

# **CONTRIBUȚII LA STUDIUL FUNCȚIONĂRII ÎN REGIM DINAMIC A UNEI INSTALAȚII TEHNOLOGICE DE INCINERARE A DEȘEURILOR UTILIZÂND TEHNICI DE MODELARE MATEMATICĂ**

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

**ing. Sorin Alin Marinescu**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Delia Maria Perju  
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Agachi Șerban  
C.S.I..dr.ing. Savii Cecilia  
prof.univ.dr.ing. Lucian Rusnac

Ziua susținerii tezei: 29.10.2009

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, 2009

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 pe parcursul activității mele de doctorand cu frecvență, desfășurată în cadrul Facultății de Chimie Industrială și Ingineria Mediului a Universității "Politehnica" din Timișoara, sub conducerea științifică a prof. dr. ing. Delia PERJU.

În lucrarea elaborată, în prima parte s-a efectuat o prezentare a stadiului actual al cunoașterii în domeniul gospodăririi, prelucrării și valorificării deșeurilor în zone urbane.

În partea a doua, am prezentat studiile experimentale, aceasta constituind componenta de bază a lucrării și fiind dedicată analizei și sintezei rezultatelor cercetărilor efectuate în vederea atingerii obiectivelor pe care mi le-am propus a le realiza.

Baza de date experimentale s-a obținut prin monitorizarea unei instalații de incinerare a deșeurilor care aparține unei firme din Timișoara și care a fost pusă în funcțiune în anul 2005.

Monitorizarea funcționării instalației s-a efectuat prin măsurarea celor mai importanți parametri tehnologici cum ar fi: temperaturi și debite în diferite zone, precum și concentrațiile emisiilor de la coș care obligatoriu trebuie să se încadreze în limitele impuse de legislația în vigoare. În urma monitorizării acestor parametri s-a obținut o bază de date bogată.

Cercetările efectuate în cadrul acestei lucrări au la bază sursa de date experimentale menționată. Prelucrarea acestor date experimentale a urmărit în principal patru aspecte: aducerea unor contribuții personale la studiul pe baze științifice a funcționării instalației de incinerare a deșeurilor; abordarea prin prisma teoriei sistemelor a problemelor legate de procesele fizico-chimice ce au loc în instalația de incinerare a deșeurilor; utilizarea avantajelor incontestabile ale tehnicilor de modelare matematică în vederea studierii dependențelor existente între parametri tehnologici și emisiile la coș ale instalației; elaborarea unor modele matematice de predicție care să poată previziona cele mai bune strategii de conducere și operare ale instalației de incinerare.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului științific prof. Dr. Ing. Delia Perju care pe parcursul întregului stagiul de doctorat, cu multă răbdare și profesionalism, mi-a urmărit și coordonat acțiunile legate de elaborarea acestei teze și nu numai.

Cu multă considerație doresc să mulțumesc membrilor comisiei de doctorat, domnul președinte al comisiei prof. dr. ing. Petru Negrea de la Universitatea Politehnica din Timișoara, domnul prof. dr.ing. Șerban Agachi de la Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca, doamna C.S.I. dr. ing. Cecilia Savii de la Institutul de Chimie al Academiei Române Timișoara și domnul prof.dr.ing. Lucian Rusnac de la Universitatea Politehnica din Timișoara pentru observațiile pertinente și aprecierile asupra conținutului lucrării.

De asemenea aduc calde mulțumiri colegelor mele șef lucrări dr. ing. Dumitrele Gabriela-Alina și dr. chim. fiz. Pîrlea Harieta pentru sprijinul acordat la realizarea prezentei teze de doctorat.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc colegilor de la locul de muncă și mai ales domnului director general dr. ing. Nicolae Strîmbeanu pentru ajutorul acordat pe tot parcursul elaborării acestei lucrări.

Timișoara, octombrie 2009

Marinescu Sorin Alin

Marinescu, Sorin Alin

**Contribuții la studiul funcționării în regim dinamic a unei instalații tehnologice de incinerare a deșeurilor utilizând tehnici de modelare matematică**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 4, Nr. 29, Editura Politehnica, 2008, 276 pagini, 168 figuri, 62 tabele.

ISSN: 1842-8223

ISBN: 978-973-625-988-3

Cuvinte cheie: deșeuri, ardere, incinerare, deșeuri,

**Rezumat:**

Cercetările și studiile efectuate în cadrul acestei lucrări au urmărit în principal următoarele aspecte:

Abordarea sistemică a unui studiu de caz concret pe baza descrierii unei instalații de incinerare a deșeurilor a cărei funcționare a fost monitorizată prin măsurarea principalilor parametri tehnologici și a emisiilor la coș.

Realizarea unei baze de date experimentale bogate în urma monitorizării funcționării instalației de incinerare a deșeurilor timp de patru luni.

Prelucrarea datelor experimentale cu programe de calcul specifice și stabilirea unor metodologii și a unor algoritmi de calcul acceptabili pentru determinarea modelelor matematice care descriu diferite dependențe între valorile emisiilor la coș și valorile parametrilor tehnologici, fizici și chimici.

Elaborarea concretă a unui pachet de modele matematice ce caracterizează variația în timp a concentrației emisiilor la coș (tipul A).

Elaborarea concretă a unui pachet de modele matematice ce caracterizează influența concentrației oxigenului asupra variațiilor concentrațiilor emisiilor la coș (tipul B).

Elaborarea concretă a unui pachet de modele matematice ce caracterizează influența temperaturii din camera de post-ardere (TC7) și a concentrației oxigenului asupra variațiilor concentrațiilor emisiilor la coș (tipul C).

Testarea și validarea modelelor matematice obținute.

Elaborarea concluziilor cu privire la utilizarea modelelor matematice obținute ca modele de predicție în vederea alegerii strategiilor de conducere și operare automată a instalației de incinerare a deșeurilor.

Pe baza cercetărilor efectuate în cadrul lucrării s-a constatat că instalația de incinerare a deșeurilor, a cărei funcționare a fost studiată, prezintă performanțe ridicate în privința valorilor concentrațiilor emisiilor la coș care se situează sub limitele legale în toate cazurile considerate.

# Cuprins

<b>CUVÂNT ÎNAINTE.....</b>	<b>3</b>
<b>CUPRINS.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCERE .....</b>	<b>3</b>
<b>OBIECTIVELE GENERALE ALE LUCRĂRII .....</b>	<b>3</b>
<b>PARTEA I: STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIU .....</b>	<b>3</b>
<b>CAP.1 GOSPODĂRIREA DEȘEURILOR .....</b>	<b>3</b>
1.1 GENERALITĂȚI. CLASIFICAREA DEȘEURILOR .....	3
1.2 IMPACTUL DEȘEURILOR ASUPRA MEDIULUI ȘI SĂNĂȚĂII POPULAȚIEI .....	3
<b>CAP. 2 TEHNOLOGII ȘI INSTALAȚII DE INCINERARE.....</b>	<b>3</b>
2.1 TEHNOLOGIA ARDERII .....	3
2.2 TIPURI DE CUPTOARE PRIMARE DE INCINERARE.....	3
2.2.1 <i>Cuptoare rotative .....</i>	<i>3</i>
2.2.2 <i>Cuptoare cu grătare mobile.....</i>	<i>3</i>
2.2.3 <i>Cuptoare cu strat fluidizat.....</i>	<i>3</i>
2.2.4 <i>Cuptoare cu radiații infraroșii .....</i>	<i>3</i>
2.2.5 <i>Cuptoare cu injecție de lichid.....</i>	<i>3</i>
2.3 PROCEDEE DE TRATARE A GAZELOR REZULTATE DIN PROCESELE DE ARDERE.....	3
2.3.1 <i>Camera secundară de ardere.....</i>	<i>3</i>
2.3.2 <i>Recuperarea căldurii din gazele arse.....</i>	<i>3</i>
2.3.3 <i>Tratarea gazelor arse în vederea reducerii conținutului de monoxid de carbon (CO).....</i>	<i>3</i>
2.3.4 <i>Tratarea gazelor arse în vederea reducerii conținutului de oxizi de azot (NO<sub>x</sub>).....</i>	<i>3</i>
2.3.5 <i>Tratarea gazelor arse în vederea reducerii conținutului de pulberi .....</i>	<i>3</i>
2.3.6 <i>Tratarea gazelor de ardere în vederea reducerii conținutului de gaze acide .....</i>	<i>3</i>
2.3.7 <i>Tratarea gazelor de ardere în vederea reducerii conținutului de metalele grele.....</i>	<i>3</i>
2.3.8 <i>Tratarea gazelor de ardere în vederea reducerii conținutului de dioxine și furani .....</i>	<i>3</i>
2.4 PROCESE, INSTALAȚII ȘI TEHNOLOGII OPTIMIZATE DE ARDERE A DEȘEURILOR DESCRISE ÎN LITERATURA DE SPECIALITATE .....	3
2.4.1 <i>Tehnologia Siemens.....</i>	<i>3</i>
2.4.2 <i>Tehnologia ABB.....</i>	<i>3</i>

<b>CAP.3 LEGISLAȚIA ÎN DOMENIUL INCINERĂRII ȘI GESTIONĂRII DEȘEURILOR.....</b>	<b>3</b>
<b>CAP. 4 GENERALITĂȚI ASUPRA TEHNICILOR DE MODELARE ȘI SIMULARE NUMERICĂ, AUTOMATIZARE ȘI OPTIMIZARE CU PARTICULARIZARE PENTRU TEHNOLOGIILE ȘI INSTALAȚIILE DE INCINERARE A DEȘEURILOR.....</b>	<b>3</b>
4.1 NOȚIUNI GENERALE DE MODELARE ȘI SIMULARE NUMERICĂ .....	3
4.1.1 Noțiuni generale de modelare.....	3
4.1.2 Noțiuni generale de simulare numerică .....	3
4.2 AUTOMATIZAREA ȘI OPTIMIZAREA INSTALAȚIILOR DE INCINERARE A DEȘEURILOR .....	3
4.2.1 Criteriile de optimizare a funcționării unei instalații de incinerare .....	3
4.2.2 Optimizarea procesului de incinerare în vederea reducerii emisiilor de Nox .....	3
4.2.2.1 Modificări aduse instalațiilor de ardere.....	3
4.2.2.2. Măsuri secundare pentru denoxarea gazelor arse .....	3
4.2.3. Optimizarea proceselor tehnologice de desulfurare a gazelor arse.....	3
4.2.4 Optimizarea procesului de incinerare utilizând ca funcție obiectiv durata de funcționare a instalației .....	3
4.2.4.1 Optimizarea prin suflare cu jeturi scurte de aer .....	3
4.2.4.2 Optimizarea fiabilității grătarelor .....	3
<b>PARTEA II STUDII EXPERIMENTALE .....</b>	<b>3</b>
<b>CAP.5 DESCRIEREA INSTALAȚIEI DE ARDERE A DEȘEURILOR .....</b>	<b>3</b>
5.1 INSTALAȚIA TEHNOLOGICĂ DE INCINERARE A DEȘEURILOR .....	3
5.1.1 Sistemul de alimentare a liniei.....	3
5.1.2 Ecluza de alimentare.....	3
5.1.3 Camera de incinerare.....	3
5.1.4 Sistemul de evacuare cenușă .....	3
5.1.5 Ecluza de evacuare a recipientelor metalice .....	3
5.1.6 Camera de postcombustie.....	3
5.1.7 Canalul de legătură postcombustie – recuperator .....	3
5.1.8 Schimbătorul de căldură – recuperator .....	3
5.1.9 Canal de legătură recuperator-linie epurare.....	3
5.2 INSTALAȚIA TEHNOLOGICĂ DE EPURARE A GAZELOR ARSE .....	3
5.2.1 Considerații generale .....	3
5.2.2 Bateria de cicloane .....	3
5.2.3 Turnul de condiționare .....	3
5.2.4 Silozul de var.....	3
5.2.5 Sistemul de alimentare – dozare a varului.....	3
5.2.6 Sistemul de alimentare – dozare cărbune activ .....	3
5.2.7 Reactorul .....	3
5.2.8. Filtrul cu saci .....	3
5.2.9 Exhaustorul și coșul final .....	3
5.3 PARAMETRII MONITORIZAȚI ÎN VEDEREA STUDIULUI FUNCȚIONĂRII ÎN REGIM DINAMIC A INCINERATORULUI DE DEȘEURI .....	3
5.4 APARATE DE MĂSURARE UTILIZATE. ECHIPAMENTE AUXILIARE ȘI ECHIPAMENTE DE CONDUCERE	3
5.4.1 Echipamente de măsurare a temperaturilor – Termocupluri și termorezistențe.....	3
5.4.2 Echipamente de măsurare a emisiilor generate la coș .....	3

5.4.3 Echipamente de conducere .....	3
5.5 DATE EXPERIMENTALE .....	3
5.6 PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE .....	3
5.6.1 Tipul A.....	3
5.6.2 Comentarii și concluzii.....	3
5.6.3 Tipul B.....	3
5.6.4 Comentarii și concluzii.....	3
5.6.5 Tipul C.....	3
5.6.6 Comentarii și concluzii.....	3
<b>CONCLUZII GENERALE .....</b>	<b>3</b>
<b>CONTRIBUȚII PERSONALE .....</b>	<b>3</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>3</b>

## Introducere

Zilnic se defrișează pe mapamond mii de hectare de păduri, se extrag din subsolul terestru substanțe minerale și combustibili din zăcămintele care nu se vor reface niciodată. Acestea, după transformarea în produse industriale, alimentare, sanitare, etc. vor intra în consum și apoi în final vor ajunge deșeuri [1].

Din lipsa unor gestionări științifice, raționale, deșeurile prezintă repercursiuni grave asupra mediului înconjurător, a biosferei, atmosferei, hidrosferei și litosferei [1].

În prezent în țara noastră există un cadru legislativ și o strategie privind gestionarea deșeurilor într-un context economic destul de precar, pentru conservarea mediului.

Autoritățile au constatat însă că legislația și strategiile în domeniul protecției mediului sunt puțin cunoscute de populație, iar serviciile economice care au ca obiect ingineria ecologică sunt insuficiente.

Din acest motiv se consideră că este necesară dezvoltarea și înființarea unor unități de producție în acest domeniu, atât în mediul rural, cât mai ales în cel urban, mai ales în zona deponeurilor și a incineratoarelor de deșeuri.

Începând din anul 1995, strângerea și prelucrarea informațiilor referitoare la deșeuri în România s-a efectuat după recomandările Uniunii Europene, care a elaborat un Catalog European al Deșeurilor. Acesta a stat la baza legislației în domeniu. Acesta a stat la baza legislației valabile la ora actuală în țara noastră [1].

Clasificarea deșeurilor de pe teritoriul țării s-a făcut astfel [1]:

- Deșeuri provenite din mediul orășenesc și rural, provenite din gospodării, instituții unități comerciale, spații verzi, nămoluri de la epurarea apelor uzate orășenești.
- Deșeuri provenite din activități medicale, periculoase și asimilabile.
- Deșeuri industriale periculoase, formate din poluanți organici persistenti (POP).

În ceea ce privește ultimul tip de deșeuri, trebuie menționat faptul că la Stockholm a fost încheiată în 2001 o convenție internațională, la care România este parte, pentru reducerea și eliminarea a 12 poluanți persistenti dintre care 9 pesticide cu efecte asupra oamenilor [1].

Pe teritoriul țării noastre au fost identificate aproape 3000 de depozite de substanțe chimice periculoase, al căror conținut exact nu este cunoscut, din lipsa analizelor chimice foarte costisitoare [1].

Din datele statistice ale anului 2002 de exemplu, cantitatea totală de deșeuri din România a fost de 372.4 milioane tone, dintre care 24.5 milioane tone deșeuri industriale (600 000 t periculoase) și 347.9 milioane tone deșeuri din celelalte categorii [1].



Deșeurile industriale au fost generate de industria: energetică 11.7 milioane tone, metalurgică 4.8 milioane tone, alimentară 1.2 milioane tone și petrochimică 1.1 milioane tone [1].

Dintre acestea 33% au fost reciclate, iar 67% au fost depozitate sau incinerate [1].

Deșeurile menajere generate în 2002 au fost colectate selectiv de către serviciile de salubritate și eliminate prin depozitare finală și incinerare [1].

În baza strategiei activităților de gestionare a deșeurilor se află o serie de principii generale cum ar fi [1] :

- Principiul conservării resurselor primare, formulat în conceptul de "dezvoltare durabila", elaborat la Conferința de la Rio de Janeiro în anul 1992
- Principiul "poluatorul plătește", care stabilește responsabilitatea producătorului și utilizatorului de substanțe poluante
- Principiul substituției, care se referă la înlocuirea materiilor prime periculoase cu altele nepoluante
- Principiul integrării, care demonstrează că activitățile de gestionare a deșeurilor fac parte integrantă din toate activitățile social-economice care le generează.

Pentru implementarea acestor principii și în țara noastră, legislația în vigoare a fost modificată astfel încât să fie stabilite prioritățile în abordarea gestionării deșeurilor, prevenirea, respectiv minimizarea generatorilor de deșeuri, utilizarea sau reciclarea deșeurilor, valorificarea energetică și nu în ultimul rând tratarea și depozitarea acestora.

Operația de incinerare a deșeurilor face parte integrantă din tehnologia de tratare a deșeurilor în vederea distrugerii, în condiții strict prevăzute de lege.

În contextul celor prezentate anterior, prin prezenta teză de doctorat am încercat să aduc o modestă contribuție la studiul funcționării în regim dinamic a unei instalații de incinerare a deșeurilor utilizând tehnicile de modelare matematică.

Trebuie menționat faptul că instalația de incinerare aparține unei firme din Timișoara și a fost pusă în funcțiune în anul 2005.

Monitorizarea funcționării instalației se efectuează prin măsurarea celor mai importanți parametri tehnologici, cum ar fi temperaturile și debitele în diferite zone, precum și concentrațiile emisiilor de la coș, care obligatoriu trebuie să se încadreze în limitele impuse de legislația în vigoare.

În urma monitorizării acestor parametri s-a obținut o bază de date bogată prezentată în **Anexele I-IV**.

Aceste date au fost prelucrate cu programe informatice specifice, obținându-se modele matematice ce caracterizează influențele unor parametri cum ar fi temperatura de ardere, consumul de O<sub>2</sub>, etc. asupra emisiilor de la coș [2, 3].

La elaborarea acestei metode s-a utilizat metoda regresiei liniare și neliniare de ordinul 2.

Pe baza modelelor matematice mai simple, cu o variabilă independentă, obținute se poate efectua o cuantificare a influenței individuale a parametrilor tehnologici asupra concentrațiilor emisiilor de la coș. Pe baza modelelor matematice cu două variabile independente se poate realiza o predicție cu privire la strategiile de conducere automată a funcționării întregii instalații în vederea îmbunătățirii performanțelor, respectiv reducerea consumului de combustibil, de energie și scurtarea perioadei de timp alocată arderii unei șarje în funcție de tipul acesteia, cu alte cuvinte creșterea productivității.

Cercetările efectuate în cadrul acestei lucrări au la bază o puternică sursă de date experimentale, (v. Anexele I-IV). Prelucrarea acestor date experimentale a urmărit în principal patru aspecte:

- 1) Aducerea unor contribuții personale la studiul pe baze științifice a funcționării instalației de incinerare a deșeurilor.
- 2) Abordarea prin prisma teoriei sistemelor a problemelor legate de procesele fizico-chimice ce au loc în instalația de incinerare a deșeurilor.
- 3) Utilizarea avantajelor incontestabile ale tehnicilor de modelare matematică în vederea studierii dependențelor existente între parametrii tehnologici și emisiile la coș ale instalației.
- 4) Elaborarea unor modele matematice de predicție care să poată preziona cele mai bune strategii de conducere ale instalației de incinerare.

Luând în considerare conținutul și modul de abordare al obiectivelor stabilite inițial ale prelucrării datelor experimentale, îmbinând armonios aspecte interdisciplinare complexe (inginerie chimică, chimie, informatică, matematică statistică, protecția mediului, etc.), lucrarea încearcă să satisfacă cerințele actuale, să răspundă unor exigențe științifice și mai ales aplicative, atât din punct de vedere al fundamentelor chimice, cât și din punctul de vedere al aspectelor specifice legate de ingineria chimică și desigur cele afiliate protecției mediului

## **Obiectivele generale ale lucrării**

- 1. Realizarea unei documentări bibliografice cu privire la tehnologiile și instalațiile de incinerare**
- 2. Sinteza principalelor legi și reglementări naționale și internaționale privind domeniul incinerării și gestionării deșeurilor.**
- 3. Documentare bibliografică asupra tehnicilor de modelare matematică, automatizare și optimizare cu particularizare pentru tehnologiile și instalațiile de incinerare a deșeurilor.**
- 4. Descrierea instalației de incinerare a deșeurilor a cărei funcționare a fost monitorizată prin măsurarea principalilor parametri tehnologici și a emisiilor la coș.**
- 5. Realizarea unei baze de date experimentale în urma monitorizării efectuate timp de o lună (Anexele I-IV)**
- 6. Prelucrarea datelor experimentale cu programe specifice.**
- 7. Elaborarea modelelor matematice ce caracterizează variația în timp a concentrației emisiilor la coș**
- 8. Elaborarea modelelor matematice ce caracterizează influența concentrației oxigenului asupra concentrației emisiilor la coș**
- 9. Elaborarea de modele matematice de predicție ce caracterizează influența temperaturii din camera de ardere și a concentrației de oxigen asupra concentrațiilor de emisii la coș.**
- 10. Testarea și validarea modelelor matematice elaborate.**
- 11. Elaborarea concluziilor cu privire la utilizarea modelelor matematice de predicție elaborate în vederea alegerii strategiilor de conducere automată a instalației de incinerare a deșeurilor.**

# PARTEA I: STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIU

## Cap.1 Gospodărirea deșeurilor

### 1.1 Generalități. Clasificarea deșeurilor

În DEX deșeul este definit ca „Rest dintr-un material rezultat dintr-un proces tehnologic de realizare a unui anumit produs, care nu mai poate fi valorificat direct pentru realizarea produsului respectiv” [4]. La această definiție mai poate adăuga „sau obiect pe care proprietarul dorește sau este obligat să-l arunce.”

Deșeurile periculoase sunt definite de legea 426/2001 (OJ 411/25.07.2001) pentru aprobarea Ordonanței de Urgență a Guvernului nr. 78/2000 privind gestionarea deșeurilor, analoagă Directivei Consiliului Europei nr. 91/689/CEE privind deșeurile periculoase.

Definiția deșeurilor periculoase cuprinde următoarele aspecte: deșeuri ale căror **proprietăți** sau **proces de producție** includ una sau mai multe din proprietățile care implică risc, de exemplu: explozive, favorizante producerii de incendii, ușor inflamabile, iritante, otrăvitoare și cu risc pentru sănătate, cancerigene, corozive, mutagene, eco-toxice, etc.;

**constituenți** ai deșeurilor care fac ca acestea să devină deșeuri periculoase **proprietăți** care fac ca deșeurile să devină deșeuri periculoase;

Tipurile de deșeuri periculoase sunt definite pe baza grupurilor caracteristice sau tipurilor de deșeuri periculoase. În **tabelul 1** se prezintă o listă cu deșeuri frecvent întâlnite în stațiile de incinerare conform catalogului european al deșeurilor și listei deșeurilor periculoase din legea românească [5, 6].

**Tabelul 1** Deșeuri municipale periculoase (conform Catalogului European și românesc al deșeurilor)

Cod Deșeu	Semnificație
18 01 01	Obiecte ascuțite (cu excepția 18 01 03)
18 01 02	Fragmente și organe umane, inclusiv recipienti de sânge și sânge conservat (cu excepția 18 01 03)
18 01 03*	Deșeuri a căror colectare și eliminare fac obiectul unor măsuri speciale privind prevenirea infecțiilor
18 01 04	Deșeuri a căror colectare și eliminare nu fac obiectul unor măsuri speciale privind prevenirea infecțiilor (de ex: îmbrăcăminte, aparate ghipsate, lenjerie, îmbrăcăminte disponibilă, scutece)
20 01 13*	Solvenți
20 01 14*	Acizi
20 01 15*	Baze
20 01 17*	Substanțe chimice fotografice
20 01 19*	Pesticide

20 01 21*	Tuburi fluorescente și alte deșeuri cu conținut de mercur
20 01 23*	Echipamente abandonate cu conținut de CFC (clorofluorocarburi)
20 01 26*	Uleiuri și grăsimi, altele decât cele specificate la 20 01 25
20 01 27*	Vopsele, cerneluri, adezivi și rășini conținând substanțe periculoase
20 01 28	Vopsele, cerneluri, adezivi și rășini, altele decât cele specificate la 20 01 27
20 01 29*	Detergenți cu conținut de substanțe periculoase
20 01 30	Detergenți, alții decât cei specificați la 20 01 29
20 01 31*	medicamente citotoxice și citostatice
20 01 33*	Baterii și acumulatori incluși în 16 06 01, 16 06 02 sau 16 06 03 și baterii și acumulatori nesortați conținând aceste baterii
20 01 35*	Echipamente electrice și electronice casate, altele decât cele specificate la 20 01 21 și 20 01 23
20 01 37*	Lemn cu conținut de substanțe periculoase

Filierele de tratare a deșeurilor au următoarele obiective [7] :

1. Valorificarea energetică
2. Valorificarea ca materie primă
3. Valorificarea în tehnologia materialelor
4. Valorificarea în agricultură, unde este utilizat ca materie primă pentru fabricarea amendamentelor
5. Valorificarea în tehnici de mediu: deșeul este utilizat pentru epurarea sau condiționarea altor deșeuri
6. Tratamente de depoluare ce vizează limitarea impactului deșeurii asupra mediului receptor.

Principalele clase de deșeuri în funcție de sursă și caracteristici sunt [8] :

- Municipale – Deșeuri generate de comunitate formate din deșeuri menajere, deșeuri voluminoase colectate și deșeurile provenite de la curățirea spațiilor publice. Deșeuri generate de comunitate (persoane fizice, firme precum restaurantele și clădirile de birouri, instituții, deșeuri stradale), de compoziție asemănătoare deșeurilor gospodărești (ambalaje, resturi alimentare, resturi vegetale, aparate uzate, etc.)[8, 5].
- Periculoase – Deșeuri ce prezintă una sau mai multe din următoarele caracteristici: inflamabile, corozive, reactive sau toxice[8].
- Industriale – Provin din procese industriale și se clasifică conform normelor naționale
- Medicale – Deșeuri generate de unitățile medicale. În principal sunt infecțioase, dar pot prezenta și alte caracteristici, precum radioactive, în cazul deșeurilor de radioterapie.
- Universale – Categorie de deșeuri introdusă în Statele Unite pentru a ușura eliminarea deșeurilor.

- Din construcții și demolări – includ resturi de ciment, gips, asfalt, metal, lemn, țiglă, etc.
- Radioactive
- Miniere – Pe lângă steril, includ și substanțe periculoase, precum cianurile
- Agricole – includ, pe lângă dejecții și resturi vegetale ambalaje de pesticide și îngrășăminte, precum și asemenea substanțe expirate. Aceste substanțe sunt deosebit de periculoase, putând fi spre exemplu explozive, corozive sau toxice.

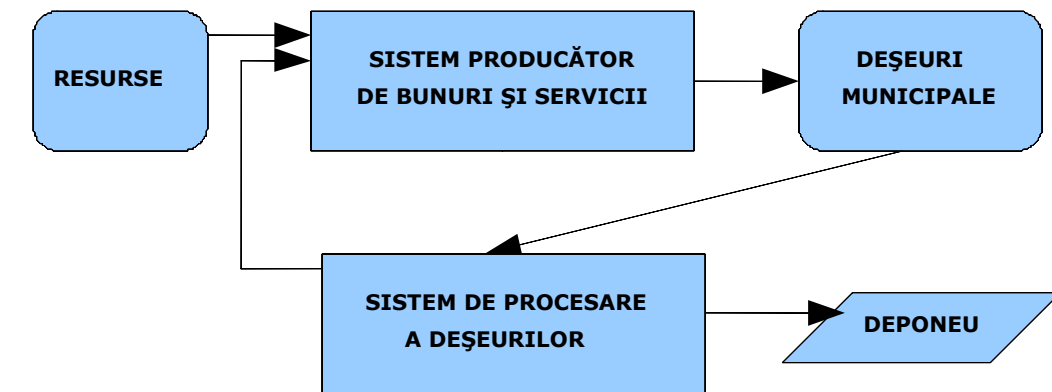
### **1.2 Impactul deșeurilor asupra mediului și sănătății populației**

În ultimii ani mai mult de 80% din deponeele din America de Nord și-au închis porțile. Această situație amenință să creeze un blocaj al eliminării finale a deșeurilor. Administrațiile locale se confruntă cu probleme serioase în ceea ce privește găsirea de amplasamente pentru noile deponee sau incineratoare [9].

La baza gestionării deșeurilor stau următoarele principii generale [10] :

- a) principiul utilizării numai a proceselor și metodelor de gestionare a deșeurilor care nu pun în pericol sănătatea populației și a mediului înconjurător;
- b) principiul "poluatorul plătește";
- c) principiul responsabilității producătorului;
- d) principiul utilizării celor mai bune tehnici disponibile, fără antrenarea unor costuri excesive.

Corelarea dintre dezvoltarea economică și protecția mediului este sintetizată în conceptul dezvoltării durabile care reprezintă „...o dezvoltare care îndeplinește nevoile prezentului fără a compromite posibilitatea generațiilor viitoare de a și le îndeplini pe ale lor”. Relațiile dintre sistemele de producție și cele de management al deșeurilor pot fi prezentate schematic în **figura 1** [9] :



**Figura 1** Relațiile dintre sistemele de producție și cele de management al deșeurilor

Noile tendințe în domeniul managementului deșeurilor se bazează pe:

- reducere
- reutilizare
- recuperare
- reciclare
- valorificare

În ziua de astăzi deșeurile reprezintă o resursă economică și nu se pune problema să ne debarasăm pur și simplu de deșeurile, așa cum se făcea până nu de mult. Închiderea treptată a deșeurilor existente, proliferarea deșeurilor sigure, sindromul "Not in my back yard", publicitatea negativă făcută în jurul operațiilor de îngropare și incinerare a deșeurilor au creat un context exigent pentru gestionarea acestora.

În ultimii ani nu se mai vorbește despre deșeurile, ci de materie reciclabilă, materie recuperabilă, resurse secundare. Astfel, deșeurile devin un zăcământ, iar incineratorul se transformă în uzină de valorificare energetică a deșeurilor [11].

**Obiectivele principale ale incinerării deșeurilor sunt reducerea la maxim posibil a potențialului de risc și poluare, reducerea cantității și volumului de deșeurile, conversia substanțelor rămase într-o formă care să permită recuperarea sau depozitarea acestora, transformarea și valorificarea energiei produse** [12].

Sistemul de management integrat al deșeurilor poate fi prezentat din punct de vedere al bilanțului de materiale, energie și poluare ca în **figura 2** [12] :

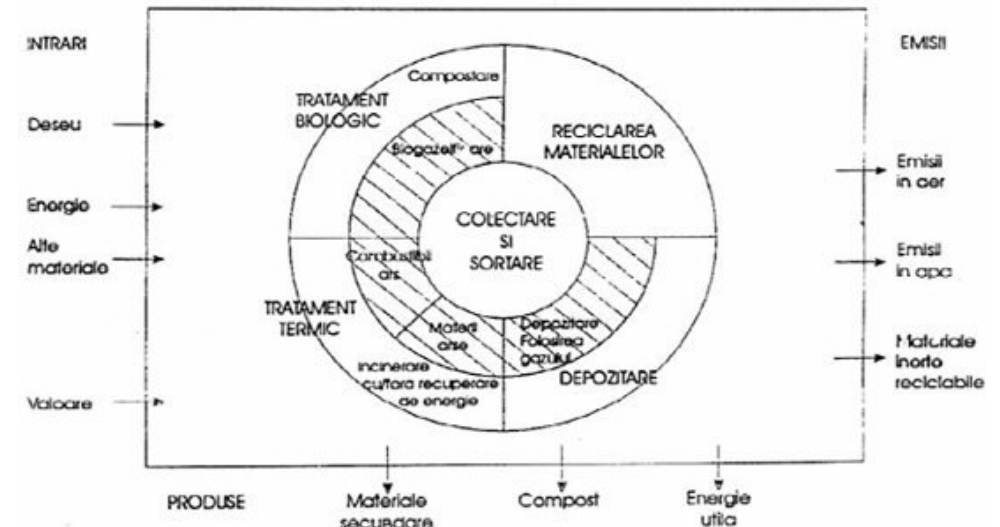


Figura 2 Bilanțul gestionării deșeurilor din punct de vedere al materialelor, energiei și poluării

Schematic, procesul de incinerare este prezentat în figura 3 [13]:

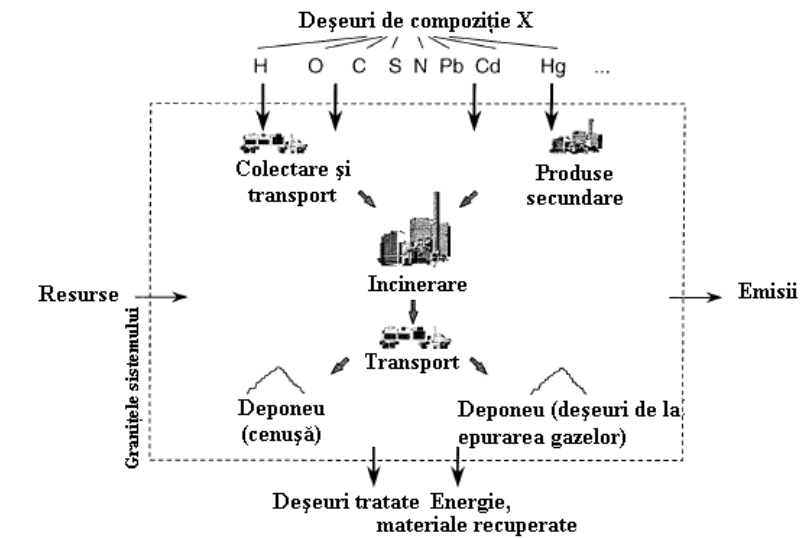


Figura 3 Reprezentare schematică a procesului de incinerare a deșeurilor

Incinerarea este un proces termic de eliminare a deșeurilor solide ce permite reducerea volumului și masei acestora. Folosirea incineratoarelor, combinată cu valorificarea energetică a deșeurilor, permite pe de o parte reducerea cantității de deșuri depozitate în deponee și pe de altă parte recuperarea energiei conținute în deșuri, sub un control strict al calității emisiilor de gaze rezultate din proces [11].

Concepția și proiectarea unei instalații de incinerare depinde de tipul deșeurilor (gazoase, lichide sau solide) și de proveniența lor.



Principalele subsisteme ale instalațiilor de incinerare sunt:

- Sistemul de preparare și manipulare a deșeurilor
- Camera sau camerele de ardere
- Sistemul de recuperare a energiei
- Sistemul de epurare a gazelor
- Sistemul de tratare a reziduurilor și cenușilor
- Sistemul de tratare al apelor uzate [11, 14].

Așadar, incineratoarele se deosebesc atât prin tipul cuptorului, cât și prin fluxul tehnologic de purificare al gazelor și tratării cenușilor și reziduurilor tehnologice, ceea ce generează o multitudine de tipuri.

## Cap. 2 Tehnologii și instalații de incinerare

Incinerarea este o metodă de distrugere termică a deșeurilor și în afara posibilității de valorificare a căldurii gazelor obținute prin ardere oferă avantajul transformării deșeurilor într-un reziduu practic nepoluant, puțin voluminos și redus ca pondere în raport cu materia primă inițială [5].

Incinerarea poate distruge anumite tipuri de substanțe periculoase, imposibil de distrus prin alte metode. De asemenea este mai rapidă decât multe alte metode. Acest fapt se poate dovedi util spre exemplu atunci când o zonă poluată trebuie curățată rapid pentru a preveni afectarea oamenilor sau mediului ambiant. Incinerarea se poate folosi și pentru reducerea cantităților de deșeuri depozitate în deponee [14].

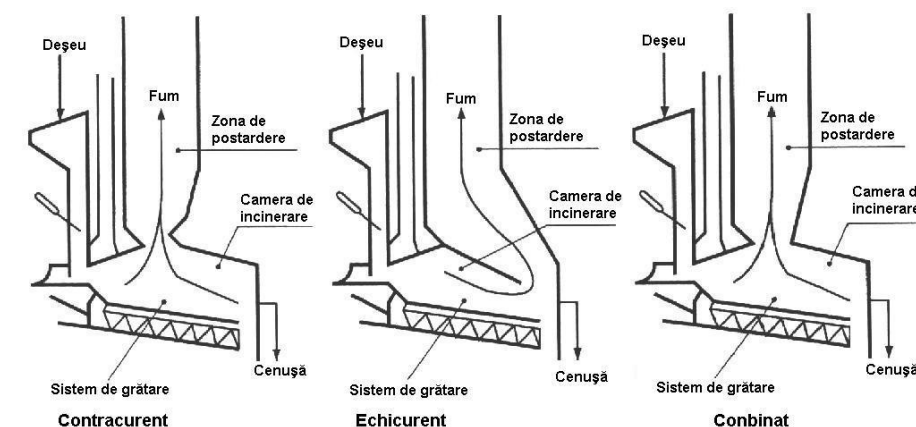
Pe de o parte, incinerarea prezintă următoarele avantaje: reduce cantitatea de deșeuri, necesită o suprafață redusă și se poate amplasa în mediul urban, ceea ce reduce cheltuielile de transport. Pe de altă parte, incinerarea reprezintă o permutare ce se petrece în mediul înconjurător, deoarece avem iluzia că deșeurile dispar, dar în realitate ele reapar sub diverse alte forme. Așadar, înainte de îngroparea sau incinerarea deșeurilor, trebuie să ne asigurăm că s-au luat toate măsurile pentru reducerea și reciclarea acestora [15, 17, 18].

Principala problemă care se pune în cazul incinerării este poluarea atmosferică. Incinerarea deșeurilor generează o gamă largă de poluanți atmosferici, cum ar fi: dioxinele, furanii, compușii organici volatili, oxizii de azot, bioxidul de carbon, metale grele (Hg, Pb, Cd) [15].

### 2.1 Tehnologia arderii

Primul pas în proiectarea unei instalații de incinerare este alegerea geometriei camerei de ardere pentru tipul de deșeuri ce urmează a fi arse. În orice caz, pentru minimizarea emisiilor de poluanți, trebuie realizată o ardere cât mai completă a gazelor.

În funcție de caracteristicile de ardere ale deșeurilor, unde umiditatea și gradul de ardere pe grătare sunt decisive, se poate obține o optimizare a procesului de ardere prin simpla alegere a traseului de gaze deasupra grătarelor. Există trei variante constructive (**figura 4**) principale care de regulă se combină între ele [19].



**Figura 4** Variante constructive ale traiectoriilor gazelor de ardere

În cazul instalațiilor echicurent se observă cum gazele arse ies la capătul grătarelor și sunt obligate să treacă cu temperatură mare deasupra acestora. Acest sistem se folosește de regulă în cazul deșeurilor cu capacitate calorifică ridicată. În cazul deșeurilor cu capacitate calorifică mică, sistemul are dezavantajul că aerul de ardere trebuie bine preîncălzit pentru a se asigura o bună aprindere. Solicitarea componentelor camerei de ardere este destul de ridicată, dar oferă avantajul evitării formării unor curenți preferențiali. Prin aceasta se obține o ardere mai completă a gazelor.

Conceptul contracurent se folosește în cazul deșeurilor umede și cu o capacitate calorifică scăzută. Gazele fierbinți curg peste deșeu facilitând uscarea și aprinderea mai ușoară a acestuia. Formarea curenților preferențiali reprezintă un pericol, întrucât curenții de aer rece din zona de aprindere se amestecă foarte greu cu gazele calde. Din cauza diferenței de densitate și vâscozitate se poate întâmpla ca amestecarea să nu se producă nici măcar până la intrarea în schimbătorul de căldură. Astfel, gradul de ardere dorit trebuie obținut prin alte metode, spre exemplu prin introducerea unor pereți de dirijare, crearea de turbulențe datorate insuflării de aer secundar, recircularea gazelor de ardere sau suflarea de abur.

Pentru echilibrarea avantajelor și dezavantajelor celor două variante constructive se alege adesea curentul combinat. Curenții de gaz, cu densități și vâscozități diferite (în funcție de temperatură) sunt uniți înainte de intrarea în camera de ardere secundară, unde sunt amestecați cu ajutorul aerului secundar. Astfel se minimizează formarea CO.

La realizarea corectă a unei camere de ardere trebuie luată în considerare minimizarea formării depunerilor, care pot influența negativ circuitul deșeurilor (grosimea stratului de pe grătare). Acest obiectiv poate fi atins prin introducerea dozată a deșeurilor și răcirea pereților laterali, în special în zona principală de

ardere. Răcirea este aleasă de așa manieră încât stabilitatea temperaturii să nu fie influențată.

Doar prin alegerea tipului de circuit al gazelor în cuptor nu se poate stabili geometria optimă a camerei de ardere. Pentru aceasta sunt necesare atingerea unor timpi de staționare cât mai lungi în zona de postcombustie și stabilitatea temperaturilor. Toți acești factori depind în principal de capacitatea calorică și compoziția deșeurilor. Așadar, capacitatea calorică nu are efect doar asupra debitului de deșeuri, ci în primul rând asupra alegerii geometriei camerei de ardere și a funcționării instalației.

Parametrii camerei de ardere se pot calcula cu următoarele formule general valabile [19] :

Cantitatea specifică de gaze de ardere [ $m^3n/kg$  deșeu]:

$$V_n = V_0 + (\lambda - 1)L_0$$

unde:

$V_n$  = cantitatea specifică de gaze de ardere, [ $m^3N/kg$  deșeu]

$V_0$  = cantitatea teoretică de gaze de ardere umede, [ $m^3N/kg$  deșeu]

$\lambda$  = coeficient de exces de aer, []

$L_0$  = Cantitatea minimă de aer necesară arderii, [ $m^3N/kg$  deșeu]

Cantitatea totală de gaze de ardere [ $m^3n/h$ ]:

$$VR = m_a V_n$$

unde:

$m_a$  = Cantitatea de deșeuri incinerate pe oră [kg/h]

$V_n$  = cantitatea specifică de gaze de ardere [ $m^3n/kg$  deșeu]

Cantitatea de gaz la coș [ $m^3/h$ ]:

$$VR_t = VR \cdot (1 + 0.00367 \cdot t_{camera\ de\ ardere})$$

unde:

$VR_t$  = Cantitatea de gaze la coș, [ $m^3N/h$ ]

$VR$  = cantitatea specifică de gaze de ardere [ $m^3n/kg$  deșeu]

$t_{camera\ de\ ardere}$  = temperatura din camera de ardere, [°C]

Timpul (aproximativ) de staționare [s]:

$$Z = \frac{\text{Volumul camerei de ardere}}{VR_t}$$

unde:

$Z$  = Timpul (aproximativ) de staționare, [s]

Volumul camerei de ardere = Volumul camerei de ardere, [ $m^3$ ]

$VR_t$  = Cantitatea de gaze la coș, [m<sup>3</sup>N/h]

Viteza fazelor de ardere [m/s]:

$$W_R = \frac{VR_t}{Sect\acute{c}i\text{u camerei de ardere} \cdot 3600}$$

unde:

$W_R$  = Viteza fazelor de ardere, [m/s]

$VR_t$  = Cantitatea de gaze la coș, [m<sup>3</sup>N/h]

$Sect\acute{c}i\text{u camerei de ardere}$  = Aria transversală a camerei de ardere, [m<sup>2</sup>]

Baza pentru stabilirea valorii reale (umede) a cantității de gaze de ardere  $V_n$  [m<sup>3</sup>n/kg deșeu], datorată arderii unui kilogram de deșeu, este cantitatea teoretică umedă de gaze de ardere  $V_0$  [m<sup>3</sup>n/kg], care rezultă din volumul de reacție al deșeului și din volumul de reacție al cantității minime teoretice de aer  $L_0$  [m<sup>3</sup>n/kg] în condiții stoichiometrice ( $\lambda=1$ ). Cantitatea de aer necesară practic  $L_n$  [m<sup>3</sup>n/kg] din formulă se calculează în funcție de raportul de aer  $\lambda$ :

$$L_n = \lambda \cdot L_0$$

unde:

$L_n$  = Cantitatea de aer necesară practic, [m<sup>3</sup>N/kg]

$\lambda$  = Coeficient de exces de aer, []

$L_0$  = Cantitatea de aer necesară teoretic, [m<sup>3</sup>N/kg]

Valorile pentru  $V_0$  și  $L_0$  pot fi determinate din tabele, diagrame și formule aproximative. În formulele pentru cantitatea de gaze de ardere de la coș  $VR_t$ , timpul staționare  $Z$  și viteza gazelor de ardere  $W_R$  se pot folosi atât condițiile de temperatură și geometrie ale camerei de ardere precum și cele ale zonei de postcombustie sau chiar și condițiile din zonele de răcire (generatorul de aburi) și nu numai.

$V_0$  și  $L_0$  depind în cea mai mare parte de capacitatea calorifică a deșeurilor, de aceea la capacități calorifice mai mari cantitatea de gaze de ardere crește, la mai mici scăzând. Asta înseamnă că la capacități calorifice mai mari, viteza gazelor de ardere va fi mai mare. Ca urmare se reduce timpul de staționare. Instalațiile de incinerare mai noi au camere de incinerare și postardere adaptate tehnologiilor actuale, cu zone de ardere și secțiuni mari, concepute pentru viteze mici. Din acest motiv se ating timpi de staționare acoperitori chiar și la capacități calorifice ridicate. În ceea ce privește problema dioxinei, aceasta alături de celelalte măsuri reprezintă una dintre condițiile necesare pentru minimizarea formării dioxinei.

Instalațiile mai vechi au în general camere de incinerare și respectiv postardere mai mici. Din această cauză, în cazul arderii unor deșeuri cu capacitate calorifică mai mare se obțin viteze mai mari și timpi de staționare mai mici. O ardere suficientă a gazelor de ardere poate fi atinsă doar în cazuri izolate.

Mentținerea unei temperaturi de minimum 850°C este foarte importantă din punctul de vedere al minimizării emisiilor de furani și dioxine. Acest lucru se poate

realiza doar în anumite condiții termodinamice. Punctul de plecare pentru calcularea temperaturii medii reale din camera de incinerare este temperatura teoretică a camerei de incinerare [19].

$$H_F \text{ teoretică} = \frac{H_u}{V_n}$$

unde:

$H_{F\text{teoretică}}$  – entalpia temperaturii teoretice din camera de ardere [kJ/m<sup>3</sup>N]  
 $V_n$  – cantitatea specifică de gaze de ardere [m<sup>3</sup>/kg deșeu]  
 $H_u$  – Capacitate calorifică [kJ/kg]

Pentru entalpia găsită se citește din tabele temperatura adiabatică corespondentă. Temperatura adiabatică obținută este la rândul ei indirect dependentă de capacitatea calorifică a excesului de aer.

Temperatura teoretică din camera de incinerare nu este măsurabilă în practică deoarece o parte din căldura introdusă este transmisă imediat suprafețelor de încălzire, în principal sub formă de radiație ( $Q_s$ ). Temperatura reală a camerei de incinerare este măsurabilă și este folosită ca un parametru important pentru controlul procesului de incinerare.

Calcularea exactă a temperaturii medii reale a camerei de incinerare ( $t_F$ ) se poate calcula prin metode matematice, dar pentru controlul procesului de incinerare se poate estima cu următoarele formule [19] :

$$H_F = \frac{H_u}{V_n} - \frac{Q_s}{V_R}$$

unde:

$H_F$  – entalpia temperaturii reale din camera de incinerare [kJ/m<sup>3</sup>n], se găsește în diagrame în funcție de temperatura  $t_{F\text{reală}}$   
 $H_u$  – Capacitate calorifică [kJ/Kg]  
 $V_n$  – cantitatea specifică de gaze de ardere [m<sup>3</sup>/kg deșeu]  
 $Q_s$  – căldura cedată prin radiație [kJ/h]  
 $V_R$  – debitul de gaze de ardere [m<sup>3</sup>/h]

Căldura ( $Q_s$ ) cedată suprafețelor încălzite ale cuptorului respectiv ale camerei de postardere ( $A_s$ ) poate fi aproximată cu ajutorul formulei lui Hottel[19]:

$$Q_s = \frac{m_A \cdot H_{uA} \cdot 1}{1 + 1645 \cdot \frac{\sqrt{Q_F / 4.19 \cdot A_s}}{t_F \text{ teoretică}^{1.82}}} - \frac{Q_s}{V_R}$$

unde:

$Q_s$  – căldura cedată [kJ/h]  
 $Q_F$  – căldura din focar [kJ/h]  
 $m_A \cdot H_{uA}$  – căldura cedată de deșeuri [kJ/h]

$m_A$  – cantitatea de deșuri [kg/h]

$H_{uA}$  – capacitatea calorică a deșeurilor [kJ/kg]

$A_S$  – suprafața de încălzire prin radiație [ $m^2$ ]

$t_{Teoretică}$  – temperatura teoretică din camera de ardere, [ $^{\circ}C$ ]

Suprafața de încălzire prin radiație ( $A_S$ ) este suprafața proiectată în camera de ardere [19].

$$A_S = n \cdot d \cdot l$$

unde:

$A_S$  – suprafața de încălzire prin radiație [ $m^2$ ]

$n$  – numărul de țevi []

$d$  – Perimetrul proiectat al țevii [m]

$l$  – Lungimea (înălțimea zonei de radiație)[m] [19]

## 2.2 Tipuri de cuptoare primare de incinerare

### 2.2.1 Cuptoare rotative

Cuptorul rotativ reprezintă cea mai utilizată instalație în cadrul tehnologiilor de tratare a deșeurilor periculoase cu compoziție variabilă. Cuptoarele rotative sunt construite dintr-un tambur în care sunt introduse deșeurile ce ard înaintând spre ieșire sub acțiunea mișcării rotative a cuptorului. Această rotație permite un bun contact aer-combustibil prin mișcarea continuă a deșeurilor. Acest tip de cuptor este recomandat deșeurilor cu putere calorică redusă și de regulă pentru debite mici [15]. Procesarea materiilor prime solide, semisolide și lichide la temperaturi înalte în cuptoare rotative se folosește de mult timp în industrie, cum ar fi cea a cimentului, varului, fosfatului, fierului și a cărbunelui. Cuptoarele rotative de ciment se pot folosi – și se folosesc – ca incineratoare de deșuri periculoase [19]. Cuptoarele rotative îndeplinesc o serie de funcții necesare incinerării:

- transportul solidelor
- amestecarea solidelor
- izolarea termică pentru ameliorarea transferului termic
- asigurarea de condiții prielnice desfășurării reacțiilor chimice
- transportul gazelor spre camera postcombustie

Cuptoarele rotative pot procesa deșuri solide, nămoluri, lichide și deșuri containerizate.

Cuptoarele rotative folosite pentru distrugerea deșeurilor sunt de regulă destul de scurte (10-12 m) și au un diametru de 3,5-5m. Raportul între lungime și diametru este între 2:1 și 10:1, viteza periferică de rotire fiind cuprinsă între 0.3 și 3m/min. Temperatura de funcționare a cuptorului pentru zgurificare este de 1100-1300 $^{\circ}C$ . Reglementările legale nu prevăd valori minime pentru temperatura din cuptor, ci pentru temperatura din camera de postcombustie, care de regulă este prescrisă la 1200 $^{\circ}C$  în condiții obișnuite și 1250-1350 $^{\circ}C$  în cazul incinerării

deșeurilor speciale ce conțin spre exemplu hidrocarburi aromatice clorurate [15, 19].

Caracteristic acestor cuptoare este faptul că necesită energie suplimentară pentru atingerea parametrilor de funcționare prescriși. Capacitatea de procesare a unui astfel de cuptor este cu 2-6t/h mai mică decât în cazul cuptoarelor cu grătare [19].

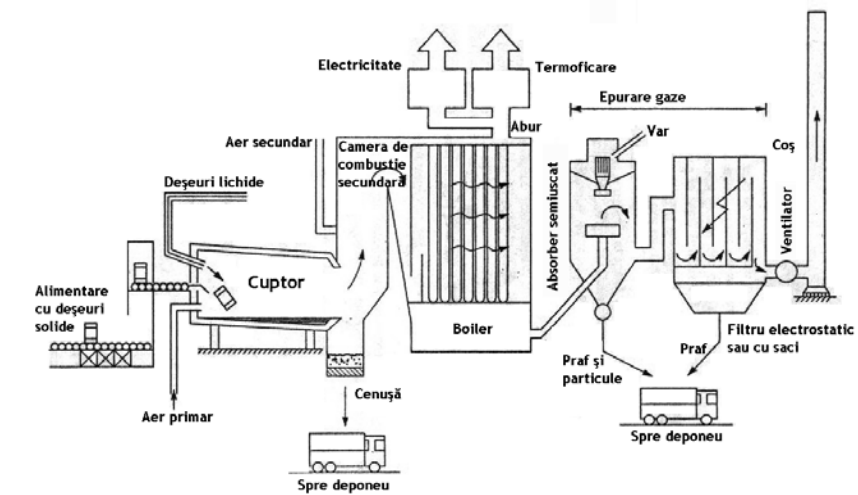
După camera de incinerare, în fluxul tehnologic urmează camera de combustie secundară. Pentru a se asigura oxidarea completă a tuturor materiilor organice, aici se introduce combustibil suplimentar și aer. Reglementările cer ca în camera de combustie secundară gazele să aibă un timp de retenție de minim 2s la 1200°C. Turbulența din această cameră este asigurată în instalațiile mai noi prin secțiunea circulară a camerei, unde arzătoarele sunt așezate în poziție tangențială.

Camera de combustie secundară este urmată de o zonă de răcire a gazelor. Răcirea se poate face spre exemplu prin introducerea de aer suplimentar. Temperatura se reduce de la aproximativ 1200°C la aproximativ 900°C pentru a se evita depunerea de cenuși vitrificate greu de îndalăturat de pe suprafața de contact a schimbătorului de căldură.

În Europa se folosesc în mod curent cazane de aburi pentru recuperarea căldurii. Aici temperatura coboară până în jur de 280°C. Căldura astfel recuperată poate fi folosită pentru producerea de energie electrică sau pentru termoficare. Dezavantajul acestei metode îl reprezintă răcirea lentă a gazelor, ceea ce duce la creșterea riscului de formare a dioxinei.

În Statele Unite au apărut de curând proiecte de incineratoare cu răcire rapidă a gazelor de ardere, prin injectarea de apă. Dezavantajele principale ale acestei tehnologii constau în faptul că nu se mai recuperează căldura, iar apele reziduale trebuie tratate în vederea re folosirii sau deversării. Prin folosirea tehnologiilor moderne, se poate reduce cantitatea de dioxină formată, chiar și fără a se recurge la injectarea de apă [21, 22].

În **figura 5** este prezentat schematic un incinerator cu cuptor rotativ [21].



**Figura 5** Incinerator cu cuptor rotativ



### 2.2.2 Cuptoare cu grătare mobile

Cuptoarele cu grătare mobile reprezintă tipul de cuptor cel mai utilizat la incinerarea deșeurilor. Cuptoarele cu grătare mobile sunt acelea unde înaintarea deșeurilor se face pe un plan înclinat mobil compus din grătare, lanțuri, tamburi și bare care favorizează combustia prin amestecarea permanentă a deșeurilor, lucru ce permite ca aerul să intre în contact cu deșeurile.

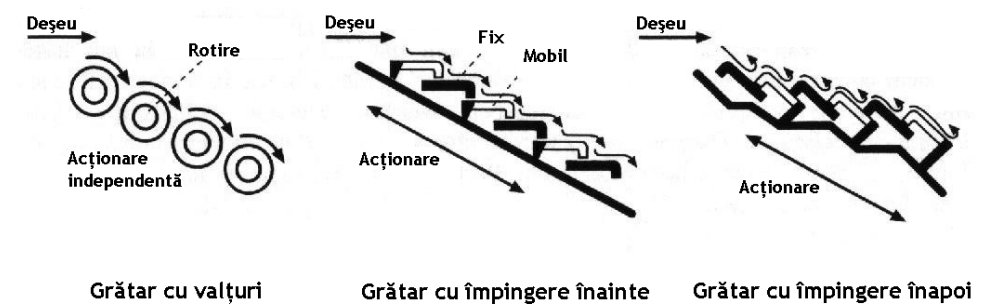
Într-un astfel de sistem există întotdeauna:

- un dispozitiv de alimentare cu deșeuri
- un suport de combustie, care combină funcția de avansare a deșeurilor cu cea de extracție a zgurii
- un dispozitiv de evacuare a zgurii.

În toate instalațiile moderne există de asemenea o cameră de combustie care este cuplată la recuperatorul de căldură; în general acest recuperator face corp comun cu camera de combustie.

O unitate modernă de acest tip conține toate elementele de bază de mai sus și în plus alte accesorii, echipamente și instalații conexe necesare unei funcționări [15].

În **figura 6, 7 și 8** sunt prezentate trei tipuri de grătare utilizate la deplasarea materialelor incinerate [19].



**Figura 6** Trei tipuri de grătare

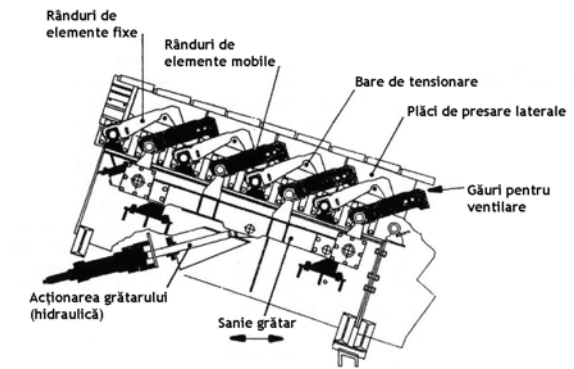


Figura 7 Grătar cu împingere

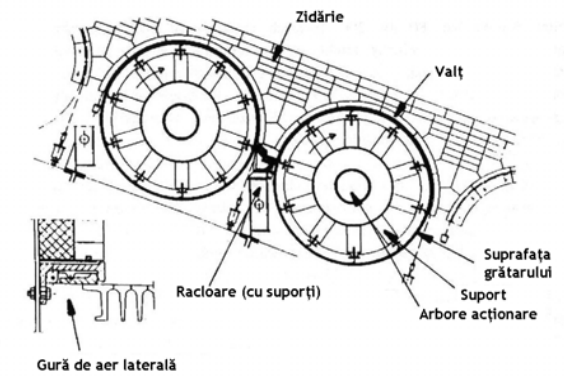


Figura 8 Grătar cu valțuri

Producătorii oferă o gamă largă de grătare. Printre cele mai utilizate se numără: grătarele cu valțuri, grătare cu împingere în trepte, grătare cu împingere înainte și grătare cu împingere înapoi. Aceste sisteme s-au impus și oferă posibilități corespunzătoare de stabilire a geometriei camerei de ardere și a camerei de ardere secundare în vederea reducerii emisiilor. Aceste sisteme pot asigura capacități de incinerare mari (până la 40t/h, în funcție de proiect) [19].

Capacitatea cuptorului este funcție de suprafața grătarului și volum. Volumul cuptorului este calculat în funcție de cantitatea de căldură degajată de 178000 Kcal/m<sup>3</sup> și capacitatea calorică a deșeurilor de 2777Kcal/Kg, la un flux orar de 64Kg/m<sup>3</sup>. De obicei se asigură 0.85-0.99m<sup>3</sup> volum incinerator pentru fiecare tonă de deșeu incinerabilă pe zi [21].

În funcție de caracteristicile de ardere ale deșeurilor se stabilește unghiul de înclinare al grătarului (între 10 și 30 grade). Procentul de materiale nearse este între 0.3 și 2%, în funcție de calitatea întreținerii utilajului [19, 23].

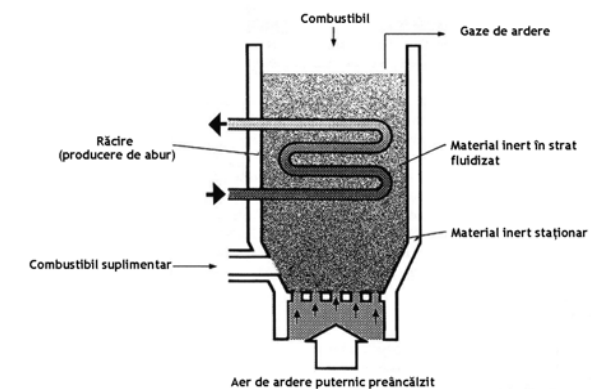
Pentru reducerea uzurii se folosesc grătare răcite cu apă care, după cum s-a demonstrat în 1996 că după 42000 ore de funcționare nu s-a înregistrat o uzură semnificativă [24].

### 2.2.3 Cuptoare cu strat fluidizat

Cuptoarele în strat fluidizant se caracterizează printr-o ardere în suspensie. Acest tip de cuptor constă dintr-o incintă căptușită cu cărămidă refractantă, divizată în trei compartimente suprapuse. Compartimentul de bază servește ca plin de aer cald insuflat, al doilea compartiment conține agregatele, nisipul și pietrișul care sunt ținute în suspensie prin aerul insuflat; al treilea compartiment folosește ca și cameră de combustie. Agregatele cu o temperatură de aproximativ 800°C și menținute în suspensie, intră în contact cu deșeurile introduse prin partea superioară.

Există un număr mare de astfel instalații pentru deșeurile menajere în Japonia și Suedia, dar se găsesc câteva și în S.U.A.. Această tehnologie este încă în plină dezvoltare și promite să aibă utilizări interesante [15].

Folosit ca incinerator, prezentat în **figura 9**, acest tip de cuptor se folosește pentru o gamă largă de deșuri solide, lichide și gazoase, în special nămoluri de canalizare, deșuri petroliere, deșuri din industria hârtiei și celulozei. Diametrul interior al unui astfel de cuptor este de aproximativ 8m, cu o înălțime de 10m. Temperatura este menținută între 760 și 870°C cu ajutorul unor arzătoare situate dedesubtul și deasupra patului [15, 19].



**Figura 9** Cuptor cu strat fluidizat

Procedeele de incinerare în strat fluidizat se clasifică după domeniile de viteză a gazelor de ardere prin camera de ardere sau prin ordonarea duzelor din partea inferioară a acesteia [19].

Astfel, se pot deosebi trei mari categorii de cuptoare cu strat fluidizat [19] :

- *Strat fluidizat staționar* – (la presiune atmosferică și alimentat sub presiune) materialul este deplasat cu viteză foarte mică.
- *Strat fluidizat circulant* – aici se lucrează cu viteze mai mari, combustibilul ners fiind recirculat
- *Strat fluidizat rotativ* – funcționează asemănător cu stratul fluidizat staționar, dar se ating timpi de staționare mai mari în zona de ardere, deoarece prin aranjarea duzelor de la partea inferioară se produce o mișcare de rotație.

Incinerarea în strat fluidizat reduce conținutul de oxizi de azot întrucât funcționează la o temperatură relativ scăzută a gazului și cu un exces de aer mic. Pentru neutralizarea gazelor acide se poate introduce var împreună cu deșeurile [15, 19].

Incineratoarele cu pat fluidizat prezintă o serie de avantaje față de incineratoarele convenționale [25] :

- Ușurință în exploatare, datorată unui minim necesar de cheltuieli de întreținere și posibilitatea de a fi automatizat ușor.
- Combustie eficientă în sensul emisiilor reducerii emisiilor atmosferice și al reducerii procentului de materii nearchive.
- Compactitate
- Absența pieselor mecanice în mișcare
- O mare inerție termică datorată patului de nisip
- O bună îndeplinire a celor trei condiții (trei T) fundamentale pentru incinerare: Temperatură, Timp de staționare și Turbulență

#### 2.2.4 Cuptoare cu radiații infraroșii

Procedeul cu radiații infraroșii a fost elaborat pentru tratarea solurilor contaminate și a deșeurilor solide și lichide. Instalațiile care funcționează pe acest principiu se compun din [15] :

- o cameră primară cu radiații infraroșii care funcționează pirolitic la temperaturi între 540 și 1000°C echipată cu o bandă transportoare din oțel inoxidabil pentru deșeuri.
- o cameră secundară încălzită cu propan la 1100-1260°C.

Deșeurile sunt alimentate în camera primară. Căldura este furnizată de elementele încălzitoare cu radiații infraroșii, cum sunt tijele din carbură de siliciu, prevăzute cu contacte electrice la extremități, instalate pe pereții camerei.

Deșeurile sunt transportate în camera de ardere prin intermediul unei curele de sârmă de oțel aliat. Circulația gazelor se poate realiza fie în echicurent, fie în contracurent. La ieșirea din camera de ardere deșeurile sunt colectate într-o toabă colectoare. Efluenții gazoși ce părăsesc camera primară intră în camera secundară pentru finalizarea arderii. Camera secundară permite un timp de staționare a gazului de 2,2s și un exces maxim de aer de 100% [15].

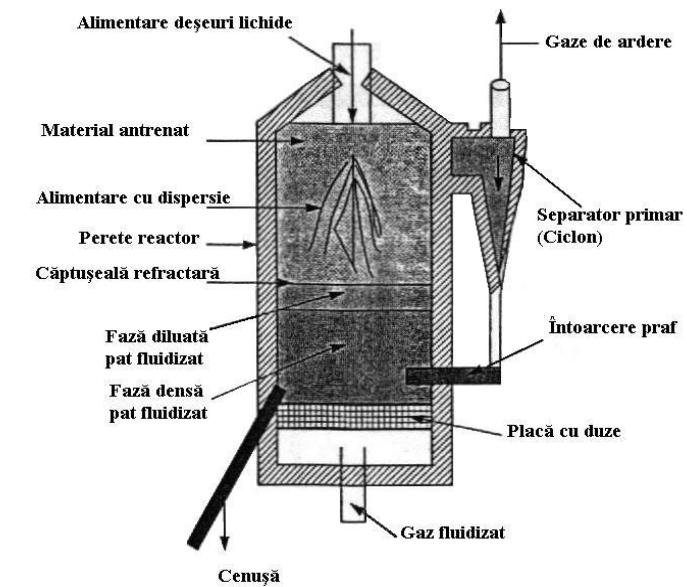
#### 2.2.5 Cuptoare cu injecție de lichid

Incineratoarele cu injecție de lichid permit eliminarea aproape totală a deșeurilor lichide combustibile, cum sunt uleiurile lubrifiante, vopselele cu latex, solvenții și pesticidele. Incineratorul este format dintr-o cameră de ardere orizontală sau verticală din oțel, căptușită cu materiale refractare și echipată cu o duză sau alt dispozitiv ce atomizează deșeurile și le amestecă cu aerul. Deșeurile lichide pot fi injectate cu un dispozitiv de injecție sub presiune.

Incineratoarele de acest tip se pretează deșeurilor lichide ce pot fi atomizate. Deșeurile lichide cu vâscozitate ridicată pun probleme din punctul de vedere al eliminării și al arderii și prin urmare nu sunt utilizate.

Plaja de temperaturi caracteristică este de la 650 la 1650°C. De obicei funcționează la valori în jur de 1000°C. Timpul de staționare variază între 0,5 și 2 secunde. Încărcarea termică realizată de deșeurile „sărace”, care necesită aport de combustibil auxiliar este de ordinul a 900000kJ/m<sup>3</sup>h. Deșeurile „bogate”, cu putere calorifică mare, care nu necesită aport de combustibil suplimentar și care pot fi injectate printr-un arzător cu turbinare, de mare intensitate realizează încărcări termice de ordinul a 3700000kJ/m<sup>3</sup>h [15].

În **figura 10** se prezintă un cuptor cu injecție de lichid [21].



**Figura 10** Cuptor cu injecție de lichid

## 2.3 Procedee de tratare a gazelor rezultate din procesele de ardere

### 2.3.1 Camera secundară de ardere

Datorită timpului de staționare mic, în camera primară de incinerare are loc o combustie incompletă, cu degajare de compuși organici volatili. Din practica industrială se știe că doar CO, H<sub>2</sub> și CH<sub>4</sub> apar în cantități importante, iar celelalte substanțe organice rezultă doar în cantități neglijabile. Aceste substanțe se degajă la încălzirea deșeurii, dar sunt distruse la contactul cu aerul de combustie în condițiile de temperatură și turbulență din camera secundară de ardere și în mică măsură în camera primară unde excesul de aer și timpul de staționare sunt de regulă mai mici. Dacă amestecul aer-deșeu este bun, atunci hidrocarburile se transformă complet în CO<sub>2</sub> și apă. Dacă acesta nu este corespunzător, se degajă alături de CO<sub>2</sub> și apă o serie de alte substanțe precum CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>. În anumite situații vor rezulta și

funingine, care constă în principal din carbon amorf și compuși organici volatili [26].

Atomul de carbon are capacitatea de a forma agregate la temperaturi peste 1000°C. Asemenea temperaturi se ating în instalațiile de incinerare. O dată formate, agregatele de carbon sunt stabile și greu de îndepărtat. Pe măsură ce gazele arse se răcesc, o serie de substanțe, provenite din materii nearse sau formate în timpul combustiei, se adsorb pe aceste agregate. Astfel, agregatele de carbon devin scheletul particulelor de funingine, ce se găsesc în mari cantități în aerul atmosferic. Particulele de funingine sunt de dimensiuni suficient de mici pentru a fi depozitate în căile aeriene ale omului, unde pot cauza boli grave.

În studiul „Hardward six cities” și în alte studii similare s-a arătat că mortalitatea din cauza bolilor cardio-pulmonare crește cu 1% la creșterea încărcării aerului cu particule fine de 10μg/m<sup>3</sup>. Chiar și în orașele aparent curate, precum Zürich, de regulă concentrații de 30-40μg/m<sup>3</sup> sunt generate doar de traficul rutier. Se cunosc foarte bine riscurile expunerii pe termen lung la inhalarea de particule fine. Cancerul de plămâni este cel mai de temut dintre ele, nu în ultimul rând deoarece expunerea își produce efectele în timp, după 20-30 de ani. Din acest motiv, instalațiile moderne de incinerare folosesc sisteme avansate de filtrare a gazelor [27, 28].

Eficiența combustiei (CE), exprimată în procente, se poate calcula din relația:

$$CE = \frac{C_{CO_2} - C_{CO}}{C_{CO_2}} \cdot 100$$

Unde:

$C_{CO_2}$ =concentrația CO<sub>2</sub> [%]  
 $C_{CO}$ =concentrația CO [%]

Temperatura de funcționare a cuptorului este de 850-1300°C. De regulă reglementările legale nu prevăd valori minime pentru temperatura din cuptor, ci pentru temperatura și timpul de staționare după ultima adăugare de aer. Temperatura este prescrisă la cel puțin 850°C în condiții obișnuite și peste 1100°C în cazul incinerării deșeurilor speciale ce conțin spre exemplu hidrocarburi aromatice clorurate [12].

Timpul de staționare al gazelor în diferitele zone ale incineratorului joacă un rol major în ceea ce privește calitatea incinerării. În zona de „postcombustie” a sistemului reglementările dictează în cele mai multe cazuri timpi de retenție de cel puțin 2s la temperatura prescrisă în camera de postcombustie. La temperaturi peste 1200°C, acest timp poate fi redus. Timpul de ședere al solidelor în cuptorul rotativ este dat de relația:

$$t_s = \frac{0.19 \frac{L}{D}}{SR}$$

Unde:

$t_s$ = timpul de staționare al solidelor [ore]  
 $L/D$ = raportul lungime/diametru [ ] (aproximativ 1:5)  
 $S$ = înclinația cuptorului [%] (aproximativ 3-9)

$R$  = viteza de rotație [rpm] (aproximativ 0,03-0,3)

De obicei, timpul de retenție al solidelor este de ordinul câtorva ore.  
Timpul de retenție al gazelor se poate calcula cu formula:

$$t_g = \ln \frac{9,21}{A} \cdot \frac{E}{RT}$$

Unde:

$t_g$  = timpul de retenție al gazelor pentru distrugerea în proporție de 99,99% a compușilor specifici

$A$  = Frecvența pre-exponențială Arrhenius [ $s^{-1}$ ]

$E$  = Energia de activare [J/kg mol]

$R$  = Constanta generală a gazelor = 8314 [J/kg mol]

$T$  = Temperatura absolută [K]

Existența unei „frecvențe imaginare”,  $A$  este o reformulare a faptului că energia de reacție are un maxim, alături de un minim de-a lungul unei coordonate date. Cu toate că este exprimată în unități de frecvență, ea este o măsură a curburii din acel punct și nu are nimic de-a face în mod direct cu vreo viteză de reacție.  $A$  și  $E$  se cunosc de regulă pentru anumiți compuși, astfel încât  $t_g$  și  $T$  se pot calcula.

Îndeplinirea condițiilor de temperatură și timp nu este suficientă fără îndeplinirea condițiilor de amestecare a deșeurilor vaporizate. Pentru a satisface condiția de existență a unui mediu turbulent este necesară atingerea unui număr Reynolds suficient de mare în camera de incinerare. Reglementările cer ca în camera de combustie secundară gazele să aibă un timp de retenție de minim 3s la 1100°C [21].

### 2.3.2 Recuperarea căldurii din gazele arse

În incinerator se degajă o mare cantitate de căldură recuperabilă sub formă de vapori care se poate utiliza cu diferite scopuri:

- încălzirea podelelor
- producerea de apă caldă
- conversia în energie mecanică cu ajutorul unei turbine
- conversia în energie electrică cu ajutorul unui turbo-alternator.

Rezultatul simplificat al bilanțului termic al unui ansamblu tipic modern de cuptor-cazan se exprimă de obicei prin randamentul de vaporizare ( $\eta$ ), care prin definiție este raportul dintre cantitatea de vapori produsă ( $Q$ ) și cantitatea de deșeuri arsă dintr-un timp dat ( $M$ ) [20] :

$$\eta = \frac{Q}{M} \cdot 100$$

unde

$\eta$  = randamentul de vaporizare [tone de vapori / tone de deșeuri]

$Q$  = cantitatea de vapori produsă [t]

$M$  = cantitatea de deșeuri arsă dintr-un timp dat [t]

Randamentul de vaporizare se mai poate exprima în funcție de forma intrinsecă a energiei absorbite de vapori ( $H$ ), de randamentul ansamblului ( $\varphi$ ) și evident de puterea calorifică inferioară a deșeurilor ( $P_{CI}$ ), relația [15, 20] :

$$\eta = \frac{Q}{M} \cdot 100 = \frac{\varphi}{H} P_{CI} \cdot 100$$

unde:

$\eta$  = randamentul de vaporizare [tone de vapori / tone de deșeuri]

$Q$  = cantitatea de vapori produsă [t]

$M$  = cantitatea de deșeuri arsă dintr-un timp dat [t]

$\varphi$  = randamentul ansamblului [%]

$H$  = energia de absorbite de vapori [Gcal/t]

$P_{CI}$  = puterea calorifică inferioară a deșeurilor [Gcal/t]

Pentru echipamentele și deșeurile actuale, randamentul de vaporizare variază între 20% și 30%.

Producerea de electricitate, pornind de la vapori, poate să asigure venituri substanțiale, chiar mai mari decât veniturile obținute din vânzarea vaporilor pentru încălzire, dar în alte cazuri se întâmplă tocmai invers. Evident, totul depinde de piața energetică locală, fiecare caz fiind unic.

O altă aplicație care prezintă interes este cea de cogenerare prin care se produce electricitate la un anumit nivel de putere, pentru ca în final să se vândă vapori sub presiune. Această aplicație presupune utilizarea unei turbine cu extragere de vapori; în acest fel se poate optimiza producția energetică în funcție de cel mai bun randament global al procesului.

Producerea de electricitate pornind de la incinerarea deșeurilor reclamă o investiție inițială considerabilă, din cauza presiunii nete care se cere. În general se admite că, pentru a obține condiții optime și randamente termodinamice bune pentru producerea de electricitate, vaporii trebuie să aibă 60 bari și 375°C.

Ținând cont de condițiile actuale de utilizare a vaporilor în turbine (turbine cu condensare sau turbine cu extragere de vapori), de eficacitate ansamblului cuptor-cazan, precum și de puterea calorică a deșeurilor ( $P_{CI}$ ), se poate stabili o regulă de estimare a nivelului producției electrice cu ajutorul unui incinerator de deșeuri solide. Această regulă stipulează, că pornind de la deșeuri cu compoziție tipică și de la un cuptor-cazan care are un randament de 70% raportat la  $P_{CI}$ , este posibil să se producă între 500-700kW/t/h. Această estimare presupune utilizarea de echipamente cu capacitate integrală. În plus de notat este faptul că ea este bazată pe puterea calorifică tipică deșeurilor urbane nord-americane.

În **figurile 11** (a,b,c) se prezintă schemele fluxului tehnologic de recuperare a energiei, cu ajutorul echipamentelor cazan-turbină [15] :



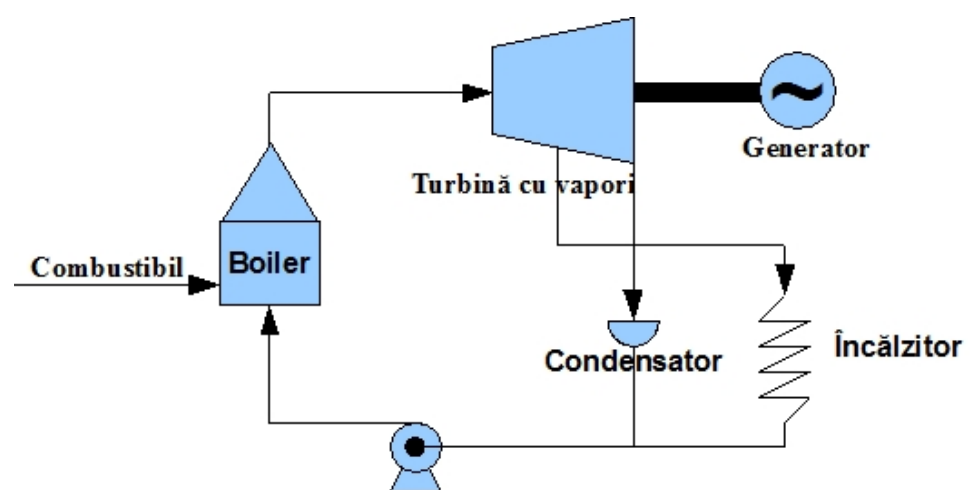


Figura 11 a Sistem turbină cu vapori

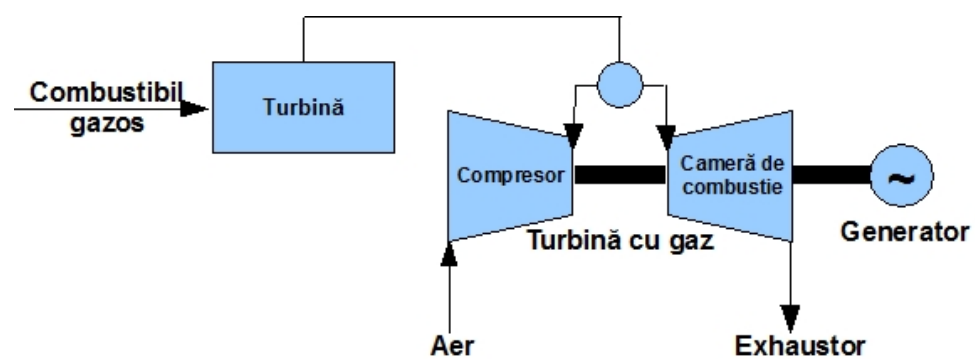


Figura 11 b Sistem turbină cu gaz

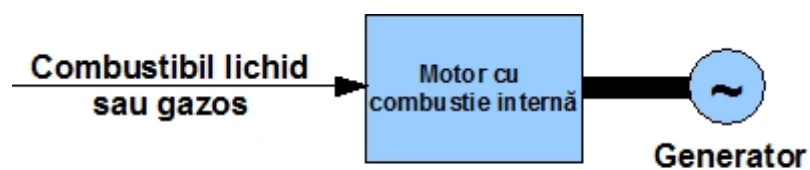


Figura 11 c Sistem de motor cu combustie internă

În figurile 12 (a,b,c) se prezintă schemele fluxului tehnologic în cazul cogenerării de electricitate și abur sau apă fierbinte [15].

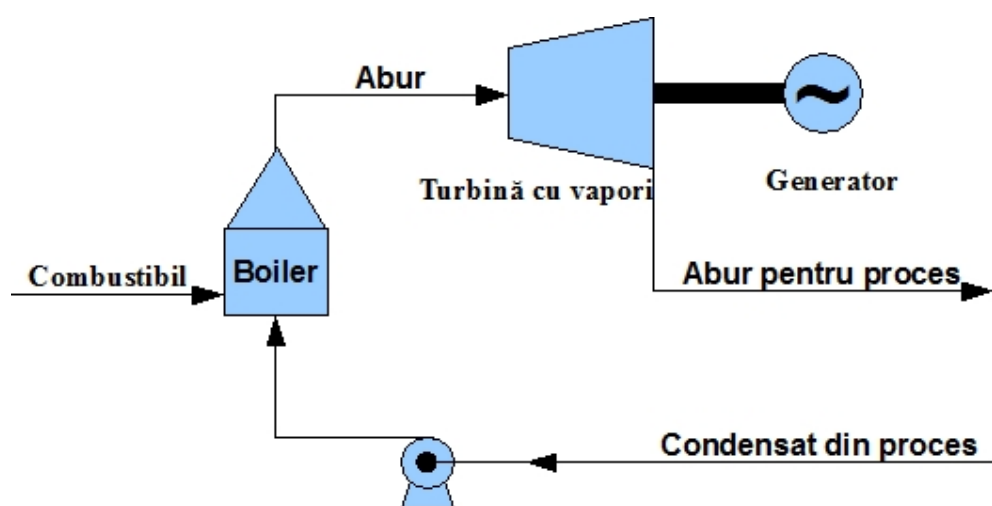


Figura 12 a Sistem de turbină cu vapori și boiler

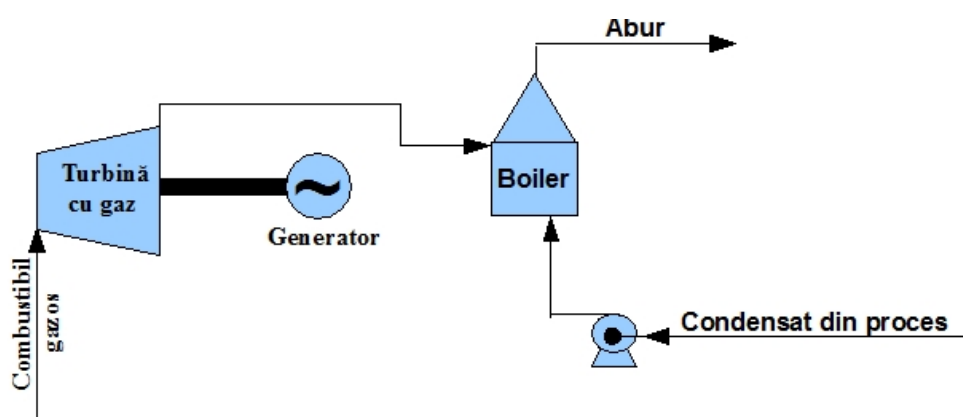


Figura 12.b Sistem de turbină cu gaz și boiler

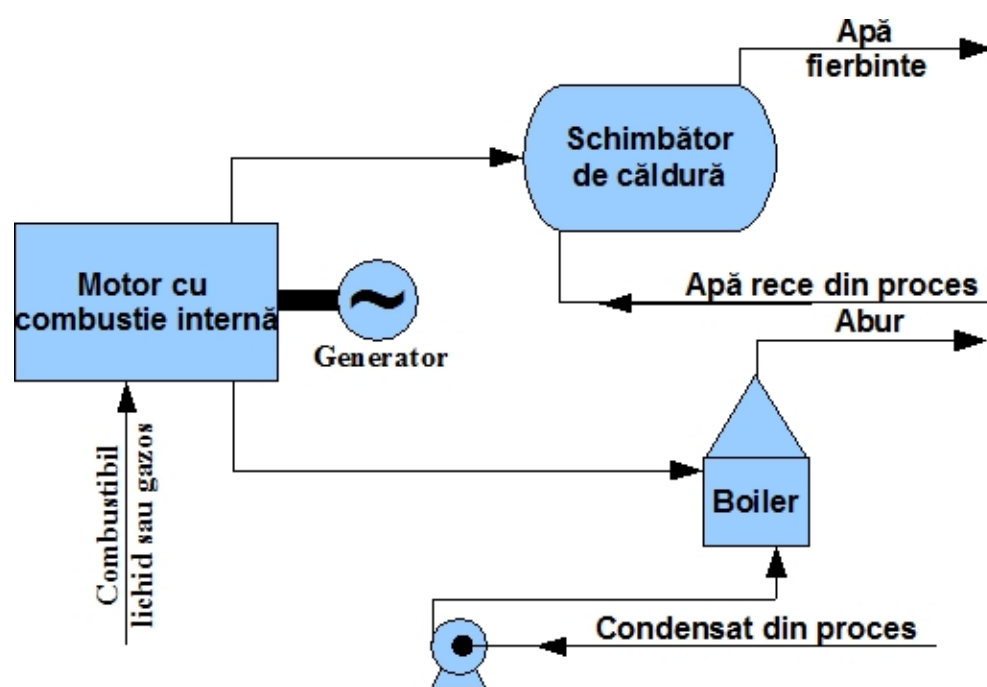


Figura 12.c Sistem de motor cu combustie internă și boiler

Unul din echipamentele cele mai utilizate de recuperare a energiei este cazanul. Acesta poate fi integrat într-un sistem de incinerare. Este important să se estimeze corect capacitatea cazanului, știind că este unica unitate care permite recuperarea energiei.

Eficacitatea cazanului este influențată de mai mulți factori. Acești factori sunt în principal:

- energia conținută în deșeurile solide
- temperatura de ieșire a gazului din coșul de gaze de ardere
- concepția fizică a cazanului [15, 20].

### 2.3.3 Tratarea gazelor arse în vederea reducerii conținutului de monoxid de carbon (CO)

Monoxidul de carbon, alături de hidrogenul sulfurat, nitriți, cianuri, ș.a. formează clasa poluanților asfixianți. Mecanismul de acțiune în producerea hipoxiei sau anoxiei tisulare constă fie în blocarea oxigenului de către hemoglobină (monoxidul de carbon, nitriții), fie în împiedicarea folosirii oxigenului în procesele metabolice (cianuri), fie în blocarea centrului respirator (hidrogenul sulfurat).

Monoxidul de carbon se formează ca urmare a combustiei incomplete. Efectele sale asupra organismului sunt date de capacitatea de a forma împreună cu hemoglobina un complex (carboxihemoglobina) care blochează fixarea oxigenului. Sunt suficiente cantități mici de monoxid de carbon pentru a reduce oxigenarea sângelui. Formarea carboxihemoglobinei este un proces ireversibil [29, 30, 31].

Efectele provocate de otrăvirea cu monoxid de carbon depind de

concentrația de carboxihemoglobină din sânge și se pot clasifica în trei categorii: acute, cronice și asupra fătului [29].

Efectele acute:

- Concentrații de 0,5-0,8% carboxihemoglobină în sânge reprezintă valori normale, în absența expunerii la monoxid de carbon.
- La concentrații de până la 2% carboxihemoglobină în sânge nu s-au semnalat modificări patologice.
- La concentrații de carboxihemoglobină în sânge cuprinse între 2 și 10% apar primele simptome datorate hipoxiei. (în special în cazul persoanelor cu tulburări circulatorii cerebrale, care au consumat alcool, au făcut tratament cu sedative, antihistaminice, hipotensoare, sau la persoanele cu funcția miocardică alterată)
- La concentrații de carboxihemoglobină în sânge cuprinse între 10 și 20% pe lângă fenomenele anterioare apar cefaleea, dispneea și scăderea performanțelor fizice
- Între 20 și 40% carboxihemoglobină apare intoxicația acută manifestată prin cefalee, amețeli, greață, adinamie, tulburări senzoriale.
- Concentrații ce depășesc 40% determină pierderea conștienței
- La concentrația de 60% apare decesul.

**Efectele cronice** apar la persoanele expuse timp îndelungat la concentrații relativ crescute de monoxid de carbon, cu manifestări caracteristice sindromului astenic.

Asupra aparatului cardiovascular:

- La concentrații de carboxihemoglobină în sânge de 4% pot apărea decompensări ale cardiopatiilor sau acestea pot constitui un factor declanșator al accidentelor acute în cadrul cardiopatiei ischemice.
- La concentrații între 5 și 10% existente timp îndelungat se produce depunerea de plăci ateromatoase în peretele vascular, prin modificarea permeabilității vasculare, alterări în vasa vasorum, modificări enzimatice. Așa se explică frecvența mare a arterosclerozei la fumători sau persoanele expuse la concentrații relativ mari de monoxid de carbon.
- La concentrații ce depășesc 15% se pot produce alterări miocardice grave (sindromul Shinsu).

Asupra embrionului și fătului:

Carboxihemoglobina poate străbate bariera fetoplacentară, cu apariția malformațiilor congenitale, a hipotrofiei fătului la naștere și a nașterilor premature [29].

În ceea ce privește monoxidul de carbon, menținerea acestuia în limitele legale depinde în mod esențial de calitatea combustiei. În general se admite că trebuie menținută o temperatură minimă între 850 și 1000 °C timp de minimum 1-2 secunde pentru a se asigura combustia completă a deșeurilor. Această condiție presupune și un bun amestec cu aerul și un aport adecvat de aer. Aceste rezultate nu se pot obține decât printr-o bună gestionare a deșeurilor și folosirea sistemelor automatizate de control al combustiei. În mod normal, toate aceste condiții sunt îndeplinite de către incineratoarele moderne [8, 12, 18, 19, 21].

#### **2.3.4 Tratarea gazelor arse în vederea reducerii conținutului de oxizi de azot (NO<sub>x</sub>)**

Oxizii de azot se încadrează în clasa poluanților iritanți. Ei afectează în special mucoasa căilor respiratorii și alveolele pulmonare, iar la concentrații crescute conjunctiva și corneea. Efectele asupra sănătății pot fi acute sau tardive. Ca efecte acute pot fi consemnate modificările patologice ce apar în cazul expunerii populației la concentrații mari. Dintre acestea, cele mai importante sunt modificările funcției respiratorii, fenomenele subiective de iritație a mucoasei respiratorii și oculare, creșterea mortalității și morbidității populației prin afecțiuni respiratorii și cardiovasculare, agravarea bronșitei cronice. La concentrații foarte ridicate pot apărea intoxicații acute, de obicei în cazul accidentelor industriale [29, 32].

În cazul combustiei, în general se folosesc două tipuri de tehnologii pentru reducerea concentrațiilor de NO<sub>x</sub>: conducerea optimă a procesului de combustie și sistemele de eliminare auxiliare. Primul constă în limitarea temperaturii flăcărilor cât de mult se poate, realizând o etajare a combustiei. Practic această tehnologie pare imposibil de aplicat, deoarece periclitează combustia completă și generează CO. În acest caz se impun metodele de eliminare a posteriori. Acestea se împart în două categorii: cele care folosesc și cele care nu folosesc catalizatori.

În aceste tehnologii se folosește de obicei amoniacul. Primul sistem de reducere selectivă catalitică se instalează în aval de sistemele de declorurare și desprăfuire și operează în plaja de temperaturi 315-340°C, ceea ce presupune încălzirea prealabilă a gazului.

Procedeul ne-catalitic cel mai bine cunoscut este „Thermal De Nox” (brevetat de Exxon) și operează la 925-1040°C [15].

În ultimul timp s-a încercat înlocuirea amoniacului cu ureea, obținându-se bune rezultate. Această soluție prezintă avantajul evitării manipulării unui produs periculos și corosiv (amoniacul) [15].

#### **2.3.5 Tratarea gazelor arse în vederea reducerii conținutului de pulberi**

Factorul principal în evaluarea impactului pulberilor din gazele arse asupra sănătății omului este mărimea particulelor. În principiu, particulele cu dimensiuni de peste 1μm sunt depozitate în nas și căile aeriene superioare, în timp ce particulele cu diametre sub 1μm se depozitează în bronhii. Acest fapt poate fi explicat prin posibilitatea de eliminare prin impact a particulelor vizibile de dimensiuni peste 1μm, în timp ce celelalte ating suprafața prin difuziune. Inițial particulele generate prin incinerare au la început diametre sub 1μm. Doar la concentrații foarte mari sau la un timp lung de rezidență în atmosferă, aceste particule vor coagula și vor forma agregate de diametre peste 1μm. Particulele fine rezultate în urma combustiei conțin mii de substanțe chimice diferite. O caracterizare chimică completă este imposibil de realizat din cauza complexității, a cantităților foarte mici și a faptului că acestea se transformă în atmosferă. Ceea ce au în comun toate particulele rezultate în urma arderii incomplete este scheletul de carbon și cantități de benzo-a piren (B(a)P). B(a)P, care aparține grupei hidrocarburilor aromatice policiclice (PAH), fiind un agent teratogen demonstrat a produce cancerul de plămâni. Așadar, aceste

particule foarte fine depozitabile în bronhii și plămâni produc un impact major asupra sănătății populației [28, 33].

Gama tehnologiilor de captare a pulberilor este foarte vastă și a evoluat mult pentru a se integra în tot mai multe tehnologii de epurare a gazelor, pentru a le îmbunătăți performanțele.

Sistemele cele mai răspândite sunt precipitatoarele electrostatice. Acestea funcționează pe baza fenomenului de atracție electrică. Particulele de pulberi trec printre rândurile de plăci, primele fiind încărcate electric cu tensiune foarte înaltă (circa 50000V), iar următoarele fiind legate la masă. În unele instalații plăcile încărcate sunt înlocuite de fire suspendate. Aceste plăci sau fire au rolul de a încărca electrostatic prin ionizare particulele ce trec prin vecinătatea lor. Acestea sunt apoi captate de către plăcile neutre și formează pe acestea un strat mai mult sau mai puțin gros de pulberi. Pulberile sunt îndepărtate prin ciocănire la intervale fixe și cad într-o pâlnie de evacuare. Eficacitatea unui asemenea sistem depinde de viteza de curgere, temperatura gazului și de umiditatea particulelor. Se obțin randamente destul de mari (99.9% și peste). În anumite cazuri, unde nu există decât acest tip de echipament, se instalează în aval un ciclon care să rețină particulele mai mari (peste 20 $\mu$ m).

În general, sistemele electrostatice permit atingerea de concentrații de pulberi la ieșire de ordinul a 3.5 mg/Nm<sup>3</sup>.

O altă tehnologie de desprăfuire este reprezentată de filtrele cu saci filtranți. Aceștia rețin particulele de pulberi pe pereții lor, gazul trecând prin ei. Practic se folosește un ansamblu de saci lungi, suspendați într-o incintă. Pe suprafața lor particulele formează un strat îndepărtabil fie prin metoda „unde de șoc”, ce constă din pulsarea aerului, fie prin suflarea de aer în contracurent. Curățarea se poate face fie la intervale de timp predefinite, fie la depășirea unei diferențe de presiune la intrarea și ieșirea filtrului.

Filtrele cu saci se folosesc în special în cazul sistemelor de neutralizare a gazelor acide care prin reactivul introdus măresc încărcarea cu pulberi. Pe de altă parte, acesta produce coroziune datorită faptului că se lucrează la temperaturi destul de joase (110-150°C), foarte apropiate de punctul de rouă. Pe de altă parte, sacii filtranți rețin pe suprafața lor un timp destul de lung stratul de pulberi, care conține și o parte din reactivul introdus, mărindu-i astfel timpul de acțiune, și deci eficiența în neutralizarea gazelor acide.

Sacii filtranți permit de obicei atingerea la ieșire a unor concentrații de pulberi de 22-35 mg/Nm<sup>3</sup>.

Mai există un sistem de desprăfuire, unul umed, care de regulă se folosește împreună cu un precipitator electrostatic. Un asemenea sistem poate servi atât la îmbunătățirea desprăfuirii, cât și la controlul gazelor acide. Aceste sisteme folosesc tuburi Venturi și perdele de apă ce permit captarea pulberilor și neutralizarea gazelor acide prin injecția și recircularea unei soluții de sodă caustică spre exemplu. Aceste sisteme prezintă dezavantajul că necesită folosirea unor materiale rezistente la coroziune [11].

### **2.3.6 Tratarea gazelor de ardere în vederea reducerii conținutului de gaze acide**

Gazele acide precum HCl, SO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, HF și clorul se încadrează în clasa poluanților iritanți. Ei afectează în special mucoasa căilor respiratorii și alveolele

pulmonare, iar la concentrații crescute conjunctiva și cornea. Efectele asupra sănătății pot fi acute sau tardive. Ca efecte acute pot fi consemnate modificările patologice ce apar în cazul expunerii populației la concentrații mari. Dintre acestea, cele mai importante sunt modificările funcției respiratorii, fenomenele subiective de iritație a mucoasei respiratorii și oculare, creșterea mortalității și morbidității populației prin afecțiuni respiratorii și cardiovasculare, agravarea bronșitei cronice. La concentrații foarte ridicate pot apărea intoxicații acute, de obicei în cazul accidentelor industriale. Efectele cronice apar în urma expunerii un timp îndelungat la concentrații moderate ale poluanților, ca urmare a acțiunii prelungite asupra aparatului respirator, prin suprasolicitarea mecanismelor de clearance. Ele constau în favorizarea apariției bolilor aparatului respirator: bronșita cronică, astmul, efizemul pulmonar, precum și creșterea frecvenței și gravității infecțiilor pulmonare acute. Alte efecte, de importanță mai redusă sunt: perturbarea dezvoltării fizice și neuro-psihice a copiilor (semnalată mai ales în zonele intens poluate cu dioxid de sulf și pulberi), fenomene subiective de iritație oculară, hipersecreție lacrimală, jenă respiratorie, datorate substanțelor oxidante. Poluarea cu substanțe oxidabile fotochimic are un rol favorizant în apariția cancerului pulmonar [29].

Controlul gazelor acide (în special HCl, SO<sub>2</sub>, HF) este o funcție care necesită o reacție chimică de neutralizare, ceea ce presupune folosirea unui reactiv alcalin. Se poate efectua în mai multe feluri. În literatură se prezintă trei clase de scheme de tratare a gazelor acide:

- Schemele cu injectare de reactiv uscat
- Schemele de neutralizare semi-uscate
- Schemele umede

Diferențele dintre aceste trei tipuri de sisteme sunt foarte mici, schemele putând avea foarte multe variante. În general, *sistemele uscate* se bazează pe injectarea de pulberi de var (Ca(OH)<sub>2</sub>) în gazele prealabil răcite, cel mai adesea prin atomizarea sau injectarea de apă sub formă de picături fine. Temperatura de ieșire din răcitor este reglată între 150 și 175°C, deasupra punctului de rouă. Reactivul folosit este reținut de sistemele de desprăfuire împreună cu pulberile rezultate în urma arderii. De regulă, sistemul de desprăfuire este de tip filtru cu saci.

Schemele de neutralizare semi-uscate combină funcția de răcire a gazelor cu cea de neutralizare. Astfel, se utilizează un reactor-atomizor în care se injectează un reactiv apos, spre exemplu laptele de var, care are atât rolul de a răci gazele, cât și de a le neutraliza. Unul dintre avantajele acestui sistem este îmbunătățirea randamentului neutralizării, ceea ce implică folosirea unei cantități mai mici de reactiv. Rapoartele stoichiometrice sunt mai mici pentru aceste sisteme decât pentru sistemele uscate. Spre exemplu, în sistemele semi-uscate raportul stoichiometric este de ordinul a 1-1.8 la 1, pe când în cazul celor uscate este de 2-4 la 1.

Se constată că cu cât temperatura la ieșire este mai mică, cu atât eficiența neutralizării este mai bună. În asemenea sisteme reacția chimică se continuă și după ieșirea din reactor a gazelor. Folosirea de filtre cu membrană ca sisteme de desprăfuire permite continuarea procesului de neutralizare prin trecerea gazelor prin stratul de pulberi și reactiv rezidual depus pe suprafața filtrantă. Din această cauză filtrele cu membrană sunt recunoscute ca fiind cele mai eficiente din punctul de vedere al neutralizării.

Deșeurile acestor sisteme constă din cenuși, vapori de apă și compuși pe bază de calciu precum hidroxizii, sulfații, sulfiții, clorurile, florurile și carbonații. Aceste deșeuri pot fi încărcate cu metale grele, fapt ce conduce la aplicarea unor procedee speciale de tratare.

Sistemele umede sunt în principiu sisteme de spălare a gazelor (scrubbing). Aici reacțiile de neutralizare au loc doar în mediu lichid. În acest tip de sistem gazele desprăfuite printr-o metodă oarecare trec într-un turn de spălare sau prin perdele cu apă aditivată cu reactivi (cel mai adesea cu lapte de var). În funcție de producător și de conceptul de proiectare, se pot găsi multe metode de spălare a gazelor și de recirculare a reactivului [15].

În anumite cazuri acestor sisteme li se pot adăuga în aval echipamente sofisticate de desprăfuire, precum sunt filtrele electrice Venturi (sistemul LAB) sau alte separatoare. O caracteristică a acestor sisteme este aceea că realizează trecerea poluanților din aer într-un mediu apos, care este tratat ulterior în scopul stabilizării și neutralizării pentru obținerea unui nămol sau agregat stabilizat ce conține metalele grele. În aceste sisteme reacțiile de neutralizare se realizează în rapoarte stoechiometrice foarte mici, apropiate de 1:1, ceea ce le face foarte economice din acest punct de vedere.

Cu toate că aceste sisteme sunt printre cele mai complicate, ele sunt cele mai potrivite pentru elaborarea unui procedeu de tratare a cenușilor prin amestecarea in situ cu reactivul alcalin rezidual. Această abordare permite spre exemplu limitarea spălării metalelor grele din cenuși și antrenarea cenușilor de către curenții de aer [15].

### **2.3.7 Tratarea gazelor de ardere în vederea reducerii conținutului de metalele grele**

Plumbul, alături de cadmiu, beriliu, mercurul sunt poluanți toxici sistemici xenobiotici (nu au funcții biologice cunoscute în organismele vii), iar seleniul, staniu, nichelul și vanadiul sunt poluanți toxici sistemici ce se găsesc și în organismul uman. Prin simpla lor prezență, indiferent de cantitate, aceste substanțe au o acțiune nocivă asupra organismului uman. Forma sub care se găsesc în aer este de suspensii și vapori [29].

Din punctul de vedere al incinerării, metalele grele (în special Pb, Hg, As și Cd) se regăsesc în diferite concentrații în reziduurile generate de incinerare. În funcție de fluxul tehnologic de epurare a gazelor, acestea se regăsesc în reziduurile de pe sacii filtranți (sau filtrele cu membrane) sau în efluenții sistemelor de neutralizare. Cea mai mare parte a metalelor se regăsește sub formă solidă la ieșirea canalului de gaze de ardere și sunt recuperate de sistemele de desprăfuire. Cele mai volatile dintre aceste metale (în special mercurul) trec prin sistemele de desprăfuire și sunt recuperate doar printr-o răcire puternică precum cea realizată printr-un sistem umed (sau în anumite cazuri semi-uscat). În aceste sisteme, atomizarea apei în gaze generează nuclee ce permit condensarea metalelor sau adsorbția lor pe picături.

### **2.3.8 Tratarea gazelor de ardere în vederea reducerii conținutului de dioxine și furani**

Dioxinele și furanii sunt denumirile date unei clase de compuși formată din dibenzo-p-dioxină (PCDD) și policlorurați dibenzofurani (PCDF). Expunerea la dioxine și furani produce efecte biochimice și biologice în oameni și animale [34]. Dioxinele și furanii sunt substanțe deosebit de periculoase pentru sănătatea publică. Dioxinele (tetraclordibenzodioxina, dioxina) este o substanță deosebit de



periculoasă, ale cărei efecte sunt cunoscute de multă vreme, de 1000 ori mai periculoasă decât cianura de potasiu. La oameni produce vătămări grave ale pielii și produce efecte foarte puternice asupra embrionilor [35].

Pentru a se putea stabili toxicitatea acestor compuși, s-a elaborat o scală de factori echivalenți de toxicitate (TEF) ce are ca punct de referință cel mai toxic compus, 2378 Tetraclorodibenzo-p-dioxina, prezentată în **tabelul 1** [34, 36] :

**Tabelul 1** Factori echivalenți de toxicitate (TEF) pentru dioxine și furani

<b>Nr. crt.</b>	<b>Izomerul specific</b>	<b>Denumirea compusului</b>	<b>EPA/89, 76/2000CE</b>	<b>WHO/97</b>
1	2378-TCDD	Tetraclorodibenzo-p-dioxina	1	1
2	12378-PeCDD	Pentaclorodibenzo-p-dioxina	0.5	1
3	123678-HxCDD	Hexaclorodibenzo-p-dioxina	0.1	0.1
4	123478-HxCDD	Hexaclorodibenzo-p-dioxina	0.1	0.1
5	123789-HxCDD	Hexaclorodibenzo-p-dioxina	0.1	0.1
6	1234678-HpCDD	Heptaclorodibenzo-p-dioxina	0.01	0.01
7	12346789-OCDD	Octaclorodibenzo-p-dioxina	0.001	0.0001
8	2378-TCDF	Tetraclorodibenzofuran	0.1	0.1
9	12378-PeCDF	Pentaclorodibenzofuran	0.05	0.05
10	23478-PeCDF	Pentaclorodibenzofuran	0.5	0.5
11	123678-HxCDF	Hexaclorodibenzofuran	0.1	0.1
12	123789-HxCDF	Hexaclorodibenzofuran	0.1	0.1
13	123478-HxCDF	Hexaclorodibenzofuran	0.1	0.1
14	234678-HxCDF	Hexaclorodibenzofuran	0.1	0.1
15	1234678-HpCDF	Hexaclorodibenzofuran	0.01	0.01
16	1234789-HpCDF	Heptaclorodibenzofura	0.01	0.01
17	12346789-OCDF	Octaclorodibenzofuran	0.001	0.0001

În ultimul timp s-au experimentat diverse metode de control al degajărilor de dioxină și furani. Acestea se pot împărți în două clase care se bazează pe:

- distrugerea precursorilor sintezei dioxinei și furanilor în camera de combustie
- inhibarea reacțiilor de formare
- reținerea dioxinei și furanilor pe absorbantți precum cărbunele activ

Se admite că menținerea unei temperaturi de combustie de minimum 900-1000°C un timp suficient de lung (1-2s) este suficientă pentru distrugerea dioxinelor și furanilor, precum și a precursorilor lor (Consiliul Canadian al Ministerului Mediului sugerează un timp de rezidență de minim 1s la 1000°C) [37].

Folosirea inhibitorilor de reacție precum varul și amoniacul, în timpul combustiei reduce acțiunea catalitică a cuprului în reacția de formare a dioxinelor și furanilor.

Există dovezi ale formării dioxinelor și furanilor și într-un domeniu de temperaturi mai joase. Așadar, s-au dezvoltat tehnologii de inhibare a reacțiilor de formare la joasă temperatură a acestor compuși.

Pentru limitarea emisiilor de dioxine și furani există trei măsuri importante ce se pot lua în vederea minimizării formării precursorilor sintezei dioxinei și furanilor în camera de combustie prin realizarea unei bune combustii la temperaturi mai mari de 900°C care sunt:

- Reducerea formării dioxinelor și furanilor prin inhibarea activității catalitice a cuprului din cenușile zburătoare prin utilizarea varului sau amoniacului și

- prin desprăfuirea rapidă, efectuată la temperaturi ridicate (peste 300°C);
- Optimizarea procesului de captare a dioxinelor și furanilor prin folosirea unor sisteme de joasă temperatură cu adsorbantți;
- Automatizarea procesului de combustie și epurare a gazelor

## **2.4 Procese, instalații și tehnologii optimizate de ardere a deșeurilor descrise în literatura de specialitate**

### **2.4.1 Tehnologia Siemens**

- Tehnologia Siemens de reciclare a reziduurilor este utilizată pentru:
- reziduurile municipale solide
  - reziduuri comerciale
  - reziduuri voluminoase
  - nămoluri de canalizare

Ea permite transformarea reziduurilor în produși ce pot fi reciclați direct, fără o procesare ulterioară (exceptând mici cantități de reziduuri de la spălarea gazelor de ardere).

Procesul combină conversia (carbonizarea) și arderea la temperatură ridicată. Procesul de conversie produce gaze de ardere și cărbune (praf) care este ars la circa 1300°C și solide reciclabile ce pot fi utilizate direct.

Șlamul lichid rezultat prin arderea la temperatură ridicată este vitrificat într-un rezervor cu apă și poate fi folosit în lucrări de construcții, fără a necesita nici un alt tratament ulterior.

- Procesul cuprinde următoarele etape:
- tratarea deșeurilor
  - conversia (carbonizarea)
  - separarea reziduurilor
  - arderea la temperatură ridicată
  - producerea de energie

Deșeul este stocat într-un buncăr cu o capacitate suficient de mare pentru menținerea uzinei în stare de funcționare în zilele când nu se primesc livrări. Sunt utilizate macarale pentru încărcarea deșeurilor, transportarea acestora într-un dezintegrator (moară) rotativ pentru mărunțire și apoi în buncărele de încărcare pentru etapa conversiei (retorte rotative de carbonizare).

Etapa de conversie implică încălzirea deșeurilor mărunțiți în atmosferă săracă în oxigen, până la 450°C, proces în cursul căruia se produce gaz. Retorta rotativă înclinată efectuează aproximativ 3 rot./min. Tuburile (conductele) de încălzire încorporate transferă căldura materialului ce urmează a fi carbonizat, care este de asemenea omogenizat în timpul procesului de producere a gazului.

Gazul produs și reziduul solid sunt alimentate în camera de combustie printr-un rezervor (pâlnie) de descărcare a reziduului. Gazul este trecut direct la

etapa de combustie, în timp ce reziduul solid este separat în prealabil în fracțiuni grosieră și fină și este supus unui tratament ulterior.

Reziduul solid este cernut (sitat) și separat în diferite fracțiuni. Este eliminat din convector la aproximativ 450°C și răcit sub 150°C cu ajutorul unui transportor vibrator. O sită vibratoare separă apoi reziduul într-o fracțiune grosieră – constând în deosebi din materiale feroase și neferoase și materiale inerte cum sunt sticla, nisip grosier, ceramică și porțelan – și o fracțiune fină care este stocată temporar într-un siloz (buncăr). Frațiunea fină conține mai mult de 99% carbon, produs în faza de conversie. O mică cantitate de fracțiune fină, cu dimensiuni ale particulelor sub 1 mm este zdrobită de un concasor și stocată temporar în silozul menționat mai sus. De aici, fracțiunea fină este transportată pneumatic în camera de ardere la temperatură înaltă și arsă împreună cu gazele.

Separarea reziduului solid în fracțiunile grosieră și fină conduce la o creștere a concentrației carbonului până la 30%, ceea ce conferă acestei fracțiuni o putere calorifică netă de aproximativ 10000Kj/kg.

Gazele de ardere și reziduul solid sunt supuse unui proces de ardere la cca 1300°C, într-o cameră de ardere care evacuează într-un arzător final. Temperatura este cu 100-200°C mai mare decât punctul de topire al cenușii, așa încât zgura poate fi eliminată sub forma topită [15, 16].

Temperatura și timpul de staționare corespund, așa cum o necesită incinerarea unei categorii speciale de deșeuri, la distrugerea în întregime a substanțelor organice. Energia gazelor arse este folosită într-un cazan recuperator de căldură în scopul obținerii de abur pentru generare de electricitate și/sau termoficare.

După ce părăsește camera de ardere, zgura topită este răcită cu apă. Aceasta granulează și formează o substanță vitroasă, care poate fi utilizată, ca și fracțiune inertă grosieră fără nici un alt tratament.

Cenușa zburătoare din cazanul recuperator de căldură și filtrul electrostatic este returnată la camera de ardere, unde se topește și este încorporată în zgură.

Principiul de bază al sistemului de spălare al gazelor este similar metodelor utilizate uzual în uzinele de incinerare a deșeurilor. Acesta poate fi astfel procedeu umed ce folosește uscătorul cu pulverizare pe la partea superioară.

Sistemul poate fi modificat la diverse configurații. Reziduul uscat și nămolul din turnul de rectificare sunt depozitate la o categorie specială de reziduuri.

În următoarea etapă de spălare, SO<sub>2</sub> este îndepărtat din gaze prin adaos de CaCO<sub>3</sub> cu formare de sulfat de calciu. O parte din suspensia saturată este continuu deshidratată și CaSO<sub>4</sub> este utilizat industrial.

În procesul de analizat, cca. 75% din energia conținută în deșeuri poate fi transformată în căldură, care este apoi transformată în electricitate, în secția de producere de energie. Aburul produs în cazanul recuperator poate fi transformat integral în electricitate, într-un generator – turbină sau combinat în căldură și generare de energie.

O dată ce necesarul de energie al instalației însăși a fost satisfăcut, orice surplus de electricitate sau energie termică poate fi transmis în rețeaua publică.

Procesul de producere de energie constă în preîncălzitorul cu apă de alimentare de joasă presiune și în rezervorul de apă de alimentare, apa de alimentare este încălzită la 170°C și intră în generatorul de abur. Aburul cu acești parametri se pretează la un generator turbină, în care se destinde sub presiune până la cca. 0.16 bar. Condensatul este returnat la etapa de încălzire completând astfel ciclul apă-vapori.

Obiectivele de bază în elaborarea procesului au fost de a obține produși finali cu un impact cât mai scăzut posibil asupra mediului precum și minimizarea emisiilor gazoase.

**Procesul de spălare a gazelor arse urmărește concentrarea poluanților în suspensia de spălare.**

Carbonul și gazul rezultați în etapa de conversie, care sunt combustibili relativ omogeni, sunt supuși împreună procesului de ardere cu un coeficient de exces de aer minim.

Întrucât compoziția gazelor arse și randamentele de separare ale componentelor din gazele spălate se cunosc, este posibil a se realiza predicții rezonabil precise ale nivelelor de emisii.

Reducerea dioxinei și furanilor din gazele arse este posibilă prin două tehnologii. Injecția unui amestec var-cărbune activ praf în curentul gazelor arse care acționează ca un strat filtrant în filtrul cu saci sau ca pat absorbant fix. Funcție de tehnologia aplicată, valorile emisiilor specifice pot fi anticipate.

Reziduurile solide sunt îndepărtate din proces imediat după etapa în care sunt produse:

- reciclabile din etapa inițială, de tratare a deșeurilor
- zgură granulată din camera de ardere
- acid clorhidric și sulfat de calciu din sistemul de spălare a gazelor.

Fracțiunea grosieră de reziduuri constă mai ales din:

- nisip grosier
- sticlă
- ceramică
- metale

Practic acestea sunt lipsite de carbon și pot fi utilizate fără tratare prealabilă. Vopselele sau materialele compozite conținând plastic sunt îndepărtate din metale în retorta rotativă de carbonizare.

Substanțele inerte ca nisipul (gresia) grosier, sticla, ceramica și porțelanul pot fi utilizate în construcții civile.

TÜV Bayern conduce investigații care să indice caracteristicile eluatului rezultat din reziduurile grosiere și zgura granulată. Rezultatele confirmă că normele

cerute de regiunea Nordrhein – Westfalen cu privire la descărcarea pe terenurile de categoria 1 sunt îndeplinite, excepție făcând regiunile cu ape minerale și izvoare minerale protejate.

Zgura produsă în cursul procesului de ardere a reziduurilor gazoase și solide părăsește camera de ardere în formă de topitură și cade într-un rezervor cu apă. Materialul granulat rezultat este utilizabil fără o tratare ulterioară.

Zgura granulată și componentii inerti pot fi utilizați în construcția de drumuri ca material de umplutură, în proiectele de recuperare a terenurilor, în construcțiile civile sau ca agregate.

Procedul nu produce efluenți lichizi. Toate apele reziduale sunt reciclate ca ape de proces în uscătorul cu pulverizare al sistemului de spălare a gazelor sau în cazul extracției HCl și CaSO<sub>4</sub>, aceasta este evaporată în evaporator cu strat subțire. Vaporii sunt evacuați din coș cu fluxul de gaze.

Aerul din groapa de deșuri este extras și folosit ca aer de combustie în faza de ardere. Aceasta previne apariția mirosurilor neplăcute din groapa (buncărul) de deșuri. Pe perioada de oprire a instalației, extracția aerului continuă, acesta fiind filtrat și evacuat pe coș.

Măsurile de protecție împotriva zgomotelor asigură ca emisiile de zgomote să nu depășească valorile impuse de legislația în vigoare. În mod normal, nivelul de zgomot la 200m distanță de uzină este sub 60dB în timpul zilei și 45dB noaptea [15].

### 2.4.2 Tehnologia ABB

Deșeurile sosite pe cale ferată în uzină sunt cântărite și apoi trimise spre puțul de depozitare în care sunt descărcate prin 4 puncte (uși). Încărcarea incineratorului se realizează prin intermediul unui pod rulant cu cupă (greifer). Podul rulant este echipat cu un sistem de cântărire pentru controlul și înregistrarea masei înregistrate în fiecare cupă.

Separarea magnetică oferă posibilitatea recuperării obiectelor de fier. Materialul recuperat este presat în vederea reducerii volumului. Toate materialele colectate în buncărele situate sub grătare și materiile inerte evacuate la capătul grătarelor cad pe un transportor cu lanț în apă. Toate inertele sunt transportate într-o groapă de depozitare a cenușii. Cenușa zburătoare colectată din buncărele cazanului recuperator este transportată în aceeași groapă de depozitare. Toate materialele din groapa de depozitare sunt ridicate cu un greifer pe un pod rulant.

Sistemul de transport este următorul:

- 1 transportor cu lanț în rezervorul cu apă
- 1 transportor cu raclete
- 1 pod rulant
- 1 greifer

Generatorul de abur este un cazan acvatubular (tub de apă) cu supraîncălzitor. Temperatura gazului la intrarea în supraîncălzitor este menținută sub 600°C pentru prevenirea coroziunii acide. Viteza gazului este menținută sub

7m/s pentru prevenirea eroziunii. Între cele două secțiuni ale supraîncălzitorului este instalat un răcitor după supraîncălzire. Generatorul de abur și supraîncălzitorul exterior sunt echipate cu buncăre pentru colectarea cenușilor zburătoare. Generatorul este susținut de grinzi și căptușit cu tablă de aluminiu.

Tratarea gazelor cuprinde următoarele faze:

- absorbția
- prepararea laptelui de var
- colectarea pulberilor
- ventilator de gaz principal
- coș

Sistemul include:

- reactor semiuscat
- reactor pentru prepararea laptelui de var
- filtru cu țesături
- ventilator principal de gaz

Sistemul de absorbție (reactorul semiuscat) constă dintr-o carcasă cilindrică prevăzută cu un buncăr conic la capăt, pentru colectarea cenușilor uscate.

Atomizorul rotativ este situat în partea de sus a reactorului. Un distribuitor de gaz dispersează fluxul gazos în jurul atomizorului. Acesta asigură un contact intim între particulele atomizate și fluxul gazos, determinând o eficiență ridicată a absorbției.

Varul pulbere este alimentat pneumatic într-un buncăr de stocare. Laptele de var se obține prin stingerea varului cu apă într-un rezervor. Laptele de var este pompat în rezervorul de alimentare unde se și diluează la concentrația dorită. Din rezervorul de alimentare, laptele de var este trimis în rezervorul de presiune, instalat în vârful reactorului. Prin gravitație el alimentează dispozitivul rotativ al atomizorului în cantitate controlată. Pentru prevenirea sedimentării, tot sistemul de conducte este proiectat pentru o viteză cuprinsă între 1,2 și 2 m/s.

Gazele ieșite din reactor trec printr-un filtru cu saci în vederea desprăfuirii. Pulberile se rețin pe suprafața exterioară a sacilor, iar gazul părăsește filtrul pe la capătul de sus al acestora.

Filtrul este menținut sub vid și curățirea sacilor se realizează periodic prin suflarea cu aer sub presiune în interiorul sacilor. Filtrul este echipat cu un sistem electric suplimentar de preîncălzire a aerului spre a preveni coroziunea datorată scăderii temperaturii sub punctul de rouă.

Curățirea sacilor se face în linie. Sacii sunt curățați prin pulsare de aer comprimat, direcționat în jos, prin deschiderea sacilor. Aerul comprimat expandează sacii, straturile de particule de pulberi se desprind sub acțiunea pulsațiilor și părăsesc sacii, după care aceștia revin la forma inițială. Aerul comprimat este dirijat de sus în jos în saci prin conducte prevăzute cu duze. Impulsul de aer comprimat este foarte scurt (aprox. 0,1 secunde).

Distribuția aerului în pulsații scurte se realizează cu ajutorul unor supape cu membrană. Frecvența pulsațiilor poate fi controlată prin intermediul reguletoarelor electronice, soluție potrivită în condiții variabile de funcționare.

Pulberile colectate cad în buncărele de pulberi situate sub saci și sunt transportate cu un transportor cu șnec sau pneumatic, în funcție de caracteristicile materialului.

De asemenea, la partea superioară filtrele sunt prevăzute cu un mecanism ce permite inspectarea filtrelor și înlocuirea la nevoie.

Întreaga operațiune de curățire a gazelor consumă foarte puțină energie atunci când filtrul funcționează în regim optim [15].

## Cap.3 Legislația în domeniul incinerării și gestionării deșeurilor

Din dorința de a avea un mediu curat și a nu pune în pericol sănătatea populației în condițiile dezvoltării industriei, la nivel mondial s-au adoptat tratate ce reglementează nivelul emisiilor de poluanți și regimul deșeurilor. În cadrul Uniunii Europene au fost adoptate directive în acest sens, directive ce au fost transpuse în legislațiile țărilor membre. Această strategie mondială se bazează pe conceptul de dezvoltare durabilă.

**În prezent, la nivelul Uniunii Europene, se aplică Directiva Parlamentului și Consiliului Europei nr. 2000/76/EC din 4 decembrie 2000 cu privire la incinerarea deșeurilor. Aceasta reprezintă o bună ilustrare a evoluției legislației în domeniu atât din punct de vedere al formei, cât și al cerințelor. Directiva prezintă cerințele legislative ce vor trebui aplicate etapizat din anul 2000 până în 2010, fiind prevăzute termene de conformare pentru instalațiile de incinerare și co-incinerare existente și concesiile ce pot fi făcute de către statele membre.**

**Cerințele legislative cuprind condițiile de monitorizare și funcționare, calitatea cenușii, a apelor de spălare a gazelor și a gazelor rezultate.**

Monitorizarea emisiilor atmosferice și a parametrilor funcționali se efectuează continuu pentru NO<sub>x</sub>, CO, pulberi totale, TOC, HCL, HF, SO<sub>2</sub>, temperatura gazelor, O<sub>2</sub>, temperatura arderii, presiune și umiditate. În plus, se mai efectuează măsurători discontinue, la 3 sau 6 luni pentru celelalte substanțe normate. Valorile în gazele arse uscate se măsoară la 273K, 101.3 kPa și se calculează la un exces de oxigen stabilit (11% pentru incineratoarele de deșeuri periculoase) cu relația:

$$E_s = \frac{21 - O_S}{21 - O_M} \cdot E_M$$

unde:

$E_S$  – concentrația de poluant calculată la concentrația standard de oxigen [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

$E_M$  – concentrația de poluant măsurată [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

$O_S$  – concentrația standard de oxigen, [%]

$O_M$  – concentrația de oxigen măsurată, [%]

În cele ce urmează, se prezintă valorile limită ale emisiilor în atmosferă cerute de Directiva 2000/76/EC, **tabelul 2**:



**Tabelul 2** Valorile limită ale emisiilor măsurate continuu în atmosferă impuse de Directiva 2000/76/EC

	Valori medii la jumătate de oră		Valori medii zilnice
	100%	97%	
Pulberi totale [mg/m <sup>3</sup> ]	30	10	10
Substanțe organice sub formă de vapori sau gaz, exprimate ca și carbon organic total [mg/m <sup>3</sup> ]	20	10	10
Acid clorhidric (HCl) [mg/m <sup>3</sup> ]	60	10	10
Acid fluorhidric (HF) [mg/m <sup>3</sup> ]	4	2	1
Oxid de sulf (SO <sub>2</sub> ) [mg/m <sup>3</sup> ]	200	50	50
Oxid de azot (NO) și dioxid de azot (NO <sub>2</sub> ), exprimate ca dioxid de azot pentru instalații de incinerare existente cu o capacitate nominală de peste 6t/oră sau instalații noi [mg/m <sup>3</sup> ]	400 (*)	200 (*)	200 (*)
Oxid de azot (NO) și dioxid de azot (NO <sub>2</sub> ), exprimate ca dioxid de azot pentru instalații de incinerare existente cu o capacitate nominală sub 6t/oră inclusiv [mg/m <sup>3</sup> ]	400 (*)	200 (*)	400 (*)
Monoxid de carbon (CO) (cu excepția fazelor de pornire și oprire) [mg/m <sup>3</sup> ]	100	150 (95% din mediile la 10 minute)	50

(\*) Până la 1 ianuarie 2007 și fără a încălca legislația comunitară, limita de emisie pentru NO<sub>x</sub> nu se aplică instalațiilor ce incinerează doar deșeuri periculoase.

Majoritatea cerințelor, precum cele cu privire la valorile limită pentru emisiile de metale grele, au devenit obligatorii începând cu 1 ianuarie 2007. Restul vor deveni obligatorii cel târziu până la 01.01.2010 [38].

În legislația românească, Directiva 2000/76/CE privind incinerarea deșeurilor a fost transpusă integral prin H.G. 128/2002, cu modificările și completările ulterioare [39].

Valorile limită ale emisiilor sunt reglementate de Hotărârea Guvernului nr. 128/2002 și Normativul tehnic privind incinerarea deșeurilor, din 26.11.2004 cu modificările și completările ulterioare. Aceste reglementări prevăd atât condițiile de măsură cât și limitele maxime admise.

Pentru instalațiile de incinerare, măsurătorile se raportează la un conținut de oxigen de 6% (a se vedea relația (1)). Aici se pot menționa reglementările mai relaxate în ceea ce privesc cuptoarele de ciment, unde măsurătorile se raportează la un exces de oxigen de 10%.

În **tabelul 3** se prezintă valorile medii zilnice pentru emisiile în atmosferă [38].

**Tabelul 3** Valorile medii zilnice pentru emisiile în atmosferă

Pulberi totale	10 mg/m <sup>3</sup>
Substanțe organice gazoase sau în stare de vapori, exprimate sub formă de carbon organic total	10 mg/m <sup>3</sup>
Acid clorhidric (HCl)	10 mg/m <sup>3</sup>
Acid fluorhidric (HF)	1 mg/m <sup>3</sup>
Bioxid de sulf (SO <sub>2</sub> )	50 mg/m <sup>3</sup>
Monoxid de azot (NO) și bioxid de azot (NO <sub>2</sub> ), exprimați ca bioxid de azot	200 mg/m <sup>3</sup>

În continuare sunt redate principalele reglementări europene, cu implementările din legislația românească ce se referă la deșeuri și la activitatea de incinerare a acestora [40, 42, 43].

#### **Directiva 2006/12/CE privind deșeurile**

Conține definiții, implementate în legislația românească și europeană ce se referă la deșeuri, depozitarea și distrugerea acestora.

#### **Directiva Consiliului 91/689/CEE privind deșeurile periculoase, modificată prin Directiva Consiliului Europei 94/31/CE**

OUG 78/2000 privind regimul deșeurilor (MO nr. 283/22.06.2000), aprobată cu modificări prin Legea 426/2001 (MO nr. 411/25.07.2001), modificată de OUG 61/2006 (MO nr. 790/19.09.2006), aprobată prin Legea 27/2007 (MO nr. 38/18.01.2007)

Hotărârea de Guvern nr. 1470/2004 (MO nr. 954 bis/18.10.2004) privind aprobarea Strategiei naționale de gestionare a deșeurilor și a Planului național de gestionare a deșeurilor, modificata prin HG 358/2007 (MO nr. 271/24.04.2007)

Ordinul comun nr. 1364/1499 din 2006 (MO nr. 232/04.04.2007) al Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor și al Ministrului Integrării Europene de aprobare a planurilor regionale de gestionare a deșeurilor

Ordinul Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile nr. 951/2007 (MO nr. 497/25.07.2007) privind aprobarea Metodologiei de elaborare a planurilor regionale și județene de gestionare a deșeurilor

#### **Decizia 2000/532/CE (modificată de Decizia 2001/118/CE, Decizia 2001/119/CE și Decizia 2001/573/CE) de înlocuire a Deciziei 94/3/CE de stabilire a unei liste de deșeuri în conformitate cu art. 1 lit. a) din Directiva 75/442/CEE și a Deciziei 94/904/CE de stabilire a unei liste de deșeuri periculoase în conformitate cu art. 1 alin. (4) din Directiva Consiliului 91/689/CEE privind deșeurile periculoase**

Hotărârea de Guvern nr. 856/2002 (MO nr. 659/05.09.2002) privind evidența gestiunii deșeurilor și aprobarea listei cuprinzând deșeurile, inclusiv deșeurile periculoase

#### **Directiva 94/62/CE privind ambalajele și deșeurile de ambalaje (modificată de Directiva Parlamentului European și a Consiliului 2004/12/CE)**

Hotărârea de Guvern nr. 621/2005 (MO nr. 639/20.06.2005) privind gestionarea ambalajelor și a deșeurilor de ambalaje, modificată prin Hotărârea de Guvern 1872/2006 (MO 15/10.01.2007)

Ordinul Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor nr. 927/2005 (MO nr. 929/18.10.2005) privind procedura de raportare a datelor referitoare la ambalaje și deșeuri de ambalaje

Ordinul comun nr. 1229/731/1095 din 2005 (MO nr. 27/12.01.2006) al Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor și al Ministrului Economiei și Comerțului, pentru aprobarea Procedurii și criteriilor de autorizare pentru persoanele juridice în vederea preluării responsabilității privind realizarea obiectivelor anuale de valorificare și reciclare a deșeurilor de ambalaje, modificat și completat prin Ordinul comun nr. 194/360/1325 din 2006 (MO nr. 499/8.06.2006)

Ordinul Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor nr. 1281/2005 (MO nr. 51/19.01.2006) privind stabilirea modalităților de identificare a containerelor pentru diferite tipuri de materiale în scopul aplicării colectării selective

Ordinul Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile nr. 1108/2007 (MO nr. 629/13.09.2007) privind aprobarea Nomenclatorului lucrărilor și serviciilor care se prestează de către autoritățile publice pentru protecția mediului în regim de tarificare și cuantumul tarifelor aferente acestora

### **Directiva Consiliului 2002/96/CE privind deșeurile de echipamente electrice și electronice**

Hotărârea de Guvern nr. 448/19.05.2005 (MO nr. 491/10.06.2005) privind deșeurile de echipamente electrice și electronice

Ordinul comun nr. 1223/715 din 2005 (MO nr. 1/3.01.2006) al Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor și Ministrului Economiei și Comerțului privind procedura de înregistrare a producătorilor, modul de evidență și raportare a datelor privind echipamentele electrice și electronice și deșeurile de echipamente electrice și electronice, modificat prin Ordinul comun 706/1667 din 2007 (MO nr. 307/09.05.2007) al Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile și Ministrului Economiei și Finanțelor

Ordinul comun nr. 1225/721 din 2005 (MO nr. 1161/21.12.2005) al Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor și Ministrului Economiei și Comerțului privind aprobarea Procedurii și criteriilor de evaluare și autorizare a organizațiilor colective în vederea preluării responsabilității privind realizarea obiectivelor anuale de colectare, reutilizare, reciclare și valorificare a deșeurilor de echipamente electrice și electronice, modificat prin Ordinul comun nr. 910/1704 din 2007 (MO nr. 428/27.06.2007) al Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile și Ministrului Economiei și Finanțelor

Ordinul Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor nr. 901/2005 (MO nr. 910/12.10.2005) privind aprobarea măsurilor specifice pentru colectarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice care prezintă riscuri prin contaminare pentru securitatea și sănătatea personalului din punctele de colectare

Ordinul comun nr. 556/435/191 din 2006 (MO nr. 608/13.07.2006) al Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor, Ministrului Economiei și Comerțului și Autorității Naționale pentru Protecția Consumatorilor privind marcajul specific aplicat echipamentelor electrice și electronice introduse pe piață după data de 31 decembrie 2006

Ordinul Ministrului Mediului nr. 262/2009 pentru modificarea Ordinului Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor nr. 66/2006 privind constituirea Comisiei de evaluare și autorizare a organizațiilor colective în vederea preluării responsabilității privind realizarea obiectivelor anuale de colectare, reutilizare, reciclare și valorificare a deșeurilor de echipamente electrice și electronice, cu modificările și completările ulterioare

Ordinul Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile nr. 1108/2007 (MO nr. 629/13.09.2007) privind aprobarea Nomenclatorului lucrărilor și serviciilor care se prestează de către autoritățile publice pentru protecția mediului în regim de tarificare și cuantumul tarifelor aferente acestora

**Directiva 75/439/CEE privind eliminarea uleiurilor uzate (modificată de Directiva Consiliului 87/101/CEE)**

Hotărârea de Guvern 235/2007 privind gestionarea uleiurilor uzate (MO nr. 199 /22.03.2007)

**Directiva 2006/66/CE privind bateriile și acumulatorii și deșeurile de baterii și acumulatori**

Hotărârea de Guvern nr.1132/2008 privind regimul bateriilor și acumulatorilor și al deșeurilor de baterii și acumulatori

**Directiva Consiliului 96/59/CE privind eliminarea bifenililor și trifenililor policlorurați (PCB și PCT)**

Hotărârea de Guvern nr.173/2000 (MO nr. 131/28.03.2000) pentru reglementarea regimului special privind gestiunea și controlul bifenililor policlorurați și a altor compuși similari, modificată cu Hotărârea de Guvern nr. 291/2005 (MO nr. 330/19.04.2005), Hotărârea de Guvern nr. 210/2007 (MO nr. 187/19.03.2007), Hotărârea de Guvern nr. 975/2007 (MO nr. 598/30.08.2007)

Ordinul Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor nr. 1018/2005 (MO nr. 966/1.11.2005) privind înființarea în cadrul Direcției Deșeuri și Substanțe chimice periculoase a Secretariatului pentru compuși desemnați, modificat de Ordinul Ministrului Mediului și Gospodăririi Apelor nr. 257/2006 (MO nr. 249/20.03.2006) și Ordinul Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile nr. 1349/2007 (MO nr. 629/13.09.2007)

Ordinul Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile nr. 1108/2007 (MO nr. 629/13.09.2007) privind aprobarea Nomenclatorului lucrărilor și serviciilor care se prestează de către autoritățile publice pentru protecția mediului în regim de tarificare și cuantumul tarifelor aferente acestora.

**Regulamentul (CE) nr. 1013/2006 privind transferurile de deșeuri**

Regulamentul nr.1418/2007 din 29 noiembrie 2007 privind exportul anumitor deșeuri destinate recuperării enumerate în anexa III sau IIIA la Regulamentul (CE) nr.1013/2006 al Parlamentului European și al Consiliului în anumite țări în care Decizia OCDE privind controlul circulației transfrontaliere a deșeurilor nu se aplică  
Hotărârea de Guvern nr. 788/2007 (MO 522/02.08.2007) privind stabilirea unor măsuri pentru aplicarea Regulamentului Parlamentului European și al Consiliului (CE) nr. 1013/2006 privind transferul de deșeuri

Hotărârea de guvern nr. 1453/2008 (M.O. 783/24.11.2008) pentru modificarea și completarea HG 788 /2007 privind stabilirea unor măsuri pentru aplicarea Regulamentului Parlamentului European și al Consiliului (CE) nr. 1013/2006 privind transferul de deșeuri.

Legea 6/1991 pentru aderarea României la Convenția de la Basel

Hotărârea de guvern nr. 1061 /2008 (MO nr.672 /30.09.2008) privind transportul deșeurilor periculoase și nepericuloase pe teritoriul României.

Ordinul Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile nr. 1108/2007 (MO nr. 629/13.09.2007) privind aprobarea Nomenclatorului lucrărilor și serviciilor care se prestează de către autoritățile publice pentru protecția mediului în regim de tarificare și cuantumul tarifelor aferente acestora

**Directiva 1999/31/CE privind depozitarea deșeurilor**

Hotărârea de Guvern nr. 349/2005 (MO nr. 394/10.05.2005) privind depozitarea deșeurilor

Ordinul Ministrului Mediului și Gospodării Apelor nr.757/2004 (MO nr.86 bis/26.01.2005) pentru aprobarea Normativului tehnic privind depozitarea deșeurilor

**Decizia Consiliului 2003/33/CE privind stabilirea criteriilor și procedurilor pentru acceptarea deșeurilor la depozite ca urmare a art. 16 și anexei II la Directiva 1999/31/CE**

Ordinul Ministrului Mediului și Gospodării Apelor nr. 95/2005 (MO nr. 194 bis/08.03.2005) privind stabilirea criteriilor de acceptare și procedurilor preliminare de acceptare a deșeurilor în fiecare clasă de depozit

**Directiva 2000/76/CE privind incinerarea deșeurilor**

Hotărârea de Guvern nr.128/2002 (MO nr. 160/06.03.2002) privind incinerarea deșeurilor, completată și modificată de Hotărârea de Guvern nr. 268/2005 (MO nr. 332/20.04.2005)

Ordinul Ministrului Mediului și Gospodării Apelor nr. 756/2004 (MO nr. 86 bis/26.01.2005) pentru aprobarea Normativului tehnic privind incinerarea deșeurilor  
Ministerul Mediului și Gospodării Apelor, Normativ tehnic privind incinerarea deșeurilor, din 26.11.2004, publicat în Monitorul Oficial, Partea I, nr. 86Bis din 26.01.2005

## **Cap. 4 Generalități asupra tehnicilor de modelare și simulare numerică, automatizare și optimizare cu particularizare pentru tehnologiile și instalațiile de incinerare a deșeurilor**

### **4.1 Noțiuni generale de modelare și simulare numerică**

#### **4.1.1 Noțiuni generale de modelare**

Dezvoltarea într-un ritm accelerat al științei și tehnicii contemporane creează o complexitate de probleme ce devin din ce în ce mai greu de controlat sau condus. În sprijinul eforturilor lor de a le exprima complexitatea și de a le defini diferitele legi ce le guvernează, cercetătorii au creat noțiunea de sistem. De aici au apărut modelele matematice, iar necesitatea obținerii de informații despre sistem înainte ca el să fie realizat sau în condiții extreme au condus la simulare [41, 44].

Teoria sistemelor este constituită dintr-un ansamblu de elemente matematice și logice al cărui scop este de a formula și elabora principii generale pentru interpretarea și explicarea comportării sistemelor de orice natură [45].

Aria de cuprindere a teoriei sistemelor vizează un spectru larg de sisteme cum sunt cele naturale, tehnice sau abstracte care aparțin unor domenii științifice foarte diverse. Aceasta este capabilă să confere aspectului studiat, indiferent de domeniul de care aparține, trăsături clare, de mare generalitate. Astfel, acest aspect este asimilat cu conceptul de sistem [46, 47, 48].

Datorită complexității sistemelor studiate, s-a încercat optimizarea procesului de cunoaștere folosind modele ușor de realizat și cercetat. Astfel, simularea s-a impus ca o nouă metodă de cercetare, cu tehnici specifice, care pot acoperi necesitatea de cunoaștere a omului [41, 49, 50].

Dezvoltarea teoriei sistemelor a avut loc în paralel cu ceea ce se înțelege astăzi prin teoria modelării. Traiectoriile de cunoaștere ale celor două domenii s-au întrepătruns și au căpătat noi valențe odată cu dezvoltarea ciberneticii și apariția unor sisteme de calcul din ce în ce mai performante, sisteme care devin mijloacele cu ajutorul cărora investigatorii execută anumite operații [41, 47, 51].

La ora actuală în domeniul științifico-tehnic, modelul se consideră a fi un sistem abstract sau material cu ajutorul căruia pot fi studiate indirect proprietățile unui alt sistem, mai complex (sistemul sursă), cu care modelul prezintă o analogie limitată și orientată. Cu alte cuvinte, modelul este o reprezentare a aspectelor esențiale ale unui sistem. Acesta reprezintă o simplificare, o reflectare parțială a fenomenului sau obiectului original, neglijându-se anumite laturi neesențiale sau prea dificil de reprodus pentru studiul căruia îi este destinat, cu scopul de a oferi un material mai accesibil investigației teoretice sau experimentale [47].

Modelul matematic al unui sistem poate fi definit ca fiind un ansamblu de relații matematice, ecuații și inecuații, ce caracterizează și descriu interdependențele dintre parametrii constructivi și funcționali ai acestuia. Prezența inecuațiilor în model

se datorează unor restricții cu caracter fizico-chimic, tehnologic sau constructiv [41, 52, 53].

Modelele vizează comportarea sistemelor în regim staționar sau în regim dinamic. Elaborarea unui model corect și eficient al unui sistem original reprezintă o sinteză a ceea ce se cunoaște despre acel sistem. Paradoxal este faptul că, pentru a modela corect un fenomen, este necesară cunoașterea cât mai cuprinzătoare a acestuia, ceea ce este în opoziție cu nevoia de a-l cerceta. De asemenea, modelul trebuie să fie adecvat scopului propus. Astfel, un model excesiv de complicat, care își propune să aibă în vedere toate aspectele și detaliile posibile ale fenomenului original, poate deveni costisitor, greoi sau chiar inoperant, iar un model simplist, prea sumar, poate fi incorect, ca urmare a neglijării unor aspecte importante ale sistemului investigat [54].

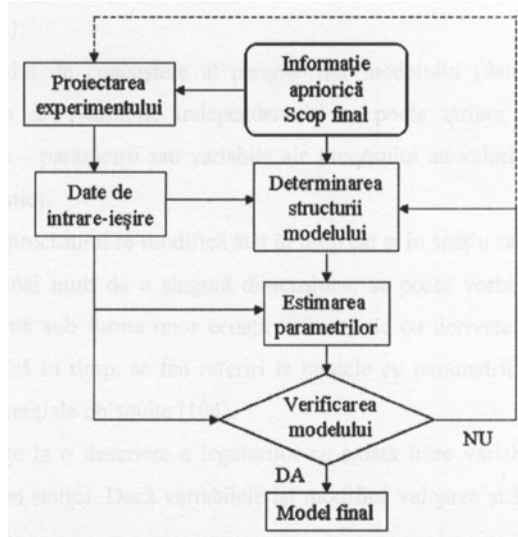
Modelarea, în sens restrâns reprezintă activitatea de elaborare propriu-zisă a modelului unui sistem sursă, activitățile desfășurate în acest sens fiind materializate și prin [47, 55, 56, 57] :

- tehnici și proceduri de căutare și analiză;
- tehnici de simulare;
- tehnici și proceduri complementare.

Etapele prin care se realizează modelarea, la modul clasic, în sens restrâns sunt, în general, următoarele [41, 47, 58, 59, 60, 61] :

- construirea modelului pe baza analizei preliminare a sistemului sursă în vederea evidențierii parametrilor relevanți și a legăturilor funcționale dintre ei, stabilirea unei structuri a modelului stabilirea valorilor parametrilor definatorii ai modelului
- analiza modelului prin simulare
- compararea rezultatelor analizei cu datele de comportare a sistemului sursă în condiții echivalente
- corectarea modelului, în sensul apropierii comportamentului de cel al sistemului sursă.

În **figura 13** este prezentată schema logică pentru metodologia de desfășurare a modelării unui proces [62].



**Figura 13** Schema logică pentru metodologia de desfășurare a modelării unui proces

Modelarea matematică este utilă în orice fază de dezvoltare a unei teorii științifice sau tehnice, ea aducând cu sine o serie de avantaje [62, 63, 64, 65, 66, 67, 68] :

- aprofundarea cunoașterii și înțelegerii fenomenului sau procesului (trebuie luate în considerare secvențe complexe cauze - efect, interdependențele dintre variabile);
- proiectarea optimă a instalațiilor de cercetare sau producție (dimensionarea aparatelor și a utilajelor, evaluări ale parametrilor pe baza datelor obținute pe instalații pilot sau modele de referință, studiul efectelor modificărilor în dimensiuni, structura optimă a fluxului tehnologic, etc);
- optimizarea exploatării instalațiilor în funcțiune;
- controlul optimal al proceselor, etc.

În construcția modelului se adoptă, în general, o linie de compromis între cerințele legate de o descriere riguroasă a fenomenului sau procesului (ecuații complexe) și posibilitățile de simulare numerică. Nu este necesar ca modelul să constituie o descriere extrem de amănunțită a mecanismelor reale din sistem. El trebuie să aibă gradul de complexitate minim cerut de scopul pentru care a fost construit.

În ceea ce privește clasificarea modelelor, există mai multe criterii utilizabile [64, 65, 69, 70] :

- după forma ecuațiilor (liniare - neliniare, parametri concentrați - parametri distribuiți);
- după gradul de cunoaștere al parametrilor modelului (determinate - când fiecărui parametru sau variabile independente  $i$  se poate atribui o valoare bine definită; stohastice - parametrii sau variabilele procesului au valori care



se pot exprima doar probabilistic).

- Dacă variabilele procesului se modifică atât în timp cât și în spațiu sau dacă modificarea are loc doar în spațiu, dar pe mai mult de o singură dimensiune, se poate vorbi de modele cu parametrii distribuiți. Ele se prezintă sub forma unor ecuații diferențiale cu derivate parțiale. Dacă variabilele procesului nu se modifică în timp, se fac referiri la modele cu parametrii concentrați. Acestea sunt alcătuite din ecuații diferențiale obișnuite. Uneori se recurge la o descriere a legăturilor ce există între variabilele procesului în regim staționar (model în regim static). Dacă variabilele își modifică valoarea și în timp, se poate vorbi de modele în regim dinamic [71].

Din punct de vedere al modului de deducere al relațiilor dintre variabile, se deosebesc următoarele tipuri de modele [41, 72, 73, 74, 75, 76, 77] :

- Modele analitice - bazate pe cunoașterea legilor fizice ce guvernează starea și evoluția sistemului studiat. La determinarea acestor tipuri de modele se pornește de la adoptarea unor ipoteze, logic justificate, prin care se particularizează și se simplifică sistemul analizat. Apoi, se scriu ecuațiile diferențiale, care descriu fenomenologia proceselor de transformare specifice sistemului, după care se integrează aceste ecuații pentru câteva cazuri particulare idealizate, considerate ca stări limită. Verificarea experimentală a modelelor propuse este foarte importantă.
- Modele experimentale, numite și modele empirice sau statistice - bazate pe corelarea datelor experimentale. În cazul modelării empirice, se renunță în mod deliberat la analiza detaliată a fenomenelor care au loc în sistem și a interacțiunii dintre ele, urmărindu-se exclusiv stabilirea, pe principiile statisticii matematice și analizei regresionale, a legăturii dintre variabilele de ieșire și variabilele independente ale sistemului într-o formă matematică cât mai simplă (cel mai des, polinomială), adaptabilă calculului automat și utilizabilă nemijlocit în aplicații practice. Domeniul de valabilitate al acestor modele se rezumă la domeniul în care au fost modificate variabilele [78, 80, 81].
- Modele mixte sau analitico-experimentale - deducerea modelului se realizează mixt: pe baza relațiilor dintre variabile se stabilește structura modelului, iar prin prelucrarea statistică a datelor experimentale se obțin coeficienții ecuațiilor [41, 79, 80, 81, 82, 83].

Experiența acumulată arată că eficiența de ansamblu a modelării analitice scade, iar a modelării experimentale crește pe măsură ce complexitatea și caracterul difuz al sistemelor analizate se accentuează. De aici, rezultă importanța cercetărilor experimentale în inginerie și implicit în perfecționarea sistemelor tehnice și tehnologice. Determinarea analitică a parametrilor este în general foarte dificilă, în consecință parametrii vor fi estimați utilizând date experimentale. Într-o astfel de abordare, modelarea analitică furnizează informații apriorice procedurii de modelare experimentală. Etapa efectivă de modelare a procesului este cea experimentală [84].

Modelarea experimentală mai este cunoscută în literatura de specialitate și sub numele de modelare statistică sau empirică.

În ceea ce privește cercetarea statistică se remarcă un aspect general care

se referă la faptul că legile fundamentale ale statisticii își găsesc aplicații aproape universale. Limbajul statisticii devine în prezent familiar oricărui cercetător, indiferent de domeniul specific al activității sale. Explicația acestui fenomen rezidă în faptul că în procesul de matematizare al științelor, statistica matematică, ca ramură a matematicii, prezintă cea mai mare pondere [85].

Având în vedere cercetările efectuate de-a lungul timpului, se poate afirma că modelul statistic al unui proces înlocuiește un model ipotetic, real. Acesta ar putea fi obținut numai prin efectuarea unui număr infinit de experiențe, dar statistica matematică este știința care urmărește explicarea fenomenelor de masă dintr-un număr relativ redus de observații. Limitând experiențele la numai o selecție din întreaga populație, problema devine una de inducție de la parte la întreg, metodă de inferență statistică. Ea folosește deci metode inductive de cercetare, plecând de la particular la general. Deoarece modelul adevărat nu poate fi atins se preferă să se găsească două limite, una inferioară - alta superioară, în care să se încadreze răspunsul exact cu o probabilitate care poate fi deliberat aleasă. Limitele respective definesc intervalul de încredere. Firește, concluziile obținute prin inducție statistică nu sunt legități absolut sigure, însă gradul de incertitudine se poate calcula. Cunoscând gradul de incertitudine al concluziilor obținute, metoda statistică de cercetare poate fi considerată o metodă matematică exactă [41, 86, 87].

Deci, cercetarea statistică pornește de la observarea unităților colectivității statistice după diferite caracteristici, materializată în strângerea datelor de bază și se continuă cu prelucrări și analize succesive care legitimează concluziile statistice. Aplicarea legilor matematicii statistice asupra datelor empirice obținute prin observarea statistică a colectivității, care a fost supusă cercetării, permite desprinderea unor concluzii importante. Aceste legi acționează numai la nivelul colectivității, exprimând comportamentul ansamblului de unități și nu a fiecărei unități în parte [88].

Modelarea experimentală sau modelarea statistică, spre deosebire de modelarea analitică care se realizează, de obicei, în faza de proiectare, este indicată pentru determinarea modelelor instalațiilor automatizate în funcțiune. Aceasta are în vedere atât cercetarea teoretică a fenomenelor ce guvernează procesul considerat cât și experimente pentru confirmarea ipotezelor teoretice privind structura modelelor și apoi determinarea parametrilor. Modelele analitice se dovedesc utile pentru determinarea structurii, însă ele nu sunt indicate pentru determinarea parametrilor. Determinarea prin calcul a valorilor parametrilor din ecuațiile modelului analitic presupune cunoașterea cu precizie a unui număr mare de date, care se referă la dimensiuni geometrice, constante de materiale, constante termofizice, etc. În acest caz modelarea analitică devine practic imposibilă și este necesar să se recurgă la metode experimentale [89, 90, 91, 92, 93].

Cu alte cuvinte, elaborarea experimentală a modelului matematic se impune fie când fenomenul sau procesul este insuficient cunoscut, fie când el este prea complex și se dorește un model mai simplu, bazat pe prelucrarea datelor experimentale. Aceste date reprezintă valori simultane pe care le au mărimile de intrare și de ieșire ale procesului modelat. Experiența a arătat că o astfel de abordare conduce întradevăr la modele simple, însă proiectarea experimentului pentru culegerea datelor nu este în nici un caz o problemă ușoară [94].

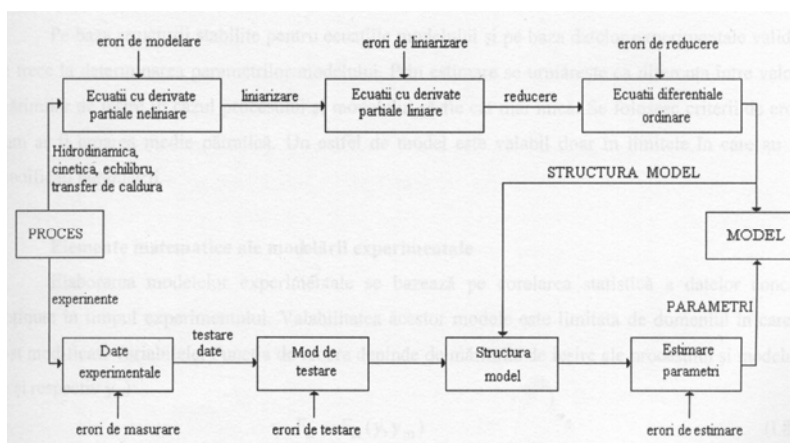
Identificarea, analizată prin prisma teoriei sistemelor, poate fi definită ca fiind determinarea, pe baza unor seturi de valori ale mărimilor de intrare și a celor de ieșire, a încadrării unui sistem într-o clasă de sisteme față de care acesta este echivalent [41, 92, 93, 95, 97, 98].

Modelarea experimentală are în vedere următoarele [91] :

- ✓ planificarea și efectuarea experimentului;
- ✓ interpretarea rezultatelor experimentale;
- ✓ determinarea modelului din datele experimentale;
- ✓ validarea modelului.

De cele mai multe ori este avantajoasă cuplarea modelării analitice cu cea experimentală. Ori de câte ori este posibil, identificarea mixtă este de preferat datorită posibilităților practic nelimitate de utilizare a programelor de calcul automat.

În **figura 14** este prezentată schema logică referitoare la corelarea dintre cunoștințele analitice și cele obținute pe bază de experiment în elaborarea modelului matematic [41, 73].



**Figura 14** Schema logică referitoare la corelarea cunoștințelor teoretice și experimentale în scopul elaborării modelului matematic

Pe baza legilor fizico-chimice ce guvernează fenomenul sau procesul, se stabilește structura modelului (forma ecuațiilor care descriu relațiile dintre variabilele procesului). În cazul în care structura este prea complexă pentru scopul pentru care a fost construit modelul, se trece la liniarizarea și reducerea ecuațiilor cu derivate parțiale. O astfel de necesitate poate apărea în cazul conducerii procesului cu calculatorul. Dacă se utilizează un model prea complex, calculatorul ar pierde prea mult timp cu soluționarea ecuațiilor, soluția fiind obținută prea târziu, astfel în proces putând avea loc între timp alte evoluții [41, 99, 100, 101, 102, 103].

Coefficienții ecuațiilor se vor determina prin prelucrarea datelor obținute experimental. Datele experimentale trebuie supuse mai întâi unui proces de validare în vederea eliminării seturilor care au fost afectate de erori (determinarea bilanțurilor de materiale și termice - în cazul în care este vorba de regim staționar, teste statistice, etc). În primul rând trebuie luată în considerare eroarea de măsurare. Ideal ar fi ca eroarea de măsurare să nu fie proporțională cu mărimea măsurată, în acest caz putând introduce în model un termen aditiv de eroare. În cazul când eroarea reprezintă chiar variația naturală în evoluția variabilei dependente, este clar că un termen aditiv pentru eroare nu-și mai are sensul,

preferabil fiind un factor multiplicativ [104, 105].

Pe baza structurii stabilite pentru ecuațiile modelului și pe baza datelor experimentale validate, se trece la determinarea parametrilor modelului. Prin estimare se urmărește ca diferența între valorile mărimilor de ieșire în cazul procesului și modelului să fie cât mai mică. Se folosesc criterii de eroare cum ar fi eroarea medie pătratică. Un astfel de model este valabil doar în limitele în care au fost modificați parametrii.

Elaborarea modelelor experimentale se bazează pe corelarea statistică a datelor concrete obținute în timpul experimentului. Valabilitatea acestor modele este limitată de domeniul în care au fost modificate variabilele. Funcția de eroare  $F_{ER}$ , depinde de mărimile de ieșire ale procesului și modelului ( $y$  și  $y_m$ ):

$$F_{ER} = F_{ER}(Y, Y_m)$$

În general, etapele din metodologia de elaborare a modelului sunt următoarele [71] :

- stabilirea structurii modelului;
- organizarea și realizarea experimentărilor pe instalația reală;
- interpretarea și prelucrarea rezultatelor;
- deducerea formei finale a ecuațiilor modelului și calculul coeficienților din ecuații (parametrii modelului);
- verificarea modelului.

În cazul în care cunoștințele disponibile despre proces nu permit stabilirea structurii modelului, această operație se face în cadrul etapei de deducere a modelului. Informații cu privire la structură pot fi obținute prin examinarea unui model analitic al procesului. Întrucât obținerea datelor este afectată de erori, în modelul experimental este introdusă o anumită incertitudine, fapt ce îi conferă un caracter probabilistic.

În continuare se va aborda problematica modelării statistice în regim staționar recurgând la următoarele etape: inventarierea variabilelor, alegerea formei modelului, obținerea și testarea datelor, determinarea coeficienților modelului, testarea și aprecierea calității modelului [41, 106].

Întrucât variabilele nesemnificative se pot elimina, este recomandabilă o oarecare larghețe în alegerea lor. Creșterea numărului de variabile face necesară, pentru același nivel de încredere în model, creșterea numărului de date experimentale. Cel mai sigur mod de a nu greși este examinarea unui model bazat pe ecuații de conservare (a unui model analitic) [73].

În cazul elaborării unui model matematic pentru regim staționar, forma de bază a modelului este cea a unui sistem de ecuații algebrice [41, 73].

Obșnuit, stabilirea numărului de ecuații se face pe baza împărțirii variabilelor în dependente (de ieșire) și independente (de intrare). Această împărțire este adesea legată de experiență și de bun simț tehnic. Împărțirea se poate face și pe baza unui model dedus analitic.

Dacă  $U_1, U_2, \dots, U_m$  sunt variabile independente (de intrare) și  $y_1, \dots, y_k$  sunt

variabilele dependente (de ieșire), pentru forma relațiilor de tipul:

$$y_j = F_j(u_1 \dots u_m); \quad j = 1 \dots k$$

Nu se pot indica reguli fixe pentru stabilirea acestor relații, ele constituind modelul matematic.

În cazul în care există o singură variabilă independentă, reprezentarea grafică a datelor experimentale poate să sugereze o anumită formă a ecuației [41, 106].

Stabilirea formei ecuațiilor se mai poate face și prin analiza dimensională. În mod arbitrar, se poate alege pentru exprimarea dependenței o formă polinomială:

$$y(u_1, u_2, u_3) = a_0 + a_1 u_1 + \dots + a_m u_m + a_{11} u_1^2 + a_{12} u_1 u_2 + \dots + a_{1m} u_1 u_m + \dots$$

Alegerea unei forme de tipul ecuației anterioare este justificată de faptul că, în principiu, ea corespunde unei dezvoltări în serie trunchiată (de exemplu serie Taylor) a dependenței reale  $y(u_1, u_2, \dots, u_m)$ .

Avantajul principal al formei de mai sus îl constituie liniaritatea în raport cu coeficienții modelului ( $a_1, \dots, a_m, a_{11}, \dots, a_{1m}, a_{mm}$ ).

Obținerea și testarea datelor experimentale trebuie să se desfășoare astfel încât [73, 106] :

- numărul datelor experimentale să fie suficient de mare pentru a putea determina coeficienții modelului;
- experimentele să fie astfel distribuite încât să acopere în mod uniform domeniul de variație al variabilelor;
- precizia determinărilor să fie corespunzătoare cerințelor impuse modelului.

Testarea și interpretarea datelor experimentale poate include aspecte referitoare la urmărirea reproductibilității datelor, verificarea omogenității dispersiilor și a normalității distribuțiilor, respectarea ecuațiilor de conservare (bilanț de materiale, termic) în cadrul fiecărui experiment, reconcilierea datelor de operare, reconciliere ce poate implica corectarea datelor preluate din instalație minimizând erorile în raport cu clasa de precizie a sistemelor de măsurare și evaluarea valorilor mărimilor nemăsurate [96].

Utilizarea analizei de regresie în inginerie urmărește prelucrarea datelor experimentale în vederea determinării valorilor parametrilor unor modele matematice bazate pe relații de aproximare. Modelele matematice obținute prin aplicarea analizei de regresie sunt denumite ecuații de regresie. Ecuațiile de regresie obținute sunt supuse ulterior analizei statistice în scopul verificării semnificației coeficienților și a adecvănței ecuației de regresie [41, 107, 108].

Pentru determinarea coeficienților modelelor se poate folosi estimatorul celor mai mici pătrate sau alți estimatori.

Aplicarea estimatorului celor mai mici pătrate impune variabilelor de intrare și celor de ieșire o serie de condiții (regim staționar, mărimile de intrare nu sunt variabile aleatoare și sunt reciproc independente, iar cele de ieșire sunt variabile aleatoare de repartiție normală și cu dispersie constantă) a căror îndeplinire trebuie testată. O utilizare corectă a metodei celor mai mici pătrate implică de asemenea o

repartizare uniformă a valorilor variabilelor independente în domeniul lor de definiție și un număr însemnat de date experimentale [91].

Între premisele care stau la baza estimatorului celor mai mici pătrate este și aceea că dispersia  $\sigma^2$  este constantă (eroarea în determinarea variabilei dependente  $y$  nu depinde de valoarea ei absolută).

Dacă dispersia lui  $y$  depinde de valoarea sa absolută, pentru a lua în considerare acest lucru, se poate introduce o mărime  $w$  care să cuantifice importanța punctelor luate în calcul. Pentru calculul parametrilor modelului, în cazul unui sistem liniar monovariabil, trebuie minimizată funcția:

$$F(a_0, a_1) = \sum_{i=1}^n \left( \hat{y}_i - (a_0 + a_1 u_{1i}) \right)^2 \cdot W_i = \min.$$

Se ajunge astfel la estimatorul generalizat al celor mai mici pătrate. În cazul regresiei multiple, valoarea parametrilor modelului se obține din următoarea ecuație matriceală ( $W$  este matricea „importanțelor”):

$$A = (U^T \cdot W \cdot U)^{-1} \cdot U^T \cdot W \cdot Y$$

Estimatorul recursiv al celor mai mici pătrate este un estimator secvențial: vectorul parametrilor modelului se obține ca o combinație liniară între estimația anterioară și un termen de corecție care depinde de eroarea dintre ultima măsurătoare și valoarea estimată a acesteia (se pornește fie cu un set de valori de start, fie primele seturi de date sunt utilizate pentru a obține vectorul start - de exemplu cu ajutorul estimatorului generalizat al celor mai mici pătrate - după care estimarea decurge secvențial) [41, 109, 110].

Alți estimatori, cum ar fi cel al verosimilității maxime și Bayes, impun definirea densității de probabilitate a lui  $y$  condiționată de parametrii modelului și respectiv densitatea de probabilitate a parametrilor înșiși.

Valoarea unui model este dată de măsura în care predicțiile sale concordă cu realitatea. Dar stabilirea adecvanței unui model la realitate este deosebit de complexă. Încă din etapele de elaborare a modelului este necesar să se mențină un echilibru rațional între precizia cerută modelului și cea a informațiilor primare de care se dispune. Se caută ca rezultatul modelului să aibă gradul de precizie al datelor care se introduc în model. La nivelul de cunoaștere atins astăzi în studiul sistemelor există posibilitatea dezvoltării mult mai riguroase decât precizia datelor care se utilizează și care provin din experiențe sau din formule aproximative. Modelul ridică de multe ori probleme interesante din punct de vedere strict matematic, dar lipsite de semnificație pentru procesul concret studiat. Orice model conține un anumit număr de parametri ce trebuie estimați pentru a compara predicțiile cu datele empirice. Este important ca parametrii modelelor să fie studiați în condiții apropiate de cele existente în natură sau în sistemele reale. Precizia cu care trebuie determinați parametrii depinde și de influența lor în model. Dacă un model conține parametri care nu pot fi estimați, el trebuie modificat astfel încât să devină verificabil [111, 112].

După calcularea parametrilor modelului, este necesar să se efectueze o comparație între prezicerile modelului și datele furnizate de procesul real. Adecvanța globală a modelului reprezintă capacitatea modelului identificat (cu structură precizată și parametri identificați) de a reprezenta datele experimentale cu o suficientă precizie în raport cu precizia (eroarea) experimentală [111].

Dacă modelul este adecvat, el poate fi acceptat cu condiția să nu poată fi simplificat, de pildă prin eliminarea unor termeni sau variabile (este necesară testarea semnificației coeficienților).

Drept indicatori ai adecvantei modelului se pot folosi [41, 87, 113, 114] :

a) Testul F al lui Fischer – în limbajul statisticii matematice, testul F sau criteriul F arată că pe baza unui număr mic de observații trebuie comparate dispersiile,  $S_e$  a două probe [114, 113].

Criteriul Fischer,  $F_C$  se calculează cu expresia:

$$F_C = \frac{S_{e,max}^2}{S_{e,min}^2}$$

, din cea mai mare și cea mai mică dispersie. În funcție de gradele de libertate ale celor două teste, în cazul unui nivel de încredere  $P=95\%$ , din tabele din literatura de specialitate se află valoarea criteriului Fischer ( $F_T$ ).

Se compară criteriul Fischer calculat,  $F_C$  cu criteriul Fischer tabelat,  $F_T$ . Dacă:

- $F_C < F_T$  – dispersiile sunt omogene, nu diferă semnificativ;
- $F_C > F_T$  – dispersiile sunt neomogene, se consideră că dispersia maximă corespunde unui test eronat și aceasta se reface. Se testează dispersia imediat inferioară celei maxime, până se obține  $F_C < F_T$  [87].

Testul Fischer se utilizează și pentru modele matematice cu o singură variabilă dependentă ( $y$ ) și mai multe independente ( $x$ ), dacă eroarea experimentală (considerată constantă) este necunoscută, dar evaluabilă din  $n_e$  experimente repetate [113] :

$$\sigma^2 \approx E(S_{e,max}^2)$$

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

unde:

$E$  – media variabilei repartizate statistic,

$S_e^2$  – dispersiile valorilor variabilelor față de mediile lor aritmetice.

a) Dispersia de adecvanță,  $\sigma^2$ :

- pentru o singură variabilă independentă și  $n$  determinări:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_{i,calculat})^2}{n - 1}$$

➤ pentru  $m$  variabile independente și pentru  $n$  determinări:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_{i, \text{calculat}})^2}{n - m - 1}$$

b) Deviația standard (deviația medie pătratică),  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_{i, \text{calculat}})^2}{n - 1}$$

c) Indicatorul preciziei modelului,  $R^2$ :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{i, \text{calculat}} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}$$

d) Coeficientul de corelare multiplă,  $R$ :

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_{i, \text{calculat}} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}}$$

unde:

$n$  - numărul de seturi de date (determinări),

$y$  - variabila dependentă,

$y_{i, \text{calculat}}$  - valoarea rezultată pentru  $y$  pe baza ecuației de regresie,

$\hat{y}_i$  - valoarea experimentală,

$\bar{y}$  - valoarea medie.

Coeficientul de corelare multiplă reprezintă o măsură a capacității globale a modelului de a reprezenta datele experimentale, chiar dacă pe porțiuni modelul este mai puțin adecvat. Acest coeficient trebuie să fie mai mare de 90%, fiind recomandabilă utilizarea numai împreună cu alte teste de adecvanță pentru model și calitatea estimatului.



- Dacă modelul nu este adecvat, se pot lua următoarele decizii [106] :
- care nu implică schimbarea formei modelului (completarea datelor experimentale, modificarea intervalului de variație al factorilor, etc);
  - care implică schimbarea formei modelului și reluări ale determinărilor experimentale. Calitatea unui model este exprimată, în primul rând, de fidelitatea cu care modelul reproduce comportamentul cunoscut al sistemului modelat. Comportamentul modelului este relevant prin funcționare, deci în cadrul operațiilor conexe modelării, care țin de simulare [41, 47, 116].

Calitatea unui model este exprimată de către fidelitatea acestuia. La rândul ei, fidelitatea depinde de următoarele [47] :

- corectitudinea cu care s-a efectuat aprecierea a ceea ce este esențialul, relevant pentru scopul urmărit;
- procedeele de constituire a modelului;
- calitatea și cantitatea cunoștințelor disponibile care au putut fi utilizate.

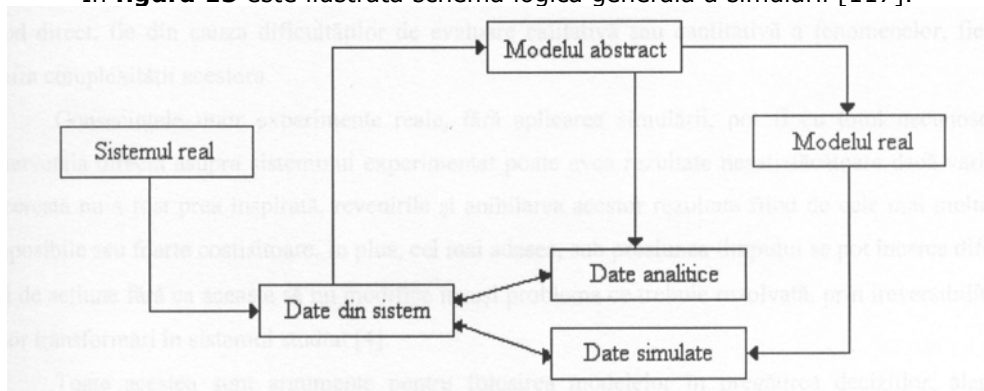
Cele de mai sus se pot constitui în criterii de fidelitate, cu ajutorul cărora pot fi diferențiate calitativ modelele unui sistem sursă. Calitatea unui model mai este determinată și de alte aspecte: simplitate, inteligibilitate, costul, etc.

#### 4.1.2 Noțiuni generale de simulare numerică

Modelarea și simularea constituie un complex de activități asociate în construirea modelelor sistemelor reale și simularea lor cu ajutorul calculatorului. Astfel, în procesul de simulare sunt implicate trei elemente importante, și anume [41, 44, 117, 118, 119] :

- sistemul real;
- modelul;
- calculatorul.

În **figura 15** este ilustrată schema logică generală a simulării [117].



**Figura 15** Schema logică generală a simulării

Simularea poate fi definită ca fiind o tehnică de realizare a experimentelor, reprezentarea unui proces fizic sau doar conceptual, cu ajutorul calculatorului numeric, ce implică realizarea unor modele matematice logice ce descriu comportarea sistemului real sau a unor componente ale sale, cu scopul de a obține informații în ceea ce privește comportarea lui [41, 117, 120, 121].

Procesul de simulare, ca și alte metode ale cercetării operaționale, presupune parcurgerea următoarelor faze [44] :

- ✓ Formularea problemei, care de cele mai multe ori se confundă cu formularea obiectivului atașat unei descrieri, adesea destul de vagi, a condițiilor de funcționare a procesului studiat;
- ✓ Construirea modelului, care implică identificarea relațiilor dintre parametrii definitori ai procesului și exprimarea obiectivului în funcție de acești parametri. Prin modelul său, obiectul simulării fiind asigurarea că mijlocul de calcul reproduce cu fidelitate comportamentul indus de model. Trebuie adăugat și faptul că multe dintre tehnicile folosite la validarea modelelor sunt de asemenea utilizate și la verificarea simulărilor [41, 47, 116].

Printre principalele avantaje ale metodelor de simulare se remarcă următoarele [41, 117] :

- se pot studia sisteme de orice complexitate;
- pe modelele de simulare condițiile unui experiment se pot controla mai ușor decât pe sistemul real;
- timpul este condensat în cazul simulării, câștigând în câteva minute experiență care altfel ar putea dura ani;
- un experiment cu un model de simulare este, în general, mai ieftin decât o experimentare pe sistemul real;
- un experiment cu un model de simulare nu bruiază sistemul real;
- modelele de simulare dau o imagine mai concludentă decât modelele matematice;
- în timpul simulării se pot schimba cu ușurință unii parametri, spre deosebire de experimentarea pe sistemul real, noile aspecte apărute putând fi luate rapid în considerare.

De asemenea, simularea prezintă și o serie de dezavantaje, cum ar fi [41, 117] :

- prin definiție, modelul de simulare este mai simplu decât realitatea pe care o reprezintă și, de aici, pericolul de a neglija unele aspecte esențiale;
- prin simulare nu se pot oferi soluții foarte precise, acolo unde ele sunt absolut necesare fiind preferate metodele analitice;
- când se începe studiul unui model de simulare nu se știe precis dacă simularea va produce rezultatele scontate;
- simularea nu poate da un rezultat optim și nu prezintă garanția unei soluții optime, aceasta datorându-se faptului că metoda simulării este o metodă euristică ce răspunde doar la întrebarea „Ce se întâmplă dacă...?”.

## 4.2 Automatizarea și optimizarea instalațiilor de incinerare a deșeurilor

### 4.2.1 Criteriile de optimizare a funcționării unei instalații de incinerare

Cele mai importante criterii de optimizare a funcționării unei instalații de incinerare sunt:

1. Optimizarea funcționării instalației și reducerea emisiilor prin [122] :
  - controlul arderii particulelor;
  - reducerea excesului de aer prin monitorizarea continuă a concentrației de CO și CO<sub>2</sub> după cuptor și controlul automat al raportului combustibil/aer;
  - întreținerea și repararea periodică a instalației de ardere.
  - Utilizarea unor tehnologii mai bune
2. Optimizarea costurilor – acest aspect nu constituie obiectul acestei lucrări

### 4.2.2 Optimizarea procesului de incinerare în vederea reducerii emisiilor de Nox

#### 4.2.2.1 Modificări aduse instalațiilor de ardere

Modificările aduse procesului de ardere în vederea îmbunătățirii procesului de incinerare sunt:

- optimizarea condițiilor de funcționare a instalațiilor de ardere (micșorarea coeficientului de exces de aer);
- arderea în două trepte (ove fire air);
- utilizarea arzătoarelor sărace în NO<sub>x</sub>;
- arderea combustibilului în trepte (rearderea -reburning- utilizând alt combustibil);
- recircularea gazelor arse.

Modificările aduse proceselor de ardere sunt utilizate pe scară largă pentru reducerea a 20-70% din emisia de NO<sub>x</sub> și se raportează ca fiind componente de cost atât pentru centralele existente cât și pentru cele noi. În **tabelul 4** este prezentată eficiența de reducere a NO<sub>x</sub> prin modificări aduse proceselor de ardere [122].

**Tabelul 4** Eficiența de reducere a emisiilor NO<sub>x</sub> prin modificări aduse arderii

Măsuri	Emisia de NO <sub>x</sub> ppmv(6% O <sub>2</sub> )	Eficiența reducerii (%)
Referința	550 - 800	-
Micșorarea coeficientului de exces de aer	450 - 650	15 - 20
Micșorarea coeficientului de exces de aer + trepte de aer	300 - 500	35 - 45

Micșorarea coeficientului de exces de aer + recircularea gazelor arse	350 - 550	30 - 35
Micșorarea coeficientului de exces de aer + trepte de aer + recircularea gazelor arse	200 - 400	50 - 60
Micșorarea coeficientului de exces de aer + trepte de aer + recircularea gazelor arse + arzătoare sărace în NO <sub>x</sub>	150 - 300	60 - 70

Limitarea formării oxizilor de azot în timpul arderii prin măsurile primare de reducere a NO<sub>x</sub> au ca scop: scăderea temperaturii de ardere; evitarea vârfulilor de temperatură prin uniformizarea și amestecarea rapidă a reactanților în flacără; reducerea timpului de rezidență la temperaturi înalte; reducerea la sfârșitul flăcării a oxizilor de azot deja formați.

Prima etapă în reducerea emisiilor de NO<sub>x</sub> este **optimizarea condițiilor de funcționare a instalațiilor de ardere**. Funcționarea cu exces de aer scăzut este o tehnică de reducere a concentrației de oxigen până la necesarul minim arderii complete. Măsura este eficientă pentru controlul formării de NO<sub>x</sub> din combustibil și pentru obținerea unei cantități mai mici de NO<sub>x</sub> termic.

Funcționarea cu exces de aer scăzut este aplicabilă tuturor tipurilor de instalații și poate duce la o scădere cu aproximativ 15-25% a NO<sub>x</sub> cu costuri minime. Aplicarea acestei tehnologii necesită un control mai atent al concentrației de oxigen, deoarece gradul de ardere al carbonului scade dacă excesul de aer este prea scăzut.

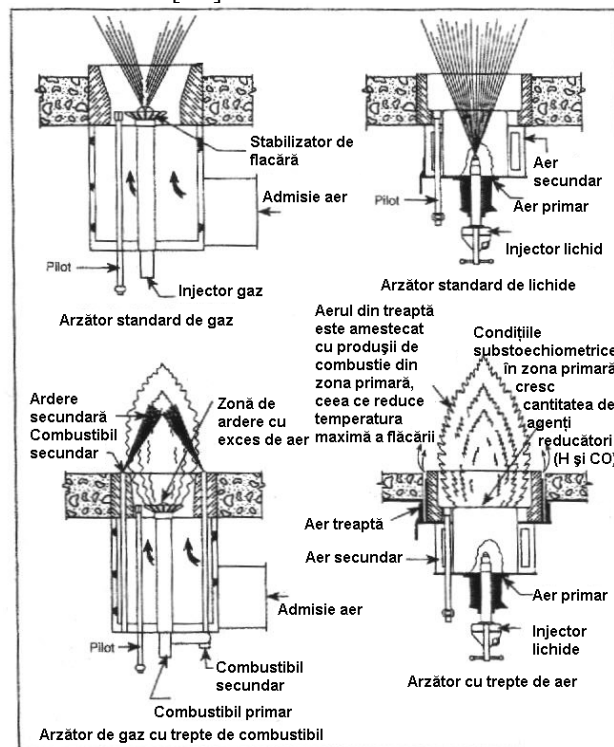
În cazul **arderii cu trepte de aer (ardere în trepte)** combustibilul este ars în vecinătatea sau sub nivelurile stoichiometrice de oxigen (condiții de exces de combustibil). Acest lucru reduce disponibilitatea de oxigen în prima zonă de ardere, fiind eficient pentru controlul NO<sub>x</sub> din combustibil. După aceea, se introduce aerul terțiar (15-25% din totalul de aer necesar arderii) deasupra liniei de arzătoare, pentru a completa procesul de ardere la o temperatură scăzută. Emisiile de NO<sub>x</sub> sunt reduse cu până la 35%. Arderea în trepte este eficientă din punct de vedere al costului, dar nu se aplică singură datorită reducerii limitate a emisiilor de NO<sub>x</sub> și pentru că accelerează coroziunea pereților țevilor și duce la creșterea murdăririi și a depunerii de zgură [21].

**Arzătoarele sărace în NO<sub>x</sub>** împreună cu arderea în trepte, sunt în general, combinația cea mai utilizată pentru reducerea emisiilor de NO<sub>x</sub> cu 30-60%. Arzătoarele sărace în NO<sub>x</sub> implică etapizarea aerului în flacără. Scopul etapizării aerului în arzător este acela de a întârzia amestecul deșeu-aer în zona arzătorului, la fel ca la arderea în trepte. Cu arzătoarele sărace în NO<sub>x</sub>, o parte din flacără se află în condiții de exces de combustibil. Excesul de hidrocarburi, radicalii conținând hidrogen/oxigen și azot, interacționează prevenind formarea de NO<sub>x</sub>.

**Arderea combustibilului în trepte (rearderea)** utilizând deșeuri și gaz natural este o tehnologie de reducere a NO<sub>x</sub> aplicabilă tuturor tipurilor de cuptoare. Metoda permite reducerea emisiilor de NO<sub>x</sub> cu aproximativ 40 - 70%. Rearderea cu gaz natural este o tehnologie care dă rezultate bune, în special pentru cuptoarele cu evacuarea zgurii în stare topită. Rearderea înlocuiește în mod uzual cam 15-20% din totalul de căldură care intră în cuptor. Din punct de vedere al căldurii intrate,

aproximativ 80-85% din cantitatea de deșeu este arsă în zona de ardere principală, urmată de etapa introducerii a 15-20% în zona de reardere, amplasată la o înălțime ridicată în cuptor. Se crează astfel o zonă bogată în combustibil, în punctul de injectare al combustibilului de reardere. Radicalii rezultați prin rearderea combustibilului de reardere reduc  $\text{NO}_x$  și  $\text{N}_2$ . Aerul adițional (aerul de reardere) este introdus deasupra zonei pentru a asigura o ardere completă. În principiu se pot utiliza pentru recombustie (reardere sau reburning), *hidrocarburi lichide sau gazoase*. În practică, utilizarea hidrocarburilor lichide este dificilă, deoarece reziduurile nearse pot să fie sub formă de particule solide care sunt greu de distrus și care se regăsesc apoi la ieșirea din coș. Recombustia a făcut obiectul unui număr mare de încercări și de instalații pilot, în domenii diferite, respectiv pentru: *instalații de incinerare*, în care combustibilul principal este un deșeu; *generatoare de abur din centrale electrice*, în care combustibilul principal este fie cărbunele pulverizat, fie păcura; *arzătoare de precalcinare* în procesul de fabricare a cimentului. Avantajul utilizării drept combustibil secundar al gazului natural este faptul că necesită doar o mică modificare a cuptorului, mai ales la cele care utilizează gazul natural drept combustibil de pornire sau de menținere a flăcării. Pe de altă parte, utilizarea gazului natural necesită instalarea de arzătoare corespunzătoare, injecții adiționale de aer în cuptor, diferite dispozitive de control. Aceste modificări conduc la costuri mai ridicate în comparație cu rearderea.

În **figura 16** sunt prezentate schematic principalele tipuri de arzătoare cu trepte de aer sau combustibil [21].



**Figura 16** Arzătoare cu trepte de aer sau combustibil

**Recircularea gazelor arse** este utilizată pentru reducerea emisiilor de  $\text{NO}_x$  în cazul incinerării deșeurilor lichide și gazoase. Eficiența reducerii  $\text{NO}_x$  este scăzută în incineratoarele de deșeuri solide. Obiectivul urmărit este scăderea temperaturii arderii prin micșorarea temperaturii flăcării cu gaze arse sau fum. Se disting recircularea externă și recircularea internă [21].

**Recircularea externă** constă în captarea gazelor arse de către un ventilator de gaze aflat în aval de echipament și injectarea fumului direct în arzător (sau mai multe arzătoare), prin orificiile prevăzute special în acest scop, fie prin amestecarea cu aerul de ardere înainte de introducerea acestuia din urmă în arzătoare. Scăderea procentelor de oxizi de azot depinde de debitul de gaz recirculat. Această diminuare poate ajunge la 50 - 60% din valoarea fără recirculare. În practică nu se depășește niciodată un debit de recirculare superior unei valori de 15% din debitul aerului de ardere pentru a nu produce instabilitatea flăcării și creșterea astfel a emisiilor de CO și hidrocarburi. Deoarece fumul este captat la o temperatură de aproximativ 150°C, puterea absorbită de ventilatorul de recirculare nu este de loc negliabilă. În plus, în cazul unor echipamente care funcționează cu combustibili ce au un conținut mare de sulf, conductele de recirculare trebuie să limiteze atât pierderile termice cât și riscurile de coroziune legată de prezența  $\text{SO}_2$  și  $\text{SO}_3$ . Concomitent, această soluție reduce suprafața radiantă a generatorului de abur, crescând-o pe cea convectivă. Recircularea gazelor arse la ieșirea din focar, înainte de economizor, nu produce o reducere semnificativă a  $\text{NO}_x$ .

**Recircularea internă** urmărește același obiectiv ca și recircularea externă însă, pentru a evita o rețea complicată de conducte foarte scumpă, reducerea flăcării se face cu gazele arse care se găsesc în camera de ardere în vecinătatea imediată a arzătorului. Punerea în circulație a acestor gaze este făcută de un jet format din aerul de ardere și/sau combustibil, în cursul intrării acestuia în focar. În plus, pentru îmbunătățirea amestecului între jetul primar și gazele recirculate, este necesar ca jetul să fie subdivizat. Pe acest principiu au fost create arzătoarele cu producție redusă de  $\text{NO}_x$  pentru combustibili lichizi [21].

#### **4.2.2.2. Măsuri secundare pentru denoxarea gazelor arse**

Aplicarea măsurilor primare determină o scădere importantă a concentrației oxizilor de azot în gazele arse care părăsesc focarul, dar nu întotdeauna și suficientă pentru a corespunde normelor internaționale privind emisia de  $\text{NO}_x$  pe coșul instalațiilor de incinerare. În scopul protejării mediului ambiant trebuie să se procedeze și la o curățire (denoxare) a gazelor arse. Aceste măsuri poartă denumirea de **măsuri secundare** și ele urmăresc reținerea oxizilor de azot din gazele arse înainte ca acestea să fie eliminate pe coșul de fum în mediul ambiant. De multe ori, procedeele de denoxare se "contopesc" și se "înlănțuiesc" cu cele de desulfurare a gazelor arse. În principal se practică procedee uscate și umede, în toate cazurile procedeele cuprinzând mai multe etape ce se deosebesc prin complexitate, nivelul investițiilor și calificarea personalului de exploatare. În **tabelul 5** sunt prezentate procedee umede și uscate de denoxare, respectiv denoxare și desulfurare simultană.

**Tabelul 5** *Procedee umede și uscate de denoxare, respectiv denoxare și desulfurare simultană*

	Denoxare	Denoxare și desulfurare
Procedee umede	<ul style="list-style-type: none"> <li>● oxidare/adsorbție</li> <li>● adsorbție/reducere</li> <li>● adsorbție/oxidare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● oxidare/adsorbție</li> <li>● adsorbție/reducere</li> <li>● oxidare/reducere</li> </ul>
Procedee uscate	<ul style="list-style-type: none"> <li>● reducere necatalitică selectivă (SNCR)</li> <li>● reducere catalitică selectivă (SCR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● adsorbție/reducere</li> <li>● radiație cu jet de electroni</li> </ul>

În instalațiile mari se aplică, în general, procedeele SCR, deosebindu-se două variante:

1) **Sistem high dust**, când gazele arse nedesprăfuite trec întâi prin catalizator, electrofiltrul fiind unul normal, iar instalația de desulfurare în cazul în care urmează celei de denoxare, nu va trebui să suporte decât concentrații reduse de amoniac. Gabaritul sporit, durata de viață mai redusă a catalizatorului și faptul că cenușa conține amoniac, constituie dezavantajele procedeeului.

2) **Sistem low dust**, când amoniacul nu mai ajunge în electrofiltru și regimul de lucru al catalizatorului (gabarit și durată) este îmbunătățit, deoarece gazele sunt desprăfuite. Dezavantajele sunt legate de faptul că electrofiltrul trebuie să funcționeze la temperaturi înalte, existând riscul înfundării lui cu sulfat de amoniu și pulberi fine. În special în instalațiile mici, un rol foarte important îl au și procedeele SNCR. În **tabelul 6** sunt prezentate procedeele de eliminare a  $\text{NO}_x$  din gazele arse [122].

**Tabelul 6** *Procedeele de eliminare a  $\text{NO}_x$  din gazele arse*

Procedee necatalitice	Absorbție	<ul style="list-style-type: none"> <li>● în soluție de NaOH și NaOCl</li> <li>● în soluție de 5-15% <math>\text{H}_2\text{NSO}_3\text{H}</math> în acid sulfuric</li> <li>● prin reacții gaz/solid patul de reacție fiind CaC; <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math>; <math>\text{CaCO}_3</math></li> </ul>
	Reducere termică	<ul style="list-style-type: none"> <li>● mordenit (alumino-silicat cristalin)</li> <li>● cărbune activ</li> <li>● turbă îmbibată în alcalii</li> </ul>
Procedee catalitice	Reducere	<ul style="list-style-type: none"> <li>● cu pulbere de cocs la 900-1000°C</li> <li>● cu <math>\text{N}_2\text{H}_4</math> la 750-850°C</li> <li>● cu <math>\text{NH}_3</math> la 950-970°C</li> <li>● cu uree la 900-980°C</li> <li>● cu hidrocarburi C1-C4 la 980°C</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Descompunere pe amestec de oxizi metalici (Cu; Ni; Fe; Cr) la temperaturi de peste 1000°C</li> <li>● cu <math>\text{H}_2</math> și catalizator pe bază de Pt, Pd, Ni, Cr</li> <li>● cu <math>\text{NH}_3</math> și catalizator pe bază de <math>\text{TiO}_2</math> combinat cu <math>\text{V}_2\text{O}_5</math> sau <math>\text{WO}_3</math></li> <li>● cu CO și catalizator pe bază de oxid de cupru, oxid de crom, cromit de cupru</li> <li>● cu amestec de gaze reducătoare, ca de exemplu, <math>\text{NH}_3</math> și etanol pe catalizator Pd/<math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> sau <math>\text{NH}_3</math> și CO pe catalizator Ca/<math>\text{SiO}_3</math></li> </ul>

În general, în funcție de situație, drept agent reducător se folosește de obicei amoniacul.

#### **Reducerea catalitică selectivă(SCR)**

Tratarea gazelor arse se poate face folosind reducerea catalitică selectivă (SCR) și reducerea selectivă necatalitică (SNCR). Cele două procedee se pot folosi singure sau în combinație cu modificări ale arderii. Procedeele SCR este cel mai răspândit procedeu secundar de denoxare și are o largă aplicare în Japonia, Germania și SUA. La reducerea catalitică selectivă, transformarea oxizilor de azot în azot și apă decurge în urma reacției cu amoniacul, în prezența unui catalizator ( $\text{TiO}_2$  combinat cu  $\text{V}_2\text{O}_5$  sau  $\text{WO}_3$ ) [122].

#### **Reducerea selectivă ne-catalitică(SNCR)**

Procedeele SNCR se folosește de obicei atunci când cheltuielile pentru denoxare nu trebuie să fie prea mari, sau există pericolul unei otrăviri a catalizatorului, în cazul în care s-ar folosi procedeele SCR. Condiția necesară este însă să se lucreze la temperaturi înalte și optime, capabile să asigure furnizarea energiei termice necesare pentru descompunerea și vaporizarea agentului reducător care se injectează în curentul gazelor arse. De aici decurge importanța alegerii corecte a locului în care se introduce reactantul, în concordanță cu tipul, componența și sarcina la care funcționează generatorul de abur [122, 123].

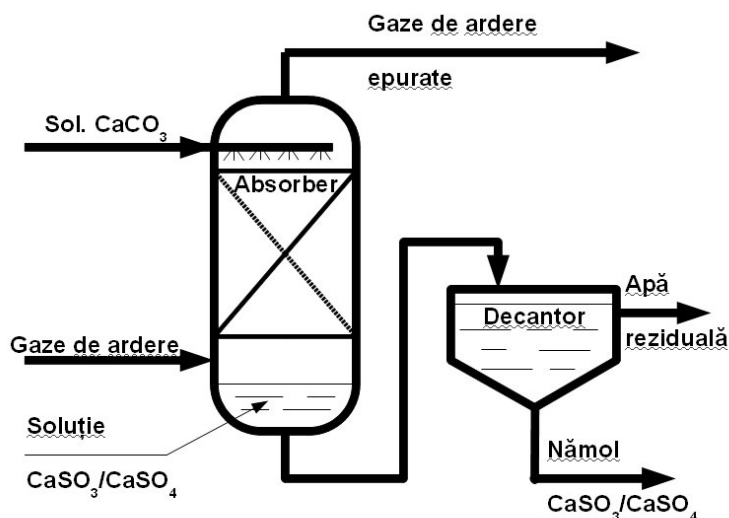
### **4.2.3. Optimizarea proceselor tehnologice de desulfurare a gazelor arse**

Procedeele convenționale. Procedeele convenționale de desulfurare utilizează o soluție apoasă de calcar ( $\text{CaCO}_3$ ) ca reactiv într-o instalație absorbantă (scruber) care constă într-un recipient vertical în care gazele arse intră în contact cu soluția de calcar. Curgerea se face de regulă în contracurent iar debitul de gaze și secțiunea transversală a scruberului sunt determinate de caracteristicile sistemului privind transferul de masă; pentru valori moderate ale debitelor de gaze de ardere aceste scrubere au dimensiuni foarte mari. Produsul de reacție care se depozitează în partea de jos a scruberului este o soluție apoasă care conține sulfit de calciu ( $\text{CaSO}_3$ ) și sulfat de calciu ( $\text{CaSO}_4$ ). După recuperarea parțială a apei din soluție aceasta este depozitată, necesitând dezafectarea unor suprafețe întinse.

Pe lângă problemele ridicate de depozitare, un alt dezavantaj al procedeelelor convenționale este pericolul de depunere pe suprafețele metalice ale scruberului și conductelor a sărurilor conținute de soluție. Aceasta necesită opriri frecvente ale instalației și face necesară instalarea unui modul de rezervă, în felul acesta dublându-se cerințele de spațiu ale instalației pentru a permite funcționarea continuă [124].

În **figura 17** este prezentată schema procedeelelor tehnologice convenționale de desulfurare a gazelor arse.

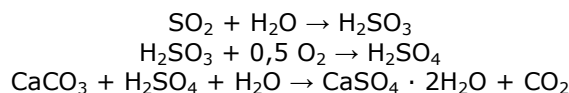




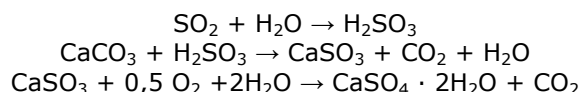
**Figura 17** Schema tehnologică a procesului convențional de desulfurare a gazelor arse.

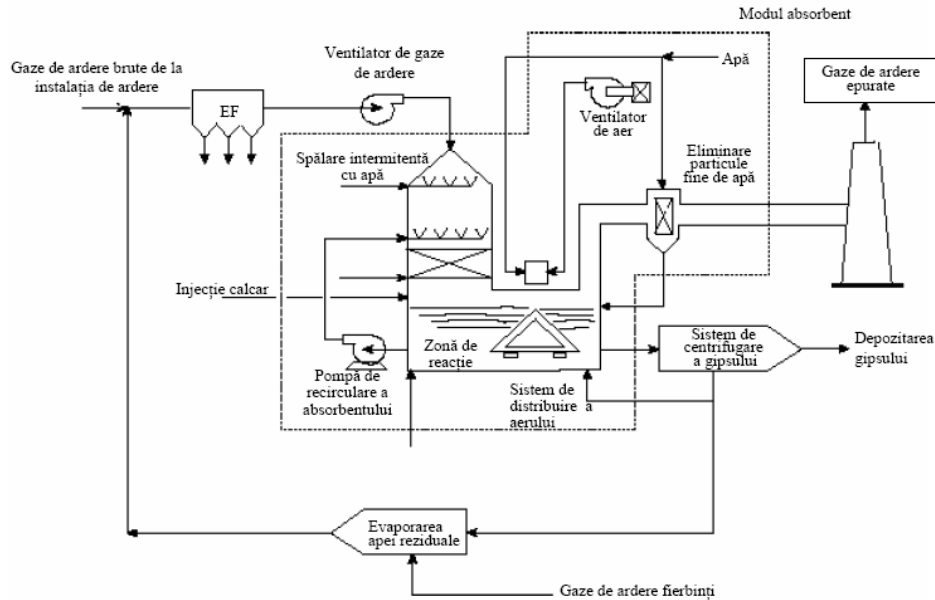
Din acest motiv au fost dezvoltate procedee alternative în care soluția conținând sulfat și sulfid de calciu reacționează cu oxigenul pentru a trece sulfidul de calciu în sulfat de calciu (gips) care poate fi valorificat. De regulă această reacție presupune un alt vas utilizând aerul atmosferic ca agent oxidant.

**Procedeul AFGD** (*Pure Air – Advanced Flue Gas Desulfurization Process*) a fost dezvoltat de United States Department Of Energy pentru grupurile electrogene 7 și 8 ale centralei electrice pe cărbuni de 600MWh din Bailly, Indiana de nord. Principalul obiectiv urmărit în cadrul proiectului consorțiului Pure Air a fost evaluarea posibilităților tehnice și economice de realizare a desulfurării într-o singură instalație în care să aibă loc toate fazele procesului. În cazul procedeeului de desulfurare avansată, calcarul pulverizat este injectat direct în absorbitor. Reacția de oxidare este favorizată de agitația creată cu un sistem de ventilare care generează un nivel de turbulență și o distribuție a aerului care realizează oxidarea practic completă a sulfidului de calciu la sulfat de calciu. Procedeul include o fază de aglomerare a gipsului, rezultând un produs cu calitate superioară, gips PowerChip®. În plus, procedeul utilizează o metodă de evaporare a apei reziduale utilizând căldura gazelor arse. Procedeul AFGD nu diferă esențial de procedeul convențional. În **figura 18** este reprezentată schematic instalația AFGD, succesiunea de reacții chimice din instalație fiind următoarea [15, 125] :



O succesiune alternativă de reacții care duce la același rezultat este următoarea [15] :





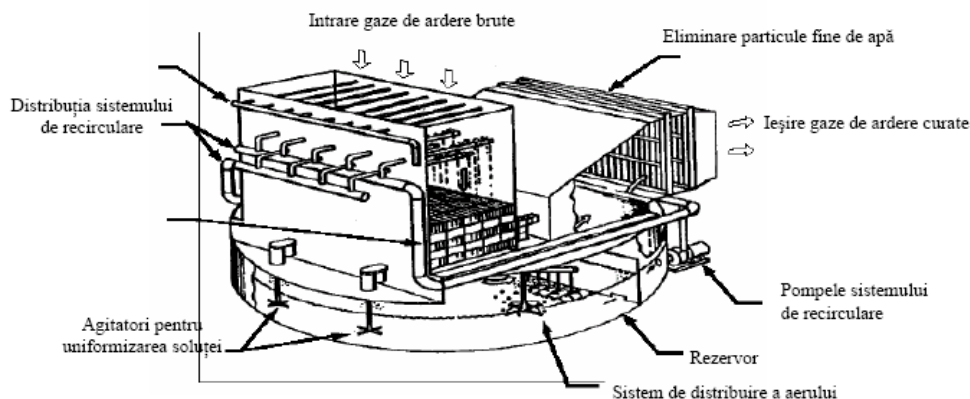
**Figura 18** Schema tehnologică a procedurii AFGD

Instalația AFGD utilizează un singur scruber absorbant căptușit cu o rășină sintetică, curgerea soluției făcându-se în echicurent cu gazele arse, cu distribuția soluției în două trepte. Instalația de absorbție realizează trei funcții diferite în același vas de reacție: răcirea gazelor arse, absorbția dioxidului de sulf și oxidarea soluției de sulfat de calciu. Alte caracteristici care conduc la economia de spațiu și investiție mai redusă sunt:

- sistem de distribuție a soluției la presiune atmosferică, care reduce presiunea pompei de recirculare cu aproximativ 30 % față de procedeele convenționale cu pulverizare în contracurent;
- curgerea soluției fără pulverizare nu generează particule fine de apă (ceață), în felul acesta reducându-se încărcarea sistemului de eliminare a particulelor fine de apă cu până la 95 % față de procedeele convenționale cu curgere în contracurent și pulverizare;
- utilizarea unui sistem de pulverizare a calcarului în stare uscată elimină necesitatea utilizării morilor de calcar, a rezervoarelor de depozitare a soluției de calcar și a pompei.

Sistemul de distribuție a aerului realizează atât distribuția uniformă a aerului pe zonele instalației cât și un amestec eficient între agentul oxidant (aer) și soluția de sulfat de calciu. În cazul sistemului clasic de desulfurare, amestecul agentului oxidant cu soluția de sulfat de calciu se face în scruber printr-un sistem agitator și oxidarea are loc într-un recipient separat. În cazul sistemului AFGD, sistemul de distribuție a aerului asigură o mai bună utilizare a oxigenului din aer și un amestec mai eficient, ducând la reducerea puterii necesare agitării și necesități mai reduse de întreținere.

În **figura 19** este prezentată instalația de absorbție a sulfului propriu-zisă [15, 125].



**Figura 19** Elementele componente ale instalației de absorbție

Soluția de gips rezultată în urma oxidării este centrifugată în două trepte și decantată pentru separarea ghipsului de apă, care este pulverizată în curentul de gaze de ardere, în amonte de electrofiltre. Gazele fierbinți vaporizează apa iar produsele solide dizolvate în apă se colectează în electrofiltru împreună cu cenușa [126, 125].

Gipsul rezultat de la centrifugare are un conținut ridicat de umiditate, nefiind adecvat utilizării în starea în care iese din instalație. El este supus unui proces de uscare care îi modifică structura fizică.

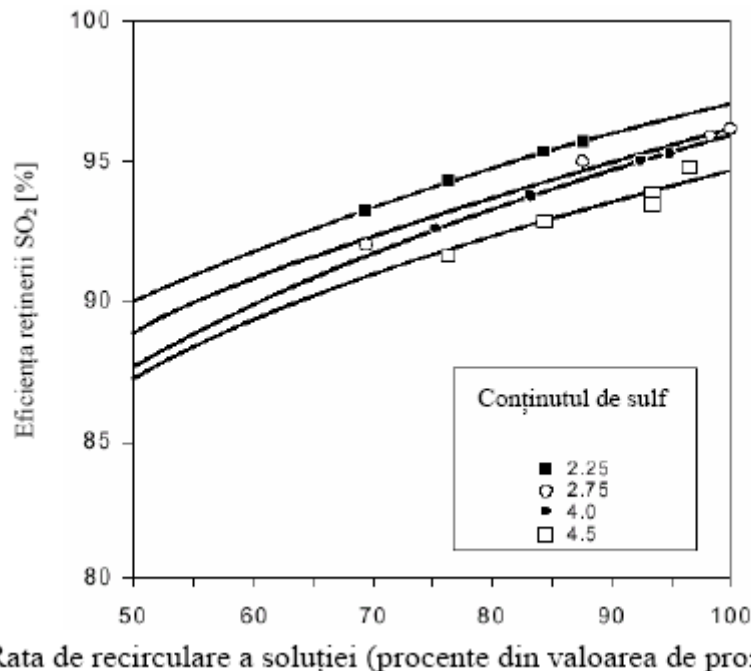
Pentru un conținut de sulf al cărbunelui de 3% și o reducere a dioxidului de sulf din gazele arse cu 94%, prin procedeul AFGD aplicat la Bailly Station s-a obținut o reducere a emisiei de SO<sub>2</sub> în atmosferă cu aproximativ 68000 tone/an. Procedeul a fost aplicat la două unități, gazele arse tratate reprezentând echivalentul a 528 MWe putere în funcțiune. Scruberul a fost dimensionat pentru întreaga putere instalată a celor două grupuri 616 MWe. Pe parcursul derulării proiectului unitățile au funcționat cu șisturi bituminoase cu conținut de sulf variind între 2,21 și 4,73%. Procedeul a dus la o reducere a dioxidului de sulf din gazele arse cu aproximativ 94%, maxim 98%. Disponibilitatea de timp a instalației a fost 99,5%. Pe parcursul proiectului a fost produsă o cantitate de 210000 tone de gips cu puritatea medie 97,2%. Cazanele de abur au fost alimentate cu 5 sorturi de cărbune având analiza elementară redată în **tabelul 7**:

**Tabelul 7** Analiza elementară a sorturilor de cărbune cu care au fost alimentate cazanele de abur

Element	Sortul de cărbune				
	I	II	III	IV	V
Carbon	66,77	61,46	62,03	59,02	69,39
Hidrogen	4,51	4,38	4,09	4,36	4,94
Azot	1,44	1,23	1,22	1,26	1,17
Sulf	2,21	2,90	3,21	3,78	4,73
Oxigen	6,73	7,43	8,18	7,18	5,64
Clor	0,14	0,10	0,06	0,03	0,07
Umiditate	8,63	12,89	11,12	13,69	4,74
Cenușă	9,57	9,61	10,09	10,68	9,32
Putere calorică inferioară [kJ/kg]	27751	25635	25291	25584	29538

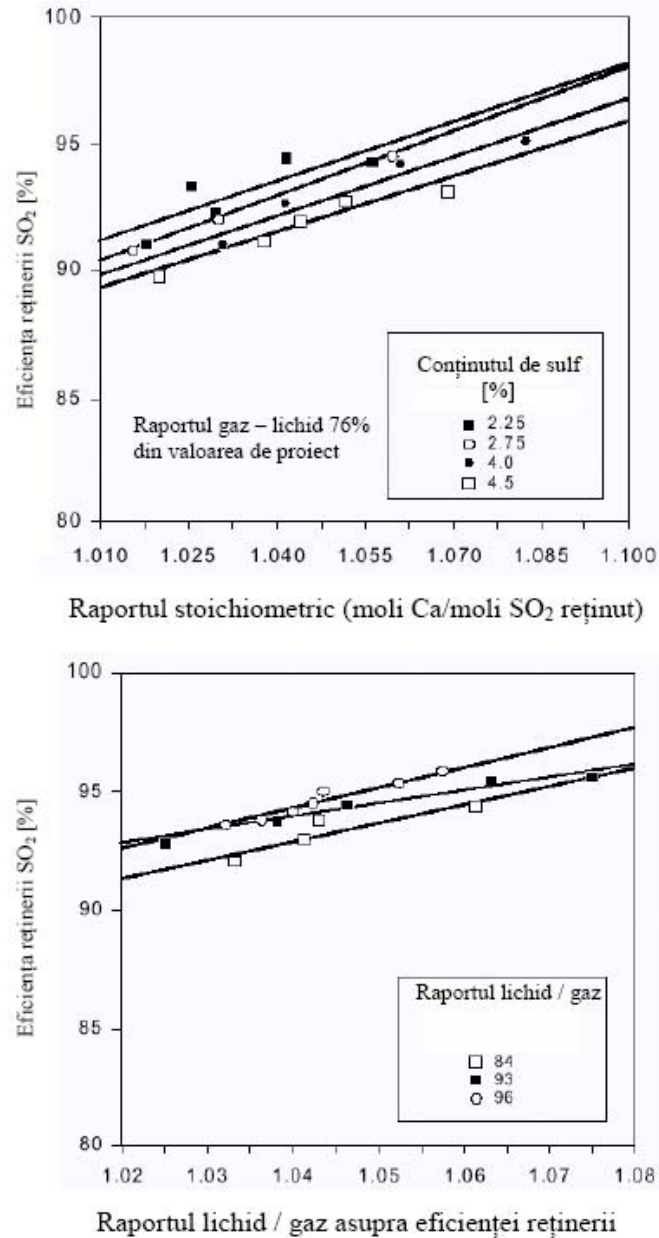
Principalele caracteristici funcționale studiate au fost: (a) conținutul de sulf al cărbunelui, (b) debitul de soluție recirculat, (c) raportul stoichiometric calcar – dioxid de sulf și (d) raportul gaz – lichid în modulul absorbent [15].

Pentru un raport stoichiometric și conținut inițial de sulf al cărbunelui constante, gradul de reținere a dioxidului de sulf crește cu creșterea ratei de recirculare soluției. De exemplu, la un raport stoichiometric 1,045 și un conținut inițial de sulf al cărbunelui de 2,25%, eficiența reținerii dioxidului de sulf crește de la valoarea de 90% la o rată de recirculare de 50% din valoarea de proiectare la aproximativ 97% pentru valoarea de proiectare a ratei de recirculare (**figura 20**). S-a constatat că eficiența procesului de reținere scade la creșterea conținutului inițial de sulf al cărbunelui [15].



**Figura 20** Efectul recirculării soluției asupra eficienței reținerii dioxidului de sulf

Pentru un raport gaz – lichid și conținut inițial de sulf al cărbunelui constant eficiența procesului de reținere crește cu creșterea raportului stoichiometric. De exemplu, la un raport gaz – lichid de 76% din valoarea de proiect eficiența procesului de reținere crește de la aproximativ 91% la un raport stoichiometric de 1,01 la aproximativ 98% pentru un raport stoichiometric de 1,10. Aceste rezultate sunt reprezentate grafic în **figura 21** [15, 125].



**Figura 21** Efectul raportului stoichiometric Ca / SO<sub>2</sub> asupra eficienței reținerii SO<sub>2</sub>

A fost studiată posibilitatea utilizării unor aditivi cum sunt acizii dibazici la soluția de calcar care să crească eficiența reținerii dioxidului de sulf, ținând seama de efectele asupra costurilor de operare și a proprietăților gipsului rezultat.

Metoda de desulfurare AFGD este aplicabilă la practic orice instalație de

ardere convențională, incluzând focare cu ardere în stare fluidizată cu evacuarea zgurii în stare lichidă, focare cu ardere sub presiune, focare ciclon. Eficiența economică a procedurii AFGD este însă condiționată de existența unei piețe de desfacere pentru gipsul sintetic rezultat. În contextul crizei de gips natural apare un interes tot mai crescut pentru gipsul sintetic, obținut cu costuri reduse și având calități și puritate comparabile cu cele ale gipsului natural. O altă utilizare a gipsului poate fi combinarea sa cu cenușa de termocentrală pentru obținerea unui ciment. Specificațiile gipsului pentru acest tip de produs sunt însă diferite decât pentru gipsul uzual.

Studiile tehnico-economice comparative au arătat că pentru o capacitate instalată de 500 MWe procedeul AFGD presupune un cost de 236\$ pentru o tonă de SO<sub>2</sub> reținut față de 373\$ în cazul procedurii convenționale. Aceste costuri includ și taxele de emisie pentru SO<sub>2</sub> care în cazul SUA sunt 300\$/tonă [15, 125, 126].

#### **4.2.4 Optimizarea procesului de incinerare utilizând ca funcție obiectiv durata de funcționare a instalației**

##### **4.2.4.1 Optimizarea prin suflare cu jeturi scurte de aer**

SCA Packaging Industriepapier GmbH produce în Aschaffenburg carton ondulat din 100% hârtie reciclată. Materiile prime ce nu corespund calitativ sunt arse în instalația de incinerare proprie. Aceasta constă dintr-un cuptor LURGI în trepte cu o cameră de postardere. În 6-8 săptămâni de funcționare se înfunda piesa de legătură dintre cuptor și camera de postardere, astfel încât instalația trebuia oprită din cauza presiunii prea mari din cuptor. Curățirea se făcea cu ajutorul unui ciocan cu aer comprimat. Timpul de oprire era de 4 zile.

În decembrie 1996 s-au instalat două dispozitive de suflat jeturi scurte de aer comprimat de tipul SHOCK-BLOWER® pe cele două părți ale piesei de legătură. Duzele sunt dispuse astfel încât să sufle pe o zonă cât mai mare, alternativ la un interval de o oră [127].

De la dare în folosință în ianuarie 1997, piesa de legătură este complet curată și nu s-au observat urme de uzură a duzelor.

Nu s-au observat efecte secundare asupra sistemului de control automat al presiunii [128].

SHOCK-BLOWER® înmagazinează aer comprimat sub presiune (sau gaze inerte) de până la 10 bar și le descarcă într-un timp foarte scurt de domeniul milisecundelor. Prin dirijarea aerului sub presiune prin duze speciale de expansiune țintit spre interfața dintre pereți și depuneri. Astfel depunerile sunt „descojite” de pe pereți.

SHOCK-BLOWER® se folosesc în „zonele critice”, acolo unde se pot forma depuneri de materiale sau chiar „punți”.

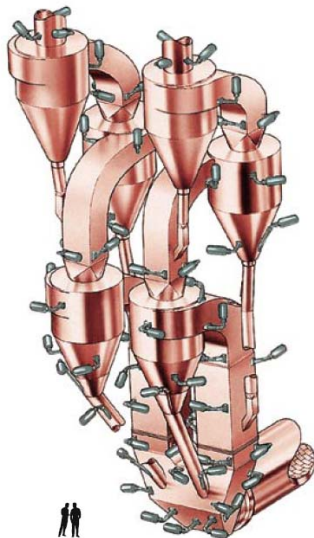
Prin suflarea într-o ordine programată în funcție de timp se formează zone active de curgere, prin care pot fi îndepărtate chiar și depunerile foarte coezive.

Mărimea și numărul dispozitivelor SHOCK-BLOWER® și al duzelor se stabilesc în funcție de:

- caracteristicile materialelor

- condițiile locale
- tipul și forma depunerilor

Reprezentarea schematică din **figura 22** prezintă modul de amplasare al dispozitivelor SHOCK-BLOWER® produse de Agrichema în vederea îndepărtării depunerilor nedorite de materiale într-un sistem de preîncălzire pentru cuptoarele rotative de fabricare a cimentului [127].



**Figura 22** Reprezentarea schematică a modului de amplasare a dispozitivelor SHOCK-BLOWER® produse de Agrichema în vederea îndepărtării depunerilor nedorite de materiale într-un sistem de preîncălzire pentru cuptoarele rotative de fabricare a cimentului.

SHOCK-BLOWER® produse de AGRICHEMA sunt constituite dintr-un rezervor de aer comprimat sau gaz inert și o instalație de comandă de tipul SIKOBETIC. Aerul comprimat este realizat după normele EURO și este zincat în exterior și în interior. Sistemul cu ventil este compus din ventil, suport de ventil și o tijă din oțel Cr-Ni pentru acționarea pistonului și este montat protejat în interiorul recipientului. Cilindrul cu suprafață mare realizat în formă de sandwich din poliuretan sau aluminiu cu garnitura vulcanizată pe el pentru deschiderea și închiderea deschiderii de suflare asigură o etanșeitate bună este prezentat în **figura 23** [127].

Pistonul este dotat cu inele de teflon, astfel încât mișcarea cilindrului să poată avea loc în domeniul milisecundelor iar jeturile de aer, asemănătoare unor explozii, să aibă un efect optim [127].



**Figura 23** Sistemul cu ventil

Instalația secundară SILOBETIC produsă de AGRICHEMA oferă o funcționare sigură a dispozitivelor de suflare (chiar și în cazul unor variații puternice ale rețelei de aer comprimat). Suplimentar SIKOBETIC reprezintă un sistem simplu de utilizat și foarte sigur pentru utilizator.

La Facultatea de procese mecanice a Universității Kaiserslautern au fost măsurate forțele jeturilor de aer prin metode moderne [127].

#### **4.2.4.2 Optimizarea fiabilității grătarelor**

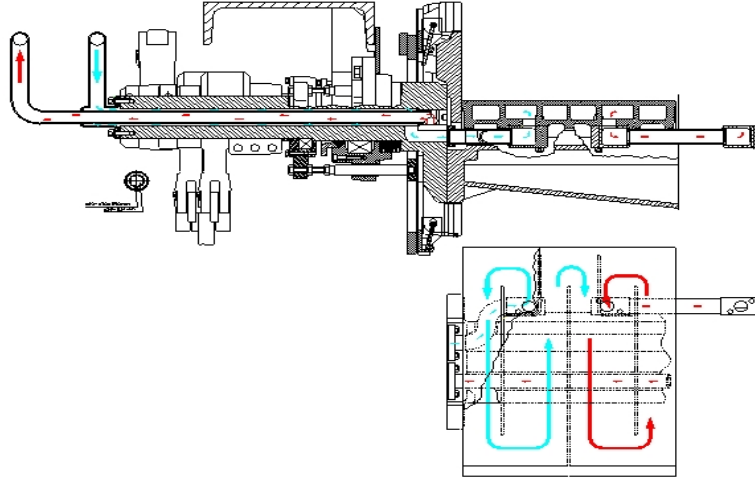
Grătarele sunt confecționate de regulă din metal și au multe părți în mișcare supuse acțiunii unor forțe destul de mari. Aceasta le face susceptibile la uzură. Pentru a se reduce uzura și timpul de oprire al instalației pentru reparații se poate recurge la grătarele răcite. Răcirea se realizează de regulă cu aer sau/și apă [19, 129].

Prin folosirea grătarelor mobile răcite cu apă se reduce cu mult uzura pieselor și se îmbunătățește controlul procesului de incinerare. Deoarece piesele expuse nu mai sunt legate de răcirea cu aer, aportul de aer poate fi modificat.

Sistemele de grătare răcite cu apă se folosesc cu succes de mai mulți ani. În 1996 sa demonstrat că un grătar răcit cu apă poate funcționa și 42000 ore fără să prezinte o uzură sesizabilă.

În **figura 24** se prezintă un element de grătar mobil răcit cu apă produs de firma Babcock & Wilcox Vølund din Danemarca [19, 129].





**Figura 24** Element de grătar mobil răcit

## PARTEA II STUDII EXPERIMENTALE

Având în vedere obiectivele propuse ale acestei lucrări, în cele ce urmează se va prezenta detaliat instalația de incinerare a deșeurilor a cărei funcționare a fost monitorizată prin măsurarea principalilor parametrii caracteristici, timp de mai multe luni. În acest fel s-a obținut o bază de date bogată (vezi **Anexele I-IV**), care a fost prelucrată matematic în vederea obținerii unor concluzii referitoare la îmbunătățirea performanțelor cantitative și calitative ale acesteia, respectiv:

- ✓ Scăderea valorii costurilor totale ale incinerării unui deșeu
- ✓ Reducerea consumurilor suplimentare de substanțe auxiliare necesare a fi utilizate în cadrul unor faze tehnologice
- ✓ Elaborarea unor criterii de evaluare a riscului ecologic prin introducerea unor faze suplimentare în procesul tehnologic al liniei de epurare a gazelor arse, precum controlul avansat al emisiilor în atmosferă.

## Cap.5 Descrierea instalației de ardere a deșeurilor

Deoarece gazele rezultate în urma procesului de incinerare trebuie eliminate obligatoriu în conformitate cu legislația în vigoare referitoare la protecția mediului, instalația propriu-zisă este alcătuită din două părți de sine stătătoare:

- Instalația tehnologică de ardere a deșeurilor
- Instalația tehnologică de epurare a gazelor arse

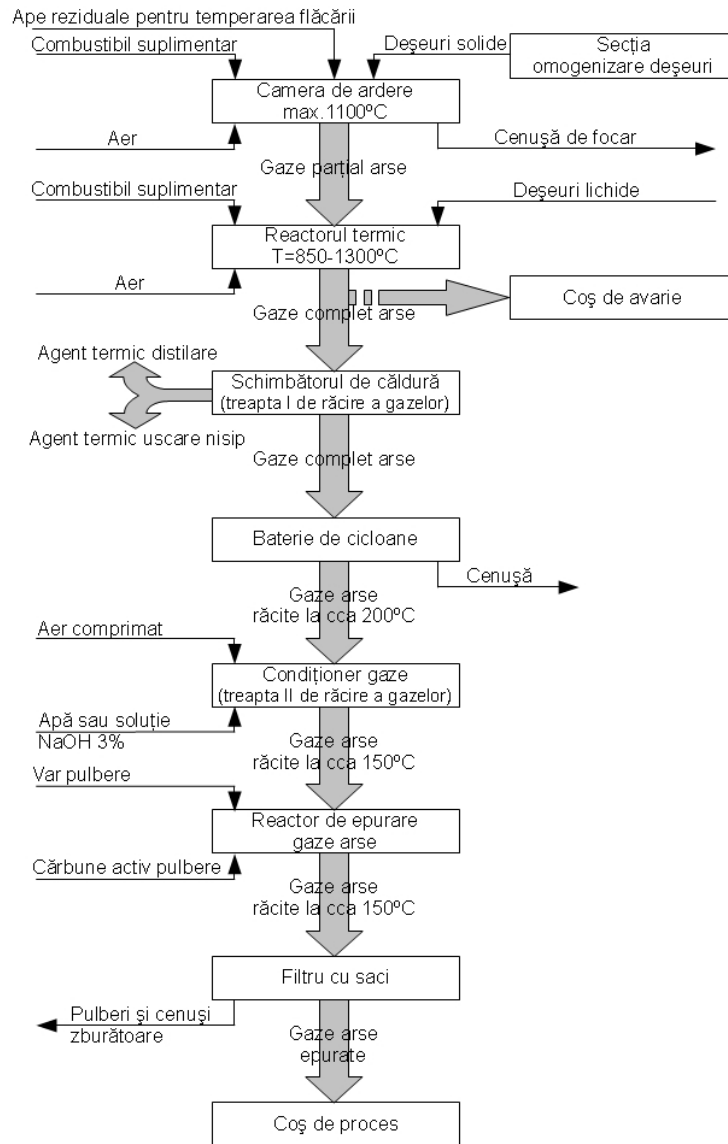
În continuare se prezintă descrierea detaliată a celor două linii tehnologice.

### 5.1 Instalația tehnologică de incinerare a deșeurilor

Tehnologia este destinată incinerării deșeurilor speciale și medicale solide și/sau lichide în scopul reducerii volumului și cantității de material și a transformării acestora în cenușă sterilă haldabilă.

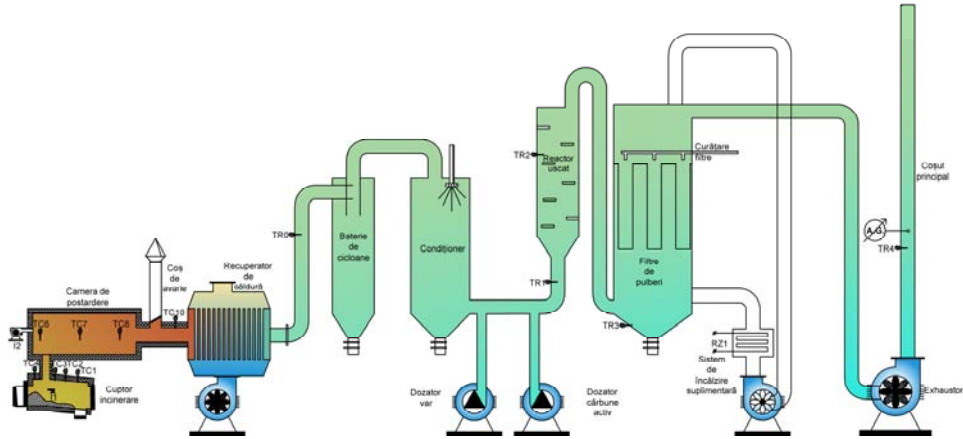
Capacitatea proiectată a liniei este de 9800 kg deșeuri/zi (cca. 408 kg/h), nominalizată astfel după structura medie a deșeurilor ce urmează a fi incinerate.

În **figura 25** este prezentată schema logică bloc a instalației de incinerare de capacitate de 9.8t/zi.



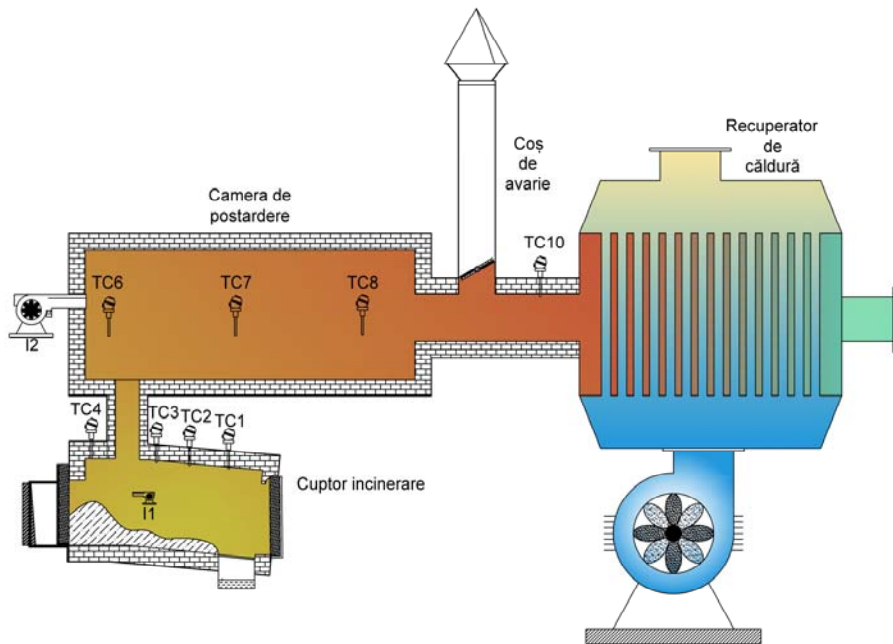
**Figura 25** Schema logică bloc a instalației de incinerare de capacitate de 9.8t/zi

În **figura 26** este prezentată schema simplificată a instalației de incinerare studiate.



**Figura 26** Schema simplificată a instalației de incinerare a deșeurilor studiată.

În **figura 27** este prezentată schema instalației reale de ardere a deșeurilor care a fost studiată.



**Figura 27** Schema simplificată a instalației de ardere studiate.

În **figura 28** este prezentată instalația reală de incinerare a deșeurilor care a fost studiată.



**Figura 28** Vedere de ansamblu a instalației de incinerare a deșeurilor.

Instalația de incinerare este constituită din următoarele:

1. *Sistemul de alimentare* care asigură alimentarea continuă, ritmică și controlată a liniei cu deșeuri la intervale de timp prestabilite.

2. *Camera de incinerare primară* destinată descompunerii termice a deșeurilor în gaze combustibile și carbon. În timpul operării normale căldura necesară este asigurată de arderea carbonului până la cenușă. Temperaturile normale de lucru, precum și cele maxim admisibile în camera de incinerare sunt prezentate în **tabelul 8**.

**Tabelul 8.** *Temperaturi normale / maxime în camera de incinerare*

Nr. crt.	Senzor	Temperatura normală de lucru	Temperatura maxim admisibilă
1.	Tc1	400 – 600 °C	950 °C
2.	Tc2	600 – 800 °C	1200 °C
3.	Tc3	750 – 900 °C	1200 °C
4.	Tc4	400 – 600 °C	1200 °C

3. *Camera de postcombustie* în care gazele rezultate în urma descompunerii termice sunt amestecate cu aer în proporția corespunzătoare, aprinse și arse la temperaturi în jur de 850÷1100°C.

Temperaturile normale de lucru precum și cele maxim admisibile în camera de postcombustie sunt prezentate în **tabelul 9**.

**Tabelul 9.** *Temperaturi normale / maxim admisibile în postcombustie*

Nr. crt.	Senzor	Temperatura normală de lucru	Temperatura maxim admisibilă
1	Tc6	850 – 900°C 1100 – 1150°C *	1300°C
2	Tc7	850 – 900°C 1100 – 1150°C *	1300°C
3	Tc8	850 – 900°C 1100 – 1150°C *	1300°C

4. *Schimbătorul de căldură – recuperator* cu rol de a prelua căldura gazelor arse și a crea agenți termici (aer cald, antigel) ce pot fi utilizați în diferite scopuri (procese de uscare, încălzire apă, încălzire spații, etc.).

Din schimbătorul de căldură, gazele arse sunt dirijate spre instalația de epurare descrisă în cele ce urmează.

Instalația este proiectată pentru funcționare continuă, alimentarea cu deșeuri, descompunerea termică, postcombustia, evacuarea cenușii și gazelor arse având loc în același timp. Este echipată cu sisteme automate de monitorizare și control. Centralizarea datelor și emiterea de semnale de comandă – reglare este realizată în cea mai mare parte cu ajutorul unui calculator de proces.

Pornirea liniei în regim automat, se face prin inițierea unui program de preîncălzire a camerei de postcombustie până la temperatura de operare reclamată de tipul deșeurilor de incinerat.

Alimentarea cu deșeuri a liniei este permisă numai după atingerea temperaturii menționate.

Alimentarea liniei se face secvențial, la intervale regulate (cca. 15 min.) în două moduri posibile:

- ✓ prin descărcarea unei șarje de cca. 100 kg deșeuri în ecluza de alimentare cu ajutorul graifărului, deșeuri mărunțite preluate din cuvele de alimentare;
- ✓ prin descărcarea unui container cu max. 100 kg deșeuri medicale cu ajutorul schipului, în aceeași ecluză.

Ecluza de alimentare are rolul de a separa camera de incinerare propriu-zisă de mediul ambiant în timpul alimentării liniei cu deșeuri, împiedicând astfel scăpări de gaze în exterior sau pătrunderea necontrolată de aer în camera de incinerare. În acest sens ecluza este prevăzută cu perdele de închidere cu aer, și racord de extracție a gazelor. Aerul necesar perdelei de închidere este furnizat de către ventilatorul **V1**, iar extracția gazelor se realizează cu ajutorul ventilatorului **V3** care le reintroduce în camera de incinerare.

Incinerarea deșeurilor are loc practic în două etape:

1. *În camera de incinerare* are loc descompunerea termică a deșeurilor solide și/sau eventual lichide prin reacții de cracare și piroliză, în gaze combustibile și carbon. Temperatura la care are loc descompunerea termică variază în limite largi, funcție de natura deșeurilor incinerate. Căldura necesară este furnizată prin combustia carbonului pe suprafața vetrei. Obținerea căldurii în acest mod are avantajul că gazele rezultate prezintă un conținut mai redus de pulberi față de cazul în care s-ar utiliza o combustie convențională (cu flacăra) care ar crea turbulențe.

Prima șarjă este aprinsă cu ajutorul unui arzător de inițiere amplasat în partea posterioară a camerei de incinerare (**I1**). Acest arzător este oprit în momentul în care este atinsă temperatura normală în camera de incinerare.

2. În camera de postcombustie gazele rezultate, în prima etapă, sunt amestecate cu aer insuflat printr-o serie de orificii tangențiale, aprinse și arse la temperaturi corespunzătoare (min. 850°C pentru deșeuri cu conținut redus de clor, respectiv min. 1100°C pentru deșeuri cu conținut ridicat de clor). Camera de postcombustie este astfel dimensionată încât să asigure un timp de staționare suficient (minim 2 sec.) pentru combustia completă a compușilor gazoși de natură organică. Camera este preîncălzită încă înainte de alimentarea liniei cu deșeuri așa cum s-a mai arătat. Acest lucru se realizează cu ajutorul unui arzător modulant **(I2)**. La atingerea temperaturii normale de operare (850°C, respectiv 1100°C, funcție de conținutul de clor al deșeurilor), puterea arzătorului se reduce treptat până la atingerea treptei minime de funcționare (minim treapta 2). Oprirea completă a arzătorului nu este indicată deoarece gazele ce urcă din camera de incinerare nu se vor arde complet fara flacăra suport, radiația pereților nefiind suficientă.

Tot în camera de postcombustie pot fi introduse printr-un injector special **(I3)**, eventualele deșeuri lichide combustibile (solvenți, diluanți, uleiuri, etc.). Arderea deșeurilor lichide introduse în camera de postcombustie se va face cu arzătorul pe gaz I2 în funcțiune, acesta asigurând flacăra suport necesară arderii complete a deșeurilor lichide.

Preluarea căldurii gazelor arse se realizează în sistem recuperativ. Gazele fierbinți sunt trecute peste un fascicul de țevi prin care circulă aer rece și un registru de țevi prin care circulă antigel.

În urma schimbului de căldură, gazele reci sunt dirijate spre instalația de epurare, iar agenții termici obținuți sunt dirijați spre destinațiile aferente, după cum urmează:

- ✓ Aerul cald este utilizat parțial la încălzirea unor componente ale liniei de epurare, dar cea mai mare parte este dirijată spre o instalație de uscare a nisipului;
- ✓ Antigetul este utilizat pentru încălzirea unor spații sau/și prepararea apei calde menajere.

### 5.1.1 Sistemul de alimentare a liniei

Este constituit din două subsisteme distincte:

- dispozitivul de descărcare a containerelor cu deșeuri medicale;
- sistemul de alimentare cu graifă.

În continuare se descriu aceste dispozitive.

#### *Dispozitivul de descărcare a containerelor*

Este compus din două părți distincte:

- mecanismul de ridicare cu cablu și tambur de antrenare, acționat la comanda operatorului de către un motoreductor;
- căruciorul de preluare a containerului prevăzut cu role de ghidare și care circulă pe o cale de rulare.

Containerul cu deșeuri este adus manual pe căruciorul de preluare și fixat pe acesta. După aceasta operatorul dă comanda de descărcare. Containerul va fi ridicat la înălțimea necesară și basculat în pâlnia ecluzei de alimentare. Ridicarea pe verticală și bascularea containerului sunt asigurate de către profilul căii de rulare.



*Sistemul de alimentare cu graifăr*

Sistemul de alimentare cu graifăr este prezentat în **figura 29**.



**Figura 29.** Sistemul de alimentare cu graifăr

Acesta este constituit din:

- *Cuve de alimentare* în număr de patru bucăți confecționate din tablă și profile de oțel. Capacitatea de stocare a cuvelor asigură cu o ușoară rezervă necesarul pentru o zi de funcționare normală a liniei.
- *Calea de rulare* a electropalanului confecționată din profile de oțel îmbinate prin sudură.
- *Electropalanul cu lanț* care asigură mișcarea graifărului deasupra celor patru cuve și a ecluzei
- *Cântarul automat cu cârlig* care permite cântărirea fiecărei șarje preluată de graifăr.
- *Graifărul tip „petală”* cu acționare pneumatică care preia deșeurile din cuvele de alimentare și le descarcă în ecluză.

Deșeurile **gestionate, mărunțite și preamestecate** se încarcă în cele 4 cuve de alimentare a liniei.

La intervale de timp prestabilite (15 min. sau mai mult), operatorul preia cu ajutorul graifărului șarja de deșeurii dintr-una din cele 4 cuve. Cântarul aflat între graifăr și electropalan afișează automat cantitatea preluată. Stocarea valorii de către calculatorul de proces se face automat, transferul între cântar și calculator având loc prin semnal radio.

Odată preluată șarja în graifăr se comandă mișcarea electropalanului până deasupra pâlniei ecluzei de alimentare. După ce operatorul este asigurat de deschiderea capacului ecluzei poate comanda deschiderea graifărului și descărcarea șarjei în ecluză.

În intervalul de timp dintre două încărcări consecutive se recomandă ca graifărul să fie utilizat pentru amestecarea suplimentară a deșeurilor.

### 5.1.2 Ecluza de alimentare

Are o structură metalică din tablă și profile din oțel, constituind o incintă în care sunt încărcate deșeurile fie cu graifăru, fie cu dispozitivul de descărcare al containerelor.

Ecluza este prevăzută la partea superioară cu o pâlnie de alimentare confecționată din tablă de oțel, având grosimea de 6 mm, cu un capac de închidere rabatabil, o ușă de închidere și un împingător profilat și un sistem de închidere cu perdea de aer, prezentate în continuare.

#### *Capacul de închidere*

Este confecționat din tablă groasă ( $\neq 2$  mm) și profile din oțel pentru ranforsare. Capacul este acționat de un cilindru pneumatic, la comanda operatorului.

#### *Ușa de închidere spre camera de incinerare*

În partea dinspre ecluză ușa este confecționată din profile și tablă de oțel, iar în partea dinspre camera de incinerare ușa este confecționată din zidărie de cărămidă de șamotă densă și un strat din carton din fibră ceramică.

Ușa este acționată de un cilindru pneumatic, fiind prevăzută cu role la partea superioară și ghidaje la partea inferioară.

#### *Împingătorul*

Este confecționat din profile de oțel, tablă groasă ( $\neq 6$  mm) din oțel în partea expusă focului și tablă groasă ( $\neq 4$  mm) în partea din spate. Este prevăzut cu două ghidaje laterale pentru păstrarea direcției rectilinii de mișcare și un sistem de role de sprijin în scopul echilibrării în timpul împingerii dar și al diminuării frecării cu vatra ecluzei.

#### *Sistemul de închidere cu perdea de aer*

Este constituit dintr-o rețea de tubulaturi de tablă zincată cu diametrul nominal de 100 mm și un corp de insuflare aer cu o fantă verticală și una orizontală. Aerul necesar creării perdelei este furnizat de către ventilatorul **V1** (același care insuflă și aerul în vatra și pereții camerei de incinerare). Extracția gazelor din ecluză se face tot printr-un sistem de tubulaturi de tablă zincată cu diametrul nominal de 100 mm, de către ventilatorul **V3**.

Capacul ecluzei este deschis de către operator de la butonul de comandă. Odată deschis capacul, se descarcă șarja de deșeuri în ecluză printr-una din cele două modalități descrise mai sus (încărcare cu graifă, sau cu sistem de descărcare containere).

După descărcarea șarjei în ecluză, se declanșează de către operator prin acționarea butonului roșu de comandă de pe aceeași cutie următoarea secvență:

- ✓ închidere capac;
- ✓ deschidere ușă spre camera de incinerare;
- ✓ împingere șarjă în camera de incinerare;
- ✓ retragere împingător;
- ✓ închidere ușă.

**În regim automat**, în situația în care presiunea pe traseul de aer comprimat scade sub 6 bar se opresc întâi toți consumatorii de aer și este comandată prioritar continuarea secvenței de alimentare a camerei de incinerare de unde a fost întreruptă până la închiderea completă a ușii.

### 5.1.3 Camera de incinerare

Este alcătuită dintr-o structură metalică exterioară din profile și tablă de oțel, căptușită la interior cu materiale refractare și de izolație termică.

Camera de incinerare are în componență următoarele subansambluri:

- arzător de inițiere (**I1**);
- sistem de insuflare aer în vatră și pereți;
- sistem de pulverizare apă pentru răcire;
- dispozitiv cu racleți pentru antrenare cenușă.

Acestea sunt prezentate în cele ce urmează:

*Arzătorul de inițiere (I1)* este de fabricație *RIELLO - Italia*, cu aprindere și supraveghere automată, cu funcționare în două trepte de putere.

*Sistemul de insuflare aer în vatră și pereți* este constituit din:

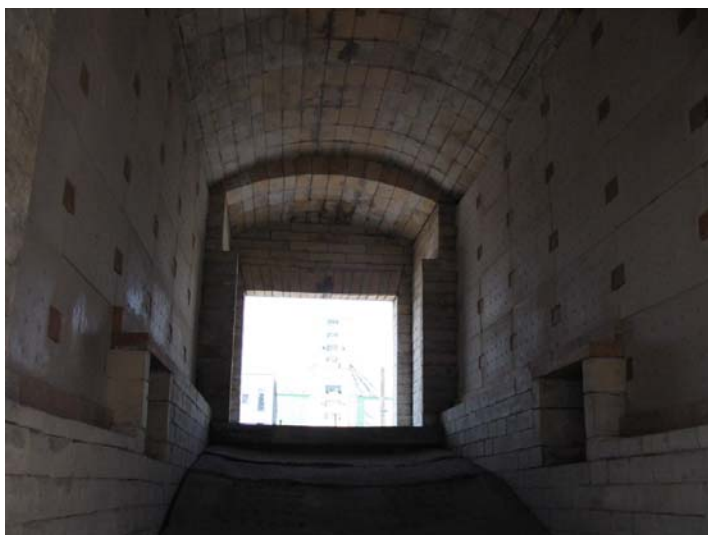
- ventilatorul **V1**;
- rețea de tubulaturi din tablă zincată și racorduri flexibile etanșate cu pastă siliconică.

*Sistemul de pulverizare apă pentru răcire* este construit dintr-o țevă din oțel refractar prevăzută la un capăt cu o duză.

*Dispozitivul cu racleți pentru antrenarea cenușii* este un utilaj special care asigură afânarea stratului de materiale arzânde de pe vatră, cât și antrenarea cenușii spre cuva de evacuare. Dispozitivul este construit din țevă și tablă groasă din oțel refractar.

Deșeurile care ajung în camera de incinerare staționează practic în intervalul dintre două împingeri pe o porțiune dreaptă, imobilă, a vetrei. Acest lucru este util pentru uscare și eliminarea unor volatile ușoare.

În **figura 30** este prezentată o vedere din interior a camerei de incinerare.



**Figura 30.** Camera de incinerare – Vedere din interior

După această staționare deșeurile ajung pe suprafața vetrei înclinată, unde are loc un proces de descompunere termică, deci un proces de degazeificare-carbonizare (complex de reacții de cracare și piroliză).

Prima șarjă încărcată este aprinsă cu ajutorul arzătorului de inițiere (**I1**). În continuare acest arzător servește la menținerea temperaturii necesare în cameră.

Procesul menționat mai sus are loc cu cantități reduse de aer, în acest sens insuflarea de aer făcându-se printr-o serie de orificii mici și uniform distribuite. Aerul insuflat provoacă arderea „mocnită” a carbonului aflat pe suprafața vetrei. Gazele fierbinți rezultate din această ardere urcă prin stratul de deșeuri de deasupra provocând uscarea și degazeificarea completă a acestora. Reziduul solid este constituit în cea mai mare parte din carbon care cade pe suprafața vetrei în locul celui ars și ciclul se repetă. Acest tip de combustie este de preferat celui convențional (cu flacăra) care datorită turbulențelor, ar antrena cantități mai mari de pulberi (cenușă și/sau funingine). În cazul de față majoritatea carbonului este ars în camera de incinerare. O mică parte este antrenat de curentul de gaze (sub formă de funingine) până în camera de postcombustie unde are loc arderea definitivă.

Procesul de descompunere termică are loc la temperaturi diverse, funcție de natura deșeurilor. În mod uzual temperatura în cameră se autostabilizează ca urmare a echilibrului creat între căldura rezultată din arderea carbonului pe de o parte și căldura consumată pentru uscarea și degazeificarea deșeurilor pe de altă parte.

În regim automat, pentru menținerea temperaturii adecvate în camera de incinerare, sistemul de monitorizare și control este prevăzut cu următoarele posibilități de acționare:

a) În cazul creșterii temperaturii peste valoarea prescrisă (deșeuri cu putere calorică ridicată):

- ✓ se reduce treptat puterea arzătorului de gaze naturale (**I1**) până la oprirea completă;
- ✓ se pulverizează apă;

În cazul scăderii temperaturii sub valoarea prescrisă (deșeuri cu putere calorică redusă):

- ✓ se pornește sau (dacă este deja pornit) se trece pe treapta a doua (mare) arzătorul de gaze naturale (**I1**);

Cenușa rezultată în urma arderii, precum și butoaiele, bidoanele sau alte recipiente metalice (dacă este cazul) ajung prin mișcarea dispozitivului de antrenare pe un grătar special prevăzut. Cenușa cade sub grătar într-o cuvă cu apă, din care este evacuată periodic. Recipientele metalice sunt transferate manual în ecluza de evacuare a acestora.

Dispozitivul cu racleți pentru antrenarea cenușii pe vatră este pus într-o mișcare liniară dus-întors de către un cilindru pneumatic cu o cursă de 250 mm. Dispozitivul este în permanență răcit. Aerul de răcire este insuflat cu ajutorul ventilatorului V3, în țeava groasă ( $D_{ext} = 68,9 \pm 5,5$  mm) superioară. Din aceasta aerul este distribuit printr-un sistem de țevi mai subțiri ( $D_{ext} = 20,2 \pm 3$  mm) în toate cele 4 ramuri ale dispozitivului (câte 2 pe fiecare parte). Din acestea, aerul încălzit este colectat în țeava groasă inferioară a dispozitivului, și evacuat în atmosferă.

Gazele rezultate în urma procesului de descompunere termică ajung prin canalul de legătură la camera de postcombustie.

#### 5.1.4 Sistemul de evacuare cenușă

Sistemul de evacuare a cenușii este alcătuit dintr-o cuvă colectoare confecționată din tablă de oțel.

În cuva colectoare este montat un transportor cu lanț și racleți. Acest transportor este acționat cu ajutorul unui motoreductor, transmisia făcându-se printr-un sistem roată dințată – lanț.

Pentru păstrarea unui nivel aproximativ constant al apei, cuva este dotată cu un sistem manual de alimentare cu apă.

Cenușa rezultată în urma procesului de descompunere termică ajunge în cuva cu apă prin intermediul dispozitivului cu racleți pentru antrenare cenușă. Apa este necesară atât pentru etanșare între incinta camerei de incinerare și cuva colectoare, dar și pentru stingerea eventualelor particule incandescente în vederea transportului ulterior spre haldă. Periodic (de câte ori este nevoie) se pornește transportorul cu racleți care evacuează cenușa din cuva colectoare în alte cuve, bene, containere pregătite pentru transport.

Pornirea – oprirea transportorului cu racleți se face prin comandă locală, de la butonul amplasat pe cutia din vecinătatea acestuia, prin rotire spre stânga.

#### 5.1.5 Ecluza de evacuare a recipientelor metalice

Ecluza pentru evacuarea butoaielor și a altor recipiente metalice arse are următoarea componență:

- ușă spre camera de incinerare confecționată din tablă și profile de oțel, izolată termic cu carton de fibră ceramică, acționată pneumatic;
- incintă închisă confecționată din tablă și profile de oțel;
- geam de vizare dotat cu sticlă duplex;
- uși pentru evacuarea recipientelor în exterior cu acționare manuală confecționate din tablă și profile de oțel.

Recipientele arse ajung pe un grătar aflat în camera de incinerare.

Se deschide ușa spre camera de incinerare prin comandă locală.

De pe grătar recipientele sunt trase manual cu un cârlig din camera de incinerare în ecluză.

Se închide ușa spre camera de incinerare tot prin comandă locală.

După răcirea recipientelor se deschid ușile manuale și se scot resturile în afara ecluzei.

#### 5.1.6 Camera de postcombustie

Camera de postcombustie, prezentată în **figura 31** are următoarea componență:

- *Corpul principal*, cilindric, confecționat din virole de tablă groasă ( $\neq 6$  mm) din oțel roluită și sudată pe generatoare. La interior corpul principal este căptușit cu materiale refractare și de izolație termică. Pe corpul principal este amplasat sistemul de insuflare tangențială a aerului secundar compus din ventilatorul **V2** cu servoclapetă și tubulatură rectangulară din tablă groasă ( $\neq 2$  mm) din oțel.

- *Ușă pentru inspecție, curățare, reparații, confecționată din profile și tablă din oțel și căptușită cu materiale refractare și de izolație. Ușa este prevăzută cu roți și cale de rulare proprie. Pe ușă sunt montate arzătorul modulănt de gaz și injectorul de deșeuri lichide combustibile.*
- *Canalul de legătură cu schimbătorul de căldură-recuperator, alcătuit dintr-o carcasă metalică confecționată din tablă și profile din oțel, căptușită la interior cu materiale refractare și de izolație.*



**Figura 31** Camera de postcombustie

Pe canalul de legătură sunt montate coșul de avarie și sistemul de șibere (**EV7**) pentru comutarea traseului de gaze spre coșul de avarie sau spre recuperator. Sistemul de șibere este acționat pneumatic.

Canalul de legătură este prevăzut cu capac și gură de acces spre recuperatorul de căldură și camera de postcombustie. Atât în corpul principal, cât și în canalul de legătură sunt practicate o serie de orificii pentru traductorii de temperatură aferenți și vizare în camera de postcombustie, adică:

- **5 orificii pentru traductori de temperatură**, respectiv termocuplele: **Tc6, Tc7, Tc8** în corpul camerei de postcombustie. Un orificiu este amplasat frontal, lângă arzătorul modulănt **I2**, restul de patru orificii fiind amplasate pe generatoare, pe partea dreaptă a camerei de postcombustie.
- 2 orificii pentru vizare (introducere sonde temporare, eventuala măsurare a temperaturii cu un pirometru optic).

Camera de postcombustie servește ca incintă pentru arderea completă a gazelor rezultate în urma procesului de descompunere termică desfășurate în camera de incinerare. Camera de postcombustie este amplasată direct deasupra camerei de incinerare.

În camera de postcombustie gazele rezultate în urma descompunerii termice sunt amestecate cu o cantitate suplimentară de aer insuflat prin orificiile tangențiale special prevăzute cu ajutorul ventilatorului **V2**. Chiar dacă ventilatorul **V2** este oprit o cantitate de aer este totuși aspirată de către exhaustor (**M14**). Astfel se creează

un amestec combustibil care este ars.

În regim automat, la pornirea instalației de la rece, este inițiat automat un program de preîncălzire a camerei de postcombustie până la temperatura de operare normală reclamată de tipul de deșeu ce urmează a fi incinerat (uzual 850°C, respectiv 1100°C dar nu mai mult de 1300°C). Această preîncălzire este realizată fizic cu ajutorul unui arzător modulant de gaze naturale (**I2**) montat pe ușa de vizitare frontală.

Până la atingerea temperaturii normale de operare, alimentarea cu deșeuri a liniei este blocată (în fereastra de deasupra butonului **zăvor încărcare** de pe monitorul calculatorului apare mesajul **închis**). În timpul funcționării normale se pot distinge două etape ale procesului de postcombustie:

- ✓ Crearea amestecului combustibil din gazele rezultate în urma descompunerii termice pe de o parte și aer pe de altă parte. Această etapă începe încă din camera de incinerare. Amestecul obținut urcă prin canalul de legătură și este aprins la intrarea în camera de postcombustie prin intermediul arzătorului modulant (**I2**). În mod uzual, după o perioadă de funcționare normală (de ordinul a 6...8 ore), pereții camerei de postcombustie devin suficient de fierbinți pentru a aprinde direct, prin radiație, amestecul de gaze și aer. În această situație puterea arzătorului modulant se reduce în mod automat, putându-se ajunge cu funcționarea pe treapta cea mai mică (**minim treapta 2**).
- ✓ Odată aprins, pentru o combustie cât mai completă, amestecului de gaze îi este furnizată o cantitate suplimentară de aer.

Acest aer este fie insuflat tangențial prin orificiile special prevăzute prin intermediul ventilatorului **V2** dacă acesta este în funcțiune, fie aspirat prin intermediul exhaustorului **M14** dacă ventilatorul **V2** este oprit.

Orificiile sunt amplasate radial, în două planuri, câte 12 în fiecare plan.

Camera de postcombustie este astfel dimensionată încât să asigure un timp de staționare a gazelor suficient pentru o combustie cât mai completă (min. 2 secunde).

Monitorizarea și controlul combustiei în cameră sunt realizate atât cu ajutorul traductoarelor de temperatură (termocuple) (**Tc5 – Tc9**) cât și cu ajutorul analizorului de gaze la coș. În regim automat, sistemul de monitorizare și control este prevăzut cu următoarele posibilități de acțiune:

a. Dacă temperatura măsurată la termocuplul **Tc7** crește spre o valoare limită (1300 °C):

- ✓ Se oprește injectorul de deșeuri lichide
- ✓ Se reduce puterea arzătorului modulant până la minim

b. Dacă temperatura măsurată la termocuplul **Tc7** scade spre o valoare limită (prescrisă):

- ✓ Se mărește puterea arzătorului modulant;
- ✓ După o perioadă de timp asigurată de un releu temporizator se pornește injectorul de deșeuri lichide.

### 5.1.7 Canalul de legătură postcombustie – recuperator

Canalul de legătură dintre camera de postcombustie și schimbătorul de căldură-recuperator are următoarea componență:

- *Canalul propriu-zis*, alcătuit dintr-o carcasă metalică exterioară confecționată din tablă și profile din oțel, căptușită la interior cu materiale refractare și de izolație termică.
- *Sistemul de șibere (EV7)* pentru comutarea traseului de gaze coș avarie – recuperator. Șiberele sunt confecționate din cadre de țeava refractara și panouri din tablă refractară și acționate pneumatic, simultan în caz de avarie.
- *Coșul de avarie* confecționat din tablă din oțel, este prevăzut cu pălărie antiplouaie și are înălțimea de 4 m și diametrul de Ø 450.
- *Capacul de acces* spre recuperatorul de căldură și camera de postcombustie confecționată din tablă și profile din oțel, gura de acces fiind executată dintr-un sandwich de fibră ceramică și plăci refractare din cordierit.

Canalul de legătură are drept rol:

- ✓ dirijarea gazelor arse spre schimbătorul de căldură în condiții normale de operare sau;
- ✓ dirijarea gazelor arse spre coșul de avarie în cazul unei avarii la instalația de epurare a gazelor sau în timpul pornirii sau opririi instalației.

Dirijarea gazelor într-un sens sau altul se realizează cu ajutorul sistemului de șibere de comutare a traseului (**EV7**). Șiberele sunt acționate simultan, de către același cilindru pneumatic după cum urmează:

- ✓ în situația de operare normală șiberul spre coșul de avarie este închis, iar șiberul spre recuperator deschis, pistonul cilindrului pneumatic fiind în poziția retras;
- ✓ în situația de avarie, oricare ar fi aceasta, este acționat în mod automat cilindrul pneumatic, schimbându-se simultan poziția celor două șibere;
- ✓ la încheierea situației de avarie șiberele revin automat la starea normală de operare.

### 5.1.8 Schimbătorul de căldură – recuperator

Schimbătorul de căldură este alcătuit din trei părți distincte:

- *Corpul recuperatorului* constituit dintr-o carcasă metalică exterioară confecționată din tablă și profile de oțel, căptușită la interior cu materiale refractare și de izolație termică. În corpul recuperatorului sunt amplasate și țevile pentru transfer termic în număr de 300 (10×30) confecționate din tablă refractară cu grosime de 1 mm.
- *Partea inferioară a recuperatorului* este confecționată din tablă și profile de oțel prevăzut cu separație pentru cele două circuite de aer: cel destinat uscării nisipului (majoritar) și cel destinat încălzirii mantalelor condiționerului și filtrului din instalația de epurare. Aerul de răcire este insuflat cu ajutorul ventilatorului **V4**. Aerul cald destinat uscării nisipului este colectat în partea superioară a recuperatorului și dirijat printr-un sistem de tubulatură din tablă zincată spre instalația de nisip. Aerul destinat încălzirii mantalelor condiționerului și filtrului este aspirat cu ajutorul ventilatorului **V6 (M5)** din capacul recuperatorului și dirijat spre acestea printr-un sistem de tubulatură din tablă zincată.



- *Capacul recuperatorului*, confecționat din tablă și profile de oțel, este prevăzut cu un deflector pentru separarea celor două circuite de aer. În capac sunt prevăzute 8 racorduri Ø 300 pentru transferul aerului cald spre instalația de uscare nisip și un racord Ø 200 pentru încălzirea mantalelor de la condiționar și filtru.

Transferul termic între gazele arse și aerul insuflat este de tip recuperativ.

Gazele arse fierbinți trec peste fascicolul compus din cele 400 țevi pentru transfer termic. Prin interiorul țevilor este insuflat aer rece. În urma transferului termic aerul se încălzește iar gazele arse se răcesc. Astfel schimbătorul de căldură – recuperator îndeplinește un rol dublu:

- ✓ răcirea gazelor arse în scopul introducerii acestora în instalația de epurare în condiții de siguranță;
- ✓ recuperarea căldurii din gazele arse sub forma unui agent termic curat (aer cald).

Reglarea debitului de aer de răcire se face manual prin manevrarea clapetei de pe aspirația ventilatorului **V4**, urmărindu-se indicațiile termorezistenței **TR0**.

Aceste manevre sunt necesare întrucât gazele arse trebuie să părăsească recuperatorul cu o temperatură maximă de 350 °C pentru a nu avaria prin supraîncălzire confecția metalică a canalului de legătură recuperator – linie epurare sau cicloanele de desprăfuire.

### 5.1.9 Canal de legătură recuperator-linie epurare

Este confecționat din tablă și profile din oțel. Canalul este prevăzut cu racorduri pentru:

- insuflare de aer rece pentru diluția gazelor arse în scopul unei corecții finale a temperaturii acestora înainte de intrarea în instalația de epurare;
- racord de cuplare cu instalația de epurare a gazelor arse Dn 660 mm;
- registru țevi pentru prepararea agentului termic pentru încălzire pentru spațiile adiacente.

Canalul este destinat dirijării gazelor arse spre instalația de epurare, cu posibilitatea unei corecții suplimentare a temperaturii acestora (dacă este cazul) înainte de intrarea în instalația de epurare.

În regim automat, sistemul de monitorizare și control este prevăzut cu următoarele posibilități de acționare:

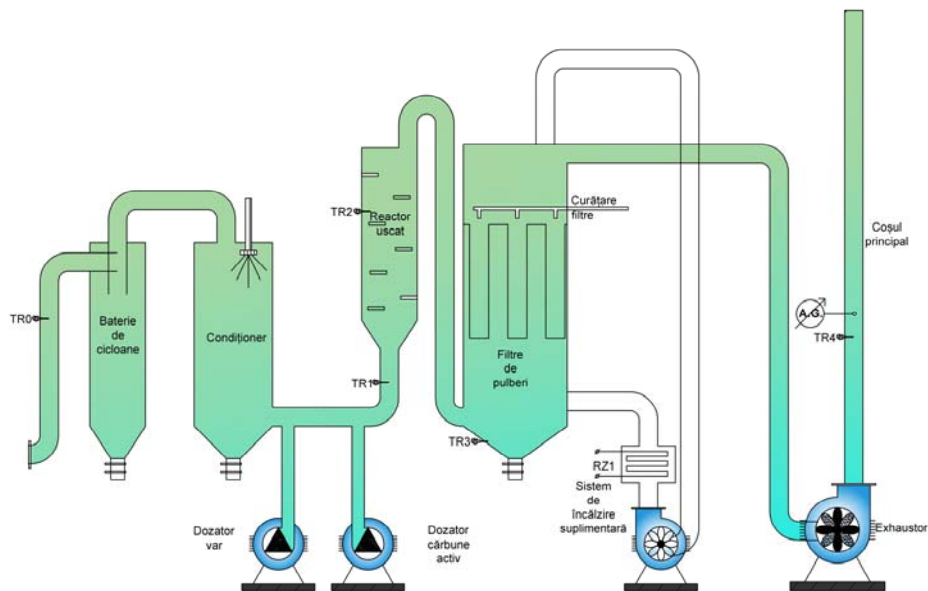
- ✓ Dacă, temperatura gazelor arse măsurată pe termorezistența **TR0** depășește o anumită valoare limită (cca. 350 °C) se comandă automat mărirea debitului de aer de diluție secundar insuflat de ventilatorul **V5**.
- ✓ Dacă temperatura gazelor arse scade sub o anumită valoare prescrisă se comandă automat micșorarea debitului de aer de diluție insuflat de **V5**.

## 5.2 Instalația tehnologică de epurare a gazelor arse

### 5.2.1 Considerații generale

Instalația de epurare este destinată condiționării și neutralizării gazelor rezultate în urma procesului de incinerare a deșeurilor medicale și speciale care are loc în instalația de incinerare descrisă anterior. Epurarea gazelor se realizează în scopul eliminării lor în atmosferă în condiții impuse de **HG 128/2002** și documentele modificatoare.

În **figura 32** este prezentată schema tehnologică simplificată a instalației de epurare a gazelor arse.



**Figura 32** Schema tehnologică simplificată a instalației de epurare a gazelor arse

În **figura 33** este prezentată instalația de epurare a gazelor arse care a fost studiată.



**Figura 33** Instalația tehnologică de epurare a gazelor arse

Instalația de epurare este proiectată pentru o capacitate maximă de 14.000Nm<sup>3</sup> gaze arse/h în următoarele condiții:

- ✓ Să nu fie generate ape reziduale
- ✓ Deșeurile de incinerat să conțină max. 4% masă componenți acizi (în principal sulf și clor), iar conținutul de metale grele să nu depășească 1% masă (maxim 0.2% Hg)

Instalația de epurare este constituită din următoarele utilaje principale:

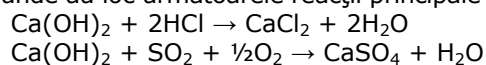
- Baterie de cicloane (2 cicloane în paralel);
- Turnul de condiționare;
- Silozul de var;
- Sisteme de alimentare-dozare a varului și cărbunelui activ;
- Reactorul;
- Filtrul cu saci;
- Exhaustorul și coșul final de evacuare a gazelor epurate.

După recuperarea căldurii, în schimbătorul de căldură descris anterior, gazele intră în bateria de cicloane unde sunt separate eventualele pulberi conținute în gaze.

După eliminarea pulberilor gazele intră în turnul de condiționare (condiționar) unde sunt răcite de la 250÷300°C până la 170÷200°C prin pulverizare fină de amestec apă – aer comprimat.

În situația în care conținutul de componenți acizi din gazele de ardere este prea ridicat pentru a putea fi neutralizat de către var, în condiționar, în locul apei, se pulverizează cu aer comprimat, soluție alcalină (2-5% NaOH).

După condiționare, în curentul de gaze sunt introduse pulberi de var hidratat și cărbune activ. Această operație are loc cu ajutorul sistemelor de alimentare – dozare special prevăzute. În continuare gazele arse, împreună cu pulberile sus-amintite trec într-un reactor, unde au loc următoarele reacții principale de neutralizare:



- Din reactor gazele trec în filtrul cu saci, care are un rol dublu:
- ✓ Finalizarea reacțiilor de neutralizare între pulberea de var hidratat și componentii acizi din gaze;
  - ✓ Eliminarea particulelor solide din gaze până sub limita admisă ( $< 10 \text{ mg/Nm}^3$  gaze).

Din filtrul cu saci gazele epurate sunt dirijate la **coșul final** al instalației, denumit astfel pentru a fi diferențiat de **coșul de avarie** și efectiv situat la finalul parcursului gazelor prin instalație.

Pe coș sunt amplasate sondele de prelevare a probelor de gaze precum și dioda LASER pentru măsurarea concentrației HCl. Probele sunt preluate și prelucrate de către analizorul de gaze, amplasat într-o cabină proprie. Acesta emite semnale de comandă către elementele de execuție specifice, în scopul menținerii emisiilor la coș în limitele admise de legislația în vigoare.

Forța motrice necesară deplasării gazelor pe tot parcursul instalației de incinerare este asigurată prin depresiunea creată de exhaustorul **M14**.

În continuare sunt prezentate utilajele care fac parte din instalația de epurare a gazelor arse.

### 5.2.2 Bateria de cicloane

Bateria este compusă din două cicloane legate în paralel (gazele arse sunt dirijate prin ambele cicloane simultan).

La partea inferioară bateria de cicloane este prevăzută cu un buncăr colector comun, pentru pulberi. Buncărul este prevăzută cu ușa de vizitare în partea superioară și sistem de evacuare a pulberii tip „ecluză” la partea inferioară. Gazele cu conținut de pulberi pătrund simultan în cele două cicloane, unde separarea pulberilor are loc centrifugal.

Gazele sunt colectate prin partea superioară a cicloanelor și dirijate spre turnul de condiționare, iar pulberile sunt colectate în buncărul din partea inferioară a bateriei. Din acest buncăr pulberile sunt evacuate periodic, cu ajutorul sistemului de șibere tip „ecluză”, acționate pneumatic. Evacuarea pulberilor se face într-o cuvă mobilă.

Această eliminare a prafului (pulberilor) din gazele arse are drept scop:

- ✓ Creșterea randamentului reacțiilor de neutralizare între pulberea de var hidratat și componentii acizi din gaze;
- ✓ Reducerea pericolului de aprindere a sacilor filtranți.

### 5.2.3 Turnul de condiționare

Turnul de condiționare (condiționerul) este confecționat din tablă de oțel având formă cilindro - conică.

La partea superioară condiționerul este prevăzută cu unitatea de pulverizare a apei cu aer comprimat și/sau de pulverizare a soluției alcaline cu aer comprimat prin sistem duză. La partea inferioară condiționerul este prevăzută cu manta de încălzire pentru evitarea coroziunii prin atingerea „punctului de rouă”.

Agentul de încălzire este aerul cald provenit de la schimbătorul de căldură – recuperator. Vehicularea aerului cald este asigurată de către ventilatorul **V6 (M5)**.

Suplimentar, pe traseul de aer cald este montată o sursă electrică de încălzire termostată (**RZ1**). În partea inferioară, condiționerul este prevăzut cu o ușă de acces pentru evacuarea unor mici cantități de pulbere ce se pot aduna eventual la baza turnului. Ușa servește de asemenea la accesul în interiorul turnului pentru eventualele operații de întreținere și reparații.

Gazele arse pătrund în turnul de condiționare, pe la partea superioară, fiind răcite prin pulverizarea apei cu aer comprimat până la temperatura de 170÷200°C.

Sistemul automat de monitorizare și control este prevăzut cu următoarele posibilități de acționare:

- ✓ Dacă temperatura gazelor la ieșirea din condiționer măsurată la termorezistența **TR1** depășește valoarea prescrisă (170÷200°C) se comandă automat mărirea debitului de apă pulverizată cu aer comprimat prin comandă asupra convertizorului de frecvență al pompei pentru pulverizare (**C1**).
- ✓ Dacă temperatura măsurată la **TR1** scade sub valoarea prescrisă se comandă automat micșorarea debitului de apă pulverizată.
- ✓ În cazul în care debitul de var alimentat în instalație este cel maxim posibil și totuși, oricare din concentrațiile componentilor acizi din gazele arse crește peste limita admisă, este pornită automat pulverizarea de soluție alcalină cu aer comprimat, reducându-se treptat debitul de apă pulverizată astfel încât temperatura gazelor la ieșirea din condiționer să fie menținută în limitele necesare.
- ✓ În cazul în care concentrațiile tuturor componentilor acizi din gazele arse scad sub limitele admise se comandă automat oprirea pulverizării soluției alcaline cu aer comprimat și mărirea treptată a debitului de apă pulverizată cu aer comprimat în condiționer.

Parametrii tehnologici ai turnului de condiționare sunt prezentați în **tabelul 10**, iar datele tehnice în **tabelul 11**.

**Tabelul 10** Parametrii tehnologici ai turnului de condiționare

Caracteristica fizică	Unitate de măsură	La intrare în turn	La ieșire din turn
Debit, standard	Nm <sup>3</sup> /h	12.500	14.067
Densitate	kg/Nm <sup>3</sup>	1.033	1.062
Temperatură	°C	300	140
Presiune	mbar	1.000	1.000
Entalpie	kJ/kg	1.400	1.287
Conținut de apă	g/Nm <sup>3</sup> gaz uscat	654	811
Umiditate relativă	%	0,6	29

**Tabelul 11** Datele tehnice ale turnului de condiționare

<b>1</b>	Poziție	Verticală
<b>2</b>	Bucăți	1
<b>3</b>	Lungime	8.150 mm
<b>4</b>	Diametru	2.000 mm
<b>5</b>	Temperatura de proiectare	300 °C
<b>6</b>	Presiunea de proiectare	0,9 bar (pres. abs.)
<b>7</b>	Izolație termică	150 mm, vată minerală

### 5.2.4 Silozul de var

Silozul de var este confecționat din virole de tablă groasă din oțel, roluită și sudată pe generatoare. Este alcătuit din partea superioară de formă cilindrică cu capac și partea inferioară de formă tronconică prevăzută cu flanșă de racordare la sistemul de alimentare – dozare a varului.

Capacul de la partea superioară este prevăzut cu:

- Ușă de vizitare Ø 600;
- Racord pentru filtru Ø 800;
- Racord pentru supapă de suprapresiune Ø 150;

Pe racordul pentru filtru este montat un sac filtrant pentru reținerea varului în timpul încărcării pneumatice a silozului. Partea inferioară (tronconică) este prevăzută cu 6 racorduri pentru injecția periodică de aer comprimat (spărgătoare de bolți).

Silozul se încarcă pneumatic prin racordarea cisternei transportoare la țeava de încărcare. Momentul când este necesară încărcarea este semnalizat cu ajutorul unui senzor capacitiv de nivel minim. Senzorul de nivel minim este astfel plasat încât să existe rezerva de timp necesară aprovizionării unei noi cantități de var.

Umplerea silozului este semnalizată de un alt senzor capacitiv de nivel maxim. În acest moment încărcarea este oprită. Pe parcursul încărcării silozului aerul de transport pneumatic este evacuat prin filtrul superior, evitându-se astfel împrăștierea de var în atmosferă. Pe parcursul golirii silozului, ca la orice material pulverulent, există posibilitatea formării de „bolți” care împiedică curgerea liberă a varului.

Pentru evitarea unor astfel de situații, prin cele 6 racorduri cu Dn 30mm din partea tronconică a silozului se insuflă periodic aer comprimat, la intervale de timp prestabilite. Extragerea varului din siloz se realizează cu ajutorul unui dozator celular.

### 5.2.5 Sistemul de alimentare – dozare a varului

Sistemul de alimentare-dozare a varului este compus din:

- *Rezervor tampon* confecționat din tablă de oțel, prevăzut la interior cu un amestecător cu brațe pentru spargerea eventualelor aglomerări;
- Șnec alimentator care extrage varul din rezervorul tampon și îl introduce în tubulatura principală a traseului de gaze arse.

În momentul în care rezervorul tampon este aproape gol, nivostatul de minim cu care este prevăzut acesta emite un semnal de comandă pentru pornirea dozatorului celular cu care este echipat silozul de var. După o anumită perioadă de timp prestabilită dozatorul celular se oprește automat.

Motoreductorul (**M10**) care acționează axul cu brațe din interiorul rezervorului tampon funcționează continuu. Din rezervorul tampon varul este extras cu ajutorul șnecului alimentator (**M11**) și introdus în tubulatura principală a traseului de gaze arse (înainte de intrarea în reactor).

Dozarea varului introdus în instalație se face în mod automat, astfel:

- ✓ În cazul în care concentrația oricăruia dintre componenții acizi din gazele arse tinde spre limita superioară admisă și setată, ca valoare prescrisă, este

mărit debitul de var alimentat în instalație prin intermediul convertizorului de frecvență cu care este dotat motoreductorul șnecului de alimentare (**M11**).

- ✓ În cazul în care concentrațiile componentelor acizi din gazele arse sunt în scădere sub limita admisă este comandată scăderea debitului de var introdus în instalație.
- ✓ Suplimentar, pentru evitarea aglomerărilor care pot duce la întreruperea alimentării cu var în instalație, rezervorul tampon este prevăzut cu un vibrator pneumatic.

### 5.2.6 Sistemul de alimentare – dozare cărbune activ

Sistemul de alimentare – dozare a cărbunelui activ are o construcție și funcționare similară cu cea a sistemului de alimentare – dozare a varului, cu următoarele mențiuni:

- ✓ Umplerea rezervorului tampon se face manual la semnalul de alarmă dat de senzorul de minim.
- ✓ Reglarea debitului de cărbune activ introdus în instalație se face prin intermediul convertizorului de frecvență cu care este dotat motoreductorul șnecului de alimentare (**M9**).

În cazul cărbunelui activ, reglarea se face funcție de concentrația totală a compușilor organici volatili în gazele arse.

### 5.2.7 Reactorul

Reactorul este confecționat din virole de tablă groasă de oțel, roluită și sudată pe generatoare. Este compus dintr-o parte cilindrică superioară și un con difuzor inferior.

În partea cilindrică, la interior, sunt amplasate șicane din oțel pentru intensificarea amestecării gazelor cu pulberea de var și cărbunele activ. Partea cilindrică este prevăzută în partea superioară cu racord pentru tubulatura de trecere spre filtrul cu saci.

Conul difuzor este prevăzut la partea inferioară cu racord pentru tubulatura principală a traseului de gaze arse.

Amestecul compus din gazele arse, pulberea de var și cărbunele activ intră în reactor pe la partea inferioară. Detenta produsă la creșterea de diametru (de la 660 mm la 1200 mm) împreună cu șicanarea traseului au drept rezultat creșterea timpului de staționare a amestecului în reactor. Acest lucru este necesar pentru ca reacțiile dintre gazele arse și pulberile neutralizante să aibă loc cât mai complet.

Întrucât, la intrarea în filtru, temperatura amestecului de gaze și pulberi neutralizante trebuie să se încadreze în limitele 140°C – 170°C, sistemul automat de monitorizare și control este prevăzut cu următoarele posibilități de acționare:

- ✓ Dacă temperatura măsurată pe termorezistența **TR2** atinge valoarea limită de 170°C este comandată automat deschiderea servoclapetei de diluție **EV3**
- ✓ Dacă temperatura de pe termorezistența **TR2** scade sub valoarea limită de 140°C este comandată automat închiderea proporțională a servoclapetei de diluție.

Temperatura amestecului la intrarea în filtru nu trebuie să fie prea mare (peste 170°C) pentru a nu arde sacii filtranți, dar nici prea mică (sub 140°C) pentru a nu scădea randamentele reacțiilor între gaze și pulberile neutralizate (varul și cărbunele activ).

### 5.2.8. Filtrul cu saci

Filtrul este alcătuit dintr-o carcasă metalică exterioară, rame de sprijin și plăci suport pentru susținerea sacilor filtranți, con inferior pentru colectarea prafului prevăzut cu manta de încălzire și sisteme pentru descărcarea și dirijarea amestecului de pulberi. Toate acestea sunt confecționate din table și profile din oțel.

Sacii filtranți sunt confecționați din pânză de bumbac acoperită cu membrană de teflon.

În interiorul carcasei metalice există patru camere suprapuse, enumerate în continuare:

- Camera I este prevăzută cu:
  - racord (1350 x 350 mm) pentru intrarea gazelor arse;
  - racord (Dn 300 mm) pentru insuflarea gazelor recirculate de către ventilatorul **V7**;
  - racord (2440 x 2440 mm) pentru cuplarea cu conul colector de pulberi.
- Camera II este o incintă simplă din tablă și profile din oțel.
- Camera III este prevăzută la interior cu rame de sprijin și plăci suport pentru sacii filtranți, precum și cu racord (Dn 300 mm) pentru absorbția de gaze recirculate de către ventilatorul **V7**.
- Camera de capăt (ultima de jos în sus) este prevăzută cu uși de acces în partea superioară, racorduri pentru insuflare de aer comprimat pentru curățarea sacilor filtranți și racord (Dn 660 mm) cu tubulatura care duce spre gura de aspirație a exhaustorului M14.

Filtrul este deservit de către două sisteme auxiliare și anume:

Sistemul de recirculare a gazelor, care este alcătuit din ventilatorul **V7**, sursa electrică **RZ2** și tubulatura aferentă din tablă zincată cu Dn 300 mm.

Sistemul de descărcare și dirijare a prafului, care este compus din sistemul de descărcare cu clapete pneumatice tip „ecluză”, identic cu cel de la evacuarea prafului de la cicloane.

Sub ecluză este montat un sistem distribuitor cu comutare manuală a traseului amestecului de pulberi spre șneclul de recirculare sau spre o cuvă mobilă. Amestecul de gaze arse și pulberi neutralizante pătrunde în filtru pe la partea inferioară, parcurgând sacii filtranți de jos în sus. Pe suprafața interioară a sacilor filtranți se definitivează reacțiile între gazele arse și pulberile neutralizante, după care gazele trec prin saci, fiind evacuate pe la partea superioară a filtrului, iar amestecul de pulberi cade în conul colector.

Atâta timp cât reactivitatea amestecului de var și cărbune activ este suficient de mare, amestecul se dirijează spre șneclul de recirculare care îl reintroduce în tubulatura traseului principal de gaze arse, înaintea reactorului. În momentul în care amestecul de var și cărbune activ recirculat nu mai asigură menținerea valorilor emisiilor sub limitele impuse de normativele în vigoare (semn că reactivitatea sa este insuficientă), acesta va fi dirijat spre cuva mobilă, urmând a



fi trimis la haldă. Instalația va fi alimentată cu var proaspăt din silozul de stocare. Pentru evitarea condensului pe interiorul mantalei metalice a filtrului, acesta este prevăzut cu un sistem de recirculare care funcționează astfel:

Ventilatorul **V7** preia parte din gazele curate, calde, din partea superioară a filtrului și le reintroduce în partea inferioară, printr-o tubulatură din tablă zincată cu Dn 300 mm. Pe traseu este intercalată o sursă electrică pentru încălzirea suplimentară a gazelor dacă este cazul.

Căderea de presiune pe filtru va crește proporțional cu gradul de depunere a pulberilor pe suprafața interioară a sacilor filtranți, fapt pentru care sacii trebuie scuturați periodic. Acest lucru se realizează cu aer comprimat cu ajutorul unității speciale de scuturare. La reglarea frecvenței de scuturare nu trebuie uitat însă că reacția între gaze și pulberile de var și cărbune este cu atât mai intensă cu cât căderea de presiune este mai mare.

Pentru o bună funcționare a epurării gazelor, este necesară o cădere de presiune pe filtru cuprinsă între 1600 și 2000 Pa.

Datele tehnice ale filtrului cu saci sunt prezentate în **tabelul 12**.

**Tabelul 12** Date tehnice ale filtrului cu saci

1	Suprafața filtrantă	360 m <sup>2</sup>
2	Debit de intrare a gazelor, standard	14.067 Nm <sup>3</sup> /h
3	Debit de intrare a gazelor	20.250 m <sup>3</sup> /h
4	Temperatura de intrare a gazelor	140°C
5	Concentrația de praf la intrare	5 g/Nm <sup>3</sup>
6	Emisia de praf preconizată	3 mg/Nm <sup>3</sup>
7	Căderea de presiune pe filtrul curat	1600 Pa
8	Căderea de presiune pe filtrul prăfuit	2000 Pa
9	Dimensiunile sacilor filtranți	Ø 200 x 5000 mm
10	Numărul sacilor filtranți	200
11	Materialul sacilor filtranți	țesătură textilă cu membrană teflonată
12	Metoda de curățare	Jet de aer comprimat
13	Presiunea aerului de curățare	0,4 Mpa
14	Îndepărtarea prafului	Sistem ecluză

### 5.2.9 Exhaustorul și coșul final

Exhaustorul, codificat **M14**, este un ventilator standard din producția CBI – Austria. Este prevăzut cu racorduri antivibrante atât pe gura de aspirație cât și pe cea de refulare.

Coșul final, **denumit astfel pentru a putea fi diferențiat de coșul de avarie**, este confecționat din tablă groasă de oțel, roluită și sudată pe generatoare. Este prevăzut cu racord rectangular 320x230 mm pentru tubulatura de pe ieșirea exhaustorului, ștuț pentru evacuarea condensului cu Dn 40 mm și talpă de sprijin.

Coșul este fixat în beton prin intermediul unor ecluse cu șuruburi autoblocante și prins de carcasa filtrului prin intermediul unor coliere, astfel încât să nu fie împiedicată dilatarea liberă a acestuia. Pe coș sunt amplasate sondele pentru prelevarea probelor de gaze precum și dioda LASER pentru măsurarea concentrației HCl. Pentru accesul la acestea este prevăzută o platformă cu scară.

Exhaustorul (**M14**) creează și menține depresiunea necesară în întreaga instalație micșorând la minim posibil riscul de scăpare a gazelor în afara instalației.

Gazele extrase de către exhaustor sunt dirijate spre coșul final. După ce sunt prelevate probele pentru analiza emisiilor, cu ajutorul sondelor menționate, gazele sunt evacuate în atmosferă.

### **5.3 Parametrii monitorizați în vederea studiului funcționării în regim dinamic a incineratorului de deșeuri**

Pentru efectuarea unor studii asupra modului de funcționare al incineratorului de deșeuri în anumite situații, respectiv tipuri de deșeuri diferite, tipuri de combustibili utilizați, condiții de mediu exterior, s-au măsurat următorii parametri:

- Temperaturile în cuptor, în camerele de ardere și în instalația de epurare a gazelor [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- Debitul de gaze arse [ $\text{Nm}^3/\text{h}$ ]
- Concentrația de  $\text{O}_2$  [%]
- Concentrația de  $\text{CO}_2$  [%]
- Concentrația de  $\text{NO}_x$  [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]
- Concentrația de  $\text{CO}$  [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]
- Concentrația de  $\text{TOC}$  [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]
- Concentrația de  $\text{SO}_2$  [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]
- Concentrația de  $\text{HCl}$  [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]

### **5.4 Aparate de măsurare utilizate. Echipamente auxiliare și echipamente de conducere**

#### **5.4.1 Echipamente de măsurare a temperaturilor – Termocupluri și termorezistențe**

Termocuplurile folosite pentru camera de incinerare primară sunt de tip cromel-alumel (K). Temperatura maximă de lucru este  $1200^{\circ}\text{C}$ . Se încadrează în clasa de precizie 2. Eroarea de măsurare se încadrează în intervalul  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ . Tecile sunt realizate din oțel refractar. Lungimea nominală este de 1000 mm pentru TC1 și 500 mm pentru TC2, TC3 și TC4 [115].

Termocuplurile folosite pentru camera de postcombustie sunt de tip Pt-PtRh 10% (S). Temperatura maximă de lucru este  $1400^{\circ}\text{C}$ . Se încadrează în clasa de precizie 2. Eroarea de măsurare se încadrează în intervalul  $\pm 7^{\circ}\text{C}$ . Tecile protectoare sunt realizate din ceramică KER-710. Lungimea nominală este de 500 mm pentru TC6-TC10 [115].

În **figura 34** este prezentat un termocuplu utilizat la măsurarea temperaturii în instalația de incinerare.



**Figura 34** Termocuplu tehnic

Pentru măsurarea temperaturilor joase (în acest caz sub 400°C) se folosesc termorezistențe. Termorezistențele folosite sunt de tip Pt100, rapide. Elementul sensibil este realizat dintr-un fir subțire de platină, bobinat pe un material izolator. Tecile protectoare sunt confecționate din oțel refractar. Se încadrează în clasa de precizie 1 [115].

Eroarea de măsurare maxim tolerată a termorezistențelor Pt100 se încadrează între  $\pm 0.55^{\circ}\text{C}$  la  $-200^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$  la  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0.55^{\circ}\text{C}$  la  $200^{\circ}\text{C}$  și  $\pm 1.35^{\circ}\text{C}$  la  $600^{\circ}\text{C}$ .

Lungimea nominală este de 200 mm pentru TR0, TR1 și TR2, 175mm pentru TR3.

În **figura 35** este prezentată schematic o termorezistență tehnică.



**Figura 35** Termorezistență tehnică

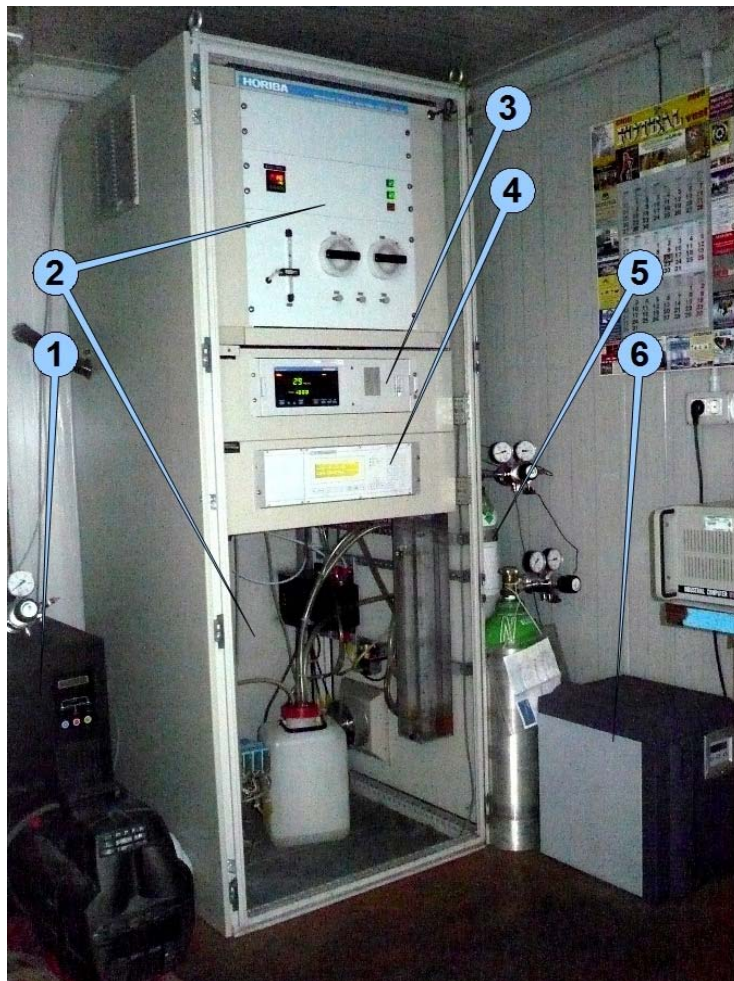
#### 5.4.2 Echipamente de măsurare a emisiilor generate la coș

Cantitatea de emisii generată la coș este evaluată cu ajutorul unui sistem performant de analiză cantitativă și calitativă a gazelor arse. Acest sistem este compus din:

- Analizor de emisii ENDA-690
- Analizor de emisii Thermo-FID ES
- Analizor de emisii NEO Laser-gas monitor
- DURAG DRX-250

Analizorul de emisii realizează atât măsurători prin metode in situ, cât și extractive. Sistemul extractiv de prelevare continuă a probei este format dintr-o sondă amplasată pe coș, la care este conectată o linie încălzită. Instalația încălzită este conectată la un sistem de uscare și condiționare a gazelor care deservește analizoarele ENDA-690 și Thermo-FID ES.

În **figura 36** este prezentat întregul sistem de condiționare și analiză a gazelor arse prelevate de la coș.



**Figura 36** Sistemul de analiză a gazelor: 1 – sursă de tensiune neîntreruptibilă, 2 – dulap ENDA-600 cu sistemul de preparare a gazelor, 3 – analizorul ENDA-690, 4 – analizorul Thermo-FID ES, 5 – butelii de gaz etalon pentru calibrare, 6 – generator de hidrogen.

- Analizorul ENDA-690 măsoară următorii compuși:
- Oxizi de azot, NO<sub>x</sub>
  - Bioxid de sulf, SO<sub>2</sub>
  - Bioxid de carbon, CO<sub>2</sub>
  - Monoxid de carbon, CO
  - Oxigen, O<sub>2</sub>

#### 5.4 – Aparate de măsurare utilizate. Echipamente auxiliare și echipamente de conducere 109

Principiul de măsurare al analizorului pentru NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> și CO se bazează pe metoda modulării încrucișate cu absorbție nedispersivă în domeniul infraroșu (NDIR). O celulă de măsurare constă dintr-o sursă de infraroșu, un filtru corespunzător lungimii de undă pentru componentul măsurat, camera de probă și detectorul. Proba și gazul de referință (în acest caz aer purificat) sunt introduse alternativ în camera spectrometrului. Acest sistem al firmei Horiba GmbH este foarte robust, stabil și economic. Cu toate acestea, această construcție introduce o oarecare întârziere a măsurătorii [135, 136, 137].

Principiul de măsurare al analizorului pentru O<sub>2</sub> se bazează pe metoda paramagnetică, metodă descrisă pe larg în literatura de specialitate.

Analizorul ENDA-690 este calibrat pe domeniile de măsurare prezentate în **tabelul 13**. Pentru fiecare compus măsurat există două domenii de măsurare, selectate automat.

**Tabelul 13** Domeniile de măsură ale analizorului ENDA-690

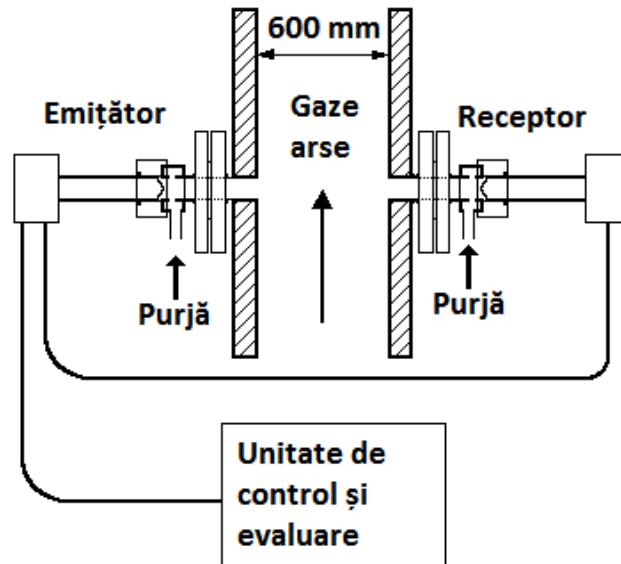
Parametrul măsurat	Domeniul de măsură	Domeniul de măsură	Unitatea de măsură
Oxigen	0-10	0-25	%vol
Oxizi de azot	0-200	0-1000	mg/Nm <sup>3</sup>
Bioxid de sulf	0-200	0-1000	mg/Nm <sup>3</sup>
Bioxid de carbon	0-10	0-40	%vol
Monoxid de carbon	0-200	0-1000	mg/Nm <sup>3</sup>

Analizorul Thermo-FID ES (figura 36) funcționează pe principiul cromatografiei cu ionizare în flacără. Celula de măsurare este o incintă termostată prevăzută cu un arzător de hidrogen. Debitul de gaz de probă și hidrogen sunt menținute la valori constante. Duza arzătorului este conectată la un potențial negativ de -80...-400V, măsurat. Electronii eliberați din flacără sunt colectați pe un electrod al cărui potențial este măsurat. Acest potențial este de câteva zeci de ori mai mare în cazul flăcării ce conține hidrocarburi decât în cazul flăcării de hidrogen. Din această cauză și sistemelor de control avansate sistemul de măsură este foarte precis și stabil [138, 139].

Analizorul Thermo-FID ES folosit este calibrat să măsoare compușii organici volatili, ca propan. Domeniul de măsurare calibrat este 0..100mg/Nm<sup>3</sup> propan.

Măsurătorile in situ sunt realizate cu ajutorul analizoarelor NEO Laser-Gas monitor și DURAG DRX-250.

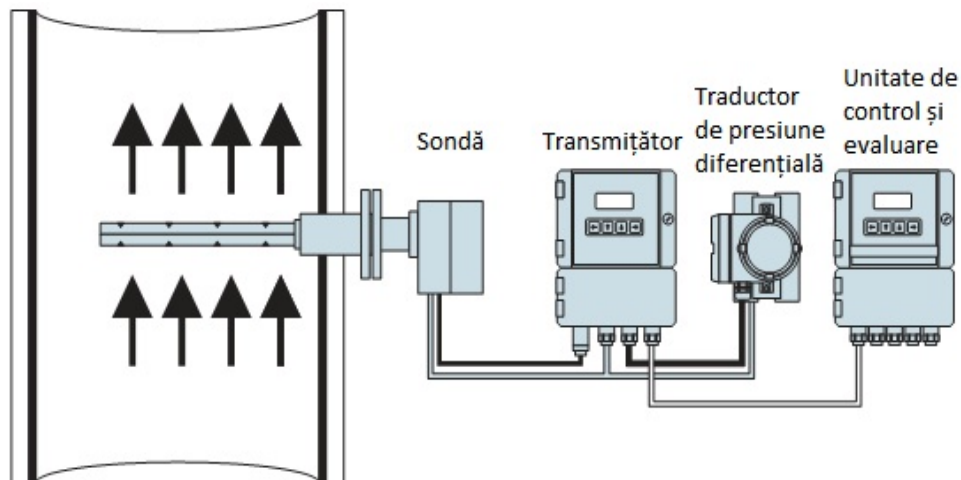
În figura 37 este prezentată schema de funcționare a analizorului NEO Laser-Gas Monitor [139].



**Figura 37** Analizorul NEO Laser-Gas Monitor

Analizorul NEO Laser-Gas monitor este un fotometru în infraroșu, detectorul fiind montat direct pe coșul de evacuare a gazelor arse. Datorită construcției solide și lipsei pieselor în mișcare, aparatul necesită foarte puțină întreținere, iar măsurătorile sunt foarte stabile. Domeniul de lucru este  $0...100\text{mg}/\text{Nm}^3$  HCl [139].

DURAG DRX-250 este un debitmetru, termometru și analizor de pulberi în suspensie. Acesta este prezentat în **figura 38** [140].



**Figura 38** Analizorul DURAG DRX-250

Principiul de funcționare al debitmetrului se bazează pe măsurarea diferenței de presiune utilizând o construcție specială, alcătuită din câteva tuburi Pitot montate pe o sondă introdusă în coș. Domeniul de măsurare calibrat este  $0...20000$   $\text{Nm}^3/\text{h}$

## 5.4 – Aparate de măsurare utilizate. Echipamente auxiliare și echipamente de conducere

[116, 130, 131, 132, 133].

Temperatura gazelor este măsurată în centrul coșului. Domeniul de măsură este 0...200°C.

Concentrația de pulberi este măsurată prin metoda tribo-electrică. Concentrația de pulberi se calculează pe baza semnalului triboelectric și debitul volumic. Domeniul de măsurare este 0..100mg/Nm<sup>3</sup> pulberi [134, 140, 141].

În **figura 39** este prezentat întreg sistemul de pulverizare și analiză a gazelor montat pe coș.



**Figura 39** Sistemul de prelevare și analiză a gazelor montat pe coș: 1 – coș, 2 – flanșe pentru introducerea unor sonde suplimentare, 3 – sondă prelevare gaze, 4 – emițător laser NEO Laser-Gas monitor, 5 – detector NEO Laser-Gas monitor, 6 – transmițător DURAG, 7 – convertor umiditate, 8 – traductor de presiune diferențială, 9 – unitate de evaluare și control DURAG, 10 – sondă DURAG

### 5.4.3 Echipamente de conducere

Instalația este condusă din camera de comandă în care se află următoarele echipamente:

- 2 pupitre de comandă destinate comenzii manuale a instalației în caz de nevoie și dublării comenzilor de pornire a unor utilaje.
- un calculator de proces, destinat comandării automate a instalației.

În **figura 40** este prezentată o vedere de ansamblu a camerei de comandă și control a instalației.



Figura 40 Vedere de ansamblu a camerei de comandă și control.

## 5.5 Date experimentale

Valorile măsurate ale parametrilor monitorizați în lunile noiembrie, decembrie 2008, martie și aprilie 2009 sunt prezentate în **Anexele I-IV**.

În **tabelul 14** sunt prezentate temperaturile normale de lucru și maxim admise în camerele de incinerare și postcombustie:

**Tabelul 14** Temperaturile normale de lucru și maxim admise în camera de incinerare ( $T_{c1}$ ,  $T_{c2}$ ,  $T_{c3}$ ,  $T_{c4}$ ), respectiv în camera de postcombustie ( $T_{c6}$ ,  $T_{c7}$ ,  $T_{c8}$ ) sunt date între paranteze valorile valabile în cazul deșeurilor cu conținut mare de clor.

Senzor	Temperatura normală de lucru	Temperatura maxim admisibilă
Tc1	400 - 600°C	950°C
Tc2	600 - 800°C	1200°C
Tc3	750 - 900°C	1200°C
Tc4	400 - 600°C	1200°C
Tc6	850 - 900°C (1100 - 1150°C)	1300°C
Tc7	850 - 900 °C (1100 - 1150°C)	1300°C
Tc8	850 - 900°C (1100 - 1150°C)	1300°C

În conformitate cu legislația în vigoare, din gazele arse evacuate la coș se măsoară continuu următoarele emisii:

- O<sub>2</sub>, %Vol.;
- CO<sub>2</sub>, %Vol.
- NO<sub>x</sub>, mg/m<sup>3</sup>;
- HCl, mg/m<sup>3</sup>;
- TOC, mg/m<sup>3</sup>;



- SO<sub>2</sub>, mg/m<sup>3</sup>;
- Pulberi, mg/m<sup>3</sup>.  
Măsurătorile se raportează la următoarele condiții:
- Gaze uscate
- Stare normală (273K, 101.3 kPa)
- Cantitatea de referință de 11% O<sub>2</sub>

Valorile maxim admise, conform legislației în vigoare, ale emisiilor măsurate la coș sunt prezentate în **tabelul 15**.

**Tabelul 15** Valorile maxim admisibile ale emisiilor măsurate la coș, conform Normativului tehnic privind incinerarea deșeurilor din 26/11/2004

Media	% de conformare din total măsurători	NOx (mg/m <sup>3</sup> )	HCl (mg/m <sup>3</sup> )	TOC (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Pulberi totale (mg/m <sup>3</sup> )
Zilnică	100%	200	10	10	50	10
30 min.	100%	400	60	20	200	30
30 min.	97%	200	10	10	50	10

Pentru caracterizarea funcționării în regim dinamic a instalației de incinerare s-au prelucrat datele obținute numai pentru 16 șarje (vezi Anexa II).

În **tabelul 16** sunt prezentate caracteristicile șarjelor studiate.

**Tabelul 16** Șarjele pentru care s-au efectuat prelucrările datelor experimentale

Șarja Nr.	Data, ora	Cantitatea de deșeu incinerată [kg]
1	01.12.2009 09:42-10:36	273
2	01.12.2009 11:01-11:32	160
3	01.12.2009 11:34-12:34	332
4	01.12.2009 12:43-13:37	281
5	10.12.2008 09:59-10:34	188
6	10.12.2008 11:01-11:53	271
7	10.12.2008 12:13-12:51	198
8	10.12.2008 16:25-17:08	229
9	18.12.2008 11:24-11:53	160
10	18.12.2008 11:55-12:24	164
11	18.12.2008 12:26-12:57	171
12	18.12.2008 13:47-14:25	203
13	27.12.2008 08:03-08:41	197
14	27.12.2008 08:43-09:47	331
15	27.12.2008 09:49-10:22	176
16	27.12.2008 10:24-11:10	238

Componența procentuală a șarjelor de deșeri din **tabelul 16** este prezentată în **tabelele 17, 18, 19 și 20**.

**Tabelul 17** Compoziția șarjelor 1-4. Deșeu tip A

Denumire	Cod deșeu	Stare	Compoziție [%]
Rumeguș contaminat	30104	solid	9.7
Fibră de carbon	40209	solid	3.6
Deșeu lacuri și vopsele, grunduri nitrocelulozice	80111	semilichid	23.5
Resturi solvenți și adezivi	80409	păstos	4.7
Deșeu lichid cu conținut de adezivi	80416	lichid	5.2
Ulei uzat	130207	lichid	6.1
Ambalaje contaminate	150110	solid	15.4
Vulcanox	160305	solid	4.7
Deșeuri medicale	180103	solid	10.4
Șampoane, detergenți	200130	solid/lichid	16.9

**Tabelul 18** Compoziția șarjelor 5-8. Deșeu tip B

Denumire	Cod deșeu	Stare	Compoziție [%]
rumeguș contaminat	30104	solid	4.15
soluții expirate	70101	pastos	10.37
n-butil+poliuretan	70214	solid	2.49
deșeu cauciuc	70299	solid	2.7
deșeu lacuri și vopsele	80111	semilichide	4.98
deșeu vopsea	80117	solid	12.73
deșeuri adezivi și cleiuri	80409	solid	3.04
ambalaje metalice și PE contaminate	150110	solid	16.34
ambalaje metalice contaminate	150110	solid	3.29
deșeuri textile, absorbanți	150202	solid	8.33
medicale	180103	solid	19.74
îmbrăcăminte contaminată	180104	solid	1.04
deșeuri organice	180202	lichid/solid	2.79
deșeuri produse consumabile	180203	solide	3.18
solvenți organici	200113	lichid	4.84

**Tabelul 19** Compoziția șarjelor 9-12. Deșeu tip C

Denumire	Cod deșeu	Stare	Compoziție [%]
mat. care nu se pretează consumului	20203	solid	27.03
mat. care nu se pretează consumului (panificație)	20601	solid	1.5
deșeuri de vopsele și lacuri cu conț. de solvenți, zațuri vopsele	80111	solid	20.36
soluție de fixare	90104	lichid	3.78

ambalaje plastic	150102	solid	0.16
ambalaje PE contaminate	150110	solid	3.68
absorbantși și echipamente de protecție contaminate	150202	solid	4.3
antigel auto uzat	160114	lichid	0.06
deșeuri organice periculoase (uree tehnică)	160305	solid	6.76
tuburi spray	160504	solid	0.49
fragmente și organe umane	180102	solid	0.67
medicale	180103	solid	13.91
medical veterinare	180202	solid	0.03
ambalaje plastic medicamente	180203	solid	5.78
pesticide	200119	solid	4.05
deșeuri tălpi	200139	solid	7.43

**Tabelul 20** Compoziția șarjelor 13-16. Deșeu tip D

Denumire	Cod deșeu	Stare	Compoziție [%]
fibră de carbon	40209	solid	2.09
soluție uzată	70101	păstos	11.16
deșeu lacuri și vopsele	80111	semilichide	16.32
sol. dezvoltare pe bază de apă	90102	lichid	8.10
ulei uzat	130207	lichid	5.58
reziduuri petroliere	130703	lichid	33.47
ambalaje metalice contaminate	150110	solid	10.74
catalizatori uzați	160802	păstos	8.37
cerneluri, vopsele și revelatori tipografici	200127	păstos	4.18

În **tabelele 21-36** sunt prezentați principalii parametrii mășurați la coș în timpul funcționării instalației de incinerare pentru cele 16 șarje luate în discuție.

**Tabelul 21** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 1.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 1	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
01/12/08 09:42	875.2	17.98	4.31	2.06	25.93	100.38	1.57	0.54	11002	142.30	1.05
01/12/08 09:44	885.5	17.59	4.62	1.83	22.05	112.29	1.48	0.54	11089	142.05	0.90
01/12/08 09:46	904.6	17.84	4.39	1.97	25.57	99.09	2.21	0.54	11143	142.30	0.99
01/12/08 09:48	926.8	16.62	5.84	1.42	18.03	132.19	2.12	0.54	11164	142.30	0.79
01/12/08 09:50	937.0	16.34	6.29	1.34	17.37	115.09	1.87	0.54	11567	142.55	0.71
01/12/08 09:52	950.6	16.54	6.13	1.40	18.70	152.61	1.60	0.66	11529	143.08	0.78
01/12/08 09:54	953.1	16.93	5.60	1.53	18.77	150.24	1.51	0.93	11810	143.55	0.81
01/12/08 09:57	952.7	17.04	5.27	1.57	19.30	131.29	1.63	0.91	11983	144.33	0.89
01/12/08 09:59	950.2	17.21	5.13	1.65	20.69	119.15	1.32	0.93	12030	145.08	0.94
01/12/08 10:01	946.8	17.30	4.98	1.69	20.66	114.78	1.09	0.91	12036	145.63	0.96
01/12/08 10:03	941.7	17.50	4.58	1.78	22.04	113.94	1.13	0.91	12082	145.85	1.07

01/12/08 10:05	937.0	17.63	4.51	1.85	21.87	115.40	1.05	0.93	12061	146.10	1.09
01/12/08 10:07	932.7	17.67	4.39	1.87	23.76	117.97	1.01	0.91	12290	146.63	1.08
01/12/08 10:09	928.9	17.91	4.18	2.01	25.09	123.74	1.11	0.91	12176	147.10	1.19
01/12/08 10:11	925.5	17.80	4.34	1.95	24.88	115.08	1.24	0.91	12172	147.13	1.13
01/12/08 10:13	921.7	17.93	3.99	2.03	26.16	124.71	1.38	0.91	11911	147.13	1.16
01/12/08 10:15	917.4	18.16	3.86	2.19	26.60	135.45	2.08	0.91	12402	147.38	1.24
01/12/08 10:17	909.7	18.11	3.86	2.15	25.74	135.73	1.66	0.91	12484	147.38	1.22
01/12/08 10:19	908.0	18.16	3.71	2.19	27.98	135.45	1.73	1.05	12490	147.35	1.28
01/12/08 10:21	905.9	18.31	3.61	2.32	30.84	135.89	1.61	1.05	12301	147.35	1.29
01/12/08 10:23	902.9	18.33	3.62	2.33	28.28	132.99	1.54	1.05	12412	147.13	1.33
01/12/08 10:26	900.0	18.27	3.59	2.28	27.99	126.78	1.41	0.91	12294	147.13	1.33
01/12/08 10:28	896.5	18.40	3.45	2.39	30.09	131.51	1.58	1.04	12398	147.13	1.28
01/12/08 10:30	892.7	18.41	3.47	2.40	31.42	124.43	1.77	1.18	11966	146.58	1.36
01/12/08 10:32	888.9	18.51	3.22	2.50	31.77	135.08	1.61	1.18	11953	146.35	1.37

5.5 - Date experimentale 117

01/12/08 10:34	882.9	18.54	3.21	2.54	32.39	128.94	1.88	1.18	12022	146.10	1.37
01/12/08 10:36	870.4	18.20	3.76	13.85	27.67	117.28	1.26	1.18	11925	145.85	1.30

**Tabelul 22** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 2.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 2	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
01/12/08 11:01	939.5	16.80	5.66	1.48	18.49	107.47	0.90	1.18	10866	146.38	0.74
01/12/08 11:03	941.2	16.76	5.69	1.47	18.03	111.10	0.91	1.18	11107	144.85	0.72
01/12/08 11:05	942.1	16.79	5.43	1.48	18.88	100.12	0.91	1.18	11165	144.10	0.71
01/12/08 11:07	942.1	16.97	5.39	1.55	19.74	104.67	0.91	1.18	11160	142.83	0.69
01/12/08 11:09	942.1	16.99	5.31	1.56	18.58	102.86	0.86	1.30	11282	142.28	0.71
01/12/08 11:11	941.2	17.15	5.09	1.62	19.65	107.03	0.89	1.30	11202	141.55	0.77
01/12/08 11:13	940.0	17.16	5.10	1.62	20.57	109.74	0.88	1.30	11252	141.03	0.77
01/12/08 11:15	938.2	17.20	5.01	1.64	20.93	103.88	0.88	1.18	10829	140.55	0.71
01/12/08 11:17	936.1	17.38	4.76	1.72	20.44	110.16	0.93	1.30	10908	140.03	0.76

01/12/08 11:19	934.4	17.47	4.67	1.77	22.76	108.46	0.97	1.30	10802	139.25	0.77
01/12/08 11:22	933.1	17.44	4.65	1.75	22.34	114.67	0.94	1.30	10776	138.78	0.83
01/12/08 11:24	931.0	17.55	4.60	1.81	21.59	117.40	0.93	1.30	10842	138.53	0.77
01/12/08 11:26	928.9	17.54	4.57	1.80	21.48	120.67	0.92	1.30	11186	138.03	0.79
01/12/08 11:28	926.8	17.60	4.42	1.83	23.26	128.77	0.92	1.30	11237	137.75	0.77
01/12/08 11:30	925.1	17.71	4.39	1.89	24.00	125.83	1.04	1.30	10704	137.50	0.81
01/12/08 11:32	923.8	17.70	4.34	1.89	23.35	115.86	1.00	1.30	11825	137.25	0.86

**Tabelul 23** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 3.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 3	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
01/12/08 11:34	943.8	16.15	6.64	1.28	16.55	115.97	0.71	1.30	11912	137.73	0.63
01/12/08 11:36	956.1	16.46	6.20	1.37	16.81	121.63	0.74	1.43	11465	139.25	0.70
01/12/08 11:38	971.2	16.30	6.40	1.32	15.82	143.17	0.70	1.43	11284	140.30	0.65
01/12/08 11:40	980.0	16.17	6.41	1.29	15.93	140.36	0.68	1.55	11394	141.03	0.65

01/12/08 11:42	979.1	16.57	5.84	1.41	16.35	127.72	0.72	1.55	11436	141.80	0.72
01/12/08 11:45	975.0	16.85	5.48	1.50	18.58	118.14	0.77	1.55	11483	142.30	0.78
01/12/08 11:47	971.6	16.91	5.34	1.52	19.02	107.84	0.77	1.55	11547	142.83	0.74
01/12/08 11:49	968.3	17.13	5.16	1.61	20.06	109.06	0.79	1.55	11474	143.33	0.85
01/12/08 11:51	963.3	17.24	5.11	1.66	20.50	112.76	0.81	1.55	11350	143.83	0.84
01/12/08 11:53	958.7	17.38	4.81	1.72	21.82	110.99	0.84	1.55	11530	144.33	0.88
01/12/08 11:55	954.8	17.50	4.74	1.78	22.39	111.14	0.86	1.55	11485	144.35	0.91
01/12/08 11:57	950.6	17.45	4.75	1.75	22.81	108.42	0.86	1.55	11554	144.85	0.89
01/12/08 11:59	948.0	17.51	4.60	1.79	23.01	113.18	0.87	1.55	11489	144.85	0.96
01/12/08 12:01	944.6	17.60	4.51	1.83	22.26	111.51	0.90	1.55	11695	144.85	0.99
01/12/08 12:03	942.5	17.61	4.60	1.84	23.23	118.55	0.91	1.55	11584	145.08	1.00
01/12/08 12:05	943.4	17.33	4.89	1.70	20.83	109.71	0.83	1.55	11582	145.10	0.91
01/12/08 12:07	940.4	17.60	4.49	1.83	23.26	112.59	0.89	1.55	11604	145.08	0.98
01/12/08 12:09	937.0	17.78	4.29	1.93	25.30	119.54	0.94	1.55	11824	145.10	1.06



01/12/08 12:12	932.7	17.92	4.07	2.02	25.06	121.16	0.94	1.55	11826.1	144.85	1.08
01/12/08 12:14	929.3	18.00	3.89	2.08	26.79	125.26	1.01	1.55	11711.7	144.83	1.07
01/12/08 12:16	927.2	17.96	4.01	2.05	26.02	124.73	0.99	1.55	11733.3	144.83	1.13
01/12/08 12:18	925.1	18.00	3.94	2.08	25.46	126.36	1.02	1.55	11734.7	144.58	1.12
01/12/08 12:20	922.5	18.08	3.79	2.14	27.54	131.26	1.04	1.55	11722.5	144.35	1.15
01/12/08 12:22	920.4	18.15	3.76	2.18	29.77	128.16	1.06	1.55	11781.8	144.35	1.12
01/12/08 12:24	917.8	18.13	3.72	2.17	26.81	124.08	1.06	1.55	11847.3	144.10	1.07
01/12/08 12:26	914.8	18.30	3.50	2.31	30.47	131.81	1.14	1.55	11855.9	143.85	1.20
01/12/08 12:28	911.0	18.42	3.34	2.42	29.80	138.42	1.09	1.55	11863.0	143.60	1.23
01/12/08 12:30	906.3	18.50	3.18	2.49	30.77	133.13	1.16	1.55	11813.3	143.08	1.22
01/12/08 12:32	902.9	18.65	2.98	2.65	33.80	138.69	1.23	1.55	11811.4	142.58	1.29
01/12/08 12:34	898.2	18.66	2.93	2.66	33.09	139.22	1.23	1.68	11713.8	142.33	1.25
01/12/08 12:36	895.3	18.81	2.76	2.84	36.97	147.27	1.32	1.55	11722.9	142.08	1.33
01/12/08 12:39	891.9	18.90	2.62	2.96	37.62	132.06	1.43	1.55	11800.0	141.55	1.41

5.5 - Date experimentale 121

01/12/08 12:41	889.7	18.95	2.51	3.03	41.00	136.34	1.50	1.55	11938.2	140.78	1.23
-------------------	-------	-------	------	------	-------	--------	------	------	---------	--------	------

**Tabelul 24** Principalii parametri funcționali mășurați pentru șarja 4.

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NOx	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 4	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
01/12/08 12:43	905.9	17.10	5.33	1.60	19.96	111.27	0.78	1.55	11930	140.55	0.76
01/12/08 12:45	922.5	17.30	4.95	1.68	20.61	110.21	0.73	1.69	11956	140.30	0.80
01/12/08 12:47	940.0	16.53	5.96	1.39	17.36	120.59	0.63	0.03	11888	140.10	0.62
01/12/08 12:49	946.8	16.72	5.64	1.45	18.28	115.27	0.65	1.68	11945	140.03	0.69
01/12/08 12:51	951.0	16.81	5.57	1.49	18.87	108.58	0.65	1.69	11814	140.00	0.69
01/12/08 12:53	951.4	16.92	5.46	1.53	19.84	102.39	0.66	1.55	11879	140.03	0.69
01/12/08 12:55	949.7	17.02	5.27	1.57	18.22	101.71	0.69	1.69	11832	140.30	0.77
01/12/08 12:57	945.5	17.36	4.87	1.71	21.31	96.00	0.78	1.68	12171	140.53	0.75
01/12/08 12:59	940.8	17.52	4.62	1.79	22.51	104.34	0.80	1.68	12089	140.55	0.89
01/12/08 13:01	936.5	17.68	4.36	1.88	24.56	107.97	0.84	1.68	12000	140.80	0.93

01/12/08 01:04	931.9	17.82	4.28	1.96	23.77	106.41	0.95	1.69	12050	141.05	0.99
01/12/08 13:06	926.3	17.89	4.10	2.00	22.67	108.87	0.93	1.68	12040	141.55	0.98
01/12/08 13:08	921.2	18.01	3.94	2.08	26.63	117.86	1.02	1.81	11983	142.05	1.12
01/12/08 13:10	916.1	18.21	3.61	2.24	27.41	124.18	1.08	1.69	11997	142.33	1.23
01/12/08 13:12	911.9	18.42	3.38	2.41	29.55	130.06	1.17	1.69	12081	142.83	1.19
01/12/08 13:14	907.6	18.39	3.38	2.39	27.96	122.30	1.17	1.81	12077	143.05	1.17
01/12/08 13:16	904.6	18.47	3.18	2.46	31.43	123.66	1.19	1.81	12131	143.35	1.17
01/12/08 13:18	900.8	18.53	3.29	2.52	31.66	125.03	1.13	1.81	12047	143.33	1.21
01/12/08 13:20	897.8	18.49	3.22	2.48	32.24	133.79	1.15	1.81	11969	143.30	1.23
01/12/08 13:22	894.4	18.62	2.94	2.61	35.01	131.30	1.26	1.80	12028	143.35	1.19
01/12/08 13:24	891.0	18.65	3.00	2.65	34.42	131.41	1.28	1.81	12029	143.33	1.29
01/12/08 13:26	888.0	18.66	3.03	2.66	33.72	126.70	1.29	1.81	12119	143.08	1.18
01/12/08 13:28	884.6	18.84	2.68	2.88	35.62	131.04	1.39	1.80	11961	142.80	1.35
01/12/08 13:31	880.4	18.94	2.58	3.02	37.62	139.31	1.46	1.69	11905	142.58	1.47

5.5 - Date experimentale 123

01/12/08 13:33	870.8	18.99	2.47	3.11	39.06	136.56	1.50	1.80	11894	142.33	1.48
01/12/08 13:35	855.2	18.81	2.71	9.03	36.63	144.49	1.24	1.81	11793	142.30	1.35
01/12/08 13:37	846.9	18.77	3.26	13.25	35.66	147.44	1.19	1.81	11705	142.30	1.43

**Tabelul 25** Principalii parametri funcționali măsurați pentru șarja 5.

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NOx	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 5	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
10/12/08 09:59	968.3	16.81	5.73	1.49	23.65	113.83	0.72	0.41	8404.1	138.48	3.11
10/12/08 10:01	981.6	16.61	6.19	1.42	19.89	115.77	0.69	0.29	8331.9	138.98	2.93
10/12/08 10:03	993.7	16.87	5.58	1.51	19.71	122.41	0.73	0.41	8275.0	139.75	3.42
10/12/08 10:05	1003.7	16.50	5.88	1.38	19.15	111.71	0.67	0.41	8326.8	140.25	3.77
10/12/08 10:07	1005	16.76	5.47	1.47	20.62	121.77	0.72	0.41	8226.9	141.03	4.64
10/12/08 10:09	1007.5	16.86	5.54	1.50	24.40	130.80	0.70	0.79	9223.8	141.78	53.60
10/12/08 10:12	1016.2	16.71	5.60	1.45	58.10	116.62	0.68	0.54	9088.4	143.28	68.57
10/12/08 10:14	1015.4	16.69	5.43	1.44	82.11	112.85	0.68	0.54	9042.8	145.58	72.20

10/12/08 10:16	1010.4	17.04	5.15	1.60	38.25	116.16	0.71	0.66	9122.7	147.60	103.14
10/12/08 10:18	1005.8	17.11	5.25	1.60	46.55	123.06	0.72	0.41	9424.7	149.38	88.81
10/12/08 10:20	1002.5	17.10	5.16	1.60	54.39	107.83	0.72	0.54	9449.9	151.15	67.46
10/12/08 10:22	997	17.36	4.84	1.71	39.46	102.05	0.77	0.54	9523.7	152.43	12.11
10/12/08 10:24	994.5	17.32	5.02	1.69	58.44	109.60	0.77	0.54	9531.6	153.95	10.83
10/12/08 10:26	992.5	17.22	4.93	1.65	67.67	101.55	0.76	0.54	9548.6	155.18	17.98
10/12/08 10:28	988.7	17.37	4.87	1.72	73.58	97.41	0.77	0.66	9686.1	156.23	12.54
10/12/08 10:30	985.4	17.23	5.07	1.65	81.44	100.17	0.75	0.54	9697.0	157.50	18.23
10/12/08 10:32	982.9	17.23	5.04	1.68	79.52	95.31	0.75	0.03	9827.2	158.83	18.23
10/12/08 10:34	986.6	17.42	5.05	1.74	90.70	96.67	0.78	0.66	9795.7	159.25	14.05

**Tabelul 26** *Principali parametri funcionali măsurați pentru șarja 6.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 5	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
10/12/08 11:01	1003.30	16.70	5.51	1.45	62.69	140.56	0.71	0.66	10492.4	164.85	15.96

10/12/08 11:03	1013.30	16.21	6.17	1.30	44.66	106.00	0.60	0.66	10511.9	164.85	10.08
10/12/08 11:05	1028.70	16.52	5.88	1.39	36.44	98.24	0.63	0.54	10495.5	165.33	8.95
10/12/08 11:07	1042.40	16.39	6.11	1.35	31.61	94.16	0.61	0.54	10450.1	165.60	15.15
10/12/08 11:09	1055.90	16.03	6.41	1.25	33.22	88.51	0.53	0.54	9493.5	165.63	10.22
10/12/08 11:11	1062.40	15.69	6.58	1.17	27.52	83.55	0.48	0.54	9396.1	164.85	6.68
10/12/08 11:14	1067.30	15.79	6.50	1.20	25.31	83.82	0.49	0.54	9527.1	164.08	6.38
10/12/08 11:16	1072.60	15.76	6.59	1.19	21.71	84.04	0.49	0.54	9606.2	163.33	5.86
10/12/08 11:18	1079.50	15.62	6.59	1.16	19.76	82.88	0.47	0.66	9916.3	162.55	5.27
10/12/08 11:20	1082.80	15.72	6.58	1.18	18.92	79.71	0.50	0.54	9420.8	161.80	5.32
10/12/08 11:22	1087.30	15.63	6.73	1.16	18.95	80.84	0.46	0.54	9348.8	161.30	6.20
10/12/08 11:24	1086.50	15.79	6.37	1.20	21.32	84.53	0.51	0.54	9738.4	160.80	6.50
10/12/08 11:26	1085.30	16.05	6.20	1.26	22.95	88.34	0.53	0.54	9808.7	160.50	7.67
10/12/08 11:28	1071.80	16.20	5.81	1.30	25.34	85.66	0.56	0.54	9734.2	160.03	8.19
10/12/08 11:30	1061.20	16.74	5.47	1.46	30.79	86.31	0.64	0.54	9899.2	159.78	8.96

10/12/08 11:32	1055.90	16.79	5.40	1.48	30.74	93.58	0.64	0.41	9890.9	159.28	8.71
10/12/08 11:34	1050.60	16.81	5.26	1.49	29.28	95.66	0.65	0.41	9756.7	159.03	9.25
10/12/08 11:36	1045.70	17.03	5.05	1.57	29.61	98.79	0.68	0.54	9774.2	158.25	8.04
10/12/08 11:38	1042.00	17.03	5.26	1.57	29.16	97.71	0.71	0.66	9965.5	157.75	7.68
10/12/08 11:40	1038.30	16.96	5.16	1.54	27.67	95.96	0.69	0.41	9825.0	156.98	6.73
10/12/08 11:42	1035.80	17.12	5.03	1.61	25.87	93.99	0.72	0.54	9961.2	156.23	6.63
10/12/08 11:44	1032.90	17.07	5.12	1.58	24.88	96.66	0.72	0.54	10038.2	155.48	5.37
10/12/08 11:47	1030.00	17.01	4.99	1.56	22.07	93.75	0.68	0.41	9554.7	154.70	5.23
10/12/08 11:49	1026.60	17.15	4.96	1.62	21.66	95.52	0.70	0.41	9625.7	154.20	5.37
10/12/08 11:51	1023.30	17.16	5.03	1.62	22.22	95.75	0.70	0.41	9602.7	153.45	4.84
10/12/08 11:53	1032.50	17.18	4.99	1.63	22.87	96.99	0.71	0.54	10754.7	153.18	8.35

**Tabelul 27** Principalii parametri funcționali măsurați pentru șarja 7.

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 7	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
10/12/08 12:13	1042	16.58	5.82	1.41	34.75	101.03	0.63	0.54	9333.1	161.83	7.02
10/12/08 12:15	1040	16.64	5.70	1.43	27.42	99.55	0.65	0.54	9583.4	161.30	5.91
10/12/08 12:17	1040	16.65	5.87	1.43	23.56	102.00	0.69	0.66	9629.8	160.30	5.20
10/12/08 12:20	1040	16.62	5.73	1.42	20.26	102.07	0.64	0.54	9314.7	159.03	4.65
10/12/08 12:22	1038.3	16.71	5.60	1.45	20.54	97.51	0.71	0.54	9376.3	158.03	4.37
10/12/08 12:24	1038.3	16.59	5.78	1.41	19.87	93.19	0.69	0.54	9398.6	157.00	3.99
10/12/08 12:26	1039.5	16.61	5.63	1.42	18.27	95.18	0.69	0.41	9380.8	156.00	3.77
10/12/08 12:28	1038.7	16.54	5.75	1.40	16.87	95.20	0.68	0.41	9759.6	155.23	3.57
10/12/08 12:30	1038.7	16.59	5.67	1.41	17.94	90.97	0.69	0.41	9464.7	153.98	3.48
10/12/08 12:32	1037.9	16.65	5.54	1.43	18.00	89.92	0.70	0.03	9567.5	153.28	3.41
10/12/08 12:34	1038.3	16.65	5.48	1.43	17.72	89.07	0.69	0.54	9863.2	152.45	3.34



10/12/08 12:36	1036.6	16.80	5.33	1.48	17.44	90.87	0.72	0.54	9658.1	151.70	3.30
10/12/08 12:38	1033.7	16.74	5.29	1.46	17.75	87.23	0.74	0.66	9884.4	150.68	3.15
10/12/08 12:40	1028.3	17.00	5.03	1.56	18.44	84.74	0.75	0.54	9896.7	150.15	3.32
10/12/08 12:42	1022.5	17.06	4.96	1.58	18.89	81.93	0.76	0.41	9934.4	149.40	3.24
10/12/08 12:44	1015.4	17.26	4.63	1.67	19.52	71.30	0.81	0.54	9986.5	148.90	3.32
10/12/08 12:46	1007.9	17.37	4.49	1.71	20.48	70.67	0.84	0.41	9639.0	148.13	3.29
10/12/08 12:49	1000.8	17.44	4.40	1.75	20.69	71.41	0.88	0.54	9976.3	147.63	3.26
10/12/08 12:51	1013.7	17.62	4.10	1.84	22.61	68.41	0.89	0.41	10489.6	147.35	3.43

**Tabelul 28** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 8.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NOx	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 8	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
10/12/08 16:25	1028.7	16.75	6.15	1.47	17.76	138.22	0.81	0.66	9844.1	163.10	4.08
10/12/08 16:27	1068.1	15.83	7.09	1.20	15.00	126.18	0.62	0.66	9968.7	162.85	3.48
10/12/08 16:29	1108.9	14.99	7.89	1.04	12.46	73.62	0.53	0.66	9849.7	162.85	3.11

10/12/08 16:31	1123.6	15.12	7.45	1.06	11.95	67.13	0.58	0.03	9750.3	163.15	3.23
10/12/08 16:33	1132	15.40	7.26	1.11	13.86	88.63	0.65	0.66	9780.0	163.35	3.46
10/12/08 16:35	1124	15.62	6.79	1.16	15.14	90.83	0.68	0.66	9780.0	163.35	3.69
10/12/08 16:37	1113.8	16.20	6.06	1.30	18.03	99.24	0.79	0.66	9793.9	163.60	4.25
10/12/08 16:39	1103.6	16.51	5.81	1.39	20.22	108.39	1.04	0.66	9741.8	164.10	4.64
10/12/08 16:41	1091.8	16.63	5.63	1.43	21.95	116.41	1.23	0.66	9700.3	164.10	4.85
10/12/08 16:43	1079.5	16.96	5.28	1.54	26.49	125.75	1.33	0.66	9614.5	164.38	5.39
10/12/08 16:45	1068.9	17.02	5.21	1.56	26.84	124.67	1.45	0.66	9595.1	164.38	5.66
10/12/08 16:48	1061.2	16.93	5.25	1.53	27.47	121.10	1.39	0.66	9506.6	164.88	5.59
10/12/08 16:50	1054.6	17.09	5.16	1.59	29.71	122.59	1.35	0.66	9491.2	164.60	5.83
10/12/08 16:52	1050.6	16.96	5.32	1.54	26.73	116.98	1.15	0.66	9467.8	164.88	5.64
10/12/08 16:54	1046.5	16.83	5.19	1.49	25.78	117.17	0.98	0.66	9463.9	164.88	5.47
10/12/08 16:56	1043.6	17.08	5.17	1.59	26.65	117.31	0.96	0.66	9501.7	165.10	5.86
10/12/08 16:58	1041.2	17.01	5.28	1.56	24.83	113.66	0.92	0.66	9578.7	165.13	5.68

10/12/08 17:00	1040.8	16.88	5.58	1.51	23.47	122.06	0.81	0.66	9475.3	165.13	5.55
10/12/08 17:02	1038.7	16.68	5.91	1.44	24.45	142.04	0.80	0.66	9446.4	164.88	5.45
10/12/08 17:04	1033.7	16.94	5.43	1.53	27.15	105.63	0.87	0.66	9481.7	165.13	5.77
10/12/08 17:06	1027.5	16.99	5.20	1.56	25.89	102.55	0.84	0.66	9396.9	165.38	5.79
10/12/08 17:08	1028.3	17.25	4.85	1.66	26.63	98.20	0.89	0.66	9608.5	165.63	6.03

**Tabelul 29** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 9.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 9	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
18/12/08 11:24	1055.9	16.28	7.44	255.44	15.14	87.49	0.70	0.93	12184.8	145.10	1.85
18/12/08 11:26	1065.7	16.62	5.96	1.42	16.67	128.18	0.81	0.91	12221.0	145.10	2.03
18/12/08 11:28	1068.9	17.15	5.36	1.62	18.43	141.54	0.98	0.91	12234.2	144.85	2.38
18/12/08 11:30	1074.2	17.10	5.49	1.60	17.70	138.86	1.70	0.91	12204.8	145.10	2.33
18/12/08 11:32	1079.5	16.82	5.58	1.49	16.68	123.64	1.15	0.91	12252.8	145.10	2.24
18/12/08 11:34	1082.4	17.08	5.42	1.59	17.60	130.53	1.95	0.91	12172.6	145.10	2.41

18/12/08 11:37	1083.2	17.08	5.52	1.59	20.49	117.31	1.63	0.91	12292.9	145.10	2.36
18/12/08 11:39	1083.2	17.04	5.34	1.57	19.11	113.69	1.09	1.05	12245.5	145.35	2.41
18/12/08 11:41	1081.6	17.30	5.10	1.68	21.49	114.26	1.13	0.91	12252.3	145.60	2.60
18/12/08 11:43	1079.5	17.53	4.84	1.80	21.60	116.34	0.97	0.91	12232.3	145.60	2.80
18/12/08 11:45	1075.5	17.49	4.66	1.77	22.09	108.23	0.98	1.04	12270.9	145.85	2.73
18/12/08 11:47	1068.5	17.47	4.43	1.76	21.98	103.18	0.97	1.04	12208.9	145.85	2.70
18/12/08 11:49	1057.1	17.96	4.07	2.05	23.85	97.37	1.24	1.05	12223.6	146.10	3.08
18/12/08 11:51	1046.9	18.13	3.81	2.17	25.42	96.26	1.40	1.05	12327.5	146.38	3.16
18/12/08 11:53	1037.5	18.23	3.47	2.25	27.53	100.48	1.19	0.91	12369.5	146.38	3.35

**Tabelul 30** *Principalii parametri funcționali măsurați pentru șarja 10.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 10	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
18/12/08 11:55	1057.1	16.83	6.58	1.49	16.37	133.87	0.79	1.05	12457.4	146.38	2.25
18/12/08 11:57	1074.2	16.45	6.90	1.37	15.49	142.07	0.81	1.05	12450.7	146.60	2.06

18/12/08 11:59	1080.4	17.00	5.60	1.56	17.75	154.06	2.54	1.05	12495.0	147.13	2.32
18/12/08 12:01	1081.6	17.19	5.20	1.63	18.30	162.55	3.20	1.18	12435.1	147.13	2.44
18/12/08 12:03	1080.0	17.31	5.11	1.69	18.10	162.54	2.30	1.05	12328.1	147.38	2.60
18/12/08 12:06	1080.8	17.23	5.25	1.65	18.51	157.55	2.47	1.18	12392.3	147.90	2.57
18/12/08 12:08	1080.8	17.28	5.05	1.67	17.63	157.61	1.59	1.18	12404.9	148.15	2.57
18/12/08 12:10	1077.1	17.54	4.83	1.80	19.40	150.92	1.25	1.18	12411.5	148.15	2.76
18/12/08 12:12	1071.8	17.52	4.76	1.79	19.62	141.46	1.50	1.05	12288.8	148.65	2.80
18/12/08 12:14	1065.7	17.62	4.56	1.84	19.65	122.34	2.11	1.18	12357.0	148.65	2.83
18/12/08 12:16	1060.4	17.81	4.39	1.95	22.23	125.14	2.38	1.18	12323.8	148.90	3.04
18/12/08 12:18	1054.2	17.82	4.37	1.96	22.51	117.77	2.43	0.03	12474.6	148.95	3.06
18/12/08 12:20	1047.7	17.99	4.02	2.07	22.95	101.60	3.48	1.18	12349.7	148.90	3.12
18/12/08 12:22	1039.5	18.14	3.84	2.18	23.50	96.77	3.52	1.18	12429.1	148.90	3.28
18/12/08 12:24	1043.6	18.25	3.83	2.26	24.84	111.14	2.36	1.18	12510.6	148.90	3.36

5.5 - Date experimentale 133

**Tabelul 31** Principalii parametri funcționali măsurați pentru șarja 11.

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 11	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
18/12/08 12:26	1055.5	17.42	4.98	1.74	18.51	142.89	2.30	1.18	12112.4	148.90	2.67
18/12/08 12:28	1060.8	17.56	4.88	1.81	20.05	152.65	2.73	1.18	12072.7	148.90	2.73
18/12/08 12:30	1062.4	17.57	4.65	1.82	19.73	157.38	3.53	1.18	12073.3	148.90	2.74
18/12/08 12:32	1065.7	17.49	4.80	1.78	19.69	163.85	2.91	1.18	12135.6	148.88	2.68
18/12/08 12:35	1066.9	17.48	4.98	1.77	19.40	166.97	2.51	1.18	12013.6	148.90	2.66
18/12/08 12:37	1069.3	17.44	4.92	1.75	18.49	153.68	1.96	1.18	12152.8	148.90	2.62
18/12/08 12:39	1070.2	17.46	4.96	1.76	19.32	142.41	2.35	1.43	12092.6	148.90	2.70
18/12/08 12:41	1070.2	17.49	5.00	1.78	20.11	142.58	3.87	1.18	12007.8	148.90	2.71
18/12/08 12:43	1068.9	17.52	4.87	1.79	21.16	137.60	2.58	1.05	11866.7	148.90	2.68
18/12/08 12:45	1064.8	17.68	4.63	1.88	20.57	129.59	2.97	0.91	11767.3	148.90	2.87
18/12/08 12:47	1060.8	17.72	4.58	1.90	21.79	130.02	2.96	1.18	11806.5	148.90	2.90
18/12/08	1055.1	17.90	4.26	2.01	20.67	118.53	3.08	1.30	11892.3	148.90	2.98

12:49											
18/12/08 12:51	1048.1	18.04	3.99	2.10	22.42	104.48	1.86	1.18	11924.4	148.90	3.19
18/12/08 12:53	1041.6	18.10	4.07	2.15	25.38	104.01	1.64	1.18	11946.2	148.90	3.13
18/12/08 12:55	1034.5	18.14	3.83	2.18	24.65	98.70	1.61	1.18	12127.1	148.90	3.19
18/12/08 12:57	1055.1	18.36	3.59	2.35	26.11	109.08	1.50	1.18	11995.8	148.63	3.42

**Tabelul 32** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 12.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 12	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
18/12/08 13:47	1093.4	15.56	7.62	182.03	16.65	88.13	0.68	1.18	11973.2	148.65	1.98
18/12/08 13:49	1095.9	17.08	5.34	1.59	23.62	153.31	1.12	1.18	12027.9	148.40	2.70
18/12/08 13:51	1095.1	17.41	5.07	1.74	24.89	166.62	1.54	1.04	12020.7	148.65	2.93
18/12/08 13:53	1092.6	17.43	5.07	1.74	25.56	173.62	1.30	1.30	12315.2	148.65	2.97
18/12/08 13:55	1091	17.51	4.76	1.79	25.39	163.64	1.06	1.18	12376.9	148.65	3.08
18/12/08 13:58	1092.6	17.61	4.84	1.84	26.37	171.46	1.24	1.30	12000.3	148.65	3.09
18/12/08	1093.8	17.41	5.17	1.74	24.75	175.82	1.05	1.18	12087.3	148.90	2.97

14:00											
18/12/08 14:02	1095.9	17.47	5.19	1.76	24.95	168.27	1.03	1.16	12140.1	148.65	3.01
18/12/08 14:04	1095.1	17.59	4.99	1.83	26.04	182.08	1.07	1.18	12027.7	148.90	3.10
18/12/08 14:06	1094.2	17.51	4.94	1.79	25.46	178.71	1.10	1.18	12395.4	148.90	3.03
18/12/08 14:08	1092.6	17.71	4.72	1.89	28.80	180.72	1.17	1.18	12374.9	148.90	3.19
18/12/08 14:10	1088.9	17.65	4.66	1.86	26.48	167.32	1.10	1.30	12376.9	148.65	3.03
18/12/08 14:12	1085.7	17.79	4.54	1.94	26.46	161.50	1.07	1.18	12261.5	148.65	3.24
18/12/08 14:14	1083.2	17.73	4.74	1.91	26.74	158.68	1.01	1.18	12281.4	148.65	3.20
18/12/08 14:16	1073.8	17.78	4.42	1.93	27.92	122.08	1.44	1.18	11919.3	148.65	3.30
18/12/08 14:18	1067.7	17.99	4.27	2.07	28.82	143.98	1.39	1.18	11898.8	148.65	3.46
18/12/08 14:20	1060.4	18.07	4.01	2.13	31.01	127.80	1.87	1.05	12080.4	148.65	3.50
18/12/08 14:22	1049.3	18.38	3.57	2.38	33.33	115.21	2.09	1.18	12241.6	148.65	3.74
18/12/08 14:25	1075.5	18.20	4.47	2.23	32.61	159.91	4.51	1.18	12189.1	148.40	3.47



**Tabelul 33** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 13.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 13	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
27/12/08 08:03	847.3	17.71	4.78	1.89	24.79	110.81	0.88	0.29	9418.8	155.23	2.04
27/12/08 08:05	863.9	16.99	4.90	1.56	20.16	114.15	0.76	0.29	9522.3	155.20	1.68
27/12/08 08:07	873.9	17.02	4.92	1.57	20.85	111.55	0.76	0.29	9582.9	155.20	1.78
27/12/08 08:09	876.5	17.24	4.51	1.66	20.82	91.64	0.80	0.41	9659.4	155.48	1.80
27/12/08 08:11	874.3	17.42	4.24	1.74	22.45	81.02	0.85	0.29	9740.1	155.48	1.86
27/12/08 08:14	868.6	17.39	4.34	1.73	21.36	78.25	0.78	0.41	9699.8	155.48	1.86
27/12/08 08:16	862.6	17.50	4.22	1.78	21.03	82.69	0.83	0.29	9590.2	155.98	1.99
27/12/08 08:18	855.6	17.58	4.12	1.82	23.50	79.07	0.85	0.29	9602.3	156.23	2.03
27/12/08 08:20	846.9	17.66	3.93	1.87	22.68	76.96	0.84	0.29	9508.7	156.73	2.15
27/12/08 08:22	837.8	17.73	3.81	1.90	22.54	81.51	0.88	0.41	9471.5	157.50	2.19
27/12/08 08:24	830.4	17.95	3.62	2.04	25.65	85.28	1.00	0.29	9535.2	158.25	2.34

27/12/08 08:26	824.3	17.99	3.54	2.07	25.90	83.14	0.96	0.41	9301.4	158.78	2.44
27/12/08 08:28	824.7	18.05	3.45	2.11	27.23	93.71	1.02	0.41	9331.2	159.25	2.54
27/12/08 08:30	828.2	17.77	3.79	1.93	22.58	83.63	0.90	0.41	9360.8	160.03	2.38
27/12/08 08:32	828.2	17.78	3.70	1.94	24.51	84.02	0.87	0.41	9343.6	160.53	2.49
27/12/08 08:34	826.5	17.78	3.63	1.93	24.84	84.62	0.90	0.41	9413.5	161.05	2.48
27/12/08 08:36	823	17.86	3.61	1.98	23.44	86.73	0.89	0.29	9358.0	161.80	2.60
27/12/08 08:39	819.5	17.90	3.50	2.01	26.04	83.96	0.87	0.41	9341.8	162.55	2.62
27/12/08 08:41	817.7	18.02	3.31	2.09	26.90	95.86	0.94	0.41	9394.5	163.08	2.75

**Tabelul 34** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 14.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
27/12/08 08:43	832.6	16.89	5.03	1.52	18.71	91.08	0.76	0.41	9319.9	163.58	2.06
27/12/08 08:45	850.8	16.17	5.48	1.29	16.49	82.34	0.56	0.41	9347.3	164.35	1.87
27/12/08 08:47	870.4	16.16	5.25	1.29	23.09	78.05	0.62	0.54	9346.7	165.10	1.87

27/12/08 08:49	880.8	16.80	5.11	1.48	30.47	88.99	0.72	0.41	9281.2	165.60	2.15
27/12/08 08:51	891.4	16.19	5.29	1.30	48.58	69.68	0.64	0.54	9137.5	165.58	2.10
27/12/08 08:53	909.7	16.32	5.49	1.33	77.30	79.39	0.62	0.54	9083.1	165.35	2.07
27/12/08 08:55	918.2	16.19	5.87	1.29	42.31	70.40	0.60	0.54	9117.4	164.85	1.86
27/12/08 08:57	924.2	15.98	5.79	1.24	27.46	69.40	0.60	0.54	9149.1	164.08	1.71
27/12/08 08:59	925.1	15.99	5.78	1.24	22.33	67.65	0.58	0.41	9203.5	163.58	1.89
27/12/08 09:01	924.2	16.13	5.88	1.28	56.48	66.23	0.59	0.41	9154.5	163.08	2.27
27/12/08 09:03	926.3	16.26	5.57	1.31	35.04	69.41	0.61	0.41	9225.1	162.55	2.64
27/12/08 09:06	927.2	16.22	5.61	1.30	53.77	77.03	0.57	0.41	9331.7	162.30	2.77
27/12/08 09:08	925.1	16.46	5.54	1.37	61.93	78.85	0.60	0.41	9154.2	162.05	3.08
27/12/08 09:10	922.1	16.45	5.38	1.40	63.49	81.65	0.60	0.41	9300.7	161.80	3.15
27/12/08 09:12	919.5	16.53	5.33	1.42	73.79	77.93	0.61	0.41	9320.6	161.80	3.31
27/12/08 09:14	916.5	16.54	5.28	1.40	81.23	72.43	0.61	0.41	9396.7	162.05	3.44
27/12/08 09:16	914.0	16.53	5.34	1.42	87.76	72.74	0.61	0.41	9456.3	162.05	3.36

5.5 - Date experimentale 139

27/12/08 09:18	908.9	16.75	4.85	1.46	81.78	68.10	0.64	0.41	9396.7	162.05	3.51
27/12/08 09:20	902.1	16.95	4.81	1.54	74.48	73.89	0.65	0.41	9108.7	162.33	2.96
27/12/08 09:22	892.3	17.12	4.47	1.61	72.58	78.22	0.70	0.41	9009.9	162.30	2.62
27/12/08 09:24	882.1	17.47	3.95	1.77	46.89	79.36	0.79	0.41	9366.1	162.55	2.66
27/12/08 09:26	873.4	17.76	3.65	1.92	39.35	83.48	0.87	0.41	9169.8	162.55	2.78
27/12/08 09:28	865.2	17.99	3.29	2.07	36.42	83.31	1.01	0.41	9646.0	162.55	2.73
27/12/08 09:30	859.5	18.28	2.94	2.29	37.19	90.69	1.15	0.41	9626.1	162.55	2.64
27/12/08 09:32	852.1	18.43	2.78	2.42	36.08	83.25	1.18	0.41	9583.1	161.80	2.51
27/12/08 09:35	854.3	18.57	2.62	2.56	35.46	84.06	1.42	0.41	9797.8	160.30	2.32
27/12/08 09:37	854.7	18.66	2.49	2.67	36.88	87.41	1.47	0.29	9682.0	158.25	2.16
27/12/08 09:39	852.6	18.72	2.42	2.73	37.27	79.94	1.51	0.29	9753.5	155.98	2.12
27/12/08 09:41	850.0	18.78	2.32	2.80	34.88	85.73	1.55	0.29	9846.5	153.68	1.92
27/12/08 09:43	846.9	18.82	2.26	2.85	35.89	75.62	1.58	0.29	9905.1	151.15	1.91
27/12/08 09:45	843.9	18.89	2.23	2.95	36.19	81.10	1.63	0.29	9902.9	148.63	1.88

27/12/08 09:47	843.4	18.90	2.17	2.97	36.68	77.01	1.60	0.29	10035.2	146.60	1.72
-------------------	-------	-------	------	------	-------	-------	------	------	---------	--------	------

**Tabelul 35** Principalii parametrii funcționali măsurăți pentru șarja 15.

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
27/12/08 09:49	855.6	17.33	4.22	1.70	20.30	64.69	0.90	0.29	9969.2	144.30	0.95
27/12/08 09:51	860.8	17.52	4.04	1.79	21.74	65.34	0.94	0.29	9795.0	142.80	0.99
27/12/08 09:53	859.5	17.78	3.74	1.94	23.30	67.67	1.02	0.29	9953.8	141.28	1.07
27/12/08 09:55	854.7	18.00	3.43	2.08	24.84	66.91	1.07	0.29	9957.1	140.25	1.15
27/12/08 09:57	849.5	18.21	3.20	2.24	25.49	80.30	1.18	0.29	9900.3	139.25	1.25
27/12/08 09:59	853	18.13	3.22	2.17	27.57	87.41	1.11	0.29	9833.7	138.23	1.06
27/12/08 10:01	854.7	18.18	3.17	2.21	26.57	89.77	1.13	0.33	10020.4	137.30	1.16
27/12/08 10:04	854.7	18.30	2.93	2.31	29.02	87.87	1.22	0.29	10075.7	136.45	1.13
27/12/08 10:06	853	18.47	2.74	2.46	28.35	96.13	1.30	0.29	10017.3	135.95	1.30
27/12/08 10:08	851.3	18.50	2.68	2.49	28.65	94.72	1.31	0.29	10100.4	135.45	1.26

27/12/08 10:10	849.1	18.57	2.62	2.57	30.38	93.74	1.36	0.29	10114.9	134.68	1.20
27/12/08 10:12	847.3	18.58	2.58	2.58	31.30	96.62	1.36	0.29	10132.0	134.18	1.31
27/12/08 10:14	845.6	18.59	2.58	2.58	31.38	94.32	1.39	0.29	10338.0	133.68	1.26
27/12/08 10:16	843.9	18.62	2.51	2.62	30.68	88.95	1.41	0.29	10415.3	133.15	1.30
27/12/08 10:18	842.6	18.63	2.51	2.63	31.11	90.32	1.41	0.29	10492.1	132.65	1.32
27/12/08 10:20	840.8	18.63	2.51	2.63	29.77	82.06	1.45	0.29	10276.1	132.68	1.17
27/12/08 10:22	846.5	18.42	3.27	2.41	28.04	102.16	1.21	0.29	10274.4	131.90	1.08

**Tabelul 36** *Principali parametri funcționali măsurați pentru șarja 16.*

Data/ora	tc7	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	Pulberi	Debit	Temp. coș	HCl
Șarja 16	[°C]	[%Vol.]	[%Vol.]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[°C]	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
27/12/08 10:24	850.8	17.82	3.81	1.96	23.15	86.81	0.99	0.29	10231.7	131.90	0.82
27/12/08 10:27	855.2	17.80	3.77	1.94	23.38	108.76	0.98	0.29	10044.1	131.63	0.90
27/12/08 10:29	860.8	17.61	3.96	1.84	22.30	87.20	0.94	0.29	10146.2	131.90	0.80
27/12/08 10:31	863.9	17.55	3.92	1.81	20.60	85.83	0.93	0.29	10208.8	131.88	0.81

27/12/08 10:33	866.9	17.62	3.88	1.84	22.50	89.24	0.97	0.29	10167.6	131.90	0.85
27/12/08 10:35	868.6	17.56	3.99	1.81	20.64	84.21	0.93	0.29	10052.4	132.15	0.83
27/12/08 10:37	873.0	17.59	4.17	1.83	20.84	82.15	0.89	0.29	10010.9	132.10	0.76
27/12/08 10:39	876.9	17.49	4.03	1.77	21.32	90.83	0.91	0.29	10155.0	132.40	0.79
27/12/08 10:41	873.4	17.66	3.84	1.87	21.87	82.83	0.96	0.29	10082.2	132.65	0.84
27/12/08 10:43	870.0	17.69	3.77	1.88	22.62	77.52	0.99	0.29	10068.2	132.65	0.83
27/12/08 10:45	866.9	17.82	3.53	1.96	23.15	76.44	1.11	0.29	10226.3	133.15	0.85
27/12/08 10:47	866.5	17.83	3.65	1.96	23.45	75.89	1.06	0.29	10118.2	133.13	0.86
27/12/08 10:49	866.5	17.65	3.81	1.86	21.77	69.69	1.03	0.29	10247.6	133.15	0.88
27/12/08 10:51	867.3	17.80	3.68	1.95	22.66	69.97	1.09	0.29	10129.4	133.43	0.93
27/12/08 10:54	862.6	17.71	4.15	1.89	22.41	82.18	0.93	0.41	10245.2	133.90	1.59
27/12/08 10:56	860.8	17.43	4.06	1.74	50.47	73.56	0.88	0.29	10163.9	135.45	2.77
27/12/08 10:58	858.2	17.65	3.86	1.86	91.97	77.71	1.05	0.29	10169.4	137.98	3.65
27/12/08 11:00	856.9	17.49	4.06	1.77	93.29	73.08	0.91	0.29	9996.7	140.75	4.27

5.5 - Date experimentale 143

27/12/08 11:02	858.2	17.45	4.10	1.75	34.59	73.25	0.87	0.29	9991.3	143.55	4.80
27/12/08 11:04	854.7	17.59	3.92	1.82	35.33	80.22	0.92	0.29	9790.8	145.83	5.02
27/12/08 11:06	854.3	17.57	4.04	1.81	36.36	81.58	0.93	0.29	9862.8	148.13	5.15
27/12/08 11:08	851.7	17.62	3.84	1.84	35.14	80.93	0.93	0.29	9960.8	150.15	5.58
27/12/08 11:10	853.0	17.53	4.22	1.79	36.04	96.51	0.90	0.29	9477.2	151.93	5.43



## 5.6 Prelucrarea datelor experimentale

Prelucrarea datelor experimentale s-a efectuat folosind reprezentarea grafică cu programul de calcul Microsoft Excel 2000 și Statistica 6.0. Aceste programe se bazează pe analiza de regresie și utilizează două tipuri de metode și anume:

- metoda analizei de regresie liniară
- metoda analizei de regresie neliniară

Utilizând aceste metode s-au obținut următoarele reprezentări grafice ale datelor prezentate în **tabelele anterioare 21-36**.

În continuare se prezintă graficele pentru următoarele dependențe:

**Tipul A**  $O_2=f(\text{timp})$ ;  $CO_2=f(\text{timp})$ ;  $CO=f(\text{timp})$ ;  $SO_2=f(\text{timp})$ ;  $NO_x=f(\text{timp})$ ;  $TOC=f(\text{timp})$ ;  $Pulberi=f(\text{timp})$ ;  $Debit_{gaze\ arse}=f(\text{timp})$ ;  $Temperatura\ la\ coș=f(\text{timp})$ ;  $HCl=f(\text{timp})$ . Trebuie specificat faptul că aceste dependențe sunt reprezentate pentru fiecare șarjă luată în studiu.

**Tipul B**  $CO_2=f(O_2)$ ;  $CO=f(O_2)$ ;  $SO_2=f(O_2)$ ;  $NO_x=f(O_2)$ ;  $TOC=f(O_2)$ ;  $Pulberi=f(O_2)$ ;  $Debit_{gaze\ arse}=f(O_2)$ ;  $Temperatura\ la\ coș=f(O_2)$ ;  $HCl=f(O_2)$ .

**Tipul C**  $CO=f(TC7, O_2)$ ;  $SO_2=f(TC7, O_2)$ ;  $NO_x=f(TC7, O_2)$ ;  $TOC=f(TC7, O_2)$ ;  $Pulberi=f(TC7, O_2)$ ;  $HCl=f(TC7, O_2)$ .

### 5.6.1 Tipul A

În cele ce urmează se prezintă graficele pentru dependențele considerate de forma  $y=f(x)$ , unde  $x$  = timpul scurs de la alimentarea șarjei [minut], **figurile 41-56**:

- 1  $O_2=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = concentrația de  $O_2$  [%]
- 2  $CO_2=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = concentrația de  $CO_2$  [%]
- 3  $CO=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = concentrația de  $CO$  [ $mg/m^3$ ]
- 4  $SO_2=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = concentrația de  $SO_2$  [ $mg/m^3$ ]
- 5  $NO_x=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = concentrația de  $NO_x$  [ $mg/m^3$ ]
- 6  $TOC=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = concentrația de  $TOC$  [ $mg/m^3$ ]
- 7  $Pulberi=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = concentrația de pulberi [ $mg/m^3$ ]
- 8  $Debit=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = debitul de gaze arse la coș [ $m^3/h$ ]
- 9  $temperatura\ la\ coș=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = temperatura la coș [ $^{\circ}C$ ]
- 10  $HCl=f(\text{timp})$ , unde  $y$  = concentrația de  $HCl$  [ $mg/m^3$ ]

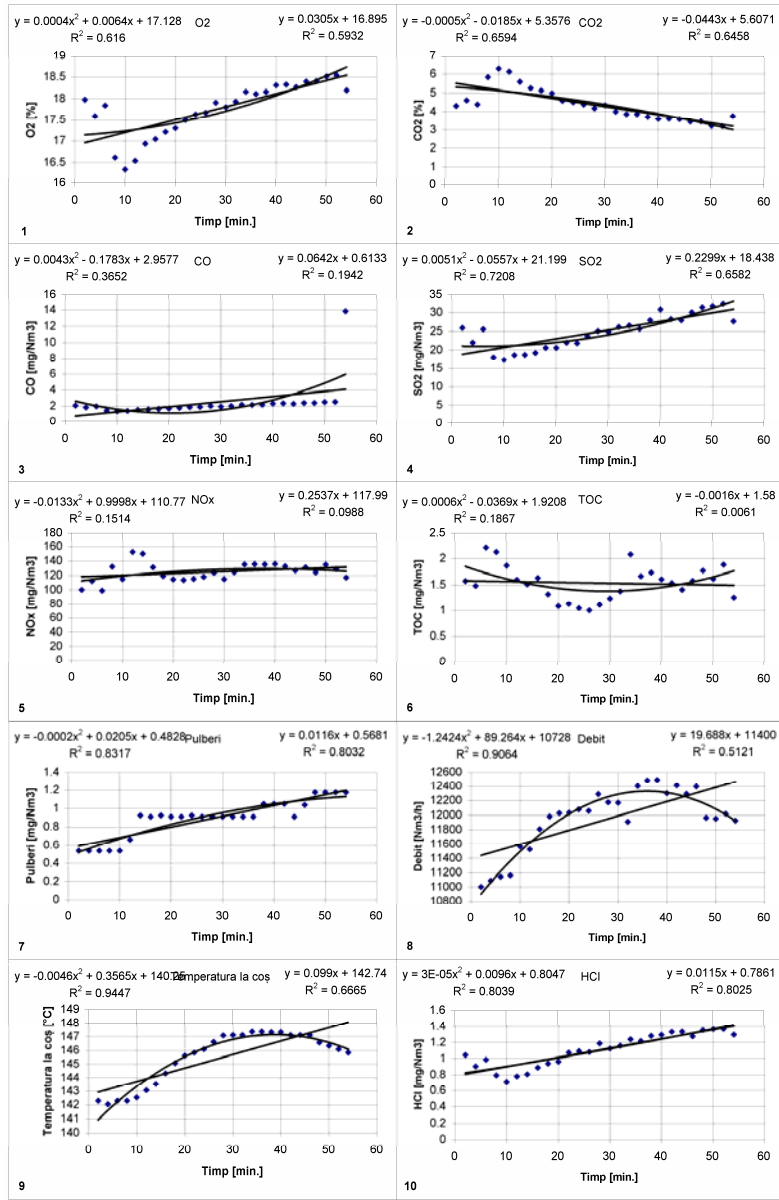


Figura 41 Reprezentarea variației principalilor parametrii măsurate la coș pentru șarja 1

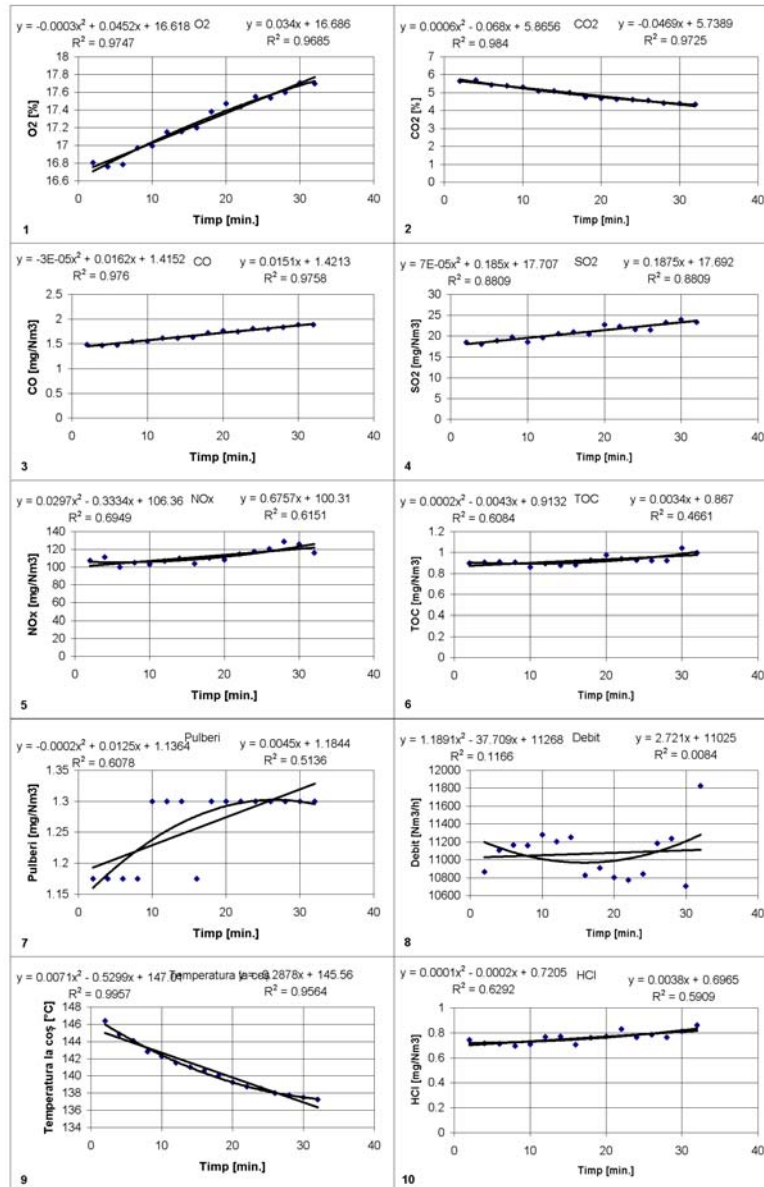


Figura 42 Reprezentarea variației principalilor parametri măsurați la coș pentru șarja 2

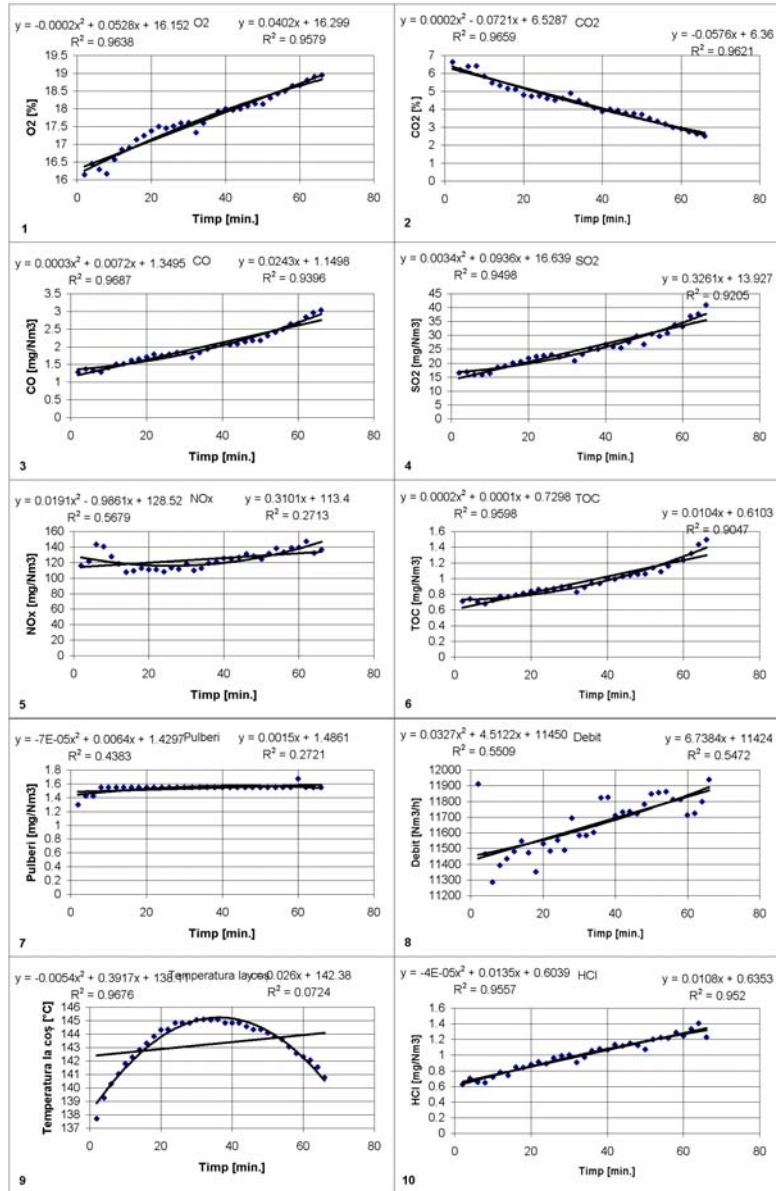


Figura 43 Reprezentarea variației principalilor parametri măsurați la coș pentru șarja 3

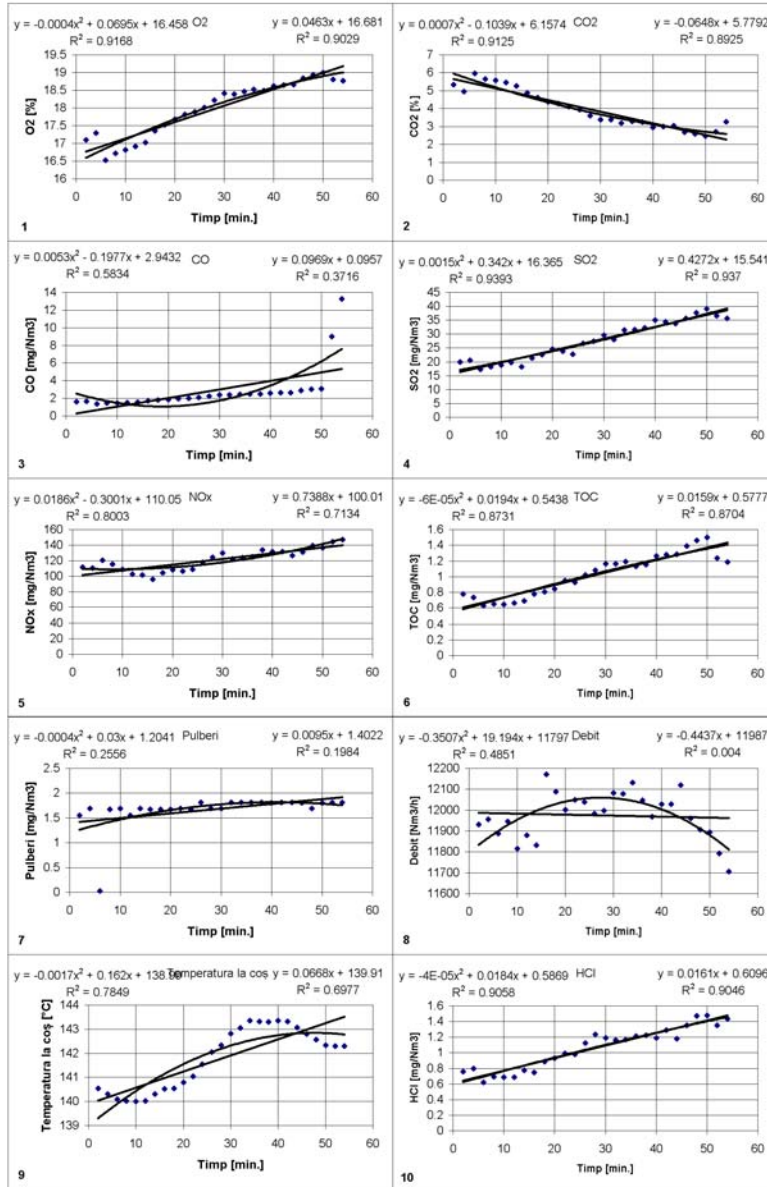


Figura 44 Reprezentarea variației principalilor parametri măsurați la coș pentru șarja 4

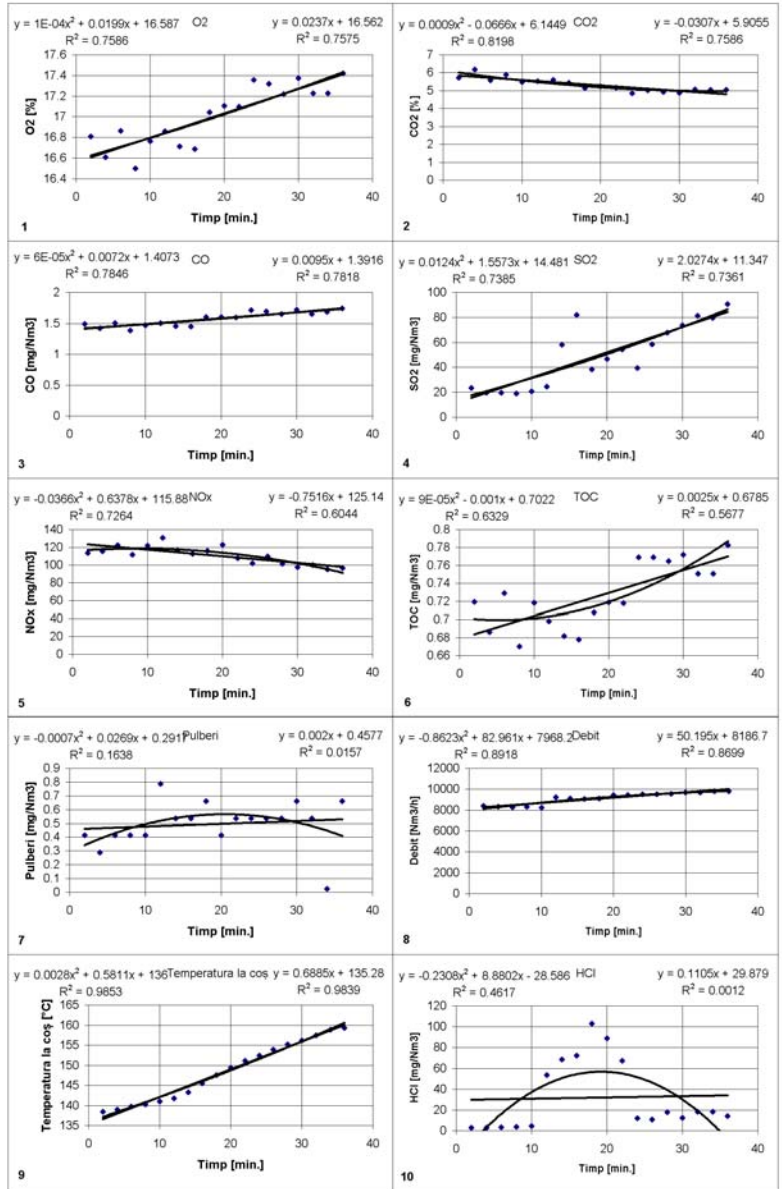


Figura 45 Reprezentarea variației principalilor parametri măsurați la coș pentru șarja 5

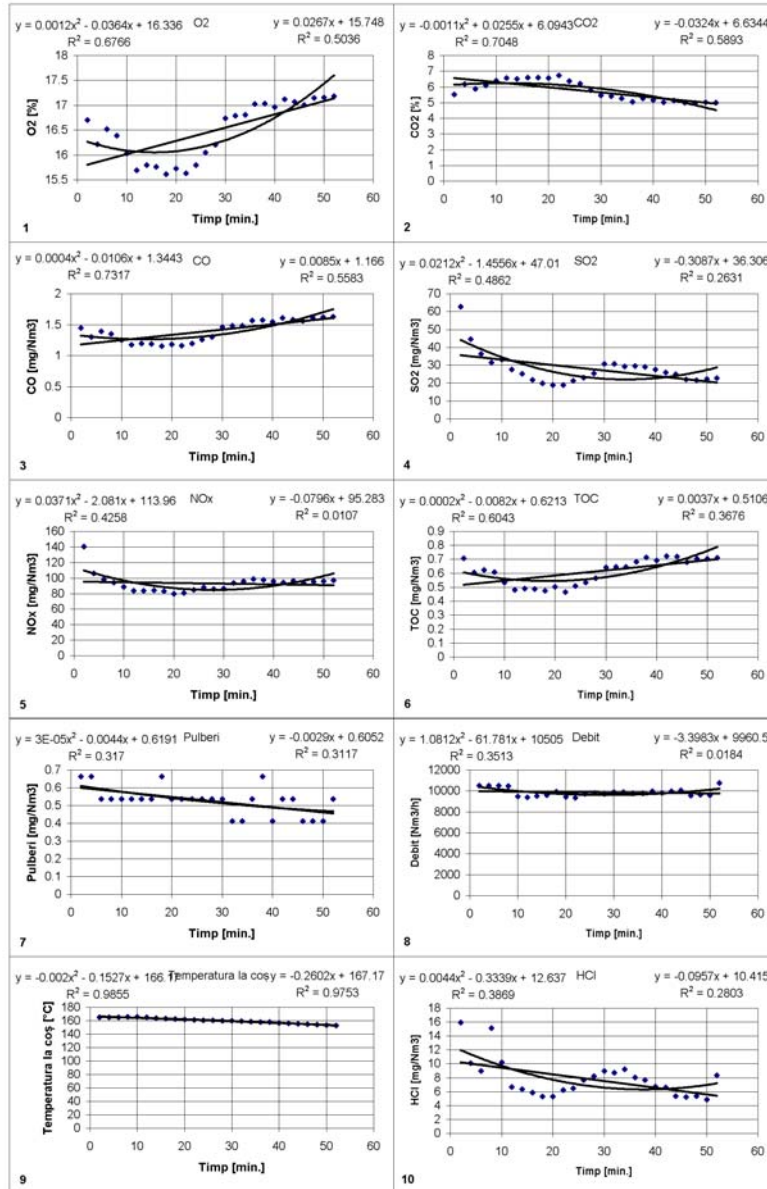


Figura 46 Reprezentarea variației principalilor parametrii măsurați la coș pentru șarja 6

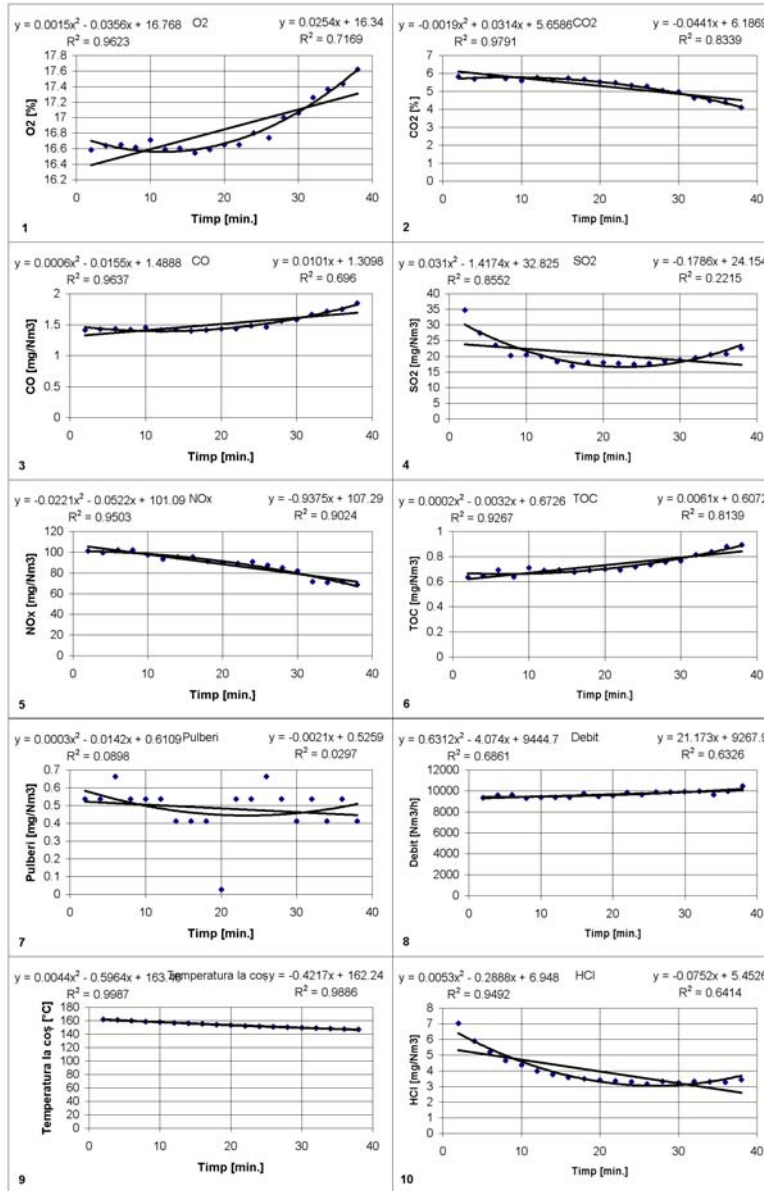


Figura 47 Reprezentarea variației principalilor parametrii măsurati la coș pentru șarja 7



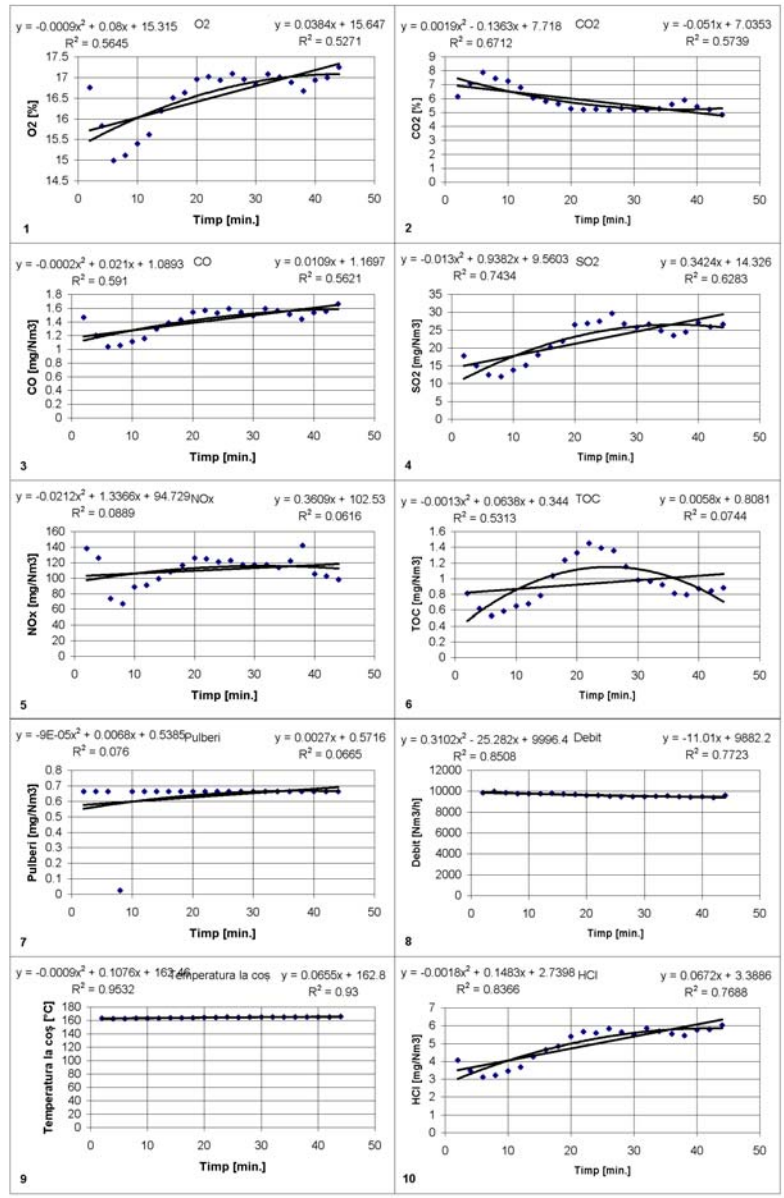


Figura 48 Reprezentarea variației principalilor parametri măsurați la coș pentru șarja 8

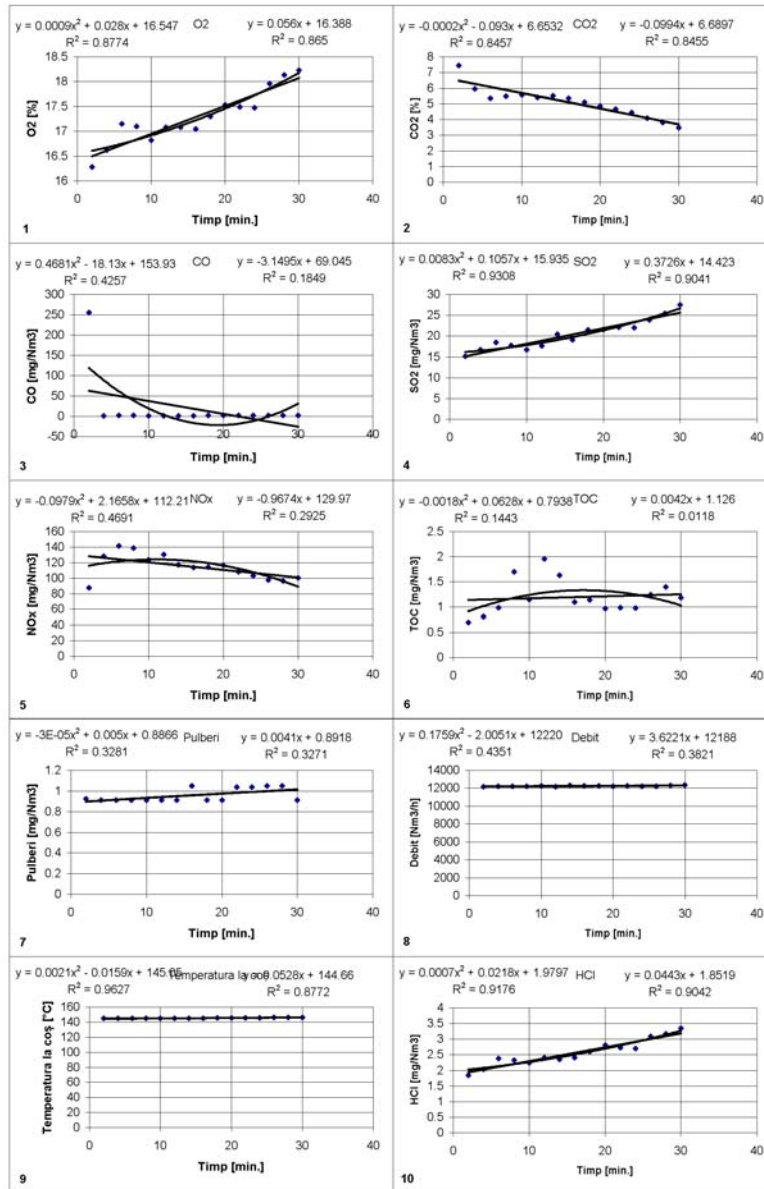


Figura 49 Reprezentarea variației principalilor parametri măsurați la coș pentru șarja 9

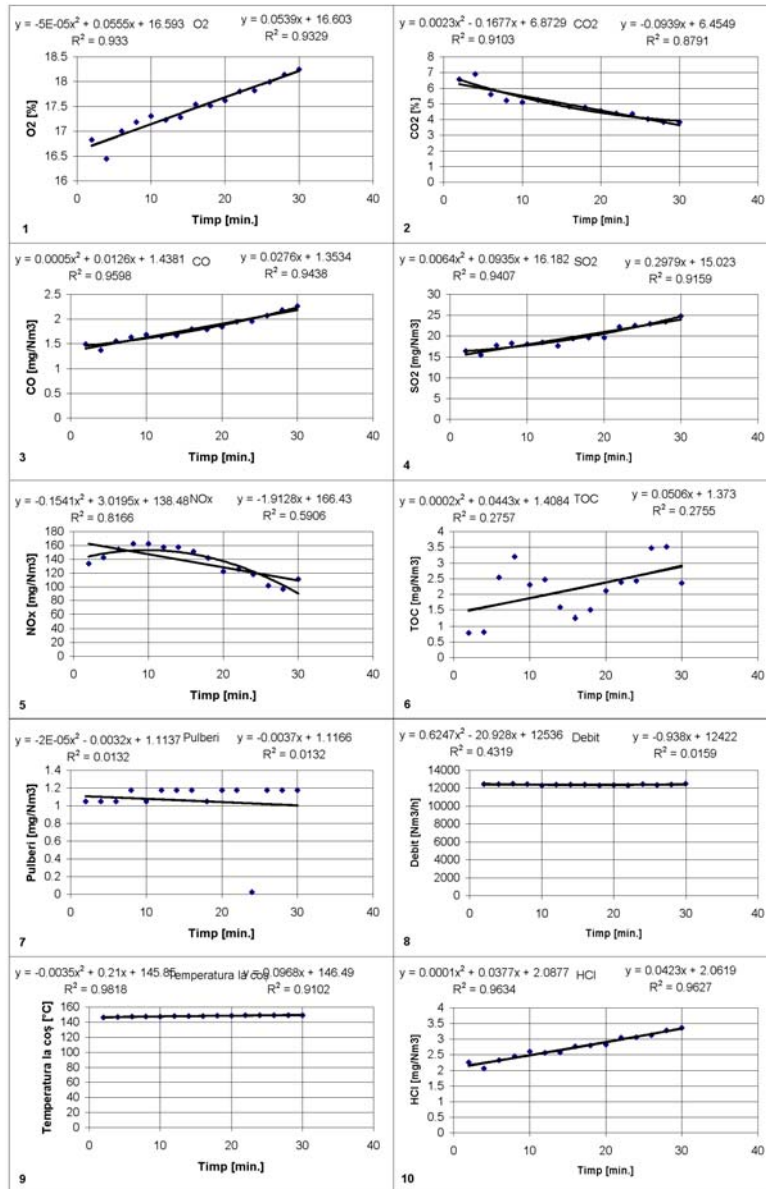


Figura 50 Reprezentarea variației principalilor parametrii măsurati la coș pentru șarja 10

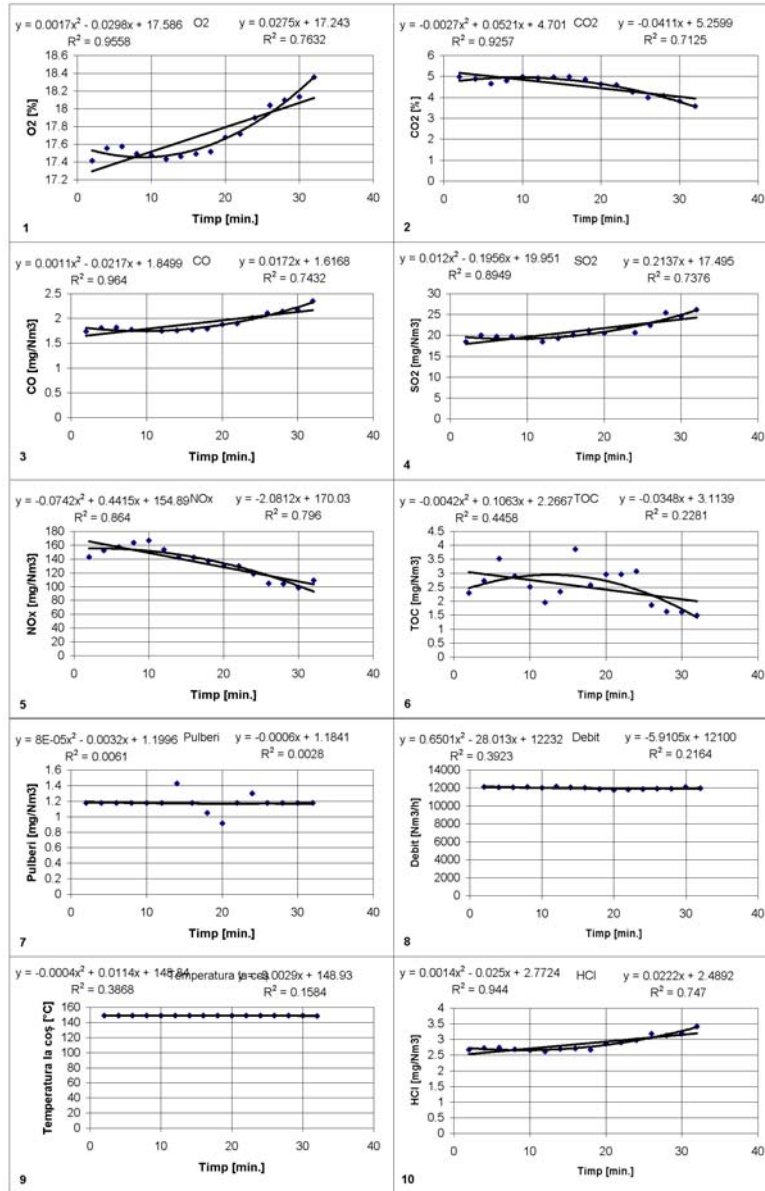


Figura 51 Reprezentarea variației principalelor parametrii măsurate la coș pentru șarja 11

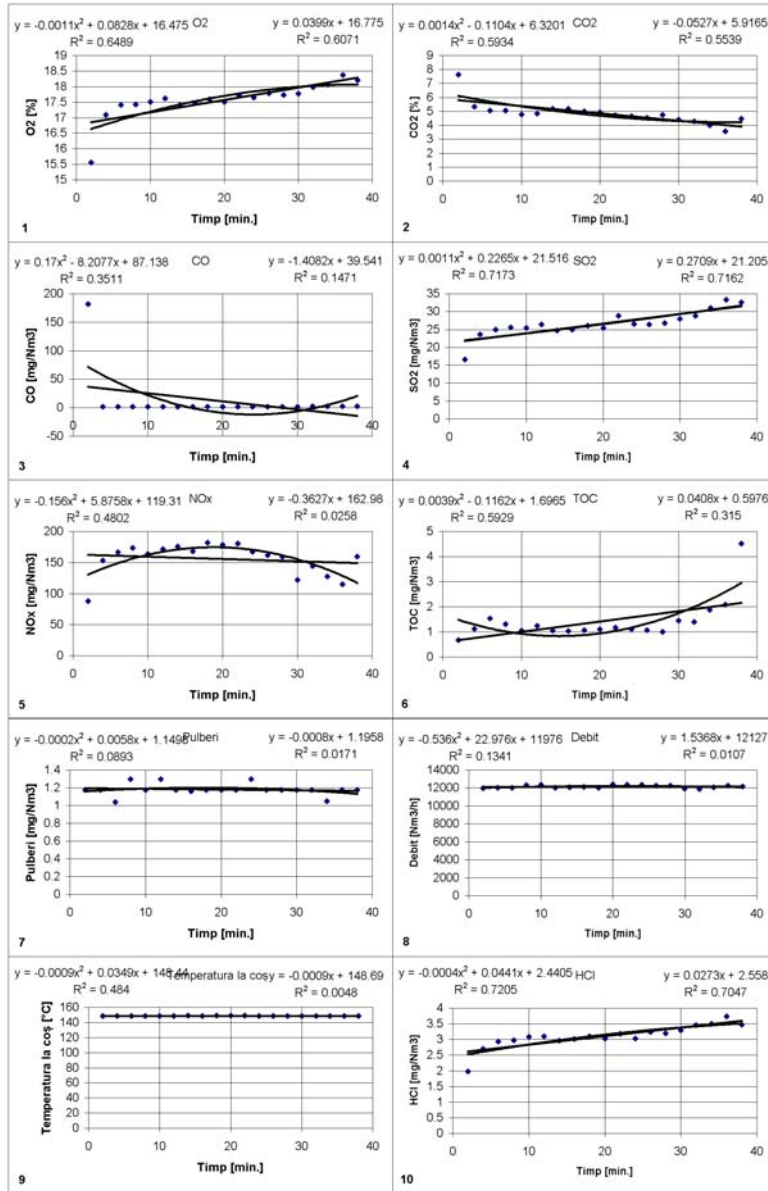


Figura 52 Reprezentarea variației principalelor parametrii măsurate la coș pentru șarja 12

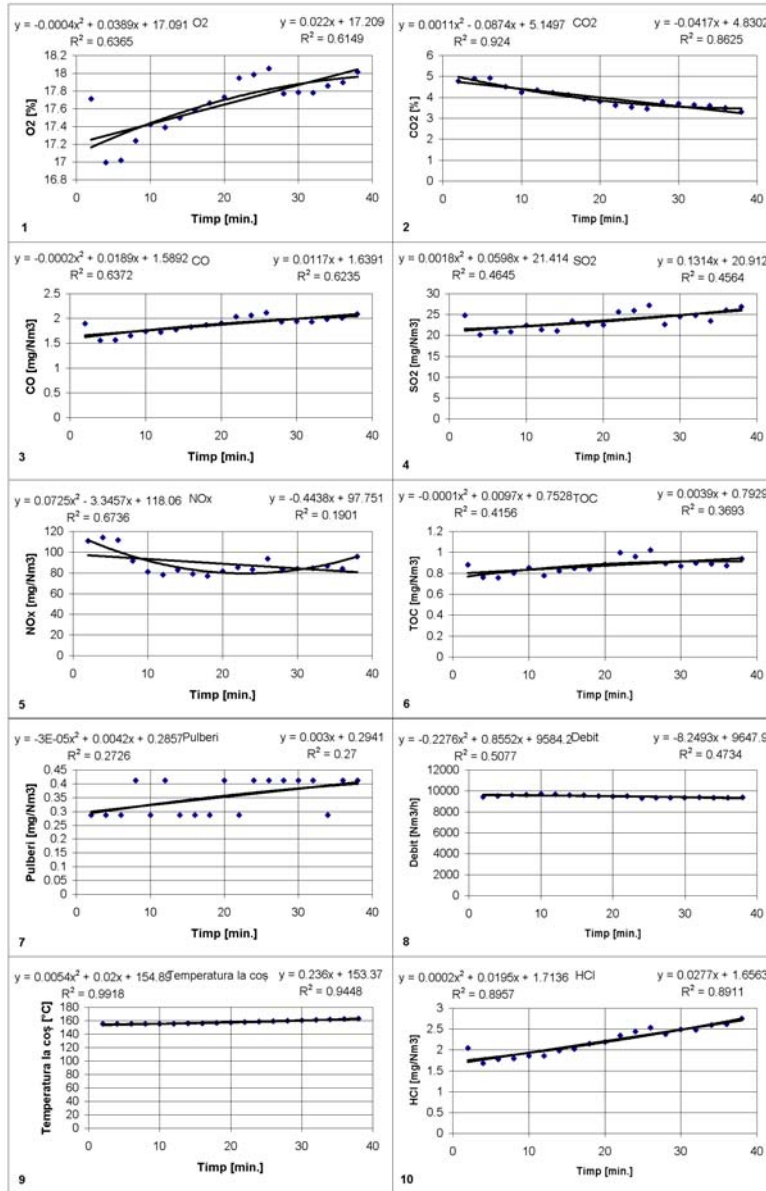


Figura 53 Reprezentarea variației principalelor parametrii măsurate la coș pentru șarja 13

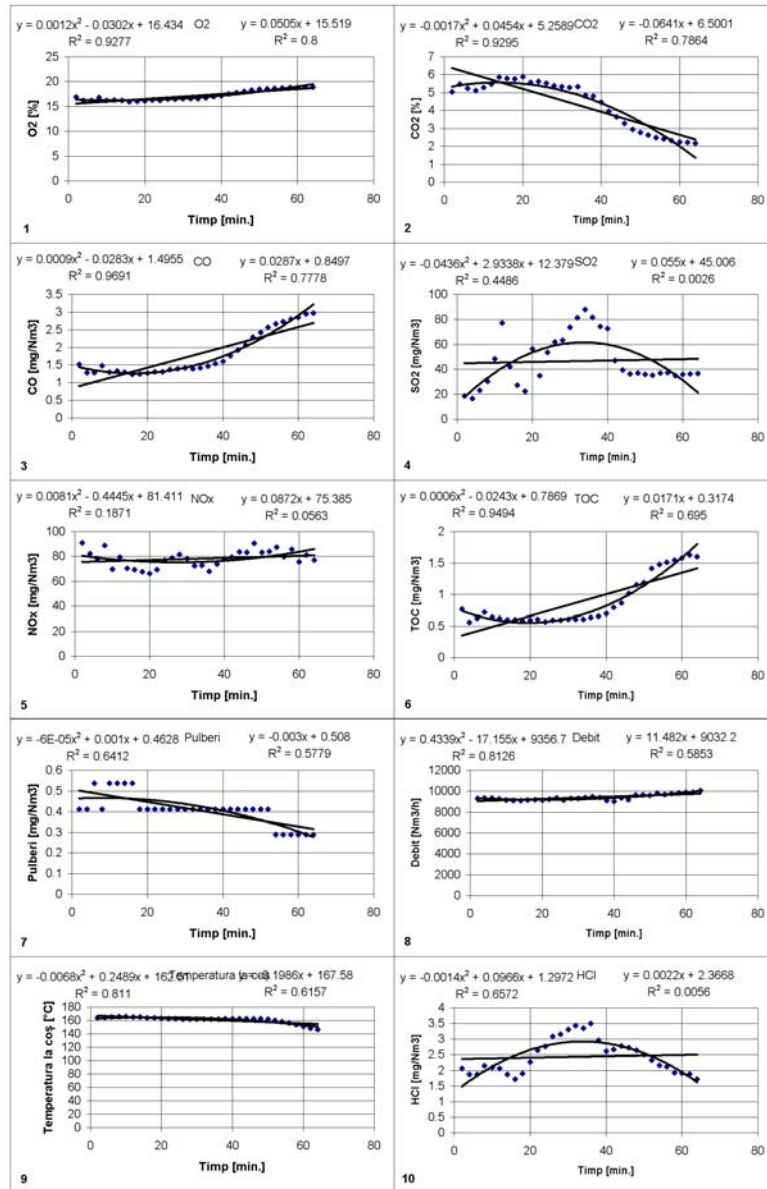


Figura 54 Reprezentarea variației principalelor parametrii măsurate la coș pentru șarja 14

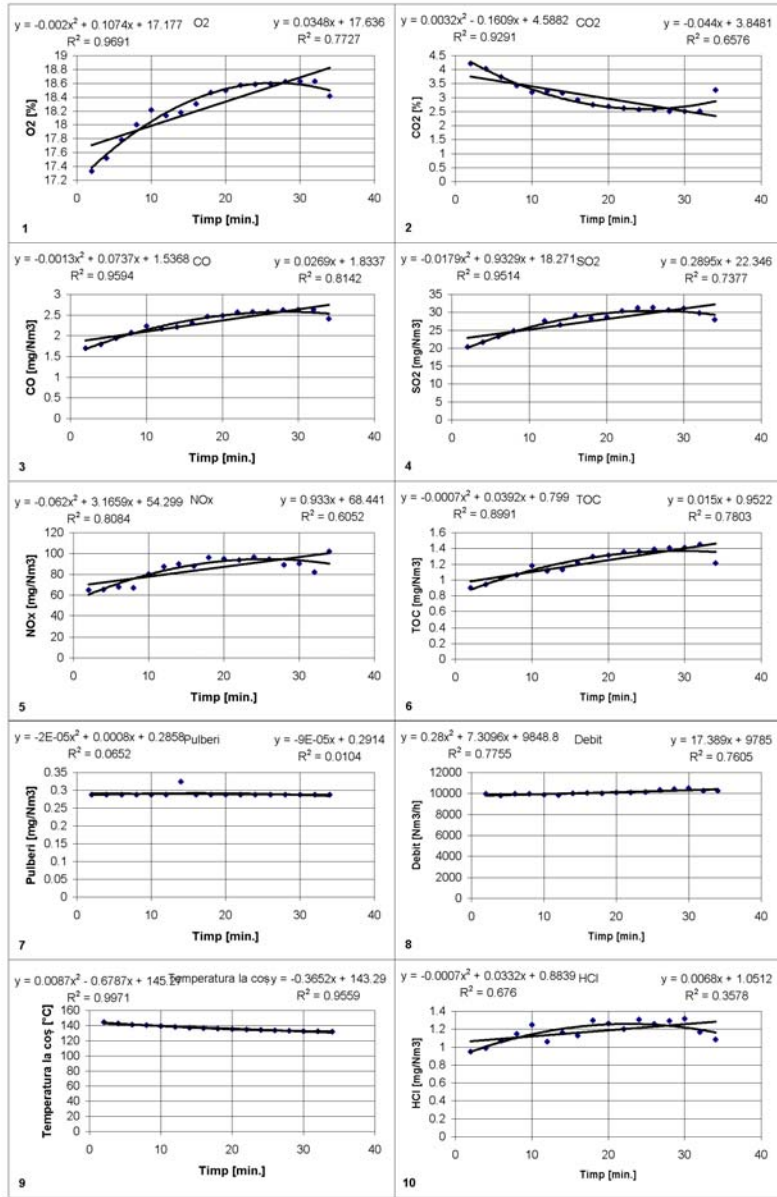


Figura 55 Reprezentarea variației principalilor parametrii măsurăți la coș pentru șarja 15



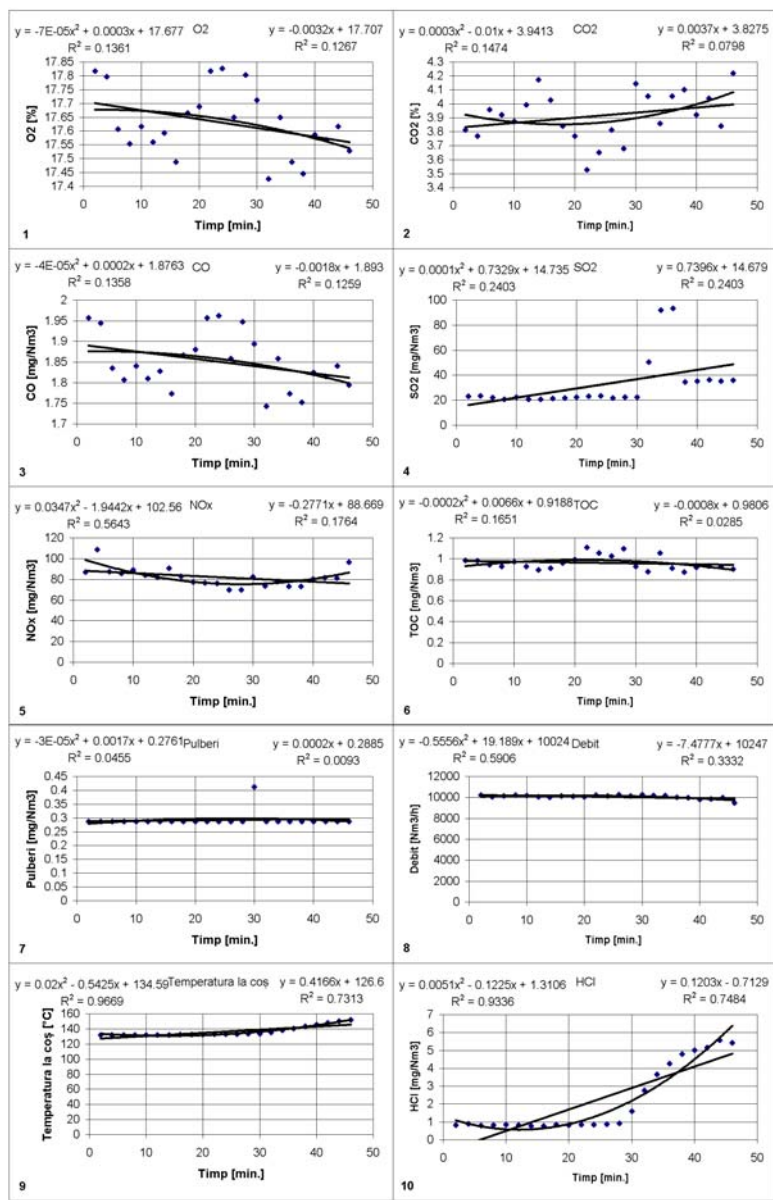


Figura 56 Reprezentarea variației principalei parametrii măsurate la coș pentru șarja 16

Din reprezentările grafice prezentate în **figurile 41-56** s-au dedus ecuațiile modelelor matematice pentru dependențele considerate utilizând ambele metode.

În **tabelele 37 – 46** sunt prezentate aceste modele pentru cele 16 șarje.

**Tabelul 37** Modele matematice pentru dependența  $O_2=f(\text{timp})$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	$R^2$	Ec. Regresie de gradul 2	$R^2$
1	$y = 0.0305x + 16.895$	0.5932	$y = 0.0004x^2 + 0.0064x + 17.128$	0.616
2	$y = 0.034x + 16.686$	0.9685	$y = -0.0003x^2 + 0.0452x + 16.618$	0.9747
3	$y = 0.0402x + 16.299$	0.9579	$y = -0.0002x^2 + 0.0528x + 16.152$	0.9638
4	$y = 0.0463x + 16.681$	0.9029	$y = -0.0004x^2 + 0.0695x + 16.458$	0.9168
5	$y = 0.0237x + 16.562$	0.7575	$y = 1E-04x^2 + 0.0199x + 16.587$	0.7586
6	$y = 0.0267x + 15.748$	0.5036	$y = 0.0012x^2 - 0.0364x + 16.336$	0.6766
7	$y = 0.0254x + 16.34$	0.7169	$y = 0.0015x^2 - 0.0356x + 16.768$	0.9623
8	$y = 0.0384x + 15.647$	0.5271	$y = -0.0009x^2 + 0.08x + 15.315$	0.5645
9	$y = 0.056x + 16.388$	0.865	$y = 0.0009x^2 + 0.028x + 16.547$	0.8774
10	$y = 0.0539x + 16.603$	0.9329	$y = -5E-05x^2 + 0.0555x + 16.593$	0.933
11	$y = 0.0275x + 17.243$	0.7632	$y = 0.0017x^2 - 0.0298x + 17.586$	0.9558
12	$y = 0.0399x + 16.775$	0.6071	$y = -0.0011x^2 + 0.0828x + 16.475$	0.6489
13	$y = 0.022x + 17.209$	0.6149	$y = -0.0004x^2 + 0.0389x + 17.091$	0.6365
14	$y = 0.0505x + 15.519$	0.8	$y = 0.0012x^2 - 0.0302x + 16.434$	0.9277
15	$y = 0.0348x + 17.636$	0.7727	$y = -0.002x^2 + 0.1074x + 17.177$	0.9691
16	$y = -0.0032x + 17.707$	0.1267	$y = -7E-05x^2 + 0.0003x + 17.677$	0.1361

**Tabelul 38** Modele matematice pentru dependența  $CO_2=f(\text{timp})$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	$R^2$	Ec. Regresie de gradul 2	$R^2$
1	$y = -0.0443x + 5.6071$	0.6458	$y = -0.0005x^2 - 0.0185x + 5.3576$	0.6594
2	$y = -0.0469x + 5.7389$	0.9725	$y = 0.0006x^2 - 0.068x + 5.8656$	0.984
3	$y = -0.0576x + 6.36$	0.9621	$y = 0.0002x^2 - 0.0721x + 6.5287$	0.9659
4	$y = -0.0648x +$	0.8925	$y = 0.0007x^2 - 0.1039x +$	0.9125

	5.7792		6.1574	
5	$y = -0.0307x + 5.9055$	0.7586	$y = 0.0009x^2 - 0.0666x + 6.1449$	0.8198
6	$y = -0.0324x + 6.6344$	0.5893	$y = -0.0011x^2 + 0.0255x + 6.0943$	0.7048
7	$y = -0.0441x + 6.1869$	0.8339	$y = -0.0019x^2 + 0.0314x + 5.6586$	0.9791
8	$y = -0.051x + 7.0353$	0.5739	$y = 0.0019x^2 - 0.1363x + 7.718$	0.6712
9	$y = -0.0994x + 6.6897$	0.8455	$y = -0.0002x^2 - 0.093x + 6.6532$	0.8457
10	$y = -0.0939x + 6.4549$	0.8791	$y = 0.0023x^2 - 0.1677x + 6.8729$	0.9103
11	$y = -0.0411x + 5.2599$	0.7125	$y = -0.0027x^2 + 0.0521x + 4.701$	0.9257
12	$y = -0.0527x + 5.9165$	0.5539	$y = 0.0014x^2 - 0.1104x + 6.3201$	0.5934
13	$y = -0.0417x + 4.8302$	0.8625	$y = 0.0011x^2 - 0.0874x + 5.1497$	0.92
14	$y = -0.0641x + 6.5001$	0.7864	$y = -0.0017x^2 + 0.0454x + 5.2589$	0.9295
15	$y = -0.044x + 3.8481$	0.6576	$y = 0.0032x^2 - 0.1609x + 4.5882$	0.9291
16	$y = 0.0037x + 3.8275$	0.0798	$y = 0.0003x^2 - 0.01x + 3.9413$	0.1474

**Tabelul 39** Modele matematice pentru dependența  $CO=f(\text{timp})$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 0.0642x + 0.6133$	0.1942	$y = 0.0043x^2 - 0.1783x + 2.9577$	0.3652
2	$y = 0.0151x + 1.4213$	0.9758	$y = -3E-05x^2 + 0.0162x + 1.4152$	0.976
3	$y = 0.0243x + 1.1498$	0.9396	$y = 0.0003x^2 + 0.0072x + 1.3495$	0.9687
4	$y = 0.0969x + 0.0957$	0.3716	$y = 0.0053x^2 - 0.1977x + 2.9432$	0.5834
5	$y = 0.0095x + 1.3916$	0.7818	$y = 6E-05x^2 + 0.0072x + 1.4073$	0.7846
6	$y = 0.0085x + 1.166$	0.5583	$y = 0.0004x^2 - 0.0106x + 1.3443$	0.7317
7	$y = 0.0101x + 1.3098$	0.696	$y = 0.0006x^2 - 0.0155x + 1.4888$	0.9637
8	$y = 0.0109x + 1.1697$	0.5621	$y = -0.0002x^2 + 0.021x + 1.0893$	0.591
9	$y = -3.1495x + 69.045$	0.1849	$y = 0.4681x^2 - 18.13x + 153.93$	0.4257
10	$y = 0.0276x + 1.3534$	0.9438	$y = 0.0005x^2 + 0.0126x + 1.4381$	0.9598

11	$y = 0.0172x + 1.6168$	0.7432	$y = 0.0011x^2 - 0.0217x + 1.8499$	0.964
12	$y = -1.4082x + 39.541$	0.1471	$y = 0.17x^2 - 8.2077x + 87.138$	0.3511
13	$y = 0.0117x + 1.6391$	0.6235	$y = -0.0002x^2 + 0.0189x + 1.5892$	0.6372
14	$y = 0.0287x + 0.8497$	0.7778	$y = 0.0009x^2 - 0.0283x + 1.4955$	0.9691
15	$y = 0.0269x + 1.8337$	0.8142	$y = -0.0013x^2 + 0.0737x + 1.5368$	0.9594
16	$y = -0.0018x + 1.893$	0.1259	$y = -4E-05x^2 + 0.0002x + 1.8763$	0.1358

**Tabelul 40** Modele matematice pentru dependența  $SO_2=f(\text{timp})$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 0.2299x + 18.438$	0.6582	$y = 0.0051x^2 - 0.0557x + 21.199$	0.7208
2	$y = 0.1875x + 17.692$	0.8809	$y = 7E-05x^2 + 0.185x + 17.707$	0.8809
3	$y = 0.3261x + 13.927$	0.9205	$y = 0.0034x^2 + 0.0936x + 16.639$	0.9498
4	$y = 0.4272x + 15.541$	0.937	$y = 0.0015x^2 + 0.342x + 16.365$	0.9393
5	$y = 2.0274x + 11.347$	0.7361	$y = 0.0124x^2 + 1.5573x + 14.481$	0.7385
6	$y = -0.3087x + 36.306$	0.2631	$y = 0.0212x^2 - 1.4556x + 47.01$	0.4862
7	$y = -0.1786x + 24.154$	0.2215	$y = 0.031x^2 - 1.4174x + 32.825$	0.8552
8	$y = 0.3424x + 14.326$	0.6283	$y = -0.013x^2 + 0.9382x + 9.5603$	0.7434
9	$y = 0.3726x + 14.423$	0.9041	$y = 0.0083x^2 + 0.1057x + 15.935$	0.9308
10	$y = 0.2979x + 15.023$	0.9159	$y = 0.0064x^2 + 0.0935x + 16.182$	0.9407
11	$y = 0.2137x + 17.495$	0.7376	$y = 0.012x^2 - 0.1956x + 19.951$	0.8949
12	$y = 0.2709x + 21.205$	0.7162	$y = 0.0011x^2 + 0.2265x + 21.516$	0.7173
13	$y = 0.1314x + 20.912$	0.4564	$y = 0.0018x^2 + 0.0598x + 21.414$	0.4645
14	$y = 0.055x + 45.006$	0.0026	$y = -0.0436x^2 + 2.9338x + 12.379$	0.4486
15	$y = 0.2895x + 22.346$	0.7377	$y = -0.0179x^2 + 0.9329x + 18.271$	0.9514
16	$y = 0.7396x + 14.679$	0.2403	$y = 0.0001x^2 + 0.7329x + 14.735$	0.2403

**Tabelul 41** Modele matematice pentru dependența  $NO_x=f(\text{timp})$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 0.2537x + 117.99$	0.0988	$y = -0.0133x^2 + 0.9998x + 110.77$	0.1514
2	$y = 0.6757x + 100.31$	0.6151	$y = 0.0297x^2 - 0.3334x + 106.36$	0.6949
3	$y = 0.3101x + 113.4$	0.2713	$y = 0.0191x^2 - 0.9861x + 128.52$	0.5679
4	$y = 0.7388x + 100.01$	0.7134	$y = 0.0186x^2 - 0.3001x + 110.05$	0.8003
5	$y = -0.7516x + 125.14$	0.6044	$y = -0.0366x^2 + 0.6378x + 115.88$	0.7264
6	$y = -0.0796x + 95.283$	0.0107	$y = 0.0371x^2 - 2.081x + 113.96$	0.4258
7	$y = -0.9375x + 107.29$	0.9024	$y = -0.0221x^2 - 0.0522x + 101.09$	0.9503
8	$y = 0.3609x + 102.53$	0.0616	$y = -0.0212x^2 + 1.3366x + 94.729$	0.0889
9	$y = -0.9674x + 129.97$	0.2925	$y = -0.0979x^2 + 2.1658x + 112.21$	0.4691
10	$y = -1.9128x + 166.43$	0.5906	$y = -0.1541x^2 + 3.0195x + 138.48$	0.8166
11	$y = -2.0812x + 170.03$	0.796	$y = -0.0742x^2 + 0.4415x + 154.89$	0.864
12	$y = -0.3627x + 162.98$	0.0258	$y = -0.156x^2 + 5.8758x + 119.31$	0.4802
13	$y = -0.4438x + 97.751$	0.1901	$y = 0.0725x^2 - 3.3457x + 118.06$	0.6736
14	$y = 0.0872x + 75.385$	0.0563	$y = 0.0081x^2 - 0.4445x + 81.411$	0.1871
15	$y = 0.933x + 68.441$	0.6052	$y = -0.062x^2 + 3.1659x + 54.299$	0.8084
16	$y = -0.2771x + 88.669$	0.1764	$y = 0.0347x^2 - 1.9442x + 102.56$	0.5643

**Tabelul 42** Modele matematice pentru dependența  $TOC=f(\text{timp})$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = -0.0016x + 1.58$	0.0061	$y = 0.0006x^2 - 0.0369x + 1.9208$	0.1867
2	$y = 0.0034x + 0.867$	0.4661	$y = 0.0002x^2 - 0.0043x + 0.9132$	0.6084
3	$y = 0.0104x + 0.6103$	0.9047	$y = 0.0002x^2 + 0.0001x + 0.7298$	0.9598
4	$y = 0.0159x + 0.5777$	0.8704	$y = -6E-05x^2 + 0.0194x + 0.5438$	0.8731
5	$y = 0.0025x + 0.6785$	0.5677	$y = 9E-05x^2 - 0.001x + 0.7022$	0.6329

6	$y = 0.0037x + 0.5106$	0.3676	$y = 0.0002x^2 - 0.0082x + 0.6213$	0.6043
7	$y = 0.0061x + 0.6072$	0.8139	$y = 0.0002x^2 - 0.0032x + 0.6726$	0.9267
8	$y = 0.0058x + 0.8081$	0.0744	$y = -0.0013x^2 + 0.0638x + 0.344$	0.5313
9	$y = 0.0042x + 1.126$	0.0118	$y = -0.0018x^2 + 0.0628x + 0.7938$	0.1443
10	$y = 0.0506x + 1.373$	0.2755	$y = 0.0002x^2 + 0.0443x + 1.4084$	0.2757
11	$y = -0.0348x + 3.1139$	0.2281	$y = -0.0042x^2 + 0.1063x + 2.2667$	0.4458
12	$y = 0.0408x + 0.5976$	0.315	$y = 0.0039x^2 - 0.1162x + 1.6965$	0.5929
13	$y = 0.0039x + 0.7929$	0.3693	$y = -0.0001x^2 + 0.0097x + 0.7528$	0.4156
14	$y = 0.0171x + 0.3174$	0.695	$y = 0.0006x^2 - 0.0243x + 0.7869$	0.9494
15	$y = 0.015x + 0.9522$	0.7803	$y = -0.0007x^2 + 0.0392x + 0.799$	0.8991
16	$y = -0.0008x + 0.9806$	0.0285	$y = -0.0002x^2 + 0.0066x + 0.9188$	0.1651

**Tabelul 43** Modele matematice pentru dependența Pulberi=f(timp);

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 0.0116x + 0.5681$	0.8032	$y = -0.0002x^2 + 0.0205x + 0.4828$	0.8317
2	$y = 0.0045x + 1.1844$	0.5136	$y = -0.0002x^2 + 0.0125x + 1.1364$	0.6078
3	$y = 0.0015x + 1.4861$	0.2721	$y = -7E-05x^2 + 0.0064x + 1.4297$	0.4383
4	$y = 0.0095x + 1.4022$	0.1984	$y = -0.0004x^2 + 0.03x + 1.2041$	0.2556
5	$y = 0.002x + 0.4577$	0.0157	$y = -0.0007x^2 + 0.0269x + 0.2917$	0.1638
6	$y = -0.0029x + 0.6052$	0.3117	$y = 3E-05x^2 - 0.0044x + 0.6191$	0.317
7	$y = -0.0021x + 0.5259$	0.0297	$y = 0.0003x^2 - 0.0142x + 0.6109$	0.0898
8	$y = 0.0027x + 0.5716$	0.0665	$y = -9E-05x^2 + 0.0068x + 0.5385$	0.076
9	$y = 0.0041x + 0.8918$	0.3271	$y = -3E-05x^2 + 0.005x + 0.8866$	0.3281
10	$y = -0.0037x + 1.1166$	0.0132	$y = -2E-05x^2 - 0.0032x + 1.1137$	0.0132
11	$y = -0.0006x + 1.1841$	0.0028	$y = 8E-05x^2 - 0.0032x + 1.1996$	0.0061
12	$y = -0.0008x + 1.1958$	0.0171	$y = -0.0002x^2 + 0.0058x + 1.1498$	0.0893

13	$y = 0.003x + 0.2941$	0.27	$y = -3E-05x^2 + 0.0042x + 0.2857$	0.2726
14	$y = -0.003x + 0.508$	0.5779	$y = -6E-05x^2 + 0.001x + 0.4628$	0.6412
15	$y = -9E-05x + 0.2914$	0.0104	$y = -2E-05x^2 + 0.0008x + 0.2858$	0.0652
16	$y = 0.0002x + 0.2885$	0.0093	$y = -3E-05x^2 + 0.0017x + 0.2761$	0.0455

**Tabelul 44** Modele matematice pentru dependența Debit=f(timp);

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 19.688x + 11400$	0.5121	$y = -1.2424x^2 + 89.264x + 10728$	0.9064
2	$y = 2.721x + 11025$	0.0084	$y = 1.1891x^2 - 37.709x + 11268$	0.1166
3	$y = 6.7384x + 11424$	0.5472	$y = 0.0327x^2 + 4.5122x + 11450$	0.5509
4	$y = -0.4437x + 11987$	0.004	$y = -0.3507x^2 + 19.194x + 11797$	0.4851
5	$y = 50.195x + 8186.7$	0.8699	$y = -0.8623x^2 + 82.961x + 7968.2$	0.8918
6	$y = -3.3983x + 9960.5$	0.0184	$y = 1.0812x^2 - 61.781x + 10505$	0.3513
7	$y = 21.173x + 9267.9$	0.6326	$y = 0.6312x^2 - 4.074x + 9444.7$	0.6861
8	$y = -11.01x + 9882.2$	0.7723	$y = 0.3102x^2 - 25.282x + 9996.4$	0.8508
9	$y = 3.6221x + 12188$	0.3821	$y = 0.1759x^2 - 2.0051x + 12220$	0.4351
10	$y = -0.938x + 12422$	0.0159	$y = 0.6247x^2 - 20.928x + 12536$	0.4319
11	$y = -5.9105x + 12100$	0.2164	$y = 0.6501x^2 - 28.013x + 12232$	0.3923
12	$y = 1.5368x + 12127$	0.0107	$y = -0.536x^2 + 22.976x + 11976$	0.1341
13	$y = -8.2493x + 9647.9$	0.4734	$y = -0.2276x^2 + 0.8552x + 9584.2$	0.5077
14	$y = 11.482x + 9032.2$	0.5853	$y = 0.4339x^2 - 17.155x + 9356.7$	0.8126
15	$y = 17.389x + 9785$	0.7605	$y = 0.28x^2 + 7.3096x + 9848.8$	0.7755
16	$y = -7.4777x + 10247$	0.3332	$y = -0.5556x^2 + 19.189x + 10024$	0.5906

**Tabelul 45** Modele matematice pentru dependența Temperatura la coș=f(timp);

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 0.099x + 142.74$	0.6665	$y = -0.0046x^2 + 0.3565x + 140.25$	0.9447

2	$y = -0.2878x + 145.56$	0.9564	$y = 0.0071x^2 - 0.5299x + 147.01$	0.9957
3	$y = 0.026x + 142.38$	0.0724	$y = -0.0054x^2 + 0.3917x + 138.11$	0.9676
4	$y = 0.0668x + 139.91$	0.6977	$y = -0.0017x^2 + 0.162x + 138.99$	0.7849
5	$y = 0.002x + 0.4577$	0.0157	$y = -0.0007x^2 + 0.0269x + 0.2917$	0.1638
6	$y = -0.2602x + 167.17$	0.9753	$y = -0.002x^2 - 0.1527x + 166.17$	0.9855
7	$y = -0.4217x + 162.24$	0.9886	$y = 0.0044x^2 - 0.5964x + 163.46$	0.9987
8	$y = 0.0655x + 162.8$	0.93	$y = -0.0009x^2 + 0.1076x + 162.46$	0.9532
9	$y = 0.0528x + 144.66$	0.8772	$y = 0.0021x^2 - 0.0159x + 145.05$	0.9627
10	$y = 0.0968x + 146.49$	0.9102	$y = -0.0035x^2 + 0.21x + 145.85$	0.9818
11	$y = -0.0029x + 148.93$	0.1584	$y = -0.0004x^2 + 0.0114x + 148.84$	0.3868
12	$y = -0.0009x + 148.69$	0.0048	$y = -0.0009x^2 + 0.0349x + 148.44$	0.484
13	$y = 0.236x + 153.37$	0.9448	$y = 0.0054x^2 + 0.02x + 154.89$	0.9918
14	$y = -0.1986x + 167.58$	0.6157	$y = -0.0068x^2 + 0.2489x + 162.51$	0.811
15	$y = -0.3652x + 143.29$	0.9559	$y = 0.0087x^2 - 0.6787x + 145.27$	0.9971
16	$y = 0.4166x + 126.6$	0.7313	$y = 0.02x^2 - 0.5425x + 134.59$	0.9669

**Tabelul 46** Modele matematice pentru dependența  $HCl=f(\text{timp})$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	$R^2$	Ec. Regresie de gradul 2	$R^2$
1	$y = 0.0115x + 0.7861$	0.8025	$y = 3E-05x^2 + 0.0096x + 0.8047$	0.8039
2	$y = 0.0038x + 0.6965$	0.5909	$y = 0.0001x^2 - 0.0002x + 0.7205$	0.6292
3	$y = 0.0108x + 0.6353$	0.952	$y = -4E-05x^2 + 0.0135x + 0.6039$	0.9557
4	$y = 0.0161x + 0.6096$	0.9046	$y = -4E-05x^2 + 0.0184x + 0.5869$	0.9058
5	$y = 50.195x + 8186.7$	0.8699	$y = -0.8623x^2 + 82.961x + 7968.2$	0.8918
6	$y = -0.0957x + 10.415$	0.2803	$y = 0.0044x^2 - 0.3339x + 12.637$	0.3869
7	$y = -0.0752x + 5.4526$	0.6414	$y = 0.0053x^2 - 0.2888x + 6.948$	0.9492
8	$y = 0.0672x + 3.3886$	0.7688	$y = -0.0018x^2 + 0.1483x + 2.7398$	0.8366



9	$y = 0.0443x + 1.8519$	0.9042	$y = 0.0007x^2 + 0.0218x + 1.9797$	0.9176
10	$y = 0.0423x + 2.0619$	0.9627	$y = 0.0001x^2 + 0.0377x + 2.0877$	0.9634
11	$y = 0.0222x + 2.4892$	0.747	$y = 0.0014x^2 - 0.025x + 2.7724$	0.944
12	$y = 0.0273x + 2.558$	0.7047	$y = -0.0004x^2 + 0.0441x + 2.4405$	0.7205
13	$y = 0.0277x + 1.6563$	0.8911	$y = 0.0002x^2 + 0.0195x + 1.7136$	0.8957
14	$y = 0.0022x + 2.3668$	0.0056	$y = -0.0014x^2 + 0.0966x + 1.2972$	0.6572
15	$y = 0.0068x + 1.0512$	0.3578	$y = -0.0007x^2 + 0.0332x + 0.8839$	0.676
16	$y = 0.1203x - 0.7129$	0.7484	$y = 0.0051x^2 - 0.1225x + 1.3106$	0.9336

### 5.6.2 Comentarii și concluzii

În cazul reprezentării variației concentrației de **oxigen** în timp, valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$  sunt satisfăcătoare pentru mai mult de jumătate dintre determinări. În reprezentările grafice se observă o destul de bună aproximare a datelor obținute experimental după primele minute de ardere. Valorile mai mici pot fi explicate prin arderea mai intensă a deșeurilor în momentul alimentării, care generează o comportare neliniară momentană a sistemului.

Se observă că șarjele unde indicatorul de precizie al modelului matematic de ordinul 2 este bun, diferența față de modelul liniar este destul de mică. În condițiile unor coeficienți de ordinul 2 din cadrul modelelor matematice destul de mici, de ordinul  $10^{-4}$ - $10^{-5}$ , se poate aprecia că utilizarea modelului liniar este suficientă pentru descrierea comportării sistemului.

În cazul reprezentării variației concentrației de **bioxid de carbon** în timp, se observă o comportare asemănătoare cu cea din cazul oxigenului, dar cu trend invers. Aceasta se explică prin stoechiometria reacției de oxidare a carbonului la bioxid de carbon, reacție predominantă în cazul procesului de ardere, care necesită doi atomi de oxigen pentru arderea fiecărui atom de carbon. În termeni de concentrații procentuale în gazele arse, luând în considerare și celelalte reacții chimice de oxidare ce au loc, putem spune că suma  $O_2 + CO_2$  este aproximativ 21% (concentrația oxigenului în aer) și practic constantă. Studiile asupra poluării cu bioxid de carbon în Timișoara prezentate în literatura de specialitate arată o influență mică a instalațiilor de incinerare asupra valorilor imisiilor măsurate, în special în lunile de iarnă [30, 31, 142].

Valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$  sunt satisfăcătoare pentru mai mult de jumătate dintre determinări. În reprezentările grafice se observă o destul de bună aproximare a datelor obținute experimental după primele minute de ardere.

Valorile mai mici pot fi explicate prin arderea mai intensă a deșeurilor în momentul alimentării, care generează o comportare neliniară momentană a sistemului.

Se observă că șarjele unde indicatorul de precizie al modelului matematic de

ordinul 2 este bun, diferența față de modelul liniar este destul de mică. În condițiile unor coeficienți de ordinul 2 mici, de ordinul  $10^{-3}$ - $10^{-4}$ , se poate aprecia că utilizarea modelului liniar este și aici suficientă pentru descrierea comportării sistemului.

La reprezentările variației concentrației de **monoxid de carbon** în timp, se observă o comportare asemănătoare cu cea din cazul oxigenului, dar și aici cu trend invers. La începutul arderii se observă de regulă o creștere puternică a concentrației datorată introducerii unei cantități mari de combustibil care arde în condițiile unui debit de aer mai mult sau mai puțin constant în camerele de incinerare, ceea ce înseamnă ardere incompletă.

Datorită arderii mai intense a deșeurilor în momentul alimentării, în condiții de oxigen insuficient, se generează o comportare neliniară momentană a sistemului. Din această cauză valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$  nu sunt satisfăcătoare pentru mai mult de jumătate dintre determinări. În reprezentările grafice se observă o comportare oscilantă a datelor experimentale, explicabilă prin ciclurile de antrenare manuală a deșeurilor de pe vatră. Acesta se face de 1-2 ori pe șarjă și durează aproximativ 2 minute. Antrenarea manuală se face pentru evitarea acumulărilor voluminoase de deșeuri pe sistemul automat de racleți.

În cazul reprezentării variației concentrației de **bioxid de sulf** în timp, se observă o comportare asemănătoare cu cea din cazul oxigenului, dar și aici cu trend invers.

Valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$ , chiar și pentru modelul neliniar, nu sunt satisfăcătoare.

Spre exemplu, în **Figura 46** se observă o comportare oscilantă a datelor experimentale, reflectate și în **Figura 48**, explicabilă prin ciclurile de antrenare manuală a deșeurilor de pe vatră. Acesta se face de 1-2 ori pe șarjă și durează aproximativ 2 minute.

La reprezentările variației concentrației de **oxizi de azot** în timp, valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$ , nu sunt corespunzătoare chiar și pentru modelul neliniar.

În acest caz se observă că datele experimentale prezintă o variație oscilantă (v. **figura 48**), explicabilă prin ciclurile de antrenare manuală a deșeurilor de pe vatră. Studiile asupra poluării cu oxizi de azot realizate în Timișoara, prezentate în literatura de specialitate, arată o influență mică a instalațiilor de incinerare asupra valorilor imisiilor măsurate, în special în lunile de iarnă [32, 143].

În cazul reprezentării evoluției concentrației de **compuși organici volatili** în timp, valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$ , chiar și pentru modelul neliniar, sunt acceptabile.

În acest caz se observă că datele experimentale prezintă o variație oscilantă, explicabilă tot prin ciclurile de antrenare manuală a deșeurilor de pe vatră.

La reprezentările variației concentrației de **pulberi** în timp, valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$ , chiar și pentru modelul neliniar, nu sunt satisfăcătoare.

Acest fapt poate fi explicat prin valorile brute foarte mici măsurate, de sub  $10 \text{ mg/m}^3$  pulberi, ceea ce reprezintă pentru analizor mai puțin de 10% din întreg domeniul de măsurare. În acest caz se observă o dispersie uniformă a citirilor

datorată valorilor aflate la limita de jos de sensibilitate a analizorului.

În cazul reprezentării variației **debitului de gaze arse** în timp, valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$ , chiar și pentru modelul neliniar, sunt acceptabile. Considerăm că modelele obținute sunt afectate negativ de către acționarea unor elemente de execuție (clapete, ventilatoare), gradul de colmatare al filtrelor și al posibilelor turbulențe din curentul de gaze arse din coș.

La reprezentările variației **temperaturii măsurate la coș** a gazelor arse în timp, se observă o comportare asemănătoare cu cea a debitului, dar cu variații mult atenuate probabil de către capacitatea calorică a pereților instalației și a volumului de var de pe filtre. Comportarea în timp poate fi aproximată cu ajutorul unui model matematic neliniar. Valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$  sunt satisfăcătoare pentru cea mai mare parte a determinărilor. În reprezentările grafice se observă o destul de bună aproximare a datelor obținute experimental. Se observă că șarjele unde indicatorul de precizie al modelului matematic de ordinul 2 este bun, diferența față de modelul liniar este uneori destul de mică. Cu toate acestea, după evaluarea reprezentărilor grafice se poate aprecia folosirea modelului neliniar ca fiind cea mai indicată soluție pentru descrierea funcționării sistemului.

În cazul reprezentării variației concentrației de **acid clorhidric** în timp, se observă o comportare asemănătoare cu cea a oxigenului în cazul șarjelor ce conțin concentrații mici de clor și variații mari în cazul șarjelor ce conțin concentrații mari de clor. Comportarea în timp în cazul șarjelor ce conțin concentrații mici de clor poate fi aproximată cu ajutorul unui model matematic neliniar, valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$  fiind satisfăcătoare. Comportarea în timp în cazul șarjelor ce conțin concentrații mari de clor nu poate fi aproximată, valorile indicatorului preciziei modelului  $R^2$  nefiind satisfăcătoare.

Cu toate acestea, după evaluarea fenomenelor fizico-chimice ce au loc în instalație, se poate aprecia că folosirea unui model matematic ce ține seama doar de timp nu poate reprezenta o soluție concludentă pentru descrierea funcționării sistemului.

Pe baza celor prezentate mai sus și ținând cont de reprezentările grafice (figura 41-56), tabelele cu modele matematice și tabelele cu date experimentale se poate aprecia suficient de corect încadrarea emisiilor la coș în limitele prevăzute de legislația în vigoare. Pentru aceasta în tabelul 47 se prezintă comparativ concentrația medie a emisiilor determinată experimental în raport cu cele admise legal în cazul celor 16 șarje pentru care s-au determinat modelele matematice

**Tabelul 47** Concentrația medie a emisiilor determinată experimental pentru fiecare șarjă în parte în raport cu limitele admise legal

Șarja	NOx mg/m <sup>3</sup>		SO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup>		TOC mg/m <sup>3</sup>		HCl mg/m <sup>3</sup>		Pulberi mg/m <sup>3</sup>		Încadrare în limitele legale
	Media din date experimen tale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimen tale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimen tale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimen tale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimen tale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	
1	125.1	200/400	24.9	50/200	1.5	10/20	1.1	10/60	0.9	10/30	Da
2	111.8	200/400	20.9	50/200	0.9	10/20	0.8	10/60	1.3	10/30	Da
3	123.9	200/400	25.0	50/200	1.0	10/20	1.0	10/60	1.5	10/30	Da
4	120.7	200/400	27.5	50/200	1.0	10/20	1.1	10/60	1.7	10/30	Da
5	110.9	200/400	49.9	50/200	0.7	10/20	39.4	10/60	0.5	10/30	Da
6	93.1	200/400	28.0	50/200	0.6	10/20	7.8	10/60	0.5	10/30	Da
7	88.5	200/400	20.6	50/200	0.7	10/20	3.9	10/60	0.5	10/30	Da
8	110.8	200/400	22.2	50/200	0.9	10/20	4.9	10/60	0.6	10/30	Da
9	114.5	200/400	20.4	50/200	1.2	10/20	2.6	10/60	1.0	10/30	Da
10	135.8	200/400	19.8	50/200	2.2	10/20	2.7	10/60	1.1	10/30	Da
11	134.6	200/400	21.1	50/200	2.5	10/20	2.9	10/60	1.2	10/30	Da
12	155.7	200/400	26.6	50/200	1.4	10/20	3.1	10/60	1.2	10/30	Da
13	88.9	200/400	23.5	50/200	0.9	10/20	2.2	10/60	0.4	10/30	Da
14	78.3	200/400	46.8	50/200	0.9	10/20	2.4	10/60	0.4	10/30	Da
15	85.2	200/400	27.6	50/200	1.2	10/20	1.2	10/60	0.3	10/30	Da
16	82	200/400	32.4	50/200	1.0	10/20	2.2	10/60	0.3	10/30	Da

Concluzia care se desprinde din evaluarea tabelului 47 este că la toate șarjele emisiile se încadrează în limitele admise de legislația în vigoare.

În **tabelul 48** se prezintă comparativ datele experimentale cu cele admise pentru cele 4 tipuri de deșeuri (A, B, C, D, v. **tabelele 17-20**). Din acesta se observă indiferent de compoziția șarjelor incinerate, valorile concentrațiilor emisiilor la coș se încadrează în limitele admise de legislația în vigoare.

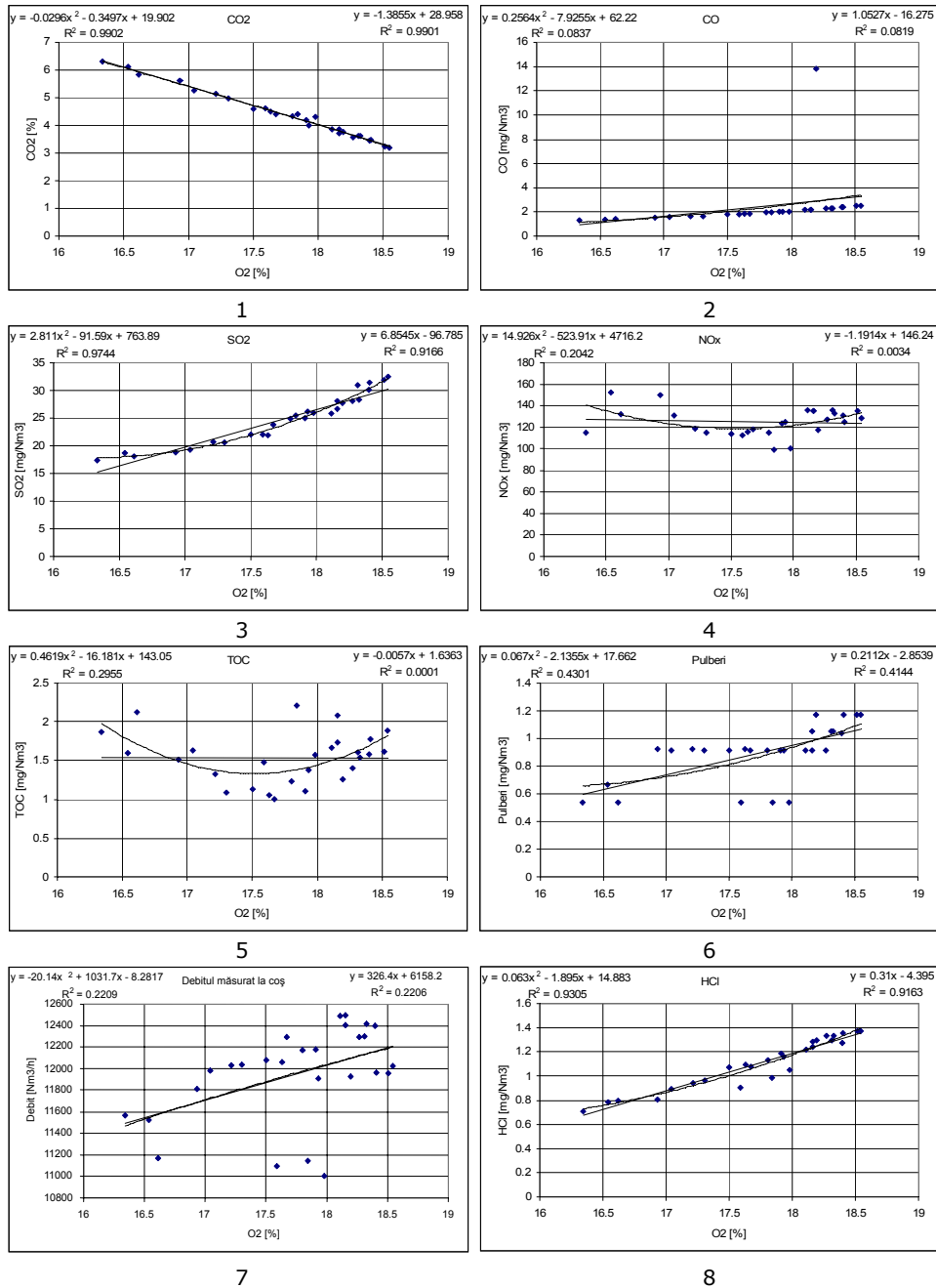
**Tabelul 48** Concentrația medie a emisiilor determinată experimental pentru fiecare tip de deșeu în raport cu limitele admise legal

Deșeu tip	NOx mg/m <sup>3</sup>		SO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup>		TOC mg/m <sup>3</sup>		HCl mg/m <sup>3</sup>		Pulberi mg/m <sup>3</sup>		Încadrare în limitele legale
	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100 %	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100 %	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100 %	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100 %	
	A	120.37	200/400	24.575	50/200	1.1	10/20	1	10/60	1.35	
B	100.82	200/400	30.175	50/200	0.725	10/20	14	10/60	0.525	10/30	Da
C	135.15	200/400	21.975	50/200	1.825	10/20	2.8	10/60	1.125	10/30	Da
D	83.6	200/400	32.575	50/200	1	10/20	2	10/60	0.35	10/30	Da

### 5.6.3 Tipul B

În cele ce urmează se prezintă graficele pentru dependențele considerate de forma  $y=f(x)$ , unde  $x$  = concentrația de oxigen măsurată la coș  $O_2$  [%], **figurile 57-72**:

- 1  $CO_2=f(O_2)$ , unde  $y$  = concentrația de  $O_2$  [%]
- 2  $CO=f(O_2)$ , unde  $y$  = concentrația de CO [ $mg/m^3$ ]
- 3  $SO_2=f(O_2)$ , unde  $y$  = concentrația de  $SO_2$  [ $mg/m^3$ ]
- 4  $NO_x=f(O_2)$ , unde  $y$  = concentrația de  $NO_x$  [ $mg/m^3$ ]
- 5  $TOC=f(O_2)$ , unde  $y$  = concentrația de TOC [ $mg/m^3$ ]
- 6 Pulberi= $f(O_2)$ , unde  $y$  = concentrația de pulberi [ $mg/m^3$ ]
- 7 Debit= $f(O_2)$ , unde  $y$  = debitul de gaze arse la coș [ $m^3/h$ ]
- 8  $HCl=f(O_2)$ , unde  $y$  = concentrația de HCl [ $mg/m^3$ ]



**Figura 57** Reprezentarea principalilor parametri măsurați pentru șarja 1 în funcție de concentrația de oxigen

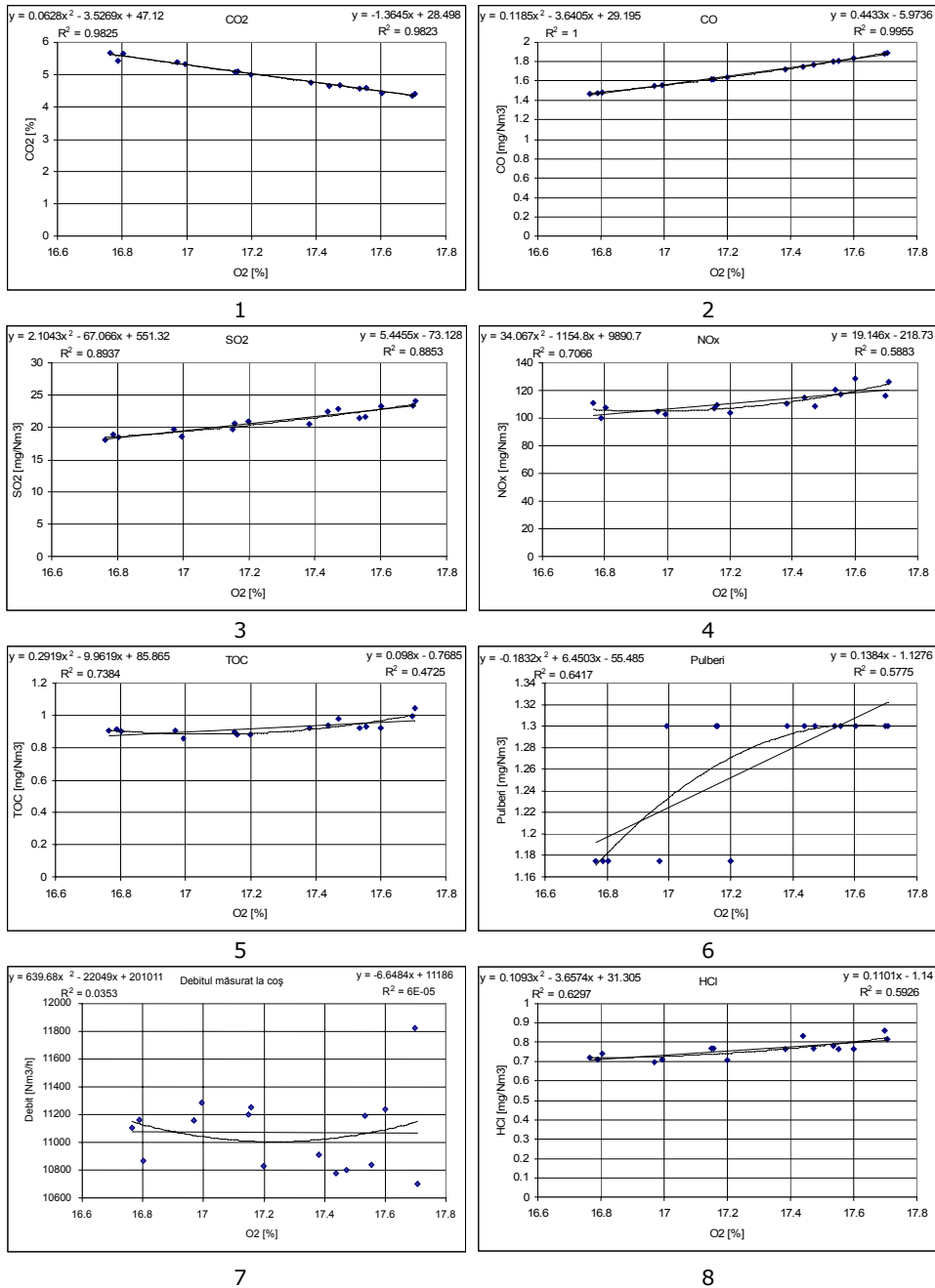
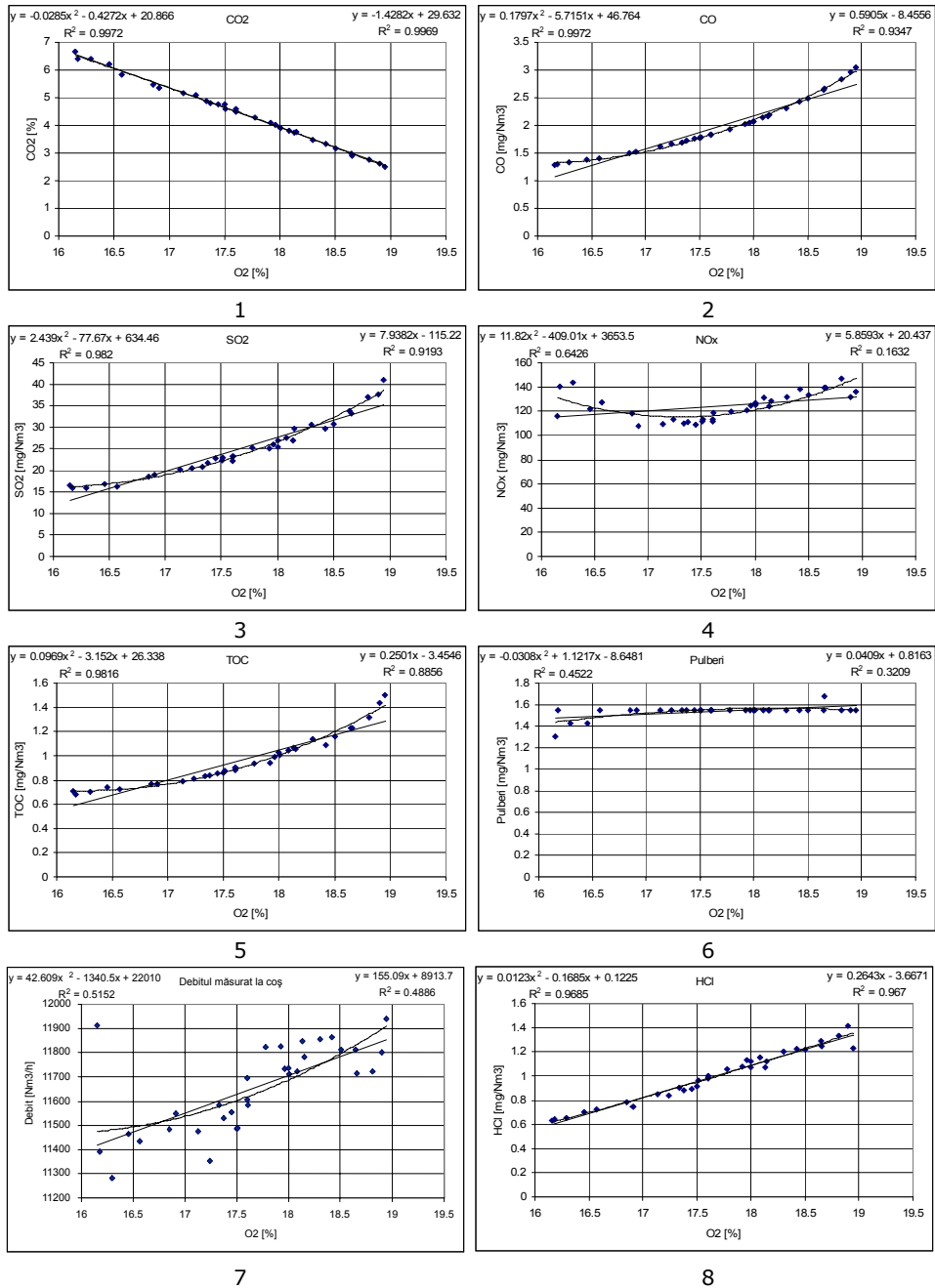


Figura 58 Reprezentarea principalilor parametri măsurați pentru șarja 2 în funcție de concentrația de oxigen





**Figura 59** Reprezentarea principalelor parametrii măsurate pentru șarja 3 în funcție de concentrația de oxigen

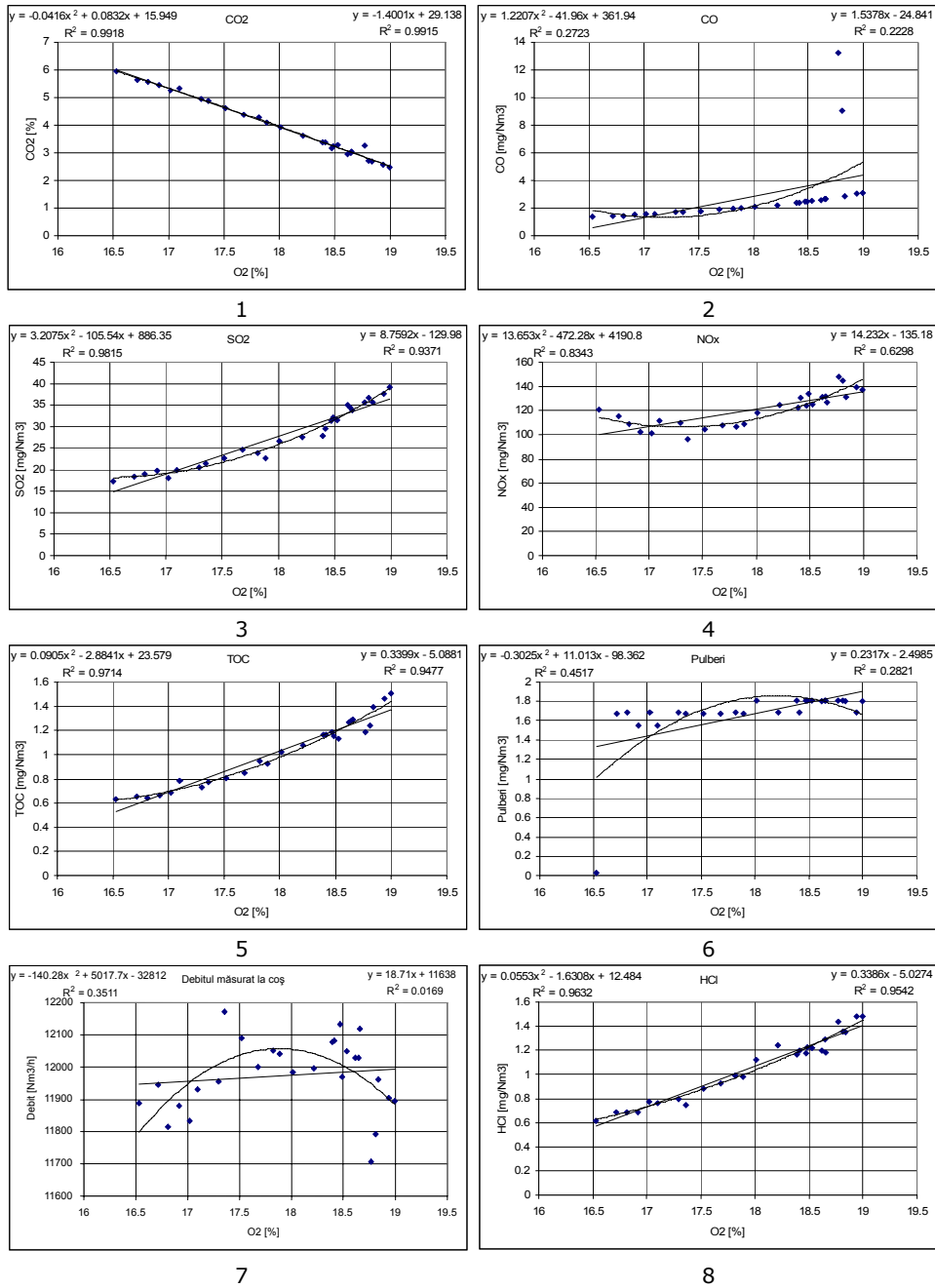
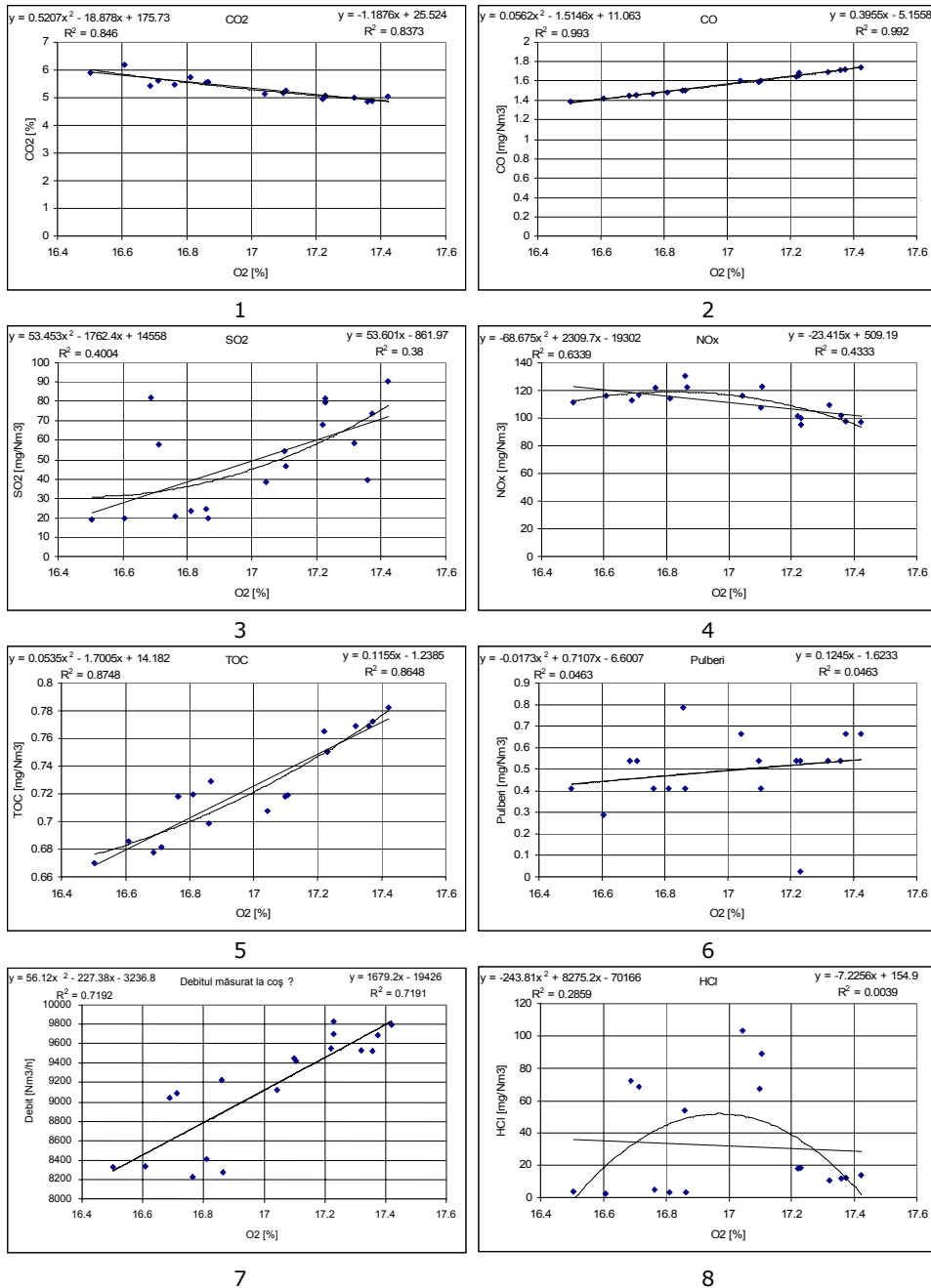


Figura 60 Reprezentarea principalelor parametri măsurați pentru șarja 4 în funcție de concentrația de oxigen



**Figura 61** Reprezentarea principalilor parametri măsurați pentru șarja 5 în funcție de concentrația de oxigen

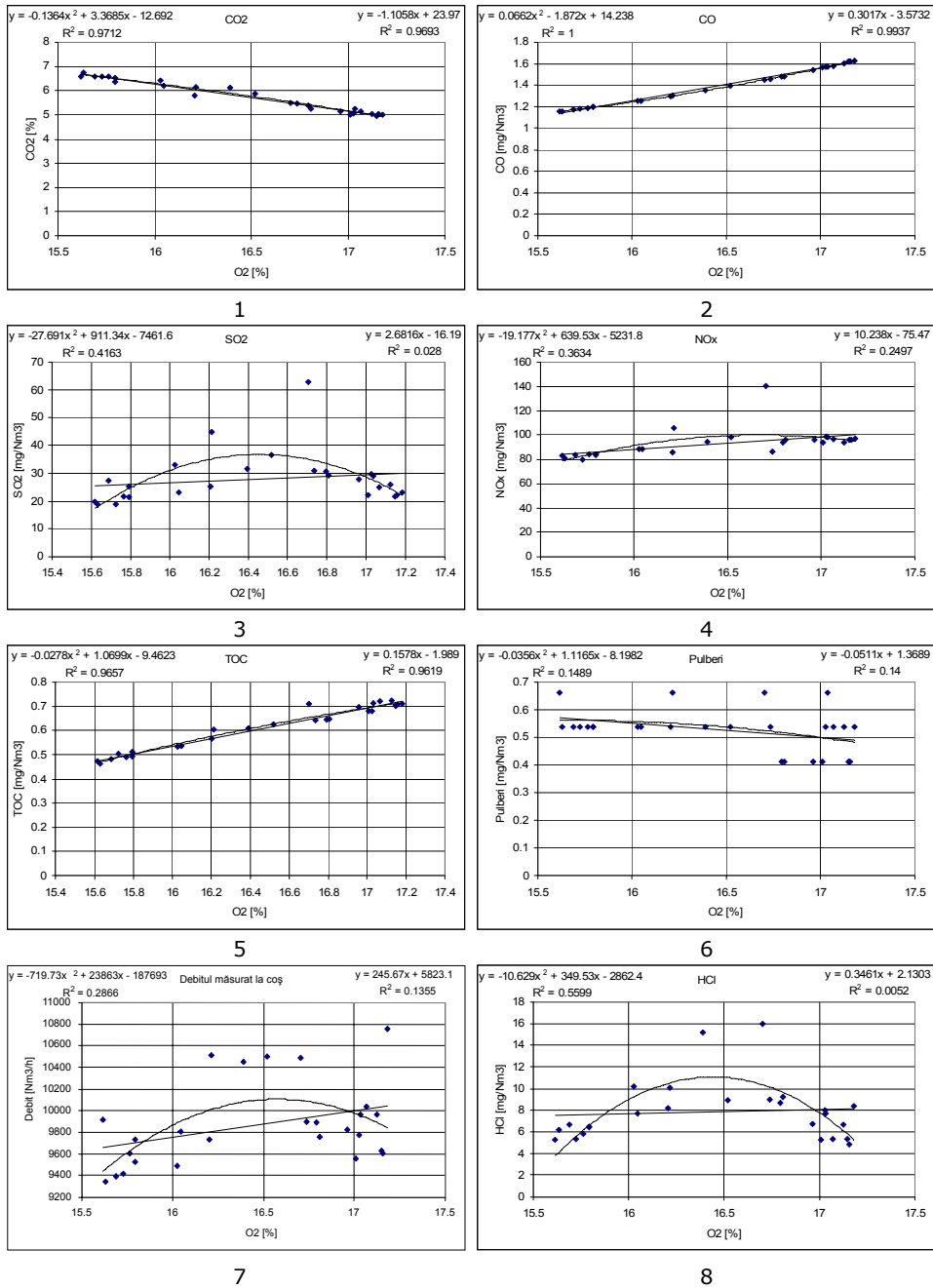


Figura 62 Reprezentarea principalelor parametri măsurati pentru șarja 6 în funcție de concentrația de oxigen

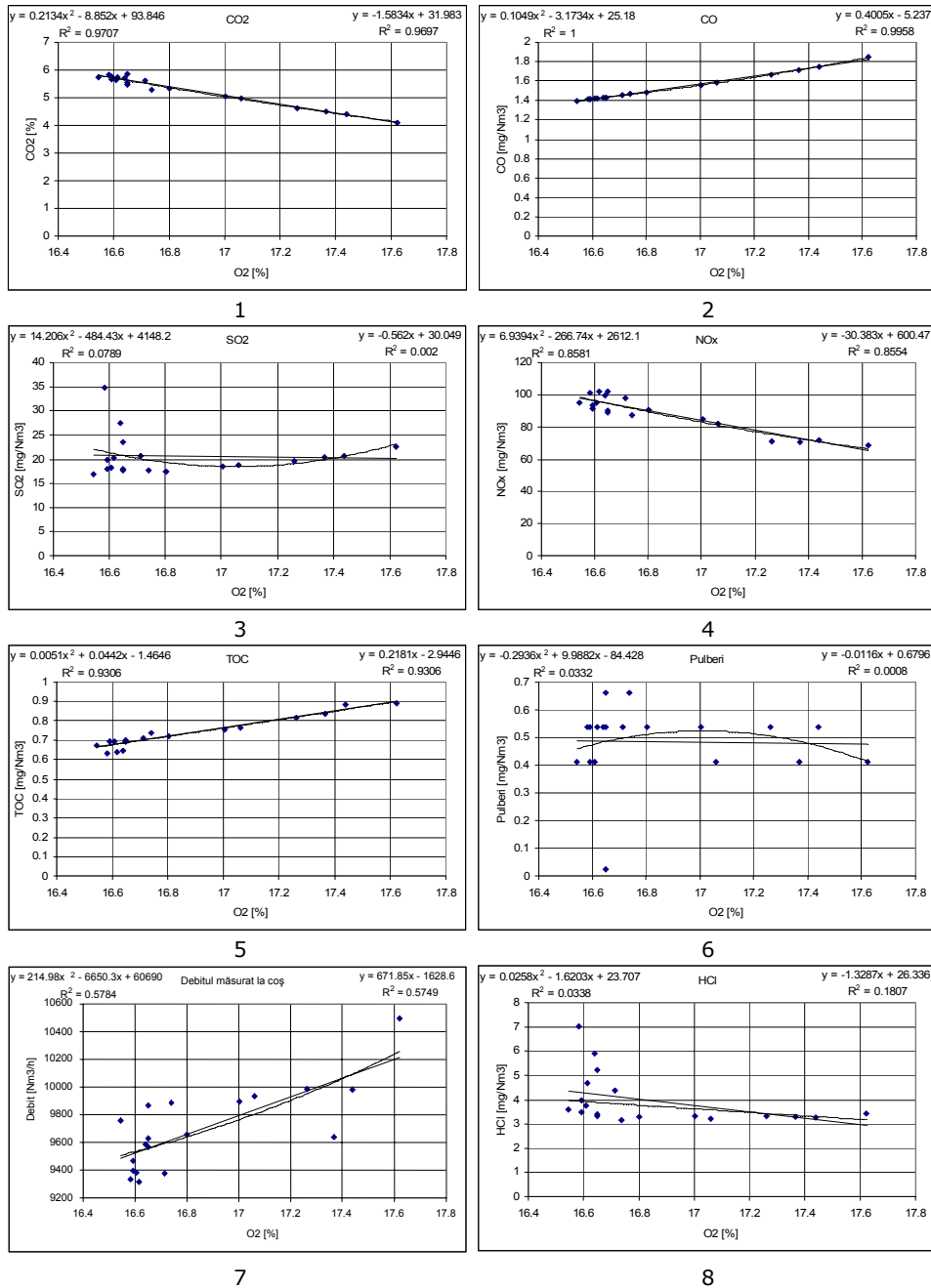


Figura 63 Reprezentarea principalelor parametrii măsurați pentru șarja 7 în funcție de concentrația de oxigen

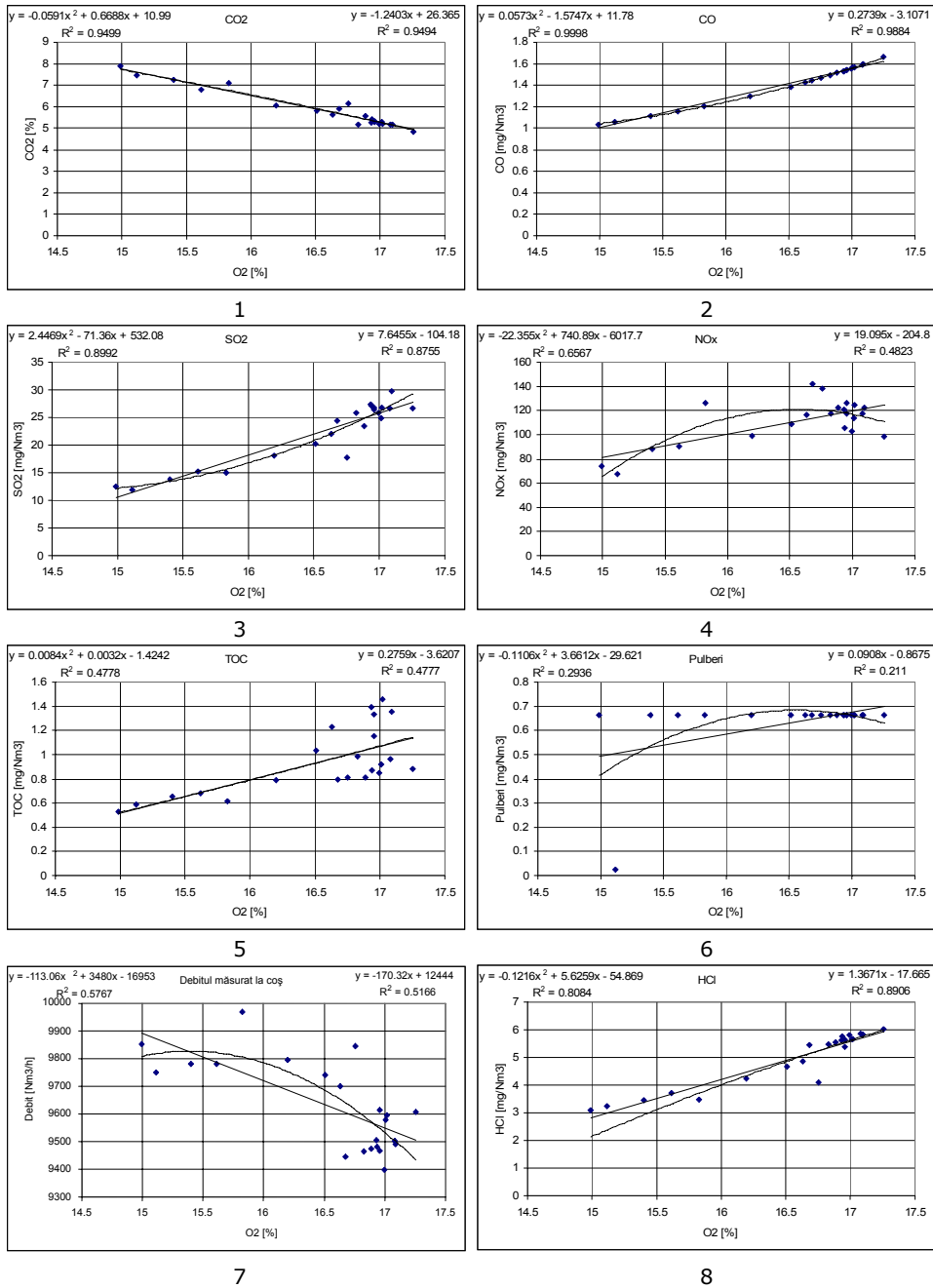
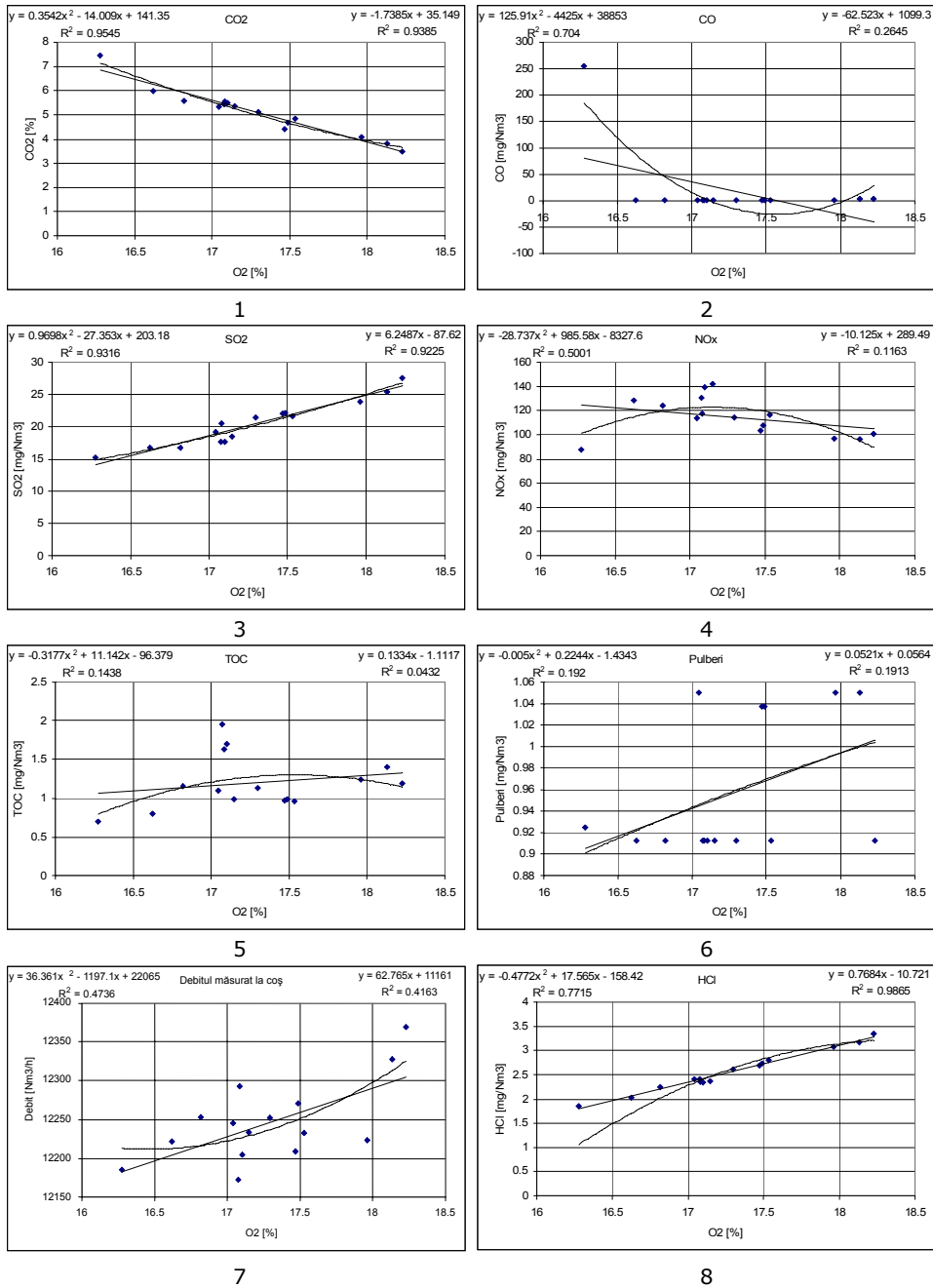


Figura 64 Reprezentarea principalilor parametrii mășurați pentru șarja 8 în funcție de concentrația de oxigen



**Figura 65** Reprezentarea principalelor parametrii măsurati pentru șarja 9 în funcție de concentrația de oxigen

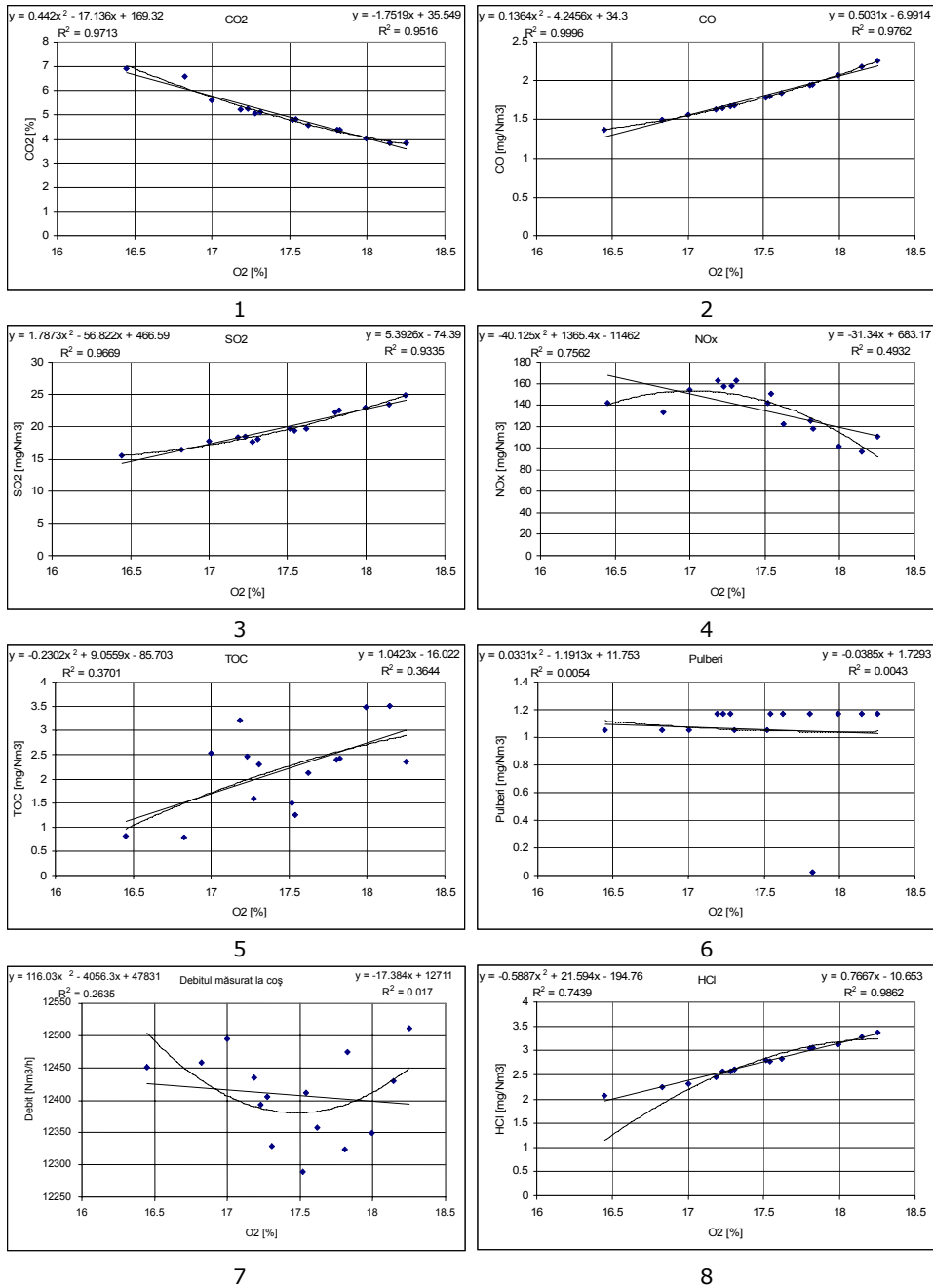


Figura 66 Reprezentarea principalelor parametri măsurati pentru șarja 10 în funcție de concentrația de oxigen



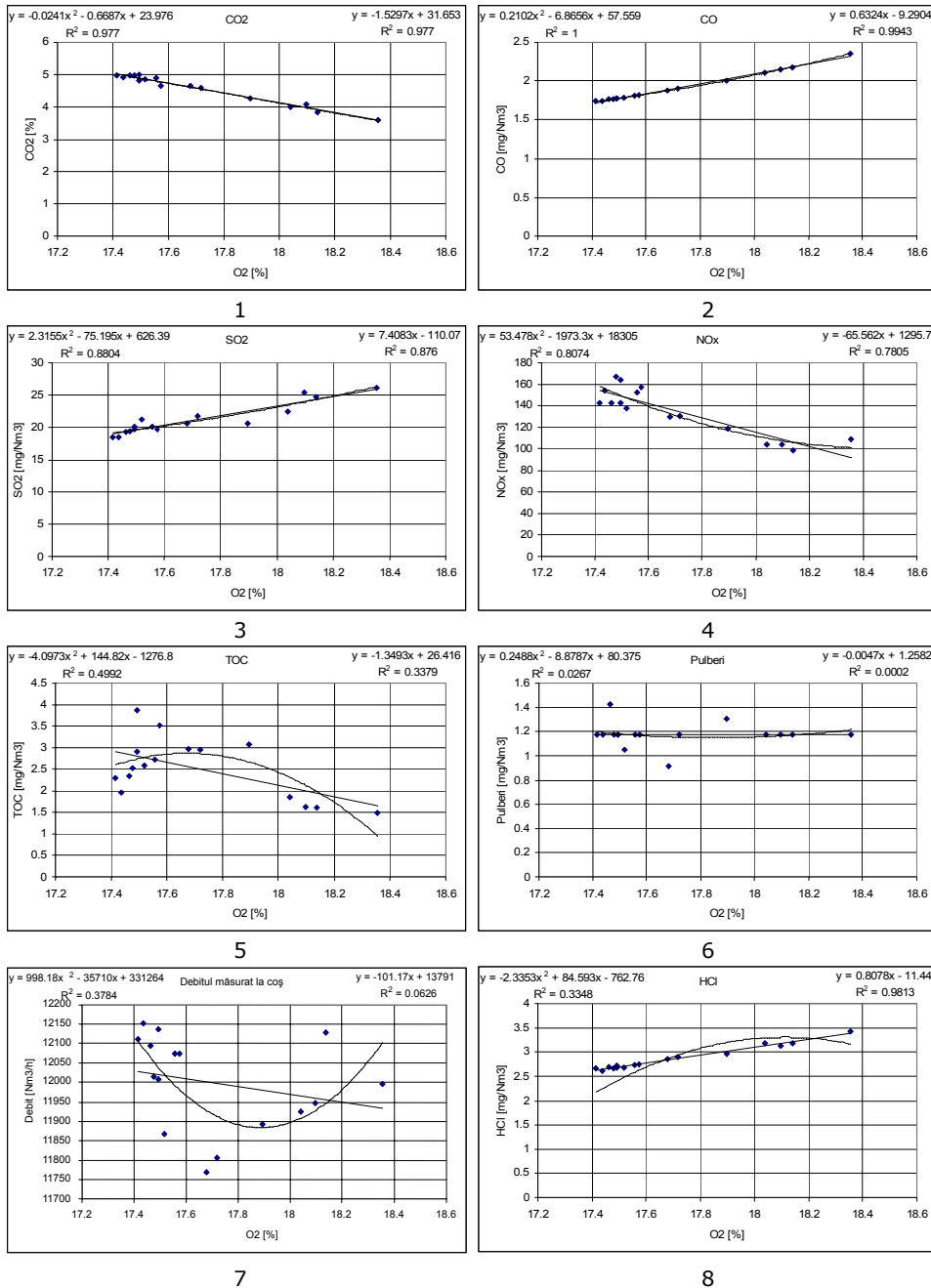


Figura 67 Reprezentarea principalelor parametrii măsurate pentru șarja 11 în funcție de concentrația de oxigen

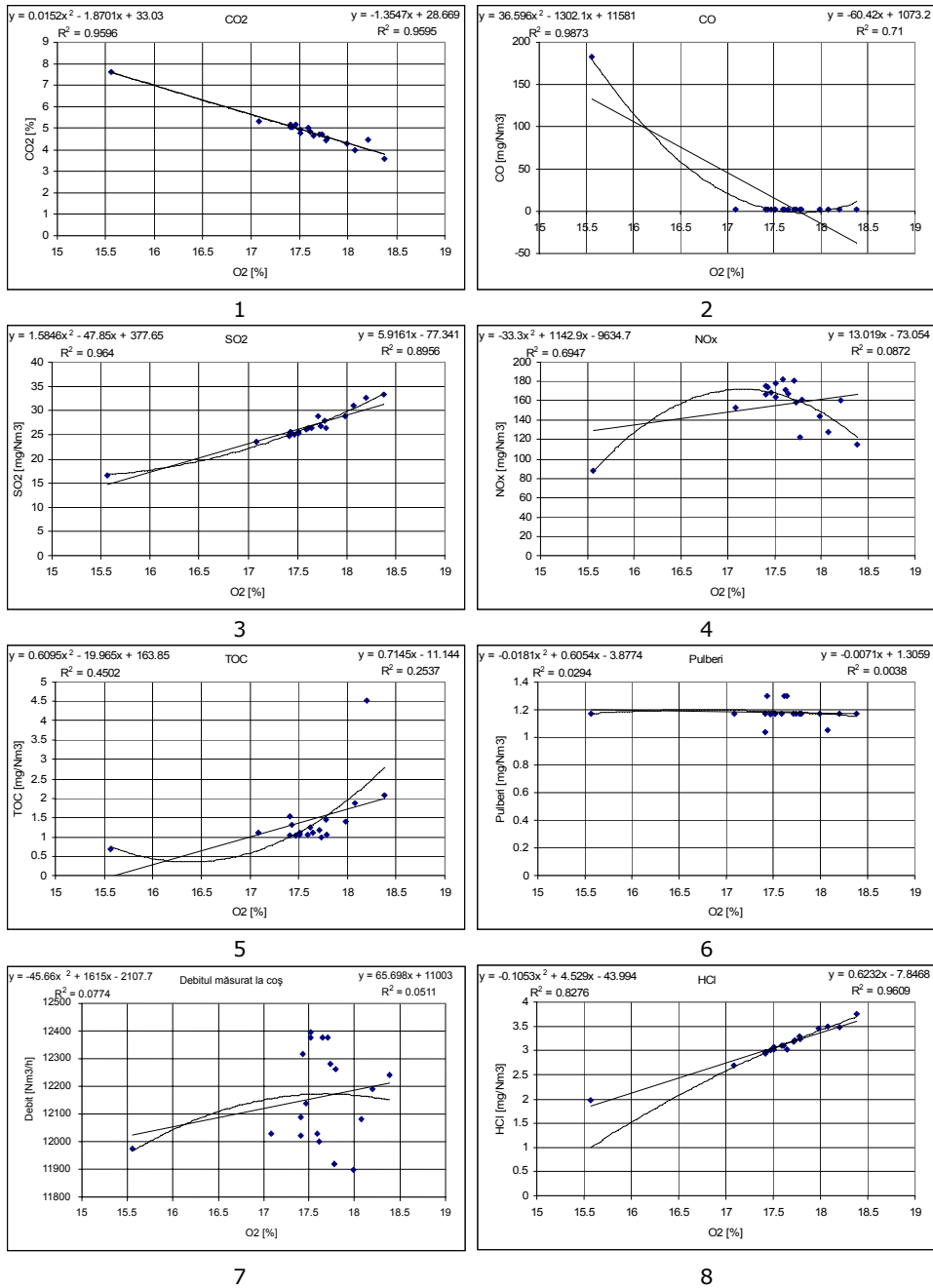
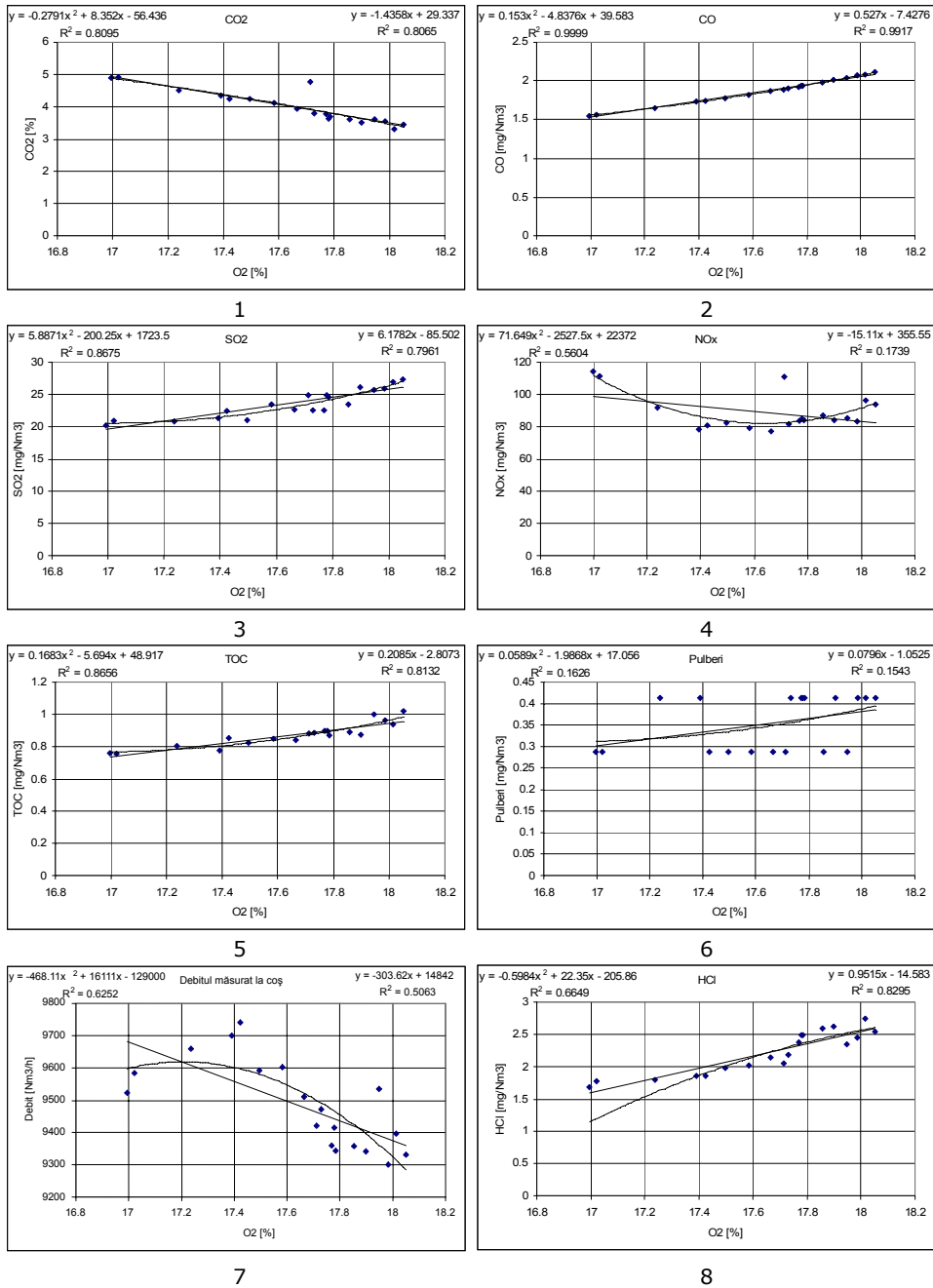


Figura 68 Reprezentarea principalelor parametri măsurati pentru șarja 12 în funcție de concentrația de oxigen



**Figura 69** Reprezentarea principalelor parametrii măsurate pentru șarja 13 în funcție de concentrația de oxigen

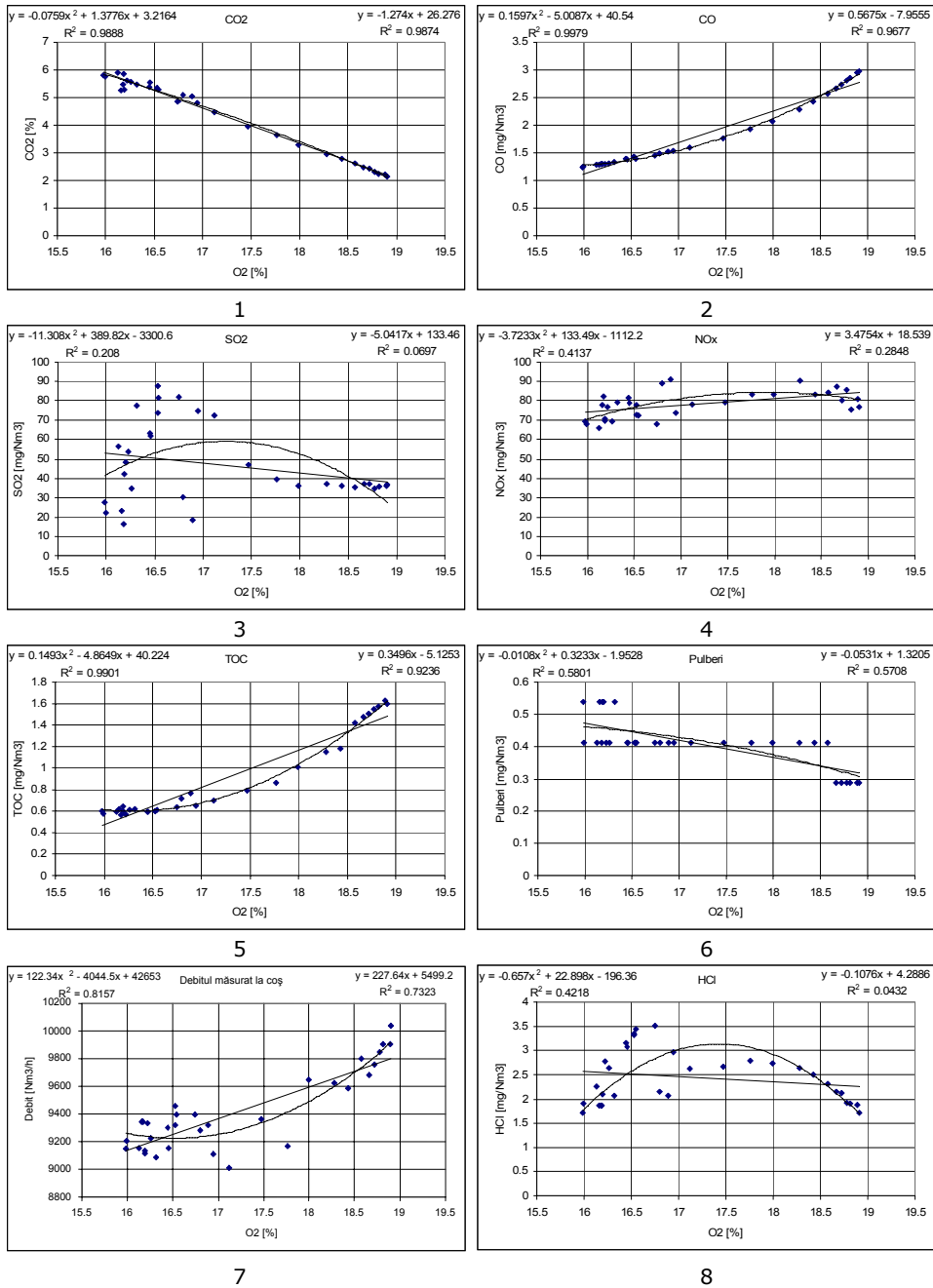
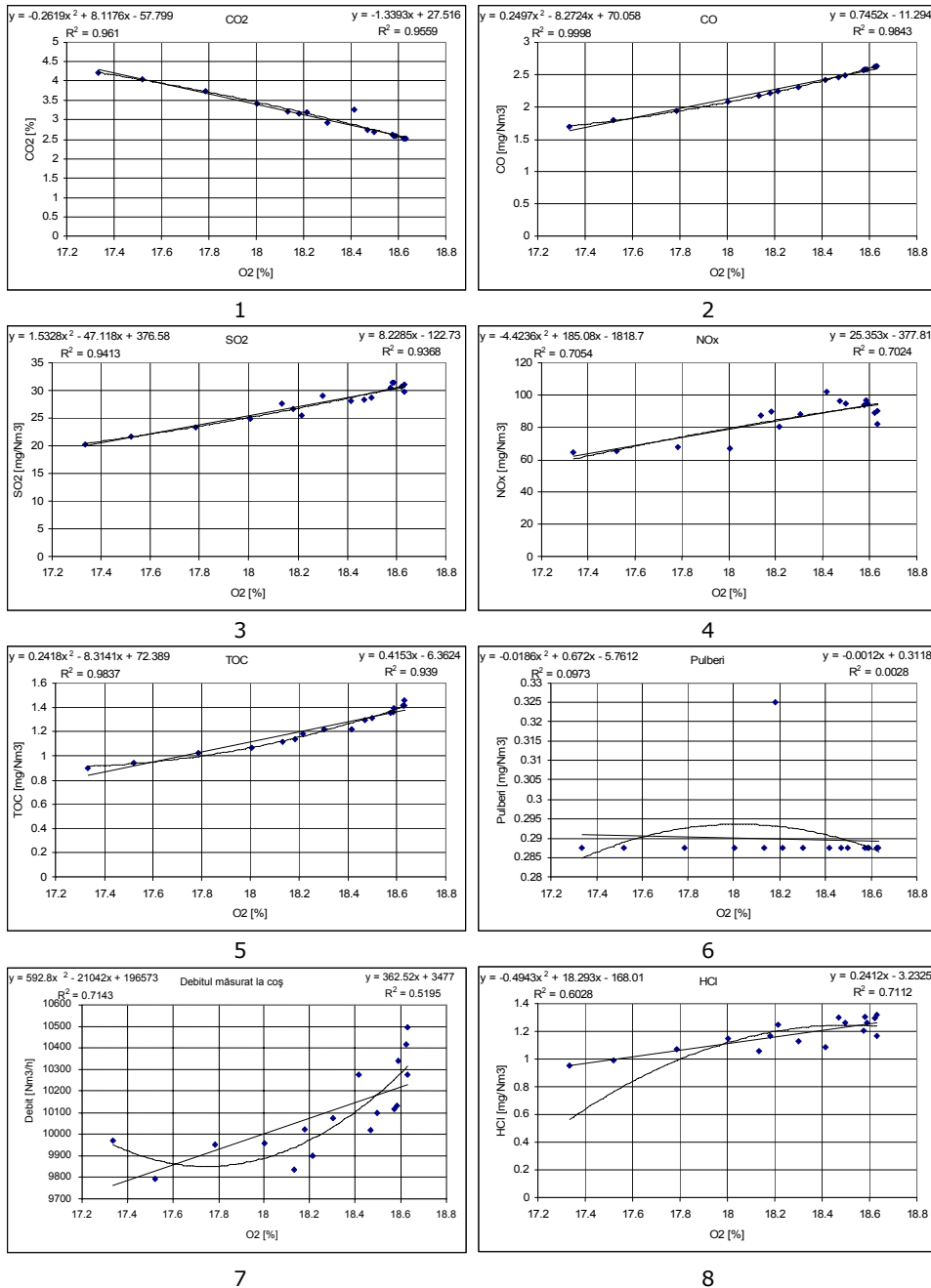
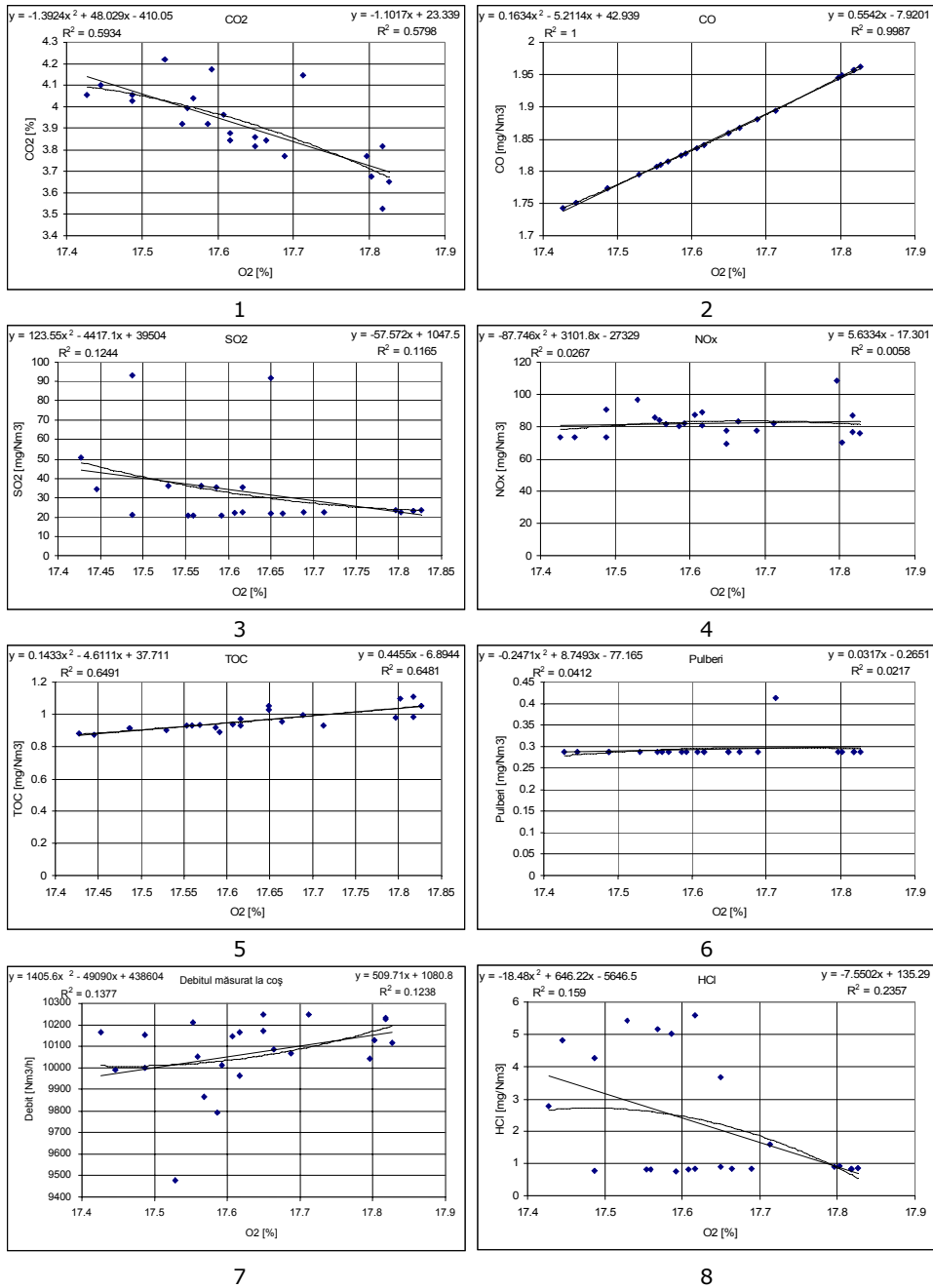


Figura 70 Reprezentarea principalelor parametrii măsurați pentru șarja 14 în funcție de concentrația de oxigen



**Figura 71** Reprezentarea principalelor parametrii măsurate pentru șarja 15 în funcție de concentrația de oxigen



**Figura 72** Reprezentarea principalilor parametri măsurati pentru șarja 16 în funcție de concentrația de oxigen

Din reprezentările grafice prezentate în **figurile 57-72** s-au dedus ecuațiile modelelor matematice și coeficientul de corelare pentru dependențele considerate utilizând ambele metode.

În **tabelele 49 – 56** sunt prezentate aceste modele pentru cele 16 șarje

**Tabelul 49** Modele matematice pentru dependența  $CO_2=f(O_2)$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = -1.3855x + 28.958$	0.9901	$y = -0.0296x^2 - 0.3497x + 19.902$	0.9902
2	$y = -1.3645x + 28.498$	0.9823	$y = 0.0628x^2 - 3.5269x + 47.12$	0.9825
3	$y = -1.4282x + 29.632$	0.9969	$y = -0.0285x^2 - 0.4272x + 20.866$	0.9972
4	$y = -1.4001x + 29.138$	0.9915	$y = -0.0416x^2 + 0.0832x + 15.949$	0.9918
5	$y = -1.1876x + 25.524$	0.8373	$y = 0.5207x^2 - 18.878x + 175.73$	0.846
6	$y = -1.1058x + 23.97$	0.9693	$y = -0.1364x^2 + 3.3685x - 12.692$	0.9712
7	$y = -1.5834x + 31.983$	0.9697	$y = 0.2134x^2 - 8.852x + 93.846$	0.9707
8	$y = -1.2403x + 26.365$	0.9494	$y = -0.0591x^2 + 0.6688x + 10.99$	0.9499
9	$y = -1.7385x + 35.149$	0.9385	$y = 0.3542x^2 - 14.009x + 141.35$	0.9545
10	$y = -1.7519x + 35.549$	0.9516	$y = 0.442x^2 - 17.136x + 169.32$	0.9713
11	$y = -1.5297x + 31.653$	0.977	$y = -0.0241x^2 - 0.6687x + 23.976$	0.977
12	$y = -1.3547x + 28.669$	0.9595	$y = 0.0152x^2 - 1.8701x + 33.03$	0.9596
13	$y = -1.4358x + 29.337$	0.8065	$y = -0.2791x^2 + 8.352x - 56.436$	0.8095
14	$y = -1.274x + 26.276$	0.9874	$y = -0.0759x^2 + 1.3776x + 3.2164$	0.9888
15	$y = -1.3393x + 27.516$	0.9559	$y = -0.2619x^2 + 8.1176x - 57.799$	0.961
16	$y = -1.1017x + 23.339$	0.5798	$y = -1.3924x^2 + 48.029x - 410.05$	0.5934

**Tabelul 50** Modele matematice pentru dependența  $CO=f(O_2)$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 1.0527x - 16.275$	0.0819	$y = 0.2564x^2 - 7.9255x + 62.22$	0.0837
2	$y = 0.4433x - 5.9736$	0.9955	$y = 0.1185x^2 - 3.6405x + 29.195$	1
3	$y = 0.5905x - 8.4556$	0.9347	$y = 0.1797x^2 - 5.7151x + 46.764$	0.9972

4	$y = 1.5378x - 24.841$	0.2228	$y = 1.2207x^2 - 41.96x + 361.94$	0.2723
5	$y = 0.3955x - 5.1558$	0.992	$y = 0.0562x^2 - 1.5146x + 11.063$	0.993
6	$y = 0.3017x - 3.5732$	0.9937	$y = 0.0662x^2 - 1.872x + 14.238$	1
7	$y = 0.4005x - 5.237$	0.9958	$y = 0.1049x^2 - 3.1734x + 25.18$	1
8	$y = 0.2739x - 3.1071$	0.9884	$y = 0.0573x^2 - 1.5747x + 11.78$	0.9998
9	$y = -62.523x + 1099.3$	0.2645	$y = 125.91x^2 - 4425x + 38853$	0.704
10	$y = 0.5031x - 6.9914$	0.9762	$y = 0.1364x^2 - 4.2456x + 34.3$	0.9996
11	$y = 0.6324x - 9.2904$	0.9943	$y = 0.2102x^2 - 6.8656x + 57.559$	1
12	$y = -60.42x + 1073.2$	0.71	$y = 36.596x^2 - 1302.1x + 11581$	0.9873
13	$y = 0.527x - 7.4276$	0.9917	$y = 0.153x^2 - 4.8376x + 39.583$	0.9999
14	$y = 0.5675x - 7.9555$	0.9677	$y = 0.1597x^2 - 5.0087x + 40.54$	0.9979
15	$y = 0.7452x - 11.294$	0.9843	$y = 0.2497x^2 - 8.2724x + 70.058$	0.9998
16	$y = 0.5542x - 7.9201$	0.9987	$y = 0.1634x^2 - 5.2114x + 42.939$	1

**Tabelul 51** Modele matematice pentru dependența  $SO_2=f(O_2)$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 6.8545x - 96.785$	0.9166	$y = 2.811x^2 - 91.59x + 763.89$	0.9744
2	$y = 5.4455x - 73.128$	0.8853	$y = 2.1043x^2 - 67.066x + 551.32$	0.8937
3	$y = 7.9382x - 115.22$	0.9193	$y = 2.439x^2 - 77.67x + 634.46$	0.982
4	$y = 8.7592x - 129.98$	0.9371	$y = 3.2075x^2 - 105.54x + 886.35$	0.9815
5	$y = 53.601x - 861.97$	0.38	$y = 53.453x^2 - 1762.4x + 14558$	0.4004
6	$y = 2.6816x - 16.19$	0.028	$y = -27.691x^2 + 911.34x - 7461.6$	0.4163
7	$y = -0.562x + 30.049$	0.002	$y = 14.206x^2 - 484.43x + 4148.2$	0.0789
8	$y = 7.6455x - 104.18$	0.8755	$y = 2.4469x^2 - 71.36x + 532.08$	0.8992
9	$y = 6.2487x - 87.62$	0.9225	$y = 0.9698x^2 - 27.353x + 203.18$	0.9316
10	$y = 5.3926x - 74.39$	0.9335	$y = 1.7873x^2 - 56.822x + 466.59$	0.9669



11	$y = 7.4083x - 110.07$	0.876	$y = 2.3155x^2 - 75.195x + 626.39$	0.8804
12	$y = 5.9161x - 77.341$	0.8956	$y = 1.5846x^2 - 47.85x + 377.65$	0.964
13	$y = 6.1782x - 85.502$	0.7961	$y = 5.8871x^2 - 200.25x + 1723.5$	0.8675
14	$y = -5.0417x + 133.46$	0.0697	$y = -11.308x^2 + 389.82x - 3300.6$	0.208
15	$y = 8.2285x - 122.73$	0.9368	$y = 1.5328x^2 - 47.118x + 376.58$	0.9413
16	$y = -57.572x + 1047.5$	0.1165	$y = 123.55x^2 - 4417.1x + 39504$	0.1244

**Tabelul 52** Modele matematice pentru dependența  $NO_x=f(O_2)$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = -1.1914x + 146.24$	0.0034	$y = 14.926x^2 - 523.91x + 4716.2$	0.2042
2	$y = 19.146x - 218.73$	0.5883	$y = 34.067x^2 - 1154.8x + 9890.7$	0.7066
3	$y = 5.8593x + 20.437$	0.1632	$y = 11.82x^2 - 409.01x + 3653.5$	0.6426
4	$y = 14.232x - 135.18$	0.6298	$y = 13.653x^2 - 472.28x + 4190.8$	0.8343
5	$y = -23.415x - 509.19$	0.4333	$y = -68.675x^2 + 2309.7x - 19302$	0.6339
6	$y = 10.238x - 75.47$	0.2497	$y = -19.177x^2 + 639.53x - 5231.8$	0.3634
7	$y = -30.383x + 600.47$	0.8554	$y = 6.9394x^2 - 266.74x + 2612.1$	0.8581
8	$y = 19.095x - 204.8$	0.4823	$y = -22.355x^2 + 740.89x - 6017.7$	0.6567
9	$y = -10.125x + 289.49$	0.1163	$y = -28.737x^2 + 985.58x - 8327.6$	0.5001
10	$y = -31.34x + 683.17$	0.4932	$y = -40.125x^2 + 1365.4x - 11462$	0.7562
11	$y = -65.562x + 1295.7$	0.7805	$y = 53.478x^2 - 1973.3x + 18305$	0.8074
12	$y = 13.019x - 73.054$	0.0872	$y = -33.3x^2 + 1142.9x - 9634.7$	0.6947
13	$y = -15.11x + 355.55$	0.1739	$y = 71.649x^2 - 2527.5x + 22372$	0.5604
14	$y = 3.4754x + 18.539$	0.2848	$y = -3.7233x^2 + 133.49x - 1112.2$	0.4137
15	$y = 25.353x - 377.81$	0.7024	$y = -4.4236x^2 + 185.08x - 1818.7$	0.7054
16	$y = 5.6334x - 17.301$	0.0058	$y = -87.746x^2 + 3101.8x - 27329$	0.0267

**Tabelul 53** Modele matematice pentru dependența  $TOC=f(O_2)$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = -0.0057x + 1.6363$	0.0001	$y = 0.4619x^2 - 16.181x + 143.05$	0.2955
2	$y = 0.098x - 0.7685$	0.4725	$y = 0.2919x^2 - 9.9619x + 85.865$	0.7384
3	$y = 0.2501x - 3.4546$	0.8856	$y = 0.0969x^2 - 3.152x + 26.338$	0.9816
4	$y = 0.3399x - 5.0881$	0.9477	$y = 0.0905x^2 - 2.8841x + 23.579$	0.9714
5	$y = 0.1155x - 1.2385$	0.8648	$y = 0.0535x^2 - 1.7005x + 14.182$	0.8748
6	$y = 0.1578x - 1.989$	0.9619	$y = -0.0278x^2 + 1.0699x - 9.4623$	0.9657
7	$y = 0.2181x - 2.9446$	0.9306	$y = 0.0051x^2 + 0.0442x - 1.4646$	0.9306
8	$y = 0.2759x - 3.6207$	0.4777	$y = 0.0084x^2 + 0.0032x - 1.4242$	0.4778
9	$y = 0.1334x - 1.1117$	0.0432	$y = -0.3177x^2 + 11.142x - 96.379$	0.1438
10	$y = 1.0423x - 16.022$	0.3644	$y = -0.2302x^2 + 9.0559x - 85.703$	0.3701
11	$y = -1.3493x + 26.416$	0.3379	$y = -4.0973x^2 + 144.82x - 1276.8$	0.4992
12	$y = 0.7145x - 11.144$	0.2537	$y = 0.6095x^2 - 19.965x + 163.85$	0.4502
13	$y = 0.2085x - 2.8073$	0.8132	$y = 0.1683x^2 - 5.694x + 48.917$	0.8656
14	$y = 0.3496x - 5.1253$	0.9236	$y = 0.1493x^2 - 4.8649x + 40.224$	0.9901
15	$y = 0.4153x - 6.3624$	0.939	$y = 0.2418x^2 - 8.3141x + 72.389$	0.9837
16	$y = 0.4455x - 6.8944$	0.6481	$y = 0.1433x^2 - 4.6111x + 37.711$	0.6491

**Tabelul 54** Modele matematice pentru dependența  $Pulberi=f(O_2)$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	R <sup>2</sup>	Ec. Regresie de gradul 2	R <sup>2</sup>
1	$y = 0.2112x - 2.8539$	0.4144	$y = 0.067x^2 - 2.1355x + 17.662$	0.4301
2	$y = 0.1384x - 1.1276$	0.5775	$y = -0.1832x^2 + 6.4503x - 55.485$	0.6417
3	$y = 0.0409x + 0.8163$	0.3209	$y = -0.0308x^2 + 1.1217x - 8.6481$	0.4522
4	$y = 0.2317x - 2.4985$	0.2821	$y = -0.3025x^2 + 11.013x - 98.362$	0.4517
5	$y = 0.1245x - 1.6233$	0.0463	$y = -0.0173x^2 + 0.7107x - 6.6007$	0.0463

6	$y = -0.0511x + 1.3689$	0.14	$y = -0.0356x^2 + 1.1165x - 8.1982$	0.1489
7	$y = -0.0116x + 0.6796$	0.0008	$y = -0.2936x^2 + 9.9882x - 84.428$	0.0332
8	$y = 0.0908x - 0.8675$	0.211	$y = -0.1106x^2 + 3.6612x - 29.621$	0.2936
9	$y = 0.0521x + 0.0564$	0.1913	$y = -0.005x^2 + 0.2244x - 1.4343$	0.192
10	$y = -0.0385x + 1.7293$	0.0043	$y = 0.0331x^2 - 1.1913x + 11.753$	0.0054
11	$y = -0.0047x + 1.2582$	0.0002	$y = 0.2488x^2 - 8.8787x + 80.375$	0.0267
12	$y = -0.0071x + 1.3059$	0.0038	$y = -0.0181x^2 + 0.6054x - 3.8774$	0.0294
13	$y = 0.0796x - 1.0525$	0.1543	$y = 0.0589x^2 - 1.9868x + 17.056$	0.1626
14	$y = -0.0531x + 1.3205$	0.5708	$y = -0.0108x^2 + 0.3233x - 1.9528$	0.5801
15	$y = -0.0012x + 0.3118$	0.0028	$y = -0.0186x^2 + 0.672x - 5.7612$	0.0973
16	$y = 0.0317x - 0.2651$	0.0217	$y = -0.2471x^2 + 8.7493x - 77.165$	0.0412

**Tabelul 55** Modele matematice pentru dependența  $Debit=f(O_2)$ ;

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	$R^2$	Ec. Regresie de gradul 2	$R^2$
1	$y = 326.4x + 6158.2$	0.2206	$y = -20.14x^2 + 1031.7x - 8.2817$	0.2209
2	$y = -6.6484x + 11186$	6E-05	$y = 639.68x^2 - 22049x + 201011$	0.0353
3	$y = 155.09x + 8913.7$	0.4886	$y = 42.609x^2 - 1340.5x + 22010$	0.5152
4	$y = 18.71x + 11638$	0.0169	$y = -140.28x^2 + 5017.7x - 32812$	0.3511
5	$y = 1679.2x - 19426$	0.7191	$y = 56.12x^2 - 227.38x - 3236.8$	0.7192
6	$y = 245.67x + 5823.1$	0.1355	$y = -719.73x^2 + 23863x - 187693$	0.2866
7	$y = 671.85x - 1628.6$	0.5749	$y = 214.98x^2 - 6650.3x + 60690$	0.5784
8	$y = -170.32x + 12444$	0.5166	$y = -113.06x^2 + 3480x - 16953$	0.5767
9	$y = 62.765x + 11161$	0.4163	$y = 36.361x^2 - 1197.1x + 22065$	0.4736
10	$y = -17.384x + 12711$	0.017	$y = 116.03x^2 - 4056.3x + 47831$	0.2635
11	$y = -101.17x + 13791$	0.0626	$y = 998.18x^2 - 35710x + 331264$	0.3784
12	$y = 65.698x + 11003$	0.0511	$y = -45.66x^2 + 1615x - 2107.7$	0.0774

13	$y = -303.62x + 14842$	0.5063	$y = -468.11x^2 + 16111x - 129000$	0.6252
14	$y = 227.64x + 5499.2$	0.7323	$y = 122.34x^2 - 4044.5x + 42653$	0.8157
15	$y = 362.52x + 3477$	0.5195	$y = 592.8x^2 - 21042x + 196573$	0.7143
16	$y = 509.71x + 1080.8$	0.1238	$y = 1405.6x^2 - 49090x + 438604$	0.1377

**Tabelul 56** Modele matematice pentru dependența  $HCl=f(O_2)$ :

Șarja nr.	Ec. Regresie liniară	$R^2$	Ec. Regresie de gradul 2	$R^2$
1	$y = 0.31x - 4.395$	0.9163	$y = 0.063x^2 - 1.895x + 14.883$	0.9305
2	$y = 0.1101x - 1.14$	0.5926	$y = 0.1093x^2 - 3.6574x + 31.305$	0.6297
3	$y = 0.2643x - 3.6671$	0.967	$y = 0.0123x^2 - 0.1685x + 0.1225$	0.9685
4	$y = 0.3386x - 5.0274$	0.9542	$y = 0.0553x^2 - 1.6308x + 12.484$	0.9632
5	$y = -7.2256x + 154.9$	0.0039	$y = -243.81x^2 + 8275.2x - 70166$	0.2859
6	$y = 0.3461x + 2.1303$	0.0052	$y = -10.629x^2 + 349.53x - 2862.4$	0.5599
7	$y = -1.3287x + 26.336$	0.1807	$y = 0.0258x^2 - 1.6203x + 23.707$	0.0338
8	$y = 1.3671x - 17.665$	0.8906	$y = -0.1216x^2 + 5.6259x - 54.869$	0.8084
9	$y = 0.7684x - 10.721$	0.9865	$y = -0.4772x^2 + 17.565x - 158.42$	0.7715
10	$y = 0.7667x - 10.653$	0.9862	$y = -0.5887x^2 + 21.594x - 194.76$	0.7439
11	$y = 0.8078x - 11.44$	0.9813	$y = -2.3353x^2 + 84.593x - 762.76$	0.3348
12	$y = 0.6232x - 7.8468$	0.9609	$y = -0.1053x^2 + 4.529x - 43.994$	0.8276
13	$y = 0.9515x - 14.583$	0.8295	$y = -0.5984x^2 + 22.35x - 205.86$	0.6649
14	$y = -0.1076x + 4.2886$	0.0432	$y = -0.657x^2 + 22.898x - 196.36$	0.4218
15	$y = 0.2412x - 3.2325$	0.7112	$y = -0.4943x^2 + 18.293x - 168.01$	0.6028
16	$y = -7.5502x + 135.29$	0.2357	$y = -18.48x^2 + 646.22x - 5646.5$	0.159

#### 5.6.4 Comentarii și concluzii

În cazul reprezentării variației concentrației de bioxid de carbon în funcție de concentrația de oxigen, se observă o comportare liniară.

Valorile indicatorului preciziei modelului liniar  $R^2$  sunt foarte bune pentru șarjele 1-15 cu excepția șarjei nr. 16.

Această comportare liniară se explică prin stoechiometria reacției de oxidare a carbonului la bioxid de carbon, reacția predominantă în cazul procesului de ardere, care necesită doi atomi de oxigen pentru oxidarea fiecărui atom de carbon. În termeni de concentrații procentuale în gazele arse, luând în considerare și celelalte reacții chimice de oxidare ce au loc, putem spune că suma  $O_2+CO_2$  este aproximativ 21% (concentrația oxigenului în aer) și practic constantă.

Din aceste reprezentări grafice și modele matematice liniare cu precizie  $R^2 > 0,83$  se observă buna funcționare a instalației.

La reprezentarea variației concentrației de **monoxid de carbon** în funcție de concentrația de oxigen, se observă și aici o comportare liniară.

Valorile indicatorului preciziei modelului liniar  $R^2$  sunt foarte bune pentru șarjele 2,3,5,6,7,8,10,11,12,13,14,15,16. Comportarea șarjelor nr. 1,4 și 9 poate fi explicată prin aprinderea bruscă a unei părți a deșeurilor, fenomen ce se produce de regulă în momentul alimentării.

Această comportare se explică prin stoechiometria reacției de oxidare a carbonului la monoxid de carbon, reacție care are loc în cazul arderii în condiții de oxigen insuficient, sau în cazul amestecării imperfecte, în condiții de exces de oxigen insuficient.

În cazul reprezentării variației concentrației de **bioxid de sulf** în funcție de concentrația de oxigen pentru cele 16 șarje luate în discuție, valorile indicatorului preciziei modelului liniar  $R^2$  sunt bune pentru 10 dintre șarje. Din punct de vedere chimic, nu ar trebui să existe o astfel de dependență, concentrația de bioxid de sulf la coș fiind dependentă de cantitatea de sulf existentă în deșeu și eficiența instalației de epurare. Totuși, această comportare în cazul a 6 șarje poate fi explicată prin erori de măsurare generate de depunerea unor mici cantități de sulf în interiorul analizorului.

La reprezentarea variației concentrației de **oxizi de azot** în funcție de concentrația de oxigen, se observă o dispunere aleatoare a valorilor într-un interval destul de larg (cca 50-250mgNOx/Nm<sup>3</sup>).

Valorile indicatorului preciziei modelului liniar  $R^2$  sunt bune pentru șarjele 5 și 7, respectiv 4, 5, 7 și 11 în cazul modelului bazat pe regresia neliniară, fapt care poate fi pus pe seama unei distribuții aleatoare.

În cazul reprezentării variației concentrației **compușilor organici volatili** în funcție de concentrația de oxigen, ne putem aștepta la o bună corelare a valorilor. Cu toate acestea, se observă că valorile indicatorului preciziei modelului liniar și neliniar  $R^2$  nu sunt acceptabile pentru toate șarjele studiate. Acest fapt poate fi pus pe seama valorilor brute foarte mici măsurate, de sub 1 PPM Propan, ceea ce reprezintă pentru analizor mai puțin de 2% din întreg domeniul de măsură.

Se observă că șarjele unde indicatorul de precizie al modelului matematic de ordinul 2 este acceptabil, diferența față de modelul liniar este destul de mică, sub 0,1%. În aceste condiții, se poate aprecia că utilizarea modelului liniar este suficientă pentru descrierea comportării sistemului.

La reprezentarea variației **concentrației de pulberi** în funcție de concentrația de oxigen, se observă o dispersie mare a măsurătorilor în jurul unei

valori de sub 1mgPulberi/Nm<sup>3</sup>.

Se observă deasemenea că valorile indicatorului preciziei modelelor liniar și neliniar R<sup>2</sup> nu sunt acceptabile pentru nici una dintre șarjele studiate. Considerăm că explicația acestui lucru este aceeași ca și în cazul dependențelor de tip A.

În cazul reprezentării variației **debitului de gaze arse la coș** în funcție de concentrația de oxigen, în urma elaborării modelelor matematice, se observă că valorile indicatorului preciziei modelelor liniar și neliniar R<sup>2</sup> nu sunt acceptabile pentru toate șarjele studiate. Nu există o dependență clară între debitul de gaze arse la coș și concentrația de oxigen. Considerăm că măsurătorile de debit obținute sunt afectate negativ de către acționarea unor elemente de execuție (clapete, ventilatoare), gradul de colmatare al filtrelor și al posibilelor turbulențe apărute în zona debitometrului.

În cazul reprezentării variației concentrației **acidului clorhidric** în funcție de concentrația de oxigen, în urma elaborării modelelor matematice, se observă că valorile indicatorului preciziei modelului liniar R<sup>2</sup> sunt mai bune decât în cazul celui neliniar.

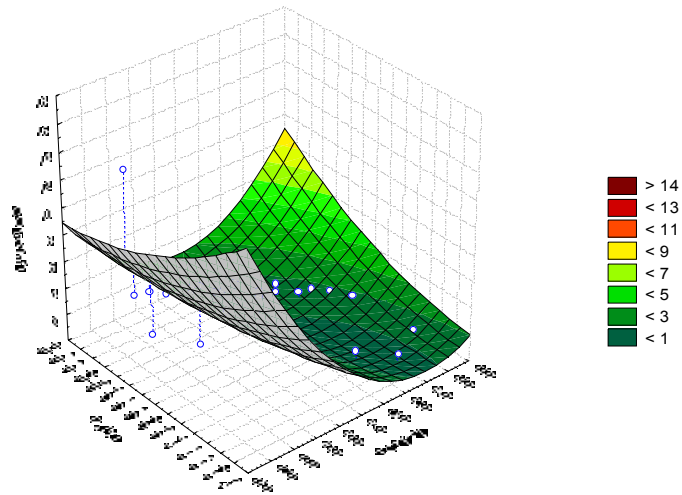
Așadar, există o dependență directă între concentrația de acid clorhidric la coș și concentrația de oxigen.

Modelele matematice obținute pentru descrierea dependențelor existente între valorile concentrațiilor emisiilor la coș și valorile concentrațiilor de oxigen în condițiile unei temperaturi de ardere corespunzătoare, adică în jurul valorii de 900°C, sunt corespunzătoare pentru cei mai mulți dintre compușii studiați. Din evaluarea modelelor matematice obținute, se observă că valorile concentrațiilor emisiilor la coș depind în proporții diferite de concentrația de oxigen măsurată. Acestea variază în limite destul de largi, între 10 și peste 90%. Valorile mai mari, de 70-90%, acceptabile, se înregistrează pentru CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> și TOC. Se observă necesitatea introducerii în model a unei noi variabile independente care să reflecte temperatura de ardere. Pentru aceasta s-a ales temperatura măsurată cu ajutorul termocuplului TC7, amplasat pe peretele lateral din zona centrală a camerei de incinerare.

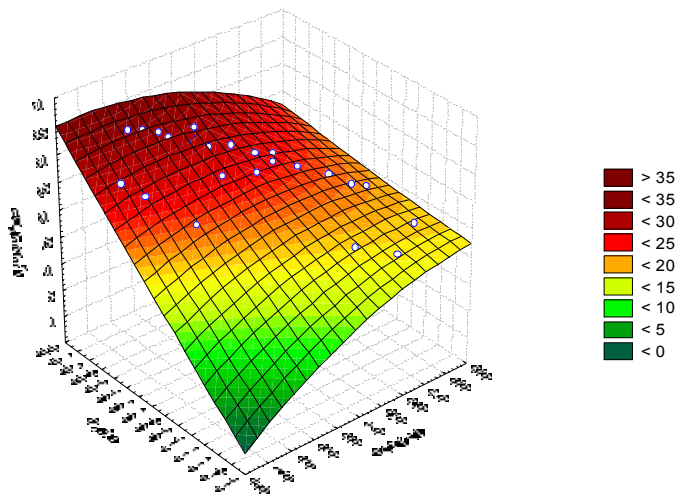
### 5.6.5 Tipul C

În cele ce urmează se prezintă graficele pentru dependențele considerate de forma  $z=f(x,y)$ , unde  $x$  = temperatura din camera de postardere măsurată în punctul TC7 [°C] și  $y$  = concentrația de oxigen măsurată la coș O<sub>2</sub> [%], **figurile 73-168**:

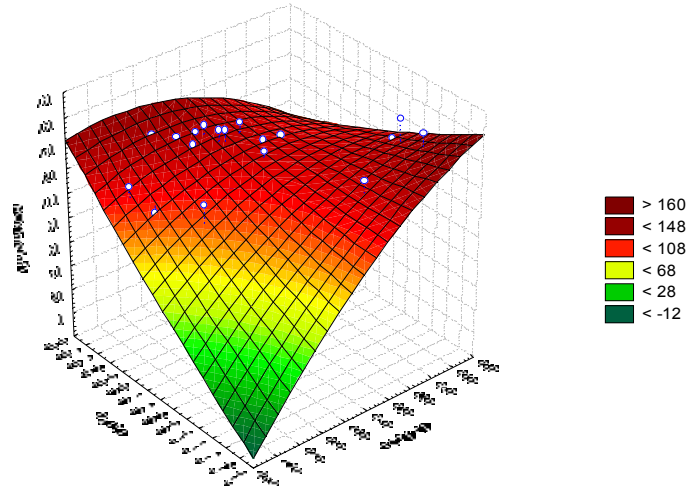
- $CO=f(TC7, O_2)$ , unde  $z$  = concentrația de CO [%]
- $SO_2=f(TC7, O_2)$ , unde  $z$  = concentrația de SO<sub>2</sub> [mg/m<sup>3</sup>]
- $NOx=f(TC7, O_2)$ , unde  $z$  = concentrația de NOx [mg/m<sup>3</sup>]
- $TOC=f(TC7, O_2)$ , unde  $z$  = concentrația de TOC [mg/m<sup>3</sup>]
- $Pulberi=f(TC7, O_2)$ , unde  $z$  = concentrația de pulberi [mg/m<sup>3</sup>]
- $HCl=f(TC7, O_2)$ , unde  $z$  = concentrația de HCl [mg/m<sup>3</sup>]

**Saria 1**

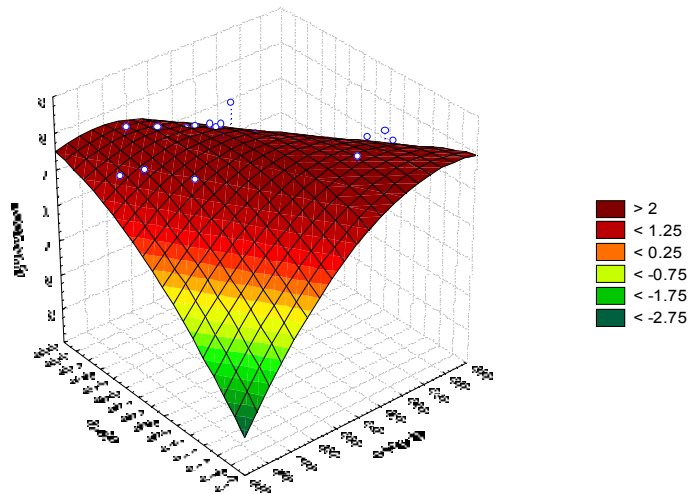
**Figura 73** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 74** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

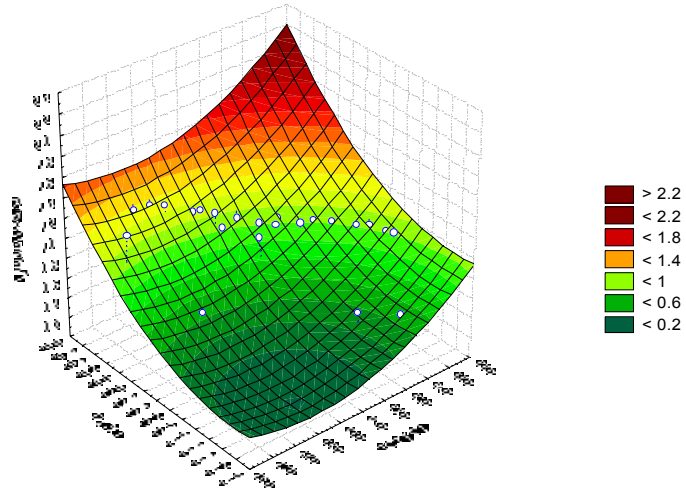


**Figura 75** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

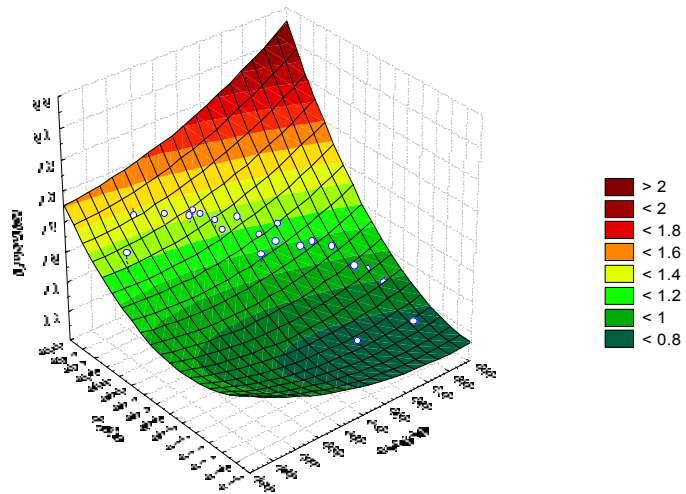


**Figura 76** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



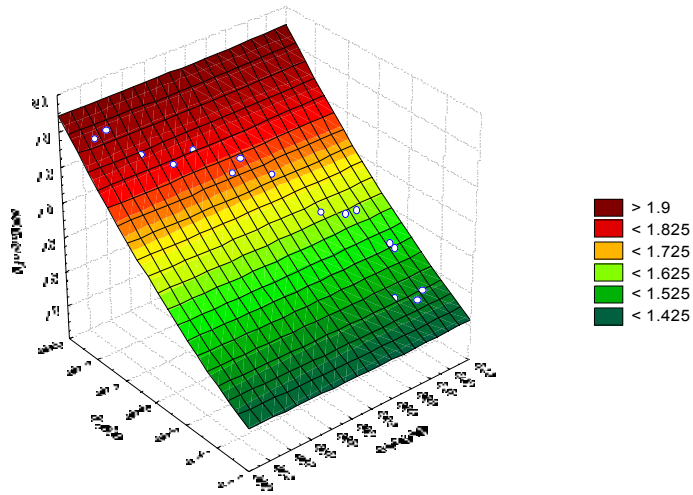


**Figura 77** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

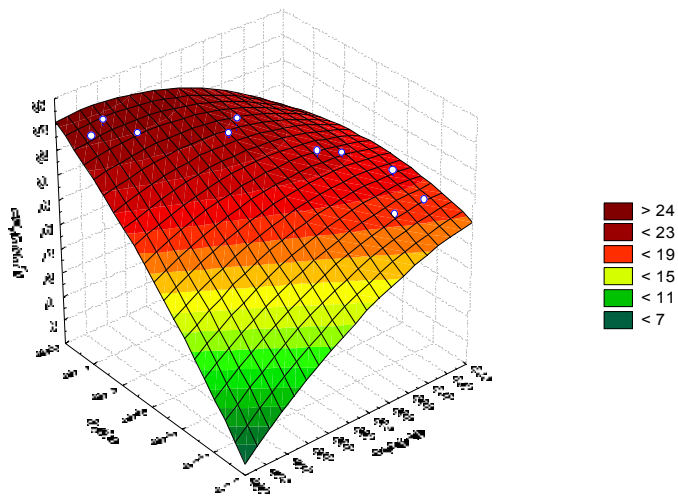


**Figura 78** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

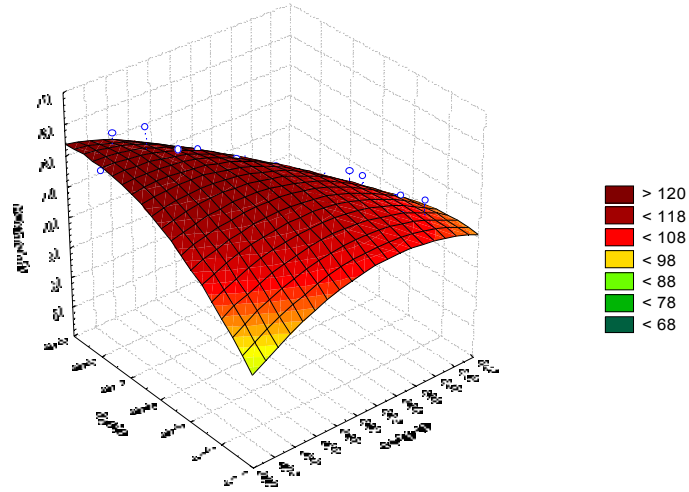
**Saria 2**



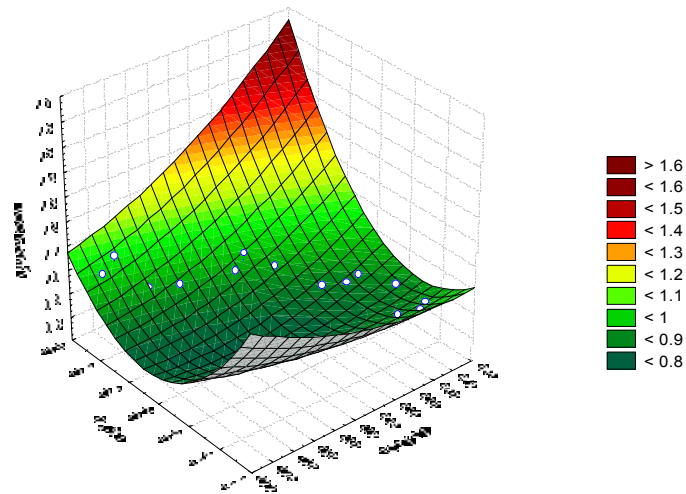
**Figura 79** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



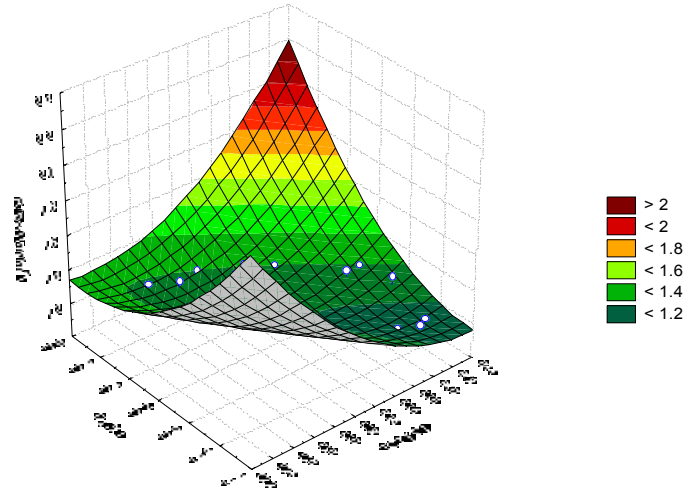
**Figura 80** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



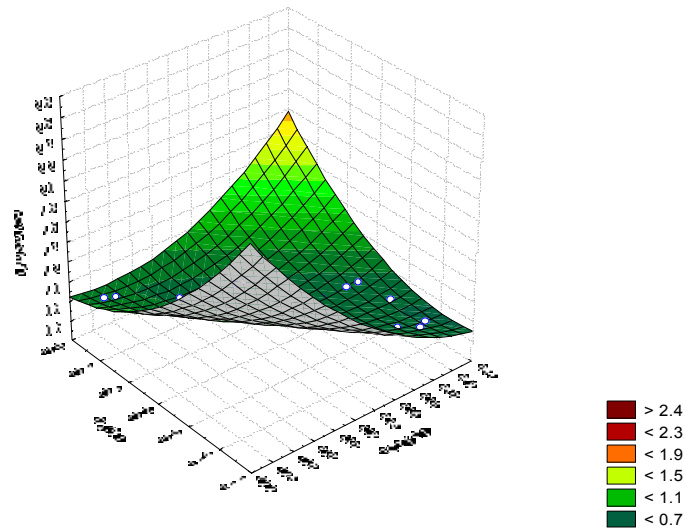
**Figura 81** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 82** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

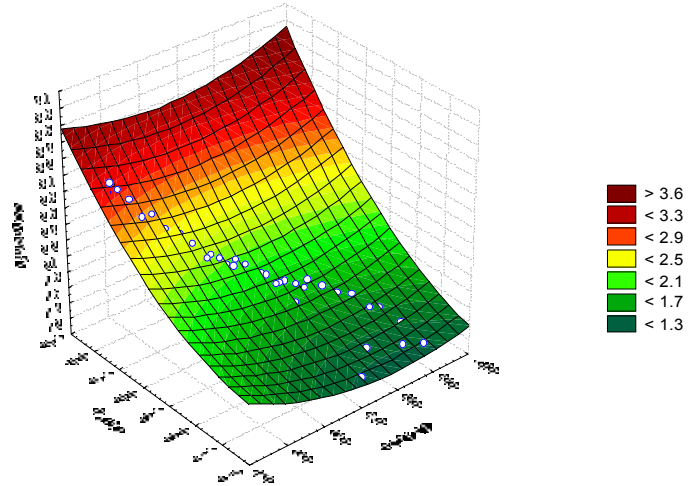


**Figura 83** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

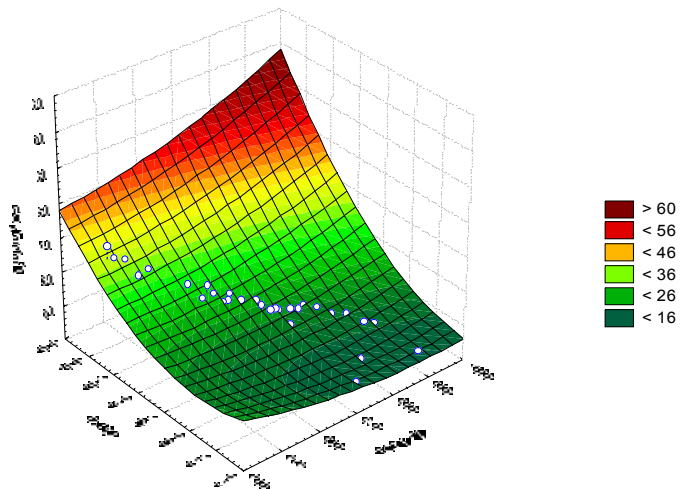


**Figura 84** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

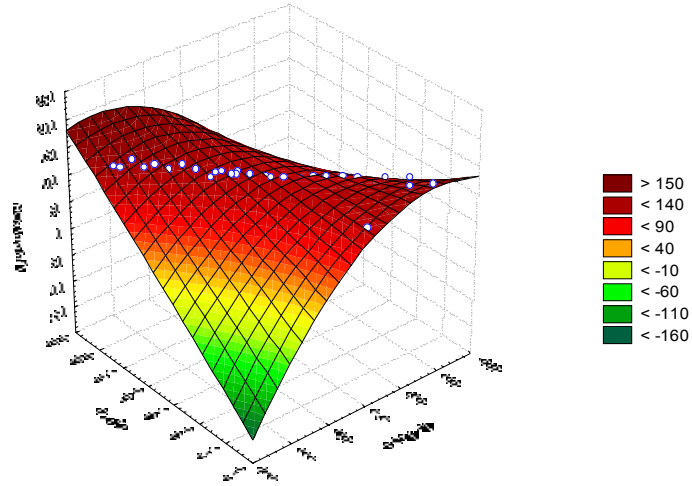
**Saria 3**



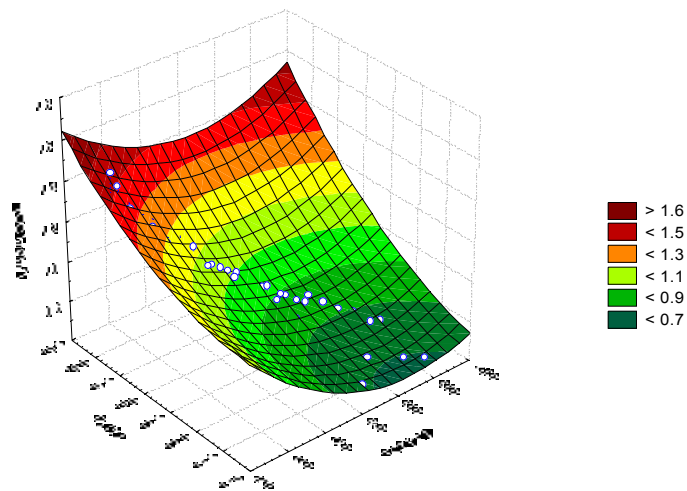
**Figura 85** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



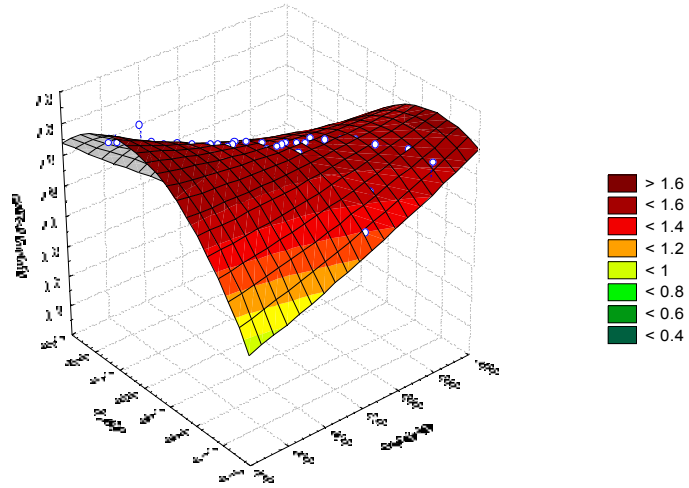
**Figura 86** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



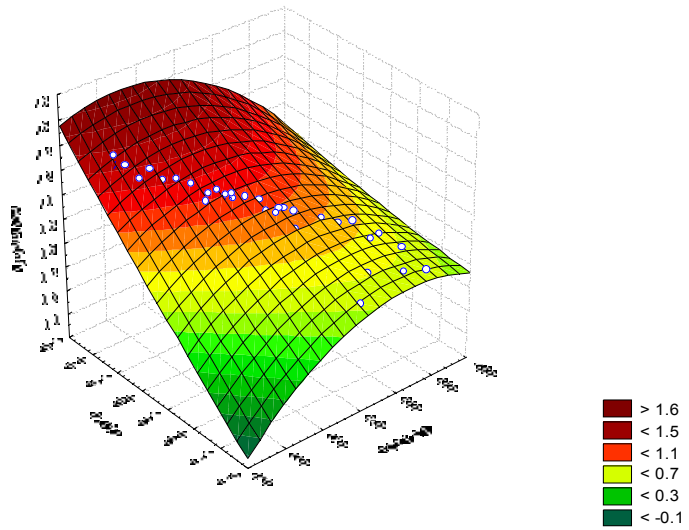
**Figura 87** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 88** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

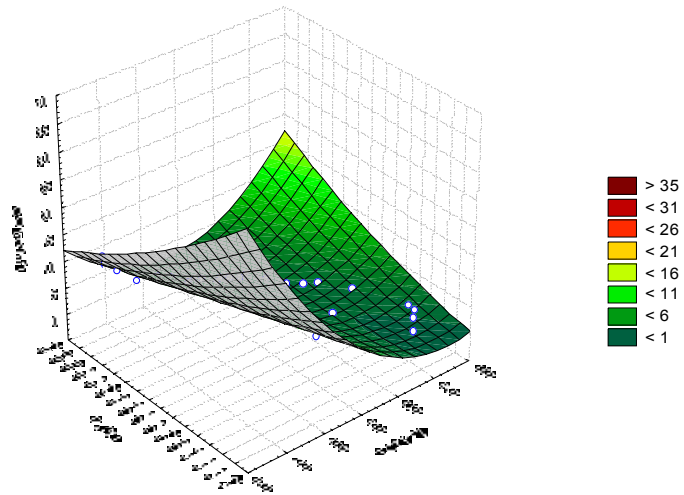


**Figura 89** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

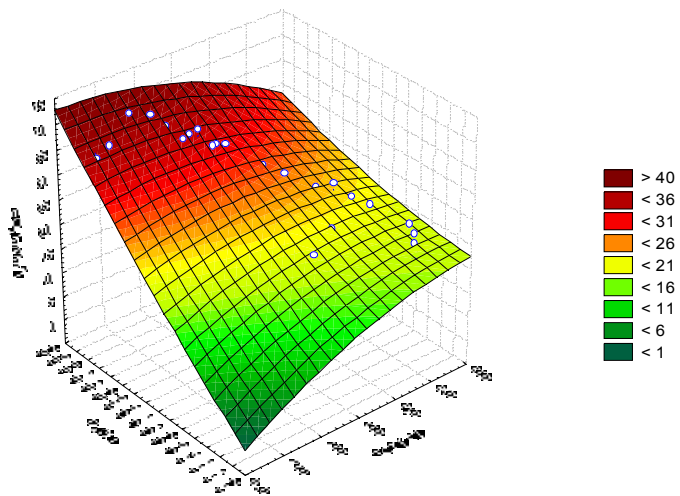


**Figura 90** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

**Saria 4**

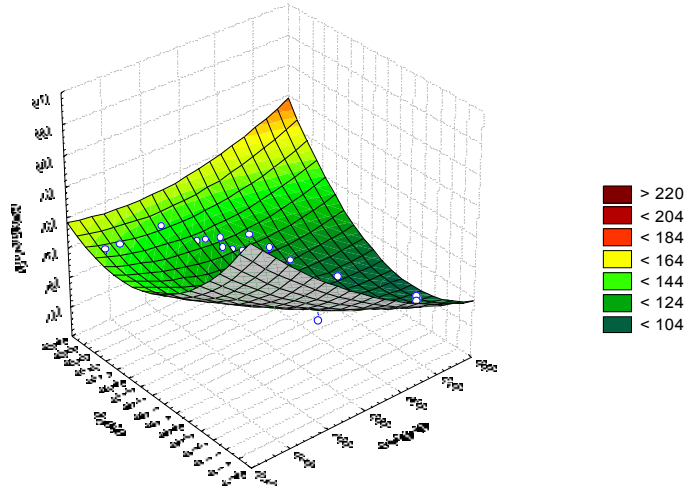


**Figura 91** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

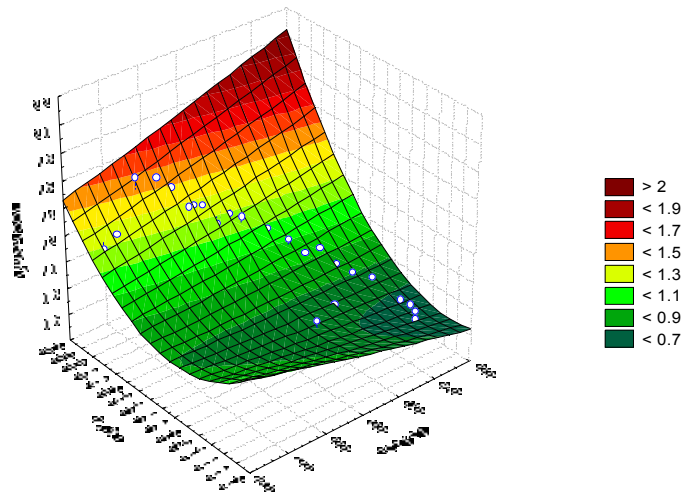


**Figura 92** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

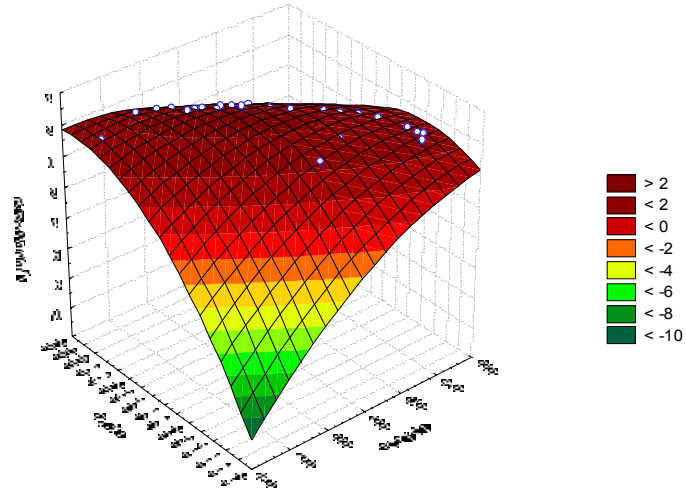




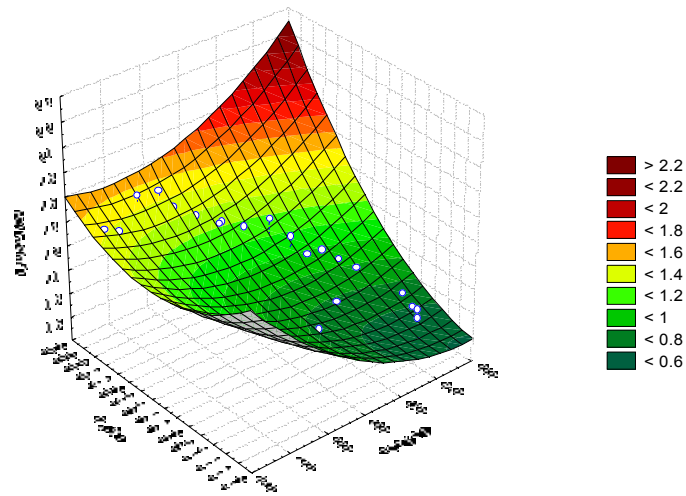
**Figura 93** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 94** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

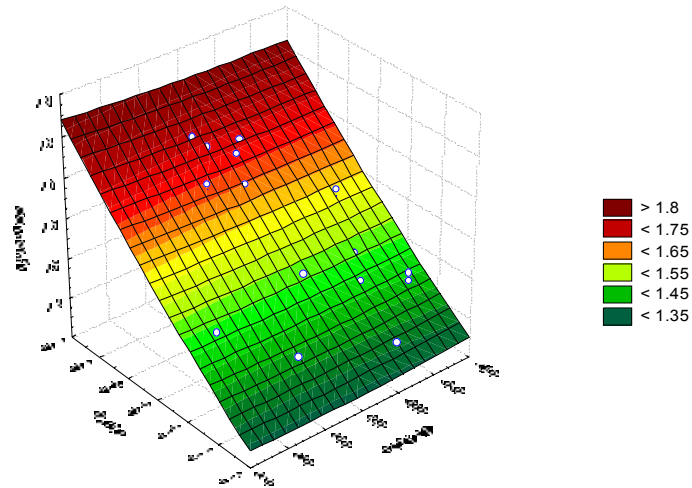


**Figura 95** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

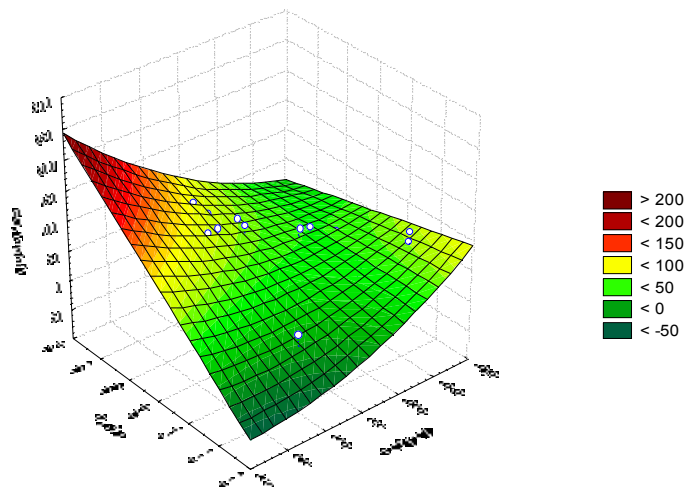


**Figura 96** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

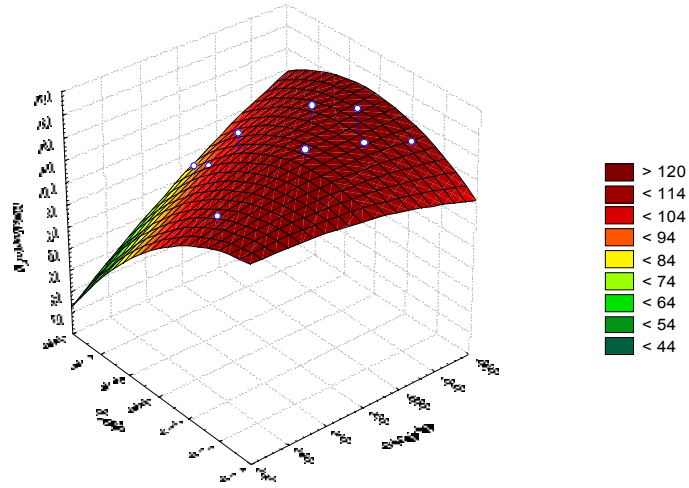
**Saria 5**



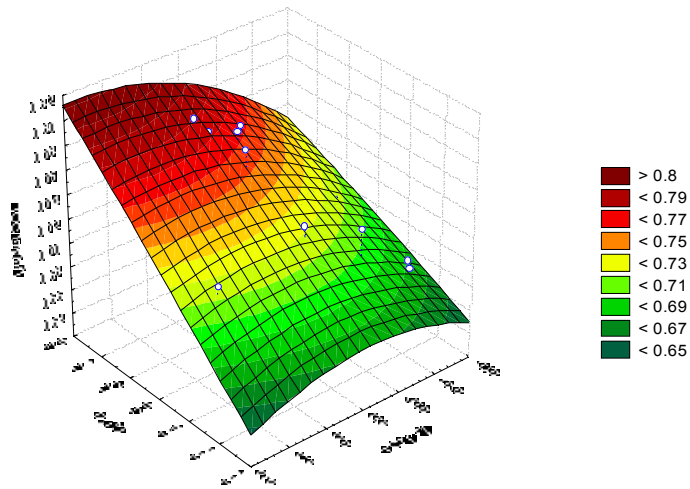
**Figura 97** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



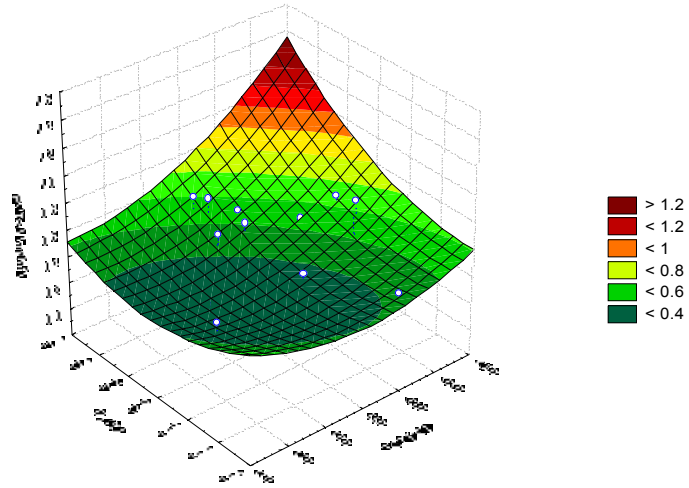
**Figura 98** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



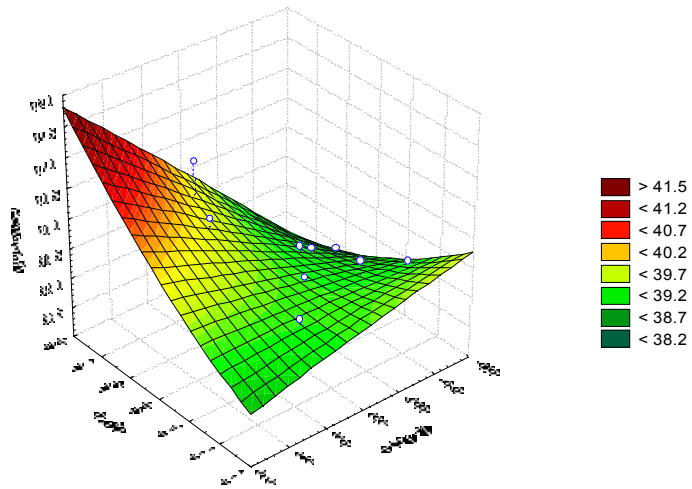
**Figura 99** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 100** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

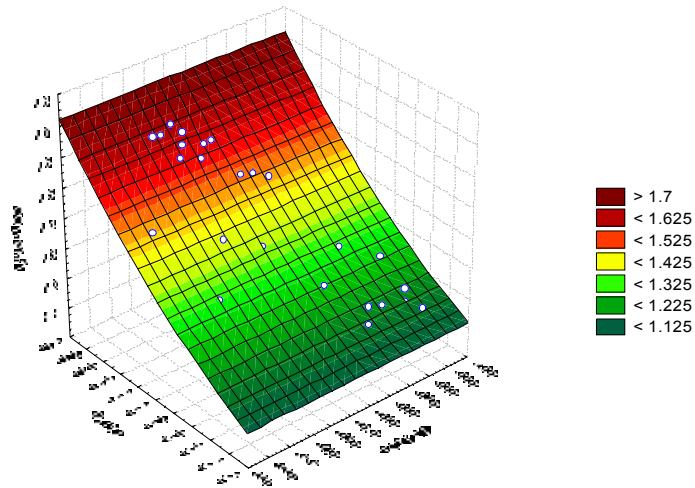


**Figura 101** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

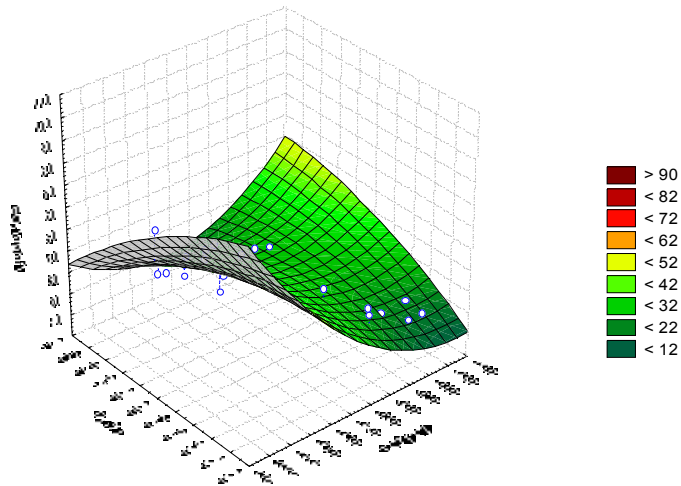


**Figura 102** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

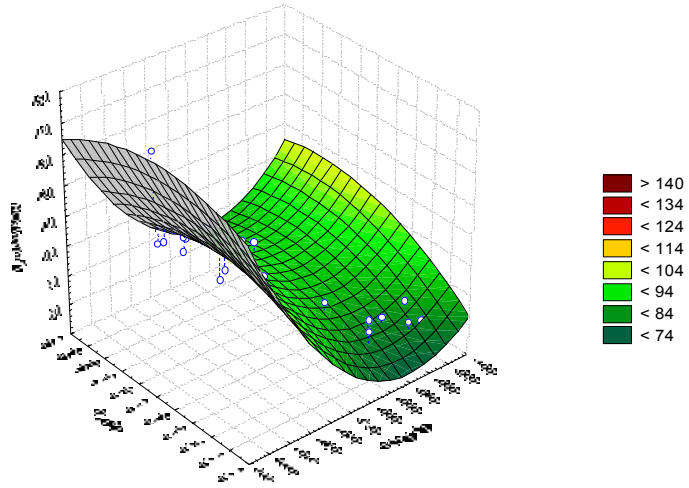
**Saria 6**



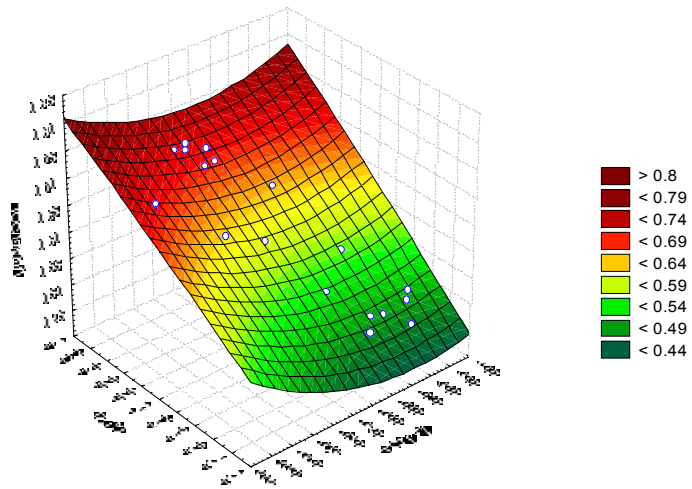
**Figura 103** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



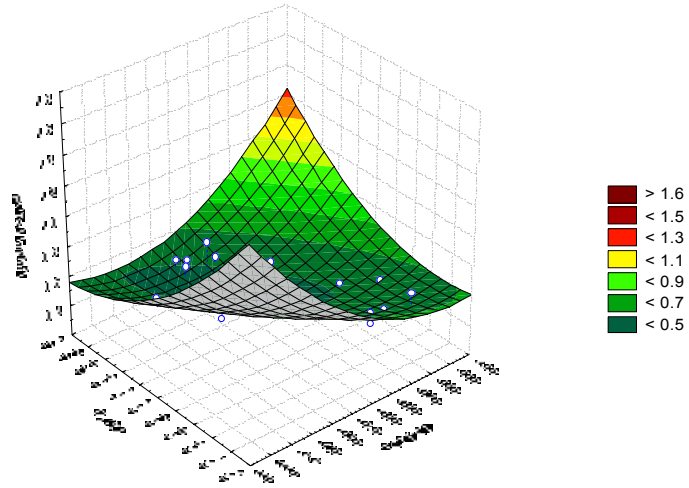
**Figura 104** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



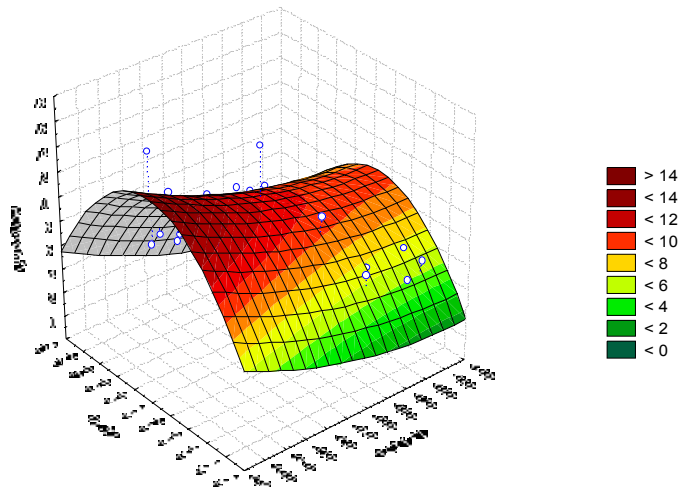
**Figura 105** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 106** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



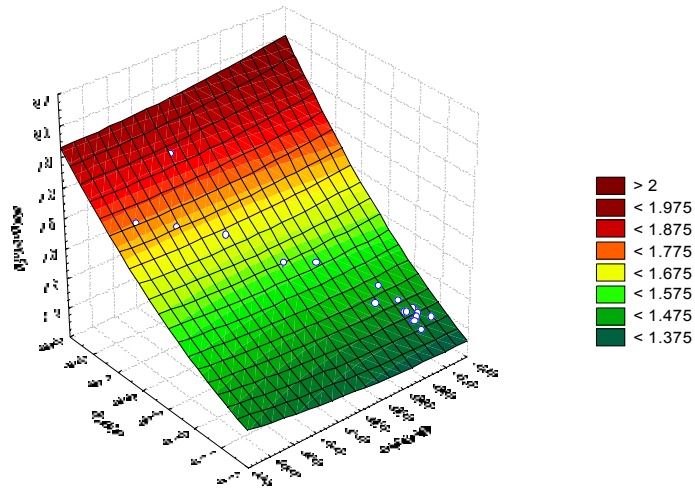
**Figura 107** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



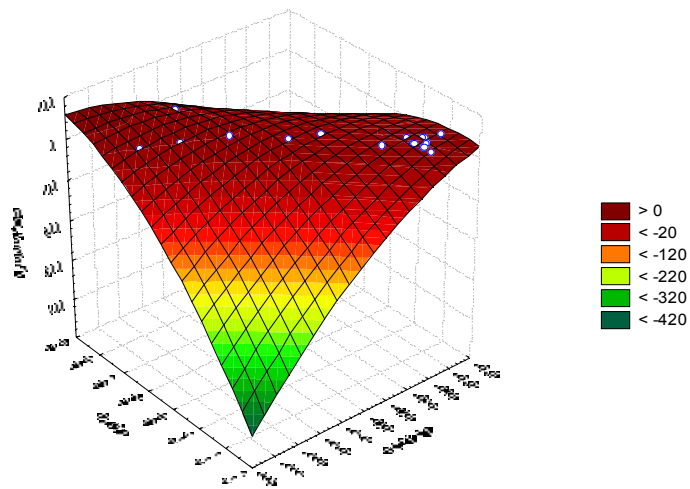
**Figura 108** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



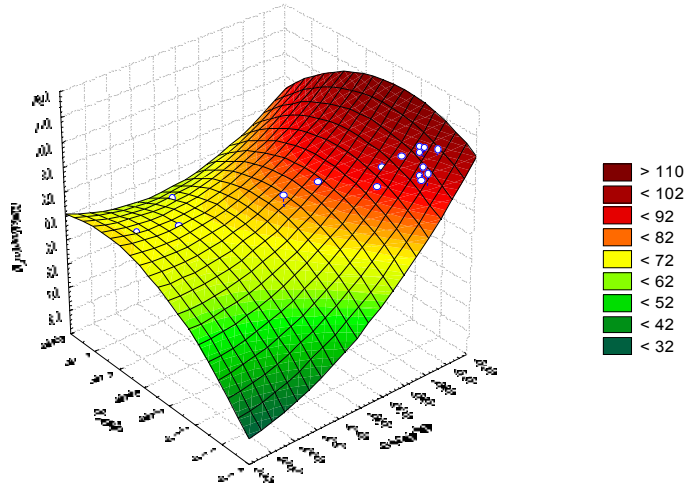
**Saria 7**



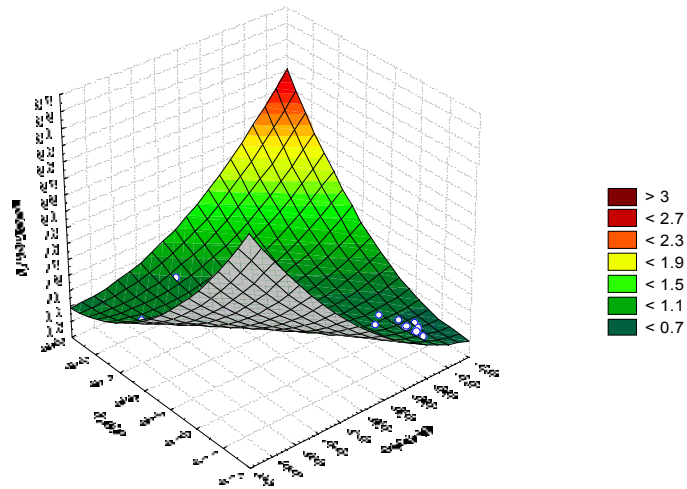
**Figura 109** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



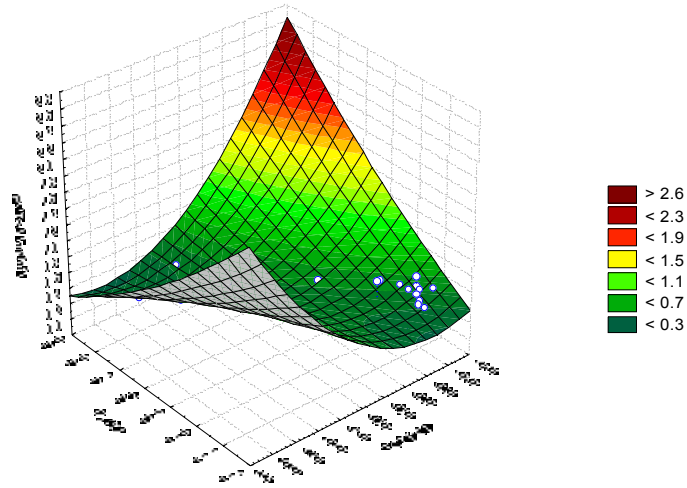
**Figura 110** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



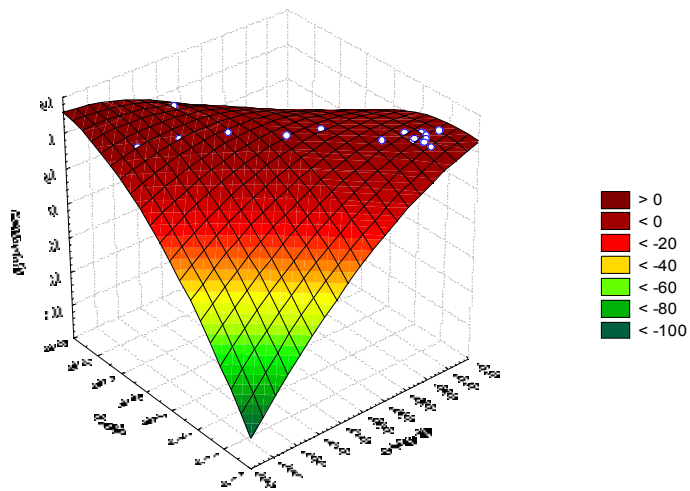
**Figura 111** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 112** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

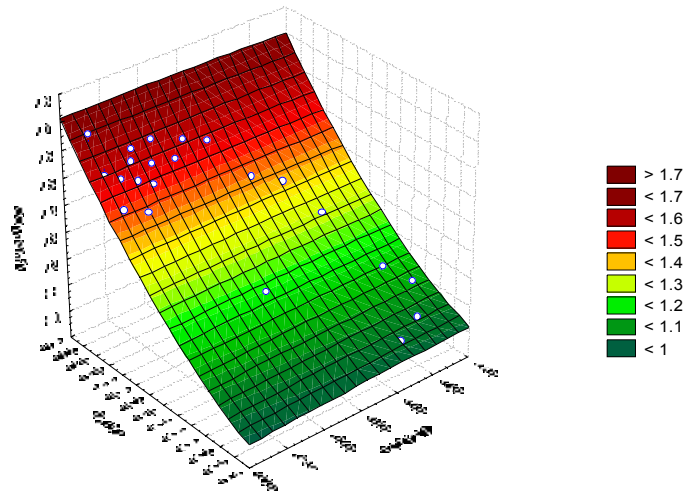


**Figura 113** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardare și de concentrația de oxigen măsurată la coș

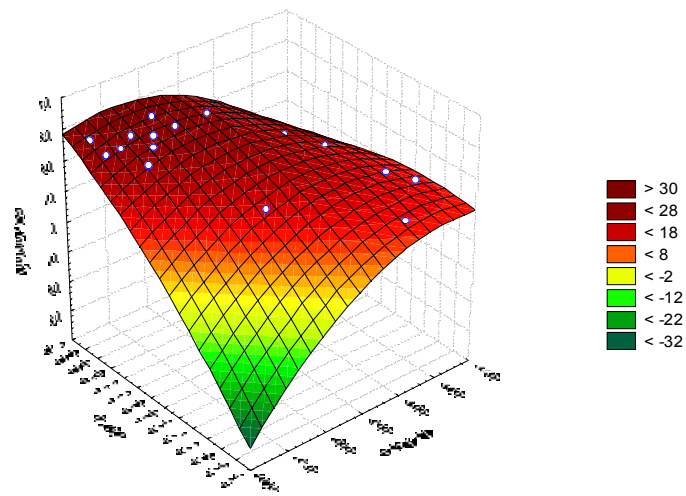


**Figura 114** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardare și de concentrația de oxigen măsurată la coș

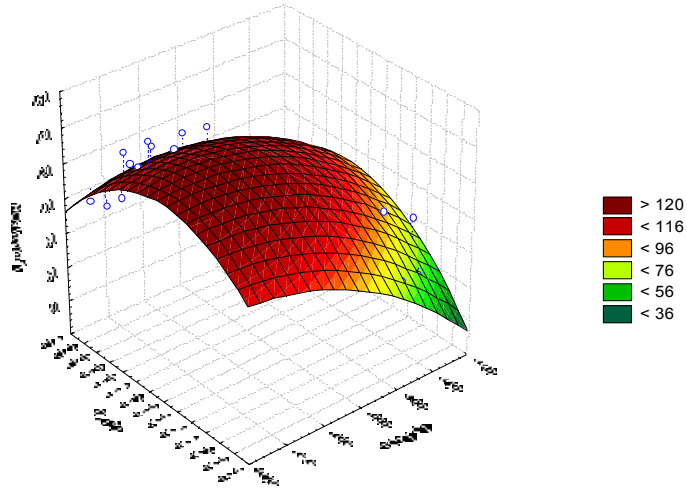
**Saria 8**



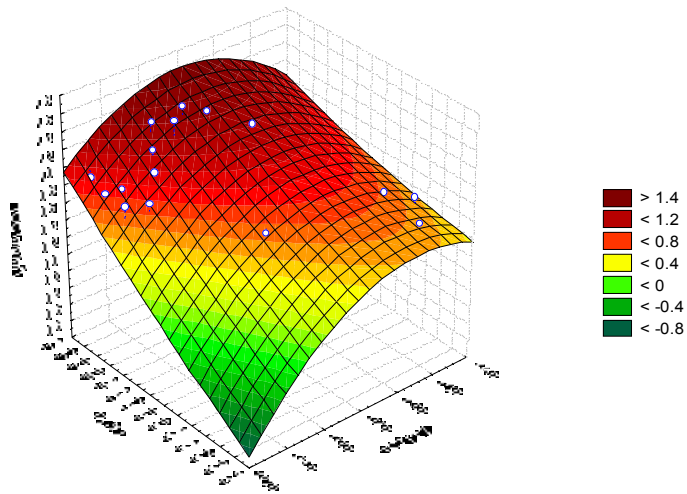
**Figura 115** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



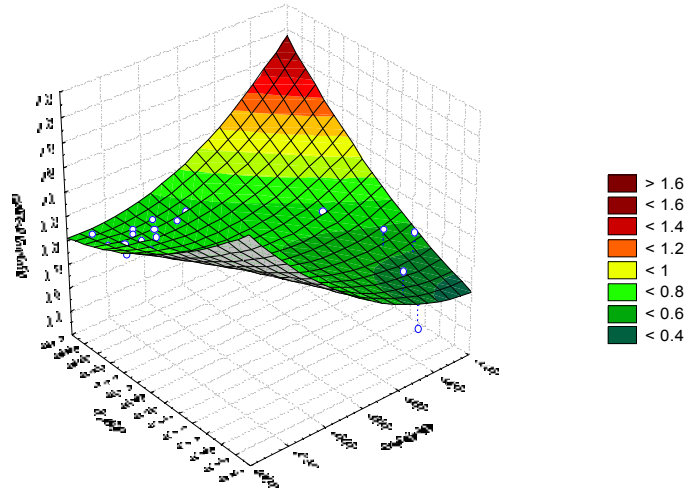
**Figura 116** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



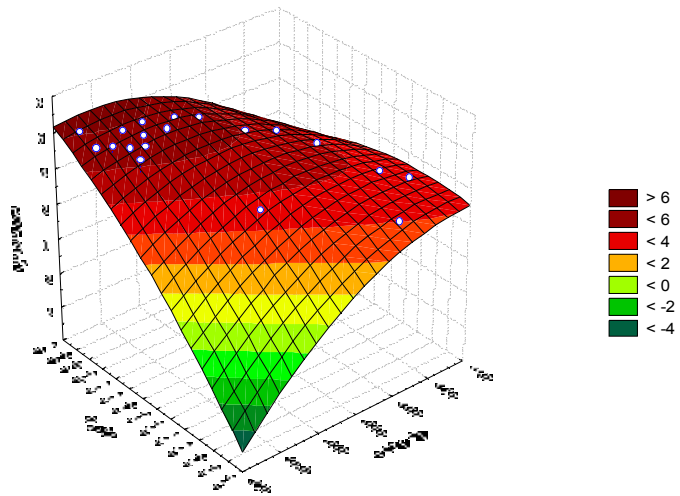
**Figura 117** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



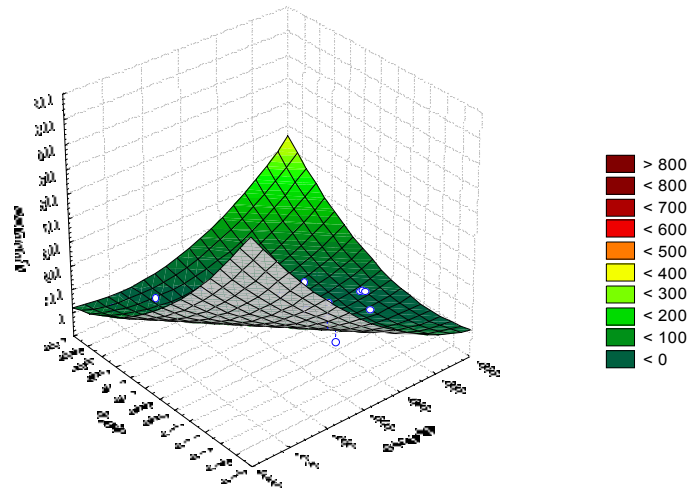
**Figura 118** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



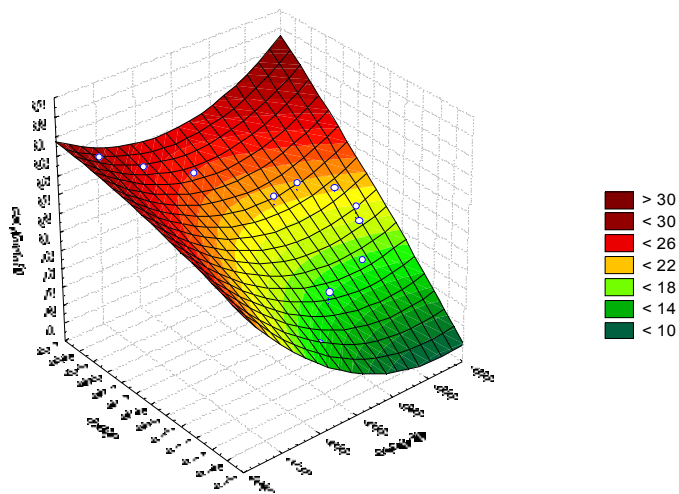
**Figura 119** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



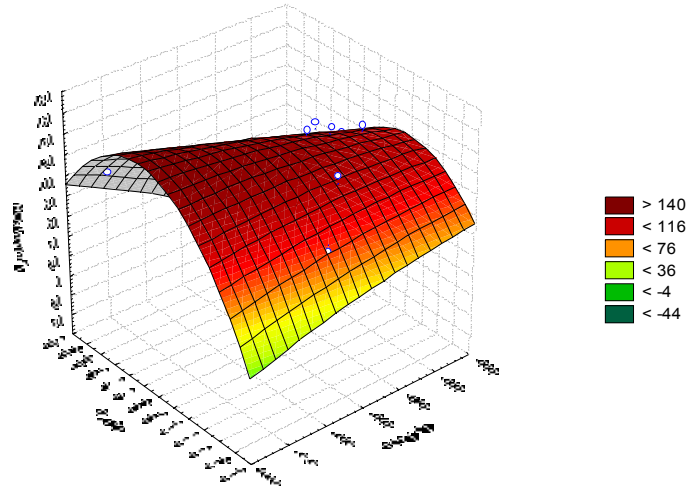
**Figura 120** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

**Saria 9**

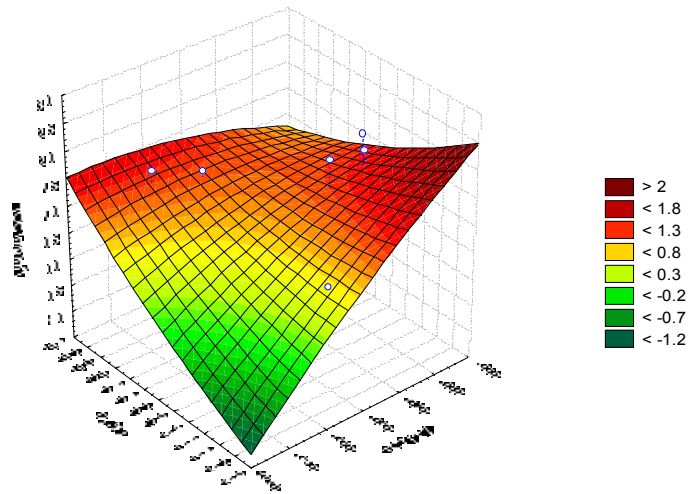
**Figura 121** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 122** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

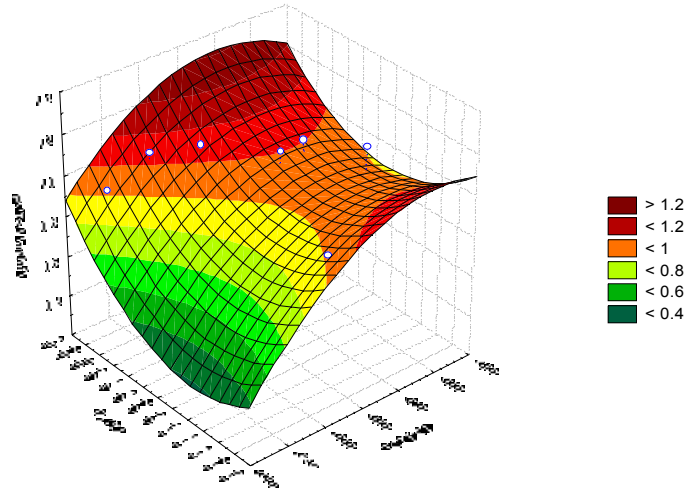


**Figura 123** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

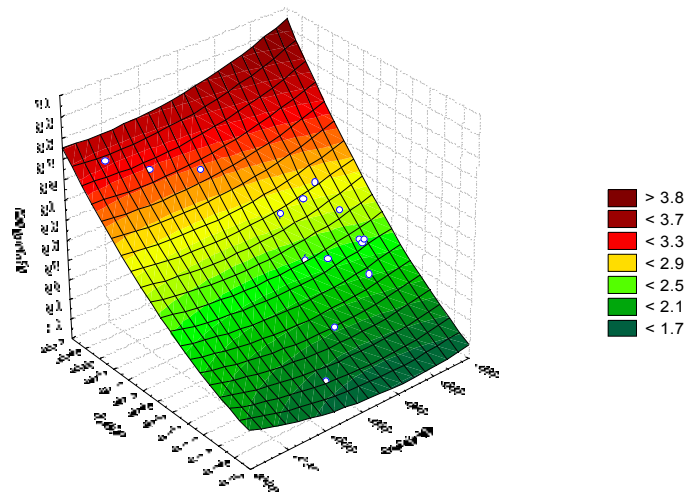


**Figura 124** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



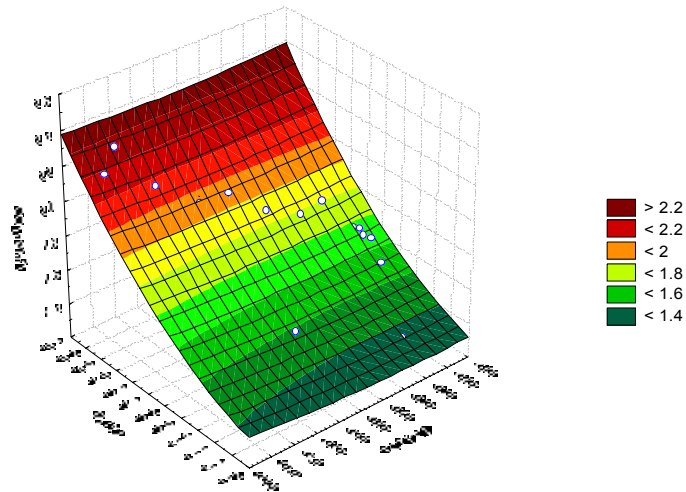


**Figura 125** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

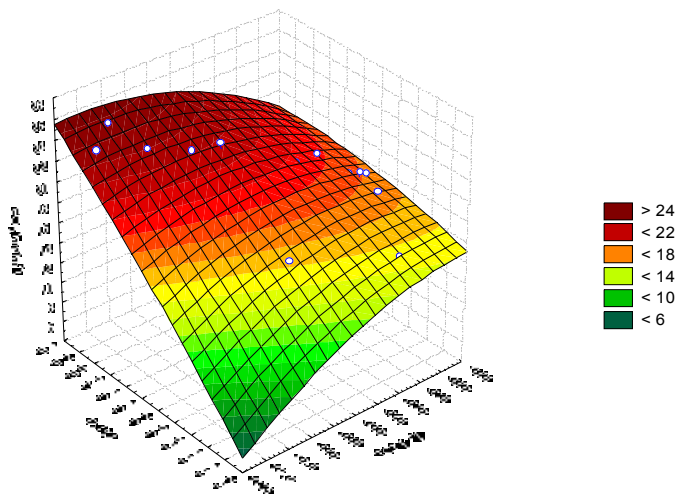


**Figura 126** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

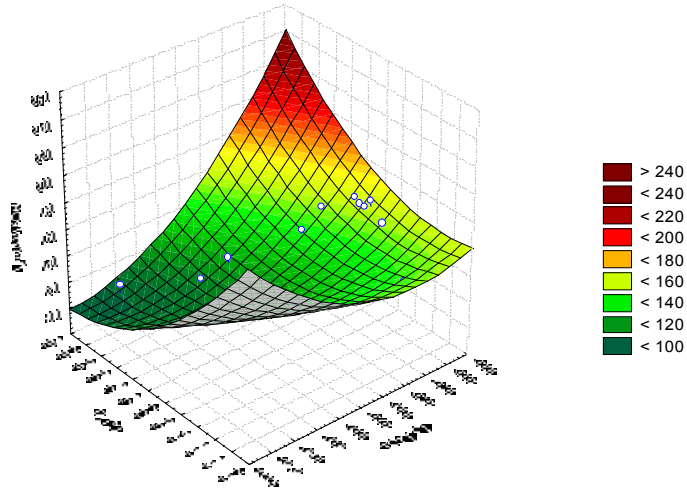
**Sarja 10**



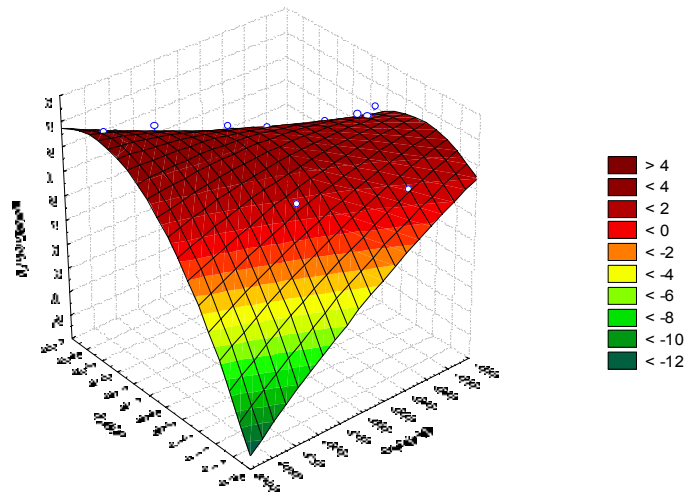
**Figura 127** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



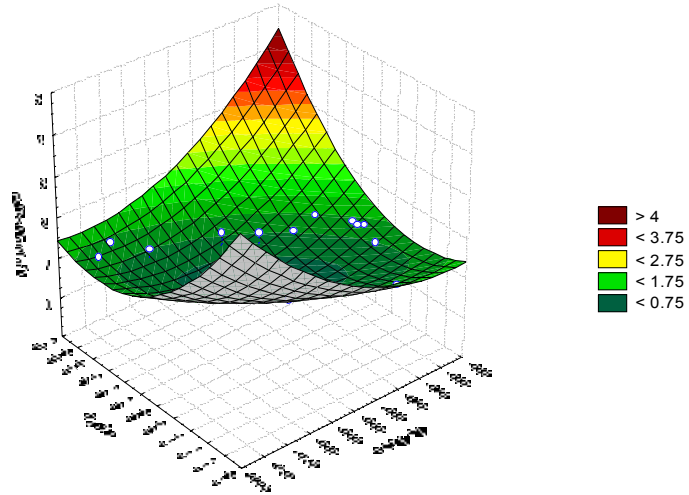
**Figura 128** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



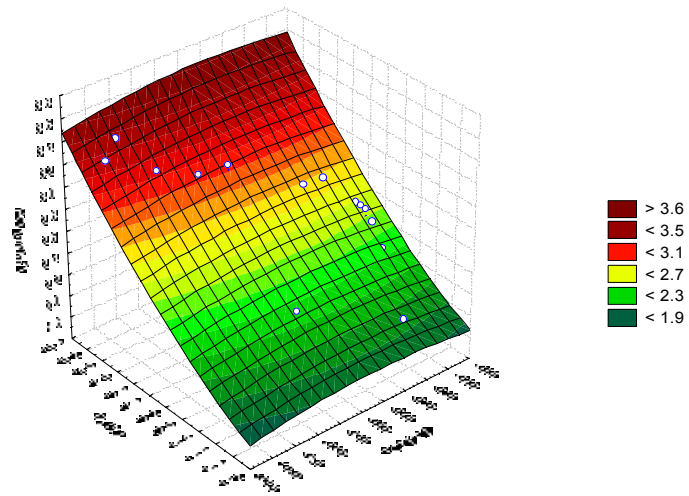
**Figura 129** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



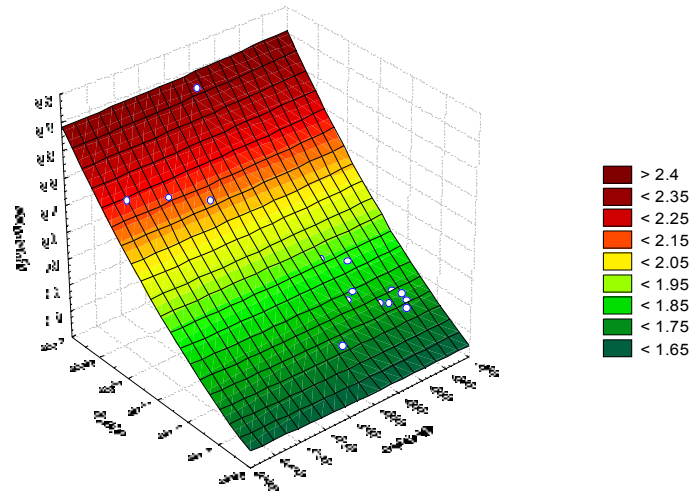
**Figura 130** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



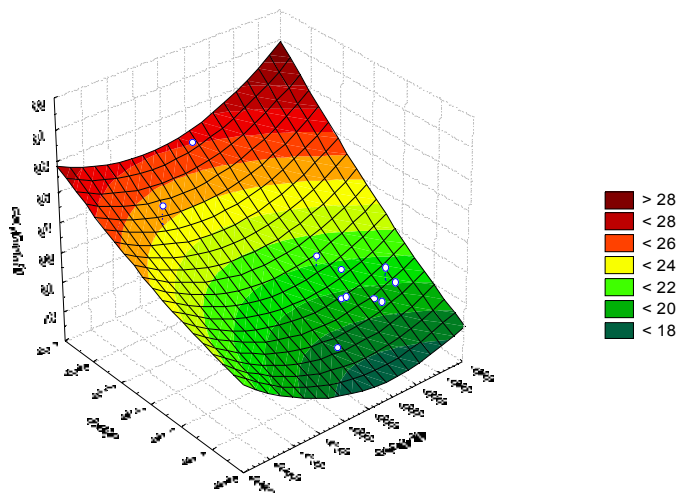
**Figura 131** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



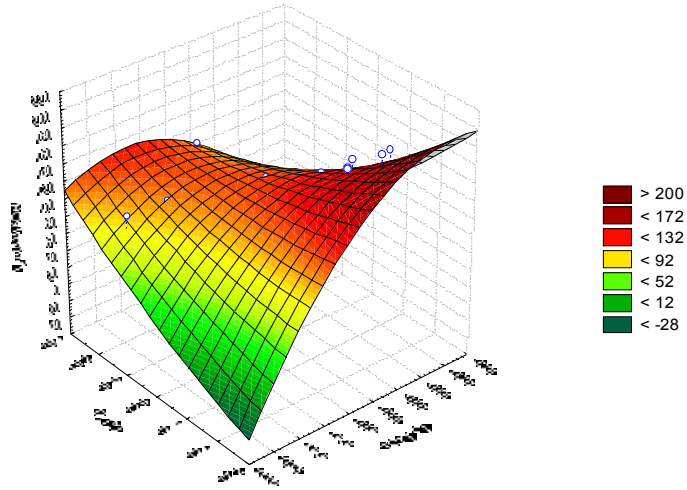
**Figura 132** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

**Sarja 11**

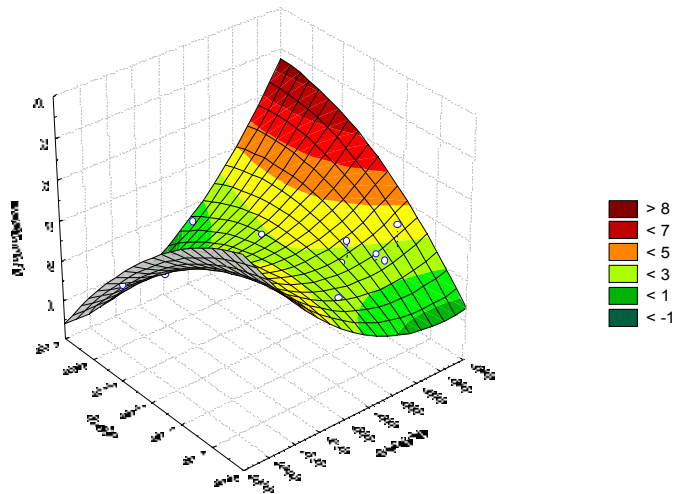
**Figura 133** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



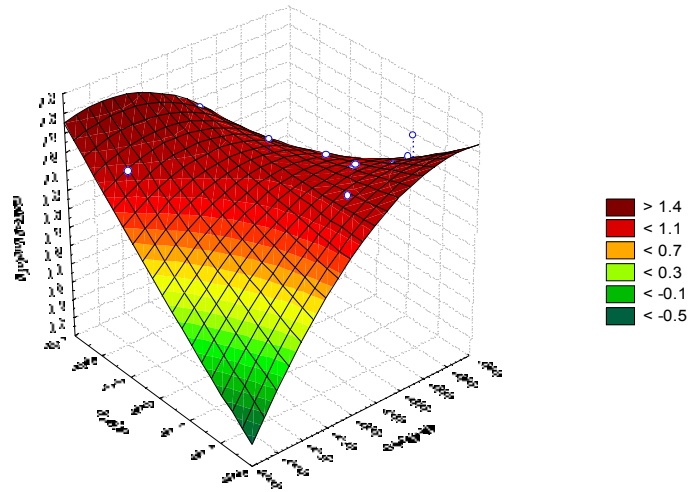
**Figura 134** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



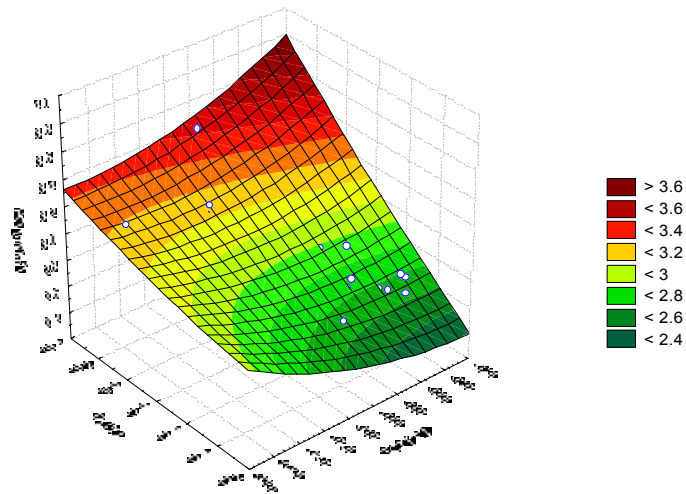
**Figura 135** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 136** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

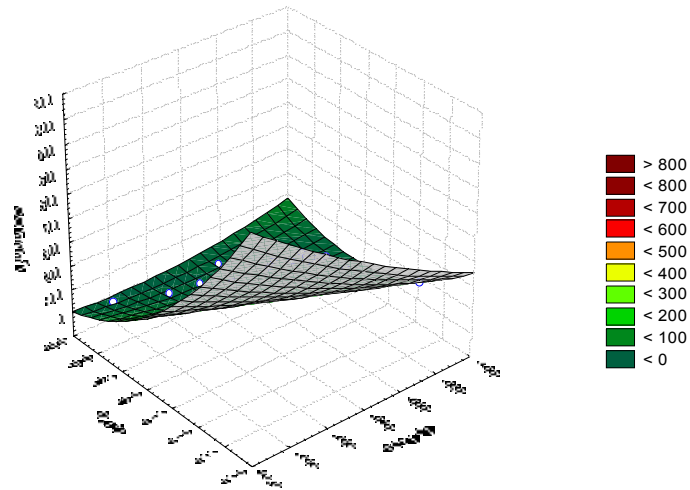


**Figura 137** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

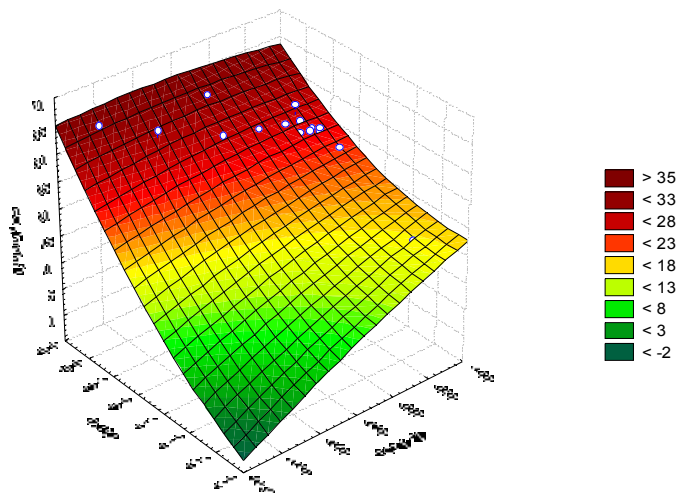


**Figura 138** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

**Sarja 12**

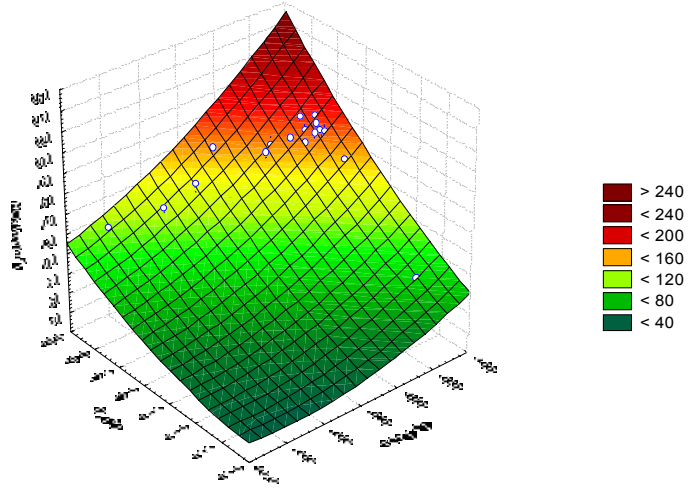


**Figura 139** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

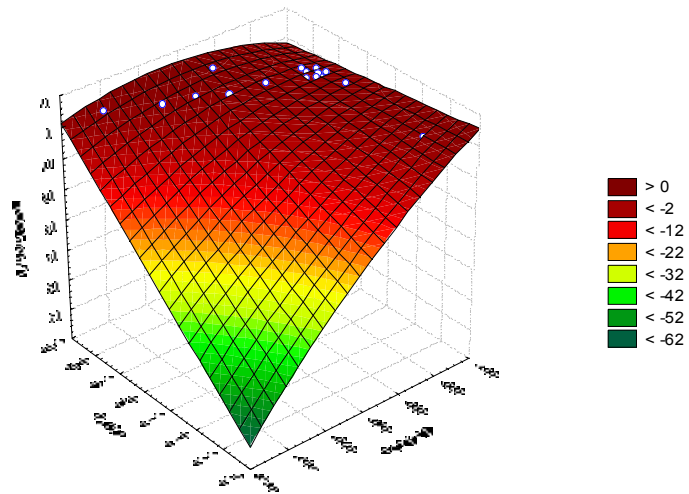


**Figura 140** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

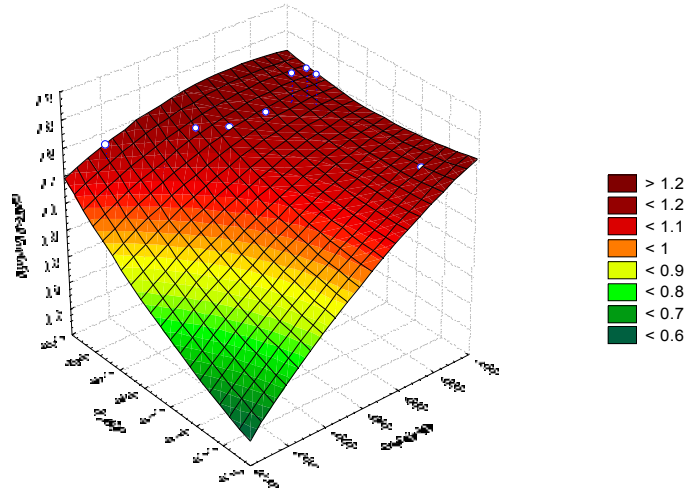




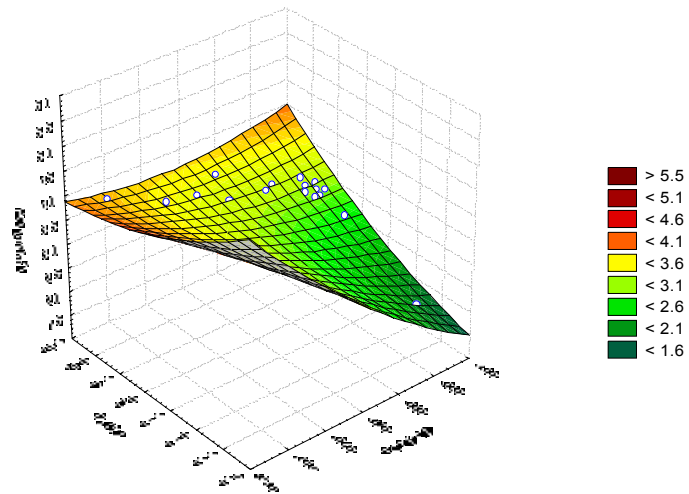
**Figura 141** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 142** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

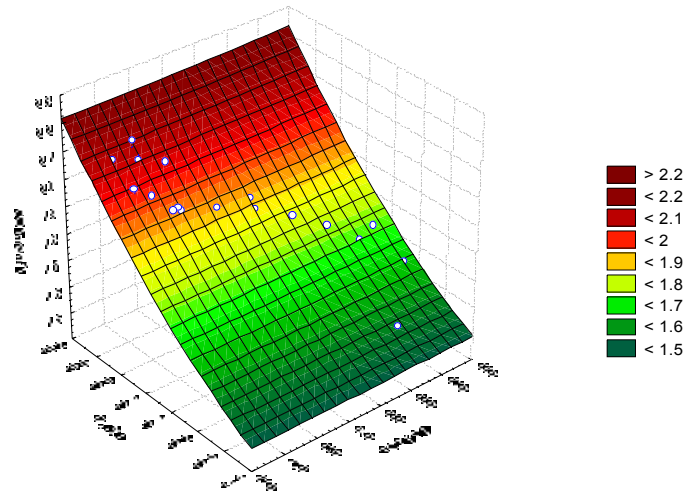


**Figura 143** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

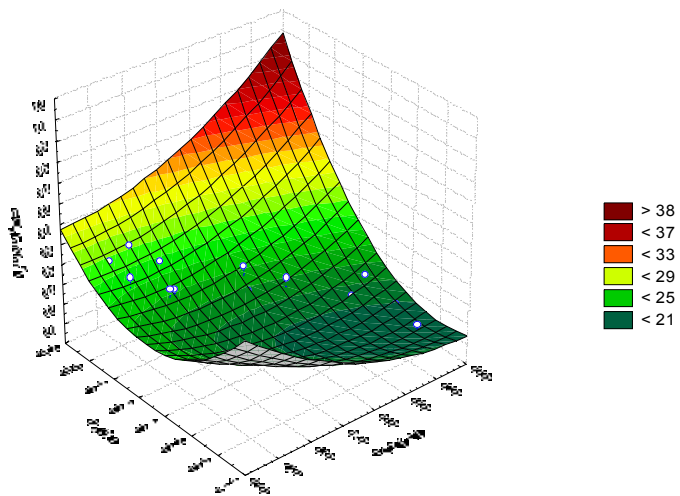


**Figura 144** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

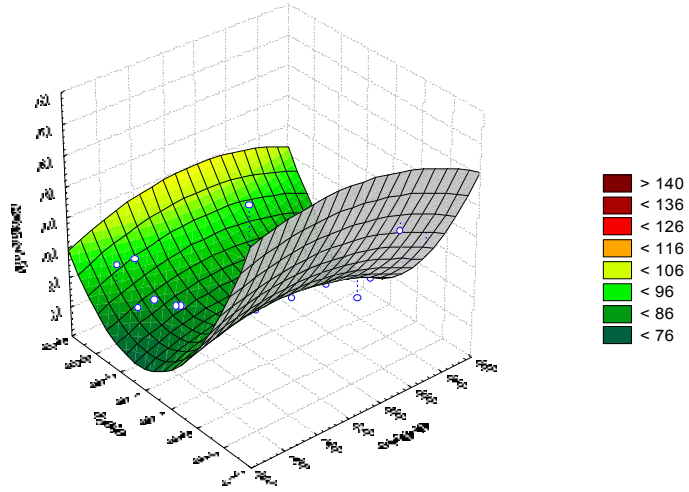
**Sarja 13**



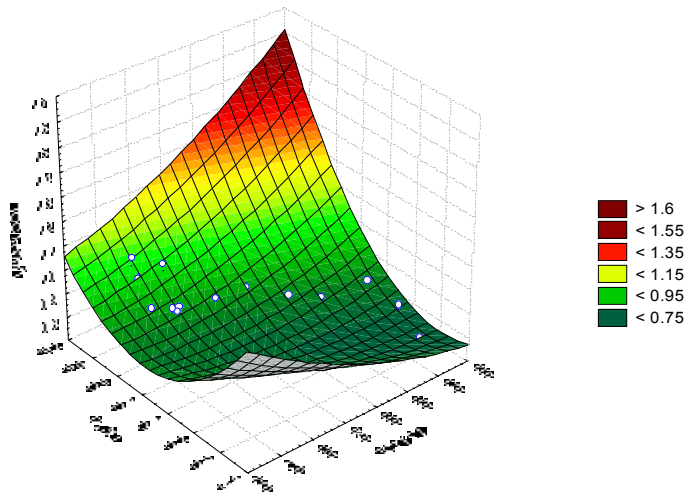
**Figura 145** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



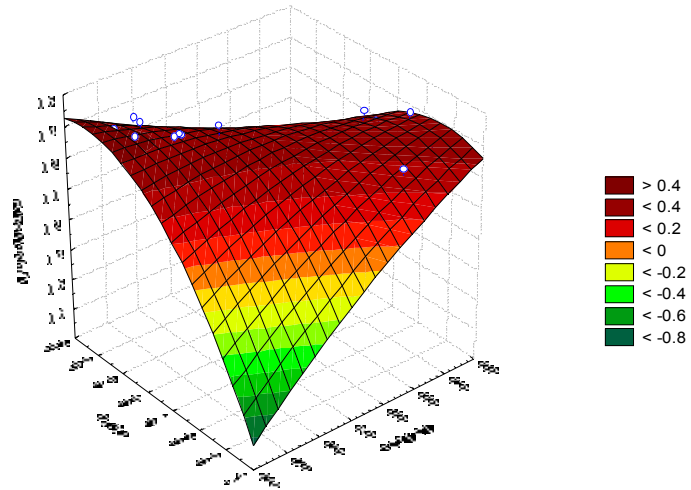
**Figura 146** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



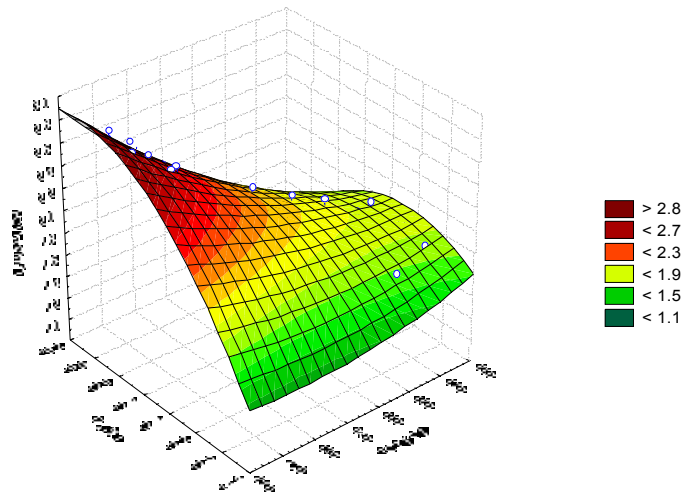
**Figura 147** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 148** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

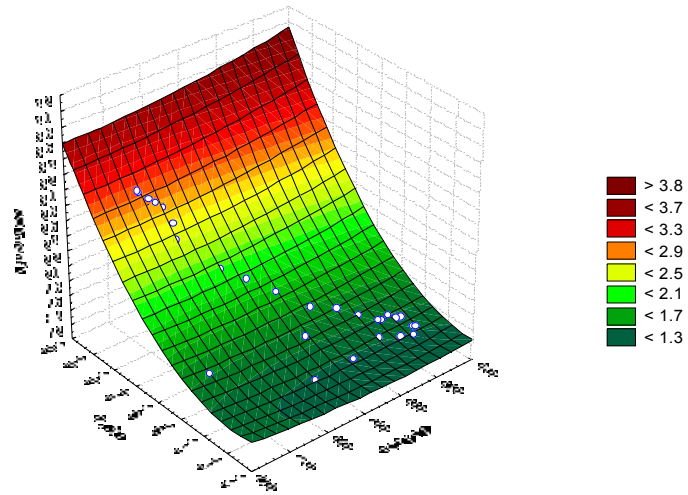


**Figura 149** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

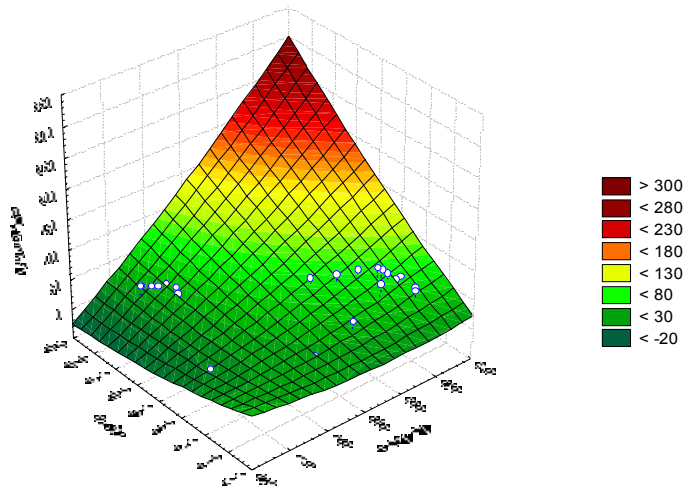


**Figura 150** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

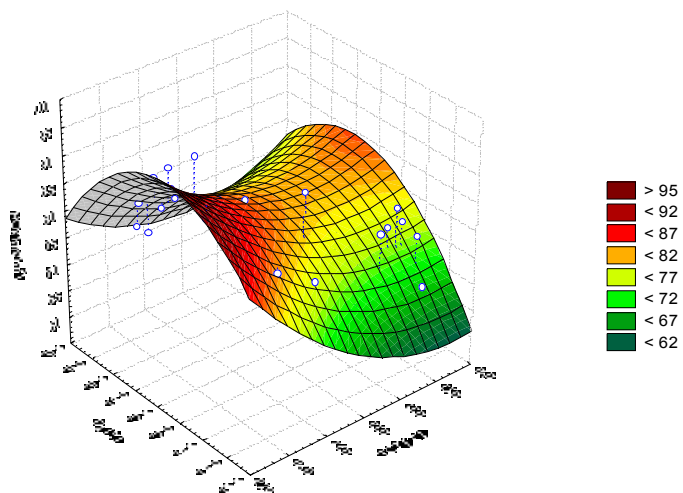
**Sarja 14**



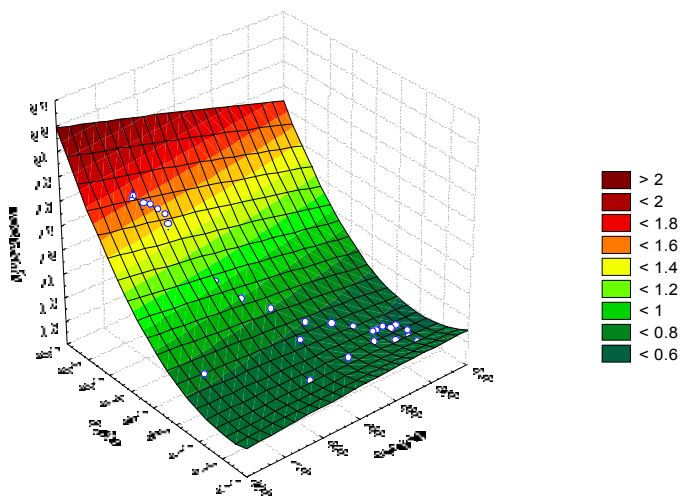
**Figura 151** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



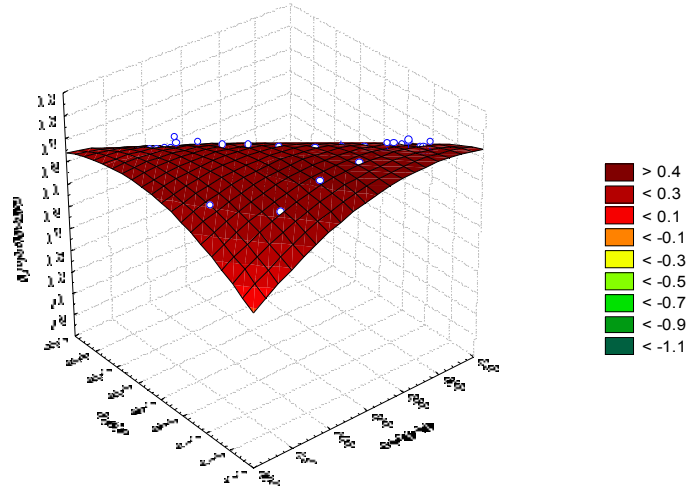
**Figura 152** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



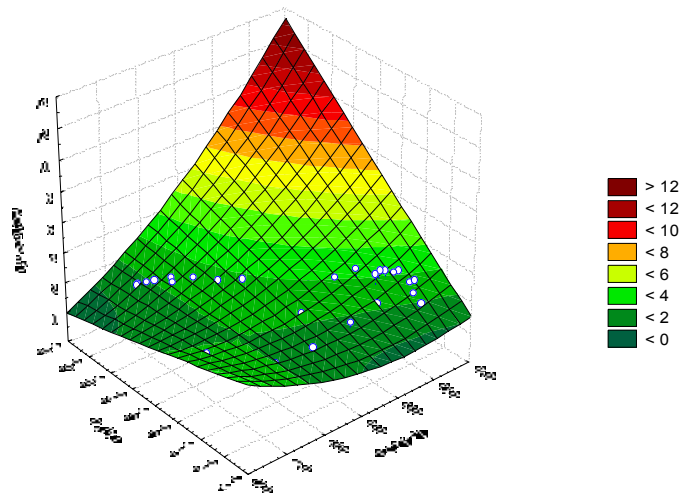
**Figura 153** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 154** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

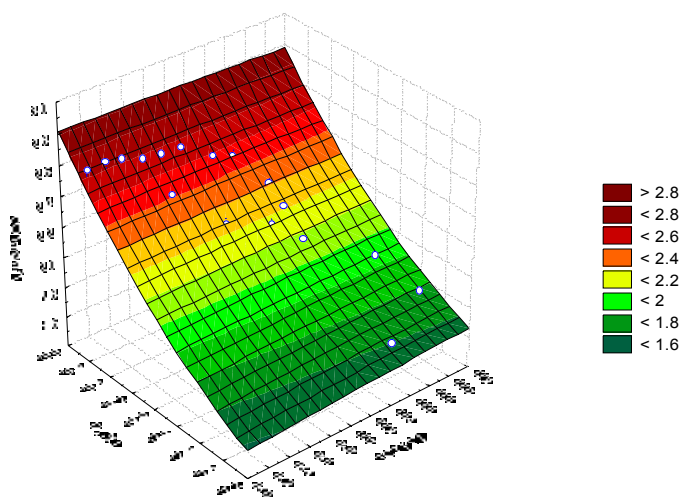


**Figura 155** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

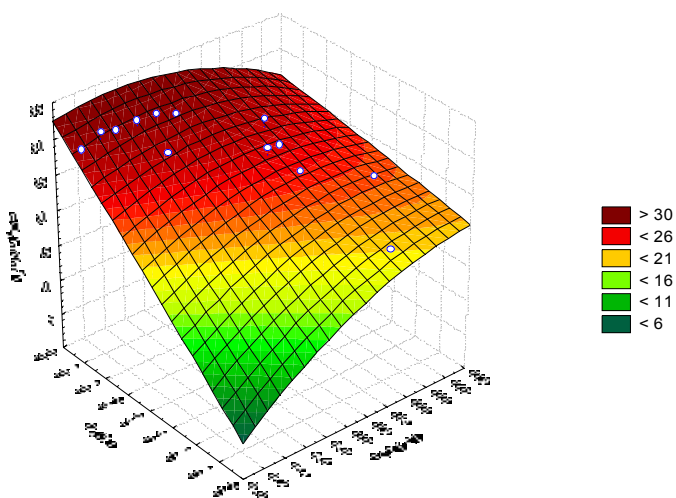


**Figura 156** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

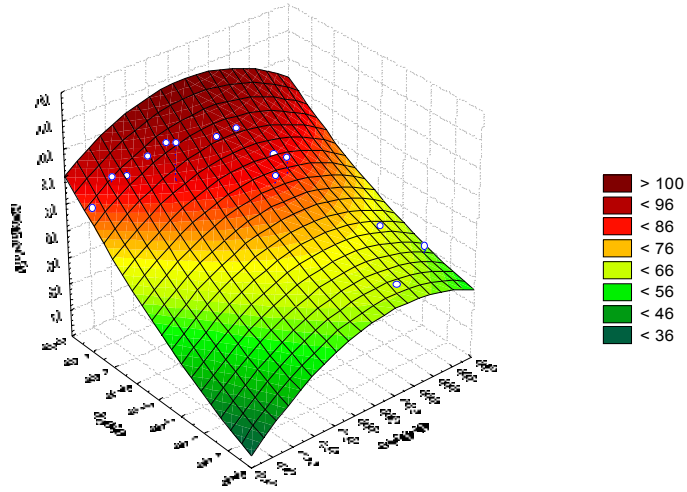


**Sarja 15**

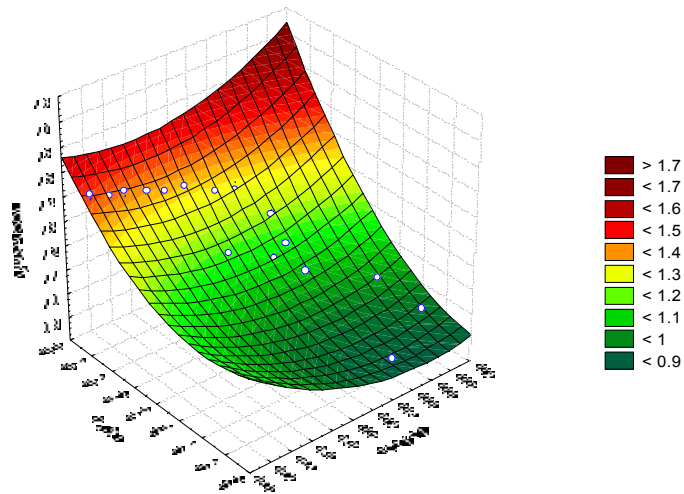
**Figura 157** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



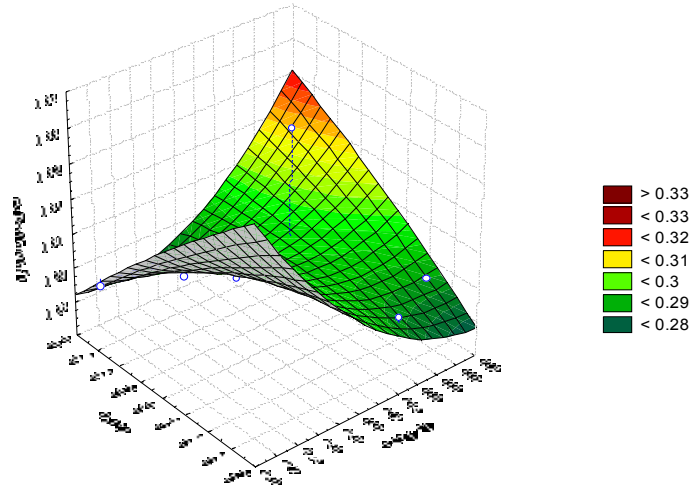
**Figura 158** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



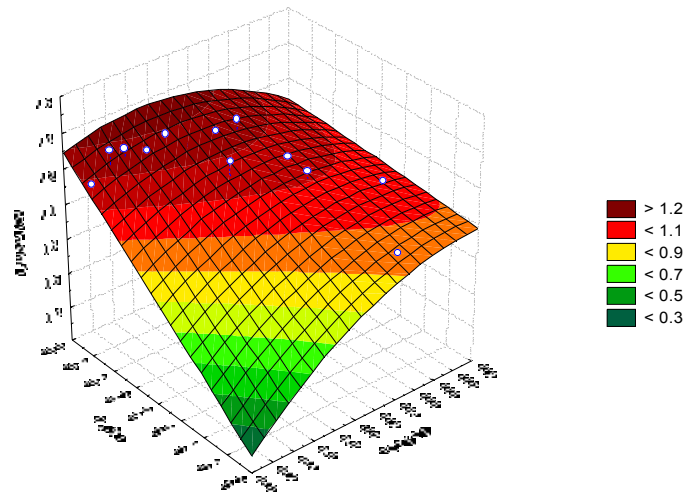
**Figura 159** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 160** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

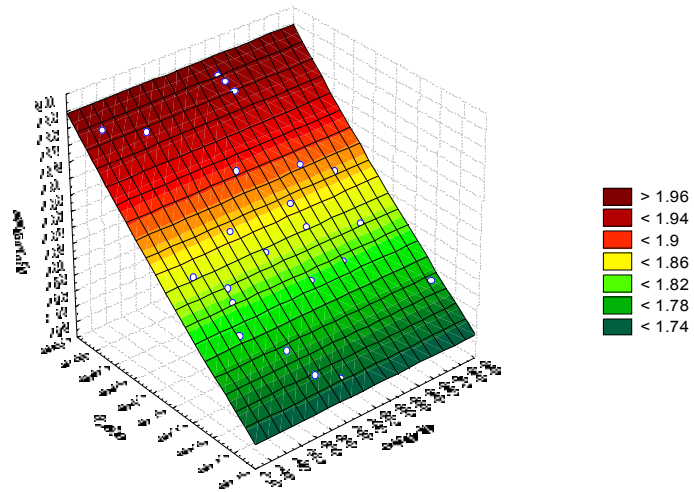


**Figura 161** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

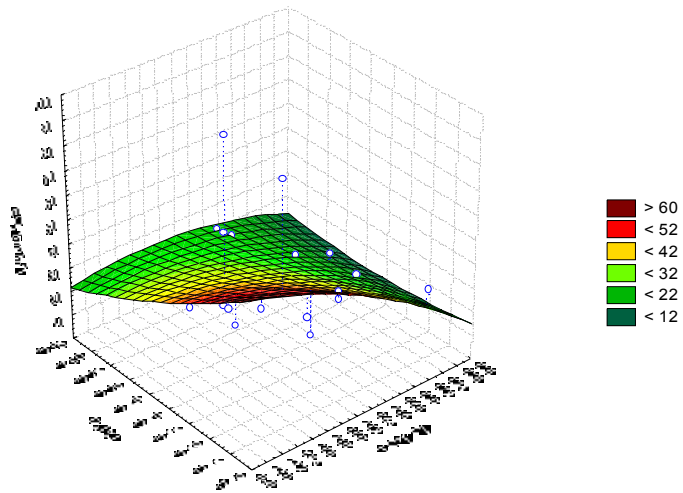


**Figura 162** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș

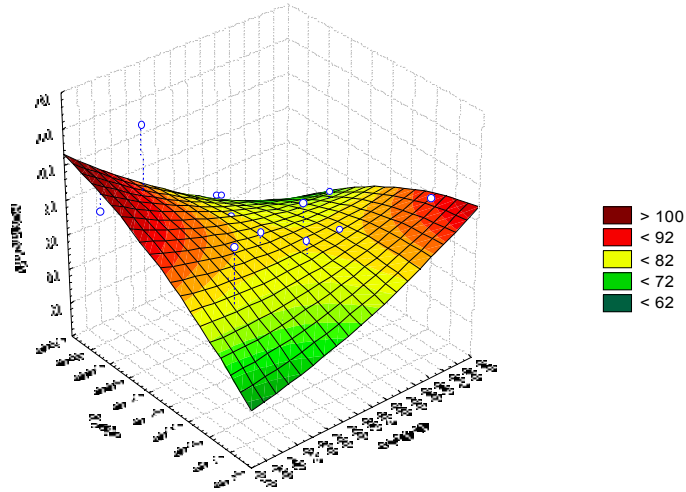
**Sarja 16**



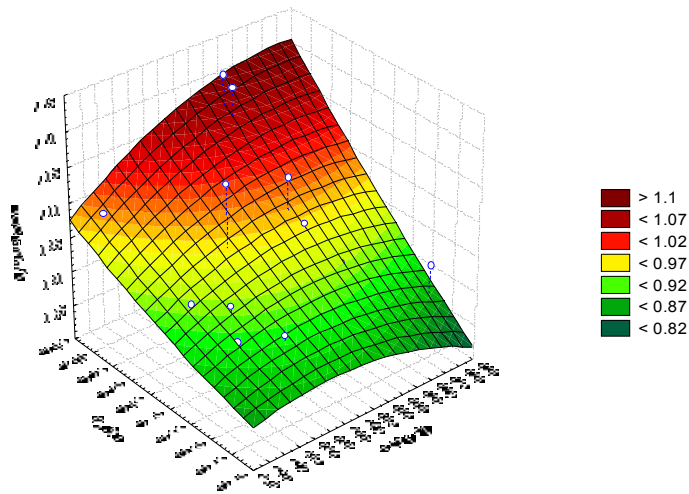
**Figura 163** Reprezentarea variației concentrației de monoxid de carbon în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



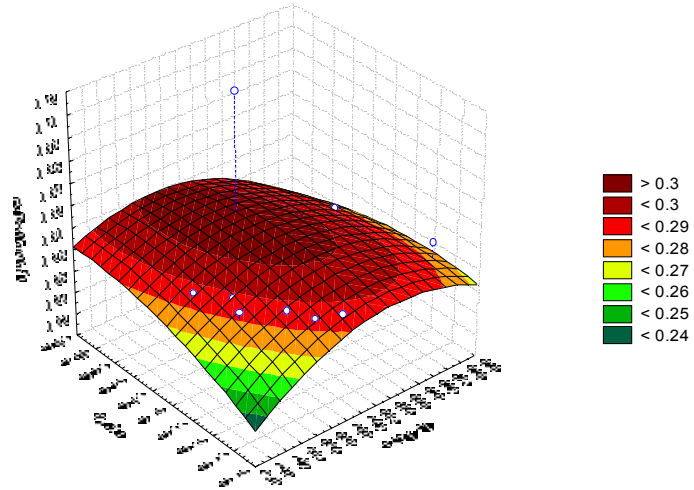
**Figura 164** Reprezentarea variației concentrației de bioxid de sulf în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



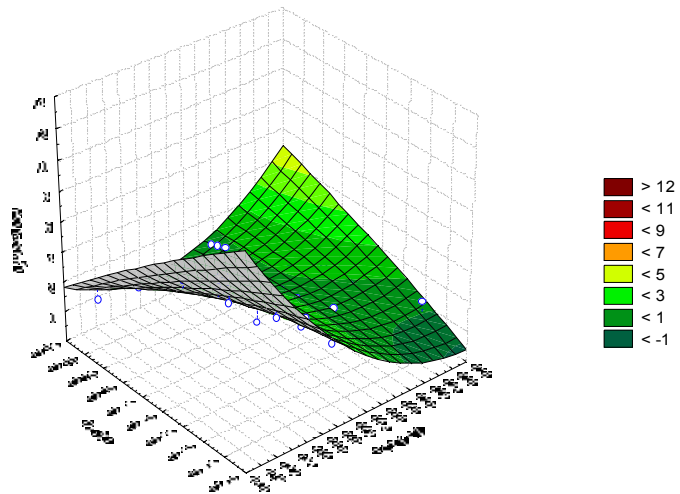
**Figura 165** Reprezentarea variației concentrației de oxizi de azot în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 166** Reprezentarea variației concentrației de compuși organici volatili în funcție de temperatura măsurată în camera de postardere și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 167** Reprezentarea variației concentrației de pulberi în funcție de temperatura măsurată în camera de postardare și de concentrația de oxigen măsurată la coș



**Figura 168** Reprezentarea variației concentrației de acid clorhidric în funcție de temperatura măsurată în camera de postardare și de concentrația de oxigen măsurată la coș

Din reprezentările grafice prezentate în **figurile 73-168** s-au dedus și ecuațiile modelelor matematice pentru dependențele considerate utilizând ambele metode.

În **tabelele 57-62** sunt prezentate aceste modele pentru cele 16 șarje

**Tabelul 57** Modele matematice obținute pentru dependența  $CO=f(TC7, O_2)$  și valorile indicatorilor de precizie;

Șarja nr.	Ecuația de regresie	Coeficientul de corelație R	Deviația standar $d \sigma$
1	$z = 4951.638448 - 7.72641 * x - 160.417331 * y + 0.003261 * x^2 + 0.098403 * x * y + 2.025546 * y^2$	0.4810	2.1099
2	$z = 58.827925 - 0.060668 * x - 3.791514 * y + 0.00003 * x^2 + 0.000245 * x * y + 0.116264 * y^2$	0.9996	0.0046
3	$z = 126.345966 - 0.175793 * x - 5.251345 * y + 0.000081 * x^2 + 0.001283 * x * y + 0.130597 * y^2$	0.9779	0.1029
4	$z = 5029.70475 - 8.245298 * x - 140.164083 * y + 0.003353 * x^2 + 0.117096 * x * y + 0.936051 * y^2$	0.7805	1.6413
5	$z = 8.709826 - 0.004779 * x - 0.956705 * y + 0.000006 * x^2 - 0.000445 * x * y + 0.052874 * y^2$	0.9960	0.0110
6	$z = 13.266775 + 0.001021 * x - 1.817931 * y - 2.642724E-7 * x^2 - 0.000029 * x * y + 0.065517 * y^2$	0.9971	0.0139
7	$z = 97.552263 - 0.089599 * x - 6.291333 * y + 0.000027 * x^2 + 0.002021 * x * y + 0.135731 * y^2$	0.9980	0.0090
8	$z = 7.307889 + 0.003877 * x - 1.285932 * y - 6.828793E-7 * x^2 - 0.000145 * x * y + 0.053242 * y^2$	0.9946	0.0207
9	$z = 3.602239E5 - 479.199148 * x - 12016.068959 * y + 0.159999 * x^2 + 7.910568 * x * y + 102.808175 * y^2$	0.7795	44.3204
10	$z = 86.480337 - 0.086667 * x - 4.937855 * y + 0.000036 * x^2 + 0.000576 * x * y + 0.138622 * y^2$	0.9947	0.0281
11	$z = 85.031089 - 0.038833 * x - 7.662236 * y + 0.000012 * x^2 + 0.00081 * x * y + 0.208652 * y^2$	0.9974	0.0146
12	$z = 1.261849E5 - 147.597186 * x - 5217.884728 * y + 0.042644 * x^2 + 3.115772 * x * y + 51.954225 * y^2$	0.9507	13.5927
13	$z = 42.333451 - 0.003385 * x - 5.000545 * y + 0.000002 * x^2 + 0.000024 * x * y + 0.15726 * y^2$	0.9967	0.0145
14	$z = 72.804089 - 0.051252 * x - 6.192603 * y + 0.00002 * x^2 + 0.000932 * x * y + 0.170862 * y^2$	0.9837	0.1135
15	$z = -26.029039 + 0.145396 * x - 4.527386 * y - 0.000048 * x^2 - 0.003449 * x * y + 0.227584 * y^2$	0.9951	0.0319
16	$z = 43.430338 - 0.000953 * x - 5.220447 * y + 4.540063E-7 * x^2 + 0.00001 * x * y + 0.163419 * y^2$	0.9994	0.0025

**Tabelul 58** Modele matematice obținute pentru dependența  $SO_2=f(TC7, O_2)$  și valorile indicatorilor de precizie;

Șarja nr.	Ecuația de regresie	Coeficientul de corelație R	Deviația standard $\sigma$
1	$z = -2551.172015 + 4.10461 * x + 72.488702 * y - 0.001324 * x^2 - 0.095879 * x * y + 0.630569 * y^2$	0.9609	1.2971
2	$z = -26024.712949 + 41.759973 * x + 750.021402 * y -$	0.9446	0.6706

	$0.016384*x^2-0.644058*x*y-4.121941*y^2$		
3	$z = 2879.827056-2.811188*x-186.316895*y+0.000894*x^2+0.066542*x*y+3.790864*y^2$	0.9714	1.5868
4	$z = -2140.250043+3.411829*x+61.720852*y-0.001014*x^2-0.089108*x*y+0.771168*y^2$	0.9778	1.5290
5	$z = -51824.175324+13.360762*x+5278.207805*y+0.037442*x^2-5.190612*x*y-1.490032*y^2$	0.6311	20.8349
6	$z = 14840.626284-24.173784*x-239.194783*y+0.007785*x^2+0.462592*x*y-7.634969*y^2$	0.7326	6.5342
7	$z = -3.70305E5+428.295768*x+17622.915163*y-0.117127*x^2-11.000236*x*y-185.25237*y^2$	0.2162	4.4241
8	$z = -9651.167038+11.995142*x+384.359097*y-0.003758*x^2-0.237831*x*y-3.674253*y^2$	0.9369	2.0628
9	$z = 7648.934259-12.815868*x-96.210995*y+0.005083*x^2+0.112373*x*y-0.505604*y^2$	0.9629	1.0221
10	$z = -7160.221271+10.25561*x+194.735325*y-0.003571*x^2-0.153778*x*y-0.763101*y^2$	0.9775	0.6337
11	$z = 8022.24126-12.47193*x-168.083136*y+0.00505*x^2+0.102726*x*y+1.88882*y^2$	0.9360	0.8961
12	$z = -3376.94706+4.913544*x+73.537228*y-0.001396*x^2-0.105335*x*y+1.398047*y^2$	0.9704	0.9233
13	$z = 8417.076018-7.051527*x-625.15821*y+0.002013*x^2+0.208605*x*y+13.000585*y^2$	0.8936	1.0427
14	$z = 13173.195432-17.583108*x-706.598047*y+0.003626*x^2+0.714416*x*y+2.989347*y^2$	0.6386	16.0793
15	$z = -29737.881725+58.028475*x+543.170142*y-0.027434*x^2-0.617916*x*y-0.196878*y^2$	0.9679	0.9148
16	$z = 48995.80239-6.40933*x-5136.959411*y-0.030169*x^2+3.259176*x*y+64.392316*y^2$	0.5143	18.4069

**Tabelul 59** Modele matematice obținute pentru dependența  $NO_x=f(TC7, O_2)$  și valorile indicatorilor de precizie;

Șarja nr.	Ecuția de regresie	Coeficientul de corelație R	Deviația standard $\sigma$
1	$z = -13732.864859+23.156105*x+337.812935*y-0.006325*x^2-0.636903*x*y+7.322692*y^2$	0.2813	12.7992
2	$z = -1.276371E5+211.171236*x+3458.706708*y-0.090035*x^2-2.571617*x*y-30.812213*y^2$	0.8681	4.3738
3	$z = -54254.583547+87.590936*x+1496.269607*y-0.032377*x^2-1.519722*x*y-1.764278*y^2$	0.5827	9.5075
4	$z = 14708.206808-13.565015*x-940.392493*y+0.003891*x^2+0.351005*x*y+17.612009*y^2$	0.9100	5.9927
5	$z = 1249.626408-8.88909*x+388.364605*y-0.005382*x^2+1.173743*x*y-46.423786*y^2$	0.7171	7.6587
6	$z = 11504.369032-24.307089*x+178.401583*y+0.010488*x^2+0.121351*x*y-9.181367*y^2$	0.8078	7.2394
7	$z = -2209.502837-31.007825*x+2057.520758*y+0.022439*x^2-0.813518*x*y-35.659194*y^2$	0.9377	4.0933
8	$z = -6614.890565+6.433234*x+427.191705*y-0.004561*x^2+0.188289*x*y-19.436816*y^2$	0.7047	14.0821
9	$z = -50326.419305+36.729264*x+3661.670275*y-0.007384*x^2-1.268943*x*y-67.656986*y^2$	0.5704	14.1942



10	$z = 98440.673424 - 141.365249*x - 2744.712234*y + 0.052074*x^2 + 1.837017*x*y + 22.764752*y^2$	0.9628	6.4971
11	$z = -2.774248E5 + 427.260595*x + 5896.716552*y - 0.145262*x^2 - 6.767291*x*y + 33.428604*y^2$	0.8990	10.4485
12	$z = 28684.731364 - 45.748145*x - 622.989414*y + 0.018458*x^2 + 0.463612*x*y + 4.805299*y^2$	0.9689	6.6713
13	$z = 22530.029599 + 9.898994*x - 3015.977514*y - 0.00721*x^2 + 0.12821*x*y + 82.362406*y^2$	0.5591	10.0753
14	$z = 1447.750835 - 4.626556*x + 81.440487*y + 0.002067*x^2 + 0.050026*x*y - 3.558059*y^2$	0.6833	5.2037
15	$z = -1.028023E5 + 237.133632*x + 165.879358*y - 0.133441*x^2 - 0.526804*x*y + 8.650438*y^2$	0.8517	6.7848
16	$z = -96458.277543 + 59.500802*x + 8049.245841*y + 0.017417*x^2 - 5.095119*x*y - 103.492414*y^2$	0.1892	9.22

**Tabelul 60** Modele matematice obținute pentru dependența  $TOC=f(TC7, O_2)$  și valorile indicatorilor de precizie;

Șarja nr.	Ecuția de regresie	Coefficientul de corelație R	Deviația standard $\sigma$
1	$y = -1435.917739 + 2.074054*x + 56.545217*y - 0.000759*x^2 - 0.03957*x*y - 0.589891*y^2$	0.4124	0.3100
2	$z = 1375.726987 - 1.80037*x - 62.807243*y + 0.000681*x^2 + 0.031208*x*y + 0.984767*y^2$	0.7693	0.0322
3	$z = 76.820287 - 0.126669*x - 1.924143*y + 0.00006*x^2 + 0.000683*x*y + 0.041406*y^2$	0.9624	0.0582
4	$z = 106.277967 - 0.056071*x - 9.386757*y + 0.000004*x^2 + 0.002828*x*y + 0.20159*y^2$	0.9739	0.0638
5	$z = -48.155342 + 0.071833*x + 1.506328*y - 0.000026*x^2 - 0.001216*x*y - 0.005915*y^2$	0.9570	0.0111
6	$z = 24.132561 - 0.045585*x - 0.072309*y + 0.000018*x^2 + 0.000391*x*y - 0.005757*y^2$	0.9890	0.0142
7	$z = 2219.028581 - 2.625737*x - 102.24308*y + 0.000753*x^2 + 0.063256*x*y + 1.098804*y^2$	0.9693	0.0199
8	$z = -262.779107 + 0.428208*x + 3.19135*y - 0.000168*x^2 - 0.003745*x*y + 0.041209*y^2$	0.8502	0.1517
9	$z = -828.969442 + 1.0807*x + 28.151759*y - 0.000244*x^2 - 0.031362*x*y + 0.154367*y^2$	0.4279	0.3374
10	$z = -8302.446868 + 8.186522*x + 457.595634*y - 0.001787*x^2 - 0.254349*x*y - 5.40215*y^2$	0.6125	0.7355
11	$z = 9756.276258 - 15.661732*x - 169.315407*y + 0.004874*x^2 + 0.304124*x*y - 4.267444*y^2$	0.6219	0.5844
12	$z = -14817.186125 + 21.240227*x + 368.637734*y - 0.007031*x^2 - 0.337366*x*y + 0.013417*y^2$	0.5469	0.7260
13	$z = 363.262198 - 0.265202*x - 28.917302*y + 0.000054*x^2 + 0.009958*x*y + 0.59299*y^2$	0.9039	0.0332
14	$z = 13.603843 + 0.024456*x - 2.912097*y - 0.000003*x^2 - 0.001226*x*y + 0.123016*y^2$	0.9615	0.1094
15	$z = 998.435389 - 1.919407*x - 20.349459*y + 0.00099*x^2 + 0.012865*x*y + 0.271611*y^2$	0.9780	0.0383
16	$z = 138.733303 + 0.038468*x - 18.033215*y - 0.000152*x^2 + 0.012796*x*y + 0.210945*y^2$	0.8195	0.0403

**Tabelul 61** Modele matematice obținute pentru dependența Pulberi=f(TC7, O<sub>2</sub>) și valorile indicatorilor de precizie;

Șarja nr.	Ecuția de regresie	Coeficientul de corelație R	Deviația standard σ
1	$z = 407.519438 - 0.558785 * x - 18.228695 * y + 0.000247 * x^2 + 0.006528 * x * y + 0.36441 * y^2$	0.7570	0.1402
2	$z = 3187.905321 - 5.16385 * x - 90.295333 * y + 0.002109 * x^2 + 0.071232 * x * y + 0.695061 * y^2$	0.8200	0.0368
3	$z = -106.368844 + 0.052796 * x + 9.56223 * y + 0.00001 * x^2 - 0.004176 * x * y - 0.1614 * y^2$	0.8444	0.0312
4	$z = -1740.344314 + 1.896432 * x + 98.837993 * y - 0.000562 * x^2 - 0.049217 * x * y - 1.513754 * y^2$	0.5802	0.2864
5	$z = 573.038103 - 0.649629 * x - 30.217484 * y + 0.00023 * x^2 + 0.011879 * x * y + 0.550784 * y^2$	0.5073	0.1541
6	$z = 303.374253 - 0.333402 * x - 15.493549 * y + 0.000099 * x^2 + 0.007655 * x * y + 0.225179 * y^2$	0.5126	0.0702
7	$z = 2511.216705 - 3.658673 * x - 75.646845 * y + 0.00127 * x^2 + 0.062647 * x * y + 0.344886 * y^2$	0.0424	0.1441
8	$z = 238.105986 - 0.283672 * x - 10.401199 * y + 0.000078 * x^2 + 0.007096 * x * y + 0.086146 * y^2$	0.4607	0.1267
9	$z = -290.571316 + 0.607436 * x - 4.125368 * y - 0.000267 * x^2 - 0.001929 * x * y + 0.182434 * y^2$	0.4386	0.0623
10	$z = 3033.901042 - 4.091938 * x - 99.790073 * y + 0.001475 * x^2 + 0.055668 * x * y + 1.177435 * y^2$	0.1774	0.3097
11	$z = -2603.311023 + 3.803416 * x + 67.32002 * y - 0.001223 * x^2 - 0.068761 * x * y + 0.146786 * y^2$	0.0618	0.1116
12	$z = -133.516415 + 0.210988 * x + 2.10576 * y - 0.000077 * x^2 - 0.002379 * x * y + 0.015206 * y^2$	0.2605	0.0687
13	$z = -661.587839 + 0.546022 * x + 49.153307 * y - 0.000084 * x^2 - 0.02307 * x * y - 0.844218 * y^2$	0.4386	0.0611
14	$z = -134.749246 + 0.198304 * x + 5.850223 * y - 0.000074 * x^2 - 0.004126 * x * y - 0.068273 * y^2$	0.7652	0.0495
15	$z = 125.367905 - 0.245683 * x - 2.256078 * y + 0.000115 * x^2 + 0.002784 * x * y - 0.003255 * y^2$	0.2363	0.0094
16	$z = -289.456633 + 0.367612 * x + 14.855829 * y - 0.000156 * x^2 - 0.005544 * x * y - 0.284869 * y^2$	0.1473	0.0270

**Tabelul 62** Modele matematice obținute pentru dependența HCl=f(TC7, O<sub>2</sub>) și valorile indicatorilor de precizie;

Șarja nr.	Ecuția de regresie	Coeficientul de corelație R	Deviația standard σ
1	$z = 227.195361 - 0.255938 * x - 12.964243 * y + 0.000086 * x^2 + 0.00571 * x * y + 0.231895 * y^2$	0.9624	0.0576
2	$z = 4530.116956 - 7.234752 * x - 132.767916 * y + 0.002891 * x^2 + 0.105667 * x * y + 0.985579 * y^2$	0.7952	0.0306
3	$z = -143.28463 + 0.246448 * x + 2.945604 * y - 0.000101 * x^2 - 0.00325 * x * y + 0.011054 * y^2$	0.9852	0.0372
4	$z = 192.549522 - 0.23775 * x - 9.741984 * y + 0.000082 * x^2 + 0.005011 * x * y + 0.155311 * y^2$	0.9800	0.0556
5	$z = -832.57682 + 1.143961 * x + 36.754147 * y - 0.000044 * x^2 - 0.063526 * x * y + 0.784641 * y^2$	0.6162	0.3097
6	$z = -1960.828516 - 0.811756 * x + 296.00213 * y + 0.000416 * x^2 - 0.006576 * x * y - 8.836205 * y^2$	0.4687	2.5476

7	$z = -89256.60154 + 102.856364*x + 4270.721368*y - 0.028025*x^2 - 2.653606*x*y - 45.288062*y^2$	0.4757	0.9862
8	$z = -1622.239089 + 1.908464*x + 71.785004*y - 0.000554*x^2 - 0.043674*x*y - 0.712642*y^2$	0.9437	0.3460
9	$z = 297.347859 - 0.419261*x - 9.290088*y + 0.000163*x^2 + 0.004351*x*y + 0.158198*y^2$	0.9933	0.0521
10	$z = -116.882107 + 0.284669*x - 4.488425*y - 0.000137*x^2 + 0.000438*x*y + 0.138425*y^2$	0.9950	0.0417
11	$z = 650.325768 - 0.850558*x - 23.153063*y + 0.000247*x^2 + 0.018551*x*y + 0.122912*y^2$	0.9911	0.0350
12	$z = 833.890261 - 1.136063*x - 24.628948*y + 0.00036*x^2 + 0.019887*x*y + 0.103489*y^2$	0.9944	0.0410
13	$z = -548.960805 + 0.203908*x + 53.349912*y + 0.000095*x^2 - 0.021453*x*y - 0.996664*y^2$	0.9682	0.0876
14	$z = 792.636509 - 1.276721*x - 29.321911*y + 0.000418*x^2 + 0.033429*x*y + 0.026922*y^2$	0.5335	0.4793
15	$z = -1408.508226 + 2.823185*x + 22.311152*y - 0.001385*x^2 - 0.025342*x*y - 0.01123*y^2$	0.8480	0.0649
16	$z = 27819.374019 - 46.802048*x - 851.875357*y + 0.014496*x^2 + 1.226351*x*y - 5.996839*y^2$	0.8327	1.0955

### 5.6.6 Comentarii și concluzii

Prelucrarea datelor utilizate la elaborarea modelelor matematice, respectiv a reprezentărilor grafice s-a efectuat cu programul de calcul Statistica 6.0. Astfel s-au obținut grafice tridimensionale, respectiv suprafețe de corelare între cei trei parametri luați în discuție. Din evaluarea graficelor obținute se pot evidenția următoarele:

În cazul reprezentării variației concentrației de **monoxid de carbon** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen, valorile coeficientului de corelare R sunt foarte bune (peste 0.9) numai pentru 13 din cele 16 șarje.

Comportarea șarjelor nr. 1,4 și 9 poate fi explicată prin aprinderea bruscă a unei părți a deșeurilor, fenomen ce se produce probabil în momentul antrenării acestora pe vatră sau în momentul aprinderii unor deșeuri împachetate în recipiente de sticlă sau metal.

Această comportare se explică prin stoechiometria reacției de oxidare, care trebuie să aibă loc în condiții specifice de temperatură, exces de oxigen și grad de amestecare pentru a fi complete. Dacă aceste condiții sunt doar parțial îndeplinite, reacția va fi incompletă și vor rezulta compuși de ardere incompletă, precum monoxidul de carbon.

În cazul reprezentării variației concentrației de **bioxid de sulf** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen, la 10 șarje coeficientul de corelare R are valori peste 0.9.

La reprezentarea variației concentrației de **oxizi de azot** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen, se observă o dispunere aleatoare a valorilor într-un interval destul de larg (cca 50-250mgNO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>).

Valorile coeficientului de corelare al modelului R sunt bune (peste 0.9) pentru 4 dintre șarje, fapt care poate fi pus pe seama unei distribuții aleatoare. Practic, valoarea concentrației de oxizi de azot în gazele arse este dependentă de cantitatea de azot din deșeuri și din aerul de ardere.

La reprezentarea variației concentrației **compușilor organici volatili** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen valorile coeficientului de corelare al modelului R sunt bune (peste 0.9) pentru 8 dintre cele 16 șarje, iar pentru 4 este peste 0.7.

Acest fapt poate fi explicat prin valorile brute foarte mici măsurate, de sub 1 PPM Propan, ceea ce reprezintă pentru analizor mai puțin de 2% din întreg domeniul de măsurare.

La reprezentarea variației **concentrației de pulberi** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen se observă că valorile coeficientului de corelare al modelului R sunt mici.

Acest fapt poate fi explicat prin valorile brute foarte mici măsurate, de sub 10 mg/m<sup>3</sup> pulberi, ceea ce reprezintă pentru analizor mai puțin de 10% din întreg domeniul de măsurare. În acest caz se observă o dispersie uniformă a citirilor datorată valorilor aflate la limita de jos de sensibilitate a analizorului.

În cazul reprezentării variației concentrației de **acid clorhidric** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen, valorile coeficientului de corelare al modelului R sunt bune (peste 0.9) pentru 9 dintre șarje.

**De obicei, pentru validarea modelelor matematice obținute se efectuează operația de testarea a acestora. Această operație constă în compararea valorilor calculate cu ajutorul modelului propriu-zis cu valorile reale măsurate.**

Având în vedere că numărul determinărilor efectuate este foarte mare, în cadrul lucrării s-a efectuat operația de testare numai pentru dependențele ce caracterizează șarja 1.

Pe baza valorilor experimentale obținute se calculează pentru fiecare dintre dependențele considerate valoarea teoretică  $z$  conform modelului. Aceste date se compară cu cele obținute experimental. Drept indicatori ai adecvantei modelului se folosesc coeficientul de corelație R și abaterea medie pătratică  $\sigma$  [106, 113]

În **tabelul 63** sunt prezentate valorile indicatorilor preciziei la testarea modelului, unde  $\sigma$ -abaterea medie pătratică, R-coeficientul de corelație.

**Tabelul 63** Valorile indicatorilor preciziei modelelor obținute la testarea modelelor obținute pentru șarja 1

Timp [min.]	CO=f(TC7, O <sub>2</sub> )		SO <sub>2</sub> =f(TC7, O <sub>2</sub> )		NO <sub>x</sub> =f(TC7, O <sub>2</sub> )		TOC=f(TC7, O <sub>2</sub> )		Pulberi=f(TC7, O <sub>2</sub> )		HCl=f(TC7, O <sub>2</sub> )	
	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model
2	2.06	6.32	25.93	25.46	100.38	107.35	1.57	1.22	0.54	0.45	1.05	0.80
4	1.83	4.58	22.05	22.09	112.29	99.90	1.48	1.29	0.54	0.18	0.90	0.64
6	1.97	1.66	25.57	25.03	99.09	117.19	2.21	1.62	0.54	0.29	0.99	0.72
8	1.42	0.98	18.03	17.78	132.19	122.01	2.12	1.69	0.54	0.05	0.79	0.41
10	1.34	1.25	17.37	17.27	115.09	134.95	1.87	1.70	0.54	0.18	0.71	0.39
11	1.40	1.70	18.70	18.22	152.61	140.58	1.60	1.54	0.66	0.37	0.78	0.40
12	1.53	2.43	18.77	19.08	150.24	132.54	1.51	1.12	0.93	0.49	0.81	0.50
14	1.57	2.60	19.30	19.39	131.29	130.17	1.63	1.00	0.91	0.52	0.89	0.54
16	1.65	2.64	20.69	20.02	119.15	126.68	1.32	0.90	0.93	0.54	0.94	0.60
18	1.69	2.36	20.66	20.53	114.78	124.90	1.09	0.94	0.91	0.52	0.96	0.62
20	1.78	2.21	22.04	21.63	113.94	122.52	1.13	0.92	0.91	0.53	1.07	0.69
22	1.85	2.02	21.87	22.54	115.40	121.71	1.05	0.97	0.93	0.53	1.09	0.73
24	1.87	1.69	23.76	23.02	117.97	121.37	1.01	1.10	0.91	0.48	1.08	0.73
26	2.01	2.09	25.09	24.60	123.74	122.48	1.11	0.96	0.91	0.61	1.19	0.85
28	1.95	1.49	24.88	24.17	115.08	121.37	1.24	1.23	0.91	0.46	1.13	0.77
30	2.03	1.65	26.16	25.22	124.71	122.47	1.38	1.22	0.91	0.52	1.16	0.82
32	2.19	2.16	26.60	27.07	135.45	126.03	2.08	1.12	0.91	0.67	1.24	0.95
34	2.15	1.90	25.74	27.11	135.73	124.60	1.66	1.40	0.91	0.54	1.22	0.88
36	2.19	2.04	27.98	27.57	135.45	125.59	1.73	1.40	1.05	0.57	1.28	0.90
38	2.32	2.49	30.84	28.97	135.89	129.62	1.61	1.32	1.05	0.70	1.29	1.00
40	2.33	2.61	28.28	29.24	132.99	129.92	1.54	1.38	1.05	0.69	1.33	1.00
42	2.28	2.61	27.99	28.86	126.78	127.92	1.41	1.47	0.91	0.62	1.33	0.95
44	2.39	3.12	30.09	30.16	131.51	131.83	1.58	1.44	1.04	0.73	1.28	1.02
46	2.40	3.44	31.42	30.36	124.43	131.72	1.77	1.48	1.18	0.73	1.36	1.02
48	2.50	4.04	31.77	31.54	135.08	135.51	1.61	1.47	1.18	0.83	1.37	1.08
50	2.54	4.85	32.39	32.01	128.94	136.10	1.88	1.48	1.18	0.87	1.37	1.09
52	13.85	7.27	27.67	27.69	117.28	114.61	1.26	1.21	1.18	0.63	1.30	0.90
54	2.06	6.32	25.93	25.46	100.38	107.35	1.57	1.22	0.54	0.45	1.05	0.80
Media	2.40	2.88	24.91	24.72	124.21	124.61	1.54	1.28	0.88	0.53	1.11	0.78
σ	2.1099		1.2971		12.7992		0.3100		0.1402		0.0576	
R	0.4810		0.9609		0.2813		0.4124		0.7570		0.9624	

Examinând datele din **tabelul 63** se pot face următoarele comentarii și trage următoarele concluzii:

- a. În cazul dependenței  $CO=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mic, abaterea medie pătratică este mare. Acest fapt se datorează unor creșteri bruște ale concentrației de monoxid de carbon în timpul arderii. Aceste variații s-au datorat unei proaste amestecări a deșeurilor sau unor deșeuri foarte inflamabile împachetate în recipiente cu o oarecare rezistență la foc. Din motive tehnice la momentul actual nu este practic posibilă verificarea foarte exactă a fiecărei șarje, deci modelul matematic obținut fără acest parametru nu poate descrie complet comportarea sistemului.
- b. În cazul dependenței  $SO_2=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mare, abaterea medie pătratică este mai mică decât în cazul a. Acest fapt arată o corelare satisfăcătoare între model și datele experimentale obținute.
- c. În cazul dependenței  $NO_x=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mic, abaterea medie pătratică este acceptabilă. Acest fapt arată o corelare satisfăcătoare între model și datele experimentale obținute.
- d. În cazul dependenței  $TOC=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mic, abaterea medie pătratică este mică. Acest fapt arată o corelare acceptabilă între model și datele experimentale obținute.
- e. În cazul dependenței  $Pulberi=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este acceptabil, abaterea medie pătratică este mică. Acest fapt arată o corelare satisfăcătoare între model și datele experimentale obținute.
- f. În cazul dependenței  $HCl=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mare, abaterea medie pătratică este foarte mică. Acest fapt arată o corelare satisfăcătoare între model și datele experimentale obținute.

Ca atare, se poate considera că modelele dependențelor  $SO_2=f(TC7, O_2)$ ,  $pulberi=f(TC7, O_2)$ , și  $HCl=f(TC7, O_2)$  sunt valide în condițiile șarjei 1 cu o precizie ridicată, aproximativ între 75-90%.

În ceea ce privește dependențele  $CO=f(TC7, O_2)$ ,  $NO_x=f(TC7, O_2)$  și  $TOC=f(TC7, O_2)$  precizia acestora rezultată în urma validării este mai scăzută, aproximativ în limitele 50-60%.

**Modelele elaborate** pot fi considerate ca **modele de predicție** și pot fi utilizate în conducerea și operarea instalației de incinerare a deșeurilor.

Astfel, dacă se dorește obținerea la coș a unei anumite valori pentru concentrația de CO sau  $SO_2$ , din graficele prezentate se pot determina valorile corespunzătoare pentru temperatura din camera de postardere și concentrația oxigenului la coș.

În procesul de conducere directă a instalației de incinerare, operatorul poate fixa prin intermediul echipamentelor din camera de comandă mărimile prescrise dorite pentru parametrii ce determină direct valorile reale ale temperaturilor și concentrației oxigenului.

Analizând indicatorii preciziei modelelor, se poate concluziona că modelele matematice obținute pe baza datelor experimentale reflectă cu o acuratețe satisfăcătoare fenomenul real studiat.

## CONCLUZII GENERALE

**Lucrearea de față a avut ca scop prezentarea nivelului de cunoaștere în domeniul incinerării deșeurilor provenite de la diferite surse în mediul urban și rural și acela de a crea o bază de date experimentale obținute la monitorizarea funcționării în regim dinamic a unei instalații de incinerare a deșeurilor. Utilizând aceste date s-au elaborat o serie de modele matematice ce caracterizează dependențele existente între concentrațiile emisiilor la coș și o serie de parametri fizici, chimici și tehnologici.**

Operația de incinerare a deșeurilor face parte integrantă din tehnologia de tratare a acestora în vederea distrugerii lor în condiții strict prevăzute de legislația în vigoare. O mare importanță este acordată gradului de poluare pe care îl pot realiza emisiile de gaze poluante la coșul de evacuare al instalațiilor de incinerare a deșeurilor. La nivelul actual de dotare tehnologică al României nu există posibilitatea măsurătorilor on-line al imisiilor de poluanți atmosferici proveniți din sursele constituite de către coșurile de evacuare. Din acest motiv elaborarea unor modele matematice care să redea dependența concentrațiilor emisiilor provenite de la coșul de evacuare al instalațiilor de incinerare a deșeurilor față de o serie de parametri tehnologici, fizici și chimici este importantă și binevenită.

Studiile abordate în lucrare au un caracter ingineresc, interdisciplinar pentru care s-a făcut apel la mai multe domenii ale științei cum ar fi: chimie, inginerie chimică, ingineria mediului, informatică, matematică statistică, precum și la utilizarea unor programe de calcul specifice, respectiv Microsoft Excel 2000, Statistica 6.0, etc.

**Analizând conținutul lucrării, se poate aprecia că obiectivele propuse au fost în totalitate atinse și rezolvate, după cum urmează:**

### **1. Realizarea unei documentări bibliografice cu privire la tehnologiile și instalațiile de incinerare**

Acest obiectiv a fost realizat prin studierea unui număr mare de referințe bibliografice de actualitate din țară și străinătate. În lucrare s-au prezentat aspecte generale legate de gospodărirea deșeurilor, prezentarea tehnologiilor și instalațiilor de incinerare, cu referire mai ales la tipuri de cuptoare primare de incinerare și la controlul gazelor de ardere rezultate.

### **2. Sinteza principalelor legi și reglementări naționale și internaționale privind domeniul incinerării și gestionării deșeurilor**

Legislația europeană și mai recent cea românească impun norme tot mai stricte tuturor marilor poluatori ai atmosferei cu următorii componenți: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, TOC, pulberi, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HF, metale gerle, etc. Ca urmare și instalațiile de incinerare a deșeurilor trebuie să respecte aceste norme legate de emisiile la coșurile de evacuare.

Pentru realizarea obiectivului referitor la compendiul de legislație, în lucrare s-a realizat o sinteză a principalelor acte normative românești și europene în vigoare referitoare la aceste norme.

### **3. Documentare bibliografică asupra tehnicilor de modelare matematică, automatizare și optimizare cu particularizare pentru tehnologiile și instalațiile de incinerare a deșeurilor.**

Acest obiectiv propus s-a concretizat prin studierea noțiunilor generale de modelare matematică și simulare numerică. În lucrare este prezentată teoria generală a modelării, noțiunile de sistem, model, modelare, identificare. De asemenea sunt prezentate tipurile de modele matematice punându-se un accent deosebit pe modelele statistice. Tot aici trebuie amintit că documentarea realizată se referă și la automatizarea și optimizarea instalațiilor de incinerare a deșeurilor în vederea reducerii emisiilor de NO<sub>x</sub>, a celor de SO<sub>2</sub>, respectiv optimizarea duratei de funcționare a unei instalații de incinerare

#### **4. Descrierea instalației de incinerare a deșeurilor a cărei funcționare a fost monitorizată prin măsurarea principalilor parametri tehnologici și a emisiilor la coș.**

Obiectivul a fost atins prin descrierea detaliată a instalației de incinerare a deșeurilor care a fost studiată în cadrul lucrării.

Instalația de incinerare a deșeurilor este construită în municipiul Timișoara și a fost pusă în funcțiune în anul 2005. Ea este alcătuită din două părți distincte: instalația tehnologică de incinerare a deșeurilor și instalația de epurare a gazelor arse. În cadrul lucrării se prezintă detaliat atât utilajele componente cât și echipamentele auxiliare și de comandă utilizate la conducerea și operarea optimă a întregii instalații.

#### **5. Realizarea unei baze de date experimentale în urma monitorizării efectuate timp de 4 luni a instalației de incinerare a deșeurilor.**

Obiectivul a fost atins prin efectuarea studiilor propuse asupra modului de funcționare al incineratorului de deșeuri. Pentru aceasta s-au monitorizat următorii parametri: temperaturile în cuptor în camerele de ardere și în instalația de epurare a gazelor [°C]; debitul de gaze arse [Nm<sup>3</sup>/h]; concentrația de O<sub>2</sub> [%]; concentrația de CO<sub>2</sub> [%]; concentrația de NO<sub>x</sub> [mg/Nm<sup>3</sup>]; concentrația de CO [mg/Nm<sup>3</sup>]; concentrația de TOC [mg/Nm<sup>3</sup>]; concentrația SO<sub>2</sub> [mg/Nm<sup>3</sup>]; concentrația de HCl [mg/Nm<sup>3</sup>]; concentrația de pulberi [mg/Nm<sup>3</sup>]; În afară de aceștia s-au monitorizat și parametri tehnologici de funcționare ai instalației. Toate datele experimentale sunt prezentate în **Anexele I-IV**.

#### **6. Prelucrarea datelor experimentale cu programe specifice.**

Obiectivul a fost realizat prin prelucrarea datelor experimentale care s-a efectuat folosind reprezentarea grafică cu ajutorul programelor de calcul Microsoft Excel 2000 și Statistica 6.0.

Ținând cont de legislația în vigoare, în **tabelul 15** valorile maxim admisibile ale emisiilor măsurate la coș trebuie să fie conforme Normativului tehnic privind incinerarea deșeurilor din 26.11.2004 și a Autorizației de mediu. **Ca atare, toate emisiile la coș ale instalației de incinerare a deșeurilor care este studiată în această lucrare trebuie obligatoriu să prezinte valori care se situează sub valorile maxim admisibile.**

Având în vedere numărul mare de date experimentale pentru caracterizarea funcționării în regim dinamic a instalației de incinerare s-au prelucrat datele obținute numai pentru **16 șarje** (vezi **tabelul 16** și **tabelele 21-36**).

Programele utilizate se bazează pe tehnica analizei de regresie care este materializată prin două tipuri de metode și anume:

- metoda analizei de regresie liniară
- metoda analizei de regresie neliniară



Utilizând aceste metode s-au obținut reprezentări grafice ale dependențelor studiate și modelele matematice corespunzătoare (vezi graficele și tabelele cu modele matematice din prelucrarea datelor experimentale).

#### **7. Elaborarea modelelor matematice ce caracterizează variația în timp a concentrațiilor emisiilor la coș (tipul A)**

Acest obiectiv a fost atins prin prelucrarea datelor experimentale și obținerea modelelor matematice corespunzătoare. Astfel modelele matematice ce caracterizează variația în timp a emisiilor la coș pentru cele 16 șarje s-au determinat din dependențele considerate de forma  $y=f(x)$  reprezentate grafic în **figurile 41-56**. Aceste modele matematice sunt prezentate în **tabelele 37-46** pentru toate cele 16 șarje. Pe baza reprezentărilor grafice și a modelelor obținute se poate aprecia suficient de corect încadrarea emisiilor la coș în limitele prevăzute de legislația în vigoare. Pentru aceasta în **tabelul 47** se prezintă comparativ media concentrațiilor emisiilor determinate experimental în raport cu mediile admise legal, în cazul celor 16 șarje pentru care s-au determinat modelele matematice.

**Tabelul 47-a** Mediile concentrațiilor emisiilor determinate experimental pentru fiecare șarjă în parte în raport cu limitele admise legal

Șarja	NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>		TOC		HCl		Pulberi		Încadrare în limitele legale
	mg/m <sup>3</sup>		mg/m <sup>3</sup>		mg/m <sup>3</sup>		mg/m <sup>3</sup>		mg/m <sup>3</sup>		
	Media din date experimentale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	
1	125.1	200/400	24.9	50/200	1.5	10/20	1.1	10/60	0.9	10/30	Da
2	111.8	200/400	20.9	50/200	0.9	10/20	0.8	10/60	1.3	10/30	Da
3	123.9	200/400	25.0	50/200	1.0	10/20	1.0	10/60	1.5	10/30	Da
4	120.7	200/400	27.5	50/200	1.0	10/20	1.1	10/60	1.7	10/30	Da
5	110.9	200/400	49.9	50/200	0.7	10/20	39.4	10/60	0.5	10/30	Da
6	93.1	200/400	28.0	50/200	0.6	10/20	7.8	10/60	0.5	10/30	Da
7	88.5	200/400	20.6	50/200	0.7	10/20	3.9	10/60	0.5	10/30	Da
8	110.8	200/400	22.2	50/200	0.9	10/20	4.9	10/60	0.6	10/30	Da
9	114.5	200/400	20.4	50/200	1.2	10/20	2.6	10/60	1.0	10/30	Da
10	135.8	200/400	19.8	50/200	2.2	10/20	2.7	10/60	1.1	10/30	Da
11	134.6	200/400	21.1	50/200	2.5	10/20	2.9	10/60	1.2	10/30	Da
12	155.7	200/400	26.6	50/200	1.4	10/20	3.1	10/60	1.2	10/30	Da
13	88.9	200/400	23.5	50/200	0.9	10/20	2.2	10/60	0.4	10/30	Da
14	78.3	200/400	46.8	50/200	0.9	10/20	2.4	10/60	0.4	10/30	Da
15	85.2	200/400	27.6	50/200	1.2	10/20	1.2	10/60	0.3	10/30	Da
16	82	200/400	32.4	50/200	1.0	10/20	2.2	10/60	0.3	10/30	Da

**Concluzia care se desprinde din evaluarea tabelului 47 este că la toate șarjele emisiile se încadrează în limitele admise de legislația în vigoare.**

În **tabelul 48** se prezintă comparativ media concentrațiilor emisiilor determinată experimental pentru cele 4 tipuri de deșeuri în raport cu mediile concentrațiilor admise legal.

**Tabelul 48** Media concentrațiilor emisiilor determinate experimental pentru fiecare tip de deșeu în raport cu limitele admise legal

Deșeu tip	NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>		TOC		HCl		Pulberi		Încadrare în limitele legale
	mg/m <sup>3</sup>		mg/m <sup>3</sup>		mg/m <sup>3</sup>		mg/m <sup>3</sup>		mg/m <sup>3</sup>		
	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	Media din date experimentale pt. 4 tipuri de deșeuri de concentrații diferite	Media la 30 min. admisă legal 97%/100%	
A	120.37	200/400	24.575	50/200	1.1	10/20	1	10/60	1.35	10/30	Da
B	100.82	200/400	30.175	50/200	0.725	10/20	14	10/60	0.525	10/30	Da
C	135.15	200/400	21.975	50/200	1.825	10/20	2.8	10/60	1.125	10/30	Da
D	83.6	200/400	32.575	50/200	1	10/20	2	10/60	0.35	10/30	Da

Concluzia care se desprinde din evaluarea **tabelului 48** este că la toate șarjele incinerate, indiferent de compoziția acestora, valorile concentrațiilor emisiilor la coș se încadrează în limitele admise de legislația în vigoare.

#### **8. Elaborarea modelelor matematice ce caracterizează influența concentrației oxigenului asupra concentrațiilor emisiilor la coș (tipul B).**

Obiectivul a fost atins prin elaborarea modelelor matematice ce caracterizează influența concentrației de oxigen asupra concentrațiilor emisiilor periculoase la coș.

Modelele matematice ce caracterizează variația în funcție de concentrația de oxigen a emisiilor la coș pentru cele 16 șarje s-au determinat din dependențele considerate de forma  $y=f(x)$  reprezentate grafic în **figurile 57-72**. Aceste modele matematice sunt prezentate în **tabelele 49-56** pentru toate cele 16 șarje.

Modelele matematice obținute pentru descrierea dependențelor existente între valorile concentrațiilor emisiilor la coș și valorile concentrațiilor de oxigen în condițiile unei temperaturi de ardere corespunzătoare, adică în jurul valorii de 900°C, sunt corespunzătoare pentru cei mai mulți dintre compușii studiați. Din evaluarea modelelor matematice obținute, se observă că valorile concentrațiilor emisiilor la coș depind în proporții diferite de concentrația de oxigen măsurată. Acestea variază în limite destul de largi, între 10 și peste 90%. Valorile mai mari, de 70-90%, acceptabile, se înregistrează pentru CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> și TOC. Se observă necesitatea introducerii în model a unei noi variabile independente care să reflecte temperatura de ardere. Pentru aceasta s-a ales temperatura măsurată cu ajutorul termocuplului TC7, amplasat pe peretele lateral din zona centrală a camerei de incinerare.

#### **9. Elaborarea de modele matematice de predicție ce caracterizează influența temperaturii din camera de postardere și a concentrației de oxigen asupra valorilor concentrațiilor de emisii la coș.**

Acest obiectiv a fost atins prin determinarea modelelor matematice utilizând programul de calcul Statistica 6.0.

Modelele matematice ce caracterizează variația concentrațiilor emisiilor la coș în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen pentru cele 16 șarje s-au determinat din dependențele considerate de forma  $z=f(x,y)$  reprezentate grafic în **figurile 73-163**. Aceste modele matematice sunt prezentate în **tabelele 57-62**.

Concluziile desprinse din evaluarea modelelor obținute sunt următoarele:

În cazul reprezentării variației concentrației de **monoxid de carbon** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen, valorile coeficientului de corelare R sunt foarte bune (peste 0.9) numai pentru 13 din cele 16 șarje.

Comportarea șarjelor nr. 1,4 și 9 poate fi explicată prin aprinderea bruscă a unei părți a deșeurilor, fenomen ce se produce probabil în momentul antrenării acestora pe vatră sau în momentul aprinderii unor deșeuri împachetate în recipiente de sticlă sau metal.

Această comportare se explică prin stoechiometria reacției de oxidare, care trebuie să aibă loc în condiții specifice de temperatură, exces de oxigen și grad de amestecare pentru a fi complete. Dacă aceste condiții sunt doar parțial îndeplinite, reacția va fi incompletă și vor rezulta compuși de ardere incompletă, precum monoxidul de carbon.

În cazul reprezentării variației concentrației de **bioxid de sulf** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen, la 10 șarje coeficientul de corelare R are valori peste 0.9.

La reprezentarea variației concentrației de **oxizi de azot** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen, se observă o dispunere aleatoare a valorilor într-un interval destul de larg (cca 50-250mgNO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>).

Valorile coeficientului de corelare al modelului R sunt bune (peste 0.9) pentru 4 dintre șarje, fapt care poate fi pus pe seama unei distribuții aleatoare. Practic, valoarea concentrației de oxizi de azot în gazele arse este dependentă de cantitatea de azot din deșeuri și din aerul de ardere.

La reprezentarea variației concentrației **compușilor organici volatili** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen valorile coeficientului de corelare al modelului R sunt bune (peste 0.9) pentru 8 dintre cele 16 șarje, iar pentru 4 este peste 0.7.

Acest fapt poate fi explicat prin valorile brute foarte mici măsurate, de sub 1 PPM Propan, ceea ce reprezintă pentru analizor mai puțin de 2% din întreg domeniul de măsurare.

La reprezentarea variației **concentrației de pulberi** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen se observă că valorile coeficientului de corelare al modelului R sunt mici.

Acest fapt poate fi explicat prin valorile brute foarte mici măsurate, de sub 10 mg/m<sup>3</sup> pulberi, ceea ce reprezintă pentru analizor mai puțin de 10% din întreg domeniul de măsurare. În acest caz se observă o dispersie uniformă a citirilor datorată valorilor aflate la limita de jos de sensibilitate a analizorului.

În cazul reprezentării variației concentrației de **acid clorhidric** în funcție de temperatura din camera de postardere și concentrația de oxigen, valorile coeficientului de corelare al modelului R sunt bune (peste 0.9) pentru 9 dintre șarje.

#### **10. Testarea și validarea modelelor matematice elaborate la obiectivul 9.**

Obiectivul a fost atins prin efectuarea operațiilor de testare, respectiv validare după metodologia clasică prezentată în literatura de specialitate [41, 143]

Operația de testare, respectiv validare a modelelor matematice constă în compararea valorilor calculate cu ajutorul modelului propriu-zis cu valorile reale măsurate.

Având în vedere că numărul determinărilor efectuate este foarte mare, în cadrul lucrării s-a efectuat operația de testare numai pentru dependențele ce caracterizează șarja 1.

Pe baza valorilor experimentale obținute se calculează pentru fiecare dintre dependențele considerate valoarea teoretică  $z$  conform modelului. Aceste date se compară cu cele obținute experimental. Drept indicatori ai adecvănței modelului se folosesc coeficientul de corelație R și abaterea medie pătratică  $\sigma$  [106, 113, 143]

În **tabelul 63** sunt prezentate valorile indicatorilor de precizie la testarea modelelor, unde  $\sigma$ -abaterea medie pătratică, R-coeficientul de corelație.

**Tabelul 63 a** Valorile indicatorilor de precizie la testarea modelelor obținute pentru șarja 1

Timp [min.]	CO=f(TC7, O <sub>2</sub> )		SO <sub>2</sub> =f(TC7, O <sub>2</sub> )		NOx=f(TC7, O <sub>2</sub> )	
	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model
2	2.06	6.32	25.93	25.46	100.38	107.35
4	1.83	4.58	22.05	22.09	112.29	99.90
6	1.97	1.66	25.57	25.03	99.09	117.19
8	1.42	0.98	18.03	17.78	132.19	122.01
10	1.34	1.25	17.37	17.27	115.09	134.95
11	1.40	1.70	18.70	18.22	152.61	140.58
12	1.53	2.43	18.77	19.08	150.24	132.54
14	1.57	2.60	19.30	19.39	131.29	130.17
16	1.65	2.64	20.69	20.02	119.15	126.68
18	1.69	2.36	20.66	20.53	114.78	124.90
20	1.78	2.21	22.04	21.63	113.94	122.52
22	1.85	2.02	21.87	22.54	115.40	121.71
24	1.87	1.69	23.76	23.02	117.97	121.37
26	2.01	2.09	25.09	24.60	123.74	122.48
28	1.95	1.49	24.88	24.17	115.08	121.37
30	2.03	1.65	26.16	25.22	124.71	122.47
32	2.19	2.16	26.60	27.07	135.45	126.03
34	2.15	1.90	25.74	27.11	135.73	124.60
36	2.19	2.04	27.98	27.57	135.45	125.59
38	2.32	2.49	30.84	28.97	135.89	129.62
40	2.33	2.61	28.28	29.24	132.99	129.92
42	2.28	2.61	27.99	28.86	126.78	127.92
44	2.39	3.12	30.09	30.16	131.51	131.83
46	2.40	3.44	31.42	30.36	124.43	131.72
48	2.50	4.04	31.77	31.54	135.08	135.51
50	2.54	4.85	32.39	32.01	128.94	136.10
52	13.85	7.27	27.67	27.69	117.28	114.61
54	2.06	6.32	25.93	25.46	100.38	107.35
Media	2.40	2.88	24.91	24.72	124.21	124.61
σ	2.1099		1.2971		12.7992	
R	0.4810		0.9609		0.2813	

**Tabelul 63 b** Valorile indicatorilor de precizie la testarea modelelor obținute pentru șarja 1

Timp [min.]	TOC=f(TC7, O <sub>2</sub> )		Pulberi=f(TC7, O <sub>2</sub> )		HCl=f(TC7, O <sub>2</sub> )	
	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model	Date experimentale	Model
2	1.57	1.22	0.54	0.45	1.05	0.80
4	1.48	1.29	0.54	0.18	0.90	0.64
6	2.21	1.62	0.54	0.29	0.99	0.72
8	2.12	1.69	0.54	0.05	0.79	0.41
10	1.87	1.70	0.54	0.18	0.71	0.39

11	1.60	1.54	0.66	0.37	0.78	0.40
12	1.51	1.12	0.93	0.49	0.81	0.50
14	1.63	1.00	0.91	0.52	0.89	0.54
16	1.32	0.90	0.93	0.54	0.94	0.60
18	1.09	0.94	0.91	0.52	0.96	0.62
20	1.13	0.92	0.91	0.53	1.07	0.69
22	1.05	0.97	0.93	0.53	1.09	0.73
24	1.01	1.10	0.91	0.48	1.08	0.73
26	1.11	0.96	0.91	0.61	1.19	0.85
28	1.24	1.23	0.91	0.46	1.13	0.77
30	1.38	1.22	0.91	0.52	1.16	0.82
32	2.08	1.12	0.91	0.67	1.24	0.95
34	1.66	1.40	0.91	0.54	1.22	0.88
36	1.73	1.40	1.05	0.57	1.28	0.90
38	1.61	1.32	1.05	0.70	1.29	1.00
40	1.54	1.38	1.05	0.69	1.33	1.00
42	1.41	1.47	0.91	0.62	1.33	0.95
44	1.58	1.44	1.04	0.73	1.28	1.02
46	1.77	1.48	1.18	0.73	1.36	1.02
48	1.61	1.47	1.18	0.83	1.37	1.08
50	1.88	1.48	1.18	0.87	1.37	1.09
52	1.26	1.21	1.18	0.63	1.30	0.90
54	1.57	1.22	0.54	0.45	1.05	0.80
Media	1.54	1.28	0.88	0.53	1.11	0.78
$\sigma$	0.3100		0.1402		0.0576	
R	0.4124		0.7570		0.9624	

Examinând datele din **tabelul 63** se pot trage următoarele concluzii:

- În cazul dependenței  $CO=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mic, abaterea medie pătratică este mare. Acest fapt se datorează unor creșteri bruște ale concentrației de monoxid de carbon în timpul arderii. Aceste variații s-au datorat unei proaste amestecări a deșeurilor sau unor deșeuri foarte inflamabile împachetate în recipiente cu o oarecare rezistență la foc. Din motive tehnice la momentul actual nu este practic posibilă verificarea foarte exactă a fiecărei șarje, deci modelul matematic obținut fără acest parametru nu poate descrie complet comportarea sistemului.
- În cazul dependenței  $SO_2=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mare, abaterea medie pătratică este mai mică decât în cazul a. Acest fapt arată o corelare satisfăcătoare între model și datele experimentale obținute.
- În cazul dependenței  $NO_x=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mic, abaterea medie pătratică este acceptabilă. Acest fapt arată o corelare nesatisfăcătoare între model și datele experimentale obținute.
- În cazul dependenței  $TOC=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mic, abaterea medie pătratică este mică. Acest fapt arată o corelare acceptabilă între model și datele experimentale obținute.
- În cazul dependenței  $Pulberi=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este acceptabil, abaterea medie pătratică este mică. Acest fapt arată o corelare satisfăcătoare între model și datele experimentale obținute.

f. În cazul dependenței  $HCl=f(TC7, O_2)$  coeficientul de corelație este mare, abaterea medie pătratică este foarte mică. Acest fapt arată o corelare satisfăcătoare între model și datele experimentale obținute.

Ca atare, se poate considera că modelele dependențelor  $SO_2=f(TC7, O_2)$ ,  $pulberi=f(TC7, O_2)$ , și  $HCl=f(TC7, O_2)$  sunt valide în condițiile șarjei 1 cu o precizie ridicată, aproximativ între 75-90%.

În ceea ce privește dependențele  $CO=f(TC7, O_2)$ ,  $NO_x=f(TC7, O_2)$  și  $TOC=f(TC7, O_2)$  precizia acestora rezultată în urma validării este mai scăzută, aproximativ în limitele 50-60%.

Analizând indicatorii preciziei modelelor, se poate trage concluzia că modelele matematice obținute pe baza datelor experimentale reflectă cu o acuratețe satisfăcătoare fenomenul real studiat.

### **11. Elaborarea concluziilor cu privire la utilizarea modelelor matematice obținute ca modele de predicție în vederea alegerii strategiilor de conducere automată a instalației de incinerare a deșeurilor.**

Acest obiectiv a fost realizat prin elaborarea unor concluzii pertinente cu privire la utilizarea modelelor matematice obținute pe baza studiilor efectuate.

Modelele elaborate în cadrul obiectivului 9 pot fi considerate ca și modele de predicție. În general modelele de predicție sunt utilizate la stabilirea strategiilor de conducere și operare a instalațiilor tehnologice. În această idee modelele obținute pot fi utilizate cu succes și la stabilirea strategiilor de conducere și operare a instalației de incinerare a deșeurilor a cărui studiu face obiectul prezentei lucrări.

Astfel, dacă se dorește de exemplu obținerea la coș a unei anumite valori pentru concentrația unei emisii periculoase, din graficele tridimensionale se pot determina valorile corespunzătoare pentru temperaturile din camera de postardere și valorile corespunzătoare pentru concentrația de oxigen. Odată cunoscute aceste valori, operatorul ce conduce direct instalația de incinerare poate fixa prin intermediul echipamentelor din camera de comandă mărimile prescrise dorite pentru parametrii tehnologici, fizici și chimici care determină direct valorile reale ale temperaturilor din camera de postardere și concentrațiilor de oxigen.

În acest fel, se imprimă un regim de funcționare al instalației de incinerare care să asigure emisia dorită la coșul de evacuare.

**În final, trebuie subliniat faptul că elaborarea și utilizarea modelelor matematice având la bază principiile teoriei sistemelor a condus la posibilitatea de a efectua o abordare sistemică a studierii funcționării în regim dinamic a instalației de incinerare a deșeurilor.**

**Acest lucru reprezintă o realizare deosebită deoarece nu s-a efectuat numai o tratare brută a bazei de date experimentale obținute la monitorizarea instalației de incinerare a deșeurilor, ci s-a încercat o abordare evoluată a studierii funcționării în regim dinamic a acesteia prin utilizarea modalităților matematice de caracterizare.**

**Modelele matematice obținute și prezentate conferă lucrării un nivel ridicat de abordare științifică a obiectivelor propuse.**

**Trebuie remarcat faptul că studiile legate de prezenta lucrare pot fi continuate prin dezvoltarea unor noi direcții de cercetare având la dispoziție o bază de date experimentale foarte bogată.**



## **CONTRIBUȚII PERSONALE**

Principalele contribuții personale sunt:

- 1. Realizarea unei documentări bibliografice cu privire la tehnologiile și instalațiile de incinerare.**
- 2. Sinteza principalelor legi și reglementări naționale și internaționale privind domeniul incinerării și gestionării deșeurilor.**
- 3. Realizarea unei documentări bibliografice sintetice asupra tehnicilor de modelare matematică, automatizare și optimizare cu particularizare pentru tehnologiile și instalațiile de incinerare a deșeurilor.**
- 4. Abordarea sistemică a unui studiu de caz concret pe baza descrierii unei instalații de incinerare a deșeurilor a cărei funcționare a fost monitorizată prin măsurarea principalilor parametri tehnologici și a emisiilor la coș.**
- 5. Realizarea unei baze de date experimentale bogate în urma monitorizării funcționării instalației de incinerare a deșeurilor efectuată timp de 4 luni.**
- 6. Prelucrarea datelor experimentale cu programe specifice și stabilirea unor metodologii și a unor algoritmi de calcul acceptabili pentru determinarea modelelor matematice care descriu diferite dependențe între emisiile la coș și parametri tehnologici, fizici și chimici.**
- 7. Elaborarea concretă a unui pachet de modele matematice ce caracterizează variația în timp a concentrațiilor emisiilor la coș. (tipul A)**
- 8. Elaborarea unui pachet de modele matematice ce caracterizează influența concentrației oxigenului asupra concentrațiilor emisiilor la coș. (tipul B)**
- 9. Elaborarea unui pachet de modele matematice ce caracterizează influența temperaturii din camera de postardere și a concentrației de oxigen asupra variațiilor concentrațiilor de emisii la coș. (tipul C)**
- 10. Testarea și validarea modelelor matematice elaborate.**
- 11. Elaborarea concluziilor cu privire la utilizarea modelelor matematice obținute ca modele de predicție în vederea alegerii strategiilor de conducere automată a instalației de incinerare a deșeurilor.**

**12. Pe baza cercetărilor efectuate se constată că instalația de incinerare a deșeurilor a cărei funcționare a fost studiată în cadrul lucrării prezintă performanțe ridicate referitor la valorile concentrațiilor emisiilor la coș care se situează sub limitele legale la toate cele 16 șarje studiate.**

## Bibliografie

1. Mihai Olteanu, *În actualitate Gestionarea Deșeurilor*, Univers Ingineresc nr.8/2004, Editura AGIR, 2004.
2. Nagy Z., Agachi S, *Model based control-case studies*, Ed. Presa Universitară Clujeană, Cluj-Napoca, 2004.
3. P. Ș. Agachi, Z. K. Nagy, M.V. Cristea, A. Imre-Lucaci, *Model Based Control, Case Studies in Process Engineering*, Ed. Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
4. *Dicționarul explicativ al limbii române - DEX'98*, [http://www.webdex.ro/online/dictionarul\\_explicativ\\_al\\_limbii\\_romane\\_dex98/de\\_%C5%9Feu](http://www.webdex.ro/online/dictionarul_explicativ_al_limbii_romane_dex98/de_%C5%9Feu), 31.05.2009.
5. N.N. Antonescu, Nicolae Antonescu, Dan-Paul Stănescu, Lelia Letiția Popescu, *Gestiunea și tratarea deșeurilor urbane. Gestiunea regională*, Ed. MatrixRom, București, 2006.
6. Guvernul României, *HOTĂRÂRE nr. 856 din 16 august 2002 privind evidența gestiunii deșeurilor și pentru aprobarea listei cuprinzând deșeurile, inclusiv deșeurile periculoase*, Monitorul Oficial nr. 659/5 septembrie 2002.
7. Tiberiu Apostol, Cosmin Mărculescu, *Managementul deșeurilor solide*, Ed. AGIR, București 2006.
8. John Pichtel, *Waste management practices Municipal, Hazardous, and Industrial*, Ed. Taylor & Francis Group, 2005.
9. C. Cosmi ș.a., *Waste management modeling by MARKAL model: a case study for Basilicata Region*, Environmental Modeling and Assessment, Vol. 5, nr. 1, 2000, Ed. Springer Netherlands.
10. Guvernul României, *Ordonanță de urgență nr. 78 din 16/06/2000 privind regimul deșeurilor*, Monitorul Oficial, Partea I nr. 283 din 22/06/2000.
11. *Séminaire sur la gestion et le traitement des déchets*, Proiect de cooperation avec l'Université Technique, la Municipalité et les entreprises de Timișoara, Roumanie 6-15 iulie 1995.
12. Ministerul Mediului și Gospodăririi Apelor, *Normativ tehnic privind incinerarea deșeurilor*, *Normativ din 26.11.2004*, Monitorul Oficial, Partea I, nr. 86Bis din 26.01.2005
13. Stefanie Hellweg, Thomas b. Hofstetter Konrad Hungerbühler: *Modeling waste incineration for life-cycle inventory analysis in Switzerland*, Environmental Modeling and Assesment, Editura Kluwer Academic Publishers, 2001.
14. *A Citizen's Guide to Incineration*, United States Office of Environmental Protection Agency, Solid Waste and Emergency Response EPA 542-F-01-018, 2002.
15. Vasile Pode, *Gospodărirea și incinerarea deșeurilor*, Editura Waldpress, Timișoara, 2004
16. Werner Schilling: *Verbrennung und Diffusionsflammen bei Drücken bis 1000 Bar*, Karlsruhe, 1989.
17. **S. Marinescu**, C. Rusnac, F. Dobren, D. Perju, M.N. Calisevici, *Tehnologii moderne de incinerare a deșeurilor. I. Principiile teoretice și descrierea fenomenelor asociate*, Zilele Academice Timișene, ediția a X-a, Timișoara, România, 24-25 mai 2007.

18. **Sorin Marinescu**, Carmen Rusnac, Delia Perju, Flavius Dobren, Mirela Nicoleta Calisevici, "Tehnologii moderne de incinerare a deșeurilor I. Principiile teoretice și descrierea fenomenelor asociate", Buletinul A.G.I.R. nr. 1-2/2008, Editura A.G.I.R., București, p. 234-240, ISSN 1224-7928, CNCSIS cat. C.
19. Egon Dirks, *Praxishandbuch Abfallverbrennung Technik und Betrieb thermischer Behandlungsverfahren*, Ed. Herrentor Fachbuchverlag, 2000.
20. Lazăr Gabor, Doina Gabor, *Transfer termic în ingineria chimică*, Editura Politehnica Timișoara, 2002.
21. David H.F. Liu, Béla G. Lipták, *Environmental Engineers' Handbook Second Edition*, Editura Lewis Publishers, New York, 1997.
22. Mirela Calisevici, Delia Perju, R.C. Moldovan, **S. Marinescu**, *Procedeul termodensimetric pentru măsurarea concentrațiilor amestecurilor de lichide. Principii și baze teoretice pentru analizorul în varianta cu mărime de ieșire pneumatică*, Buletinul A.G.I.R. nr. 1-2/2008, Editura A.G.I.R., București, p. 60-65, ISSN 1224-7928, CNCSIS cat. C.
23. Richard Tonachel ș.a., *Zumdahl Basic Chemistry*, Third Edition Ed. D.C. Heath and Company, 1996.
24. Noell-KRC Rostsystem, *Wassegekühlter Rost 42000 Betriebsstunden im Einsatz*, Abfallwirtschafts Jurnal 8/1996.
25. OTV, *Traiter et valoriser les boues*, Editura Aubin Imprimeurs, 1997.
26. F. Bosnjakovic, *Wärmediagramme für Vergasung Verbrennung und Rußbildung*, Springer - Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1956.
27. Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, Spizer FE, *An association between air pollution and mortality in six US cities*, New England Journal of Medicine 329, 1735-1759, 1993.
28. K. Siegmann, H.C. Siegmann, *The Formation of Carbon in Combustion and how to Quantify the Impact on Human Health*, Revista Europhysics News nr.28/1997.
29. Sorina Doroftei, Brighita Vlaicu ș.a., *Igiena mediului igiena alimentației igiena copiilor și adolescenților*, Editura Eurobit, Timișoara, 2002.
30. **Marinescu Sorin Alin**, Rusnac Lucian, Dobren Flavius Andrei, *Influences of the Growth of the Charbon Dioxide Emissions Depending on the Process of Photosynthesis in Timisoara*, Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19<sup>th</sup> International DAAAM Symposium, Vol.19, No1, "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation Intelligent Systems and Solutions" 22-25<sup>th</sup> October 2008, Trnava, Slovakia, published by DAAAM International Vienna, Vienna, 2008 ISSN 1726-9679, ISBN 978-3-901509-68-1, p.0807-0808, 2 pag., **ISI Proceesings**.
31. Dobren Flavius Andrei, Dumitrescu Constantin Dan, Istrat Nicolae, **Marinescu Sorin Alin**, *Influence of the Photosynthesis on the Pollution with Charbon Dyoxide in Timisoara*, Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19<sup>th</sup> International DAAAM Symposium, Vol.19, No1, "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation Intelligent Systems and Solutions" 22-25<sup>th</sup> October 2008, Trnava, Slovakia, published by DAAAM International Vienna, Vienna, 2008 ISSN 1726-9679, ISBN 978-3-901509-68-1, p.391-392, 2 pag., **ISI Proceesings**.
32. D. Perju, H. Pîrlea, G.A. Brusturean, D. Silaghi-Perju, **S. Marinescu**, *Modelling and simulation of NO<sub>2</sub> dispersion phenomenon in atmosphere by analitical-experimental methods*, Revista de Chimie, 59(10), 2008, p. 1112-1116, 5 pag., **CNCSIS cat. A**.
33. M. Bragea, D. Perju, G. Jinescu, L. Toro, **S. Marinescu**, C. Cristache, M. Poiană, *Research concerning improvement of uranium waste dumps through diminution <sup>226</sup>Ra and U<sup>nat</sup> radionuclides migration*, Revista de Chimie, 59(11), 2008, p. 1285-

- 1289, 5 pag., **CNCSIS cat. A.**
34. Pace Analytical, *Dioxin/Furan and Dioxin-Like Compounds Toxic Equivalency Factors (TEF)*, <http://www.pacelabs.com/assets/documents/dioxins-furans-literature/TEF.pdf>, 23.01.2007.
35. Rolf Johannes Engelhardt ș.a., *Was Sie schon immer über Umweltchemikalien wissen wollten*, Editura W. Kohlhammer, Stuttgart Berlin Köln Mainz, 1980
36. Parlamentul European și Consiliul Uniunii Europene, *Directiva nr. 76/2000/CE privind incinerarea deșeurilor*, 4 Decembrie 2000.
37. Perju Delia, Teodor Todincă, Radu Barna, *Automatizări și optimizări în industria chimică*, Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara, Facultatea de Tehnologie Chimică, 1990.
38. Guvernul României, *Hotărârea Guvernului nr. 128/2002 privind incinerarea deșeurilor*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 160 din 6 martie 2002.
39. Guvernul României, *Hotărâre nr. 268 din 31/03/2005*, Monitorul Oficial, Partea I nr. 332 din 20.04.2005.
40. Agenția Națională pentru Protecția Mediului, [www.anpm.ro](http://www.anpm.ro), 25.03.2008
41. Raul-Ciprian Moldovan, *Teză de doctorat*, Universitatea „Politehnica” Timișoara, 2009.
42. Centrul teritorial electronic de calcul S.A., *Baza de date Legis*, Publicație electronică, Piatra Neamț.
43. Monitorul Oficial R.A., Monitorul Oficial al României, partea I, toate aparițiile.
44. Pocinog Grigorie, *Modele și metode de simulare*, Editura Eurobit, Timișoara, 1998.
45. Cristea M., Agachi Ș., *Elemente de teoria sistemelor*, Editura Risoprint, Cluj-Napoca, 2002.
46. Budișan N., *Teoria sistemelor vol. I-III*, Litografia IPTVT, Timișoara, 1986-1987.
47. Savii G., Luchin M., *Modelare și simulare*, Editura Eurostampa, Timișoara, 2000.
48. *McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Tehnology*, Vol. 9, 7<sup>th</sup> Edition, Mc.Graw-Hill Inc., New York, St. Louis, Toronto, 1992.
49. Eykhoff P., *Identificarea sistemelor*, Editura Tehnică, București, 1977.
50. Eykhoff P., *Trends and progress in system identification*, Pergamon Press, Oxford-NY-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt, 1981.
51. Perju Delia, Todinca T., Șuta M., etc., *Automatizări și optimizări în industria chimică – îndrumător de laborator*, Editura Mirton, Timișoara, 1995.
52. Perju Delia, Todinca T., *Automatizarea proceselor chimice*, Vol. 2, Centrul de multiplicare al UPT, Timișoara, 1995.
53. Perju Delia, Șuta M., Todinca T., Rusnac Carmen, *Echipamente de automatizare pneumatice de joasă presiune. Aplicații*, Editura Politehnica, Timișoara, 2001.
54. Roger G. Franks, *Modelarea și simularea în ingineria chimică*, Editura Tehnică, București, 1979.
55. Landau I.D., *System Identification and Control Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
56. Landau I.D., *Identificarea și comanda sistemelor*, Editura Tehnică, București, 1997.
57. Luchin M., *Considerații asupra semnificației și conținutului conceptelor de model și modelare*, a XXVIII-a Sesiune de Comunicări științifice cu participare internațională, Academia Tehnică Militară, București, 1999.
58. Busenberg S., Forte B., Kuiken H.K., *Mathematical Modelling of Industrial Processes*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1992.

59. Barbu Gh., *Modele de simulare cu aplicabilitate în fiabilitate*, Editura Tehnică, București, 1992.
60. Curiac D., Filip I., *Teoria sistemelor și automatizări*, Centrul de multiplicare al Universității Politehnica, Timișoara, 1995.
61. Leția T.S., Aștilean A.M., *Sisteme cu evenimente discrete: modelare, analiză, sinteză și control*, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 1998.
62. Tertîșco M., Stoica P., *Identificarea și estimarea parametrilor sistemelor*, Editura Academiei RSR, București, 1980.
63. Bogza G., Muntean O., *Reactoare chimice*, Vol.I, Editura Tehnică, București, 2000.
64. Curievici I., *Optimizări în industria chimică*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980.
65. Luyben N., *Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers*, McGraw-Hill, 9<sup>th</sup> printing, 1986.
66. Muntean O., Woinaroschy A., Bogza G., *Aplicații la calculul reactoarelor chimice*, Editura tehnică, București, 1984.
67. Brusturean Gabriela-Alina, Peju Delia, Carre J., Dumitrel D., *The experimental determination of the hydrodynamic model of a pilot reactor for the study of soil vapour extraction*, Chem. Bull."Politehnica"Univ. Timișoara, 49(63), p.144, 2004.
68. Bequette B.W., *Process Dynamics. Modeling. Analysis and Simulation*, Prentice Hall PTR, New Jersey, 1998.
69. Perju Delia, Dalea Viorica, Șuta M., Rusnac Carmen, *Main Aspects Concerning Teaching of Environmental and Chemical Process Modeling at the Faculty of Industrial Chemistry and Environmental Engineering from the Politehnica University of Timișoara*, Chem. Bull. Politehnica Univ., Vol. 45 (59), Nr. 1, p. 147-150, 2000.
70. Ș. Agachi, *Automatizarea proceselor chimice*, Ed. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 1994.
71. Perju Delia, Dalea Viorica, Șuta M., Rusnac Carmen, *Chemical Processes Control and Optimization – Significant Aspects in Chemical Environmental Engineers Education*, Chem. Bull. Politehnica Univ., Vol. 45 (59), Nr. 1, p. 143-146, 2000.
72. Arpad Imre Lucaci, Paul Șerban Agachi, *Optimizarea proceselor din industria chimică*, Ed. Tehnică București, 2002.
73. Todinca T., Perju Delia, Șuta M., *Optimizări în industria chimică*, Vol. I, Centrul de multiplicare al Universității Tehnice Timișoara, 1993.
74. Jensen V.G., Jeffreys G.V., *Mathematical Methods in Chemical Engineering*, Academic Press Inc., London, 1977.
75. Luchin M., *Clasificarea și descrierea modelelor*, A XXVIII-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională, Academia Tehnică Militară, București, 1999.
76. Marinoiu V., Paraschiv N., *Automatizarea proceselor chimice*, Editura Tehnică, București, 1992.
77. Ungureanu Șt., *Conducerea automată a proceselor. Teorie și aplicații în ingineria chimică*, Volumul I, Editura Matrix Rom, București, 2005.
78. Brusturean Gabriela-Alina, Perju Delia, Carre J., Silaghi-Perju Dana, Dumitrel D., *Modelarea statistică a influenței timpului de staționare în sol a agenților poluanți compuși organici volatili asupra procesului de depoluare prin ventilare*, Revista de Chimie, 57(3), p. 312, 2006.
79. Perju Delia, Șuta M., Rusnac Carmen, Brusturean Gabriela-Alina, *Contribuții la studiul transferului de căldură utilizând sisteme analog-numerice*, Revista de Chimie, 54(3), p. 250, 2003.

80. Curievici I., *Automatizări în industria chimică*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1983.
81. Perju Delia, *Automatizarea proceselor tehnologice în industria chimică*, Ed. Lit. IPTVT, Timișoara, 1981.
82. Perju Delia, Șuta M., Dumitrel D., Tănăsie C., *The use of analogue-digital systems for measuring the specific parameters of pH control systems*, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference of PHD Students, University of Miskolc, Engineering Sciences 1, p. 359, 2003.
83. Perju Delia, Șuta M., Căta Adina, Brusturean Gabriela-Alina, *The Study of Analytical and Experimental Modelling of the Heat Transfer for a Heat Exchanger Pipe in Pipe Type*, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference of PHD Students, University of Miskolc, p. 413, 2003.
84. Nichici A., Cicală E., Mee R., *Prelucrarea datelor experimentale. Curs și aplicații*, Centrul de multiplicare, Timișoara, 1996.
85. Mihoc Gh., Urseanu V., Ursianu Emiliana, *Modele de analiză statistică*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1982.
86. Mihail R., *Introducere în strategia experimentării, cu aplicații din tehnologia chimică*, Editura Științifică și Pedagogică, București, 1976.
87. Glück A., *Metode matematice în industria chimică*, Editura Tehnică, București, 1971.
88. Resa I.D., Petrescu Șt., Precupaș M., Căra Al., *Probleme de statistică rezolvate pe calculator*, Editura Facla, Timișoara, 1984.
89. Panait T., *Teoria modelării proceselor termoenergetice*, Editura Evrika, Brăila, 1996.
90. Popescu I.A., Rădulescu D., *Modelarea sistemelor de producție*, Editura Tehnică, București, 1986.
91. Tănăsescu Nasta, *Modelarea matematică și simularea numerică a proceselor tehnologice din industria alimentară*, Editura Matrix Rom, București, 2000.
92. Perju Delia, Todinca T., *Automatizarea utilajului tehnologic în industria chimică Vol. I*, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara, 1983.
93. Perju Delia, Todinca T., *Automatizarea utilajului tehnologic în industria chimică Vol. II*, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara, 1986.
94. Titu M., Oprean C., Cicală E., *Statistica tehnică și controlul statistic*, Universitatea Lucian Blaga, Sibiu, 2001.
95. Ionescu V., *Teoria sistemelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985.
96. Zadeh L.A., Desoer C.A., *Linear system theory*, McGraw-Hill, New York, San Francisco, Toronto, 1963.
97. Smigelski O., *Ingineria sistemelor și optimizarea proceselor chimice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984.
98. Ș. Agachi, *Models and application programs of operational methods in identifying control systems*, Ed.M.I.Ch., 1972
99. Bucur C.M., Popeea C.A., Simion Gh., *Matematici speciale. Calcul numeric*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
100. Teodorescu N., Olaru V., *Ecuatii diferențiale și cu derivate parțiale*, Editura Tehnică, București, 1980.
101. Iliescu S.S., *Contribuții privind aplicațiile informatice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1993.
102. Iorga V., Jora B., Nicolescu C., Lopătaru I., Fătu I., *Programare numerică*, Editura Teora, București, 1996.

103. Jora B., Popeea C., Barbulea S., *Metode de calcul numeric în automatică – Sisteme liniare*, Editura Enciclopedică, București, 1996.
104. Ș. Agachi, *Determining mathematical models of technological processes in the chemical industry*, Ed.M.I.Ch.,1973.
105. Gorunescu F., Prodan A., *Modelare stohastică și simulare*, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 2001.
106. Todinca T., Geantă M., *Modelarea și simularea proceselor chimice. Aplicații în Matlab*, Editura Politehnica, Timișoara, 1999, ISBN 973-9389-32-5.
107. Marinoiu V., Strățulă C., Petcu A., Pătrășcioiu C., Marinescu C., *Metode numerice aplicate în ingineria chimică*, Editura Tehnică, București, 1986.
108. Kennedy H.P., Gentle J.E., *Statistical Computing*, Marcel Dekker Inc., New York&Basel, 1980.
109. Borse G.J., *Numerical Methods with MATLAB*, PWS Publishing Company, Boston, 1997.
110. Kilyeni S., *Metode numerice. Algoritmi. Programe de calcul. Aplicații în energetică*, Ed. Orizonturi Universitare, ediția a 3-a, Timișoara, 2004.
111. Anthony J. Wheeler, Ahmad R. Ganji, *Introduction to Engineering Experimentation*, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
112. Vasile-Mircea Cristea, V. Marinoiu, Ș. P. Agachi, *Reglarea predictivă după model a instalației de cracare catalitică*, Ed. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2003.
113. Aloman A., *Statistică și probabilitate în experimentul științific*, Editura Matrix Rom, București, 1998, ISBN 973-9390-12-9.
114. Davidescu Arjana, *Metrologie generală*, Editura Politehnica, Timișoara, 2001.
115. Dumitrescu S., Tertîșco M., Marinoiu V., Sprînceană N., Popescu D., Popeea C., Cîrtoaje V., Paraschiv N., Epure M., *Aparate de măsurat și automatizări în petrol și petrochimie*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
116. R.C. Moldovan, D. Perju, M. Șuta, M. Calisevici, **S. Marinescu**, *Modelling and simulation of the electrothermal gas micro-flowmeter static behaviour*, Chemical Bulletin of Politehnica University of Timișoara, Series of Chemistry and Environmental Engineering, Vol.52(66), 1-2, 2007, p. 21-26, ISSN 1224-6018, **CNCSIS cat. B+**.
117. Neagu C., Ioniță C., *Rețele neuronale. Teorie și aplicații în modelarea și simularea proceselor și sistemelor de producție*, Editura Matrix Rom, București, 2004.
118. Perju Delia, T. Todinca, *Automatizări și utilizarea calculatorului în industria chimică*, Lit. IPTVT, Timișoara, 1988.
119. Perju Delia, Geantă M., Șuta M., Rusnac Carmen, *Automatizarea proceselor chimice, Vol. I*, Editura Mirton, Timișoara, 1998.
120. Dulău M., Oltean S., *Modelare și simulare. Lucrări de laborator*, Universitatea "Petru Maior", Târgu Mureș, 2003.
121. Rațiu Suciuc C, *Modelarea și simularea proceselor economice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1995.
122. Cristinel Răcoceanu, Mihai Cruțeru, Valentin Palită, Bogdan Diaconu, *Posibilități de reducere a emisiilor de NOx în centralele termoelectrice*, Zilele facultății de inginerie „Constantin Brâncuși”, a 8-a conferință internațională, Târgu Jiu, 2002.
123. L. Oniciu, E. Schmidt, A. Soo, Ș. Agachi, V. Topan, *Conversia electrochimică a energiei*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București,1976.
124. Bogdan Diaconu, Mihai Cuceru, Valentin Paiță, Cristinel Răcoceanu, *Metodă avansată de desulfurare a gazelor de ardere*, Zilele facultății de inginerie „CONSTANTIN BRÂNCUȘI”, a 8-a conferință internațională, Târgu Jiu, 2002.
125. Pure Air on the Lake, *Clean Coal Technology Program, Advanced Flue Gas*



- Desulfurization Process (AFGD) Demonstration Project*, Final Technical Report, United States Department Of Energy Cooperative agreement no. DE-FC22-90PC8966, 1996.
126. United States Department Of Energy, Clean Coal Technology Program, *Final Design Report Volume I – Public Design Reports for Pure Air's – Advanced Flue Gas Desulfurization Process*, DE-FC22-90PC8966, Clean Coal Demonstration Project at Northern Indiana Public service Company Bailly Power Generating Station Chesterton, Indiana, 1990.
127. AGRICHEMA Materialflußtechnik GmbH & Co.KG, *Eine gezielte Sache mit System*, <http://www.agrichema.de/produkt.htm>, 12.04.2005.
128. AGRICHEMA Materialflußtechnik GmbH & Co.KG, *AGRICHEMA-News*, <http://www.agrichema.de/news/news-01.htm> 12.04.2005.
129. Babcock & Wilcox Vølund A/S, *About the (BS) Mark 6 water-cooled grate*, [http://www.volund.dk/technologies\\_products/waste\\_to\\_energy\\_systems/combustion\\_grates/w\\_grate\\_bs\\_mark\\_6\\_water\\_cooled/about\\_the\\_grate](http://www.volund.dk/technologies_products/waste_to_energy_systems/combustion_grates/w_grate_bs_mark_6_water_cooled/about_the_grate), 02.04.2005.
130. Raul Ciprian Moldovan, Marcel Şuta, **Sorin Marinescu**, Delia Perju, *Mathematical Modelling of the Transfer Behaviour of the Thermal Boundary Layer Flowmeter Operating with Constant Heating Power*, Ovidius University Annals of Chemistry, Vol. XVII, nr. 1, Seria Chimie, Ovidius University Press, p. 174-178, Constanţa, 2006, ISSN 1223-7221, **CNCSIS cat. B.**
131. R.C. Moldovan, Delia Perju, M. Glevitzky, **S. Marinescu**, *Mathematical Modelling of the Static Behaviour of the Thermal Boundary Layer Flowmeter Operating with Variable Thermal Flow*, Buletinul Universităţii Petrol-Gaze din Ploieşti, Vol. LVIII, Seria Tehnică, Nr. 1, Editura Universităţii Petrol-Gaze Ploieşti, p. 75-78, 2006, ISSN 1224-8945, **CNCSIS cat. C.**
132. Raul Moldovan, Marcel Şuta, Carmen Rusnac, **Sorin Marinescu**, Delia Perju, *Elaboration of Mathematical Models for the Transfer Behaviour of a Thermal Boundary Layer Flowmeter Operating with Constant Disequilibrium Voltage*, Chemical Bulletin of Politehnica University of Timişoara, Series of Chemistry and Environmental Engineering, Volume 51(65), p. 43-47, 2006, ISSN 1224-6018, **CNCSIS cat. B.**
133. R.C. Moldovan, D. Perju, M. Şuta, M. N. Calisevici, **S. Marinescu**, *Modelarea și simularea comportării statice a microdebitmetrului electrotermic*, Zilele Academice Timişene, ediția a X-a, Timişoara, România, 24-25 mai 2007.
134. M.N. Calisevici, D. Perju, M. Şuta, R.C. Moldovan, **S. Marinescu**, *Procedeele termodensimetrice pentru măsurarea concentrațiilor amestecurilor de lichide. I. Principii și baze teoretice*, Zilele Academice Timişene, ediția a X-a, Timişoara, România, 24-25 mai 2007.
135. **Sorin Marinescu**, Delia Perju, Gabriela Alina Brusturean, Mirela Calisevici, Adela Manea, Flavius Dobren, *Continuous Incinerator Emissions Monitoring Systems; Waste Processing, Recycling Volume*, p.87-91, MicroCAD 2008, International Scientific Conference, Miskolc, Ed. ME Sokszorosito Uzeme, Hungary, 2008, ISBN 978 963 661 812 4 0, ISSN 978 963 661 813 1.
136. O. Bjorøy, I. Linnerud, V. Avetisov and K. H. Haugholt, *Simultaneous in-situ measurement of O<sub>2</sub>, HCl, HF, CO and dust in gas from a waste incinerator using diode laser spectroscopy*, [http://www.neo.no/news/neo\\_freiburg\\_1998.html](http://www.neo.no/news/neo_freiburg_1998.html), 5<sup>th</sup> International Symposium on Gas Analysis by tunable Diode Lasers, Freiburg, Germany, 1998.

137. HORIBA Ltd., ENDA-600 Series Stack Gas Analyzer System, <http://www.horiba.com/process-environmental/products/combustion/cems-stack-gasemission/details/enda-600-series-stack-gas-analyzer-system-1538/>, 12.10.2007.
138. SK-Elektronik GmbH, Mess – M&A Analysentechnik GmbH, *Thermo-FID ES*, [http://sk-elektronik.biz/?page=fid\\_es&lang=en&menu=pr\\_maprodukte](http://sk-elektronik.biz/?page=fid_es&lang=en&menu=pr_maprodukte), 21.09.2009.
139. JCT Analysentechnik GmbH, *Hydrocarbon Analyser Thermo-FID ES*, [http://www.jct.at/v2/pdf/6/PDS\\_E\\_FID-ES.pdf](http://www.jct.at/v2/pdf/6/PDS_E_FID-ES.pdf), 25.09.2009.
140. Durag Group, *Product Overview*, [http://www.durag.de/de/docs/pdf/bro\\_products\\_em\\_uk.pdf](http://www.durag.de/de/docs/pdf/bro_products_em_uk.pdf), 01.03.2009
141. Durag Group, *D-RX 250 expanded specifications*, <http://www.durag.com/html/ems/250specs.html>, 20.09.2008.
142. F. Dobren, C. Rusnac, D. Perju, **S. Marinescu**, *Simularea și modelarea proceselor chimice de reducere a emisiilor de bioxid de carbon. I. Principii și baze teoretice*, Zilele Academice Timișene, ediția a X-a, Timișoara, România, 24-25 mai 2007.
143. Harieta Hermina Pîrlea, *Teză de doctorat*, Universitatea "Politehnica" Timișoara, 2009.