





# Simularea numerică și validarea la scară pilot a procesului de ardere a deșeurilor de mase plastice în amestec cu nămol industrial

TUDOR PRISECARU\*, AUGUSTIN SEMENESCU, MĂLINA PRISECARU, LUCIAN MIHAESCU

Universitatea Politehnică din București, Splaiul Independenței, Nr. 313, 060042, București, România

*This paper presents a preliminary research activity to approach a new industrial technology to incinerate humid solid waste coming from a standard paper plant, 50% mixed with plastic waste resulted from prior recycling activities. The main part of this research activity has been focused upon the burning process technology of the industrial waste by CFD analysis in order to reduce the variation range of operational parameters' values and to estimate the possibilities of dangerous emissions to occur. Working upon an existent 1 MWt solid fuel pilot furnace, a geometrical model has been constructed, meshed and then solved to produce information concerning the burning process and its dynamics. A chemical mechanism has been adopted from literature, to predict the kinetic chemical process inside the flame. The principal contributions of this research is to create a thermal treatment for the primary solid waste, capable to be realized inside an industrial installation at a competitive cost, to produce energy at the same time with tamping the waste at a high degree, to create the possibilities for an easy metal pieces separation and not to produce pollutant emissions.*

*Keywords: industrial waste, plastic waste, incineration, CFD analysis, waste co-combustion*

Scopul cercetării a constat în determinarea performanțelor procesului de ardere în vederea valorificării energetice a deșeurilor industriale provenite de pe o platformă industrială care reciclează deșeurile și produce hârtie, compuse din nămol de la producția de cartoane, amestecat cu deșeurile de material plastic, provenite de la reciclarea materiei prime [1]. S-a urmărit eficacitatea procedeeului de alimentare cu deșeurile industriale, viteza de ardere, dimensiunea caracteristică a flăcării amestecului de deșeu pentru diverse proporții masice de mixare, eficacitatea arderii și nivelul emisiilor poluante [2].

Puterea calorică pentru deșeurile de nămol este de 5700 kJ/kg, iar pentru deșeurile din plastic puterea calorică este 12780 kJ/kg, rezultând pentru amestecul utilizat o valoare de 9240 kJ/kg, valori rezultate în urma analizelor în laboratoare autorizate.

Datorită caracteristicilor cu totul speciale ale acestui combustibil [3], precum și pentru că există premiza apariției unor emisii nocive foarte periculoase, pentru a reduce volumul de experimentări costisitoare, s-a luat decizia ca procesul de incinerare să fie simulat în prealabil cu ajutorul codului FLUENT 6.1.

Modelul fizico-matematic construit pentru această etapă s-a bazat în primul rând pe instalația pilot existentă în cadrul laboratorului catedrei de Echipament Termomecanic Clasic și Nuclear din Universitatea Politehnică din București.

## Partea experimentală

Instalația experimentală pe care s-au efectuat determinările experimentale cu privire la arderea amestecului de deșeurile de materiale plastice și deșeurile de carton, este alcătuită din mai multe componente principale (fig. 1):

- instalația de pregătire a amestecului;
- instalația de alimentare cu combustibil;
- instalația de ardere a combustibilului;
- instalația de evacuare a zgurii și cenușii;
- instalația de epurare a gazelor de ardere evacuate.

Combustibilul solid este depozitat diferențiat în trei buncăre (1) de unde, prin intermediul benzii transportoare (2) este trecut - dacă este nevoie la concasor (3) - urmând ca apoi să fie urcat prin intermediul elevatorului (4) în buncărul de alimentare (5).

Datorită construcției speciale a focarului (12) flacăra se dezvoltă atât pe orizontală cât și pe verticală. Focarul este echipat cu două sisteme de ardere: pulverizat (15) și pe grătar (8). Focarul este captat cu material refractar având pereții răciți cu apă, de formă dreptunghiulară cu secțiunea de 2400 . 1200 mm, iar înălțimea de 7400 mm.

La finele focarului, în drumul de gaze descendent este plasat preîncălzitorul de aer (cu o suprafață de 25 m<sup>2</sup>), de tip tubular (17), în care are loc încălzirea aerului de ardere de la temperatura mediului ambiant la circa 200÷250 °C, pe seama căldurii preluate de la gazele de ardere. Gazele de ardere evacuate din cazan la o temperatură de circa 150÷200 °C sunt trecute printr-o baterie de trei cicloane separatoare (10) legate în paralel, pentru desprăfuire, după care, prin intermediul ventilatorului de gaze sunt evacuate la co<sup>o</sup> (16).

Admisia aerului de ardere în instalație este realizată de către ventilatorul de aer (9), din evacuarea acestuia existând patru trasee posibile:

-un prim traseu este cel al aerului preîncălzit, care este compus din: ventilator de aer - preîncălzitor de aer tubular-traseu de aer primar/traseu de aer secundar;

-al doilea traseu injectează aer la intrarea gazelor fierbinți în turnul de preuscare și are rol de reglare a temperaturii amestecului combustibil la ieșirea din separatorul morii;

-al treilea traseu injectează aer rece înainte de intrarea gazelor arse în preîncălzitorul de aer tubular, având rolul de a asigura o temperatură în admisie de maxim 600 °C pentru gazele arse, pentru protejarea metalului țevilor preîncălzitorului;

-al patrulea traseu injectează aer rece înainte de cicloanele separatoare și are rolul de a asigura o temperatură a gazelor arse la intrarea în ventilatorul de

\* email: tpris@caz.mecen.pub.ro,

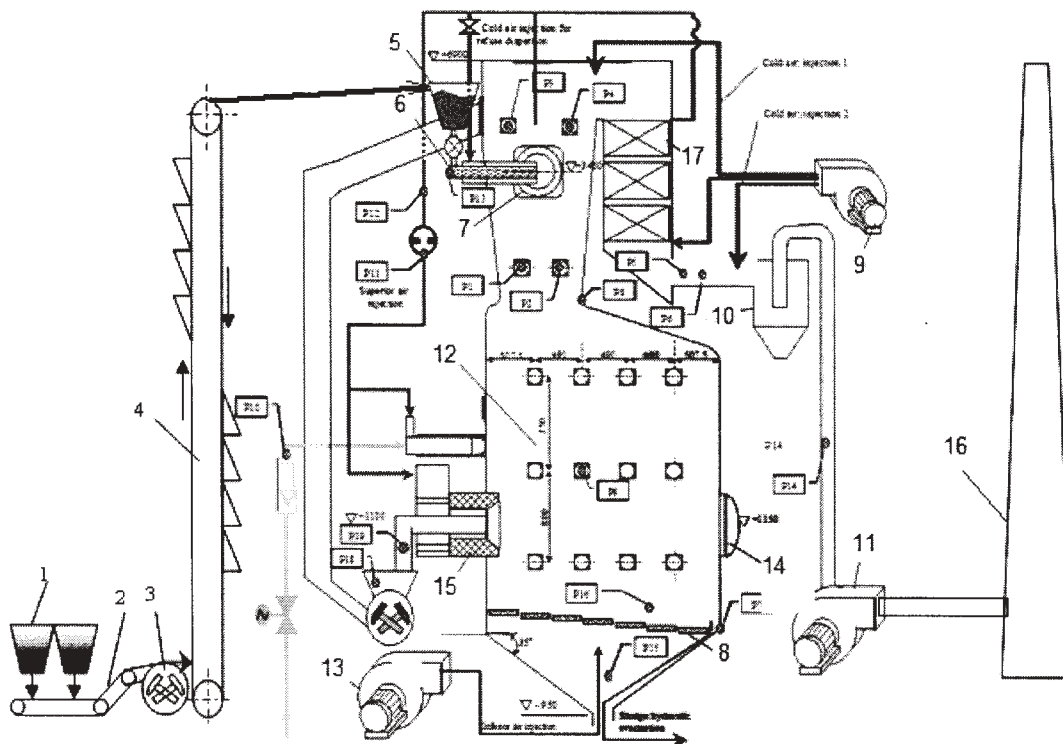


Fig. 1 Schema tehnologică a focarului pilot pentru combustibil solid utilizat pentru testarea tehnologiei de ardere a deeurilor de mase plastice și nămol de la producerea hârtiei

gaze de maxim 120 °C, în vederea protejării acestuia la solicitări termice [4].

Evacuarea zgurii din pâlnia focarului se efectuează mecanic cu ajutorul unui sistem cu motor electric și melc transportor.

În vatra focarului a fost dispus un grătar fix, pentru incinerarea deeurilor de mase plastice amestecate cu nămol de la fabricarea hârtiei (8). Tot pentru incinerarea acestui amestec a fost instalat și alimentatorul suplimentar (6) care introduce combustibilul prin gura de vizitare (7). În timpul căderii combustibilul se deshidratează și se

încălzește semnificativ în contracurent de la gazele de ardere. Pe la partea inferioară a pâlniei focarului este poziționat un ventilator capabil să însufle aer necesar arderii pe sub grătarul (8). Toate gazele de ardere sunt extrase cu ajutorul exhaustorului (16) și trimise spre co-ul de evacuare.

Instalația permite prelevarea de diverse probe în toate cele 16 puncte menționate cu indicativul Pxx.

Principalele caracteristici ale instalației de combustibil solid pulverizat sunt sintetizate în tabelul 1.

Caracteristica	Valoarea	Unitatea de măsură
Debit de combustibil solid	200	kg/h
Putere calorifică inferioară minimă a combustibilului	1150	kJ/kg
Debit de combustibil gazos de aport	38	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h
Presiune a gazului natural la arzător	500	mmH <sub>2</sub> O
Exces minim de aer în focar	1,1	-
Exces de aer înainte de preîncălzitorul de aer	max. 2,2*	-
Exces de aer înainte de ventilatorul de gaze	max. 5*	-
Temperatura maximă a gazelor de ardere la finele focarului	max. 950	°C
Temperatura maximă a gazelor de ardere înainte de preîncălzitorul de aer	550	°C
Temperatura gazelor de ardere după preîncălzitorul de aer	max. 280	°C
Temperatura de preîncălzire a aerului	250÷400	°C
Temperatura apei de răcire la intrare (la baza focarului)	15÷20	°C
Temperatura apei de răcire la ieșirea din țevile de răcire (partea superioară a focarului)	35÷45	°C
Ventilatorul de gaze: - debit maxim - temperatură	3000 20	m <sup>3</sup> /h °C
Ventilatorul de aer: - debit maxim - temperatură maximă	6000 300	m <sup>3</sup> /h °C

**Tabelul 1**  
CARACTERISTICILE FOCARULUI PILOT  
UTILIZAT

**Tabelul 2**  
ANALIZA COMBUSTIBILULUI UTILIZAT

Analiza imediată	Proba 1	Proba 2	Proba 3
Carbon fix	5,22%	5,47 %	5,59 %
Umiditate	36,12 %	36,34 %	36,5 %
Cenușă	6,13 %	6,34 %	6,6 %
Materii volatile	52,53 %	51,85 %	56,9 %

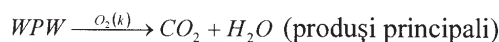
**Tabelul 3**  
CONSTANTELE DE REACȚIE UTILIZATE

Componentele	n	m	E <sub>a</sub>	ln A <sub>p</sub>	Reference
			kJ mol <sup>-1</sup>	min <sup>-1</sup>	
Nămol	1.0	1.6	114.6	0.39	[Ni-Bin Chang, 2001]
PP	1.9	1.4	77.8	0,45	[Ni-Bin Chang, 2001]
PE	1.2	1.8	112.1	0,54	[Ni-Bin Chang, 2001]
PVC	1.1	1.9	102.9	0,41	[Ni-Bin Chang, 2001]

### Modelul fizico-matematic utilizat

Elementul esențial al modelării procesului îl constituie sistemul de reacții chimice care guvernează procesul de incinerare. Ansamblul acestora constituie o problemă foarte importantă, mai ales în faza de simplificare - obligatorie dacă linem seama de capacitățile oarecum limitate de calcul existente [2].

Pentru simularea și controlul proceselor de incinerare s-a adoptat următorul mecanism de reacție [5] în care s-au utilizat notațiile originale:



$$\frac{dX}{dt} = A_p \exp(-E_a / RT) f(X) g[O_2]$$

$$\ln(dX / dt) = \ln A_p + n(1 - X)(-E_a / RT) + m \ln[O_2]$$

$$k = A_p \exp(-E_a / RT)$$

$$f(X) = (1 - X)^n, \quad g[O_2] = [O_2]^m$$

unde:

WPW este amestecul complex de plastic (50%) și de nămol (50%), iar  $t$  este timpul de reacție pe grătar (min);

$A_p$  - factorul preexponențial (min<sup>-1</sup>);

$E_a$  - energia de activare (kJ mol<sup>-1</sup>);

$k$  - constanta de reacție;

$T$  - temperatura de reacție (K);

$R$  - constanta universală a gazelor (8.314 kJ kg mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>);

$W$  - masa stratului la momentul  $t$  (kg);

$X$  - fracția masei reziduale;

$g[O_2]$  - ordinul  $m$  pentru reacția de oxidare (mol);

$f(X)$  - ordinul de reacție  $n$  pentru materialul inert;

Analiza tehnică imediată a amestecului combustibil utilizat este dată în tabelul 2 [6].

Conținutul WPW utilizat în simulare a fost: nămol (50%), PP (17%), PE (23%), PVC (10%) iar constantele de reacție utilizate pentru simulare sunt date în tabelul 3.

Modelul geometric utilizat pentru focarul pilot a fost cel prezentat în figura 2.

După cum se observă din figură, grătarul cu combustibil solid depus se evidențiază la partea inferioară, iar arzătorul principal a fost redus la un simplu ansamblu de suprafețe care pot fi utilizate drept zone de injecție aer sau alți aditivi.

Stratul de combustibil a fost estimat la o grosime de circa 120 mm pentru a realiza încărcarea termică admisibilă a barelor de grătar. În baza determinărilor de laborator care au precedat etapa de simulare numerică s-au determinat caracteristicile hidrodinamice [6] ale stratului de combustibil, în urma aezării normale a acestuia [7]:

-porozitatea stratului a fost considerată ca fiind  $\varepsilon = 0,48$ ;

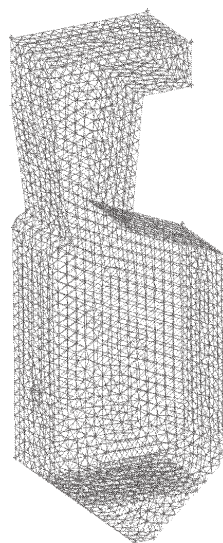


Fig.2. Modelul focar utilizat

-rezistența vâscoasă la înaintare a fost determinată ca fiind  $2,7 \cdot 10^5$  (m<sup>2</sup>);

-rezistența inerțială a stratului a fost determinată ca fiind  $5,48 \cdot 10^2$  (m<sup>1</sup>);

În codul FLUENT 6.1 a fost utilizat un model de strat poros care conține și eliberează la temperatură materii volatile și carbon fix în funcție de tortuozitatea stratului, precum și de suprafața sa specifică (determinată ca fiind de circa 200 (m<sup>1</sup>), în funcție de înălțimea de aruncare în incinta focarului [8].

În cadrul simulării procesului de ardere [9] s-a utilizat un exces de aer foarte redus, cu o valoare de circa 1,1, dat fiind puterea calorică scăzută a materialului, coroborat cu necesarul realizării unor temperaturi ridicate pentru distrugerea eventualilor compuși nocivi. Aerul a fost introdus în principal pe la partea inferioară a pâlniei - cu ajutorul ventilatorului 13 (fig.1) - iar prin arzătorul clasic a fost introdus aer de completare.

Validarea simulărilor numerice [10] s-a preconizat a se efectua pe baza distribuției de temperaturi în focar, utilizându-se un pirometru în infraroșu cu două lungimi de undă, de tip OMEGA OS3753 și pe baza compoziției de gaze de ardere de la fine focarului determinată cu un analizor de gaze de tip HORIBA PG 250.

În urma realizării modelului fizico-matematic au fost extrase următoarele imagini obținute pe baza postprocesării rezultatelor oferite de codul FLUENT 6.1.

Distribuția de temperatură în planul median vertical al focarului este cea prezentată în figura 3.

După cum se observă în figura 3, stratul de combustibil arde în special pe grătar, cu o emisivitate redusă, din cauza



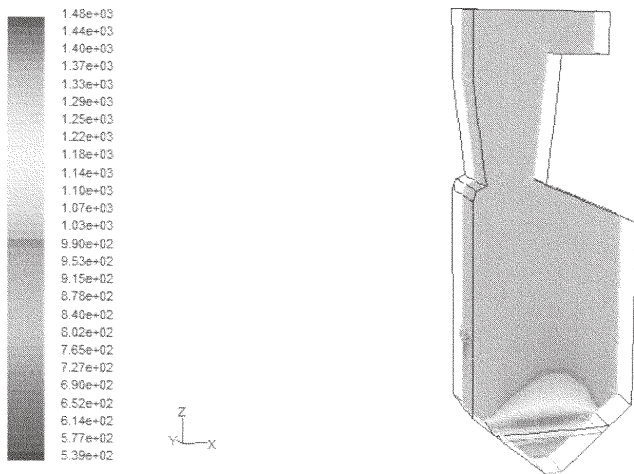


Fig.3. Distribuția de temperaturi în planul median vertical al focarului

nămolului, iar valorile de temperatură sunt situate în jurul a 1200 °C; datorită faptului că debitul de aer insuflat pe la partea inferioară a fost variat până s-a realizat această valoare. Efectul realizat de amotarea focarului este vizibil datorită valorii ridicate a temperaturii gazelor de ardere până aproape de ieșirea din focar.

Distribuția de monoxid de carbon în spațiul focarului este ăi ea prezentată în figura 4.

După cum se observă, monoxidul de carbon este consumat aproape în totalitate până la finele focarului, dar se remarcă limitele reduse în care debitul de aer insuflat prin vatră poate fi reglat, datorită tendinței acestui gaz de a coborî mai jos de strat, în cazul unor viteze mici de insuflare.

Pentru predicția formării eventualilor compuși poluanți s-a evidențiat distribuția de atomi de clor și de alți compuși ai acestuia în figurile 5 și 6.

După cum rezultă din imaginile 5 și 6, concentrația acestora în gazele de ardere este foarte scăzută în zona de ardere, datorită timpului de rezidență ridicat în volumul stratului de combustibil care arde. Realizarea unor viteze mai mari la aerul de insuflare ar conduce prin urmare la mărirea concentrațiilor acestor compuși și prin urmare la trecerea lor în atmosferă.

### Tehnologia de incinerare

Pentru inițierea procesului de aprindere a amestecului combustibil s-a făcut simțită necesitatea utilizării gazului natural, în vederea atingerii unui regim de temperaturi cât mai ridicat în focar; acest regim urmând să focalizeze o cantitate importantă de căldură către stratul de combustibil

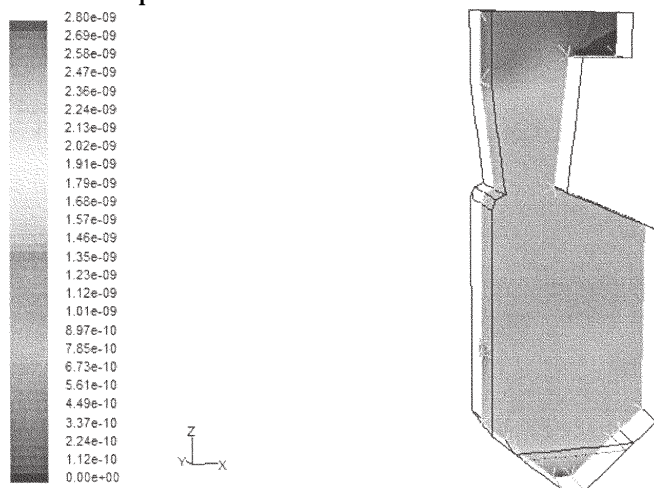


Fig.5. Distribuția atomilor liberi de clor (participații masice)

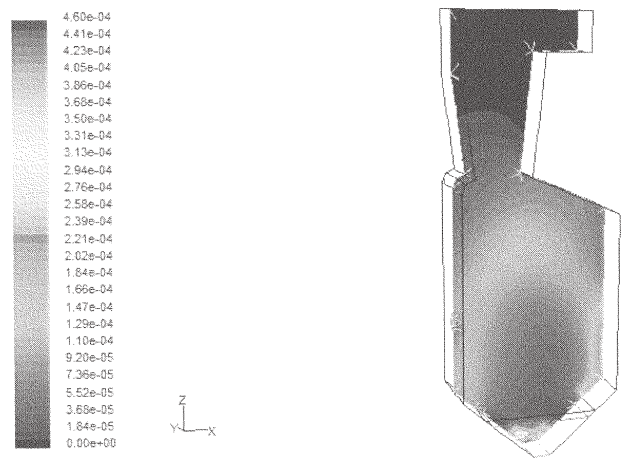


Fig.4. Distribuția de monoxid de carbon în planul median vertical al focarului

de pe grătar uorând în acest fel definitivarea proceselor premergătoare celui de aprindere [11]. Umiditatea foarte ridicată a combustibilului primar, atât cea a nămolului provenit din fabricarea cartoanelor, cât ăi a maselor plastice, fac absolut necesară profilarea bolților camerei de ardere într-un mod cât mai judicios, care să permită o reflexie foarte bună de căldură, în special spre zona de alimentare a suprafeței grătarului. În acest mod prin montarea unui strat suplimentar de cărămizi refractare de grosimi diferite pe bolta focarului s-a realizat un unghi relativ mediu de 22° 40' între planele grătarului și respectiv plafonul posterior al focarului, aă după cum se observă și din figura 1.

În plus, toți pereții interiori ai focarului au fost acoperiți cu un strat de cărămidă refractară, deăi construcția instalației este în sistem perete membrană.

O altă problemă tehnică ce a trebuit rezolvată pe baza rezultatelor obținute în faza de simulare numerică a fost aceea a repartizării debitului necesar de aer între ramura de aducțiune de la baza grătarului și cea legată de arzătorul principal (15) pentru asigurarea debitului de aer necesar definitivării procesului de ardere (consumării în principal a monoxidului de carbon) [12]. S-au ales două variante pentru soluționarea acestei probleme: cazul 1 - cu un debit de 60 % pe ramura insuflării de sub grătar și cazul 2 - cu un debit de 40% pe ramura insuflării pe sub grătar.

În ceea ce privește regimul optim de temperaturi pentru aerul de insuflare acesta a fost ales astfel încât să nu complice foarte mult soluția tehnică, dar în același timp să realizeze și un randament ridicat: valoarea considerată ca fiind cea mai lesne de realizat a fost cea de 160 °C, care

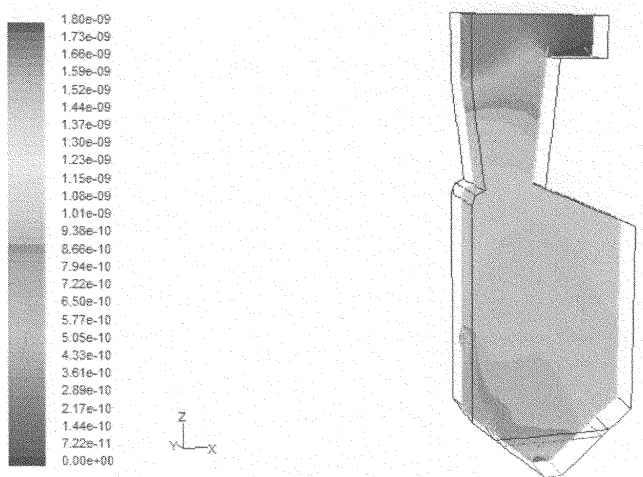


Fig.6. Distribuția de CHCl3 în participații masice

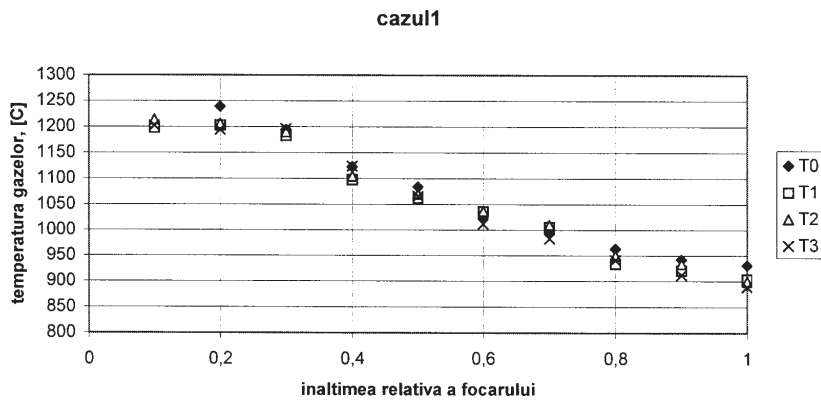


Fig.7. Valorile calculate și măsurate ale temperaturii gazelor în focar; index 0-valori calculate

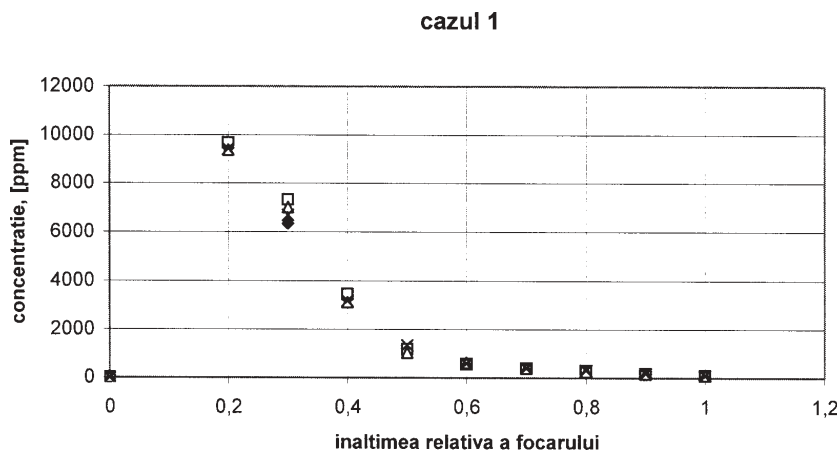


Fig.8. Distribuția de concentrații de monoxid de carbon pe înălțimea focarului; index 0-valori calculate

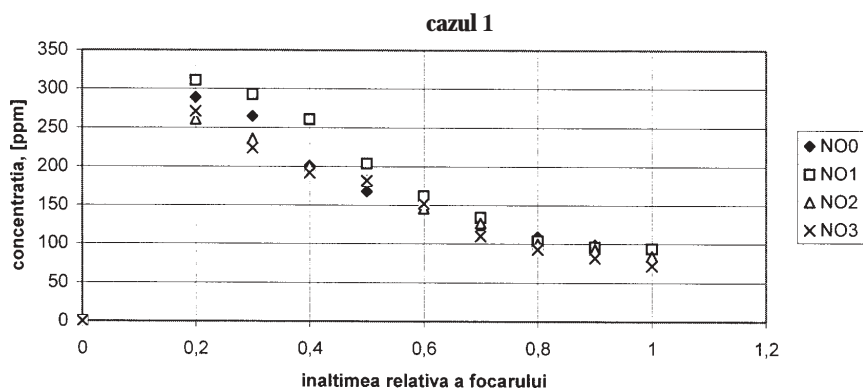


Fig.9. Distribuția de concentrații de monoxid de azot pe înălțimea focarului; index 0-valori calculate

se poate realiza prin utilizarea unui schimbător de căldură gaze de ardere - aer într-o singură trecere, cu complicații constructive minime.

#### Validarea rezultatelor obținute la incinerarea deșeurilor industriale

După profilarea corespunzătoare a bolților focarului, precum și după operația de amotare completă a pereților acestuia, s-a încălzit focarul cu ajutorul unui arzător de gaz natural până la atingerea temperaturii medii de 750°C, după care a fost introdus combustibilul preparat cu ajutorul unui raclat realizat special pentru acest experiment.

Pentru situația definită mai sus drept cazul 1, sunt prezentate în continuare rezultatele obținute.

Prin măsurarea temperaturilor în punctele precizate anterior a rezultat următoarea evoluție pe înălțimea focarului (fig.7).

Se observă că maximum de temperatură se atinge imediat deasupra stratului de combustibil de pe grătar, în timp ce întregul set de valori determinat în trei sesiuni diferite de experimentări este destul de compact (setul 0 de valori este cel determinat pe calea simulării numerice). Trebuie menționat aici însă și faptul că valorile de temperatură obținute sunt la limita inferioară a desfășurării

normale a procesului de ardere, generând o mare durată de timp pentru consumul complet de combustibil dintr-o arjă, ceea ce conduce în mod inerent la un grad de utilizare destul de scăzut a potențialului termic al resursei.

Pentru realizarea unei imagini complete asupra fenomenului care are loc în incinta focarului a fost analizată și distribuția de concentrații de monoxid de carbon prin metode nedispersive în infraroșu (NDIR).

Rezultatele experimentale din cele trei sesiuni diferite sunt prezentate alături de rezultatul predicției pe baza simulărilor numerice amintite mai sus în figura 8.

După cum se observă, concentrația de monoxid de carbon scade foarte mult către sfârșitul focarului, dar prezintă în imediata vecinătate a grătarului valori importante pentru acest component.

În ceea ce privește formarea oxizilor de azot, aceștia au fost asimilați cu monoxidul de azot atât în procesul de simulare numerică cât și în cel de determinare experimentală, după cum sunt prezentate valorile în graficul din figura 9.

În ceea ce privește cazul al doilea definit în cadrul capitolului anterior, care a presupus o insuflare cu 60% din debitul de aer necesar arderii pe deasupra grătarului și doar 40% din aer pe sub grătar rezultatele înregistrate sunt prezentate mai jos; acest caz a presupus că cea mai mare

cazul 2

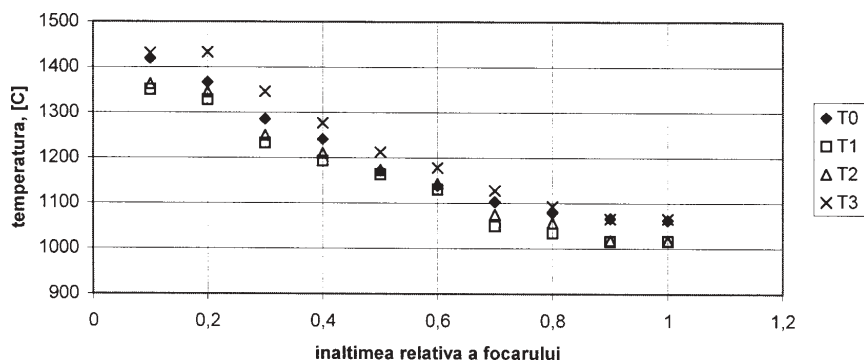


Fig.10. Distribuția de temperaturi pe înălțimea focarului; index 0-valori calculate

cazul 2

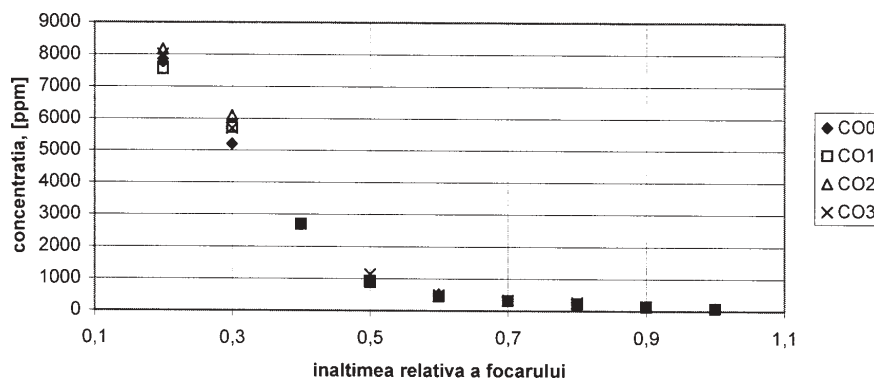


Fig.11. Distribuția de concentrații de monoxid de carbon pe înălțimea focarului. index 0-valori calculate

cazul2

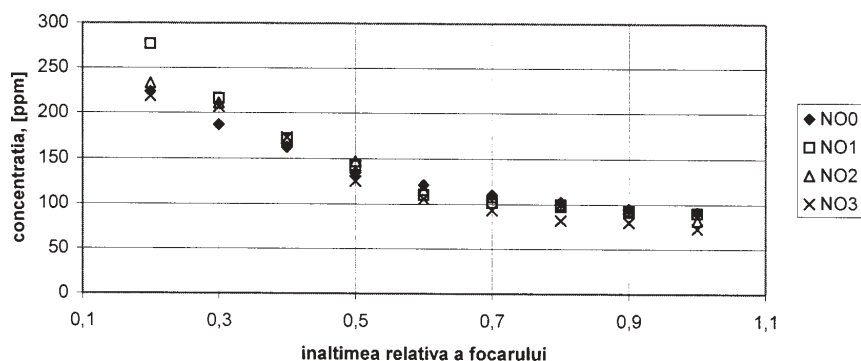


Fig.12. Distribuția de concentrații de monoxid de azot pe înălțimea focarului. index 0-valori calculate

parte a materiilor volatile se degajă foarte rapid și prin urmare vor arde deasupra grătarului având o nevoie sporită de aer în acea zonă.

Distribuția de temperaturi pe înălțimea focarului, calculată și determinată, este prezentată în figura 10. Din analiza acestui grafic se constată o creștere substanțială a valorilor în raport cu primul caz, conducând la un proces de ardere mai stabil.

Distribuția de concentrații masice de monoxid de carbon pe înălțimea focarului, este prezentată în figura 11. Din acest grafic se constată prezența unor valori mai reduse de concentrație decât în primul caz.

Distribuția de concentrații de monoxid de azot este prezentată în graficul din figura 12, de unde se pot observa și aici valori mai reduse decât în primul caz.

### Concluzii

Experimentările au evidențiat că se pot valorifica prin ardere pe grătar, ambele tipuri de deșeurile industriale, chiar și în mixtură, prin susținerea arderii cu combustibil gazos.

Se impune luarea în considerație a unei instalații de ardere cu boltă de aprindere și grătar mobil.

Viteza de ardere impune un timp optim de staționare pe grătar, după cum urmează:

- deșeu tip nămol: 500 s, pentru o granulație reprezentată pentru o particulă cu diametrul mediu de 45 mm;
- deșeu de tip plastic: 350 s pentru mărimea foliilor experimentate;

Acest timp de staționare corespunde cazanelor cu grătar cu împingere răsturnată sau directă pentru o durată a cursei între 75-100 s și bară.

Orice schimbare de granulație va impune o recalculare a timpului de staționare pe grătar.

Resturile arderii pe grătar (zgură evacuată din instalație la arderea unei anumite cantități de deșeu) corespund masei minerale a deșeurilor și anume 6-7% pentru deșeurile de tip plastic și 25-28% pentru deșeurile de tip nămol.

În ceea ce privește efectul aplicării procesului de incinerare propriuzisă se pot remarca următoarele aspecte: deșeurile incinerate și-au redus volumul inițial cu circa 55%, ceea ce permite o abordare mult mai economică a activităților de depozitare a acestora;

aportul caloric pe care îl poate aduce utilizarea la scară industrială a acestei tehnologii este destul de redus, dar



poate constitui un avantaj economic în ceea ce privește reducerea costurilor aferente încălzirii halelor industriale pe timp de iarnă;

emisiile poluante legate de prezența monoxidului de carbon și a monoxidului de azot sunt foarte reduse și se pot încadra cu ușurință în normele existente de protecție a mediului;

trebuie efectuate în continuare cercetări experimentale legate de determinarea apariției emisiilor poluante legate de dioxine, furani din gazele de ardere, precum și metale grele în cenușa rezultată pentru depozitare;

simularea numerică a procesului de incinerare a deșeurilor industriale a oferit informații utile necesare reducerii substanțiale a costurilor de experimentare.

### **Bibliografie**

1. DRAGOI, G., FUNAR ST., SOLEA, M., COTET E.C., Mat. Plast., **44**, nr.1, 2007, p.81
2. STANICA-EZEANU D., Mat. Plast., **44**, nr.1, 2007, p.3
3. DAN DOBROTA, Mat. Plast., **43**, nr.1, 2006, p. 65
4. HORATIU IANCAU, MARIAN BORZAN, ALINA CRAI, MIHAI BAYER, STEFAN FUNAR, Mat. Plast., **43**, nr.4, 2006, p. 352

5. NI-BIN CHANG, KUEN-SONG LIN, Y.-P. SUN., H. PAUL WANG, Oxidation Kinetics of the Combustible Fraction of Construction and Demolition Wastes, Journal of Environmental Quality 30:1392-1401, 2001

6. TUCU, D., ROTARESCU, V., BORDEASU, I., BAYER, M., HADAR, A., Mat. Plast., **43**, Nr.4, 2006, p. 308

7. SCHEIDEGGER, A., The physics of flow through porous media, Univ. of Toronto Press, 1974, ISBN 0-8020-1849-1, p. 97

8.\*\*\* Fluent User' s Guide, Fluent.Inc., Lebanon, NY, 1998

9. PRISECARU, T., Simularea numerică a procesului de ardere a combustibililor gazoși și solizi pulverizați, Ed. Bren, București, 2001, ISBN 973-8143-76-4, p.90

10. PRISECARU, T., Simularea numerică a procesului de aprindere a unui combustibil solid lipsit de materii volatile. Rev. Chim. (București) **53**, nr.1, 2002, ISSN 0034-7752

11. ESSENHIGH, R., H., s.a. Ignition of Coal Particles: A Review. Combustion and Flames, nr.77, 1989, p.345

12. ANTONESCU, N., s.a. Instalații de incinerare a deșeurilor menajere. Ed. Tehnică, București, 1986. p.112

---

Întrată în redacție: 10.07.2007













