilor de apă în condiții normale;

$f_{\text{nG}} = 0$  – umiditatea gazelor care trec prin contor, [ $\text{kg/m}^3$ ];

$f_{\text{nk}}$  – umiditatea gazelor de ardere extrase din canal, [ $\text{kg/m}^3$ ];

Aceasta ultimă valoare se determină din relația:

$$f_{\text{nk}} = \frac{m_{\text{wc}} + m_{\text{wcs}}}{V_{\text{contcalc}}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (3.20)$$

unde:

$m_{\text{wc}}$  – debitul masic de condens colectat în rezervorul de condensat [kg/h];

$m_{\text{wcs}}$  – debitul masic de condens reținut de silicagelul din turnul de uscare [kg/h].

Valorile  $m_{\text{wc}}$  și  $m_{\text{wcs}}$  se stabilesc la sfârșitul unei probe prin măsurători volumice, respectiv prin cântărire.

La inițializarea calculelor se poate accepta  $f_{\text{nk}} = v_{\text{H}_2\text{O}} \rho_{\text{H}_2\text{O}}$  [ $\text{kg/m}^3$ ].

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

$$X = \frac{V_{\text{cont. calc.}}}{V} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.21)$$

Pe toata durata măsurătorilor se urmăresc și se notează din timp în timp (la început din 3 în 3 minute, apoi din 10 în 10 minute) valorile parametrilor de curgere și anume:

- temperatura gazelor în sonda  $t_s$ , °C;
- temperatura gazelor  $t_k$  citită pe termometrul contorului  $t_c$ , °C;
- depresiunea gazelor  $\Delta p_k$ , citită pe manometrul contorului, mbar.
- debitul de gaz indicat de rotometru,  $m^3/h$ ;
- presiunea barometrică, mbar.

Concentrația prafului în gazele de ardere se stabilește din relația:

$$C_{\text{praf}} = \frac{\Delta m_{\text{praf}}}{\Delta V_{\text{cont}}} \cdot \frac{273 + t_k}{273} \cdot \frac{p_{b0}}{p_b \Delta p_k} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \quad (3.22)$$

în care:

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

$\Delta V_{\text{cont}}$  – cantitatea de gaze înregistrate de contor în același interval de timp,  $m^3$ .

Pentru a putea compara valorile obținute prin măsuratori cu valorile limită a emisiilor din gazele de ardere prevăzute de legislația de mediu în vigoare, trebuie să se aplice următoarea corecție:

$$C_{\text{praf}}^{\text{corect}} = C_{\text{praf}} \frac{21 - O_2}{21 - O_{2\text{ref}}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \quad (3.23)$$

Pentru siguranța măsurătorilor, acestea trebuie repetate corect în punctele de măsură stabilite [93].

### **3.3 Organizarea măsurărilor. Regim termic staționar, probe de combustibil și analiza acestora în laborator. Date privind regimul de funcționare a cazanului. Locul de prelevare a probelor.**

În cadrul centralei electrice se realizează măsurători lunare ale substanțelor poluante din gazele de ardere produse de arderea lignitului și păcurii.

Valorile măsurate sunt transmise la Agenția de Protecția Mediului Mehedinți, în conformitate cu planul de monitorizare a factorului de mediu, aer din Autorizația Integrată de Mediu nr. 8/06/2006.

Măsurătorile sunt efectuate pentru gazele de ardere evacuate de cazanele de 420 t/h în funcțiune, în perioada 2003 - 2007.

Caracteristicile cazanelor din CET Romag Termo cu funcționare pe combustibil solid sunt:  $D_n = 420$  t/h,  $P_n = 13,7$  MPa,  $t_s = 540$  °C,  $t_{wl} = 230$ °C.

Probele sunt prelevate din canalele de gaze superior (CGS) și inferior (CGI), ale fiecărui cazan care fac legătura dintre cazane și coșul de fum CF. Accesul la ferestrele practicate în pereții canalelor de gaze, în care se introduc sondele aparatelor de măsură este asigurat de platformele metalice, prevăzute cu scări și platforme, montate fix sau mobil.

Cărbunele folosit în procesul de ardere este analizat în laborator. Proba pentru analiză este uscată, determinându-se umiditățile cărbunilor, cea de îmbibație și umiditatea higroscopică. Umiditatea se determină conform STAS 5264. Umiditatea de îmbibație se determină prin uscarea probelor de cărbune în etuvă la 50°C sau la aer până la o masă constantă.

Dacă masa probei inițiale este  $m(g)$  și după uscare ajunge la  $m_1$ , atunci:

$$W_i\% = (m - m_1) / m \times 100 \quad (3.24)$$

Umiditatea de îmbibație variază în funcție de condițiile de așezare a cărbunilor în strat și mai puțin de cele de depozitare.

Umiditatea higroscopică provine din apa ce se găsește în masa organică a cărbunilor. Ea depinde de vârsta cărbunilor. Umiditatea higroscopică reprezintă cantitatea de apă rămasă în combustibil după eliminarea umidității de îmbibație și se determină prin uscare în etuvă la 105°C.

Dacă se notează cu  $m_1$  masa după determinarea umidității de îmbibație și cu  $m_2$  masa finală, atunci:

$$W_h\% = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100 \quad (3.25)$$

Suma celor două umidități formează umiditatea totală:

$$W_t\% = (m - m_2) / m \times 100 \quad (3.26)$$

*Materiile volatile (V)* reprezintă cantitatea totală de gaze degajată prin încălzirea cărbunelui în absența aerului, la o temperatură de  $850 \pm 20$  °C, într-un anumit timp, din care se scade umiditatea. Conținutul de materiale volatile din proba de analizat,  $V_a$ , se determină cu relația:

$$V_a = (m - m_1) / m \times 100 - W_t^a \quad (3.27)$$

Conținutul de materii volatile joacă un rol important în aprinderea și arderea cărbunilor.

*Cenușa (A)* provine din masa anorganică prin arderea substanțelor anorganice din cărbune. Aceasta nu corespunde nici cantitativ, nici calitativ sterilului rezultat în cursul procesului de ardere a cărbunilor, componenții chimici ai sterilului fiind supuși unor transformări chimice. Totuși, deoarece metodele care permit determinarea cantitativă a conținutului de steril sunt dificile, ponderea masei anorganice a cărbunilor se stabilește în funcție de cantitatea de cenușă rezultată prin arderea combustibilului. Compoziția chimică oxidică a cenușii poate fi considerată, cu o oarecare aproximație, drept compoziție a sterilului.

Masa anorganică a cărbunelui conține o serie de elemente prezente în cantități mari sub numele de elemente majore sau macroelemente.

Determinarea conținutului de cenușă se face conform STAS 5265 și reprezintă reziduul solid rămas după arderea integrală a cărbunelui în aer, la o temperatură de 820°C.

*Puterea calorică (H)* este o caracteristică comparativă a combustibililor. Aceasta reprezintă caracteristica principală, în funcție de puterea calorică a combustibilului utilizat dimensionându-se cazanul.

După starea în care se găsește apa în produsele arderii, deosebim:

- putere calorică inferioară ( $H_i$ ), când apa este în stare de vapori;
- putere calorică superioară ( $H_s$ ), când apa se află în stare lichidă și prin urmare, a pus în libertate prin condensarea vaporilor, căldura de vaporizare.

Între cele două puteri calorice există următoarea relație de legătură:

$$H_i^a = H_s - 2509 (9H - W_t) \quad (\text{Kj/Kg}) \quad (3.28)$$

Puterea calorică se determină:

- pe cale experimentală, prin arderea unei cantități de combustibil (cca.1g)

#### 54 Cercetări privind determinarea concentrației noxelor emise - 3

în atmosferă de oxigen, în bomba calorimetrică. Prin această metodă se determină puterea calorică superioară  $H_s$ ;

- pe bază de calcul, în cazul în care se cunoaște analiza elementară:

$$H_s = 33800 C + 125448 H + 10827 (S-O) \quad (\text{Kj/Kg}) \quad (3.29)$$

În centrala ROMAG TERMO recepția calitativă a cărbunelui vagonabil și auto se execută în conformitate cu STAS 1308-90, iar formarea probelor se execută în conformitate cu STAS 1372-90.

Pentru a se ajunge la proba de laborator supusă analizelor se trece prin mai multe faze: Probă elementară – probă totală – probă omogenizată – probă de laborator – probă pentru analiză – probă martor.

În analizele curente la probele de cărbune se execută umiditatea totală, cenușă și puterea calorică. Determinările de sulf nu intra în analizele curente. Condițiile de funcționare ale cazanelor la data investigațiilor on line sunt înregistrate în fișele cu parametrii cazanelor .

**Tabelul nr.3.3 Condițiile de funcționare ale cazanelor**

Nr. crt.	Denumire	Simbol	U.M.	Generatorul de abur		
				K1	K5	K6
1	Debitul de abur supraîncalzit	D	t/h	393	361	380
2	Presiunea aburului supraîncalzit	$p_s$	Bar	128	136	135
3	Temperatura de supraîncalzire	$t_s$	oC	528	533	523
4	Debitul apei de alimentare	$D_{w1}$	t/h	408	375	387
5	Temperatura apei de alimentare	$t_{w1}$	oC	230	230	230
6	Presiunea apei de alimentare	$p_{w1}$	Bar	175	175	180
7	Consumul orar de carbune	$B_c$	t/h	150	149	149
8	Puterea calorifică inferioară a carbunelui, raportată la proba de analiză	$H_{ic}^a$	Kcal/Kg	1800	1800	1800
9	Umiditatea totală a carbunelui (raportată la proba inițială)	$W_{tc}$	%	42,3	42,7	42,5
10	Continutul de cenușă a carbunelui, raportat la proba de analiză	$A_c^a$	%	34,1	34,2	34,2
11	Continutul de sulf al carbunelui, raportat la proba de analiză	$S_c^a$	%	1,5	1,5	1,5
12	Consumul orar de pacură	$B_p$	t/h	1,6	1,3	1,3
13	Puterea calorifică inferioară a pacurii	$H_{ip}$	Kcal/Kg	9720	9720	9720
14	Continutul de sulf al pacurii	$S_p^a$	%	0,9	0,9	0,9

#### 3.4 Rezultate obținute în urma măsurărilor termotehnice

Un exemplu de monitorizare a gazelor de ardere , pe canalele de gaze de ardere ale Cazanului nr.2 din cadrul Sucursalei ROMAG TERMO, în perioada desfășurării determinărilor 2003-2006, este prezentată în tabelul de mai jos.

**Tabelul nr. 3.4 Rezultatele măsurărilor on line privind componentele gazoase emise pe canalul superior si canalul inferior de la Cazanul nr.2 in perioada 2003 - 2006**

Anul	Canalul	Valori medii ale participării masice a noxelor, raportate la un conținut de oxigen $O_{2ref}= 6\%$ , în $mg/m^3N$				
		$C^*_{CO}$	$C^*_{SO_2}$	$C^*_{NO_x}$	$C^*_{pulb.}$	$C^*_{CO_2}$
2003	inferior	93,74	5310,42	282,39	88,90	256,70
	superior	111,03	5666,24	212,64	87,85	285,75
2004	inferior	89,98	5171,03	273,65	89,53	258,31
	superior	109,01	5606,36	210,72	87,45	272,10
2005	inferior	52,44	5266,76	315,01	90,56	254,04
	superior	52,42	5408,18	333,95	89,52	240,46
2006	inferior	94,78	4750,16	272,96	91,53	249,75
	superior	122,06	5259,14	293,30	87,56	266,20
Valori limită admise de legislația în vigoare		250	400	500	100	-

unde,

-  $C^*_{CO}$  – conținutul masic al oxidului de carbon în gazele de ardere uscate, raportate la un conținut de oxigen de  $O_{2ref}= 6\%$ , în  $mg/m^3N$ ;

-  $C^*_{SO_2}$  – conținutul masic al dioxidului de sulf în gazele de ardere uscate raportate la un conținut de oxigen de  $O_{2ref}= 6\%$ , în  $mg/m^3N$ ;

-  $C^*_{NO_x}$  – conținutul masic al oxizilor de azot în gazele de ardere uscate raportate la un conținut de oxigen de  $O_{2ref}= 6\%$ , în  $mg/m^3N$ ;

-  $C^*_{CO_2}$  – conținutul masic al bioxidului de carbon în gazele de ardere uscate raportate la un conținut de oxigen de  $O_{2ref}= 6\%$ , în  $mg/m^3N$ ;

Luna	Canal	Anul 2003						Anul 2004						Anul 2005						Anul 2006							
		C* <sub>co</sub>	C* <sub>so2</sub>	C* <sub>nox</sub>	C* <sub>pub</sub>	C* <sub>co2</sub>	C* <sub>co</sub>	C* <sub>so2</sub>	C* <sub>nox</sub>	C* <sub>pub</sub>	C* <sub>co2</sub>	C* <sub>co</sub>	C* <sub>so2</sub>	C* <sub>nox</sub>	C* <sub>pub</sub>	C* <sub>co2</sub>	C* <sub>co</sub>	C* <sub>so2</sub>	C* <sub>nox</sub>	C* <sub>pub</sub>	C* <sub>co2</sub>	C* <sub>co</sub>	C* <sub>so2</sub>	C* <sub>nox</sub>	C* <sub>pub</sub>	C* <sub>co2</sub>	
ianuarie	inferior	85,4	6874,2	354,8	95,2	268,1	75,6	6789,1	354,7	75,8	256,1	40,7	5514,7	420,6	91,6	253,8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	86,3	6942,0	361,0	86,5	278,9	82,5	6925,3	321,0	83,6	274,3	55,2	5593,5	422,3	90,9	263,6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
februarie	inferior	74,9	5968,7	347,9	86,3	267,9	67,9	7025,4	358,6	94,3	268,9	X	X	X	X	X	109,0	5120,2	278,6	82,5	224,6	X	X	X	X	X	
	superior	93,0	6052,3	378,2	91,5	298,1	69,5	6753,1	401,3	87,3	275,3	X	X	X	X	X	100,0	4780,3	311,5	81,2	237,8	X	X	X	X	X	
martie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	84,3	5725,8	387,5	90,3	251,5	210,4	X	X	X	X	X	
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	88,0	5748,6	394,2	84,7	252,7	213,3	X	X	X	X	X	
aprilie	inferior	X	X	X	X	X	81,3	7519,0	362,4	98,9	254,0	62,3	5685,1	388,1	82,1	239,8	73,5	6069,8	310,5	96,1	252,9	X	X	X	X	X	
	superior	X	X	X	X	X	88,7	6264,3	396,5	94,1	249,9	89,3	5718,9	397,6	88,6	238,3	71,6	6022,8	322,7	94,2	252,1	X	X	X	X	X	
mai	inferior	105,3	7324,2	347,6	86,4	247,6	52,3	5182,3	321,6	77,3	258,2	X	X	X	X	X	79,6	4423,9	330,7	97,2	252,3	X	X	X	X	X	
	superior	110,7	6952,3	358,2	88,7	273,0	109,0	5948,2	310,7	73,5	272,1	X	X	X	X	X	66,9	4292,2	373,5	99,8	252,7	X	X	X	X	X	
iunie	inferior	96,7	6457,0	342,1	78,6	265,4	76,7	6733,7	489,6	96,7	252,1	X	X	X	X	X	86,3	4802,3	278,5	82,5	228,3	X	X	X	X	X	
	superior	98,3	6999,1	298,8	82,5	283,4	62,4	6651,4	356,5	98,4	250,6	X	X	X	X	X	81,3	5213,6	262,6	87,2	212,0	X	X	X	X	X	
iulie	inferior	X	X	X	X	X	69,3	5916,5	362,1	90,2	167,3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	67,2	4971,6	372,8	74,3	252,7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
august	inferior	X	X	X	X	X	107,0	6873,3	336,0	87,5	252,7	34,8	4764,4	399,4	73,3	253,8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	120,3	7256,2	352,9	90,9	252,9	39,5	4741,4	394,9	80,4	252,6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
septembrie	inferior	X	X	X	X	X	50,4	6424,5	336,2	94,3	253,3	50,4	5249,6	307,6	70,5	252,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	69,2	5765,8	299,3	76,2	254,0	58,6	5443,3	321,1	69,7	255,6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
octombrie	inferior	87,6	5783	347,6	87,9	299,3	64,3	5723,4	286,7	83,1	247,9	72,0	4992,3	341,5	79,0	240,9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	94,1	6433	295,6	89,5	301,5	57,8	6087,3	293,1	79,6	253,6	71,6	5001,2	357,2	84,6	250,9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
noiembrie	inferior	98,3	5900	278,6	89,0	286,4	X	X	X	X	X	26,5	4976,6	402,3	84,0	252,2	69,5	5336,0	298,5	92,1	244,3	X	X	X	X	X	











	superior	X	X	X	81,2	6330,4	308,5	85,8	258,2	87,5	4901,0	341,9	92,5	269,5	X	X	X	X	X
ianuarie	inferior	X	X	X	102,6	5857,6	405,3	93,4	229,6	102,6	4916,7	405,3	90,2	230,2	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	111,0	5827,3	418,6	95,9	250,9	111,0	4811,9	418,6	83,1	250,9	X	X	X	X	X
iulie	inferior	92,5	6421,9	278,5	85,2	247,9	68,9	98,3	266,8	65,18	5538,9	382,2	75,6	296,1	64,7	4696,6	317,7	36,6	252,6
	superior	78,6	5974,9	298,2	84,3	254,3	71,7	94,5	254,8	72,5	5073,7	338,9	71,4	259,3	79,3	4633,0	271,9	38,3	252,8
august	inferior	94,5	6852,0	278,6	85,3	268,7	76,5	87,5	255,1	X	X	X	X	X	83,0	4498,4	243,7	39,7	235,0
	superior	83,0	6942,7	296,3	98,2	278,5	85,3	90,9	227,3	X	X	X	X	X	96,7	4213,2	207,5	36,0	236,2
septembrie	inferior	98,6	5789,2	268,7	93,1	257,6	79,6	90,0	223,7	X	X	X	X	X	69,8	4272,3	261,5	39,4	245,8
	superior	100,2	6354,7	275,3	77,3	269,3	63,8	91,7	231,2	X	X	X	X	X	75,3	4212,8	243,4	34,9	247,8
octombrie	inferior	99,2	6321,0	265,8	72,4	294,5	98,5	89,5	258,6	X	X	X	X	X	74,2	4269,0	281,6	36,3	237,5
	superior	93,5	6578,2	299,0	93,1	253,4	87,3	88,6	269,7	X	X	X	X	X	69,6	4071,7	246,0	37,4	240,8
noiembrie	inferior	94,7	6014,3	258,3	84,7	262,3	75,9	91,2	257,6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	85,6	6853,2	287,6	86,9	254,1	96,6	90,6	268,3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
decembrie	inferior	91,3	5542,3	294,6	78,9	272,6	99,5	87,9	248,3	X	X	X	X	X	72,8	4682,5	255,5	38,8	227,1
	superior	95,3	5763,4	247,9	90,5	283,1	86,7	89,5	258,7	X	X	X	X	X	83,3	4369,3	186,3	39,6	221,7

**Tabelul nr. 3.10 Valori medii ale participării masice a noxelor de la Cazanul K6, raportate la un conținut**

**de oxigen  $O_{2ref} = 6\%$ , în  $mg/m^3N$**

Luna	Canal	Anul 2003						Anul 2004						Anul 2005						Anul 2006							
		$C^{*}_{CO}$	$C^{*}_{SO2}$	$C^{*}_{NOx}$	$C^{*}_{pub}$	$C^{*}_{CO2}$	$C^{*}_{CO}$	$C^{*}_{SO2}$	$C^{*}_{NOx}$	$C^{*}_{pub}$	$C^{*}_{CO2}$	$C^{*}_{CO}$	$C^{*}_{SO2}$	$C^{*}_{NOx}$	$C^{*}_{pub}$	$C^{*}_{CO2}$	$C^{*}_{CO}$	$C^{*}_{SO2}$	$C^{*}_{NOx}$	$C^{*}_{pub}$	$C^{*}_{CO2}$	$C^{*}_{CO}$	$C^{*}_{SO2}$	$C^{*}_{NOx}$	$C^{*}_{pub}$	$C^{*}_{CO2}$	
ianuarie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
februarie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
martie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

62 Cercetări privind determinarea concentrației noxelor emise - 3

aprilie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	91,4	5349	286,3	90,6	227,4	90,8	5226,3	268,7	77,8	257,4
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	78,5	5285	250,0	85,3	230,2	101,1	5039,3	231,9	81,8	250,7
mai	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	67,0	5142,1	400,1	78,8	254,6
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	81,6	5640,7	310,0	84,9	260,1
Iunie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Iulie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
august	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	49,1	4788,3	318,5	85,9	239,7	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	42,5	4725,3	319,1	84,2	242,1	X	X	X	X	X
septembrie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	97,6	5219,9	311,9	96,5	245,6	X	X	X	X	X
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	84,9	5161,7	281,3	83,1	232,1	X	X	X	X	X
octombrie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	66,8	4938,2	266,5	92,9	231,2	106,1	5531,9	351,6	97,1	259,6
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	76,4	5034,6	219,5	94,2	272,0	117,8	4913,7	339,0	91,6	249,6
noiembrie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	66,3	5257,1	252,9	84,6	243,7
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	72,4	4832,4	275,4	85,3	236,4
decembrie	inferior	X	X	X	X	X	X	X	X	59,7	5283,8	344,9	94,6	233,9	68,2	4847,4	301,4	84,6	214,9
	superior	X	X	X	X	X	X	X	X	72,4	4888,1	344,3	78,6	229,1	76,4	5200,2	289,5	86,9	222,3

Concentrația masică a gazelor de ardere uscate cu un conținut de oxigen  $O_{2ref}$  = 6%, valoare de referință pentru combustibil solid, s-a stabilit cu ajutorul relațiilor:

$$C_{CO} = 1,25 \frac{21 - O_{2ref}}{21 - O_2} CO \quad \left[ \frac{mg}{m_N^3} \right] \quad (3.24)$$

$$C_{NOx} = 2,05 \frac{21 - O_{2ref}}{21 - O_2} (NO + NO_2) \quad \left[ \frac{mg}{m_N^3} \right] \quad (3.25)$$

$$C_{SO_2} = 2,85 \frac{21 - O_{2ref}}{21 - O_2} SO_2 \quad \left[ \frac{mg}{m_N^3} \right] \quad (3.26)$$

### 3.5 Prelucrarea datelor experimentale

După terminarea măsurătorilor s-a făcut prelucrarea datelor luându-se în considerare parametrii de funcționare ai cazanelor, compoziția cea mai probabila a cărbunelui, a păcurii și respectiv a combustibilului echivalent [106]. Se face bilanțul material al procesului de ardere a combustibilului echivalent ținându-se cont de cantitatea de gaze uscate rezultată la arderea 1 Kg de combustibil fictiv cu un  $\lambda_r = 1,4$  adică cu un conținut de oxigen  $O_{2ref} = 6\%$ . Se face calculul valorilor medii orare de emisii, raportate și neraportate.

În urma măsurătorilor efectuate se pot face următoarele observații:

1. Concentrația masică a monoxidului de carbon se situează sub valoarea concentrației limită  $C_{CO}^{lim} = 250$  mg/Nmc, admisă de legislația în vigoare;
2. Valoarea concentrației limită a dioxidului de sulf  $C_{SO_2}^{lim} = 400$  mg/Nmc, admisă de norme, este depășită datorită conținutului ridicat de sulf al cărbunelui;
3. Valoarea concentrațiilor oxizilor de azot  $C_{NOx}$  în gazele de ardere uscate se situează sub valoarea concentrațiilor limită  $C_{NOx}^{lim} = 500$  mg/Nmc stabilită în conformitate cu precizările legislative;
4. Valoarea concentrațiilor masice a dioxidului de carbon în gazele de ardere uscate, cu un conținut de oxigen  $O_{2ref} = 6\%$ , s-a calculat cu relația:

$$C_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{22,41} \times \frac{21 - O_{2ref}}{21 - O_2} CO_2 \times 10 \text{ ( g/ Nm.c.)} \quad (3.27)$$

în care:

$M_{CO_2} = 44$  este masa moleculară a dioxidului de carbon

22,41 = volumul molar în condiții normale

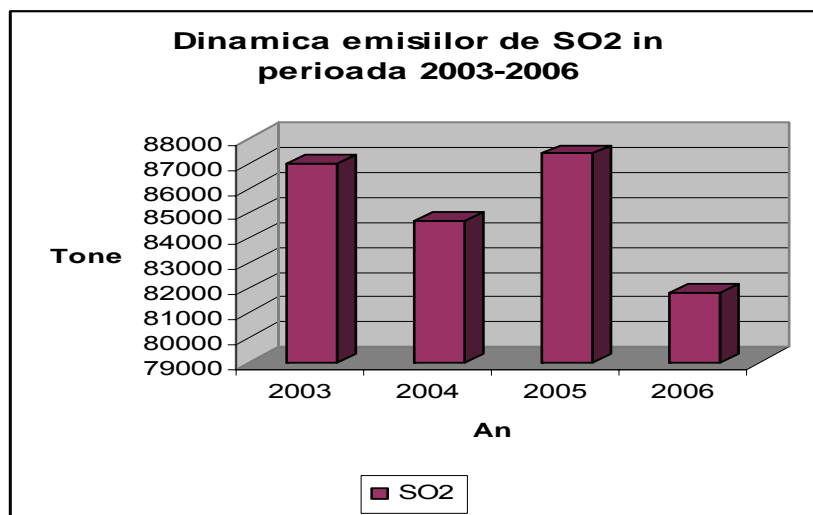
$C_{CO_2}$  = conținutul de dioxid de carbon determinat prin măsurători în %

5. Concentrația prafului în gazele de ardere se situează sub valoarea concentrației limită  $C_{\text{praf}}^{\text{lim}} = 100 \text{ mg/Nmc}$ , admisă de legislația în vigoare pentru cazanele de abur care funcționează cu cărbune ars în stare de praf.

În tabelul nr. 3.22 sunt prezentate cantitățile emisiilor de noxe în perioada 2003-2006.

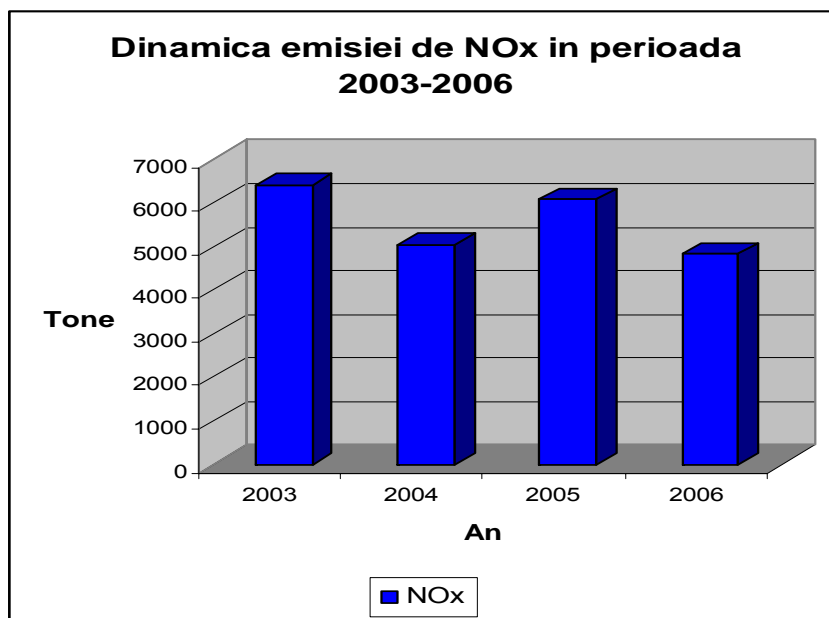
**Tabelul 3.22 Cantitățile noxelor din gazele de ardere măsurate în perioada 2003-2006**

Nr crt	Emisia	Valori emisii ( tone )			
		2003	2004	2005	2006
1	SO <sub>2</sub>	87 000	84 700	87 400	81 800
2	NO <sub>x</sub>	6 422	5 049	6 084	4 830
3	Pulberi	5 200	3 391	1403	1 400
4	CO <sub>2</sub>	3 552 000	3 776 000	4 636 000	5 220 000

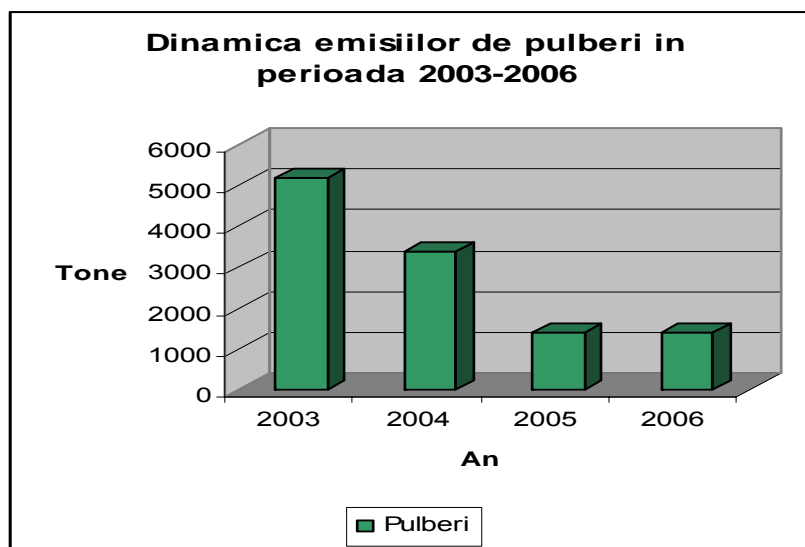


**Figura 3.7 Dinamica emisiilor de SO<sub>2</sub> din gazele de ardere în perioada 2003-2006**





**Figura 3.8** Dinamica emisiei de NOx din gazele de ardere în perioada 2003-2006



**Figura 3.9** Dinamica emisiilor de pulberi din gazele de ardere în perioada 2003-2006



mg/Nm<sup>3</sup>.

Comparând valorile măsurate ale emisiilor de substanțe poluante din gazele de ardere cu cele maxime se observă următoarele:

- bioxid de sulf: valoarea limită este depășită de circa 10 ÷ 15 ori;
- oxizi de azot: valorile măsurate reprezintă 40 ÷ 77% din valoarea maximă;
- monoxid de carbon: valorile măsurate reprezintă 21 ÷ 53% din valoarea maximă;
- pulberi de cenușă: valorile măsurate reprezintă 36 ÷ 97% din valoarea maximă.

Din această comparație se observă că numai emisia de SO<sub>2</sub> nu respectă valorile limită prevăzute de legislația de mediu actuală. De asemenea, dacă în viitor valoarea maximă pentru pulberi de cenușă se va reduce, atunci și aceasta va fi depășită.

## Cap.4 DISPERSIA SUBSTANȚELOR POLUANTE ÎN ATMOSFERĂ

### 4.1 Generalități. Factori care influențează dispersia noxelor

Până nu demult problema poluării mediului prin instalațiile mari de ardere se considera rezolvată dacă, prin dimensionarea corespunzătoare a înălțimii coșului de fum, se asigura o anumită rază de răspândire a poluanților, astfel încât concentrația acestora la nivelul solului, să fie mai mică decât valoarea limită admisă de legislația în vigoare. În prezent acest mod de rezolvare se consideră necorespunzător, deoarece, din cantitățile enorme de noxe eliminate anual prin coșurile de fum, o parte se răspândește în jurul surselor de poluare, rămânând pe teritoriul țării respective, dar o altă parte este purtată de curenții aerieni și de ape peste granițe [13]. Efectul poluant se amplifică în decursul timpului mai ales pentru noxele persistente ce formează numitele gaze sursă (generatoare de efecte nocive). După ce sunt emise în atmosferă asupra poluanților acționează diferiți factori (difuzie, transport, factori meteorologici, reacții chimice, etc) conducând la transformarea acestora și chiar la formarea a noi substanțe poluante [17]. Astfel, după ce poluantul este eliberat în atmosferă nu mai putem vorbi de emisii poluante ci de imisii poluante. Deci, dacă emisia caracterizează impactul pe care sursa o are asupra mediului, imisia caracterizează calitatea aerului atmosferic după ce asupra poluantului emis au acționat factorii enumerați mai sus. Transmiterea și dispersarea poluanților de la sursa la receptor este influențat de un număr mare de factori. Principalii factori sunt viteza, direcția vântului, reacțiile chimice [59,60].

Dispersia poluanților depinde de o serie de factori ce acționează simultan:

- factorii ce caracterizează sursa de emisie, respectiv, înălțimea fizică a coșului de evacuare, diametrul la vârf al acestuia, viteza și temperatura de evacuare a gazelor, cantitatea de poluant evacuată în unitatea de timp și proprietățile fizico-chimice ale poluantului [61];

- factori care caracterizează zona în care are loc emisia (topografia și rugozitatea terenului).

Dintre factorii meteorologici care determină dispersia poluanților, hotărâtori sunt vântul, caracterizat prin direcție și viteză și stratificarea termică a atmosferei.

Direcția vântului este elementul care determină direcția de deplasare a masei de poluant. Concentrația poluanților este maximă pe axa vântului și descrește substanțial odată cu depărtarea de ea [62].

În cazul surselor înalte, difuzia poluanților nu are loc imediat ce aceștia părăsesc coșul de fum. Datorită vitezei proprii de ieșire a jetului de gaze, a diferenței de temperatură dintre cea de evacuare a gazului și cea a mediului, pana de poluant își va continua mișcarea ascendentă până își pierde viteza inițială, iar temperatura sa o egalează pe cea a mediului.

Viteza vântului determină valoarea concentrației de poluant atât direct cât și prin intermediul înălțimii efective a penei de poluant.

Valoarea concentrației la nivelul solului este, în anumite limite, invers proporțională cu valoarea vitezei vântului. În același timp, o creștere a vitezei vântului are ca efect o scădere a înălțimii efective a penei de poluant și în consecință o creștere a concentrației. Astfel, există o valoare critică a vitezei vântului, specifică fiecărei surse de poluare, pentru care se obține cea mai mare concentrație de poluant[63].

Un alt parametru determinant în difuzia poluanților este turbulența, care este intim legată de structura verticală a temperaturii aerului. Aceasta determină starea de stabilitate a atmosferei care, la rândul ei, generează mișcările verticale ale aerului. Există trei tipuri principale de stratificare stabilă, neutră și instabilă.

Aprecierea calității aerului într-o zonă dată se face în funcție de anumite valori ale concentrațiilor de poluanți standardizate.

Normativul de calitate a aerului cuprind valori ale concentrațiilor maxime admisibile care depind de: timpul de mediere, aria de protecție (zone industriale, rezidențiale, de protecție specială), natura obiectivului protejat (sănătatea populației, integritatea faunei, florei, construcțiilor etc.).

#### **4.2 Stabilirea factorilor de emisie**

După ce sunt emiși în atmosferă asupra poluanților acționează diverși factori ( difuzie, transport, factori meteorologici, reacții chimice, etc) conducând la formarea acestora și chiar de formare a noi substanțe.

Transmiterea și dispersia poluanților de la sursă la receptor este influențată de un număr mare de parametri. Principalii parametri sunt : viteza, direcția vântului, reacțiile chimice. Se numește factor de emisie mărimea specifică cuantificată în unități de masă sau volum pe unitate de timp sau suprafață prin care se caracterizează intensitatea de emisie a diferitelor surse poluante [64].

Pentru determinarea emisiilor în aer sunt utilizate în principal trei metode :

- Măsurarea directă, online reprezentativă, urmată de calcule specifice
- Evaluarea emisiilor prin relații matematice empirice
- Determinarea emisiilor pe baza unor factori caracteristici de emisie

Fiecare dintre aceste metode reprezintă în același timp atât avantaje cât și dezavantaje cât și limite de aplicare respectiv erori de reprezentativitate.

Factorii de emisie au fost obținuți în urma măsurărilor , reprezentate în detaliu în rapoartele anexate la contractul de cercetare 1207 din 28.02.2003, perioada ianuarie- iunie 2006.

**Tab 4.1 Factori de emisie CET Halanga**

Perioada	Cos	Cazane/cos	Factori medii de emisie [g/s]			
			CO	Particule	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Ianuarie	1	K1, K2, K3	49.30828	62.82657	295.9758	3983.194
	2	K4	27.12697	23.03698	87.92	1483.654
Februarie	1	K2 , K3	27.50967	42.36156	181.10185	2836.539
	2	K6	17.89184	19.88456	90.529435	1225.9258
Martie	1	K1, K3	42.58887	41.72264	179.22948	2524.4014
	2	K5	18.36697	23.16209	95.260342	1403.1287
Aprilie	1	K1, K2	40.392	40.19027	177.03736	2672.7095
	2	K6	23.28099	24.08348	73.455177	1456.5202
Mai	1	K2	19.67908	26.02769	108.60287	1496.5366
	2	K5	23.45132	28.52245	83.765933	1313.0611
Iunie	1	K3	12.7606	20.89089	94.508283	1211.7291
	2	K5	26.98312	20.31991	104.0663	1228.7047

Modelarea este realizată cu ajutorul programelor pentru PC, care rezolvă ecuațiile matematice și algoritmi care simulează dispersia de poluanți. Diferite modele de dispersie sunt folosite pentru estimarea concentrațiilor de poluanți proveniți de la centrale industriale sau trafic[83]. Aceste modele, cât și modelările

realizate cu ele, sunt importante pentru companii guvernamentale însărcinate cu protejarea și asigurarea calității aerului ambient. Modelele sunt, de obicei, folosite pentru a determina dacă o platformă industrială, existența sau care va fi construită, este în conformitate cu standardele naționale de calitate a aerului, în SUA și alte țări. Modelele sunt folosite și pentru a proiecta strategiile de control eficiente, care reușesc să reducă emisiile de poluanți [84]. Modelările de dispersie au nevoie de mai multe date de intrare, printre care:

1. Condiții meteorologice, cum ar fi viteza și direcția vântului, cantitatea de turbulențe atmosferice (caracterizate printr-o valoare din clasele de stabilitate), temperatura aerului ambient sau înălțimea până la începutul unei inversiuni verticale atmosferice care ar putea fi prezente.

2. Parametrii de emisie, cum ar fi locația sursei de poluare și înălțimea acesteia, diametrul coșului la ieșire și viteza de ieșire, temperatura de ieșire a gazului și debitul masic.

3. Elevațiile terenului la sursa și la receptor.

4. Locațiile, înălțimile și lățimile oricărui obstacol existent (ex: clădiri, alte structuri) în calea penei de fum emise.

Multe din programele moderne de dispersie include un modul de pre-procesare pentru datele meteorologice sau altele (din cele de mai sus) și un modul de post-procesare, folosit pentru plotarea ariei de impact a poluanților pe hărți [85].

### **Ecuția gaussiană a dispersiei de poluanți atmosferici**

Literatura de specialitate pentru poluarea aerului este destul de bogată și datează încă din anii 1930. Una din primele ecuații a dispersiei a fost dezvoltată de Bosanquet și Pearson. Aceasta nu includea distribuția gaussiană și nici efectul de reflexie cu pământul a penei de fum [86].

Sir Graham Sutton a dezvoltat o ecuație de dispersie care includea distribuția gaussiană a masei de poluanți în pană de fum, pe verticală și perpendicular pe direcția vântului.

Sub stimulentele apariției noilor reguli de control al mediului, acest domeniu s-a dezvoltat foarte mult între anii 1960 și astăzi [87]. O mulțime de programe pentru PC, realizate pentru calculul dispersiei de poluanți în atmosferă, au fost dezvoltate în această perioadă de timp.

Baza pentru majoritatea modelelor este ecuația gaussiană completă pentru modelarea penelor de fum flotante și continue, formulată mai jos:

$$C = \frac{Q}{u} * \frac{f}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} * \frac{g_1 + g_2 + g_3}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \quad (4.2)$$

Unde:

$f$  = parametrul de dispersie pe direcția perpendiculară direcției vântului =  $e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}$

$g$  = parametrul de dispersie verticală =  $g_1 + g_2 + g_3$

$g_1$  = parametrul de dispersie verticală fără reflexii =  $e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}$

$g_2$  = parametrul de dispersie verticală pentru reflexia cu solul =  $e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}}$

$g_3$  = parametrul de dispersie verticală pentru reflexia cu o inversiune atmosferică =

$$\sum_{m=1}^{\infty} \left\{ e^{-\frac{(z-H-2mL)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H+2mL)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H-2mL)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z-H+2mL)^2}{2\sigma_z^2}} \right\}$$

$C$  = concentrația emisiilor, în g / m<sup>3</sup>, la locația receptorului:

- x metri pe direcția vântului, de la sursa de emisii
- y metri pe direcția perpendiculară vântului, de la linia centrală a penei de fum
- z metri peste linia centrală a penei de fum

$Q$  = rata de emisii de poluare a sursei, în g / s

$u$  = viteza orizontală a vântului de-a lungul liniei centrale a penei de fum, în m / s

$H$  = înălțimea liniei centrale a penei de fum deasupra solului, în m

$\sigma_z$  = deviația standard pe verticală a distribuției emisiilor, în m

$\sigma_y$  = deviația standard pe orizontală a distribuției emisiilor, în m

$L$  = înălțimea de la sol până la marginea inferioară a inversiunii atmosferice, în m

Ecuația de mai sus nu include numai reflexia cu solul, de asemenea include și reflexia cu orice inversiune atmosferică prezentă în atmosferă.



Suma celor patru exponențiale din  $g_3$  converge destul de rapid la o valoare finală. În cele mai multe cazuri, prin însumarea termenilor din aceasta serie cu  $m = 1$ ,  $m = 2$  și / sau  $m = 3$  se vor obține soluții potrivit de apropiate.

De notat este faptul ca  $\sigma_z$  și  $\sigma_y$  sunt funcții de clasa de stabilitate atmosferică (o modalitate de a măsura turbulența din atmosfera ambientă) și de distanța de-a lungul liniei centrale a penei de fum față de receptor [82]. Două cele mai importante variabile care afectează gradul de poluare atmosferic sunt înălțimea sursei de poluare și gradul de turbulență atmosferic - cu cât acesta este mai mare, cu atât dispersia se realizează mai bine.

Rezultatele calculelor pentru concentrațiile de poluare atmosferică sunt deseori redată ca linii de contur, pentru a se arăta variațiunea spațială a dispersiei pentru zona de studiu. În acest fel, liniile pot avea impact asupra zonelor sensibile și arată legătura spațială a poluanților dispersați cu aria de interes.

### **Ecuatia de înălțare a penei de fum (Briggs)**

Ecuatia de dispersie gaussiană are nevoie, ca data de intrare, înălțimea  $H$  a centrului penei de fum (pentru un anumit punct receptor), care este însumarea dintre înălțimea fizică a coșului de fum și înălțarea penei de fum,  $\Delta h$  datorită fenomenului de flotantă (a penei de fum) [66,67].

Pentru a calcula  $\Delta h$ , multe din programele de dispersie dezvoltate între anii 1960 și până la începutul anilor 2000 folosesc algoritmul lui Briggs. G.A. Briggs a publicat primul model pentru înălțarea penei de fum, bazat pe observațiile de pe teren, în anul 1965.

După studierea diferitelor modele de dispersie, a publicat un set de ecuații, în 1969, cunoscute sub forma de "ecuațiile Briggs". Ulterior, Briggs și-a ajustat ecuațiile în anii 1971 și 1972.

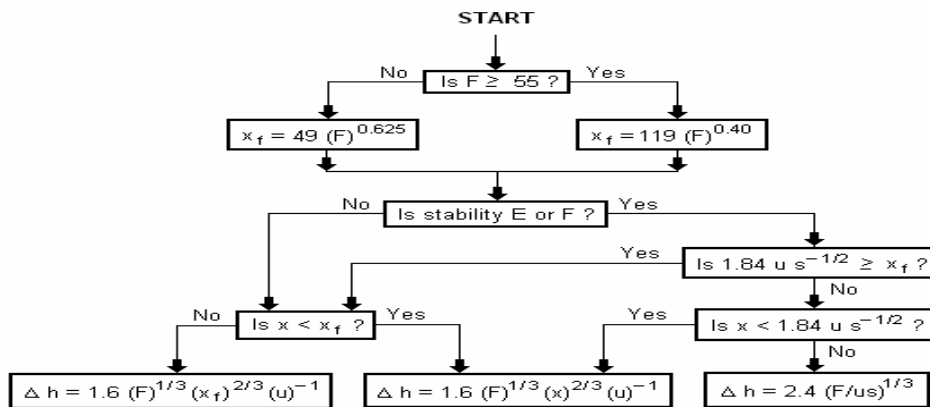
Briggs a clasificat penele de fum în patru categorii generale:

1. Pene de aer rece în condiții atmosferice calme (calm atmosferic)
2. Pene de aer rece în condiții atmosferice turbulente
3. Pene de aer cald, flotant, în condiții atmosferice calme
4. Pene de aer cald, flotant, în condiții atmosferice turbulente

O diagramă logică, folosind ecuațiile Briggs pentru înălțarea penei de fum a penelor de aer cald, flotant, este prezentată mai jos:

**Figura nr. 4.1 Diagrama logica pentru inaltarea penei de fum folosind**

**LOGIC DIAGRAM FOR BRIGGS' EQUATIONS TO CALCULATE THE RISE OF A BUOYANT PLUME**



**ecuațiile Briggs**

$\Delta h$  = înălțarea penei, în m

$F$  = factorul de flotantă, în  $m^4 / s^3$

$x$  = distanța față de sursa de poluare, de-a lungul direcției vântului, în m

$x_f$  = distanța față de sursa de poluare, de-a lungul direcției vântului, la care pana de fum nu mai urcă, în m

$u$  = viteza vântului la înălțimea coșului, în m/s

$s$  = parametrul de stabilitate, în  $s^{-2}$

Următorul pas a fost considerarea traiectoriilor penelor: cele de aer rece sunt dominate de viteză inițială, și cele de aer cald, flotant, sunt dominate de momentul de flotantă până în punctul în care viteza inițială este nesemnificativă

pentru acestea. Deși Briggs a propus ecuații pentru fiecare din cele patru categorii de sus, este important de menționat ca numele de "ecuațiile Briggs" a rămas pentru penele de aer cald, flotant [ 68].

În general, ecuațiile Briggs pentru pene de aer cald, flotant sunt bazate pe observații și date colectate de la penele de fum "normale" - apărute de la surse de ardere obișnuite, cum ar fi generatoarele de aburi care ard combustibili fosili în mari centrale electrice. Prin urmare, viteza de ieșire a fumului pe coș este în intervalul 6 - 30 m/s și temperatura acestuia este în intervalul 120 - 260 °C .

### Calculul parametrilor deviație standard orizontală și verticală

Se clasifică nivelul de turbulențe din atmosferă (de la locația receptorului, deci punctual) în ceea ce se numesc clase de stabilitate [69]. Aceste clase au fost definite special în acest scop, și anume măsurarea nivelului de turbulențe din atmosfera ambientă. Valorile posibile sunt:

- A - foarte instabil - se folosește pentru cea mai instabilă atmosferă
- B - instabil - se folosește pentru o atmosferă instabilă
- C - puțin instabil - se folosește pentru o atmosferă aproape calmă
- D - neutru - atmosfera este calmă
- E - stabil - se folosește pentru atmosfera stabilă
- F - foarte stabil - se folosește pentru cea mai stabilă atmosferă

Nivelul de turbulență din atmosferă afectează direct dispersia poluanților emisi, îmbunătățind viteza de dispersie [70].

În ecuația de dispersie gaussiană apar termenii  $\sigma_z$  și  $\sigma_y$ , cunoscuți sub numele de deviație standard verticală ( $\sigma_z$ ) și orizontală ( $\sigma_y$ ) pentru distribuția emisiilor. Aceasta distribuție este simetrică, atât pe orizontală, cât și pe verticală, față de linia centrală a penei. Bazându-se pe observațiile de la fața locului, pentru diferite clase de stabilitate, s-a ajuns la următoarele formule semi-empirice:

$$\sigma_z = e^{a+b*\log(x)+c*\log^2(x)}$$

$$\sigma_y = e^{a+b*\log(x)+c*\log^2(x)}$$

Pentru fiecare din cele două formule de mai sus, x reprezintă distanța față de locația sursei (exprimată în **km**), de-a lungul liniei centrale a penei de fum, iar

parametrii a, b și c iau valori diferite pentru fiecare clasă de stabilitate [71,72]. În tabelul nr. 4.2 sunt reprezentați acești parametri sub formă tabelară. A se reține faptul că parametrii sunt adimensionali. Deși nu sunt corecte din punct de vedere fizic, aceste formule sunt deseori folosite pentru a face legătura între stabilitatea atmosferică și deviațiile standard (dacă se folosește modelul gaussian).

**Tabelul nr.4.2 – Parametrii de deviație standard orizontală și verticală**

Clasa de stabilitate	$\sigma_z$			$\sigma_y$		
	a	b	c	a	b	c
A	6.035	2.1097	0.2770	5.357	0.8828	-0.0076
B	4.694	1.0629	0.0136	5.058	0.9024	-0.0096
C	4.110	0.9201	-0.0020	4.651	0.9181	-0.0076
D	3.414	0.7371	-0.0316	4.230	0.9222	-0.0087
E	3.057	0.6794	-0.0450	3.922	0.9222	-0.0064
F	2.621	0.6564	-0.0540	3.533	0.9191	-0.0070

### Calculul parametrilor F, $x_f$ , s

Următorii parametri descriu comportamentul gazului din pană de fum, după ce acesta iese din coș / coșuri. Primul și cel mai ușor de calculat parametru este de fapt o simplificare a ecuațiilor termodinamice adiabactice; temperatura aerului la o anumită înălțime, z, măsurată în metri, are următoarea formulă (în condiții normale de temperatură și presiune):

În ecuațiile Briggs apare termenul F, denumit factorul de flotantă.

$$T_{H \cos} = T_{ambient} * 0.963^{\frac{z}{1065}} \quad (4.4)$$

Unde:

$T_{H \cos}$  = temperatura care ne interesează

$T_{ambient}$  = temperatura aerului la nivelul mării (de obicei, considerat chiar la nivelul solului, chiar dacă acesta este la o înălțime oarecare față de nivelul mării)

$z$  = înălțimea la care ne interesează temperatura (măsurată, de fapt, de la nivelul de referință la care se consideră  $T_{ambient}$ ), măsurată în metri

În al doilea rând, pană de aer cald, flotant, este caracterizată de parametrul de flotantă [73]. După cum sugerează și numele,  $F$  stabilește gradul de flotabilitate al aerului cald care iese din coș. Cu cât aceasta temperatura este mai mare față de temperatura mediului ambient (la nivelul superior al coșului), cu atât flotantă aerului este mai mare.

Definit ca:

$$F = g * v_{gaz} * \frac{T_{gaz} - T_{H \cos}}{T_{gaz}} \quad (4.5)$$

$F$  este arareori folosit de sine stătător. Modelele de dispersie folosesc acest parametru ca intermediar pentru a obține alte informații mai importante.

În al treilea rând, pana de aer cald, flotant se poate ridica până o anumită înălțime maximă, sau până ajunge la baza unei inversiuni atmosferice [74]. În primul caz, forțele care acționează vertical în sus (flotantă, etc) și cele care acționează vertical în jos (gravitația, etc) se anulează; în al doilea caz, se manifestă inversiunea atmosferică. O inversiune atmosferică este caracterizată prin faptul că nu există aproape deloc mișcare verticală de aer în înăuntrul acesteia. Câteodată, se mai spune că aerul rămâne "captiv" în inversiune. Din acest motiv, orice pană de fum care ajunge într-o inversiune, va rămâne practic la acea înălțime.

Distanța, față de sursa de poluare, până unde până ajunge la înălțimea maximă, poate fi sintetizată în următoarea formulă:

$$x_f = \begin{cases} 119 * F^{0.4}, & F > 55 \\ 49 * F^{0.625}, & F < 55 \end{cases}$$

## 4.3 Programul de dispersie

### 4.3.1 Scop

Simularea și afișarea hărților de dispersie pentru diferiți poluanți, poluanți care pot proveni de la diferite surse de poluare (coșuri de fum, etc).

### 4.3.2 Ipoteze simplificatoare

Dispersia este, în general, un proces foarte complex din punct de vedere al datelor de intrare și al calculelor. De aceea, în practică, se folosesc formule aproximative care încearcă să redea cât mai bine observațiile de pe teren [75,76].

Următoarele ipoteze au condus la simplificarea algoritmului:

1. Cantitățile de emisii sunt constante în timp
2. Direcția vântului este constantă și aceeași cu cea de la vârful coșului
3. Viteza vântului este constantă
4. Proprietățile aerului, precum temperatura, temperatura potentială sau stabilitatea atmosferică rămân constante în orice punct
5. Se folosește un model care determină clasa de stabilitate în funcție de lună și oră

Pentru a simplifica mai mult, dar și pentru a îmbunătăți viteza de procesare a programului, s-a considerat că pasul de iterație (sau esantionul) să fie de o oră. Aceasta eșantionare nu este relevantă, putându-se folosi oricare altă, de la 1 secundă, până la 1 an sau chiar mai mult.

Întrucât în orice program nu există o simulare mai mică de o oră, s-a optat pentru această eșantionare.

### 4.3.3 Descrierea programului

Descriere generală:

Programul este structurat pe mai multe componente (vizual acest fapt este sugerat de împărțirea acestora în meniuri) care preiau intrările și procesează datele independent unele de altele. Fereastra principală este cea în care se afișează rezultatele (hărțile de dispersie). Coșurile de fum sunt afișate inițial, doar dacă există fișierul binar de intrare "*stacks.bin*".

Intrări:

Pentru a putea funcționa corect, programul are nevoie de mai multe date de intrare, în ordinea următoare:

1. Datele meteo sunt preluate dintr-un fișier text. Dacă există "*meteo.txt*", la deschiderea programului se încarcă automat datele

meteo din acest fișier. Pentru a prelua manual date **[Atmosferă -> Încarcă din fișier text]**

2. După datele meteo trebuie adăugați poluanții. Poluanții sunt descriși printr-un nume, o limită maximă admisă de lege și niveluri de poluare. Aceste niveluri sunt de fapt o anumită parte (de ex  $0.75 = 75\%$ ) din limita maximă admisă de lege, precum și o anumită culoare. Aceste niveluri sunt extrem de folositoare la vizualizarea dispersiilor. Pentru a introduce poluanți **[Poluanți -> Adaugă poluant]** și **[Poluanți -> Selectează niveluri poluant]**. Poluanții pot fi salvați în fișier binar pentru a putea fi încărcăți în alte sesiuni. La început, programul încearcă să încarce fișierul "*polluants.bin*".
3. Ultimele date de intrare sunt reprezentate de sursele de poluare (coșuri de fum, etc). Pentru a introduce un nou coș de fum **[Coșuri -> Adaugă coș nou]**. De asemenea se pot salva în fișier binar, pentru a putea fi încărcăți în alte sesiuni. La început, programul încearcă să încarce fișierul "*stacks.bin*".

Adăugarea unui nou poluant:

1. Se selectează funcția de adăugare a noului poluant (vezi figura alăturată Fig.4.2)

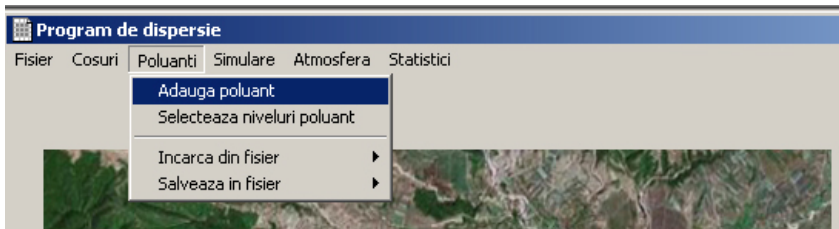


Fig.4.2

2. Se salvează numele poluantului, cu posibilitatea adăugării mai multor poluanți simultan. În dreapta sunt afișați toți poluanții, inclusiv ultimii introduși.

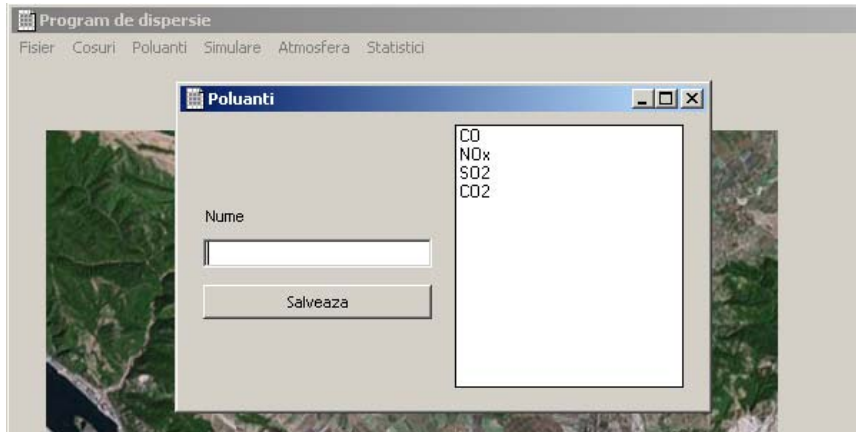


Fig.4.3

3. Se accesează fereastra "Selectează nivel poluant" din meniul "Poluanți".

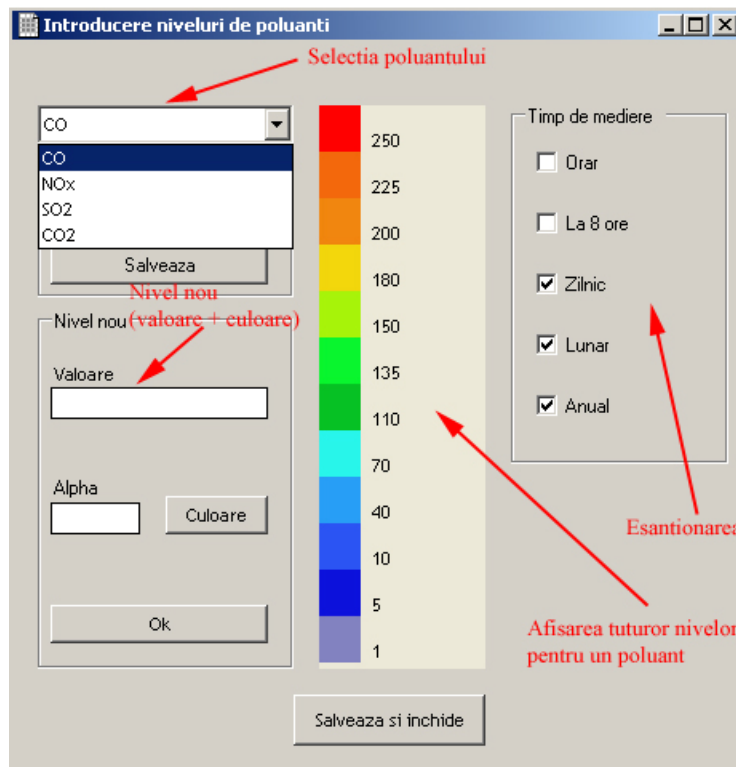


Fig.4.4

*Pasul 1:* Selectarea poluantului (în cazul adăugării unui poluant nou, se va selecta acesta).



*Pasul 2:* Selectarea valorii maxime admise de lege. Această valoare este exprimată în unitatea de măsură specifică (poate fi oricare). Toate nivelele vor fi măsurate în aceeași unitate de măsură. Această valoare va fi întotdeauna afișată cu un roșu aprins.

*Pasul 3:* Crearea unui nou nivel. Se stabilește valoarea nivelului (întotdeauna mai mică decât valoarea maximă stabilită anterior) și o nouă culoare, cu canal alpha. Canalul alpha reprezintă de fapt o valoare între 0 și 255 care determină transparent culorii (0 - complet transparent și 255 - complet opac). Pentru realizarea unei transparențe uniforme (de exemplu, 30% transparent) se va calcula valoarea alpha ( $((100\% - 30\%) * 255 / 100 = 178)$ ) și se va completa o singură dată casuță Alpha. Este important ca pentru fiecare nivel să se folosească o culoare diferită.

*Pasul 4:* Stabilirea timpului de mediere (eșantionarea). Se vor bifa casuțele care coincid cu timpii de mediere pentru poluanți, după cum prevede legea. În cele mai multe cazuri, medierea zilnică, lunară și anuală sunt folosite.

*Pasul 5:* Salvarea conținutului introdus se realizează prin butonul "Salvează și închide".

Simularea: După ce toate datele de intrare au fost încărcate, se pot realiza diferite simulări: medie orară, media zilnică, medie lunară sau medie anuală. Pentru a intra în fereastră de simulare **[Simulare]**. Odată ajunși acolo, trebuie selectați parametrii doriți: poluantul pentru care urmează să fie realizată simularea, datele de început și sfârșit pentru simulare, tipul de

simulare, înălțimea la care se poate realiza simularea și selecția dimensiunilor hărții de dispersie. Pentru a începe calculul se apasă butonul **Pornește**. Acesta se dezactivează în momentul când programul preia calculele, urmând ca atunci când se termină (și bara de progres total ajunge la capăt) să se reactiveze.

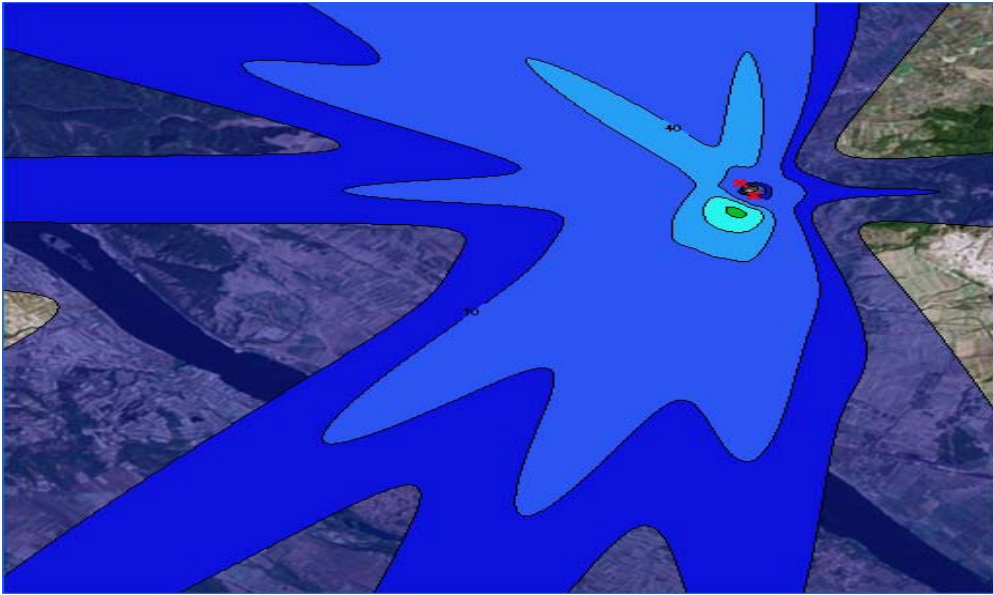
#### Ieșiri:

După procesul de simulare, fiecare hartă de dispersie este procesată spre afișare. Pentru fiecare poluant, se consideră mai multe niveluri posibile, cât și o valoare maximă posibilă admisă de lege.

Celelalte niveluri posibile sunt, de fapt, procente subunitare din valoarea maximă admisă (definită mai sus). Programul realizează o hartă color pentru fiecare simulare în parte. A se observa simetria formulei gaussiene și linia centrală a penei

de fum (se observă foarte bine când se simulează pe câte o oră, deci o singură simulare).

Fig .4.5



Exemplu de rezultat pentru simularea pe întreaga suprafața de impact (în acest caz, emisiile de CO în martie 2006):

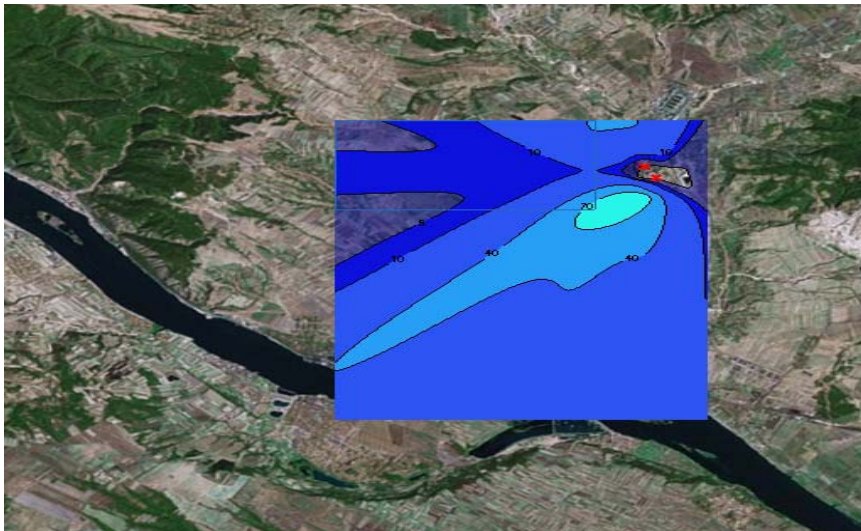


Fig.4.6

Exemplu de rezultat pentru simularea a numai o porțiune a suprafeței de impact (în acest caz, emisiile de CO în luna ianuarie 2006):

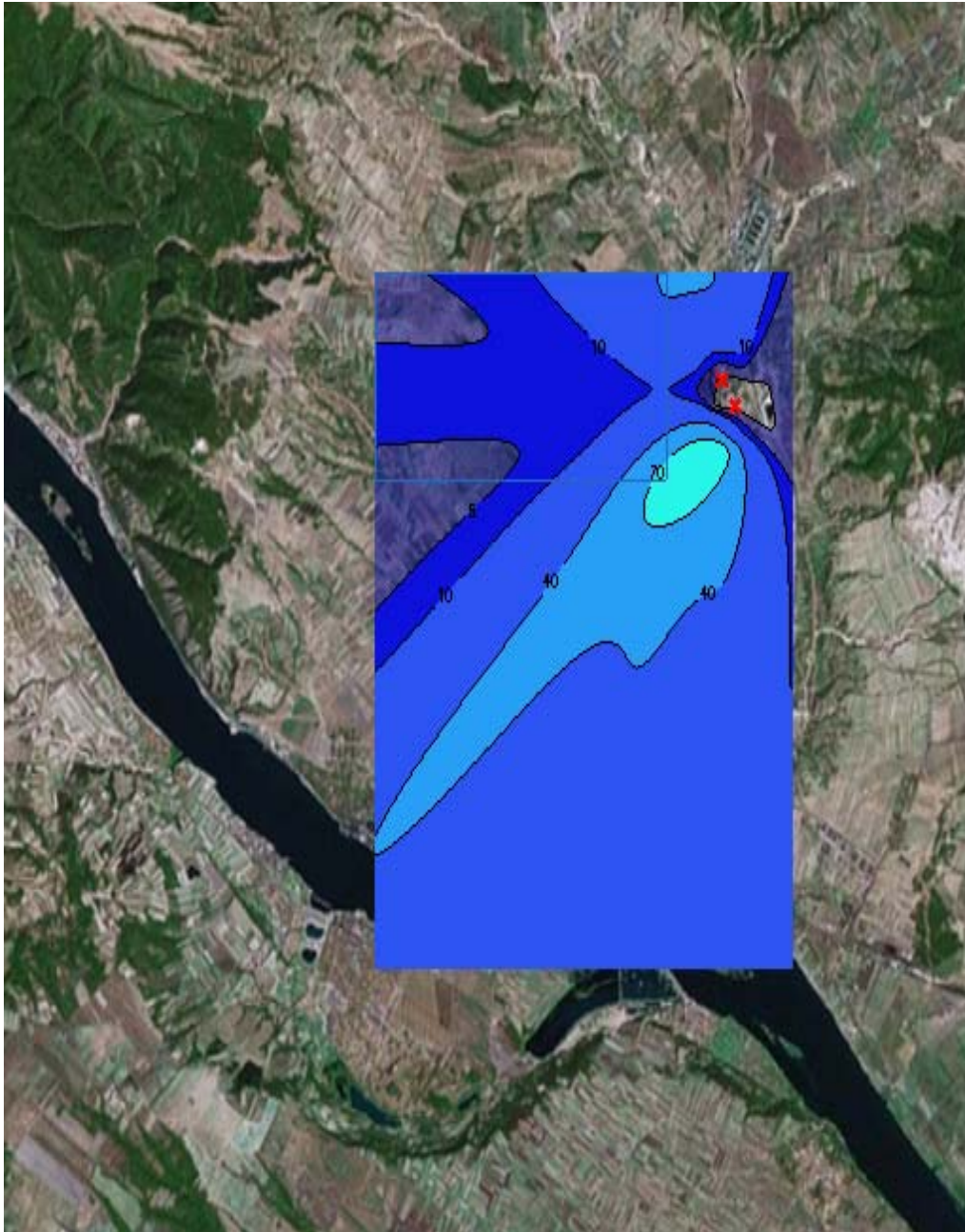


Fig.4.7

#### 4.4. Analiza rezultatelor și concluzii

Din analiza rezultatelor obținute pentru toți poluanții s-au constatat următoarele:

**A.** valorile concentrațiilor maxime momentane în aer la nivel respirator pe interval de mediere de 1 oră pentru bioxidul de sulf pot atinge valori de până la  $397 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , depășind cu circa 13% valorile limită prevăzute de Ordinul MAPM nr. 592/2002, (Directiva Europeană 1999/30/EC) pentru aprobarea Normativului privind stabilirea valorilor limită, a valorilor de prag și a criteriilor și metodelor de evaluare a dioxidului de sulf, dioxidului de azot și oxizilor de azot, pulberilor în suspensie ( $\text{PM}_{10}$  și  $\text{PM}_{2,5}$ ), plumbului, benzenului, monoxidului de carbon și ozonului în aerul înconjurător [77,78].

Valorile medii anuale ale concentrațiilor la nivel respirator de  $\text{SO}_2$  ating valori de până la  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valori ce se încadrează în prevederile legale. Acest lucru se datorează înălțimii mari a coșurilor de evacuare a gazelor de ardere, care favorizează dispersia.

**B.** valorile concentrațiilor maxime momentane în aer la nivel respirator, pentru un interval de mediere de 1 oră pentru oxizi de azot ating valori de până la  $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$  și se încadrează în limitele prevăzute.

Valorile medii anuale ale concentrațiilor la nivel respirator de  $\text{SO}_2$  ating valori de până la  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valori ce se încadrează în prevederile legale.

**C.** valorile concentrațiilor maxime momentane în aer la nivel respirator, pentru un interval de mediere de 1 oră pentru pulberi de cenușă ating valori de până la  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  și se încadrează în limitele prevăzute [80].

Valorile medii anuale ale concentrațiilor la nivel respirator de pulberi de cenușă ating valori de până la  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valori ce se încadrează în prevederile legale.

Cea mai mare valoare a concentrației de  $\text{SO}_2$  apare la circa 11,0 km pe direcția sud-est față de centrala electrică. În jurul centralei electrice la o distanță de circa 5,0 km apare o coroană circulară, cu o lățime de circa un kilometru, unde valorile concentrațiilor orare de  $\text{SO}_2$  sunt cuprinse între 350 și  $380 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Frecvența de depășire a valorii maxime este de 87 de ore pe an în sezonul rece, când funcționează toate cele patru cazane de abur la o sarcină maximă [81].

## **Cap 5 . CERCETĂRI PRIVIND REDUCEREA CONCENTRAȚIEI BIOXIDULUI DE SULF DIN GAZELE DE ARDERE**

### **5.1 Generalități. Procedul uscat, semiuscat și umed**

În vederea reducerii valorilor emisiilor substanțelor poluante din gazele de ardere evacuate în atmosferă din centralele electrice care funcționează cu combustibili fosili s-au dezvoltat de-a lungul timpului mai multe tipuri de metode, echipamente și tehnologii. În capitolul 3.3 din "Documentele de referință pentru instalațiile mari de ardere (BREF)", mai 2005, sunt prezentate "cele mai bune tehnici disponibile" (BAT) pentru reținerea bioxidului de sulf din gazele de ardere provenind din utilizarea combustibililor fosili în cazanele energetice, recomandate de Comisia Europeană.

Oxizii de sulf rezultați din arderea majorității combustibililor fosili provin din oxidarea sulfurii conținut în el [93]. Măsuri pentru reținerea în special a SO<sub>2</sub> din gazele de ardere în timpul sau după ardere au fost utilizate începând cu anii 1970 în SUA și Japonia și apoi din 1980 și în Europa [92].

Reducerea emisiilor de SO<sub>2</sub> se poate realiza prin măsuri primare și secundare în funcție de momentul când are loc procesul de absorbție: înainte, în timpul sau după arderea combustibilului.

**Măsurile primare** sunt următoarele:

- utilizarea unui combustibil cu conținut redus de sulf sau un combustibil cu componente bazice ale cenușii, care permit o desulfurare naturală;
- utilizarea de substanțe absorbante în cazanele cu arderea în start fluidizat (ASF) ce reprezintă un sistem de desulfurare integrat. Aceasta limitează temperatura arderii la circa 850°C. Reactivul utilizat poate fi CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> sau CaCO<sub>3</sub>.

Reacția chimică are nevoie de reactiv în plus, adică un raport stoichiometric (combustibil/reactiv) cuprins între 0,5 și 7, în funcție de combustibilul folosit. Datorită efectelor coroziunii clorului, eficiența desulfurării este limitată la 75%.

**Măsurile secundare** constau în reținerea SO<sub>2</sub> din gazele de ardere prin tehnologii amplasate după cazanele energetice, înainte de evacuarea lor în atmosferă. Acestea pot fi împărțite în trei mari grupe:

- procedee uscate;
- procedee semiuscate;
- procedee umede

- **Procesele uscate**, care constau în legarea fizică (adsorbția) bioxidului de sulf, prin utilizarea de absorbantți ca: oxid de cupru, cocs activ sau pulberi de oxizi de calciu.

- **Procesele de desulfurare cu absorbție** sunt clasificate în funcție de felul în care este folosită substanța absorbantă în:

- **procese umede**: care utilizează mai multe tipuri de substanțe absorbante, cum ar fi: piatra de calcar, hidroxid de sodiu, amoniac, peroxid de hidrogen, apă de mare și altele.

- **procese semiuscate** care constau în absorbția cu pulverizare uscată (SDA) sau cel mai nou proces cu tehnologie modificată de umectare a absorbantului NID.

Principalele procedee de reținere a SO<sub>2</sub> aplicate în centralele electrice ce utilizează combustibili fosili sunt următoarele:

- Procedeele umede, cu o eficiență cuprinsă între 85 și 98%;
- Procedeele semiuscate (SDA), cu o eficiență cuprinsă între 80 și 92%;
- Procedeele uscate cu injecție de reactiv, cu o eficiență între 70 și 80%.

Alegerea tehnologiei de desulfurare potrivită depinde de o multitudine de factori specifici centralei electrice și locului ei de amplasare, printre cei mai importanți sunt următorii:

- Zona unde este amplasată centrala electrică;
- Capacitatea tehnică a cazanelor energetice;
- Sarcina cazanelor energetice;
- Calitatea combustibilului și compoziția cenușei, (pentru a se determina dacă este posibilă o desulfurare naturală în timpul arderii), etc.

### *1. Procedeele de desulfurare umed*

Procedeele umede, în special procesele piatră de calcar-gips sunt folosite la circa 80% din piața produselor de desulfurare, fiind utilizate la o diversitate de cazane energetice. Pe plan mondial pentru centralele cu o putere instalată mai mare de 200 Mwe, procedeul umed este cel mai utilizat. Aceasta se datorează eficienței lor ridicate de reducere a SO<sub>2</sub> și fiabilității lor mari.

În cele mai multe cazuri este utilizată piatra de calcar ca reactiv, care este disponibilă în cantități mari în multe țări și care este mult mai ieftină decât alte substanțe absorbante[111]. Acestea constituie avantaje considerabile.

Ca absorbant se utilizează: calcar, hidroxid de calciu, oxid de calciu, carbonat sau hidroxid de calciu, amoniac. Pentru realizarea unui randament de absorbție mare trebuie un absorbant potrivit dar și o suprafață de contact mare. Pentru satisfacerea acestui deziderat se utilizează mai multe tipuri de coloane:

- coloane cu diuze, coloane cu talere perforate, coloane cu umplutură, coloane tip Venturi. La alegerea procedurii de desulfurare trebuie să se țină cont de o mulțime de factori, dintre care nu este de neglijat costurile investiției.

Produsele secundare rezultate sunt gipsul sau un amestec de sulfit/sulfat de calciu în funcție de modul de oxidare. Dacă gipsul poate fi valorificat, cheltuielile totale de exploatare ale instalațiilor de desulfurare pot fi reduse.

### *2. Procedeele de desulfurare semiuscat*

Pe plan mondial procesul cu pulverizare semiuscată se află pe al doilea loc după procedeul umed cu calcar. Reactivul utilizat în această metodă de desulfurare este varul. Eficiența de reducere SO<sub>2</sub> și fiabilitatea instalațiilor de desulfurare a fost îmbunătățită de-a lungul timpului.

Acest procedeu de desulfurare are costuri de investiție mai reduse, dar are cheltuieli

totale de exploatare mai ridicate decât procedeul umed, datorită faptului că reactivul este mult mai scump.

#### Avantajele procedurii

Procedul semiuscat de desulfurare a gazelor de ardere are următoarele avantaje comparativ cu procedul umed de desulfurare a gazelor de ardere:

a. reactorul instalației de desulfurare uscată se poate construi din oțel carbon obișnuit, comparativ cu reactorul instalației de desulfurare umedă care trebuie construit din oțel inoxidabil sau oțel placat;

b. pentru unități mai mici de 300 MW costul instalației este mai mic decât costul instalației umede de desulfurare;

c. echipamentele de pompare și ceilalți consumatori consumă mai puțină energie decât instalația umeda de desulfurare;

d. produsul de reacție ( $\text{CaSO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ , hidroxid de calciu și cenușă) rezultă la desulfurarea semiuscată este stabil și inert și poate fi evacuat la haldă cu ajutorul echipamentelor existente de evacuare a zgurii și cenușii rezultate din arderea cărbunelui;

e. instalația de desulfurare uscată a gazelor de ardere are un număr mai mic de componente ca cea de desulfurare semiumedă, cu costuri de operare și întreținere mai scăzute;

f. presiunea în absorber este mai mică decât în reactorul instalației de desulfurare umedă;

g. trioxidul de sulf ( $\text{SO}_3$ ) sub formă de vapori la temperaturi de peste 150 °C, care condensează sub formă de acid sulfuric la temperaturi joase (punctul de rouă acidă), este reținut în instalația de desulfurare uscată. La desulfurarea umedă  $\text{SO}_3$  se reține mai puțin de 20% până la 40% și trebuie introduse electrofiltre umede pentru reținerea acestuia sau se face injecție cu hidroxid de var. Emisiile de vapori de acid sulfuric, dacă sunt peste o anumită valoare, sunt vizibile sub formă de pană de ceață.

h. gazele de ardere ieșite din instalația uscată de desulfurare sunt nesaturate cu vapori de apă (1 °C până la 10 °C peste punctul de rouă acidă), cu reducerea sau eliminarea vizibilă a vaporilor de apă. Din instalația umedă de desulfurare gazele de ardere ies saturate cu vapori de apă, fapt ce necesită folosirea unui schimbător de căldură gaz – gaz pentru reîncălzirea gazelor de ardere, pentru



a putea fi evacuate pe un coș de fum uscat. Pentru reducerea costurilor asociate reîncălzirii gazelor de ardere, sistemele recente de desulfurare umedă a gazelor de ardere utilizează coșuri de fum umede

i. Din sistemul uscat de desulfurare a gazelor de ardere nu rezultă ape uzate.

#### *Procedul semiuscat cu var*

Desulfurarea semiuscată cu pulverizare este utilizată mai mult la cazane de capacitate mică și medie ( $0 \div 300$  MW) și care utilizează cărbune cu conținut de sulf scăzut sau mediu (1,5%).

În procedeul de absorbție cu pulverizare uscată, varul este amestecat cu apă sau este stins formându-se o suspensie de var, numită și lapte de var. Aceasta este pulverizată într-un reactor unde apa este evaporată datorită temperaturii gazelor de ardere [110]. Produsul de reacție este un amestec de sulfit/sulfat de calciu cu cenușă zburătoare, care nu este foarte atractiv la comercializare.

Din acest proces nu rezultă apă uzată, deoarece apa utilizată este evaporată total în reactor.

Gazele de ardere sunt preluate după instalația de desprăfuire existentă și atunci este necesară încă o instalație de desprăfuire după reactor pentru a reține produsul rezultat din gazele de ardere desulfurate.

Temperatura gazelor de ardere curate este cu  $20 \div 30^\circ\text{C}$  peste temperatura de saturație ( $45 \div 55^\circ\text{C}$ ) astfel că nu mai este necesară reîncălzirea lor acestea putând fi evacuate prin coșul de fum obișnuit.

În ultimii ani s-a dezvoltat o tehnologie de desulfurare semiuscată modificată care compactează echipamentele necesare (reactor, umidificator, instalație de desprăfuire) în vederea obținerii unei eficiențe de reținere a  $\text{SO}_2$  ridicate și a ocupării unui spațiu de amplasare mai redus [113].

#### *3. Procedul de desulfurare uscat cu injecție de absorbant*

Injecția de reactiv se poate realiza în două locuri:

- *în focar*: reactivul utilizat este piatra de calcar pulverizată și dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), care absoarbe  $\text{SO}_2$  formând sulfit/sulfat de calciu. Produsul rezultat este reținut împreună cu cenușa zburătoare în instalația de desprăfuire (electrofiltru

sau filtru cu sac). Dacă acest produs de reacție este reinjectat în focar poate conduce la o îmbunătățire a eficienței desulfurării de până la 70 ÷ 80%.

- în canalele de gaze de ardere: reactivul utilizat are la bază calciul sau sodiul, care este injectat între preîncălzitorul de aer și instalația de desprăfuire existentă. De asemenea, se mai introduce și apă pentru umidificare din două motive:

- pentru activarea reactivului în vederea reducerii suplimentară a SO<sub>2</sub>;
- pentru condiționarea pulberilor, astfel ca instalația de desprăfuire să se mențină performantă.

Eficiența acestui procedeu de desulfurare simplu este de maxim 50 ÷ 80%.

Dezavantajele procedurii uscat

Procedeu uscat de desulfurare a gazelor de ardere are următoarele dezavantaje comparativ cu procedeu umed (cu calcar) de desulfurare a gazelor de ardere:

a. cele mai mari module reactor utilizate sunt pentru unități cu puteri de 350 MW. Pentru unități de 500 MW trebuie folosite două module reactor. Rezultă astfel canale de gaze de ardere de dimensiuni mari pentru intrare și ieșire din instalație și este nevoie de o combinație de ventilatoare și canale de gaze de ardere.

b. procedeu folosește reactiv (praf de var) mai scump ca la procedeu umed (calcar) și acesta trebuie stocat în silozuri de oțel sau beton;

c. rata de utilizare a reactivului este mai mică decât la desulfurarea umedă pentru obținerea aceleiași reduceri a SO<sub>2</sub>. Raportul stoechiometric pentru var este mai mare decât cel pentru calcar pentru obținerea aceleiași reduceri a SO<sub>2</sub>.

d. din desulfurarea uscată a gazelor de ardere rezultă produse de desulfurare pentru care nu există multe posibilități de utilizare. Acesta se poate folosi ca îngrășământ agricol (pentru condiționare sol) și pentru fabricarea de cărămizi sau agregate împreună cu alte componente.

e. La desulfurarea uscată a gazelor de ardere se poate combina desprăfuirea cu desulfurarea, caz în care nu se mai utilizează desprăfuirea electrostatică și nu se mai poate recupera cenușa zburătoare pentru eventuale utilizări.

Substanța absorbantă a SO<sub>2</sub> din gazele de ardere poate avea un rol determinant în alegerea metodei de desulfurare.

Varul stins (Ca(OH<sub>2</sub>)) are caracteristici de reacție chimică mult mai bune decât cele ale pietrei de calcar, dar prețul de cost este mult mai ridicat (de circa 10

ori). În metodele semiuscate și uscate în care se utilizează varul, pentru a se ajunge la același randament de desulfurare ca în metoda umedă este necesară o cantitate mai mare, ajungând chiar dublă. De aceea, este preferată piatra de calcar care este cel mai ieftin absorbant și în același timp și ușor de procurat, conducând la costuri de exploatare semnificativ reduse.

Evaluând tehnico-economic cele trei metode de desulfurare utilizate cel mai mult în lume și recomandările din legislația de mediu se recomanda pentru reducerea conținutului de SO<sub>2</sub> în gazele de ardere folosirea procedeului de desulfurare umedă cu piatră de calcar.

**Tabelul 5.1. Evaluare tehnică a principalelor metode de desulfurare**

	<b>UMEDĂ PIATRĂ DE CALCAR</b>	<b>SEMIUSCATĂ VAR STINS</b>	<b>USCATĂ PIATRĂ DE CALCAR VAR STINS</b>
RANDAMENT	⊙	○	X
MATURITATE TEHNICĂ	⊙	○	□
EXPERIENȚĂ ÎN FUNCȚIONARE	⊙	○	□
SIGURANȚĂ ÎN FUNCȚIONARE	⊙	○	□
FUNCȚIONARE	⊙	○	○
MENTENANȚĂ	○	○	○
SPAȚIU DE AMPLASARE	○	○	□
SUBSTANȚĂ ABSORBANTĂ	⊙	○	⊙
UTILITĂȚI APĂ	□	○	○
ENERGIE ELECTRICĂ	□	○	⊙
PRODUS SECUNDAR	○	□	□
APĂ UZATĂ	□	○	○
VALOARE INVESTITIE	○	⊙	⊙
CHELTUIELI EXPLOATARE	⊙	○	□
COSTURI TOTALE ANUALE	○	○	□
EVALUARE TOTAL	⊙	○	□ ~ X

Legenda: ⊙ excelent

O	bun
<input type="checkbox"/>	acceptabil
X	suficient

Un alt element important este produsul secundar rezultat în urma procedurii de desulfurare. În cazul desulfurării semiuscate și uscate instalația propriu-zisă trebuie montată înaintea instalației de reținere a pulberii de cenușă sau dacă nu este posibil este necesar încă un echipament de colectare a produsului rezultat din gazele de ardere, ce conține cenușă zburătoare, sulfit și sulfat de calciu și var stins nereacționat sub formă de praf uscat. Produsul secundar rezultat este asemănător cenușii și poate fi depozitat în depozitul de zgură și cenușă. În prezent se fac cercetări în vederea reutilizării acestui produs secundar în vederea revalorificării.

În metoda desulfurării umede, gipsul rezultat este foarte bună calitate similar cu cel natural, el putând fi valorificat în industria cimentului și cea a materialelor de construcții.

Din punctul de vedere al apei necesare în procesul de desulfurare, toate cele trei metode necesită cam aceeași cantitate.

Față de celelalte două procedee, în cel umed rezultă apă uzată din uscarea gipsului, care poate fi reciclată în instalația de dizolvare a calcarului sau trimisă în depozitul de zgură și cenușă. În unele situații, când conținutul de fluoruri și cloruri, sau alți acizi rezultați din apa uzată este ridicat este necesară o instalație de tratare în vederea reutilizării sau evacuării ei în canalizare sau emisari.

Consumul de energie electrică pentru echipamentele componente ale instalației de desulfurare umedă este cel mai mare, față de sistemele semiuscate și uscate.

Desulfurarea umedă și semiuscată funcționează cu randament bun în condițiile variației sarcinii cazanului de abur. Totuși în metoda semiuscată există o limitare dată de temperatura minimă a gazelor de ardere la care absorberul poate fi pus în funcțiune. În ceea ce privește desulfurarea uscată aceasta este potrivită pentru cazanele de abur care funcționează la sarcină constantă, deoarece randamentul de desulfurare este puternic influențat de variația sarcinii cazanului și a temperaturii gazelor de ardere.

În cazul metodei semiuscate în timpul pornirii și opririi cazanului nu se poate atinge randamentul de desulfurare din timpul funcționării normale, ceea ce implică o creștere temporară a concentrației de SO<sub>2</sub> în gazele de ardere evacuate la coșul de fum [115].

Deoarece, în desulfurarea umedă sunt luate măsurile necesare în vederea evitării coroziunii și abraziunii datorate SO<sub>2</sub> și cenușii zburătoare din gazele de ardere, echipamentele și conductele fiind din materiale potrivite pentru acesta (rășini speciale, cauciuc, oțeluri inoxidabile, etc.), instalațiile pot funcționa fără oprire circa 1 an.

Pentru prevenirea abraziunii în sistemul semiuscat este necesară o dată la trei luni să se efectueze o inspecție și să se curețe și repare duzele pulverizatorului rotativ. Acestea trebuiesc înlocuite în fiecare an.

Întreținerea instalațiilor de desulfurare uscate este mult mai simplă față de celelalte două metode, fiind necesare doar măsuri de evitare a abraziunii și înfundării duzelor de pulverizare [114].

Sistemele de desulfurare umedă și semiuscată fiind de mulți ani puse în funcțiune au fost mereu îmbunătățite, având în prezent o foarte bună siguranță în funcționare, datorată și unei automatizări complexe. În schimb, sistemul uscat are o siguranță în funcționare mai scăzută, ridicând probleme în alegerea potrivită a cantității de absorbant și a debitului de apă injectată. De asemenea, randamentul de desulfurare este direct dependent de variația sarcinii cazanului și de temperatura gazelor de ardere.

Desulfurarea semiuscată este o tehnologie la fel de bună a cea umedă, dar nu a fost atât de mult aplicată datorită problemelor legate de depozitarea produsului secundar, care nu poate fi încă revalorificat și a costurilor ridicate de exploatare determinate de consumul de var, care este mult mai scump decât piatra de calcar.

Instalațiile cu injecție de piatră de calcar sau var fie în focarul cazanului, fie în canalul de gaze de ardere sunt foarte puțin răspândite în lume, fiind montate la blocuri cu capacitate medie și acolo unde cerințele legate de emisia de SO<sub>2</sub> în gazele de ardere nu sunt prea ridicate.

Comparând cele trei metode de desulfurare umedă, semiuscată și uscată, cu avantajele și dezavantajele lor CET Halinga a promovat investiția pentru reținerea SO<sub>2</sub> din gazele de ardere aferente cazanelor de abur de 420t/h prin procedeul umed cu piatră de calcar, deoarece:

- randamentul de desulfurare este de 94% așa cum este cerut pentru puteri termice mai mari de 500 MWt, în Anexa nr. 3, Secțiunea B', a Hotărârii de Guvern nr. 541/17.05.2003;

- sistemul este pus de mulți ani în funcțiune la majoritatea centralelor electrice ce au prevăzute instalații de curățire a gazelor de ardere, atingând o

maturitate tehnică și siguranță în funcționare optimă;

- întreținerea în timpul exploatării este bună, datorită materialelor speciale alese pentru evitarea coroziunii și abraziunii și datorită completei automatizări;

- substanță absorbantă utilizată piatra de calcar, este cea mai ieftină și mai la îndemână, existând în apropierea centralei electrice mai multe cariere;

- produsul secundar, gipsul poate fi valorificat, deși în prezent nu există nici un interes pe piață, cu timpul poate deveni atractiv economic pentru industria cimentului și a materialelor de construcții, care este în plină dezvoltare la noi în țară;

- valoarea de investiție inițială este mai mare decât în metoda semiuscată, dar cheltuielile de exploatare sunt mai reduse, ceea ce va conduce la costuri totale anuale optime.

## **5.2 Studiul posibilităților de reducere a concentrației bioxidului de sulf prin înlocuirea combustibilului actual și aplicarea procedului de desulfurare primară cu carbonat de calciu.**

Măsurătorile efectuate lunar la centrala ROMAG-TERMO începând cu martie 2003 au evidențiat depășire de 10-15 ori a valorii limită admisă la emisia de SO<sub>2</sub> prevăzută în HG 541/2003 [97]. De aceea am considerat necesar întocmirea unui studiu care să urmărească micșorarea concentrației SO<sub>2</sub> prin schimbarea combustibilului și folosirea procedului de desulfurare primară intracombustie prin injecție de carbonat de calciu în focarul cazanului. Au fost luate în considerare următoarele variante :

- A1 - arderea simultană a lignitului și a păcurii cu S =0,8% și păcurii cu S =3,35;

- A2 - idem dar cu folosirea procedului de desulfurare primară;

- A3 - arderea huilei cu conținut ridicat de sulf ( $S_c^h = 2,11\%$ );

- A4 - idem dar cu folosirea procedului de desulfurare primară;

- A5 - arderea huilei cu conținut redus de sulf ( $S_c^h = 0,4\%$ );

- A6 - idem, dar cu folosirea procedului de desulfurare primară;

- A7 - arderea păcurii cu conținut redus de sulf ( $S_c^h = 0,5\%$ );

- A8 - arderea gazelor naturale;

A9 – arderea simultană a lignitului și păcurii, dar cu folosirea procedeului de desulfurare umedă;

Compoziția elementară a combustibililor este prezentată în tab. 5.2, tab. 5.3, tab. 5.4.

**Tab.5.2. Compoziția elementară și puterea calorifică inferioară a huilă și păcurii cu conținut redus de sulf.**

Denumire	Simbol	U.M.	Huilă cu conținut ridicat de sulf	Huilă cu conținut scăzut de sulf	Pacură cu conținut redus de sulf
Carbon	C	%	61,67	65,46	85,35
Hidrogen	H	%	4,48	3,80	11,18
Sulf combustibil	S <sub>c</sub>	%	2,11	0,43	0,50
Azot	N	%	9,60	6,76	0,20
Oxygen	O	%	0,44	0,40	1,13
Cenușă	A	%	11,30	12,37	0,19
Umiditate total	W <sub>t</sub>	%	10,40	10,78	1,45
Putere calorifică inferioară	H <sub>i</sub>	Kj/kg	24744	25150	40343

**Tab.5.3. Compoziția elementară și puterea calorifică inferioară a gazului natural**

Denumire	Simbol	U.M.	Valoare
Metan	(CH <sub>4</sub> ) <sub>c</sub>	%	98,51
Etan	(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>c</sub>	%	0,80
Azot	(N <sub>2</sub> ) <sub>c</sub>	%	0,54
Oxygen	(O <sub>2</sub> ) <sub>c</sub>	%	0,15
Puterea calorifică inferioară	H <sub>i</sub>	Kj/m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	35683

Bilanțul material al procesului de desulfurare primară intracomustie a gazelor de ardere prin introducerea carbonatului de calciu deșeu în focarul generatorului de abur.

**Studiu de caz: Cazanul de abur C420L din CET ROMAG TERMO**

Premizele de calcul:

1. Cazanul C420t/h funcționează la sarcina nominală și consumă  $B_c^L = 50,833$  kg/s = 182,9988 t/ora lignit și  $B_p = 1,1$  kg/s = 3,96 t/ora păcură pentru susținerea flacării
2. Combustibilul utilizat este cel de proiect având compoziția elementară și puterea calorică precizată în Tab. 5.4 .

**Tab.5.4 Compoziția elementară și puterea calorică inferioară a combustibilului de proiect**

Denumire	Simbol	U.M.	Valoare	
			Lignit	Pacura
Carbon	C	%	20,2	85,0
Hidrogen	H	%	1,9	9,8
Sulf combustibil	Si	%	0,8	3,35
Azot	N	%	1,6	0,2
Oxigen	O	%	10,0	1,3
Cenusa	A	%	24,5	-
Umiditate totală	Wt	%	41,0	0,35
Putere calorică inferioară	Hi	Kj/Kg	6776	29134

3. Se folosește pudra de carbonat de calciu ... (procurată de la fabrici de zahăr sau din industria chimică) cu un conținut de  $\text{CaCO}_3$  de 92%, diametrul mediu al particulelor mai mic de 15  $\mu\text{m}$  și un rest de 10% pentru sita de 0,09;
4. Debitul masic de  $\text{SO}_2$ :
 
$$m_{\text{SO}_2} = 2 m_S = 2(B_C^L S_C^L + B_P S_C^P) = 2(50,833 \times 0,008 + 1,1 \times 0,0335) = 0,887028 \text{ [kg/s]} = 887028 \text{ [mg/s]} = 3193 \text{ [kg/h]} \quad (5.1)$$
5. Randamentul desulfurării s-a admis  $\eta_{\text{des}} = 50$  [%];
6. Procentul de căzătură în focar :  $a_{\text{caz}}^L = 15\%$  pentru lignit și  $a_{\text{caz}}^H = 10$  % pentru huiă;
7. Randamentul electrofiltrului:  $\eta_{\text{EF}} = 99,8$  [%]



8. Raportul Ca/S în focar s-a admis 2

În aceste condiții rezultă debitul masic de sulf:

$$m_S = 1/2 m_{SO_2} = 1/2 \cdot 3193 = 1596,5 \text{ [kg/h]} \quad (5.2)$$

Pentru raportul Ca/S = 2, debitul masic de calciu necesar a fi introdus în focar:

$$m_{Ca} = 2m_S = 2 \times 1596,5 = 3193 \text{ [kg/h]} \quad (5.3)$$

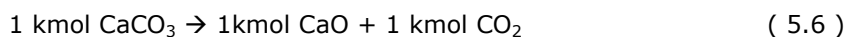
Întrucât masa moleculară a carbonatului de calciu este  $M_{CaCO_3} = 100$ , iar a calciului  $M_{Ca} = 40$ , debitul masic de carbonat de calciu deșeu având 92%  $CaCO_3$  este:

$$m_{CaCO_3} = \frac{m_{Ca}}{0,92 \times 0,4} = \frac{3193}{0,92 \times 0,4} = 8676,63 \text{ [kg/h]} \quad (5.4)$$

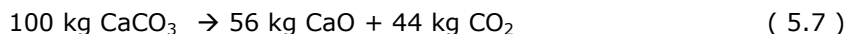
În focar are loc următoarea reacție de descompunere:



care din punct de vedere cantitativ poate fi scrisă:



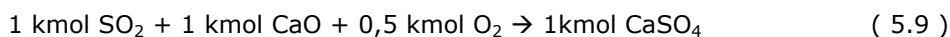
sau



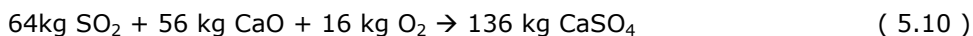
În mod similar pentru reacția chimică de formare a sulfatului de calciu anhidru:



se poate scrie:



sau



În baza relației (5.7) rezultă ca prin descompunerea termică a carbonatului de calciu deșeu se va produce :

$$m_{CO_2}^F = 0,56 m_{CaCO_3} \times 0,92 = 0,56 \times 8676,63 \times 0,92 = 4470,2 \text{ [kg/h]} \quad (5.11)$$

respectiv

$$m_{CaO}^F = 0,44 m_{CaCO_3} \times 0,92 = 0,44 \times 8676,63 \times 0,92 = 3512,3 \text{ [kg/h]} \quad (5.12)$$

În urma reacțiilor chimice în care se leagă jumătate din debitul masic de  $SO_2$  adică:

$$0,5 m_{SO_2} = 0,5 \times 3193 = 1596,5 \text{ [kg/h]} \quad (5.13)$$

rezultă conform rel (5.10) un debit de sulfat de calciu:

$$m_{CaSO_4}^F = \frac{0,5 \times m_{SO_2} \times 136}{64} = \frac{1596,5 \times 136}{64} = 3392,56 \text{ [kg/h]} \quad (5.14)$$

Din care 15 % cade în focar și în drumul al doilea al gazelor de ardere:

$$m_{CaSO_4}^F = 0,15 m_{CaSO_4}^F = 0,15 \times 3392,56 = 508,88 \text{ [kg/h]} \quad (5.15)$$

iar restul de 85% merge împreună cu gazele de ardere la electrofiltru în care se reține:

$$\eta_{EF} (m_{CaSO_4}^F - m_{CaSO_4}^{CF}) = 0,998 \times (3392,56 - 508,88) = 3047,14 \text{ [kg/h]} \quad (5.16)$$

respectiv se evacuează în mediul ambiant :

$$(1 - \eta_{EF})(m_{CaSO_4}^F - m_{CaSO_4}^{CF}) = (1 - 0,998)(3392,56 - 508,88) = 5,76 \text{ [kg/h]} \quad (5.17)$$

Debitul masic de CaO, care se leagă de SO<sub>2</sub> pentru a forma CaSO<sub>4</sub> conform relației (5.10) rezultă:

$$m_{CaO} = \frac{m_{SO_2} \times 56}{64} = \frac{3193 \times 56}{64} = 2793,875 \text{ [kg/h]} \quad (5.18)$$

Ca urmare în focar rămâne disponibil:

$$m_{CaO}^D = m_{CaO}^F - m_{CaO} = (4470,2 - 2793,875) = 1676,325 \text{ [kg/h]} \quad (5.19)$$

Din care se evacuează sub formă de căzătură:

$$m_{CaO}^F = 0,15 m_{CaO}^D = 0,15 \times 1676,325 = 251,44 \text{ [kg/h]} \quad (5.20)$$

se reține în electrofiltru:

$$m_{CaO}^{CF} = \eta_{EF}(m_{CaO}^D - m_{CaO}^F) = 0,998 (1676,32 - 251,44) = 1422,0 \text{ [kg/h]} \quad (5.21)$$

și se evacuează în mediul ambiant:

$$m_{CaO}^{MA} = (1 - \eta_{EF})(m_{CaO}^D - m_{CaO}^F) = (1 - 0,998)(1676,325 - 251,44) = 2,85 \text{ [kg/h]} \quad (5.22)$$

Debitul masic de cenușă format în focar:

$$m_{cen}^{tot} = B_C^L A = 182998,8 \times 0,245 = 44834,706 \text{ [kg/h]} \quad (5.23)$$

din care se elimină în focar și în drumul al doilea al gazelor de ardere:

$$m_{cen}^{CF} = 0,15 m_{cen}^{tot} = 0,15 \times 44834,706 = 6725,2 \text{ [kg/h]} \quad (5.24)$$

iar restul ajunge la electrofiltru:

$$m_{cen} = m_{cen}^{tot} - m_{cen}^{CF} = 44834,706 - 6725,2 = 38109,5 \text{ [kg/h]} \quad (5.25)$$

Debitul total de praf care ajunge la electrofiltru:

$$m_{praf} = m_{cen} + (m_{CaSO_4}^F - m_{CaSO_4}^{CF}) + (m_{CaO}^D - m_{CaO}^F) + (1 - a_{caz})(1 - \epsilon) m_{CaCO_3} = \\ 38109,5 + (3392,56 - 508,88) + (1676,325 - 251,44) + (1 - 0,15)(1 - 0,92) \times \\ 8676,63 = 42418,065 \text{ [kg/h]} \quad (5.26)$$

respectiv se mărește sarcina electrofiltrului cu:

$$\Delta S_{praf}^{EF} = \frac{m_{praf} + m_{cen}}{m_{cen}} \times 100 = \frac{42418,065 - 38109,5}{38109,5} \times 100 = 11,3 \text{ [%]} \quad (5.27)$$

Debitul de praf emis în mediul ambiant:

$$m_{praf}^e = (1 - \eta_{EF}) m_{praf} = (1 - 0,998) \times 42418,065 = 84,836 \text{ [kg/h]} \quad (5.28)$$

Bilanțul material al procesului de ardere a cărbunilor a fost întocmit în conformitate cu indicațiile din lucrarea [16]

În cazul cărbunelui:

Oxigenul minim

$$O_{\min}^C = \frac{22,41}{12} \left[ C + 3 \left( H - \frac{O-S}{8} \right) \right] = \frac{22,41}{12} \left[ 0,202 + 3 \left( 0,019 - \frac{0,10-0,008}{8} \right) \right] = 0,41914 \left[ \frac{m_N^3}{kg_C} \right] \quad (5.29)$$

Aerul minim

$$L_{\min}^C = \frac{O_{\min}^C}{0,21} = 0,41914 / 0,21 = 1,9959 \left[ \frac{m_N^3}{kg_C} \right] \quad (5.30)$$

Cantitatea de bioxid de carbon

$$V_{CO_2}^C = \frac{22,41}{12} C = 1,867 \times 0,202 = 0,377134 \left[ \frac{m_N^3}{kg_C} \right] \quad (5.31)$$

Cantitatea de bioxid de sulf

$$V_{SO_2}^C = \frac{22,41}{32} S_C = 0,7 \times 0,008 = 0,0056 \left[ \frac{m_N^3}{kg_C} \right] \quad (5.32)$$

Cantitatea minimă de azot

$$V_{N_2}^{OC} = \frac{22,41}{28} N + 0,79 / 0,21 \times O_{\min}^C = 0,8 \times 0,016 + 0,79 \times 0,41914 / 0,21 = 1,5896 \left[ \frac{m_N^3}{kg_C} \right] \quad (5.33)$$

Cantitatea minimă de gaze uscate

$$V_{gu}^{OC} = V_{CO_2}^C + V_{SO_2}^C + V_{N_2}^{OC} = 0,377134 + 0,0056 + 1,5896 = 1,9723 \left[ \frac{m_N^3}{kg_C} \right]$$

(5.34)

Cantitatea totală de gaze uscate

$$(V_{gu})_{\lambda r}^C = V_{gn}^{OC} + (\lambda - 1) L_{\min}^C = 1,97323 + (1,4 - 1) \times 1,9959 = 2,7707 \left[ \frac{m_N^3}{kg_C} \right] \quad (5.35)$$

în care  $\lambda r = 1,4$  pentru  $O_{2ref} = 6 \%$

Concentrația masică a noxelor în gazele de ardere cu  $O_{2\lambda r} = 6 \%$

- dioxid de carbon

$$C_{CO_2}^C = \frac{V_{CO_2}^C S_{CO_2}}{(V_{gn})_{\lambda r}^C} = \frac{0,377134 \times 44}{22,41 \times 2,7707} = 0,26725 \left[ \frac{kg}{m^3_N} \right] = 267250 \left[ \frac{mg}{m_N^3} \right] \quad (5.36)$$

- dioxidul de sulf

$$C_{SO_2}^C = \frac{V_{SO_2}^C S_{SO_2}}{(V_{gn})_{\lambda r}^C} = \frac{0,0056 \times 64}{22,41 \times 2,7707} = 5,7736 \times 10^{-3} \left[ \frac{kg}{m_N^3} \right] = 5773,6 \left[ \frac{mg}{m_N^3} \right] \quad (5.37)$$

Bilanțul material al procesului de ardere a păcurii :

Oxigenul minim

$$O_{min}^P = \frac{22,41}{12} (C^P + 3(H^P - \frac{O^P - S^P}{8})) = 1,867 [ 0,85 + 3(0,098 - \frac{0,013 - 0,0335}{8}) ] =$$

$$2,1358 [ \frac{m_k}{kg_p} ] \quad (5.38)$$

Aerul minim

$$L_{min}^P = \frac{O_{min}^P}{0,21} = \frac{2,1358}{0,21} = 10,1707 [ \frac{m_k}{kg_p} ] \quad (5.39)$$

Cantitatea de bioxid de carbon

$$V_{CO_2}^P = 1,867 C^P = 1,867 \times 0,85 = 1,58695 [ \frac{m_k}{kg_p} ] \quad (5.40)$$

Cantitatea de bioxid de sulf

$$V_{SO_2}^P = 0,7 S^P = 0,7 \times 0,0335 = 0,02345 [ \frac{m_k}{kg_p} ] \quad (5.41)$$

Cantitatea minimă de azot

$$V_{N_2}^{OP} = 0,8 N^P + 0,79 L_{min}^P = 0,8 \times 0,002 + 0,79 \times 10,1707 = 8,036453$$

$$[ \frac{m_k}{kg_p} ] (5.42)$$

Cantitatea minimă de gaze uscate

$$V_{gn}^{OP} = V_{CO_2}^P + V_{SO_2}^P + V_{N_2}^{OP} = 1,58695 + 0,02345 + 8,036453 = 9,646853$$

$$[ \frac{m_k}{kg_p} ] \quad (5.43)$$

Cantitatea totală de gaze

$$(V_{gt})_{\lambda r}^P = V_{gn}^{OP} + (\lambda r - 1)L_{min}^P = 9,646853 + (1,4 - 1) \times 10,1707 = 13,715133$$

$$[ \frac{m_k}{kg_p} ] \quad (5.44)$$

$$C_{CO_2}^P = \frac{V_{CO_2}^P \times 44}{(V_{gn})_{\lambda r}^P \times 22,41} = \frac{1,58695 \times 44}{13,715133 \times 22,41} = 0,227182 [kg_{CO_2} / m^3_N] =$$

$$227182 [ \frac{mg_{CO_2}}{m^3} ] \quad (5.45)$$

$$C_{SO_2}^P = \frac{V_{SO_2}^P \times 64}{(V_{gn})_{\lambda r}^P \times 22,41} = \frac{0,02345 \times 64}{13,715133 \times 22,41} = 4,883 \times 10^{-3} [kg_{SO_2} / m^3_N] = 4883$$

$$[ \frac{mg_{SO_2}}{m^3} ] \quad (5.46)$$

La arderea simultană a carbunelui și pacurii în varianta A1, concentrația masică a noxelor gazoase se consideră drept media ponderată:

$$C_{SO_2}^{V1} = \frac{B_h^C C_{SO_2}^C + B_h^P C_{SO_2}^P}{B_h^C + B_h^P} = \frac{182998,8 \times 3773,6 + 3960 \times 4883}{182998,8 + 3960} = 5754,7 \left[ \frac{mg_{SO_2}}{m_{A_1}} \right] \quad (5.47)$$

$$C_{CO_2}^{V1} = \frac{B_h^C C_{CO_2}^C + B_h^P C_{CO_2}^P}{B_h^C + B_h^P} = \frac{182998,8 \times 267250 + 3960 \times 227182}{182998,8 + 3960} = 266401,3 \left[ \frac{mg_{CO_2}}{m_{A_1}} \right] \quad (5.48)$$

Conținutul de praf la emisie :

$$C_{praf}^{V1} = \frac{(1 - \eta_{EP}) m_{cen}}{B_h^C (V_{gn})_{Ar}^C + B_h^P (V_{gn})_{Ar}^P} = \frac{(1 - 0,998) \times 28109,5 \times 10^6}{182998,8 \times 2,770694 + 3960 \times 13,7151} = 135,78 \left[ \frac{mg}{m_{A_1}} \right] \quad (5.49)$$

Conținutul de NO<sub>x</sub> (valoare măsurată):

$$C_{NO_x}^{V1} = 284 \left[ \frac{mg}{m_{A_1}} \right]$$

Concentrația noxelor la emisie în cazul aplicării procedurii de desulfurare primară intracombustie prin introducerea carbonatului de calciu deșeu (varianta A2):

$$C_{SO_2}^{V2} = \frac{\frac{1}{2} \times m_{SO_2} \times 10^6}{B_h^C \times (V_{gn})_{Ar}^C + B_h^P \times (V_{gn})_{Ar}^P} = \frac{0,5 \times 3193 \times 10^6}{182998,8 \times 2,77 + 3960 \times 12,715} = 2844 \left[ \frac{mg}{m_{A_1}} \right] \quad (5.50)$$

$$C_{CO_2}^{V2} = C_{CO_2}^{V1} + \frac{m_{CO_2}^E \times 10^6}{B_h^C \times (V_{gn})_{Ar}^C + B_h^P \times (V_{gn})_{Ar}^P} = 266401,3 + \frac{3512,3 \times 10^6}{561345,6} = 272658 \left[ \frac{mg}{m_{A_1}} \right] \quad (5.51)$$

$$C_{praf}^{V2} = \frac{m_{praf} \times 10^6 \times (1 - \eta_{EP})}{B_h^C (V_{gn})_{Ar}^C + B_h^P \times (V_{gn})_{Ar}^P} = \frac{42418,065 \times (1 - 0,998) \times 10^6}{561345,6} = 151,3 \left[ \frac{mg}{m_{A_1}} \right] \quad (5.52)$$

Conținutul de NO<sub>x</sub> este cu 11,3% mai mare decât în situația anterioară.

Conținutul de Nox nu se modifică, deci:  $C_{NO_x}^{A1} = C_{NO_x}^{A2}$

Procedând ca mai sus, s-au obținut rezultatele centralizate în Tab. 5.5

**Tab.5.5 Concentrația noxelor în gazele de ardere uscate cu un conținut O<sub>2</sub> corespunzător combustibilului folosit**

Combustibil	Varianta	C <sub>SO<sub>2</sub></sub> [mg/ m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	C <sub>NO<sub>x</sub></sub> [mg/ m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	C <sub>praf</sub> [mg/ m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	C <sub>CO<sub>2</sub></sub> [mg/ m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
Lignit + pacura (S <sub>C</sub> <sup>L</sup> = 0,8% ; S <sub>C</sub> <sup>P</sup> = 3,35 % )	A1	5754,7	284	135,8	266401
	A2	2844	284	151,13	272658
Huila cu conținut ridicat de sulf (S <sup>H</sup> <sub>C</sub> = 2,11 %)	A3	4821,6	310	34,88	258456
	A4	2406	310	58,33	263751
Huila cu conținut redus de sulf (S <sup>H</sup> <sub>C</sub> = 0,4 %)	A5	877,8	308	36,67	263416
	A6	439,2	308	40,95	264382
Pacura cu conținut redus de sulf (S <sub>C</sub> <sup>P</sup> = 0,5 %)	A7	605,23	474	0	275577
Gaze natural	A8	0	664	0	202229
Lignit + pacura . Desulfurare umeda	A9	345	280	50-30	260202

Din analiza datelor cuprinse în tabelul 5.5 rezultă următoarele observații :

- 1.Schimbarea combustibilului nu conduce la atingerea concentrației limită de 400  $\left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]$  decât dacă se înlocuiește combustibilul actual cu gaz natural dar costurile nu au fost cuantificate.
- 2.Înlocuirea lignitului cu huiă cu conținut scăzut de sulf ( S<sub>C</sub> < 0,4 % ) nu reprezintă o soluție foarte bună nici chiar în cazul desulfurării intracomustie deoarece un asemenea cărbune trebuie adus din import la un preț ridicat și utilizarea lui necesită modificări constructive importante ale generatorului de abur și inclusiv a sistemului de preparare și ardere a combustibilului.
3. Trecerea funcționării cazanelor pe păcura cu conținut redus de sulf S<sub>C</sub> < 0, 35% ar putea conduce la atingerea dezideratului impus ( c<sub>SO<sub>2</sub></sub> < 400  $\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$  ), dar aceasta

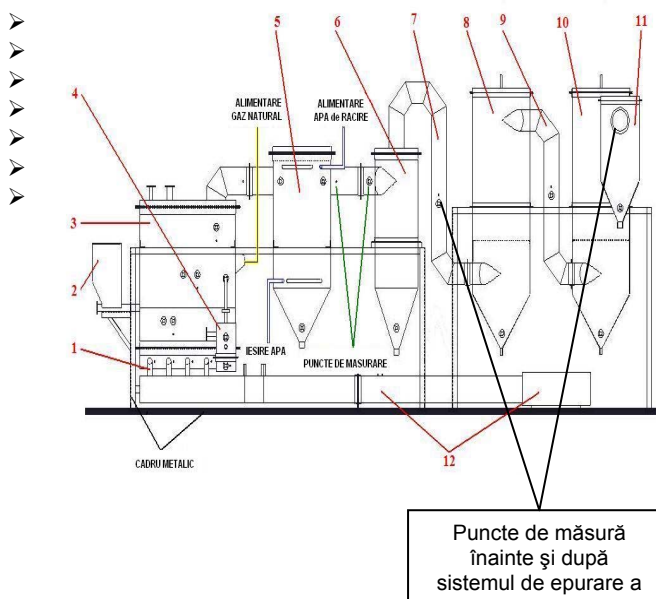
nu este o soluție întrucât prețul combustibilului face inaccesibilă utilizarea în totalitate a păcurii .

4. Singura variantă posibilă este cea aleasă de CET Halanga adică desulfurarea gazelor de ardere prin metoda umedă utilizând carbonatul de calciu. Menționăm că acest procedeu asigură atât desulfurarea gazelor cât și curățirea lor de praf.

### 5.3 Cercetări de laborator privind desulfurarea umedă a gazelor de ardere de la CET Romag Termo

În iunie 2007 am colaborat cu laboratorul de testări termotehnice pentru desulfurarea gazelor de ardere rezultate din diverse sorturi de cărbune utilizat în centrală .În figura 5.1 este prezentată schema instalației de ardere combinată în strat fluidizat cu următoarele componente :

- Distribuitor de aer (1)
- Sistem alimentare cu combustibil solid (2)
- Focar (3)
- Răcitor de cenușă (4)
- Corp convectiv (5)



**Fig.5. 1 Instalație de ardere a combustibililor solizi în strat fluidizat**

Elementele componente ale instalației prezentate în figura 5.1 formează următoarele subansamble/sisteme/echipamente pentru :

- ardere ;
- transfer termic ;
- desprăfuire gaze ;

- epurare gaze;
- alimentare aer.

Sistemele de măsurare și reglare a parametrilor de funcționare :

- sistem achiziție date-temperaturi;
- contor gaz natural;
- contor apă răcire;
- termocupluri, termometre, manometre;
- robinete/ventile pentru reglare debite de aer/apă răcire/lichid sistem epurare gaze;
- gazoanalizorul TESTO 350M/xl și accesorii.

#### *Măsurători și rezultate*

În această etapă am realizat măsurători pe instalația de ardere în strat fluidizat la funcționarea cu diferite sorturi de cărbune și anume: cărbune de Roșița, cărbune de Gârdoia și cărbune de Valea Copcii, carbune utilizat in centrala ROMAG-TERMO[109].

Pentru reducerea SO<sub>2</sub> am utilizat diferite soluții de diverse concentrații:

- apă potabilă;
- hidroxid de calciu cu concentrația de 1,5%, 2,5% și 5%;
- hidroxid de sodiu cu concentrația de 1,5%, 2,5%;
- carbonat de calciu în proporție de 40 g la 1kg de cărbune.

Valorile măsurate și înregistrate au fost prelucrate, iar prezentarea lor este făcută sub formă de tabele și grafice.

#### **SET 1**

Cărbune: Lignit Roșița  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: -----

**Tab.5.6. 1a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	156.2	3.93	322	14.63	147	154	1236	1,23



2	155.4	3.7	222	14.83	151	159	1250	1,21
3	155.1	4.05	173	14.53	152	160	1228	1,23
4	155.8	4.76	252	13.92	150	157	1182	1,29
5	155.3	5.74	284	13.08	146	153	1127	1.37
6	155.4	6.37	233	12.54	141	148	1068	1.43
7	155.5	6.78	182	12.19	139	146	1037	1,47
8	154.7	6.95	264	12.04	136	143	1023	1,49
9	155.8	6.72	272	12.24	132	139	1040	1,47
10	154.8	6.47	225	12.45	129	136	1070	1,44
11	155.2	6.33	173	12.57	130	137	1092	1,43
12	156.9	6.44	154	12.48	134	141	1093	1,44
13	154.6	6.73	149	12.23	138	145	1075	1,47
14	154.7	7.23	137	11.81	143	150	1042	1,52
15	154.9	7.38	125	11.68	147	154	1002	1,54
<b>Media</b>	<b>155.4</b>	<b>6.0</b>	<b>211.1</b>	<b>12.9</b>	<b>141.0</b>	<b>148.1</b>	<b>1104.3</b>	<b>1,4</b>

Tab.5.6. 1b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	49.8	7.77	217	11.34	108	113	746	1,58
2	49.8	7.4	223	11.66	110	115	777	1,54
3	49.9	6.89	208	12.09	113	119	821	1,48
4	49.9	6.42	186	12.5	115	121	853	1,44
5	50	6.16	183	12.72	118	124	884	1,41
6	50	5.99	190	12.86	121	127	904	1,39
7	50.1	6.07	184	12.8	122	128	912	1,40
8	50	6.33	172	12.57	122	128	909	1,43
9	49.9	6.47	174	12.45	122	128	901	1,44
10	50.1	6.69	185	12.27	121	127	893	1,46
11	50	7	179	12	118	124	884	1,5
12	50.1	7.02	167	11.98	118	124	874	1,5
13	50	7.11	148	11.9	116	122	875	1,51
14	50.2	7.19	133	11.84	116	122	875	1,52
15	50.2	7.22	122	11.81	117	123	873	1,52
<b>Media</b>	<b>50.0</b>	<b>6.8</b>	<b>178.1</b>	<b>12.2</b>	<b>117.1</b>	<b>123.0</b>	<b>865.4</b>	<b>1,47</b>

Tab.5.6 1c: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> înainte de SEGA

Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	156.2	3.93	354	252.0	172	277	3095	1.23

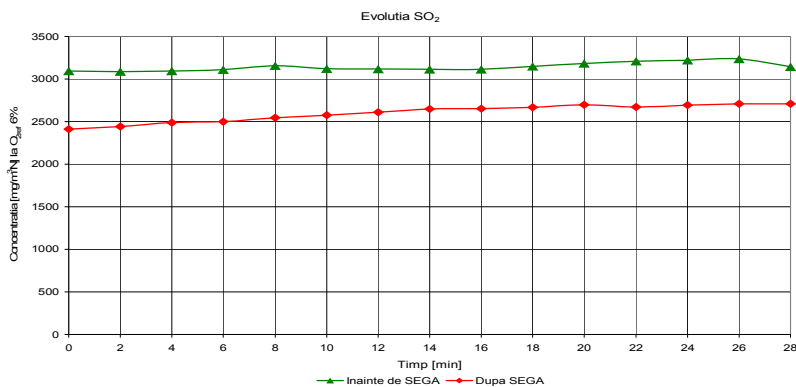
## 106 Cercetări privind reducerea concentrației bioxidului de sulf - 5

2	155.4	3.7	241	252.0	174	283	3089	1.21
3	155.1	4.05	191	252.0	179	290	3097	1.24
4	155.8	4.76	291	252.0	184	297	3111	1.29
5	155.3	5.74	349	252.0	191	308	3157	1.38
6	155.4	6.37	299	252.0	192	311	3121	1.44
7	155.5	6.78	240	252.0	195	316	3118	1.48
8	154.7	6.95	352	251.9	193	313	3113	1.50
9	155.8	6.72	357	252.0	184	299	3113	1.47
10	154.8	6.47	290	251.9	177	288	3148	1.45
11	155.2	6.33	221	251.9	177	287	3182	1.43
12	156.9	6.44	198	252.0	184	298	3209	1.44
13	154.6	6.73	196	252.0	193	312	3220	1.47
14	154.7	7.23	187	252.2	207	335	3235	1.53
15	154.9	7.38	172	252.1	215	348	3145	1.54
<b>Media</b>	<b>155.4</b>	<b>6.0</b>	<b>262.5</b>	<b>252.0</b>	<b>187.8</b>	<b>304.2</b>	<b>3143.6</b>	<b>1.41</b>

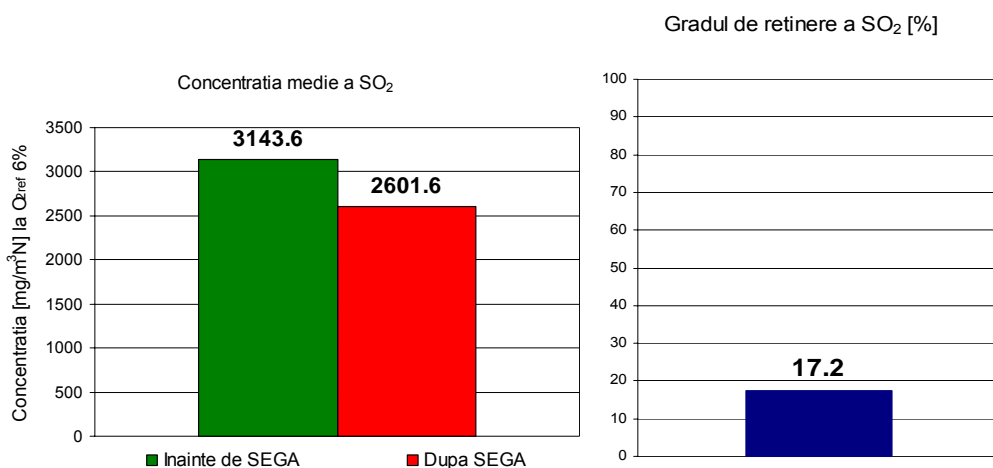
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%Tab.5.6 1d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	49.8	7.77	308	252.0	163	263	2411	1.59
2	49.8	7.4	307	252.1	161	260	2442	1.54
3	49.9	6.89	276	251.9	160	259	2487	1.49
4	49.9	6.42	239	252.1	157	255	2501	1.44
5	50	6.16	231	252.0	159	257	2547	1.42
6	50	5.99	237	251.9	161	260	2575	1.40
7	50.1	6.07	231	252.1	163	264	2611	1.41
8	50	6.33	220	251.9	166	268	2649	1.43
9	49.9	6.47	225	251.9	168	271	2651	1.45
10	50.1	6.69	242	252.1	169	273	2668	1.47
11	50	7	240	252.0	168	272	2699	1.50
12	50.1	7.02	224	251.9	168	273	2673	1.50
13	50	7.11	200	251.9	167	270	2693	1.51
14	50.2	7.19	181	252.1	168	272	2709	1.52
15	50.2	7.22	166	252.0	169	274	2708	1.52
<b>Media</b>	<b>50.0</b>	<b>6.8</b>	<b>235.1</b>	<b>252.0</b>	<b>164.4</b>	<b>266.1</b>	<b>2601.6</b>	<b>1.48</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%



**Fig.5.2. 1a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.2. 1b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

## SET 2

Cărbune: Lignit Roșiuța  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: Injecție soluție cu 2,5% Ca(OH)<sub>2</sub>

**Tab.5.7. 2a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	160.9	4.46	266	14.18	138	144	1244	1,27
2	160.4	4.7	166	13.97	139	146	1238	1,28

3	160.6	5.09	116	13.64	145	152	1227	1,32
4	161.3	5.48	195	13.3	150	157	1212	1,35
5	160.2	5.87	229	12.96	156	163	1189	1,38
6	159.7	6.38	179	12.53	160	168	1155	1,43
7	160.3	6.76	127	12.2	162	170	1126	1,47
8	160.5	7.13	208	11.89	163	171	1098	1,51
9	159.8	7.55	215	11.52	163	171	1065	1,56
10	159.9	7.88	169	11.24	162	170	1042	1,60
11	159.5	8.22	117	10.95	161	169	1019	1,64
12	159.5	8.6	98	10.63	159	167	989	1,69
13	162.7	8.81	92	10.45	158	166	964	1,72
14	159	8.83	85	10.43	157	165	941	1,72
15	158.5	8.52	70	10.7	155	163	919	1,68
<b>Media</b>	<b>160.2</b>	<b>7.0</b>	<b>155.5</b>	<b>12.0</b>	<b>155.2</b>	<b>162.8</b>	<b>1095.2</b>	<b>1,51</b>

Tab.5.7. 2b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	50.1	4.08	188	14.51	124	130	125	1,24
2	50.2	4.37	195	14.26	123	130	114	1,26
3	50.2	5.12	179	13.62	123	130	105	1,32
4	50.5	5.79	157	13.04	123	130	97	1,38
5	50.5	6.34	154	12.56	125	131	87	1,43
6	50.6	6.85	161	12.12	126	133	81	1,48
7	50.7	7.21	155	11.82	128	134	74	1,52
8	50.9	7.53	142	11.55	131	138	68	1,55
9	51.3	7.93	144	11.21	134	141	64	1,6
10	51.3	8.11	156	11.05	136	143	60	1,62
11	51.3	8.37	54	10.82	140	147	55	1,66
12	51.4	8.67	138	10.57	141	148	52	1,7
13	51.5	8.9	117	10.37	141	149	50	1,73
14	51.6	9.12	104	10.19	143	150	47	1,76
15	51.7	9.05	96	10.24	143	150	46	1,75
<b>Media</b>	<b>50.9</b>	<b>7.2</b>	<b>142.7</b>	<b>11.9</b>	<b>132.1</b>	<b>138.9</b>	<b>75.0</b>	<b>1,53</b>

Tab.5.7. 2c: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> înainte de SEGA

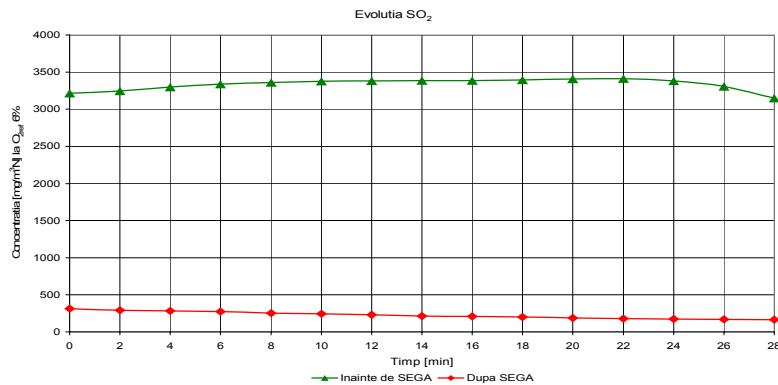
Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-

1	160.9	4.46	302	252.1	166	268	3215	1.27
2	160.4	4.7	191	252.0	170	275	3247	1.29
3	160.6	5.09	137	252.1	182	294	3297	1.32
4	161.3	5.48	236	251.9	193	311	3338	1.35
5	160.2	5.87	284	251.8	206	331	3360	1.39
6	159.7	6.38	230	252.0	218	353	3377	1.44
7	160.3	6.76	167	251.9	227	367	3380	1.48
8	160.5	7.13	281	252.0	234	379	3384	1.51
9	159.8	7.55	300	251.8	242	391	3385	1.56
10	159.9	7.88	242	251.9	246	398	3395	1.60
11	159.5	8.22	172	251.9	251	407	3409	1.64
12	159.5	8.6	148	252.0	256	414	3410	1.69
13	162.7	8.81	142	252.0	259	419	3381	1.72
14	159	8.83	131	252.0	257	417	3305	1.73
15	158.5	8.52	105	252.1	248	402	3148	1.68
<b>Media</b>	<b>160.2</b>	<b>7.0</b>	<b>204.4</b>	<b>252.0</b>	<b>223.7</b>	<b>361.8</b>	<b>3335.5</b>	<b>1.51</b>

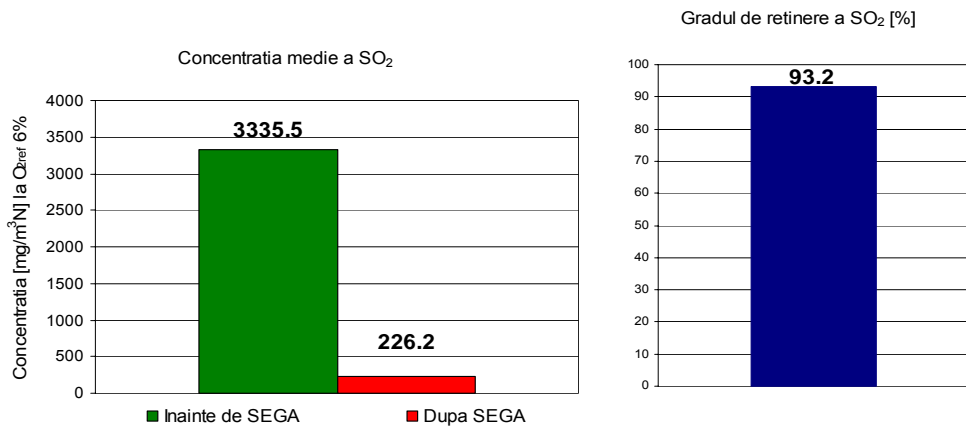
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%**Tab.5.7. 2d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA**

Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	50.1	4.08	208	252.1	146	236	316	1.24
2	50.2	4.37	220	252.1	148	240	293	1.26
3	50.2	5.12	211	252.2	155	252	283	1.32
4	50.5	5.79	194	252.1	161	263	273	1.38
5	50.5	6.34	197	251.9	170	275	254	1.43
6	50.6	6.85	213	251.8	178	289	245	1.49
7	50.7	7.21	211	252.0	185	299	229	1.52
8	50.9	7.53	198	252.1	194	315	216	1.56
9	51.3	7.93	207	252.2	205	332	209	1.61
10	51.3	8.11	227	252.0	210	341	199	1.63
11	51.3	8.37	80	251.9	221	358	186	1.66
12	51.4	8.67	210	252.0	228	369	180	1.70
13	51.5	8.9	181	252.0	232	379	177	1.74
14	51.6	9.12	164	252.2	240	388	169	1.77
15	51.7	9.05	151	251.9	239	386	165	1.76
<b>Media</b>	<b>50.9</b>	<b>7.2</b>	<b>191.4</b>	<b>252.0</b>	<b>194.1</b>	<b>314.8</b>	<b>226.2</b>	<b>1.54</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%



**Fig.5.3. 2a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.3. 2b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

**SET 3**

Cărbune: Lignit Roșiua  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: Injecție soluție cu 5% Ca(OH)<sub>2</sub>

**Tab.5.8. 3a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	231.1	5.63	232	13.18	179	188	1240	1,36
2	230.4	4.53	227	14.11	174	182	1232	1,27
3	230.7	4.63	217	14.03	171	179	1226	1,28

4	230.4	5.17	200	13.57	163	171	1167	1,32
5	230.8	5.79	181	13.03	159	167	1188	1,38
6	231	6.16	176	12.72	153	160	1190	1,41
7	232.2	6.05	168	12.81	154	162	1178	1,4
8	231.9	6.39	162	12.52	153	161	1164	1,43
9	231.9	6.36	188	12.55	155	163	1141	1,43
10	233	6.6	202	12.34	156	163	1122	1,45
11	233.1	7.48	168	11.59	158	166	1102	1,55
12	232.3	7.15	170	11.87	162	170	1095	1,51
13	232.9	6.85	209	12.12	160	168	1088	1,48
14	234.9	7.66	194	11.43	161	169	1075	1,57
15	241.2	7.45	163	11.61	160	168	1061	1,55
<b>Media</b>	<b>232.5</b>	<b>6.3</b>	<b>190.5</b>	<b>12.6</b>	<b>161.2</b>	<b>169.1</b>	<b>1151.3</b>	<b>1,43</b>

Tab.5.8. 3b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	52.7	6.91	234	12.08	170	179	64	1,49
2	53	6.64	216	12.31	169	178	60	1,46
3	53.3	6.06	207	12.81	166	175	59	1,40
4	53.5	5.48	192	13.3	162	170	58	1,35
5	53.7	5.36	207	13.41	157	165	56	1,34
6	53.7	5.49	180	13.3	153	161	60	1,35
7	53.8	5.76	178	13.06	147	155	55	1,37
8	53.9	5.93	166	12.92	145	152	54	1,39
9	54	6.09	158	12.78	143	150	60	1,40
10	54.1	6.27	158	12.62	143	150	62	1,42
11	54.2	6.46	161	12.46	142	149	62	1,44
12	54.4	6.77	158	12.2	143	150	63	1,47
13	54.7	7	156	12	145	152	57	1,5
14	54.9	7.11	161	11.9	146	153	55	1,51
15	55	7.23	163	11.8	147	154	54	1,52
<b>Media</b>	<b>53.9</b>	<b>6.3</b>	<b>179.7</b>	<b>12.6</b>	<b>151.9</b>	<b>159.5</b>	<b>58.3</b>	<b>1,43</b>

Tab.5.8. 3c: Valori raportate la O<sub>2,ref</sub> înainte de SEGA

Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	231.1	5.63	283	252.1	232	376	3449	1.37
2	230.4	4.53	258	251.9	211	340	3198	1.28

112 Cercetări privind reducerea concentrației bioxidului de sulf - 5

3	230.7	4.63	249	252.0	208	336	3202	1.28
4	230.4	5.17	237	252.0	205	332	3152	1.33
5	230.8	5.79	223	251.9	209	338	3339	1.38
6	231	6.16	222	252.0	206	332	3428	1.42
7	232.2	6.05	211	251.9	206	333	3369	1.41
8	231.9	6.39	208	251.9	209	339	3406	1.44
9	231.9	6.36	241	252.0	211	342	3332	1.43
10	233	6.6	263	251.9	216	348	3331	1.46
11	233.1	7.48	233	252.0	233	378	3485	1.55
12	232.3	7.15	230	252.0	233	377	3380	1.52
13	232.9	6.85	277	251.8	226	365	3287	1.49
14	234.9	7.66	273	251.9	241	390	3445	1.57
15	241.2	7.45	226	251.9	236	381	3347	1.55
<b>Media</b>	<b>232.5</b>	<b>6.3</b>	<b>242.2</b>	<b>252.0</b>	<b>218.8</b>	<b>353.8</b>	<b>3343.2</b>	<b>1.43</b>

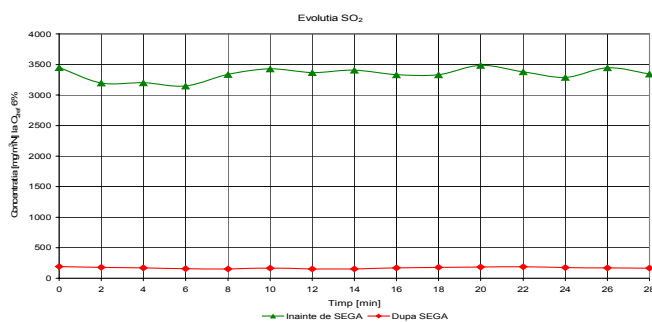
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%

**Tab5.8. 3d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA**

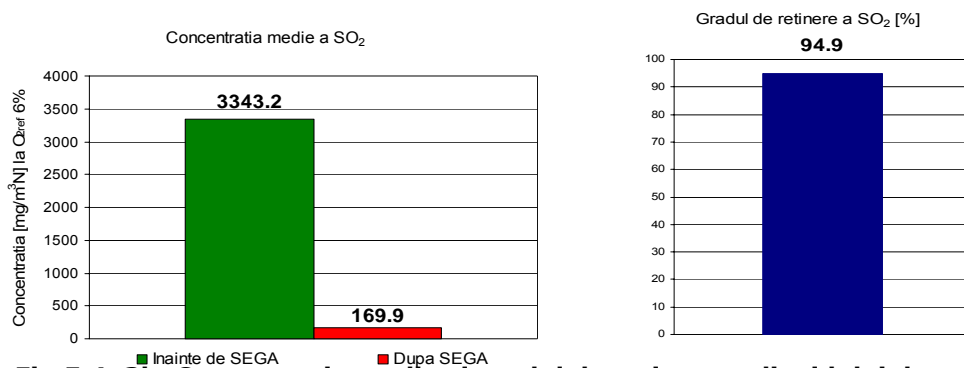
Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	52.7	6.91	311	252.1	241	391	193	1.49
2	53	6.64	282	252.0	235	381	178	1.46
3	53.3	6.06	260	252.1	222	360	168	1.41
4	53.5	5.48	232	251.9	208	337	159	1.35
5	53.7	5.36	248	252.1	200	324	152	1.34
6	53.7	5.49	218	252.1	197	319	165	1.35
7	53.8	5.76	219	251.9	192	313	153	1.38
8	53.9	5.93	207	252.1	192	310	152	1.39
9	54	6.09	199	252.0	191	309	171	1.41
10	54.1	6.27	201	251.9	194	313	179	1.43
11	54.2	6.46	208	251.9	195	315	181	1.45
12	54.4	6.77	208	252.1	200	324	188	1.48
13	54.7	7	209	252.0	207	334	173	1.50
14	54.9	7.11	217	251.9	210	339	168	1.51
15	55	7.23	222	251.9	213	344	167	1.53
<b>Media</b>	<b>53.9</b>	<b>6.3</b>	<b>229.4</b>	<b>252.0</b>	<b>206.4</b>	<b>334.2</b>	<b>169.9</b>	<b>1.43</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%





**Fig.5.4. 3a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.4. 3b: Concentrația medie și gradul de retenere a dioxidului de sulf**

#### SET 4

Cărbune: Lignit Roșița cu 40g de CaCO<sub>3</sub> la 1kg de cărbune  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: -----

**Tab5.9.4a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	<sup>1)</sup> SO <sub>2</sub>	<sup>2)</sup> SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	-
1	160.9	4.07	259	7.68	128	134	1104	549	1,24
2	160.4	4.39	162	7.22	132	139	1098	519	1,26
3	160.6	5.12	111	7	132	139	1087	485	1,34
4	161.3	5.79	190	6.77	129	136	1072	467	1,39
5	160.2	6.34	224	6.58	129	135	1049	457	1,44

## 114 Cercetări privind reducerea concentrației bioxidului de sulf - 5

6	159.7	6.85	170	6.52	130	137	1015	453	1,48
7	160.3	7.21	123	6.63	132	139	986	452	1,53
8	160.5	7.53	199	6.74	132	139	958	452	1,56
9	159.8	7.93	213	6.7	129	136	925	456	1,61
10	159.9	8.11	166	6.49	126	133	902	462	1,63
11	159.5	8.37	109	6.32	123	129	879	465	1,65
12	159.5	8.67	89	6.16	120	126	849	465	1,70
13	162.7	8.9	87	6.31	119	125	824	461	1,74
14	159	9.01	75	6.95	122	128	801	456	1.74
15	158.5	9.05	65	7.54	127	133	779	461	1,75
<b>Media</b>	<b>160.2</b>	<b>7.2</b>	<b>149.5</b>	<b>6.8</b>	<b>127.3</b>	<b>133.9</b>	<b>955.2</b>	<b>470.7</b>	<b>1,54</b>

Tab.5.9. 4b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	<sup>3</sup> SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	49.9	4.02	191	7.87	116	122	209	1,24
2	49.9	4.04	197	7.06	116	122	208	1,24
3	50	4.05	182	6.67	116	122	208	1,24
4	50.1	4.28	160	6.46	117	123	206	1,26
5	50	4.46	155	6.36	117	123	203	1,27
6	50.1	4.7	162	6.29	117	123	202	1,29
7	50	5.09	158	6.27	116	122	200	1,32
8	50	5.48	144	6.24	115	121	199	1,35
9	49.9	5.87	148	6.22	116	122	198	1,38
10	49.7	6.38	157	6.25	116	122	196	1,44
11	50	6.76	153	6.25	115	121	195	1,48
12	49.9	7.13	139	6.25	115	121	192	1,51
13	49.7	7.55	122	6.23	114	120	189	1,56
14	49.8	7.88	105	6.13	112	118	182	1,51
15	49.7	8.22	94	6.1	111	116	167	1,63
<b>Media</b>	<b>49.9</b>	<b>5.7</b>	<b>151.1</b>	<b>6.4</b>	<b>115.3</b>	<b>121.2</b>	<b>196.9</b>	<b>1,38</b>

Tab.5.9. 4c: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> înainte de SEGA

Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	<sup>1</sup> )C <sub>SO2*</sub>	<sup>2</sup> )C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	160.9	4.07	287	133.4	151	243	2788	1386	1.24
2	160.4	4.39	183	127.8	159	257	2826	1336	1.26
3	160.6	5.12	131	129.6	166	269	2926	1306	1.34
4	161.3	5.79	234	130.9	169	275	3013	1313	1.40

## 5.3 – Cercetări de laborator privind desulfurarea umedă 115

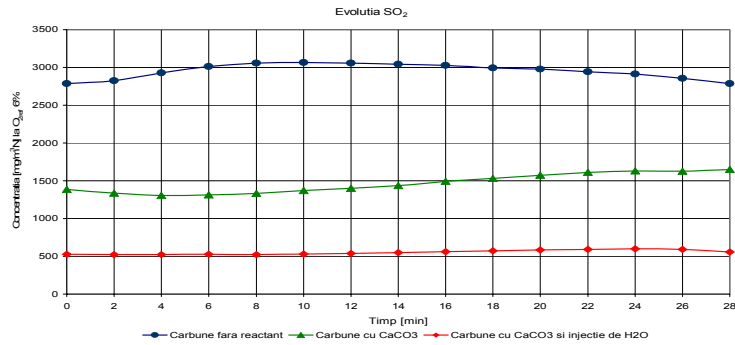
5	160.2	6.34	286	132.0	176	283	3059	1333	1.44
6	159.7	6.85	225	135.5	183	298	3067	1369	1.49
7	160.3	7.21	167	141.4	191	310	3057	1401	1.53
8	160.5	7.53	277	147.1	196	317	3040	1435	1.56
9	159.8	7.93	306	150.7	197	320	3026	1492	1.61
10	159.9	8.11	241	148.0	195	317	2992	1532	1.63
11	159.5	8.37	162	147.1	194	314	2975	1574	1.65
12	159.5	8.67	135	146.9	194	314	2944	1612	1.70
13	162.7	8.9	135	153.3	196	318	2911	1629	1.74
14	159	9.01	117	170.4	203	328	2856	1626	1.74
15	158.5	9.05	102	185.5	212	342	2787	1649	1.75
<b>Media</b>	<b>160.2</b>	<b>7.2</b>	<b>199.3</b>	<b>145.3</b>	<b>185.4</b>	<b>300.4</b>	<b>2951.0</b>	<b>1466.1</b>	<b>1.54</b>

\*)  $O_{2\text{ ref}}=6\%$ **Tab.5.9. 4d: Valori raportate la  $O_{2\text{ ref}}$  după SEGA**

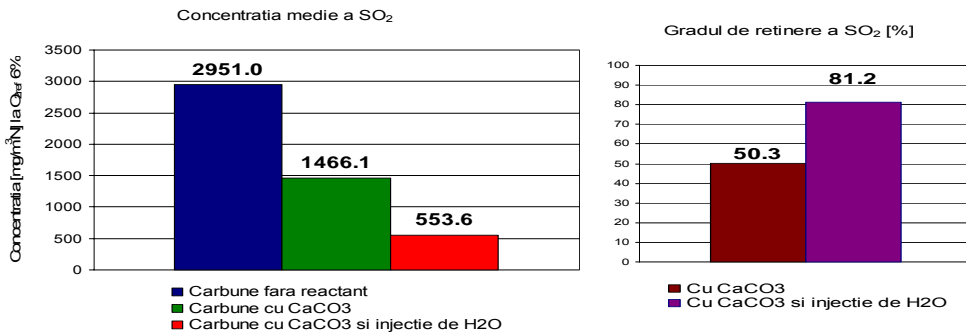
Iesire	T	$O_2$	$C_{CO^*}$	$C_{CO_2^*}$	$C_{NO^*}$	$C_{NOx^*}$	$^3)C_{SO_2^*}$	$\lambda$
Nr. Crt.	$^{\circ}C$	%	$mg/m^3N$	$g/m^3N$	$mg/m^3N$	$mg/m^3N$	$mg/m^3N$	-
1	49.9	4.02	211	136.3	136	221	526	1.24
2	49.9	4.04	218	122.4	136	221	524	1.24
3	50	4.05	201	115.7	137	221	525	1.24
4	50.1	4.28	179	113.6	140	226	527	1.26
5	50	4.46	176	113.0	141	229	525	1.27
6	50.1	4.7	186	113.5	143	232	530	1.29
7	50	5.09	186	115.9	145	236	537	1.32
8	50	5.48	174	118.2	148	240	548	1.35
9	49.9	5.87	183	120.9	153	248	559	1.39
10	49.7	6.38	201	125.7	158	257	573	1.44
11	50	6.76	201	129.0	161	261	585	1.48
12	49.9	7.13	188	132.5	165	268	592	1.51
13	49.7	7.55	170	136.2	169	274	601	1.56
14	49.8	7.88	150	137.4	170	277	593	1.51
15	49.7	8.22	138	140.3	173	279	559	1.63
<b>Media</b>	<b>49.9</b>	<b>5.7</b>	<b>184.3</b>	<b>124.7</b>	<b>151.8</b>	<b>246.0</b>	<b>553.6</b>	<b>1.38</b>

\*)  $O_{2\text{ ref}}=6\%$ **Obs:**

- 1) – valorile  $SO_2$ -lui la arderea carbunelui
- 2) – valorile  $SO_2$ -lui la arderea carbunelui in amestec cu  $CaCO_3$
- 3) – valorile  $SO_2$ -lui la arderea carbunelui in amestec cu  $CaCO_3$  și injecție de  $H_2O$  in scruber



**Fig5.5. 4a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.5. 4b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

**SET 5**

Cărbune: Lignit Gârdoaia  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: -----

**Tab.5.10. 5a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	134.5	4.14	404	14.39	97	102	650	1,25

2	134.2	3.49	403	15	97	102	652	1,2
3	134.1	3.01	402	15.42	97	102	654	1,17
4	134.1	2.74	403	15.65	98	103	655	1,15
5	134.3	2.5	404	15.86	98	103	654	1,14
6	134.1	2.23	407	16.19	99	104	652	1,12
7	133.8	2.11	435	16.12	99	104	647	1,11
8	133.3	2.02	441	16.27	98	103	646	1,11
9	133.8	1.99	433	16.29	98	103	649	1,11
10	133.8	1.94	420	16.34	96	101	654	1,10
11	133.9	1.83	413	16.43	96	100	659	1,1
12	133.5	1.81	411	16.45	95	100	661	1,1
13	133.7	1.87	421	16.4	94	98	660	1,1
14	133.7	1.87	420	16.4	93	98	658	1,1
15	133.8	1.77	415	16.48	94	98	656	1,1
<b>Media</b>	<b>133.9</b>	<b>2.3</b>	<b>415.5</b>	<b>16.0</b>	<b>96.6</b>	<b>101.4</b>	<b>653.8</b>	<b>1,13</b>

Tab.5.10. 5b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	54	3.44	395	15.02	75	79	421	1,21
2	53.8	2.72	394	16.04	78	82	444	1,16
3	54	2.34	394	16.09	80	85	466	1,14
4	54.1	2.05	393	16.12	81	85	488	1,13
5	54.2	1.98	393	16.12	83	87	508	1,12
6	54.1	2.4	393	16.11	85	89	524	1,15
7	54	2.66	394	16.12	85	89	542	1,15
8	54.1	2.82	401	15.22	85	90	553	1,15
9	54.1	2.35	408	16.13	86	90	557	1,14
10	54.3	1.88	412	16.15	86	90	570	1,14
11	54	1.89	412	16.13	87	91	577	1,13
12	54.1	2.35	410	16.11	87	92	582	1,15
13	54.3	2.97	408	16.1	87	91	587	1,15
14	54.3	2.85	407	15.69	88	92	590	1,15
15	54.3	1.9	406	15.44	88	92	595	1,13
<b>Media</b>	<b>54.1</b>	<b>2.4</b>	<b>401.3</b>	<b>15.9</b>	<b>84.1</b>	<b>88.3</b>	<b>533.6</b>	<b>1,15</b>

Tab.5.10. 5c: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> înainte de SEGA

Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	134.5	4.14	449	250.9	115	186	1648	1.25

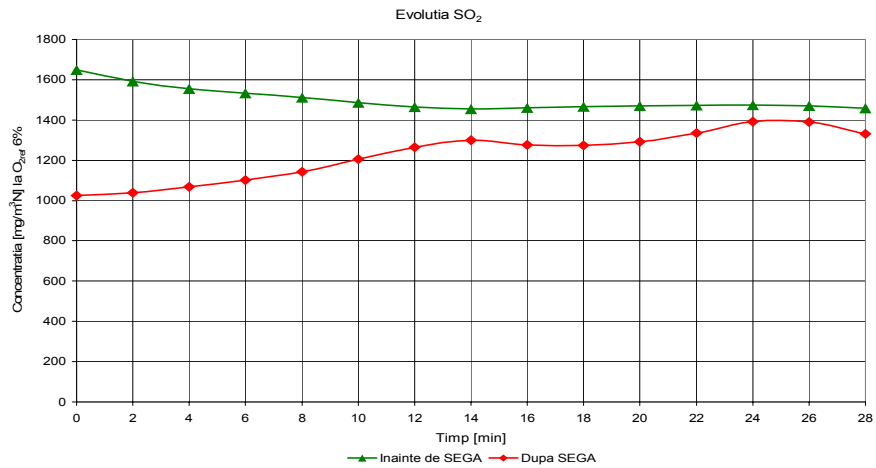
## 118 Cercetări privind reducerea concentrației bioxidului de sulf - 5

2	134.2	3.49	432	251.9	111	179	1592	1.20
3	134.1	3.01	419	252.0	108	174	1554	1.17
4	134.1	2.74	414	252.0	107	173	1533	1.15
5	134.3	2.5	409	252.0	106	171	1511	1.14
6	134.1	2.23	407	253.6	105	170	1485	1.12
7	133.8	2.11	432	250.9	105	169	1464	1.11
8	133.3	2.02	436	252.0	103	167	1455	1.11
9	133.8	1.99	427	251.9	103	167	1459	1.11
10	133.8	1.94	413	252.0	100	163	1467	1.10
11	133.9	1.83	404	252.0	100	160	1470	1.10
12	133.5	1.81	402	252.0	99	160	1473	1.09
13	133.7	1.87	413	252.0	98	158	1475	1.10
14	133.7	1.87	412	252.0	97	158	1470	1.10
15	133.8	1.77	405	252.0	98	157	1458	1.09
<b>Media</b>	<b>133.9</b>	<b>2.3</b>	<b>418.1</b>	<b>252.0</b>	<b>103.5</b>	<b>167.5</b>	<b>1501.0</b>	<b>1.13</b>

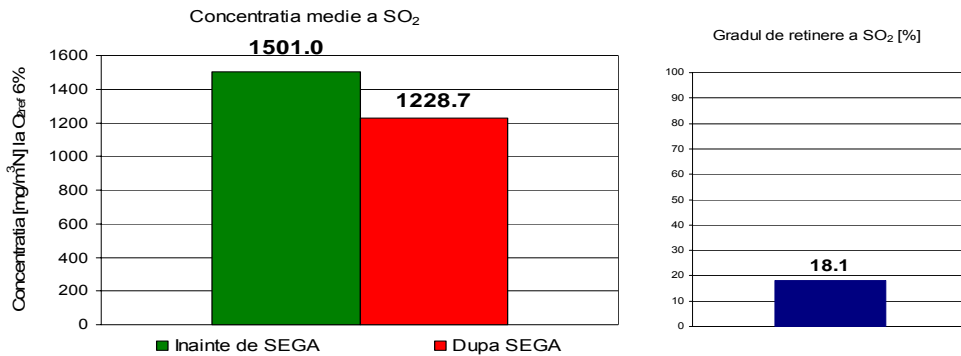
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%Tab.5.10. 5d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	54	3.44	422	251.5	85	138	1025	1.21
2	53.8	2.72	404	258.0	85	138	1038	1.17
3	54	2.34	396	253.5	86	140	1068	1.14
4	54.1	2.05	389	250.1	85	138	1101	1.13
5	54.2	1.98	387	249.2	87	141	1142	1.12
6	54.1	2.4	396	254.6	91	147	1204	1.15
7	54	2.66	403	258.4	92	149	1263	1.15
8	54.1	2.82	414	246.1	93	152	1300	1.15
9	54.1	2.35	410	254.3	92	148	1277	1.14
10	54.3	1.88	404	248.3	90	145	1274	1.14
11	54	1.89	404	248.2	91	146	1291	1.13
12	54.1	2.35	412	254.0	93	152	1334	1.15
13	54.3	2.97	424	262.5	96	155	1392	1.15
14	54.3	2.85	420	254.2	97	156	1390	1.15
15	54.3	1.9	399	237.7	92	148	1332	1.13
<b>Media</b>	<b>54.1</b>	<b>2.4</b>	<b>405.6</b>	<b>252.0</b>	<b>90.4</b>	<b>146.3</b>	<b>1228.7</b>	<b>1.15</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%



**Fig.5.5. 5a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.5. 5b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

**SET 6**

Cărbune: Lignit Gârdoaia  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: Injecție soluție cu 1,5% Ca(OH)<sub>2</sub>

**Tab.5.11. 6a: Valori măsurate inainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	278.3	7	331	12	114	119	508	1,50

2	282.2	7.05	234	11.96	118	123	509	1,51
3	282.4	6.74	183	12.22	126	132	507	1,47
4	279.9	5.3	262	13.46	143	150	505	1,34
5	280.5	5.26	296	13.49	140	147	505	1,33
6	281.7	5.99	242	12.87	130	136	510	1,4
7	282.8	6.07	195	12.8	132	139	514	1,41
8	283.3	4.96	271	13.75	149	156	513	1,31
9	282.8	4.65	285	14.02	148	155	516	1,28
10	285.3	5.01	238	13.7	142	149	524	1,31
11	283.8	5.55	181	13.24	138	145	542	1,36
12	282.9	5.22	161	13.53	150	157	558	1,33
13	283.4	5.53	159	13.26	147	154	571	1,36
14	287.2	5.95	147	12.9	140	147	581	1,4
15	287.2	6.32	137	12.58	136	142	583	1,43
<b>Media</b>	<b>282.9</b>	<b>5.8</b>	<b>221.5</b>	<b>13.1</b>	<b>136.9</b>	<b>143.4</b>	<b>529.7</b>	<b>1,38</b>

Tab.5.11. 6b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1	61.4	7.04	233	11.97	106	112	158	1,50
2	61.3	7.09	239	11.93	105	111	152	1,51
3	61.6	7.13	224	11.89	106	111	144	1,51
4	61.8	7.07	202	11.94	108	113	138	1,51
5	61.8	6.61	197	12.33	113	119	133	1,46
6	61.9	6.28	204	12.62	119	124	131	1,43
7	62	6.2	200	12.69	119	125	131	1,42
8	62.1	6.13	186	12.75	120	126	133	1,41
9	62.2	5.92	190	12.92	124	130	135	1,39
10	62.2	5.63	199	13.17	127	134	137	1,37
11	62.1	5.46	195	13.32	128	135	144	1,35
12	62.3	5.48	181	13.31	129	135	156	1,35
13	62.3	5.49	164	13.29	129	136	164	1,35
14	62.3	5.56	147	13.23	131	137	171	1,36
15	62.5	5.72	136	13.1	130	137	178	1,37
<b>Media</b>	<b>62.0</b>	<b>6.2</b>	<b>193.1</b>	<b>12.7</b>	<b>119.6</b>	<b>125.7</b>	<b>147.0</b>	<b>1,42</b>

Tab.5.11. 6c: Valori raportate la O<sub>2</sub> ref înainte de SEGA

Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	278.3	7	443	252.0	162	261	1551	1.50



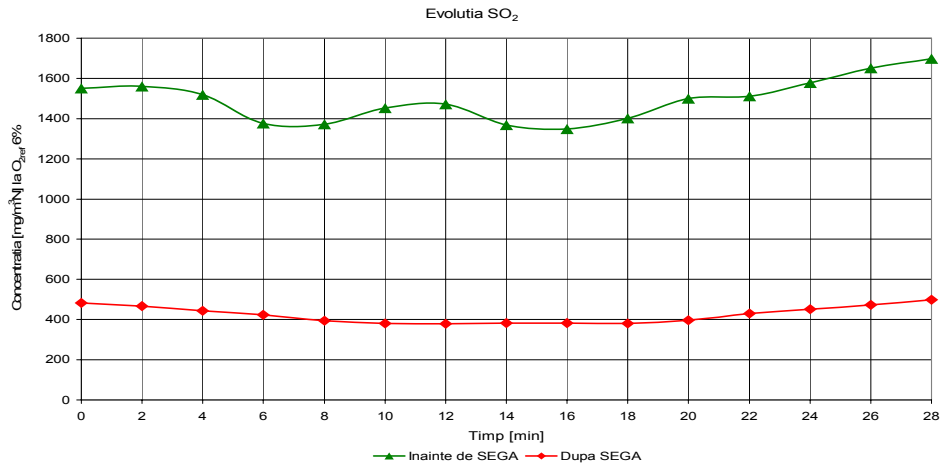
## 5.3 – Cercetări de laborator privind desulfurarea umedă 121

2	282.2	7.05	315	252.1	169	271	1560	1.51
3	282.4	6.74	241	251.9	176	285	1520	1.47
4	279.9	5.3	313	252.1	182	294	1375	1.34
5	280.5	5.26	353	252.0	177	287	1372	1.33
6	281.7	5.99	302	252.1	173	279	1453	1.40
7	282.8	6.07	245	252.1	176	286	1472	1.41
8	283.3	4.96	317	252.0	185	299	1367	1.31
9	282.8	4.65	327	252.1	181	292	1349	1.28
10	285.3	5.01	279	251.9	177	287	1401	1.31
11	283.8	5.55	220	251.9	178	289	1500	1.36
12	282.9	5.22	191	252.1	190	306	1512	1.33
13	283.4	5.53	193	252.0	190	306	1578	1.36
14	287.2	5.95	183	252.0	186	300	1650	1.40
15	287.2	6.32	175	251.9	185	297	1698	1.43
<b>Media</b>	<b>282.9</b>	<b>5.8</b>	<b>273.0</b>	<b>252.0</b>	<b>179.1</b>	<b>289.2</b>	<b>1490.4</b>	<b>1.38</b>

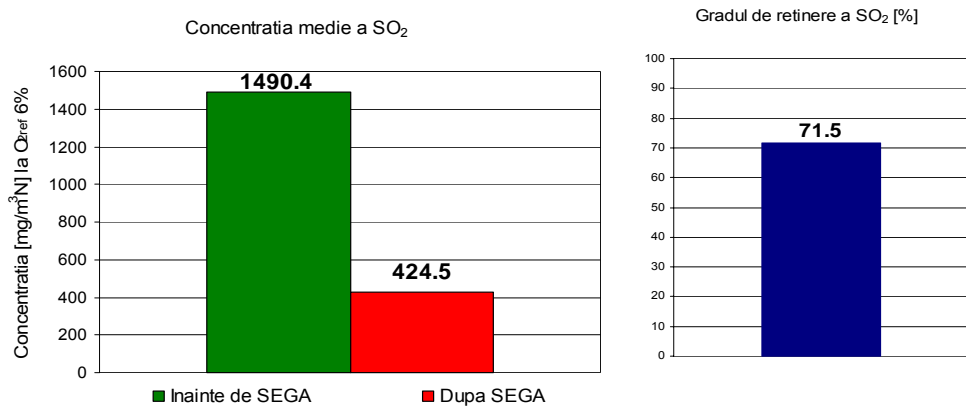
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%Tab.5.11. 6d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	61.4	7.04	313	252.1	151	247	484	1.50
2	61.3	7.09	322	252.2	151	245	467	1.51
3	61.6	7.13	303	252.0	152	246	444	1.51
4	61.8	7.07	272	252.0	155	249	424	1.51
5	61.8	6.61	257	251.9	157	254	395	1.46
6	61.9	6.28	260	252.1	161	259	380	1.43
7	62	6.2	253	252.1	160	260	378	1.42
8	62.1	6.13	235	252.1	161	261	382	1.41
9	62.2	5.92	236	251.9	164	265	383	1.39
10	62.2	5.63	243	251.9	165	268	381	1.37
11	62.1	5.46	235	252.0	164	267	396	1.35
12	62.3	5.48	219	252.1	166	267	430	1.35
13	62.3	5.49	198	251.9	166	270	452	1.35
14	62.3	5.56	179	251.9	169	273	473	1.36
15	62.5	5.72	167	252.1	170	276	498	1.37
<b>Media</b>	<b>62.0</b>	<b>6.2</b>	<b>246.1</b>	<b>252.0</b>	<b>160.8</b>	<b>260.5</b>	<b>424.5</b>	<b>1.42</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%



**Fig.5.6. 6a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.6. 6b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

**SET 7**

Cărbune: Lignit Gârdoaia  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: Injecție soluție cu 1,5% NaOH

**Tab.5.12 7a: Valori măsurate inainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1	314.6	5.73	188	13.09	127	134	545	37.5
2	314.3	6.21	184	12.67	121	127	543	42

3	315	6.62	181	12.32	115	120	541	46.1
4	314.1	6.91	176	12.08	109	115	538	49
5	313.6	7.04	171	11.97	108	114	530	50.4
6	315.2	7.16	167	11.87	106	111	524	51.7
7	314.5	6.6	163	12.34	111	117	518	45.9
8	313.6	6.77	159	12.2	112	117	513	47.6
9	312.6	6.89	155	12.1	114	119	510	48.8
10	313.2	7.12	154	11.9	111	117	507	51.2
11	312.7	7.14	153	11.88	110	115	501	51.5
12	313	7.35	152	11.7	105	111	497	53.9
13	312	7.7	148	11.4	99	104	493	57.9
14	312.6	7.19	147	11.84	104	109	489	52.1
15	312.7	7.23	150	11.8	107	112	485	52.5
<b>Media</b>	<b>313.6</b>	<b>6.9</b>	<b>163.2</b>	<b>12.1</b>	<b>110.6</b>	<b>116.1</b>	<b>515.6</b>	<b>49.2</b>

Tab.5.12. 7b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1	63.4	5.92	157	12.93	114	120	72	39.2
2	63.5	5.96	155	12.89	115	121	71	39.6
3	63.3	6.14	153	12.74	113	119	70	41.3
4	63.4	6.36	151	12.55	112	117	69	43.5
5	63.3	6.67	148	12.29	109	114	67	46.5
6	63.2	6.89	144	12.1	105	110	67	48.8
7	63.4	7	142	12	104	109	66	50
8	63.4	7	137	12	103	108	66	50
9	63.3	6.97	135	12.02	104	109	67	49.7
10	63.4	7.02	132	11.98	104	109	67	50.2
11	63.2	7.13	129	11.89	104	109	67	51.4
12	63.3	7.23	126	11.8	103	109	67	52.5
13	63.3	7.36	125	11.7	101	106	66	53.9
14	63.2	7.53	122	11.55	98	103	66	55.9
15	63.2	7.56	120	11.52	98	102	66	56.3
<b>Media</b>	<b>63.3</b>	<b>6.8</b>	<b>138.4</b>	<b>12.1</b>	<b>105.8</b>	<b>111.0</b>	<b>67.6</b>	<b>48.6</b>

Tab.5.12. 7c: Valori raportate la O<sub>2</sub> ref înainte de SEGA

Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-

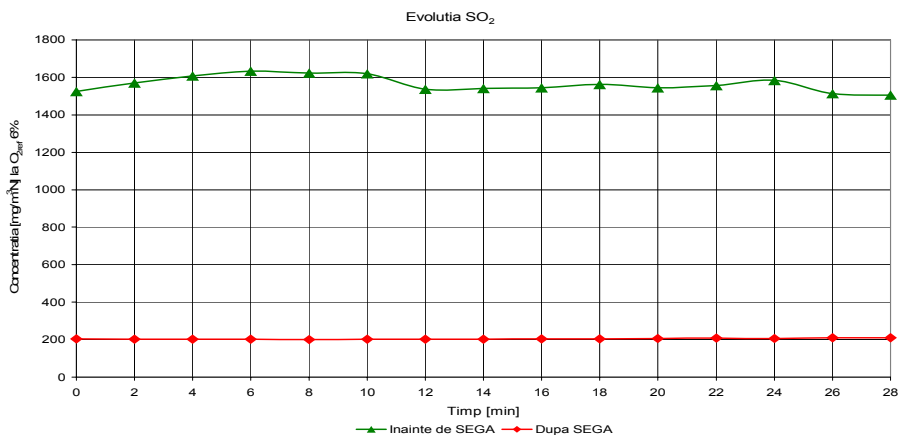
## 124 Cercetări privind reducerea concentrației bioxidului de sulf - 5

1	314.6	5.73	231	252.0	166	270	1526	1.38
2	314.3	6.21	233	251.9	163	264	1570	1.42
3	315	6.62	236	251.9	160	257	1608	1.46
4	314.1	6.91	234	252.1	154	251	1632	1.49
5	313.6	7.04	230	252.1	154	251	1623	1.50
6	315.2	7.16	226	252.2	153	247	1619	1.52
7	314.5	6.6	212	251.9	154	250	1538	1.46
8	313.6	6.77	210	252.1	157	253	1541	1.48
9	312.6	6.89	206	252.1	161	259	1545	1.49
10	313.2	7.12	208	252.1	160	259	1562	1.51
11	312.7	7.14	207	252.0	158	255	1545	1.52
12	313	7.35	209	252.0	153	250	1557	1.54
13	312	7.7	209	252.0	149	240	1585	1.58
14	312.6	7.19	200	252.1	150	243	1514	1.52
15	312.7	7.23	204	251.9	155	250	1506	1.53
<b>Media</b>	<b>313.6</b>	<b>6.9</b>	<b>216.9</b>	<b>252.0</b>	<b>156.5</b>	<b>253.3</b>	<b>1564.6</b>	<b>1.49</b>

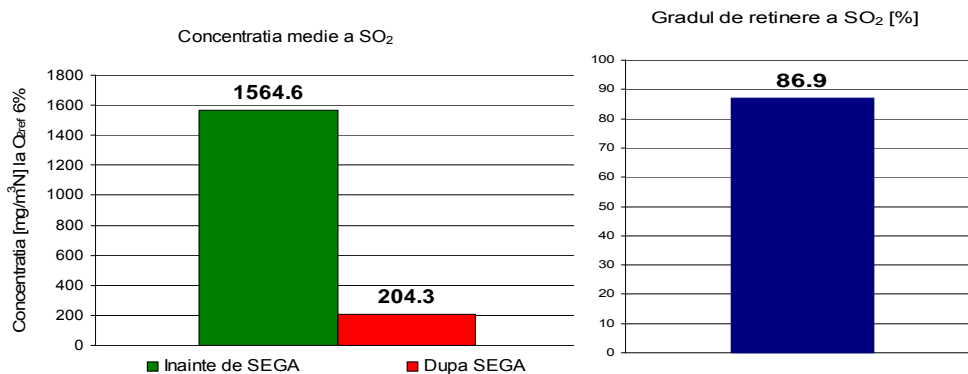
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%Tab.5.12. 7d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	63.4	5.92	195	252.1	151	245	204	1.39
2	63.5	5.96	193	252.0	153	247	202	1.40
3	63.3	6.14	193	252.1	152	246	201	1.41
4	63.4	6.36	193	252.0	153	246	201	1.44
5	63.3	6.67	194	252.1	152	245	200	1.47
6	63.2	6.89	191	252.1	148	240	203	1.49
7	63.4	7	190	252.0	148	239	202	1.50
8	63.4	7	183	252.0	147	237	202	1.50
9	63.3	6.97	180	251.9	148	239	204	1.50
10	63.4	7.02	177	251.9	148	240	205	1.50
11	63.2	7.13	174	252.0	150	242	207	1.51
12	63.3	7.23	172	251.9	149	243	208	1.53
13	63.3	7.36	172	252.2	148	239	207	1.54
14	63.2	7.53	170	252.1	145	235	209	1.56
15	63.2	7.56	167	252.0	145	233	210	1.56
<b>Media</b>	<b>63.3</b>	<b>6.8</b>	<b>183.1</b>	<b>252.0</b>	<b>149.1</b>	<b>241.1</b>	<b>204.3</b>	<b>1.49</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%



**Fig.5.7. 7a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.7. 7b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

**SET 8**

Cărbune: Lignit Gârdoaia  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: Injecție soluție cu 2,5% NaOH

**Tab.5.13. 8a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%

1	282.2	6.81	151	12.16	128	135	549	48
2	282.9	6.68	151	12.27	129	136	547	46.7
3	280.9	6.54	154	12.4	130	137	545	45.2
4	280.9	6.61	155	12.34	130	137	542	45.9
5	282.1	6.84	154	12.14	127	133	539	48.3
6	280	7.1	151	11.91	126	132	536	51.1
7	280.3	6.77	151	12.19	131	138	531	47.6
8	281.4	6.5	156	12.43	136	143	528	44.8
9	280.2	6.67	153	12.28	138	144	529	46.5
10	280.4	6.36	149	12.55	143	150	532	43.5
11	278.2	6.19	150	12.69	144	151	534	41.8
12	278.4	6.45	149	12.47	143	150	537	44.4
13	278.9	6.77	146	12.2	140	147	541	47.6
14	278.7	7.1	141	11.92	138	144	540	51
15	279.1	6.92	141	12.06	138	144	538	49.2
<b>Media</b>	<b>280.3</b>	<b>6.7</b>	<b>150.1</b>	<b>12.3</b>	<b>134.7</b>	<b>141.4</b>	<b>537.9</b>	<b>46.8</b>

Tab.5.13. 8b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1	61.9	7.44	136	11.62	116	122	51	54.9
2	62	7.38	137	11.67	117	122	50	54.2
3	61.9	7.31	137	11.74	118	124	50	53.4
4	62.1	7.23	138	11.8	118	124	50	52.5
5	62	7.18	139	11.85	118	124	49	51.9
6	62.2	7.18	140	11.85	119	125	48	51.9
7	62.2	7.28	139	11.76	118	124	48	53.1
8	62.2	7.27	138	11.77	119	125	48	52.9
9	62.2	7.21	139	11.82	121	127	47	52.3
10	62.2	7.17	139	11.85	123	129	48	51.9
11	62.4	7.11	138	11.91	125	131	48	51.2
12	62.4	6.99	137	12.01	128	134	48	49.8
13	62.3	6.96	136	12.03	129	135	49	49.6
14	62.2	7.04	134	11.97	129	136	49	50.4
15	62.1	7.14	133	11.88	129	135	49	51.5
<b>Media</b>	<b>62.2</b>	<b>7.2</b>	<b>137.3</b>	<b>11.8</b>	<b>121.8</b>	<b>127.8</b>	<b>48.8</b>	<b>52.1</b>

Tab.5.13 8c: Valori raportate la O<sub>2</sub> ref inainte de SEGA

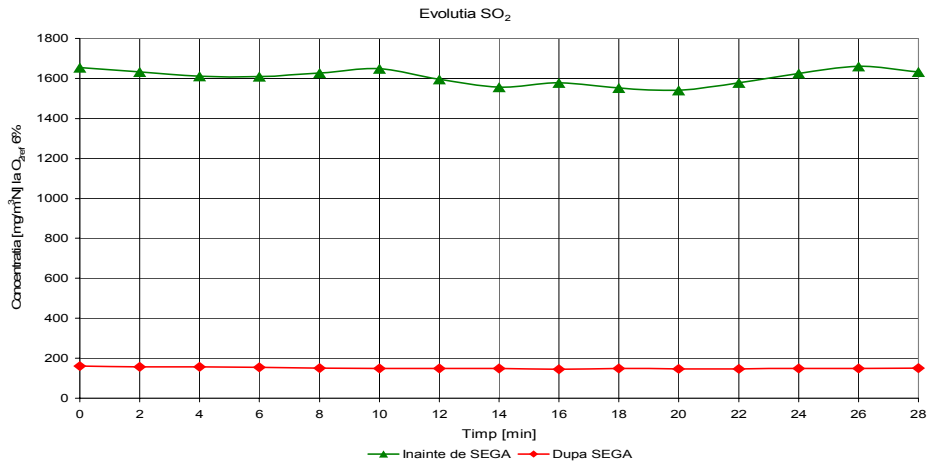
Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-

1	282.2	6.81	200	251.9	180	293	1654	1.48
2	282.9	6.68	198	251.9	180	292	1633	1.47
3	280.9	6.54	200	252.1	179	291	1611	1.45
4	280.9	6.61	202	252.1	180	293	1610	1.46
5	282.1	6.84	204	252.1	179	289	1627	1.48
6	280	7.1	204	251.9	181	292	1648	1.51
7	280.3	6.77	199	251.9	184	298	1595	1.48
8	281.4	6.5	202	252.0	187	303	1557	1.45
9	280.2	6.67	200	251.9	192	309	1578	1.47
10	280.4	6.36	191	252.0	195	315	1553	1.44
11	278.2	6.19	190	251.9	194	314	1541	1.42
12	278.4	6.45	192	252.0	196	317	1578	1.44
13	278.9	6.77	192	252.1	196	318	1625	1.48
14	278.7	7.1	190	252.1	198	319	1661	1.51
15	279.1	6.92	188	251.8	196	314	1633	1.49
<b>Media</b>	<b>280.3</b>	<b>6.7</b>	<b>196.7</b>	<b>252.0</b>	<b>187.8</b>	<b>303.8</b>	<b>1607.1</b>	<b>1.47</b>

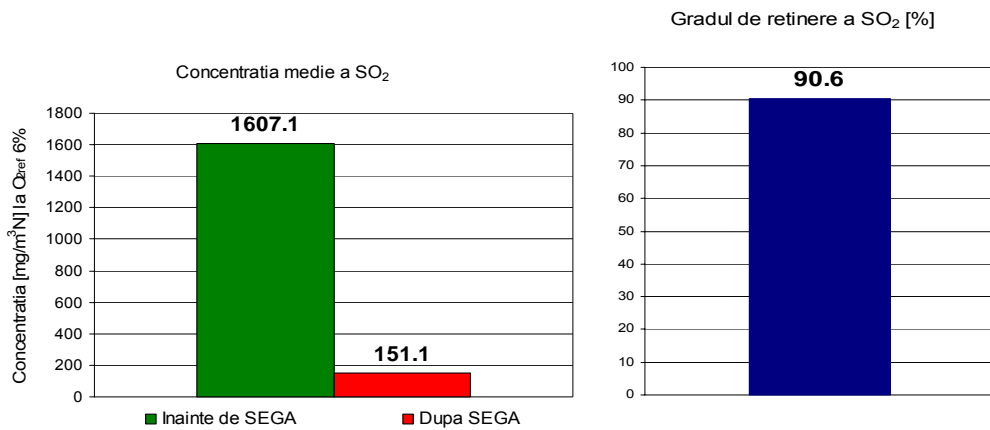
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%Tab.5.13. 8d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	61.9	7.44	188	251.9	171	277	161	1.55
2	62	7.38	189	251.9	171	275	157	1.54
3	61.9	7.31	188	252.1	172	279	156	1.53
4	62.1	7.23	188	251.9	171	277	155	1.53
5	62	7.18	189	252.1	170	276	152	1.52
6	62.2	7.18	190	252.1	172	278	148	1.52
7	62.2	7.28	190	252.0	172	278	150	1.53
8	62.2	7.27	188	252.0	173	280	149	1.53
9	62.2	7.21	189	252.0	175	283	146	1.52
10	62.2	7.17	188	251.9	177	287	148	1.52
11	62.4	7.11	186	252.1	180	290	148	1.51
12	62.4	6.99	183	252.0	182	294	146	1.50
13	62.3	6.96	182	251.9	183	296	149	1.50
14	62.2	7.04	180	252.1	184	300	150	1.50
15	62.1	7.14	180	252.0	186	300	151	1.52
<b>Media</b>	<b>62.2</b>	<b>7.2</b>	<b>186.5</b>	<b>252.0</b>	<b>175.9</b>	<b>284.6</b>	<b>151.1</b>	<b>1.52</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%



**Fig.5.8. 8a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.8. 8b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

**SET 9**

Cărbune: Lignit Valea Copcii  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: -----

**Tab.5.14. 9a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%



1	158.8	5.82	356	13.01	138	145	1397	38.3
2	158.7	5.99	258	12.87	140	147	1410	39.9
3	158.3	6.19	206	12.69	143	150	1421	41.8
4	158.1	6.36	282	12.55	144	152	1432	43.4
5	159.5	6.5	316	12.43	145	152	1440	44.8
6	158.8	6.68	263	12.27	145	153	1448	46.6
7	162.8	6.54	218	12.39	146	153	1453	45.2
8	157	5.84	296	12.99	140	147	1465	38.6
9	158.4	4.77	304	13.91	135	141	1495	29.4
10	157.6	3.83	259	14.71	131	138	1543	22.3
11	159.2	3.01	208	15.42	125	131	1617	16.7
12	159	2.78	180	15.62	119	125	1643	15.2
13	158.8	3.04	179	15.39	118	124	1692	16.9
14	158.9	3.46	171	15.03	121	127	1733	19.7
15	158.7	4.03	161	14.55	125	131	1742	23.7
<b>Media</b>	<b>158.8</b>	<b>5.0</b>	<b>243.8</b>	<b>13.7</b>	<b>134.3</b>	<b>141.1</b>	<b>1528.7</b>	<b>32.2</b>

Tab5.14. 9b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1	54.2	5.85	241	12.98	115	121	1090	38.6
2	54.2	6.01	247	12.85	116	122	1090	40.1
3	54.3	6.16	233	12.72	117	122	1092	41.5
4	54.3	6.25	207	12.64	117	123	1094	42.4
5	54	6.29	206	12.61	119	125	1098	42.8
6	54.1	6.51	209	12.42	118	124	1101	45
7	54.2	6.73	205	12.23	119	125	1103	47.1
8	54.2	6.99	191	12.01	119	125	1106	49.8
9	54.2	7.07	199	11.94	119	125	1108	50.8
10	54.2	7.19	208	11.83	119	125	1112	52.1
11	54.1	7.08	200	11.93	120	126	1120	50.8
12	54.4	6.97	185	12.02	120	126	1133	49.7
13	54.5	6.66	173	12.29	118	124	1142	46.5
14	54.5	6.28	147	12.61	117	123	1162	42.7
15	54.5	5.98	144	12.87	115	121	1177	39.8
<b>Media</b>	<b>54.3</b>	<b>6.5</b>	<b>199.7</b>	<b>12.4</b>	<b>117.9</b>	<b>123.8</b>	<b>1115.2</b>	<b>45.3</b>

Tab5.14. 9c: Valori raportate la O<sub>2</sub> ref inainte de SEGA

Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-

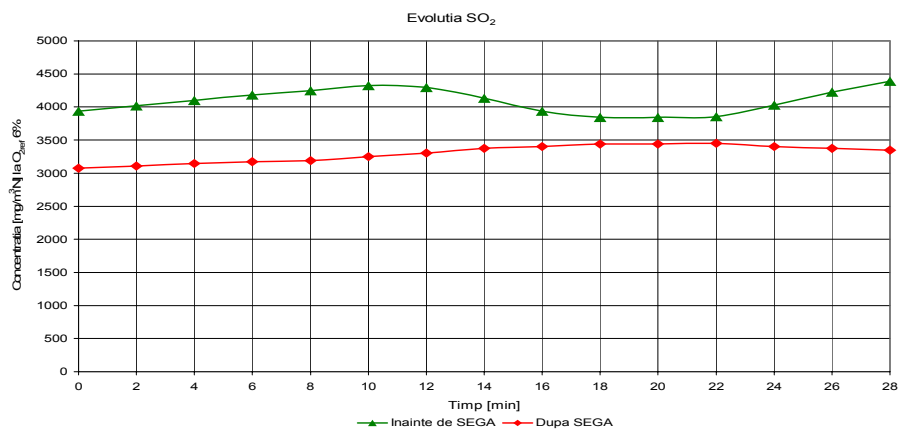
## 130 Cercetări privind reducerea concentrației bioxidului de sulf - 5

1	158.8	5.82	440	252.0	181	294	3934	1.38
2	158.7	5.99	322	252.1	186	301	4016	1.40
3	158.3	6.19	261	251.9	193	311	4102	1.42
4	158.1	6.36	361	252.0	196	319	4182	1.43
5	159.5	6.5	409	252.0	200	322	4246	1.45
6	158.8	6.68	344	251.9	202	329	4323	1.47
7	162.8	6.54	283	251.9	201	325	4296	1.45
8	157	5.84	366	251.9	184	298	4131	1.39
9	158.4	4.77	351	252.0	166	267	3938	1.29
10	157.6	3.83	283	251.9	152	247	3842	1.22
11	159.2	3.01	217	252.0	139	224	3843	1.17
12	159	2.78	185	252.0	130	211	3855	1.15
13	158.8	3.04	187	251.9	131	212	4027	1.17
14	158.9	3.46	183	251.9	138	223	4224	1.20
15	158.7	4.03	178	252.1	147	237	4388	1.24
<b>Media</b>	<b>158.8</b>	<b>5.0</b>	<b>291.3</b>	<b>252.0</b>	<b>169.7</b>	<b>274.8</b>	<b>4089.7</b>	<b>1.32</b>

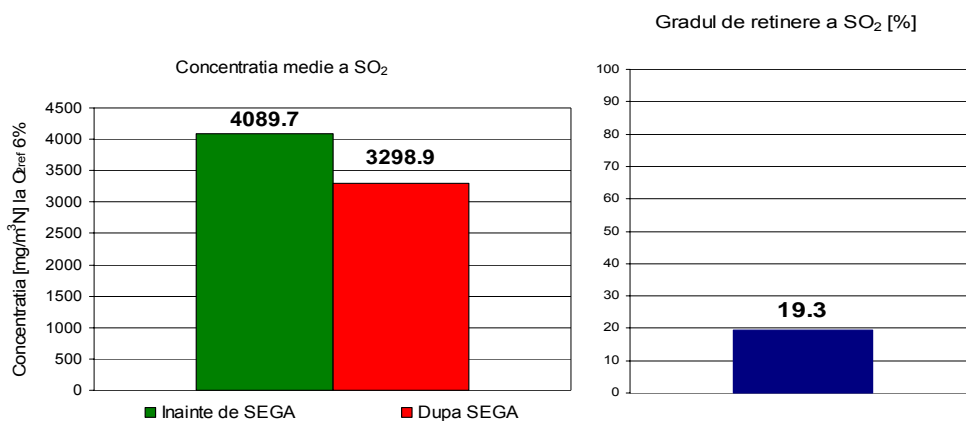
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%Tab.5.14. 9d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	54.2	5.85	298	251.9	151	246	3076	1.39
2	54.2	6.01	309	252.0	154	250	3109	1.40
3	54.3	6.16	294	252.0	157	253	3146	1.42
4	54.3	6.25	263	251.9	158	256	3171	1.42
5	54	6.29	263	252.0	161	261	3191	1.43
6	54.1	6.51	270	252.0	162	263	3248	1.45
7	54.2	6.73	269	252.0	166	269	3304	1.47
8	54.2	6.99	256	252.0	169	274	3375	1.50
9	54.2	7.07	268	252.0	170	276	3400	1.51
10	54.2	7.19	282	251.8	172	278	3442	1.52
11	54.1	7.08	269	252.0	172	278	3440	1.51
12	54.4	6.97	247	251.9	171	276	3452	1.50
13	54.5	6.66	226	252.0	164	266	3404	1.47
14	54.5	6.28	187	251.9	159	257	3375	1.43
15	54.5	5.98	180	251.9	153	248	3350	1.40
<b>Media</b>	<b>54.3</b>	<b>6.5</b>	<b>258.9</b>	<b>252.0</b>	<b>162.8</b>	<b>263.5</b>	<b>3298.9</b>	<b>1.45</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%



**Fig.5.9. 9a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.9. 9b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

#### SET 10

Cărbune: Lignit Valea Copcii  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: Injecție soluție cu 1,5% NaOH

**Tab.5.15. 10a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1	250.7	9.77	36	9.62	154	162	1596	87.1

2	251.3	9.93	35	9.49	154	162	1593	89.7
3	251	10.3	34	9.17	150	158	1583	96.3
4	252	10.05	35	9.39	150	158	1560	91.7
5	252.2	10.16	36	9.29	149	156	1548	93.7
6	250.7	10.05	39	9.39	146	153	1540	91.7
7	250.5	8.78	67	10.47	143	150	1547	71.9
8	249.4	8.59	73	10.64	143	150	1582	69.2
9	249.6	8.9	65	10.37	144	151	1627	73.6
10	251.6	9.41	52	9.93	146	153	1655	81.2
11	249.3	9.88	45	9.53	146	153	1651	88.9
12	249.6	9.86	43	9.55	145	152	1630	88.6
13	249.5	9.25	53	10.07	144	151	1617	78.8
14	248.5	9.6	52	9.77	143	150	1625	84.3
15	248.4	9.92	47	9.5	142	149	1624	89.5
<b>Media</b>	<b>250.3</b>	<b>9.6</b>	<b>47.5</b>	<b>9.7</b>	<b>146.6</b>	<b>153.9</b>	<b>1598.5</b>	<b>85.1</b>

Tab.5.15. 10b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1	60	9.88	28	9.53	138	145	198	88.8
2	60	9.94	27	9.48	139	145	200	89.9
3	60	10.04	27	9.39	139	146	199	91.6
4	60	10.17	26	9.28	139	145	197	93.9
5	60.1	10.28	26	9.19	138	145	195	95.9
6	60.1	10.36	26	9.12	136	143	194	97.4
7	60.2	10.35	27	9.13	135	142	193	97.1
8	60.4	10.09	34	9.35	134	140	194	92.5
9	60.3	9.81	41	9.59	132	139	201	87.7
10	60.5	9.62	45	9.75	131	138	208	84.6
11	60.4	9.59	45	9.78	131	138	210	84.1
12	60.4	9.74	43	9.65	131	138	209	86.4
13	60.5	9.84	41	9.57	131	138	206	88.1
14	60.4	9.85	40	9.56	131	138	203	88.3
15	60.6	9.89	39	9.53	131	137	204	88.9
<b>Media</b>	<b>60.3</b>	<b>10.0</b>	<b>34.3</b>	<b>9.5</b>	<b>134.4</b>	<b>141.1</b>	<b>200.7</b>	<b>90.3</b>

Tab.5.15. 10c: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> înainte de SEGA

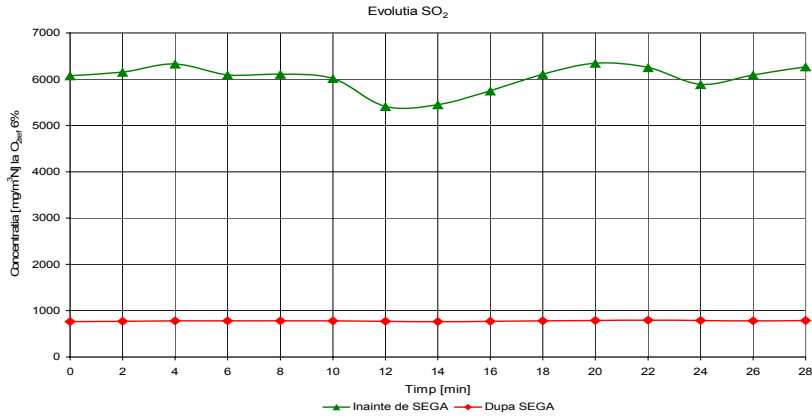
Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	250.7	9.77	60	251.9	274	444	6076	1.87

2	251.3	9.93	59	252.0	278	450	6152	1.90
3	251	10.3	60	252.0	280	454	6325	1.96
4	252	10.05	60	252.1	273	444	6090	1.92
5	252.2	10.16	62	252.0	274	443	6105	1.94
6	250.7	10.05	67	252.1	266	430	6012	1.92
7	250.5	8.78	103	251.9	233	377	5412	1.72
8	249.4	8.59	110	252.1	230	372	5450	1.69
9	249.6	8.9	101	252.0	237	384	5748	1.74
10	251.6	9.41	84	251.9	251	406	6105	1.81
11	249.3	9.88	76	252.0	262	423	6347	1.89
12	249.6	9.86	72	252.0	260	420	6255	1.89
13	249.5	9.25	85	252.0	244	395	5883	1.79
14	248.5	9.6	86	252.0	250	405	6094	1.84
15	248.4	9.92	80	252.1	256	414	6266	1.90
<b>Media</b>	<b>250.3</b>	<b>9.6</b>	<b>77.6</b>	<b>252.0</b>	<b>257.9</b>	<b>417.2</b>	<b>6021.3</b>	<b>1.85</b>

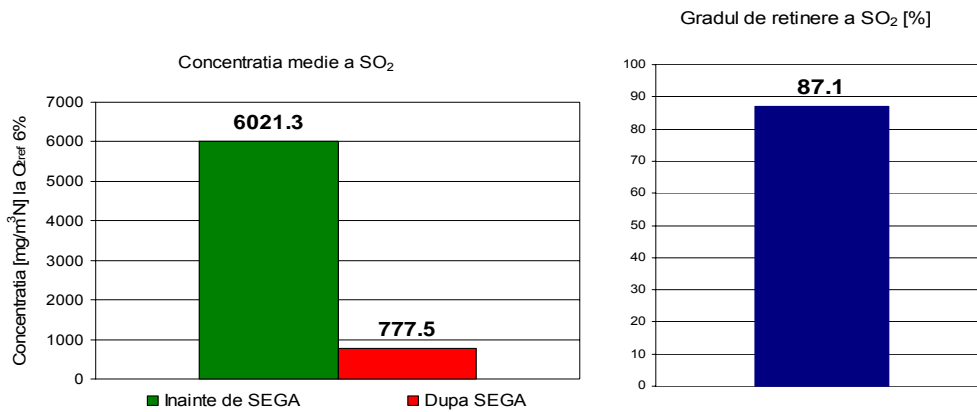
\*) O<sub>2 ref</sub>=6%**Tab.5.15. 10d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA**

Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	60	9.88	47	252.0	248	401	761	1.89
2	60	9.94	46	252.0	251	403	773	1.90
3	60	10.04	46	251.9	253	410	776	1.92
4	60	10.17	45	251.9	256	412	778	1.94
5	60.1	10.28	45	252.0	257	416	778	1.96
6	60.1	10.36	46	252.0	255	413	779	1.97
7	60.2	10.35	48	252.0	253	410	775	1.97
8	60.4	10.09	58	252.0	245	395	760	1.93
9	60.3	9.81	69	252.0	235	382	768	1.88
10	60.5	9.62	74	251.9	230	373	781	1.85
11	60.4	9.59	74	252.0	229	372	787	1.84
12	60.4	9.74	72	252.0	232	377	793	1.86
13	60.5	9.84	69	252.1	234	380	789	1.88
14	60.4	9.85	67	252.1	234	381	778	1.88
15	60.6	9.89	66	252.2	235	379	785	1.89
<b>Media</b>	<b>60.3</b>	<b>10.0</b>	<b>58.1</b>	<b>252.0</b>	<b>243.1</b>	<b>393.5</b>	<b>777.5</b>	<b>1.90</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%



**Fig.5.10. 10a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.9. 10b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

**SET 11**

Cărbune: Lignit Valea Copcii  
 Scruber: Injecție H<sub>2</sub>O  
 Reactor: Injecție soluție cu 2,5% Ca(OH)<sub>2</sub>

**Tab.5.16. 11a: Valori măsurate înainte de SEGA**

Intrare	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NOx	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1	151.8	8.07	148	11.08	133	139	1520	62.4
2	152.4	8.33	148	10.86	134	141	1512	65.8
3	152.3	8.24	151	10.93	136	143	1496	64.6

4	155.2	8.14	152	11.02	137	144	1489	63.3
5	151.5	8.04	151	11.11	140	147	1488	62
6	152.2	7.87	148	11.26	143	151	1495	59.9
7	151.9	7.26	148	11.78	141	148	1510	52.9
8	152.2	6.42	153	12.5	136	143	1549	44
9	152.8	6.22	150	12.67	137	144	1625	42.1
10	153.3	6.31	146	12.59	141	148	1679	43
11	152.7	6.52	147	12.41	144	151	1708	45
12	152.6	6.73	146	12.23	146	153	1715	47.2
13	153.3	7.06	143	11.95	145	152	1704	50.7
14	153.6	7.39	138	11.67	144	151	1684	54.3
15	153.8	7.55	138	11.53	141	148	1651	56.1
<b>Media</b>	<b>152.8</b>	<b>7.3</b>	<b>147.1</b>	<b>11.7</b>	<b>139.9</b>	<b>146.9</b>	<b>1588.3</b>	<b>54.2</b>

Tab.5.16. 11b: Valori măsurate după SEGA

Iesire	T	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1	44.9	8.22	133	10.95	122	128	43	64.4
2	45	8.35	134	10.84	121	127	41	66
3	45.1	8.41	134	10.79	121	127	40	66.8
4	45.3	8.5	135	10.71	121	127	38	68
5	45.4	8.59	136	10.63	121	127	37	69.3
6	45.5	8.71	137	10.53	120	126	36	70.9
7	45.5	8.75	136	10.5	120	126	36	71.4
8	45.6	8.79	135	10.47	121	127	35	71.9
9	45.7	8.76	136	10.49	120	126	35	71.5
10	45.9	8.66	136	10.58	121	127	35	70.1
11	45.9	8.51	135	10.71	121	127	35	68.1
12	46.2	8.33	134	10.86	122	128	35	65.7
13	46.3	8.16	133	11.01	122	128	36	63.5
14	46.4	8	131	11.14	123	129	36	61.6
15	46.4	7.87	130	11.26	123	129	37	59.9
<b>Media</b>	<b>45.7</b>	<b>8.4</b>	<b>134.3</b>	<b>10.8</b>	<b>121.3</b>	<b>127.3</b>	<b>37.0</b>	<b>67.3</b>

Tab.5.16. 11c: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> înainte de SEGA

Intrare	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	151.8	8.07	215	251.9	205	331	5026	1.62
2	152.4	8.33	219	252.0	211	342	5102	1.66

## 136 Cercetări privind reducerea concentrației bioxidului de sulf - 5

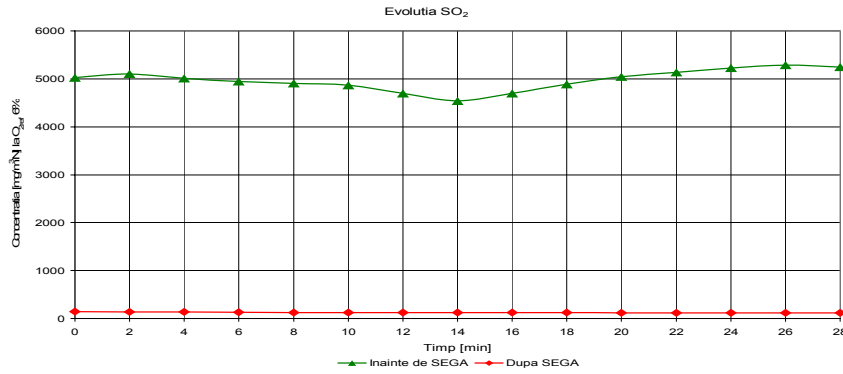
3	152.3	8.24	222	251.8	213	345	5012	1.65
4	155.2	8.14	222	251.9	213	344	4950	1.63
5	151.5	8.04	218	252.0	216	349	4908	1.62
6	152.2	7.87	211	252.1	217	354	4868	1.60
7	151.9	7.26	202	252.1	205	331	4698	1.53
8	152.2	6.42	197	252.1	186	302	4542	1.44
9	152.8	6.22	190	252.0	185	300	4700	1.42
10	153.3	6.31	186	252.0	191	310	4886	1.43
11	152.7	6.52	190	252.0	198	321	5043	1.45
12	152.6	6.73	192	252.0	204	330	5138	1.47
13	153.3	7.06	192	252.0	208	335	5226	1.51
14	153.6	7.39	190	252.1	211	341	5290	1.54
15	153.8	7.55	192	252.0	209	338	5248	1.56
<b>Media</b>	<b>152.8</b>	<b>7.3</b>	<b>202.6</b>	<b>252.0</b>	<b>204.8</b>	<b>331.4</b>	<b>4975.6</b>	<b>1.54</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%Tab. 5.16.11d: Valori raportate la O<sub>2 ref</sub> după SEGA

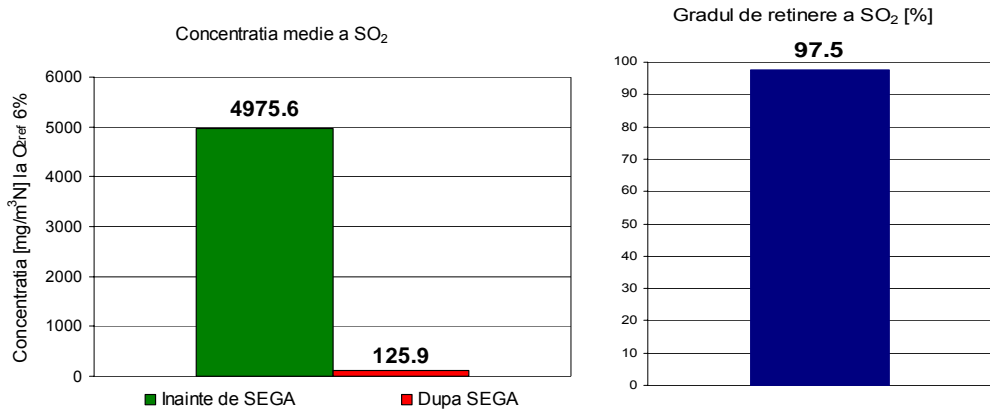
Iesire	T	O <sub>2</sub>	C <sub>CO*</sub>	C <sub>CO2*</sub>	C <sub>NO*</sub>	C <sub>NOx*</sub>	C <sub>SO2*</sub>	λ
Nr. Crt.	°C	%	mg/m <sup>3</sup> N	g/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	mg/m <sup>3</sup> N	-
1	44.9	8.22	195	251.9	190	308	144	1.64
2	45	8.35	199	251.9	191	309	139	1.66
3	45.1	8.41	200	252.0	192	310	136	1.67
4	45.3	8.5	203	251.9	193	312	130	1.68
5	45.4	8.59	205	251.8	195	315	127	1.69
6	45.5	8.71	209	251.9	195	315	125	1.71
7	45.5	8.75	208	252.0	195	316	126	1.71
8	45.6	8.79	207	252.1	198	320	123	1.72
9	45.7	8.76	208	252.0	196	317	122	1.72
10	45.9	8.66	207	252.1	196	316	121	1.70
11	45.9	8.51	203	252.1	193	313	120	1.68
12	46.2	8.33	198	252.0	192	311	118	1.66
13	46.3	8.16	194	252.1	190	307	120	1.64
14	46.4	8	189	251.9	189	305	118	1.62
15	46.4	7.87	186	252.1	187	302	120	1.60
<b>Media</b>	<b>45.7</b>	<b>8.4</b>	<b>200.7</b>	<b>252.0</b>	<b>192.7</b>	<b>311.7</b>	<b>125.9</b>	<b>1.67</b>

\*) O<sub>2 ref</sub>=6%





**Fig5.11. 11a: Variația concentrației dioxidului de sulf pe parcursul măsurătorilor**



**Fig.5.11. 11b: Concentrația medie și gradul de reținere a dioxidului de sulf**

#### **5.4. Prezentarea instalației propusă pentru desulfurarea umedă a gazelor de ardere la CET ROMAG TERMO**

În vederea reducerii conținutului de bioxid de sulf din gazele de ardere provenite din utilizarea lignitului în cazanele de abur de 420 t/h din RAAN – Sucursala ROMAG – TERMO se vor monta două instalații de desulfurare umeda cu carbonat de calciu. În fiecare instalație de desulfurare vor fi tratate gazele de ardere provenind de la trei cazane de abur de 420 t/h.(trei cazane constituie o IMA).

Combustibilul de bază (94%) utilizat de cazanele de abur de 420 t/h din centrala electrică este lignitul cu o putere calorică inferioară  $P_{ci} = 1650 \div 1900$  kcal/kg și un conținut de sulf cuprins în 0,6 și 1,5%.

Combustibilul de adaos necesar susținerii flăcării ( 6% ) este păcura cu  $P_{ci} = 9.700$  kcal/kg și un conținut de sulf mai mic de 1,0 %.

Cantitatea de  $SO_2$  din gazele de ardere pentru un cazan de abur de 420 t/h este de 583 g/s, (2,2 t/h).

Instalația de desulfurare este formată din următoarele:

- instalația de absorbție propriu-zisă;
- instalația de preparare a suspensiei de calcar;
- instalația de uscare a produsului secundar, gipsul.

Instalația de absorbție a  $SO_2$

Gazele de ardere cu o concentrație maximă de  $SO_2$  de  $3.965 \text{ mg/Nm}^3$ , respectiv  $6.259 \text{ mg/Nm}^3$  ( $O_2 = 6\%$ ) urmează a fi tratate într-un absorber de tip turn cu înălțimea de circa 30,0 m.

Secțiunea absorberului va fi de formă circulară sau dreptunghiulară, în funcție de furnizorul instalației de desulfurare. Gazele de ardere intră în absorber la o cotă în jur de +10,0 și ies prin partea superioară a acestuia, fiind spălate prin pulverizare cu suspensie de calcar.

Sistemul de pulverizare a suspensiei de calcar va fi cu duze tip spray, deoarece acesta este utilizat de majoritatea furnizorilor de astfel de instalații.

Acest tip de absorber are avantajul adaptabilității la condițiile specifice de funcționare ale cazanelor de abur de 420 t/h:

- lignit cu un conținut de sulf variabil, între 0,6 și 1,5%;
- fluctuații ale sarcinii cazanului în timpul funcționării;
- spațiu de amplasare disponibil limitat.

Volumul gazelor de ardere provenind de la două (trei) cazane de abur de 420 t/h, care urmează a fi tratate într-un absorber va fi de 1.600.000 Nm<sup>3</sup>/h.

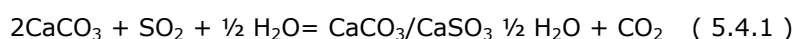
Datorită contactului cu suspensia de calcar gazele de ardere se răcesc în absorber, ajungând la o temperatură de circa 50<sup>0</sup> ÷ 60<sup>0</sup>C.

Gazele de ardere curate vor fi evacuate în atmosferă printr-un coș de fum dintr-un material special (Fiber Reinforced Plastic) amplasat pe absorber și susținut de o structură metalică, având dimensiunile la bază, lungime x lățime: 20,0 m x 20,0 m.

Coșul de fum va avea de la nivelul solului o înălțime de 80,0 m necesară asigurării unei dispersii adecvate a gazelor de ardere în atmosferă, astfel încât să se respecte legislația de mediu privind stabilirea valorilor limită ale substanțelor poluante în aerul înconjurător. (Ordin al MAPM nr. 592/2002). Diametrul coșului de fum va fi de 6,5 m.

Suspensia de calcar este introdusă în absorber cu ajutorul a 2 pompe (una în funcțiune și una în rezervă) din rezervorul de suspensii de calcar absorber .

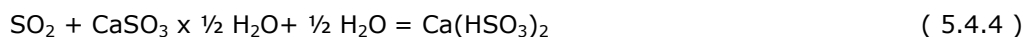
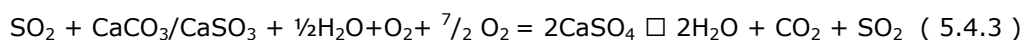
În turnul absorberului au loc următoarele reacții:



la un pH ≈ 6,0 ÷ 7,0 și o temperatură a gazelor de ardere de 50<sup>0</sup> ÷ 60<sup>0</sup>C.

Pentru îmbunătățirea absorbției bioxidului de sulf și măririi eficienței desulfurării se poate introduce în suspensia de calcar un catalizator de reacție ( acid adipic sau sulfat de amoniu ) sau se poate dimensiona sistemul de pulverizare astfel încât timpul de contact să fie optim. De asemenea, reacția de oxidare naturală poate fi accelerată.

În partea inferioară a absorberului are loc o predesulfurare a gazelor de ardere și oxidarea sulfatului de calciu în gips, după următoarele reacții chimice:



la un pH ≈ 4 ÷ 5 și t<sub>ga</sub> ≈ 50<sup>0</sup> ÷ 60<sup>0</sup>C.

Între partea inferioară și turnul absorberului are loc o circulație continuă a suspensiei de calcar.

În Tabelul nr. 5.17 sunt prezentate caracteristicile gazelor de ardere:

**Tabelul nr. 5.17**

Gaze de ardere	UM	ABSORBER	
		LA INTRARE	La ieșire
Volum	m <sup>3</sup> /s	690	535
temperatură	°C	150	55
conținut SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	3965	400
conținut de pulberi de cenușă	mg/Nm <sup>3</sup>	150	50 ÷ 30

Instalația de preparare a suspensiei de calcar

Pentru cele două instalații de absorbție se va realiza o instalație de preparare a suspensiei de calcar comună.

Piatra de calcar ( 70 ÷ 150 mm ) este adusă în centrala electrică cu mijloace auto și descărcată într-un buncăr semiîngropat. De aici, este trimisă la un siloz de stocare, dimensionat pentru o perioadă de 7 zile.

După concasare, piatra de calcar, cu dimensiuni între 0 și 30 mm va fi transportată la instalația de preparare a suspensiei de calcar, care se află într-o clădire având dimensiunile 24,0 m lățime, 27,0 m lungime și 30,0 m înălțime.

Instalația de preparare a suspensiei de calcar este formată din trei linii (două în funcțiune și una în rezervă). Fiecare linie v-a fi echipată cu o moară de tip umed cu bile, un hidrociclon, un rezervor de preaplin și pompele aferente.

Debitul mediu de pulbere de calcar necesar procesului de absorbție a bioxidului de sulf pentru o instalație de desulfurare este de 10,0 t/h.

Suspensia de calcar va avea o concentrație masică de circa 30%, în funcție de conținutul de SO<sub>2</sub> din gazele de ardere, care urmează să fie tratate și va fi stocată într-un rezervor de suspensie de calcar, cu un diametru de 12,0 m, amplasat în apropierea instalației de preparare a suspensiei de calcar. De la acest rezervor suspensia de calcar este trimisă cu ajutorul pompelor la cele două rezervoare aferente absorberelor.

Rezervorul de suspensie de calcar absorber are o capacitate de 1000 m<sup>3</sup>, un diametru de 9,0 m și o înălțime de 12,0 m, fiind dimensionat pentru 10 ore.

Rezervoarele de suspensii de calcar vor fi prevăzute cu un agitator pentru a menține concentrația necesară.

În urma procesului de reținere a bioxidului de sulf în absorber rezultă un produs secundar-șlamul de gips, care conține cristale de sulfat de calciu de diferite mărimi, particule de calcar și sulfat nereacționat.

Șlamul de gips, va fi trimis din absorber la un rezervor de șlam de gips absorber, cu o capacitate de 400 m<sup>3</sup>, un diametru de 8,0 m și o înălțime de 10,0 m.

Produsul secundar rezultat va fi evacuat din centrala electrică sub două forme:

- șlam de gips, cu o concentrație de 28 ÷ 32%. Cantitatea de șlam de gips aferentă unui absorber este de circa 52 t/h. De la rezervorul de șlam de gips absorber nr.1, (2) cu ajutorul pompelor acesta este transportat prin conducte la instalația de evacuare a zgurii și cenușii în fluid dens. Amestecul zgură- cenușă-gips va fi evacuat la depozitul existent de zgură și cenușă al centralei electrice.

- gips, cu o umiditate de 10 %, în vederea valorificării în industria materialelor de construcții. Cantitatea de gips aferentă unui absorber este de circa 17 t/h. De la rezervorul de șlam de gips absorber nr.1, (2) cu ajutorul pompelor acesta este transportat la rezervorul de șlam de gips și apoi la instalația de uscare.

#### Instalația de uscare gips

Cele două absorbere vor fi prevăzute cu o instalație de uscare gips comună.

Instalația de uscare gips este formată din două linii (una în funcțiune și una în rezervă). Fiecare linie va fi echipată cu un hidrociclon, un filtru presă cu vid, un separator de picături și rezervorul aferent, și pompa de vid.

În hidrociclon are loc o uscare primară iar în filtrul presă uscarea secundară, în urma căreia rezultă gipsul cu o umiditate în jur de 10%.

În urma procesului de uscare atât de la hidrociclon, cât și de la filtrul presă, rezultă apă, care conține urme de gips (< 0,1%) și care este colectată în rezervorul de apă de recirculare, cu un diametru de 8,0 m.

Această apă este reutilizată fiind trimisă la instalația de preparare a suspensiei de calcar, în jur de 30,0 t/h. Deși cea mai mare parte din această apă este recirculată în procesul de desulfurare, rămâne o cantitate de 1,0 t/h neutilizată. Această apă poate fi utilizată la umezirea cenușii de electrofiltru în vederea transportării acesteia la instalația de evacuare a zgurii și cenușii în fluid dens.

Instalația de desulfurare pentru trei cazane de abur de 420 t/h necesită pentru funcționare următoarele utilități:

- calcar pulbere 10 t/h;
- apă pretratată de proces 120/150 t/h\*);
- aer comprimat tehnologic 225 Nm<sup>3</sup>/h, p = 0,5 MPa;
- aer comprimat instrumental 150 Nm<sup>3</sup>/h, p = 0,5 MPa;
- energie electrică 7000 kW.

\*) când gipsul se evacuează sub formă de șlam.

Energia electrică necesară, cuprinde în afara consumatorilor specifici instalației de desulfurare și diferența de energie electrică datorată înlocuirii ventilatoarelor existente cu altele noi, care să asigure noile pierderi de presiune.

Fiecare instalație de desulfurare va fi supravegheată dintr-o cameră de comandă individuală, amplasată într-o sală comună, iar o consolă de funcționare de sine stătătoare va fi instalată în camerele de comandă aferente centralei electrice .

Sistemul de automatizare (DCS), va supraveghea și comanda întreaga instalație de desulfurare[104]. Funcționarea acesteia, va fi monitorizată continuu, iar toate operațiile necesare sunt automatizate fiind comandate de la panoul de comandă din camera de comandă.

Sistemul de supraveghere și control a instalației de desulfurare va consta în:

- monitorizarea volumului, temperaturii și presiunii gazelor de ardere și a concentrației de SO<sub>2</sub> la intrarea și ieșirea din absorber;
- controlul cantității suspensiei de calcar utilizate, care variază în funcție de concentrația de SO<sub>2</sub> din gazele de ardere intrate în absorber și valoarea impusă a emisiei de SO<sub>2</sub> din gazele de ardere evacuate în atmosferă;
- controlul nivelelor de lichid din absorber și diversele rezervoare aferente instalației de desulfurare;
- controlul continuu al densității șlamului de gips;
- controlul complet automatizat al circuitelor de apă recirculată, necesară absorberului

și instalației de preparare a suspensiei de calcar, precum și a circuitelor de apă pretratată necesară răcirii diverselor echipamente din cadrul instalației de desulfurare.

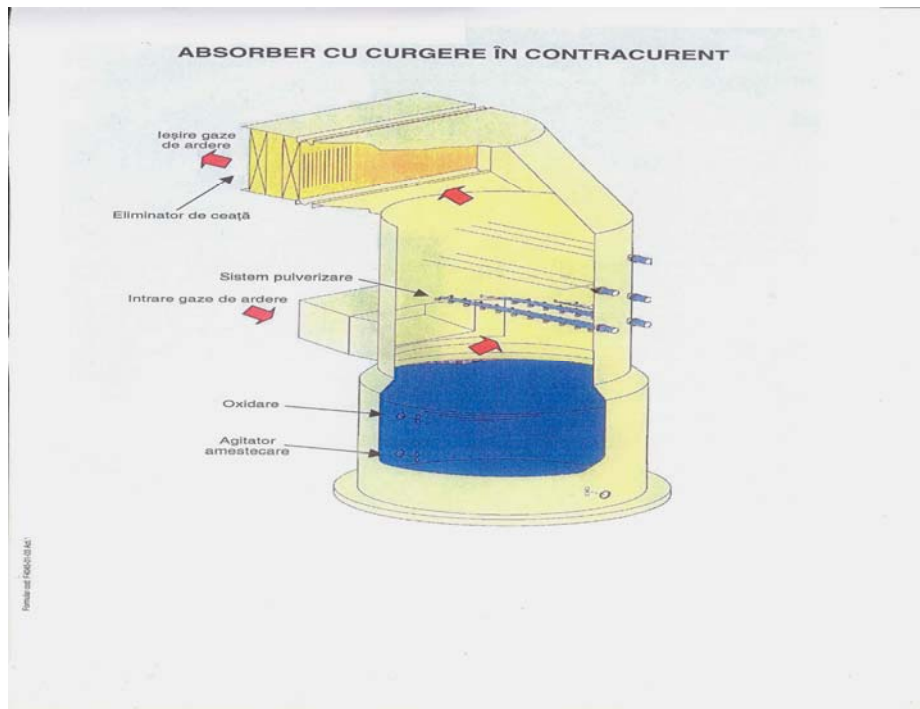
Instalația de desulfurare se pune treptat în funcțiune astfel:

- prepararea suspensiei de calcar;
- absorbția SO<sub>2</sub> din gazele de ardere și evacuarea gazelor curate în atmosferă;
- evacuarea șlamului de gips rezultat.

Procesul de reținere a SO<sub>2</sub> va fi condus în funcție de valorile zilnice ale următorilor parametrii de funcționare:

- concentrația de SO<sub>2</sub> în gazele de ardere la intrarea și ieșirea din absorber;
- temperatura și presiunea gazelor de ardere la intrarea și ieșirea din absorber;
- pH-ul soluției din absorber;
- consumul de suspensie de calcar;
- cantitatea de gips rezultată;
- consumul de energie electrică a echipamentelor componente;
- cantitatea de apă pretrată și de aer comprimat tehnologic necesare.

În afara monitorizării continue a parametrilor de funcționare a instalației de desulfurare de la panoul de comandă, pe fiecare schimb operatorul va efectua o verificare fizică a fiecărui echipament. Verificările zilnice sunt menționate într-o fișă tehnică, care conține numărul verificării, frecvența, echipamentele, etc.





## Cap. 6. Concluzii generale

### 6.1 Concluzii referitoare la testele termotehnice pt. desulfurarea gazelor de ardere la termocentrala Romag-Termo.

În tematica studiată se subliniază următoarele contribuții ale autorului:

Lucrarea prezintă un studiu concludent pentru problemele de mediu cu care

se confruntă o termocentrală cu funcționare pe combustibil solid (lignit). Am gândit numai desulfurarea deoarece din volumul foarte mare de măsurători de emisii executate în decursul celor cinci ani de când acestea se execută problema principala este bioxidul de sulf , cu o depășire mare față de limită.

Dorința noastră a fost ca utilizând mai multe sorturi de cărbune, sorturi care se folosesc în centrala să găsim soluția cea mai bună privind desulfurarea gazelor de ardere, evacuate de aceasta.

Originalitatea constă în deschiderea căilor de abordare a acestei probleme întrucât întreaga energetică de la noi, care utilizează cărbunele se confruntă cu problema desulfurării gazelor de ardere.

Prin metodele experimentale complexe folosite și aplicate pe instalația experimentală, prin analizele efectuate, prin studiul corelativ al rezultatelor comparative și prin bogata exemplificare cu date și reprezentări grafice intuitive atât pentru variantele constructive cât și pentru cele numerice.

Testele experimentale au fost realizate în cadrul Laboratorului de Analize de Combustibil și Investigatii Ecologice al Catedrei de Termotehnica, Mașini Termice și Autovehicule Rutiere, Universitatea Politehnica Timisoara.

Valoarea lucrării este legată de dezvoltarea tehnologiei de epurare a gazelor uzate provenite din arderea carbunelui de la cazanele de 420t/h a CET Halanga. Lucrarea utilizează mai multe tipuri de reactivi în procesul de desulfurare:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{NaOH}$ .

### **6.1.2 Experimente privind influența diverșilor absorbantți în procesul de desulfurare**

Eficiența de reținere a SO<sub>2</sub> utilizand diverși absorbantți a fost următoarea:

- CaCO<sub>3</sub> : s-a realizat un grad de reținere a SO<sub>2</sub> de 50,3% care după spălare s-a obținut un grad de reținere de 81,2%.
- Ca(OH)<sub>2</sub> : s-au utilizat diverse concentrații de la 1,5%;2,5%; și 5%; s-a realizat un grad de reținere al SO<sub>2</sub> între 93,2 și 97,5 %.Deși s-a dublat concentrația , gradul de reținere nu a crescut semnificativ.
- NaOH : s-au utilizat concentrații între 1,5 și 2,5 % și s-a obținut un grad de reținere între 86,9 și 90,6%.

În urma efectuării experimentelor de laborator asupra sorturilor de cărbune utilizate în CET Halanga s-a concluzionat că sortul de cărbune are o influență nesemnificativă asupra gradului de reținere al SO<sub>2</sub>.

## **6.2 Concluzii privind contribuțiile personale**

În tematica studiată se subliniază următoarele contribuții ale autorului:

### **6.2.1 Contribuții teoretice**

- Parcurgerea literaturii de specialitate, ce a permis sistematizarea stadiului actual al cunoașterii în domeniu, în cadrul echipei de cercetare a Laboratorului de Combustibili și Investigații Ecologice, al facultății de Mecanică din Timișoara;
- Stabilirea concentrațiilor noxelor din gazele de ardere rezultate prin arderea cărbunelui în cazanele de 420 t/h din cadrul CET ROMAG TERMO prin determinările analizelor efectuate în cadrul CET pe gazele de ardere evacuate ;
- Abordarea interdisciplinară a cercetării, prin preluarea de metode de lucru specifice domeniului chimic, mecanic și al prelucrării datelor;
- Studiul corelativ al rezultatelor și interpretarea lor funcție de diverși parametrii.
- Studiul comparativ a mai multor procedee de desulfurare: uscat, semiumed și umed;

### **6.2.2. Contribuții experimentale**

- Realizarea experimentarilor în instalația de laborator pentru studiul desulfurării umede a gazelor de ardere de la cazanele din cadrul CET ROMAG TERMO;
- Perfecționarea sistemului de dozare a reactivilor în instalația de laborator pentru desulfurarea gazelor evacuate;
- Optimizarea soluției constructive a instalației de desulfurare;

### **6.2.3. Contribuții privind aplicabilitatea cercetării**

- Dimensiunile, caracteristicile și modul de prelevare și prelucrare a probelor de cărbune, respectiv a punctelor de monitorizare a parametrilor funcționali ai instalației experimentale de laborator prezentate în această lucrare îi conferă o valoare didactică pe lângă cea de cercetare. Studenților li se oferă o instalație la scară redusă a ceea ce înseamnă o instalație performantă de desulfurare a gazelor de ardere;
- Instalația concepută permite continuarea cercetărilor cu privire la realizarea procedurii de desulfurare pe alte sorturi de cărbune, permițând modelarea instalațiilor de desulfurare în centralele termoelectrice cu funcționare pe cărbune, astfel încât concentrația de bioxid de sulf din gazele de ardere să se încadreze în legislația impusă pe linie de mediu de Uniunea Europeană prezenta și viitoare.

**Toate procedeele experimentale analizate în lucrare pentru desulfurarea gazelor de ardere evacuate din instalațiile mari de ardere au aplicație practică , la scară industrială , prin instalațiile de desulfurare umedă care se vor monta în CET Halanga pînă în anul 2010.**



## BIBLIOGRAFIE

- [1] Corneliu Ungureanu, N. Pănoiu, V. Zubcu, Ioana Ionel – Combustibilii. Instalații de ardere. Cazane. Ed. Politehnica, Timișoara, 1998,
- [2] ICEMENERG București – Instrucțiuni de exploatare pentru cazanul de 420 t/h pe lignit, București, 1989,
- [3] ISPE București – Proiect CET 4x50Mw+1x25Mw+1x22Mw, 1982,
- [4] Ioana Ionel, Cornel Ungureanu, **Lelia Dobjanschi**, Claudiu Gruescu – Poluarea mediului criteriu de bază în alegerea soluției de re tehnologizare a cazanelor energice care funcționează pe lignit din CET ROMAG TERMO, Zilele academice timișene, Ed. a X-a, Simpozionul Internațional OMUL SI MEDIUL, Ediția a V-a, 24 mai 2007, Timișoara,
- [5] C. Neaga – Îndrumător. Calculul termic al generatoarelor de abur, Editura Tehnică, București, 1988,
- [6] A. Leca – Procese și instalații termice în centralele electrice, Editura Tehnică, București, 1980,
- [7] N. Pănoiu – Arderea intensificată a combustibililor solizi. Editura Tehnică, București, 1964,
- [8] I. Carabogdan, N. Pănoiu – Bazele teoretice ale aprinderii și arderii combustibililor solizi, București,
- [9] I. Pănoiu, N. Pănoiu – Dezvoltarea construcției și calculul arzătoarelor pentru combustibili solizi inferiori, Energetica nr.5, 1974,
- [10] A. Leca – Principii de management energetic, Editura Tehnică, București, 1997,
- [11] A. Leca – Consiliul Mondial al Energiei. Trăim pe o singură planetă, Editura Academiei Române, București, 2003,
- [12] V. Rojanschi – Economia și protecția mediului, Editura Tribuna Economică, București, 2003,
- [13] N. Scarlat, C. Flueranu – Tehnologii moderne și curate cu emisii poluante reduse pentru utilizarea combustibililor solizi, București, 2001,
- [14] Gh. Lăzăroiu – Protecția atmosferei împotriva poluării, Editura tehnică, București, 1998,
- [15] Ioana Ionel, C. Ungureanu – Arderea și combaterea poluării la cazane,

- Curs universitar, Universitatea Politehnică Timișoara, 1994,
- [16] Ioana Ionel, C. Ungureanu – Termoenergetica și mediul, Editura tehnică, București, 1996,
- [17] Ioana Ionel – Dispersia noxelor. Curs universitar, Universitatea Politehnică Timișoara, 1998,
- [18] \* \* \* Hotărârea nr.541 din 17 mai 2003 privind stabilirea unor măsuri pentru limitarea emisiilor în aer ale anumitor poluanți din instalațiile mari de ardere, modificată și completată prin Hotărârea Guvernului nr.332 din 14 aprilie 2005,
- [19] \* \* \* Studiu privind caracteristicile fizico-chimice ale cărbunilor din bazinul carbonifer Oltenia,
- [20] Buder M.K. – The effects of coal cleaning on power generation economics, Combustion, Aprilie, 1980,
- [21] Terry K. – Why it pays to wash coal? Power, Nb 4, 1981,
- [22] Postelnicescu M. – Studiu pe baza literaturii de specialitate privind construcția cazanului pentru combustibil solid cu conținut ridicat de cenușă, Institutul Politehnic București, 1971,
- [23] Păunoiu N. – Valorificarea prin ardere a combustibililor inferiori,
- [24] Corneliu Ungureanu – Generatoare de abur pentru instalații energetice clasice și nucleare, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977,
- [25] Gh. Lăzăroiu – Protecția atmosferei împotriva poluării, Editura Printech, București, 1998,
- [26] The Babcock & Wilcox Company – Steam its generation and use, Editors C.Steven, Stulyz and John, B., Kitto, The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, USA, 1992,
- [27] M. Barnea, P. Ursu – Protecția atmosferei împotriva impurificării cu pulberi și gaze, Editura Tehnică, București, 1969,
- [28] M. Barnea – Efectele biologice ale poluării mediului, Editura Academiei, București, 1973,
- [29] S. Mănescu, S. Dumitrache, M. Cucu, E. Fuiogă – Igiena mediului, Editura Medicală, București, 1981,
- [30] N. Zamfir – Dezvoltare durabilă și protecție ecologică, Editura Sitech, Craiova, 1996,
- [31] D. Pascu, Ursu, D. Frosin, I. Bergea-Tatu, D. Frosin-Rada, D. Popa – Protecția aerului atmosferic – Îndrumător practic, Editura Tehnică,

- București, 1978,
- [32] L.E.J. Roberts, P.S.Liss, P.A.H. Saunders – Power Generation and Environment, Oxford University Press, 1990,
- [33] M.J.Levi – Conversion of Fuel-Nitrogen to Nitrogen Oxides in Fossil Fuel Combustion: Mechanistic Considerations, MIT Energy laboratory report to EPA under FCR Program, 1978,
- [34] K.H.Luthi – Clean electricity from fossil fuels, Asea Brown Boveri, Power Generation Ltd, dept.PTQ 5400 Baden, Switzerland,
- [35] J.A. Brasin – Fossil Steam Generator NO<sub>x</sub> Control Update, 1981 Proceedings of the EPRI/EPA Joint Symposium on Stationary Combustion Nox Control, EPRI WS – 70 – 220, 1981,
- [36] H. Rozendaal, N. Vliet – Operational experience with a low – NO<sub>x</sub> pulverized coal fired boiler firing imported coals at Maasvlakte Power, Arnhem, 1996,
- [37] ABB C – E Services, Inc. Nox Emission Controls for Gas and Oil – Fired Boilers, ABB C- E Services, Inc. Windsor, Connecticut,
- [38] I.M. Bică - Reducerea sau înlocuirea hidrocarburilor la pornire sau pentru susținerea flăcării la arderea combustibililor solizi inferiori în cazanele de abur, Teza de doctorat, Universitatea Politehnică București, 1995,
- [39] W. Hafele – Energia-Problemă globală, Editura Tehnică, București, 1997,
- [40] C.M. Rozendaal, J. Bunschoten, A. Meerkerk – Impact of coal quality and coal blending on the performance of unit 9 of the Amer Power in the Netherlands, Arnhem, 1996,
- [41] N. Pănoiu, C. Cazacu, L. Mihăescu, C. Totolo, A. Epure – Instalații de ardere a combustibililor solizi, Editura Tehnică, București, 1995,
- [42] I.N. Voina –Teoria și practica utilizării cenușilor de la centralele termoelectrice, Editura Tehnică, București, 1981,
- [43] F.G. Knorre – Procese de ardere în focare, Editura Energetică de Stat, București, 1955,
- [44] S.G. Gherasimov, D.G. Lebedev, I.A. Kagan., V.V. Luknițki, A.E. Șeindlin – Manualul inginerului Termotehnician – vol.1, Editura Tehnică, București,1961,
- [45] C. Flavin, N. Lenssen – Valul energetic, Ghid pentru iminenta revoluție energetică, Editura Tehnică, București, 1996,

- [46] Al Gore – Pământul în cumpănă, Editura Tehnică, București, 1995,
- [47] E. Bonnefous – Omul sau natura?, Editura politică, București, 1976,
- [48] I. Fratic, C. Chalupa, J.Kralik – Calul trioan al civilizației, Editura Științifică și enciclopedică, București, 1978,
- [49] E. Văcaru – Impactul produșilor sulfului asupra mediului, Conferința Națională de Termotehnică, ediția a IX-a, Craiova, 1999,
- [50] Ioana Ionel –Genesis of the nitrous oxide formation during the SNCR of the flue gass by using ammonia as reducing agent, Energetica, seria A, nr.5, 1994,
- [51] Gh. Lăzăroi, C. Moțiu – Emisia oxizilor de azot în focarele cazanelor, Proceeding Tempus-Envirom, Universitatea de vară, Protecția mediului în România, București, 1994,
- [52] Corneliu Ungureanu, E. Văcaru – Mecanisme de formare a oxizilor de azot în procesul de ardere al combustibililor petrolieri gazeși, Conferința Națională de Termotehnică, Craiova, 1999,
- [53] M. Pătărlăgeanu, T. Cristescu – Probleme privind poluarea prin arderea combustibililor petrolieri gazeși, Conferința Națională de Termotehnică, Craiova, 1999,
- [54] G.A. Briggs – Plume rise prediction. Lectures on Air pollution and Environmental Impact Analysis. Haugen, D.A. American Meteorological Society, 1975,
- [55] G.A. Briggs – Plume rise and buoyancy effects. Atmospheric Science and Power production. Randerson, D., US Dept. of Energy, 1984,
- [56] A. Venkatram, JC Wyngaard – American Meteorological Society,
- [57] J.A. Businger – Turbulent transfer in the atmospheric surface layer. Workshop on Micrometeorology. Haugen, D.A. American Meteorological Society,
- [58] D.J. Carruthers and Coauthors – UK atmospheric dispersion modelling system. Air Pollution Modeling and Its Application. Plenum Press, New York, 1992,
- [59] D.J. Carson – The development of a dry inversion-capped convectively unstable boundary layer. Quart J. Roy. Meteor Soc., 1973,
- [60] S.J. Caughey and S.G. Palmer – Some aspects of turbulence structure through the depth of the convective boundary layer, Quart J. Roy Meteor Soc., 1979,



- 
- [61] A.J. Cimorelli, S.G. Perry, R.F. Lee, R.J. Paine, A. Venkatram, J.C. Weill and RB Wilson – Current Progress in the AERMIC Model Development Program Preprints, 89<sup>th</sup> Annual Meeting Air and Waste Management Association, Pittsburgh, 1996,
- [62] R.H. Clarke, A.J. Dyer, R.R. Brook, D.G. Reid and A.J. Troop – The Wangara experiment: boundary layer data. Technical report no.19, Division of Meteorological Physics CSIRO, Australia, 1971,
- [63] L.R. Collier and J.G. Lockwood – Reply to comment. Quart. J.Roy. Meteor. Soc., 1975,
- [64] J.W. Deardorff – Convective velocity and temperature scales for the unstable boundary layer for Rayleigh convection. J.Atmos,1970,
- [65] J.W. Deardorff – Numerical investigation of neutral and unstable planetary boundary layers. J. Atmos, 1972,
- [66] J.W. Deardorff – Prediction of convective mixed- layer entrainment for realistic capping inversion structure. J. Atmos,1979,
- [67] J.W. Deardorff – Progress in Understanding Entrainment at the Top of a Mixed Layer. Preprints, Workshop an the Planetary Boundary Layer, American Meteorological Society, Boston, 1980,
- [68] A.J. Dyer – A review of flux – profile relationships. Bound. Layer Meteor, 1974,
- [69] F.A. Gifford – Uses of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion, Nuclear Safety, 1961,
- [70] S.R. Hanna – Lateral turbulence intensify and plume meandering during stable conditions, J.Appl. Meteor., 1983,
- [71] B.B. Hicks – Behavior of turbulent statistics in the convective boundary layer. J. Appl.Meteor., 1985,
- [72] A.A.M. Holtslag – Estimates of diabatic wind speed profiles from near-surface weather observations. Bound. Layer Meteor, 1984,
- [73] A.A.M. Holtslag and A.P. van Ulden – A simple scheme for daytime estimates for the surface fluxes from routine weather data. J. Climate Appl.Meteor, 1983,
- [74] J.S. Irwin, J.O. Paumier and R.W. Brode – Meteorological Processor for Regulatory Models User’s Guide, U.S. Environmental Protection Agency, 1988,
- [75] F. Kasten and G. Czeplak – Solar and terrestrial radiation dependent on

- the amount and type of cloud. Solar Energy, 1980,
- [76] R.G. Lamb – Diffusion in the convective boundary layer. Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling. Nieuwstadt, FTM and van Dop, 1982,
- [77] P.K. Misra – Dispersion of non-buoyant particles inside a convective boundary layer. Atmos. Environ, 1982,
- [78] F.T.M. Nieuwstadt and H van Dop – Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling. Reidel, 1982,
- [79] T.R. Oke – An algorithmic scheme to estimate hourly heat island magnitude. Preprints, Urban Environment Symposium, American Meteorological Society, 1998,
- [80] F. Pasquill – The estimation of the dispersion of windborne material. Meteorological, 1961,
- [81] F. Pasquill and F.R. Smith – Atmospheric Diffusion, 1983,
- [82] S.G. Perry – A dispersion model for sources in complex topography, 1992,
- [83] A. Venkatram and J.C. Wyngaard – Lectures on Air Pollution, 1988,
- [84] C. Ungureanu, I. Ionel, C. Gruescu, **Lelia Dobjanschi** – Studiu de caz cu privire la abordarea energo-ecologică a problemei emisiilor de gaze poluante de către centralele termoelectrice, Zilele academice timișene, Ediția aX-a, Simpozionul internațional OMUL ȘI MEDIUL, Ediția a V-a, 24 mai 2007, Timișoara,
- [85] S. Căluianu, S. Cociorva – Măsurarea și controlul poluării atmosferei, București, 1999,
- [86] I. Ionel, C. Gruescu, M. Joerg – Reduction of nitric oxide emissions from a coal fired power plant by air staging, Buletinul Științific al Universității Politehnica din Timișoara, Tom 47, Fascicola 2, Timișoara, 2002,
- [87] I. Ionel, C. Ungureanu, **Lelia Dobjanschi**, Fr. Popescu, D. Bisorca, C. Gruescu, V. Gruescu – Main ecological problems of the cogeneration power plant ROMAG TERMO, Energy Forum Conference, Varna, 2004,
- [88] I. Ionel, C. Gruescu – Schimbarea combustibilului, soluție economică dar nu neapărat și ecologică, Analele Universității din Oradea, Fascicula de Energetică nr.9, 2003,
- [89] I. Ionel, Fr. Popescu, D. Oprea-Stănescu, D. Bisorca, C. Gruescu – Energoecologia combustibililor fosili. Teme experimentale, Timișoara, 2004,
- [90] C. Ungureanu, I. Ionel, Fr. Popescu – Metode moderne de investigare a

- imisiilor de poluanți, Analele Universității din Oradea, Fascicula de Energetică, Vol II, Oradea, 2001,
- [91] C. Ungureanu, I. Ionel, D. Bisorca, Fr. Popescu – Protecția Mediului, obiect de cercetare și dezvoltare al Laboratorului de Analize Combustibili și Investigații Ecologice, Buletinul AGIR – Protecția Mediului – anul VII, nr.1, Timișoara, 2002,
- [92] C. Ungureanu, I. Ionel – Centrale termoelectrice, Timișoara, 2004,
- [93] C. Ungureanu, I. Ionel, **Lelia Dobjanschi**, Fr. Popescu, D. Bisorca, C. Gruescu, V. Gruescu – Principalele probleme ecologice ale CTE pe lignit cu referire la centrala RAAN, Sucursala ROMAG TERMO, Conferința națională cu participare internațională Construcții și confort ambiental, ed.13/a, Timișoara, 22-23 aprilie 2004,
- [94] M. Jădăneanț – Termodinamică Tehnică, Timișoara, 1998,
- [95] C. Ungureanu, I. Ionel, D. Maxim, Fr. Popescu – Metodă de determinare a concentrației și mărimii particulelor solide fine din gazele de ardere, Conferința națională de termotehnică cu participare internațională, Galați, 17-19 mai 2001,
- [96] Fr. Popescu, D. Bisorca, D. Oprisa-Stanescu, C. Claudiu, coordonator Ioana Ionel – Măsurarea calității aerului și dispersia noxelor, Teme experimentale, Timișoara, 2004,
- [97] O. Țuțuianu – Metodologia de măsurare operativă a emisiilor de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, pulberi și CO<sub>2</sub> din centralele termice și termoelectrice, ICEMENERG, București, 1994,
- [98] C. Ungureanu, I. Ionel, **Lelia Dobjanschi**, Fr. Popescu, D. Bisorca, C. Gruescu – Centralele termice pe cărbune – surse importante de poluare a mediului ambiant, Simpozionul- Omul și mediul-, Timișoara, 22 mai 2003,
- [99] M. Ungureanu, R. Pătrașcu – Tehnologii curate, București, 2000,
- [100] J. Vehlow – Combination – A novel concept to reduce costs without changing the environmental standards of waste combustion, Karlsruhe, 2000,
- [101] C. Ungureanu, I. Ionel, C. Gruescu, Lelia Dobjanschi – Poluarea mediului criteriu de bază în alegerea soluției de re tehnologizare a cazanelor energetice care funcționează pe lignit din CET ROMAG TERMO,
- [102] E. Ataman – Procedee uscate de desulfurare a gazelor de ardere, ENER, nr.1, 1986,

- [103] G.Zellinger s.a. – Measurs and Operating Experience regarding SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> reduction at the Lignite Fired Power Plat Voitsberg 3, Meeting on Inustrial Cooperation for Air Pollution Technology, Dubrovnik, 1990,
- [104] M. Constantin s.a. – Realizarea unei instalații experimentale de desulfurare a gazelor arse la cazan energetic, Ses jubiliară ICEMENERG 35, București, 1995
- [105] E. Ataman – Desulfurarea gazelor de ardere la cazanele ce ard păcură și gaze naturale, Energetica, seria A, nr.4,1994,
- [106] G. Hristescu ș.a. – Tehnologii de desulfurare, Energetica, seria A, nr.4,1994,
- [107] L.Dragoș, C-tin Savu – Desulfurarea umedă cu calcar a gazelor de ardere provenind de la cazanele funcționând cu păcură, cărbune sau mixte, Energetica, seria A, nr.4, 1994,
- [108] E. Ataman ș.a. – Desulfurarea gazelor de ardere prin aditivarea cărbunilor precombustie, energetica, seria A, nr.3,1991,
- [109] N. Pănoiu ș.a. – Instalații de ardere a combustibililor solizi, Editura tehnică, București, 1985.

## Titluri recent publicate în colecția „TEZE DE DOCTORAT” seria 9: Inginerie Mecanică

---

1. **Cristina Basarabă-Oprițescu** – *Simulări numerice pentru mișcări cu constrângeri mecanice și ciocniri*, ISBN 978-973-625-526-7, (2007);
2. **Loredana-Mihaela Ungureanu** - *Modele de reconstrucție a mâinii umane și a funcțiilor sale*, ISBN 978-973-625-571-7, (2007);
3. **Gheorghe-Vasile Abrudan** – *Contribuții teoretice și experimentale privind aplicarea șocurilor în procesul de lucru al separatorului cu bandă, de la mașinile de treierat mazăre*, ISBN 978-973-625-567-0, (2007);
4. **Ioan Goia** – *Studiul influenței ansamblului roată – șină în condiții de exploatare asupra structurii liniei de tramvai*, ISBN 978-973-625-582-3, (2007);
5. **Adrian Aristide Voicu** – *Studiul biocompatibilității implantelor chirurgicale din aliaje de titan în organismul uman*, ISBN 978-973-625-502-1, (2007);
6. **Alin-Daniel Rus** – *Studii și cercetări asupra comportării mecanice a unor materiale compozite pentru frânarea vehiculelor feroviare*, ISBN 978-973-625-596-0, (2008);
7. **Luisa-Izabel Dungan** – *Contribuții la studiul și cercetarea comportării arcurilor de tip flexicoil de la locomotiva electrică CFR 060-EA de 5100 kW*, ISBN 978-973-625-599-1, (2008);
8. **Gabriel-vasile Ursu+Neamț** – *Contribuții la optimizarea parametrilor cuplei elastice și a influenței acesteia asupra circulației în curbă a locomotivelor cu boghiuri articulate*, ISBN 978-973-625-602-8, (2008);
9. **Ghorghe Cornea** – *Cercetări asupra rigidității unei mașini pentru încercări de conductori și cabluri cu lungimi de peste 10m*, (2007);
10. **Ionică Cărăbaș** – *Contribuții privind biomecanica și recuperarea postoperatorie a articulației genunchiului cu implant restaurador total*, ISBN 978-973-625-636-3, (2008).



EDITURA POLITEHNICA